

Düzce Üniversitesi Sūs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi



“DÜSTİBİD”

Sūs Bitkilerinde Akıllı ve Hassas Tarım Teknolojilerinin Kullanım Alanları, Karşılaşılan Zorluklar ve Sınırlılıklar Üzerine Sistemik Bir Derleme

Nida BAYHAN^{1*}

¹ Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bahçe Bitkileri ABD

***Sorumlu yazar:** snidaaksoy@gmail.com

ÖZET

Bu çalışma, sūs bitkilerinde akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin kullanım alanlarını, karşılaşılan zorlukları ve sınırlılıkları önerilerle birlikte ortaya koymak amacıyla hazırlanmış sistemik bir derlemedir. Çalışmada literatür taraması PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yönergelerine uygun olarak gerçekleştirilmiş; seçilmiş veri tabanlarından elde edilen araştırmalar değerlendirilmiştir. Analizler, sensör tabanlı sulama sistemleri, uzaktan algılama, drone uygulamaları, IoT tabanlı izleme araçları, yapay zekâ destekli karar mekanizmaları ve otomasyonun sūs bitkisi üretiminde öne çıkan teknolojiler olduğunu göstermektedir. Bu uygulamalar; su ve besin yönetiminde tasarruf, enerji verimliliği, ürün kalitesinde artış ve işgücü maliyetlerinde azalma sağlamaktadır. Ancak yüksek yatırım maliyetleri, küçük ölçekli üreticilerin uyum güçlüğü, veri güvenliği, standartlaşma eksiklikleri ve teknik bilgi yetersizlikleri yaygınlaşmayı sınırlayan temel engeller olarak öne çıkmaktadır. Gelecek araştırmalar için düşük maliyetli sensörlerin geliştirilmesi, yapay zekâ destekli tahmin modellerinin yaygınlaştırılması ve üretici eğitim programlarının güçlendirilmesi önerilmektedir. Sonuç olarak, akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin sūs bitkileri sektöründe sürdürülebilir üretim için stratejik bir potansiyel taşıdığı; ancak bunun gerçekleşmesi için ekonomik, teknik ve kurumsal engellerin aşılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sūs bitkileri, Akıllı tarım, Hassas tarım, Dijital tarım

A Systematic Review on the Applications, Challenges, and Limitations of Smart and Precision Agriculture Technologies in Ornamental Plants

ABSTRACT

This study is a systematic review prepared to identify the application areas of smart and precision agriculture technologies in ornamental plants, the challenges encountered, and recommendations for future research. The literature review was conducted in accordance with the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines, and studies obtained from selected databases were analyzed. The findings indicate that sensor-based irrigation systems, remote sensing, drone applications, IoT-based monitoring tools, artificial intelligence-supported decision-making mechanisms, and automation are the most prominent technologies in ornamental plant production. These applications contribute to savings in water and nutrient management, improved energy efficiency, enhanced product quality, and reduced labor costs. However, high investment costs, the adaptation difficulties of small-scale producers, data security issues, lack of standardization, and insufficient technical knowledge emerge as major barriers limiting widespread adoption. For future research, the development of low-cost sensors, the expansion of artificial intelligence-based prediction models, and the strengthening of producer training programs are recommended. In conclusion, smart and precision farming technologies hold strategic potential for sustainable production in the ornamental plant sector; nevertheless, overcoming economic, technical, and institutional barriers is essential for realizing this potential.

Keywords: Ornamental plant, Smart agriculture, Precision agriculture, Digital farming

1. Giriş

Tarım, birçok ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınmasında merkezi bir rol oynayan stratejik bir sektördür. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 9-10 milyara ulaşacağını öngörmektedir (FAO, 2009; Alves ve ark., 2019; Paul ve ark., 2022; Eissa, 2024). Bu demografik artış, başta gıda olmak üzere birçok tarımsal ürün talebini karşılamak adına ciddi zorluklar oluşturmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için geleneksel üretim modellerinde köklü reformlar yapılması gerekmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde tarım sektörü, ekonomik faaliyetlerin yanı sıra istihdam, gelir dağılımı ve beslenme açısından da kritik bir işlev üstlenmektedir. Ancak tarım sektörünün gelişimini sınırlayan düşük tarımsal verimlilik, geleneksel tarım yöntemlerinin kullanımı ve ürünlerin depolanması ile taşınmasında yaşanan sorunlar gibi çeşitli faktörler öne çıkmaktadır (Paul ve ark., 2022). Artık tarımsal gelişme, ileri teknolojiler sayesinde önemli ölçüde desteklenmekte ve bu sorunlara yenilikçi çözümler sunmaktadır (Li ve ark., 2023; Eissa, 2024). Bunun yolu ise eko-teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılmasından geçmektedir (Paul ve ark., 2022). Çevre dostu, kaynak kullanımını minimize eden ve uygun maliyetli teknolojilerin hızla benimsenmesi hem sürdürülebilirliği destekleyecek hem de daha yüksek bir üretkenlik sağlayarak tarımsal kalkınmayı hızlandıracaktır.

Dijitalleşme, çağımızın en önemli teknolojik dönüşümlerinden biri olarak, tarım ve diğer endüstrilerde derin etkiler oluşturmaktadır. Bu kavram, internet, mobil teknolojiler ve çeşitli elektronik cihazların yayılımı gibi bilgi ve iletişim teknolojilerinin benimsenmesini ifade etmektedir. Dijitalleşme yalnızca bu teknolojilerin entegrasyonu ile sınırlı kalmaz; aynı zamanda dijital içeriğin oluşturulması, toplanması, paylaşılması, birleştirilmesi, analiz edilmesi, erişilebilir kılınması, aranabilir hale getirilmesi ve işlevsel bir şekilde sunulmasına yönelik veri analitiğini de kapsar. Sadece belirli ekipmanlar ya da yöntemlerle sınırlı olmamakla birlikte, dijitalleşmenin tarım sektörü üzerindeki etkisi, bu sektörün işleyiş biçiminde kökten ve yapısal değişiklikler oluşturma potansiyelini barındırmaktadır. Özellikle hassas tarım uygulamaları, yapay zekâ teknolojileri, nesnelerin interneti ve büyük verinin etkin kullanımı gibi dijitalleşme unsurlarına artan odaklanma, tarım sektöründe üretim ve operasyonel verimliliği artırmaya yönelik dönüştürücü değişimlerin yalnızca birkaç örneğini teşkil etmektedir (Balyan ve ark., 2024). Tarım uygulamalarının temel unsurları, ürün verimini artırmak, maliyetleri düşürmek, çevreye duyarlı yöntemler kullanmak ve çiftçiler için sürdürülebilir bir yapı oluşturmayı kapsamaktadır (Paul ve ark., 2022). Hassas tarım, yüksek kaliteli ve daha etkin bir üretimi teşvik etmekle sınırlı kalmaz; aynı zamanda tarımsal faaliyetlerin tüm kademelerini ve süreçlerini, hatta tüketiciye ulaşan son noktayı içine alan bir gıda zincirinin tümünü destekler niteliktedir.

Hassas tarım, diğer bir ifadeyle sahaya özgü ürün yönetimi, tarımsal faaliyetleri daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmek için bilgi teknolojisi ve veriye dayalı karar mekanizmalarından faydalanan dinamik bir alan olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel yöntemlerin tüm araziye genel bir yaklaşımla ele alınışının aksine, hassas tarım, her bir tarlanın veya hatta bir tarlanın içindeki farklı bölgelerin kendine özgü özelliklerini dikkate alarak mikro düzeyde yönetim sağlamayı hedeflemektedir (Eissa, 2024). Hassas tarım aynı zamanda dijital bilgi teknolojilerinin kullanımı, tarım alanında GPS (Küresel

Konumlandırma Sistemi) ve GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) tabanlı rehberlik sistemleri, toprak örnekleme yöntemleri, kontrol mekanizmaları, dikey tarım teknikleri, hidroponik yetiştirme sistemleri, sensör uygulamaları, otonom araçlar ve iç-dış mekân tarım yönetimi için robotik çözümler gibi yenilikçi kavramları beraberinde getirmektedir (Paul ve ark., 2022). Örneğin; tarımsal ürünleri uzaktan algılama yöntemi, uydu tabanlı sensörler ile insanlı veya insansız hava araçlarında yer alan ve nesnelerin sürekli olarak yayıp emdiği elektromanyetik dalgaları algılayabilen sensörlerden yararlanarak bitki özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu yöntem, geleneksel tarımsal araştırma tekniklerine kıyasla, çiftçilere ve araştırmacılara bitki durumunu fiziksel temas olmaksızın uzaktan algılama teknolojisiyle elde edilen görsel veriler üzerinden değerlendirme imkânı sağlamaktadır (Li ve ark., 2023). Neticede, bu yenilikçi teknolojiler, tarımsal uygulamalarda köklü bir paradigma değişimi oluşturmuş, sektörü daha verimli, sürdürülebilir ve akıllı bir işleyişe yönlendirmiştir.

Tarım alanında bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) kullanımına dair yapılan literatür incelemeleri, akıllı tarım adını taşıyan bir kavramın da öne çıktığını göstermektedir. Her ne kadar akıllı tarım terimi son yıllarda yaygın bir kullanım alanı bulmuş olsa da günümüzde tarımsal uygulamalarda tercih edilen teknolojileri bütüncül şekilde tanımlayan resmi bir terminoloji gereksinimi hâlâ mevcuttur (Wolfert ve ark., 2017; Pivoto ve ark., 2018; akt. Alves ve ark., 2019). Akıllı tarım, siber-fiziksel bir çiftlik yönetim döngüsü içerisinde işlev görmek üzere bilgi ve iletişim teknolojilerinin makineler, ekipmanlar ve sensörlerle entegre edilmesini ifade etmektedir (Alves ve ark., 2019). Bu kavram; Nesnelerin İnterneti (IoT), Büyük Veri Analitiği, Yapay Zekâ (AI) ve Süreç Yönetimi gibi çok yönlü teknolojik yenilikleri içeren geniş kapsamlı bir anlayış oluşturmaktadır. Yapay zekânın (AI) sensör teknolojisine entegre edilmesi, Nesnelerin İnternetinin (IoT) desteğiyle akıllı tarım uygulamalarında sensör tabanlı makinelerin daha etkin ve verimli hale gelmesini sağlamaktadır. Günümüz tarımında kullanılan modern sensörler, arazi navigasyonu, robotik teknolojiler, uzaktan algılama, otomasyon sistemleri, su altı görüntüleme ve diğer yenilikçi teknolojilerin bir arada kullanılmasını mümkün kılarak tarım alanında geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır (Ullo ve Sinha, 2021). Sensörler tarafından sağlanan veri, çiftçilerin pH seviyesi, nem oranı ve toprak besin maddeleri (NPK) gibi fizyolojik parametreleri detaylı bir şekilde izlemelerine olanak tanımak üzere tasarlanabilmektedir (Paul ve ark., 2022). Bu, optimum yetiştirme koşullarında yüksek verimlilik sağlayan ürünlerin yetiştirilmesini desteklemektedir.

Dijitalleşme süreci, topluma ve çevreye çeşitli yararlar sağlarken, aynı zamanda tarımsal üretimde önemli artışlar sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Bu dönüşüm, sadece insanların bakış açısını değiştiren ve gezegenin geleceğini şekillendiren güçlü bir dinamik olmakla kalmamış, aynı zamanda tarımdaki gelişmeleri hızla ilerletmiştir. Bu bağlamda dijitalleşme, çiftçilerin doğru zamanda ve doğru yerde karar verebilmelerine olanak tanıyan veri temelli ve hassas teknoloji uygulamalarını kapsayan "akıllı tarım" kavramıyla da özdeşleşmiştir (Wolfert ve ark., 2017; Rose ve Chilvers, 2018; Weersink ve ark., 2018). Bu yaklaşımda akıllı sensörler ve haritalama, akıllı ekipmanların faaliyetlerinin izlenmesi, akıllı iklim izleme ve tahminler, akıllı lojistik ve depolama, bu teknolojilerden elde edilen veriler ve çevresel faktörlerin de sürece dahil edilmesiyle akıllı tahminler ya da istatistikler yer almaktadır (Şekil 1). Tarım süreçleri, dronlar,

sensörler, yapay zekâ, robotik teknolojiler, bulut bilişim, blok zinciri ve karar destek yazılımlarının entegrasyonu ile daha verimli ve sistematik hale getirilmektedir (Carolan, 2020; Balyan ve ark., 2024). Bu teknolojik yenilikler, tarımsal sistemlerin etkinliğini artırmayı hedeflerken aynı zamanda yönetim mekanizmaları ve uluslararası ticaretin değer zincirlerinin geliştirilmesine de odaklanmaktadır.



Şekil 1. Akıllı Tarım Uygulamaları (Barreto ve Amaral, (2018) kaynağından geliştirilmiştir)

Teknolojik ilerlemeler, süs bitkisi üretiminde de önemli bir rol üstlenerek üreticilerin verimliliği artırmalarına, kayıpları en aza indirmelerine ve çiçek kalitesini yükseltmelerine olanak tanımıştır. Daha çok biyoteknoloji destekli ıslah gibi yenilikçi teknikler (Pagariya ve ark., 2025) ve üstün çeşitlerin seçimini kolaylaştıran yüksek verimli fenotipleme teknolojileri (Giovannini ve ark., 2021) öne çıksa da hassas tarım uygulamaları da bu dönüşümde önemli bir yere sahip olup sensörler ve uzaktan izleme sistemleri sayesinde ürün gelişimi yakından takip edilmekte, su ve gübre kullanımı optimize edilerek hem daha yüksek verim sağlanmakta hem de kaynak etkinliği artırılmaktadır. Genel anlamda, süs bitkisi sektöründeki teknolojik yenilikler bu endüstriyi köklü bir dönüşüme uğratmış; üreticilerin daha sürdürülebilir, verimli ve kaliteli ürünler üretmelerinin önünü açmıştır (Wani ve ark., 2023). Aynı zamanda, bu gelişmeler doğal kaynakların korunmasına katkı sağlayarak çevreye duyarlı bir üretim anlayışını desteklemektedir.

Süs bitkileri sektörü, giderek daha sürdürülebilir bir üretim anlayışına yönelmekte olup, su ve enerji tasarrufu, kimyasal girdilerin azaltılması ve döngüsel ekonomi gibi stratejik öncelikler üzerine yoğunlaşmaktadır. Üretim süreçlerinde gerçekleşen bu dönüşüm hem tüketici talepleri hem de üreticilerin çevresel konulardaki artan bilinç düzeyi tarafından şekillendirilmektedir. Bu bağlamda, sektörün adil, sağlıklı ve dayanıklı bir bahçecilik modeline geçişini teşvik eden bir dizi yenilikçi uygulama devreye girmektedir. Özellikle bitkilerin serada yönetimi ve fidanlık üretiminde giderek yaygınlaşan nesnelerin interneti (IoT) teknolojileri, bu dönüşümde kilit katkılar sunmaktadır. Çeşitli sensörler aracılığıyla çevresel koşullar, yetiştirme ortamı ve ekofizyolojik parametrelerin izlenmesi, öngörülmesi ve gerçek zamanlı karar destek sistemlerinin (DSS) entegrasyonuna olanak sağlamaktadır (Kocian ve ark., 2020). Bu tür

sistemler, su ve besin gibi kaynakların verimli kullanımını optimize ederek bitki büyümesi, sağlık durumu ve verimini doğrudan etkilemektedir.

Süs bitkileri sektöründe kullanılan teknolojiler arasında biyoteknoloji, nanoteknoloji, akıllı sera sistemleri, hasat sonrası çözümler, akıllı sulama yöntemleri, topraksız tarım, yeşil çatı ve duvar sistemleri, robotik uygulamalar, görüntüleme teknolojileri, bilgisayarlı izleme altyapıları, veri analitiği, nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka, makine öğrenimi, RFID etiketleme, LED aydınlatma sistemleri, sanal bitki konseptleri, drone tabanlı haritalama, sürdürülebilir malzemeler ve Blockchain çözümleri gibi ileri teknoloji alanları yer almaktadır (Wani ve ark., 2023). Bu yenilikler sayesinde sektör her geçen gün daha etkin, çevre dostu ve verimli bir yapıya dönüşmektedir.

Süs bitkileri endüstrisinde öne çıkan yeni ve yaygın stratejiler arasında özellikle su tasarrufu ve su kullanım verimliliğini artırmaya yönelik teknolojiler önemli bir yer tutmaktadır. Bunların yanında çiçekçilikte hasat, hastalıkların erken tespiti ve izlenmesi, verimlilik çalışmalarının da yürütüldüğü görülmektedir.

Bu sistematik derleme, süs bitkilerinin üretimi, yetiştirilmesi ve bakımının yönetimi için akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin geçmişten günümüze çizilen perspektifleri izlemeyi ve gelecek için gerekli araştırma hatlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Özellikle, görüntüleme tabanlı sensörler, IoT, yapay zekâ destekli teknolojiler ile derin öğrenme sistemlerinin öne çıktığı görülmektedir. Süs bitkilerinin yetiştirilmesi ve bakım işlemlerinin izlenmesi için halihazırda kullanılan dijital araçları açıklayarak, hassas ve akıllı tarım için odaklanılan konular ele alınmıştır.

1.1. Süs Bitkilerinin Tarımsal ve Ekonomik Değeri

Süs bitkileri sektörü, bahçecilik alanının en çeşitli dallarından birini oluşturmaktadır. Bu sektör, çeşitli alt dallardan meydana gelir: (i) kesme çiçekler ve yapraklar, soğanlı bitkiler, iç mekân süs bitkileri, saksı bitkileri ve çok yıllık bitkiler gibi çiçekçilik ürünleri; (ii) fidanlık ürünleri, ağaçlar ve çalılar, aromatik bitkiler gibi çok yıllık dayanıklı türler; süs bitkileri ile peyzaj pazarına uygun genç bitkiler ve fideler, anaç materyalleri, astarlar, çim tohumu ve çim ruloları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çeşitlilik, sektördeki geniş hedef pazarını yansıtmaktadır. Çiçekçilik ürünleri, temelde iç tüketime yönelik bir kategori oluşturur. Fidanlık ürünleri ise peyzaj hizmetleri ve çim düzenlemelerine odaklanır (Traversari ve ark., 2021). Genellikle profesyonel yetiştiriciler ve peyzaj firmaları bu sektörlerin temel müşterileridir.

Küresel kesme çiçek ve süs bitkileri pazarı araştırmasına göre (Data Bridge Market Research, 2022), çiçek ve süs bitkileri pazar büyüklüğü 2021 yılında 27 milyar \$ değerinde olduğunu ve 2029 yılına kadar 45 milyar \$ değerine ulaşmasının beklendiği analiz edilmiştir. ABD, İsviçre, Hollanda, Almanya, Birleşik Krallık ve İtalya dünya genelindeki başlıca pazarlardır.

Üretim değerleri açısından bakıldığında, dünya genelinde öne çıkan başlıca üretici bölgeler ve ülkeler Avrupa (%31), Çin (%19), ABD (%12) ve Japonya (%8) olarak sıralanmaktadır. Avrupa Birliği (AB) devletleri arasında ise; Hollanda (%30), İtalya (%13), Almanya (%13), Fransa (%12) ve İspanya (%10) cari fiyatlar bağlamında lider konumda yer almaktadır (DGAGRI-G2, 2025). Bu bölgeler, yüksek üretim kapasitesiyle birlikte güçlü tüketici talebiyle ön plana çıkmaktadır. Bu durum, belirli veya mevsimsel

ürünler haricinde, iç pazar ihtiyaçlarını büyük ölçüde karşılayarak kendi kendine yeterlilik sağlamalarına olanak tanımaktadır.

Süs bitkisi sektörleri açısından değerlendirildiğinde, küresel pazarda kayda değer bir yer edinen diğer ülkeler arasında özellikle kesme çiçek ihracatında uzmanlaşmış Kolombiya, Ekvador ve Kenya göze çarpmaktadır. Bunun yanı sıra, Brezilya, Meksika ile Tayland, Malezya ve Filipinler gibi Asya ülkeleri giderek güçlenen yerli üretici grubu içinde yer almakta ve uluslararası pazarda etkilerini artırmaktadır (Hendricks ve ark., 2019). Bu ülkeler, yeni üretim merkezleri olarak gelişim göstermektedir.

Çin gibi ülkelerde geniş üretim sahalarının etkin bir şekilde kullanılması, Avrupa Birliği ülkelerinde ise birim alandan maksimum verim ve yüksek kalite standartlarının yakalanması, hızla büyüme gösteren küresel süs bitkileri sektöründeki rekabeti her geçen gün daha da zorlaştırmaktadır. Süs Bitkileri Üreticileri Alt Birliği'nin Süs Bitkileri Sektör Raporu'na (SÜSBİR, 2025) göre söz konusu sektör Türkiye açısından değerlendirildiğinde, tüm üretim faaliyetlerinde kayda değer büyümeler yaşanmış, üretim alanları genişlemiş, ihracat hacmi artış göstermiş, ürün çeşitliliği zenginleşmiş ve alternatif pazarların bulunması yönünde dikkate değer ilerlemeler kaydedilmiştir. Türkiye'de ihracat 2020'de 83,1 milyon \$ iken, 2024'te 117,7 milyon \$'a yükselmiştir. İthalat ise 2020'de 40,1 milyon \$ iken, 2024'te 69,5 milyon \$'a çıkmıştır. SÜSBİR raporundaki verilere göre ihracat ve ithalatın arttığı görülmektedir; ancak ithalattaki artış oranının (%73,3) ihracattaki artış oranından (%41,6) daha yüksek olması, dış ticaret açığının büyüme eğilimi gösterebileceği şeklinde değerlendirilmektedir.

Süs bitkilerinde akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin geliştirilmesi ve üretim süreçlerine entegre edilmesi, sektörün ekonomik değerinin artırılması açısından stratejik bir önem taşımaktadır. Hem ürün kalitesinde ve estetik değerinde artış sağlanmakta hem de su, enerji ve gübre gibi girdilerin verimli kullanımıyla üretim maliyetleri düşürülmektedir. Ayrıca, standardize edilmiş ve sürdürülebilir üretim modelleri, süs bitkileri sektörünün ulusal pazarda tüketici taleplerine hızlı ve güvenilir biçimde cevap verebilmesini, uluslararası pazarda ise rekabet gücünü yükseltmesini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda akıllı ve hassas tarım uygulamaları, yalnızca ekonomik verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sektörün uzun vadeli sürdürülebilirliğine de katkı sunan bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

2. Sistematik Literatür Taraması

2.1. Yöntem ve Veriler

Bu sistematik derleme, standart bir protokol kullanılarak sistematik inceleme yapmak için kanıta dayalı bir çerçeve olan PRISMA yaklaşımını (Page ve ark., 2021) dikkate almıştır. Bu yaklaşım, odaklanılan soruları, arama yapılan veri tabanı, dahil etme ve hariç tutma kriterleri, veri çıkarma prosedürü ve PRISMA akış şemasını içermektedir.

2.2. Araştırma Sorusu

Sistematik literatür taraması için bu çalışmanın iki araştırma sorusu bulunmaktadır. Süs bitkisi yetiştiriciliğinde hassas ve akıllı tarım uygulamalarındaki teknolojiler nelerdir? ve bu çalışmalarda belirtilen hangi sınırlılıklar ya da zorluklar bulunmaktadır?

2.3. Bilgi Kaynakları

PRISMA çerçevesinde 21.06.2025 tarihinde iki dijital bilimsel dergi veri tabanında (Web of Science ve Scopus) sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. İlgili literatürler yazar tarafından belirlenen uygunluk kriterlerine göre seçilmiştir.

2.4. Arama Stratejisi, Veri Çıkarma ve PRISMA Akış Şeması

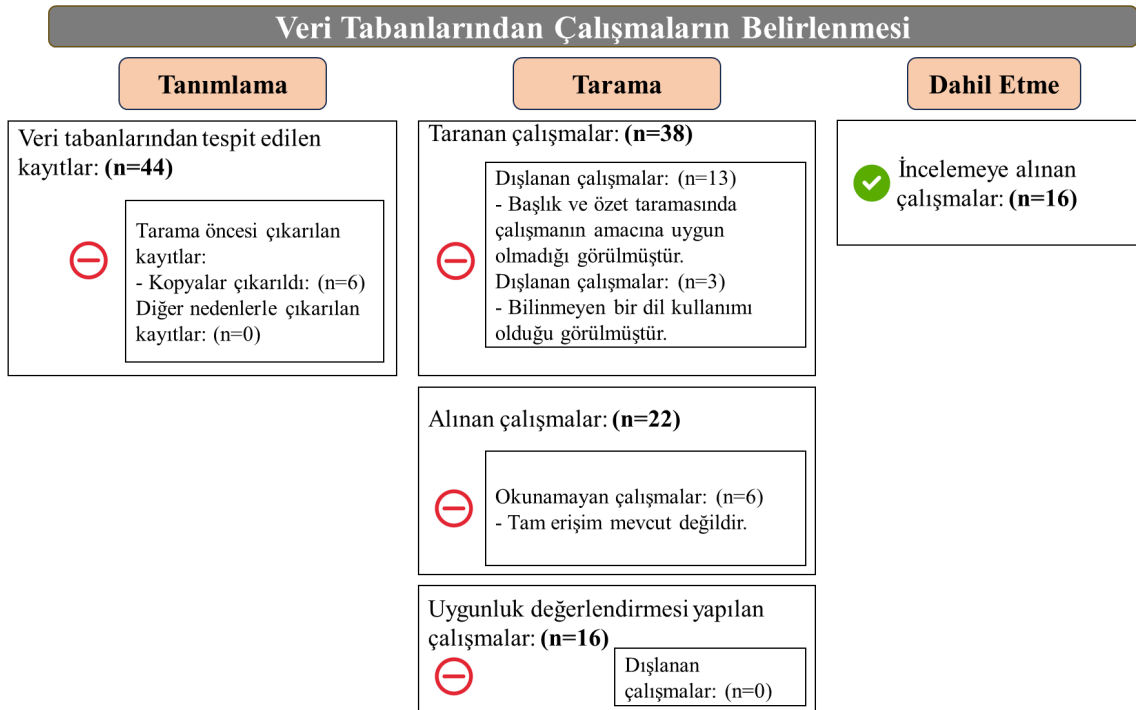
Tanımlama adımıyla, veri tabanlarında arama yaparak tüm ilgili kayıtları belirlemek amaçlanmıştır (Page ve ark., 2021). Bhakta ve ark. (2019)'nin çalışmasında olduğu gibi bu çalışmada da iki dijital bilimsel derginin veri tabanında arama gerçekleştirilmiştir (Web of Science ve Scopus). Araştırma sorusuna ilişkin olan çalışmaları tanımlamak amacıyla arama terimleri belirlenmiştir: (i) süs bitkileri, (ii) akıllı tarım ve (iii) hassas tarım ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Bununla birlikte süs bitkilerinde sadece hassas ve akıllı tarım çalışmaları üzerine yoğunlaşıldığından “genetik, CRISPR/Cas9, gen düzenleme” gibi terimler hariç tutulmuştur. Tüm ilgili kayıtların belirlendiğinden emin olmak önemli olduğundan her kavram için alternatif araştırma terimleri kullanılmıştır. Aynı gruptaki terimler “VEYA” ile, farklı gruplar ise “VE” ile birleştirilmiştir. Süs bitkilerinde yapılan genetik çalışmalar araştırma sorumuzla örtüşmediğinden bu konudaki terimler “NOT” ile hariç tutulmuştur. Tüm arama stratejisi, çalışmanın amacına göre seçilmiştir. Örneğin; Web of Science’da kullanılan arama terimleri “TS=((("ornamental*" OR "ornamental plant*" OR "ornamental horticulture" OR "cut flower*") AND ("smart agricultur*" OR "smart farming" OR "precision agricultur*" OR "digital agricultur*" OR "digital farming" OR "digital tech*") NOT ("genetic" OR "CRISPR/Cas9" OR "genome editing" OR "genom*" OR "plant genetic*" OR "DNA" OR "DNA sequencing" OR "transgenic plant*" OR "genome sequence" OR "genetic modification"))).” Benzer şekilde Scopus’ta da ilgili araştırma terimlerine yer verilmiştir. Çalışmaların başlıkları, özeti ve anahtar kelimeleri incelenmiştir. İlk arama sorgusu 21.06.2025 tarihinde yapılmıştır ve her iki veri tabanında da toplam 44 yayın tespit edilmiştir. Arama sonuçları 2015 ila 2025 yılları arasında İngilizce olarak yayımlanmış çalışmaları içermektedir. 44 yayın içerisinde Scopus ile Web of Science veri tabanlarında tekrar eden 6 çalışma da çıkarıldıktan sonra, örneklem büyüğü (n) 38 olmuştur.

Tarama, belirlenen makaleleri almak ve analize dahil etmek için hariç tutma ve dahil etme kriterlerini tanımlayarak uygunluklarını doğrulama adımıdır (Page ve ark., 2021). Bilimsel çalışmaların araştırma sorusuna uygunluğunu ve zamanlamasını sağlamak için yukarıda belirtildiği gibi genetik çalışmalar ve 2015 yılı öncesindeki çalışmalar hariç tutulmuştur. Dahil etme kriteri, taranan çalışmalarda süs bitkileri yetiştiriciliğinde akıllı ve hassas tarım uygulamalarına ya da çalışmalarına yönelik olmuştur. Bu çalışmaları belirlemek için araştırmacı, araştırma sorusunun çalışmalarda olduğunu doğrulamak için başlıkları, çalışma özetini ve anahtar kelimelerini objektif olarak incelemiştir. Tarama adımıyla başlangıç olarak (n) 38 çalışmanın ilgili kısımları incelenmiş olup; başlık ve özet taramasında bazı çalışmaların süs taşı, süs balığı, fidanlık bilgilerinin envanteri, nano uygulamalar, sebze fideleri ve tarihi süsleme ve dekorasyona yönelik olmasından dolayı araştırma sorusuna uygun bulunmamıştır. Bu nedenle (n) 13 çalışma hariç tutulmuştur. Bununla birlikte bazı çalışmaların dilinin de İngilizce olmamasından dolayı (n) 3 bilimsel yayın da dışlanan çalışmalar arasında yer almıştır. Bunun sonucunda taramaya dahil

edilen akademik çalışmaların sayısı (n) 22 olmuştur. Daha sonra bu yayınların tamamı okunmaya başlandığında (n) 6 adet çalışmanın tam erişiminin olmadığı görülmüştür. Bu çalışmalarda dışlandığında uygunluk değerlendirmesi yapılan çalışma sayısı (n) 16 olmuştur.

Son *dahil etme* adımının amacı, araştırma sorularına ve ilgili verilere uyan yayınları belirlemektir (Page ve ark., 2021). Bu bağlamda da dahil edilen toplam çalışma sayısı 16'dır. İncelenen literatürler, süs bitkisindeki akıllı tarım ve hassas tarım teknolojilerini ve teknolojinin uygulama yöntemini, verim, kalite, sürdürülebilirlik gibi konularda ortaya koyduğu sonuçlar ve çalışmanın belirttiği sınırlılıklar ya da zorluklar temelinde incelenmiştir.

Akış şeması (Şekil 2), PRISMA çerçevesinde sistematik derlemenin temel bulgularını temsil etmektedir. Akış şeması Tanımlama, Tarama ve Dahil Etme olmak üzere üç aşamadan oluşmuştur:



Şekil 2. Sistematik Derlemenin PRISMA Çerçevesi (Page ve ark., 2021).

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmanın sonucuna göre literatürde en çok çalışılan süs bitkileri; gül, karanfil, krizantem, ortanca, orkide ve diğer kesme çiçeklerle birlikte süs çalılardır. Özellikle bulut tabanlı teknolojiler, hiperspektral görüntüleme ve farklı özellikteki kameralar, optik sensörler ve derin öğrenme algoritmaları gibi bileşenler süs bitkilerinde akıllı ve hassas tarım uygulamasında kullanılan en yaygın teknolojiler olarak ortaya çıkmıştır. Çalışmalar genellikle su stresi ve hastalık yönetimine yoğunlaşmışsa da verimlilik ve vazo ömrü araştırmaları da öne çıkmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. PRISMA çerçevesinde belirlenen çalışmaların genel özeti

Yazar/Yıl	Çalışmanın Türü	Bitki Materyali	Teknoloji	Hassas/Akıllı Tarım Uygulaması
Freeman ve ark. (2019)	Makale	Çeşitli süs çalıları	Bulut tabanlı YZ, sUAS, kızılötesi kameralar	Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetim süreçlerini otomatikleştirmek amacıyla sUAS araçları uygun sulama stratejisi belirlemek için bulut tabanlı YZ ile donatılmıştır.
Freidenreich ve ark. (2019)	Makale	Karides bitkisi (<i>Justicia brandegeana</i>)	Optik sensör teknolojileri	Bitki besin değerlerini ve diğer parametreleri belirlemek amacıyla SPAD-502 toprak bitki analizi geliştirme sensörü kullanılarak yaprak ve yeşil aksamaların klorofil içeriği tespit edilmiştir. Karbon ve azot içeriğini belirlemek için de diğer laboratuvar ekipmanlarından yararlanılmıştır.
Bañón, ve ark. (2019)	Makale	Ortanca (<i>Hydrangea macrophylla</i>)	Toprak dielektrik sensörleri, çok kanallı bir röle kartı,	Toprak tuzluluğunu izlemek ve sulamayı kontrol etmek amacıyla GS3 toprak dielektrik sensörleri ile 16 kanallı röle kartı kullanılmıştır.
Choi and Lee (2020)	Makale	Gül (<i>Rosa hybrida L.</i>)	Kızılötesi termal kamera, makine öğrenimi	Kesme güllerin vazo ömrünü tahmin etmek amacıyla termal görüntüleme analiziyle bitkinin fizyolojik durumu ve stres durumu izlenirken; makine öğrenimi ve algoritmalarla çiçeklenme ve yaşlanma aşamaları analiz edilmektedir.
Traversari ve ark. (2021)	Derleme	Gül, karanfil, gerbera, krizantem, zambak, orkide vb. süs bitkileri	PCR, LAMP, termal görüntüleme, hiperspektral görüntüleme	Süs bitkilerinde görülen mantar enfeksiyonlarının sürdürülebilir yönetimi için sensör tabanlı erken tespit ve izleme sistemleri, mantar riskleri tahmin etme algoritmaları, entegre hastalık yönetim modeli ve dijital teknolojilerin entegrasyonunu ele almaktadır.
Ruett ve ark. (2022)	Makale	Süs Funda (<i>Calluna vulgaris</i>)	Hiperspektral görüntüleme	Hastalık izleme stratejilerini simüle etmek için olasılıklı maliyet-fayda analizi uygulanmış; yoğun görsel izleme ve hiperspektral görüntüleme tabanlı sensör izleme stratejilerinin çıktıları değerlendirilmiştir.
Li ve ark. (2023)	Makale	Krizantem	3D baskı teknolojisi, Arduino Nano tabanlı kontrol sistemi, sıcaklık, ışık ve nem sensörleri, Wi-Fi modülü	3D teknolojisiyle tasarlanan akıllı saksı, sensör tabanlı izleme, otomatik sulama ve ışık desteği sağlayarak kullanıcı müdahalesini azaltma ve bitki bakımını optimize etme
Mahmud ve ark. (2023)	Derleme	Çok sayıda süs bitkisi	AI, ML, IoT, 3D kameralar, derin öğrenme algoritmaları vb.	Gerçek zamanlı veri toplama ve sulama kontrolü için akıllı sulama sistemleri, özellikle hastalıkların tespitinde bitki stresi tespiti için görüntüleme sistemleri, kimyasal kullanımını azaltmak için püskürtme sistemleri, bitki boyutunu ve sayımını yapmak için bitki biyometrik ölçüm sistemleri ile budama, ilaçlama ve sulama operasyonları için robotik uygulamalar ele alınmıştır.
Qi (2023)	Makale	Kesme çiçekler	Güneş Enerjili DC Mikro Şebeke ve Wi-Fi kamera	Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarını optimize ederek enerji güvenliği sağlayan inovatif sistemlerdir. Wifi kamera ile görüntü işleme; su seviyesi, yağış miktarı, güneş ışığı durumu, sulama zamanlaması, depo doluluk seviyesi analiz edilerek sulama zamanlaması ayarlanmaktadır.
Lin ve ark. (2024)	Makale	Orkide	Spor çimlenme sensörü ve dinamik kalibrasyon algoritması	Orkideler için spor çimlenme oranını ölçmek ve büyük ölçekli sera ortamlarında kullanılması için özel olarak tasarlanmış bir sensör tasarlanmıştır. Bitkilerin belirli bir oranı enfekte olduğunda üreticileri uarmaktadır.

				Bu sensörün dinamik olarak kalibre edilmesi için de bir algoritma geliştirilmiştir.
Pratama ve ark. (2024)	Makale	Orkide, Aglonema (Çin herdemyeşili) ve Monstera Adansonii	IoT ve DT	Toprak ve hava nemi, sıcaklık ve ışık yoğunluğu gibi parametrelerin izlenmesi için IoT; sensör verilerini analiz ederek verimlilik odaklı çalışma için DT'ler kullanılmıştır.
Tsai ve Hsu (2024)	Makale	Orkide	IoT	Orkide bitkisinde hastalık tespiti ve önleme amacıyla IoT teknolojisi kullanılmıştır.
Huang ve Wang (2024)	Makale	Peru Zambağı (Alstroemeria morado)	AGMNet	Tarımsal üretim verimliliğini ve otomasyon seviyelerini artırmak için derin öğrenmeye dayalı bir çerçeve (AGMnet) kullanarak hedef bitkide çiçek olgunluğunun tespiti edilmesine yönelik uygulamadır.
Nasra ve ark. (2025)	Makale	Para çiçeği	REXnet, CNN, SPP, CBAM ve DÖ	Görüntü tabanlı bitki hastalığı teşhisi için CNN ve DÖ, görüntü sınıflandırma için REXnet, yapraktaki mikro ve makro hastalık görüntülerini yakalamak için SPP, CBAM konfigürasyonu ise Rexnet ile birlikte çalıştığında sınıflandırmadaki doğruluk oranını artırması için uygulanmıştır.
Patiluna ve ark. (2025)	Makale	Rosa hibrit (gül), Itea virginica (Virginia söğüt), Spiraea nipponica (kar tepesi) ve Weigela florida (weigela)	Hiperspektral görüntüleme	Çalışmadaki bitkilere 0, 2, 4 ve 7 günlük su kesme uygulamaları ile farklı su stres seviyeleri oluşturulmuş ve hiperspektral görüntüler toplanmıştır.
Li ve ark. (2025)	Literatür incelemesi	Taze kesme çiçekler	Büyük veri, IoT ve YZ	Taze çiçek tedarik operasyonlarında büyük veri ve YZ; doğru tahmin modelleri, pazar inovasyonun artırılması, envanter ve lojistik optimizasyonu, süreç iyileştirme ve verimlilik, IoT; soğuk zincir lojistiğinin gerçek zamanlı izlenmesi, akıllı dikim ve hassas sulama.

CBAM Evrişimsel Blok Dikkat Modülü; *CNN* Evrişimsel Sinir Ağı; *DÖ* Derin Öğrenme (ML: Machine Learning); *DT* Karar Ağı; *IoT* Nesnelerin İnterneti; *LAMP* Döngü Aracılı İzotermal Amplifikasyon; *PCR* Polimeraz Zincir Reaksiyonu; *REXnet* Sıra Genişletme Ağı (Görüntü sınıflandırma); *SPP* Mekânsal Piramit Havuzlama; *sUAS* Küçük İnsansız Hava Aracı; *YZ* Yapay Zekâ.

3.1. Süs Bitkilerinde Kullanılan Teknolojiler ve Uygulama Alanları

Araştırmada ele alınan çalışmalarda kullanılan teknolojilerin genellikle sensörler, IoT, görüntü işleme teknolojileri, yapay zekâ destekli algoritmalar gibi teknolojiler olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalar tek bir teknoloji üzerinde yoğunlaşmışken bazı araştırmaların da birkaç teknoloji unsurunu entegre ettiği görülmüştür (Tablo 1).

Bulut tabanlı yapay zekanın özellikle IBM Watson'ın görsel tanıma hizmetiyle birlikte entegre edilerek, saksıda yetiştirilen süs çalılarında su stresinin erken tespitine odaklanılan çalışma (Freeman ve ark., 2019), yakın kızılötesi görüntüleri küçük bir insansız hava aracı sistemi (sUAS) aracılığıyla üzerinde bulunan Canon ve MAPIR Survey II kameralarla toplanarak, farklı bitkilerde uzun süreli su eksikliğinden sonra su stresi düzeyleri anlamlı düzeyde tespit edilebilmiştir. Bu sayede tarımda sürdürülebilir su yönetimi için su kullanımını gerçek zamanlı olarak optimize etmek ve su teminindeki verimsizliği azaltmak için sahaya özgü sulama sistemlerinin geliştirilebileceği ortaya konmuştur.

"Karides bitkisi" olarak bilinen *Justicia brandegeana*'da SPAD ve GreenSeeker gibi sensörlerin, söz konusu bitkinin gübre ihtiyacını sürdürülebilir bir şekilde yönetmek ve süs

bitkisi sektöründe aşırı gübre kullanımının önüne geçmek için etkinliği değerlendirilmiştir (Freidenreich ve ark., 2019). Çalışma, daha az nitrat sızıntısını tespit edip, besin maddesi tutulumunu ölçerek optik sensörlerin kullanımının hem çevre hem de ekonomi boyutuyla umut verici bulmuştur.

Ortanca (*Hydrangea macrophylla*) bitkisinin tuzluluk indeksinin etkinliğinin araştırıldığı çalışmada (Bañón, ve ark. 2019), aşırı sulamayı önleyerek ve su kullanımı verimliliğini optimize edip, tuzlu sulama şartlarında bitkinin fizyolojik durumu ve kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda; GS3 olarak adlandırılan tuzluluk indeksine dayalı yıkama ile tuzlu sulama işlemine tabi tutulan bitkilerin yıkama olmadan tuzlu sulama işlemine göre daha üstün fizyolojik durum ve bitki kalitesi gözlenmiştir.

Çeşitli gül çeşitlerine uygulanan termografi ve makine öğrenimi teknikleri ile kesme gülün vazo ömrünü tahmin eden bir modeli geliştirmeye odaklanan çalışma (Choi ve Lee, 2020), yaprak ve taç yapraklarındaki sıcaklık değişimlerini hava sıcaklığına kıyasla analiz ederek, %100 doğrulukla kesme güllerin çiçeklenme, yaşlanmama ve belirgin yaşlanma evrelerini tespit etmiştir.

Traversari ve ark. (2021) mantar hastalıklarının yönetimi ve tespiti konusuna odaklanan bir derleme çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada gül, karanfil, krizantem, zambak, orkide gibi süs bitkilerinin yanında birçok bitki türü de ele alınmıştır. Hastalıkların tespitinde ve yönetiminde öne çıkan teknolojilerin; spektroskopik ve görüntüleme (hiperspektral ve multispektral), çeşitli indeksler (Fotokimyasal Yansıma İndeksi, Yaprak Pas Hastalığı Şiddet İndeksi vb.), termal görüntüleme, floresan sensörleri olduğu, görüntüleme sensörü tabanlı yöntemlerin kombinasyonunun süs bitkilerinde mantar hastalıklarının erken ve büyük ölçekli tespiti için umut verici bir stratejiyi temsil ettiğini, pestisit kullanımını azaltarak ve entegre haşere yönetimi stratejilerini geliştirerek daha sürdürülebilir üretim sistemlerinin mümkün olduğunu göstermiştir.

İnovatif çalışmalar süs bitkileri sektöründe de yerini almıştır. Örneğin Li ve ark. (2023)'nin bir araştırması süs bitkileri için üç boyutlu ve bulut teknolojisiyle oluşturulan kişiselleştirilmiş akıllı saksı geliştirilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Toprak nemi, sıcaklık, ışık yoğunluğu gibi birçok çevresel parametreyi gerçek zamanlı izleyerek süs bitkisi yetiştiricilerine bitki büyümesi için optimum koşulları ayarlama olanağı sunmaktadır. Bu çalışma akıllı teknolojilerin süs bitkisi yetiştiriciliğine entegrasyonu için örnek teşkil etmiştir.

Özel bir sensör ve kalibrasyon algoritması ile orkide yetiştiriciliğinde zamanında hastalık tespiti için potansiyel bir çözüm ve tarımsal ortamlarda bitki sağlığı izlemeyi geliştirme yönünde pratik çıkarımlar sunan çalışmada (Lin ve ark., 2024), Fusarium gibi mantarlar da dahil olmak üzere birçok bitki patojeninin yaşam döngüsünde kritik bir adım olan spor çimlenmesine yol açan koşulları izlemek mümkün kılınmıştır. Sensörün, spor çimlenme oranını belirleyerek hastalık riskini değerlendirmeye yardımcı olurken, insan kaynağına dayalı iş gücünü de büyük oranda azaltabileceği belirtilmiştir.

Ekonomik değeri nedeniyle orkide bitkisindeki hastalıkları tespit etmek ve tanımlamak için IoT teknolojisi kullanılarak geliştirilen sistemde (Tsai ve Hsu, 2024), derin öğrenme algoritması ve görüntü veri tabanı entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Böylece enfekte bitkinin görüntü veri tabanı, hastalık lezyonlarının türü ve nitelikleri, lezyonların özelliklerine göre

çevresel koşulların değişimine dayanıklılığın göstergesi, entegre test prototip ve IoT ile hastalığın teşhisi gibi konularda çözüm getirmek hedeflenmiştir.

Alstroemeria Genus Morado çiçeklerinin olgunluğunun otomatik olarak tespit edilerek sınıflandırılması hassas tarım için çok önemlidir. Fakat olgunluğun tespiti morfolojik özelliklerin çok çeşitli olması ve ışık değişimi gibi nedenlerden dolayı zordur. Bu zorluğun üstesinden gelmek için derin öğrenmeye dayalı nesne tespit çerçevesi, AGMNet (Alstroemeria Genus Morado Ağ) geliştirilerek (Huang ve Wang, 2024), bitkinin otomatik olgunluk sınıflandırması ve çiçek tespiti önemli ölçüde artmıştır.

Süs bitkilerindeki hastalıkların tespiti ve sınıflandırılması için yürütülen derin öğrenme modelleri ve optimizasyon çalışmaları kapsamında Nasra ve ark. (2025)'nin para bitkisinde bakteriyel solgunluk ve mangan toksisitesi sınıflandırılması için REXNet teknolojisi kullanılmıştır. Özellikle derin öğrenme bileşenlerinin tarımsal izlemede yüksek doğruluğa ve pratik uygulanabilirliğe katkı sağladığı belirtilmiştir.

Bir araştırmada (Patiluna ve ark., 2025), su yoksunluğunun neden olduğu fizyolojik değişikliklerle ilişkili temel spektral bantları belirlemeyi ve süs bitkilerinde su stresinin erken tespiti ile izlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, türe özgü spektral modelleri ortaya çıkararak süs bitkilerindeki su stresini etkili bir şekilde tanımladığı ve izlediği sonucuna varılmıştır. Bunun yanında Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisine dayalı akıllı sulama sistemleri, süs bitkileri üretiminde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Wani ve ark., 2023). Banda-Chávez ve ark. (2018) geliştirdikleri sensör ağı ile Beeson ve Brooks (2006)'da temel aldıkları evapotranspirasyon modeli ile akıllı sulama sistemleri geliştirerek önemli oranda su tasarrufu sağlamışlardır.

Süs bitkileri sektörünün iklim değişikliği, sınırlı kaynaklar ve iş gücü eksikliği gibi küresel baskılar altında, geleneksel üretim yöntemlerinden veri odaklı hassas tarım uygulamalarına doğru kritik bir dönüşüm sürecinden geçtiği görülmektedir. Literatürdeki bulgular incelendiğinde, bu dönüşümün tek tip bir teknolojik entegrasyonla değil; bitki türünün fizyolojik ihtiyaçlarına, üretim ölçeğine ve ekonomik değişkenlere göre şekillenen çok katmanlı bir yapı arz ettiği ortaya çıkmaktadır. Yine bu bulgular, teknolojilerin veri toplama aşamasında yüksek bir olgunluk seviyesine ulaştığını, ancak bu verilerin otonom müdahale süreçlerine dönüştürülmesinde hala önemli engeller bulunduğunu göstermiştir. Akıllı ve hassas tarım teknolojilerinin uygulanma biçimi, hedef bitkinin ekonomik değeri ve yetiştirilme amacına göre belirgin bir uzmanlaşma gerektirdiğini de ortaya koymuştur.

3.2. Süs Bitkilerinde Akıllı ve Hassas Tarımın Uygulanmasında Ortaya Çıkan Zorluklar ve Sınırlılıklar

Araştırmada ele alınan çalışmalarda süs bitkilerinde akıllı ve hassas tarım yöntemleri ve teknolojileri gerçekleştirilirken ortaya çıkan bazı sınırlılıklar ya da zorluklar olduğu gözlenmiştir. En çok karşılaşılan olumsuz durumlara; bitkilerin morfolojik yönden çeşitliliği, çevresel faktörlerin değişkenliği, özellikle görüntüleme teknolojilerinde elde edilen görüntülerdeki veri kayıpları, veri kümelerinin çeşitli olması örnek gösterilebilir. Sınırlılıklar ve zorluklara yönelik olarak çalışmalardan elde edilen bulgulara Tablo 2'de yer verilmiştir.

Tablo 2. PRISMA çerçevesinde belirlenen çalışmalardaki zorluklara ve sınırlılıklara ilişkin bulgular

İlgili çalışma	Zorluklar / Sınırlılıklar
Freeman ve ark., 2019	Kentleşme, tarımın yaygınlaşması, üretimin büyümesi nedeniyle tatlı su kaynakları üzerinde aşırı baskı, yetiştiricilere eğitim zorluğu.
Freidenreich ve ark., 2019	Biyokütle benzerliği, taç gelişiminin tam olmaması nedeniyle sensör okumada zorluklar
Bañón ve ark., 2019	Değişen nem ve sıcaklık koşulları altında tuzluluk ölçümlerinin hassasiyetini sağlamak ve hilhorst modelinin kalibrasyonu.
Traversari ve ark., 2021	Sensörler üzerindeki çevresel etki, hiperspektral kameraların maliyeti ve karmaşıklığı, geleneksel tarımsal uygulamalar
Ruett ve ark., 2022	Yetiştiricilerin risk almaması, sensör teknolojisinin sınırlı uygulanabilirliği, üretim sisteminde veri kıtlığı
Qi, 2023	IoT (Nesnelerin İnterneti) platformların doğrulanması
Lin ve ark., 2024	Laboratuvar uygulamalarının büyük ölçekli seralarda uygulanma zorluğu, büyük ölçekli seralardaki çevresel değişkenlik, yüksek maliyetli görüntüleme teknolojileri, çimlenme fonksiyonlarında uyumsuzluk
Pratama ve ark., 2024	Çevresel etkilerin (su, sıcaklık, ışık yoğunluğu vb.) değişkenliği, karar ağacı algoritmalarının aşırı uyum sorunu, sınırlı veri kümesi sayısı ve çeşitliliği, ölçülmemiş üretim verimi,
Tsai ve Hsu, 2024	Çevre ve aydınlatmadaki koşullar, görüntü gürültüsü, karmaşık görüntü, bitki hastalıkları, görüntüleme sırasındaki veri kayıpları, bitki türü ve hastalıklarının çeşitliliği
Huang ve Yang, 2024	Bitki materyalinin çiçek çeşitliliği, çevresel faktörler, morfolojik değişkenlik, veri kümesine özgü zorluklar, görsel belirsizlik, algoritma kaybı, yanlış pozitifler
Nasra ve ark., 2025	Veri kümesi özellikleri, model özelliği, çevresel değişkenlik
Patiluna ve ark., 2025	Çalışma ortamının kontrollü bir ortam olması, ana bileşen analizinin duyarlılığı ve doğrusalılık varsayımı

Günümüz tarım dünyası, sınırlı arazi kaynakları, iş gücü eksikliği, iklim değişikliği, çevresel zorluklar ve toprak verimliliğindeki azalmalar gibi birçok engelle karşı karşıya kalarak dönüşüm geçirmekte ve yenilikçi yaklaşımlar doğrultusunda çeşitlenmektedir. Çiftçilik, geçmişteki elle çekilen pulluklar ve atlı tarım ekipmanları döneminden günümüze kadar kuşkusuz büyük bir gelişim göstermiştir.

Tarım ve gıda değer zinciri dijitalleşirken bu süreçte çeşitli zorluklar ortaya çıkmıştır. Özellikle küçük ölçekli çiftçiler açısından önemli engeller arasında başlangıç yatırımlarının yüksek maliyetli olması, çiftçilerin dijital okuryazarlık düzeyinin sınırlı kalması, kırsal bölgelerde hızlı ve güvenilir internet erişiminin yetersizliği ile veri güvenliğine ilişkin kaygılar öne çıkmaktadır (Balyan ve ark., 2024). Otomasyon sensörleri ve robotik teknolojilerin tarım sektöründe kullanımı, ekonomik açıdan yüksek maliyetler ve teknik bilgiye yönelik yeni gereksinimler nedeniyle halen erken bir gelişim aşamasında bulunmaktadır. Bu teknolojilere yönelik donanım sistemleri, özellikle geniş arazi alanlarında ağır ekipmanları ya da su, gübre ve böcek ilacı gibi kaynakları etkili bir şekilde taşımaya uygun biçimde tasarlanmalıdır. Akıllı tarımın temelini oluşturan Nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinin yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için sürekli internet bağlantısı kritik bir gereklilik sunmaktadır. Fakat, 4G ve 5G altyapılarının ilerlemesiyle bu bağlantı eksikliğinden kaynaklanan dezavantajların yakın bir gelecekte bertaraf edilmesi öngörülmektedir. Bununla

birlikte, tarım sensörleri ile entegre edilmiş IoT cihazlarının benimsenmesi noktasında paydaşlar genellikle çekimser davranmaktadır. Bu durumu belirleyen unsurlar arasında şebeke altyapısı eksiklikleri ve verici kulelerin yetersizliği gibi sorunlar yer almaktadır (Paul ve ark., 2022). Söz konusu engeller, çiftçilerin üretkenliklerini ve sektörel büyümelerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Süs bitkileri sektörü de artan rekabet, iklim değişkenliği, çevresel etkenler gibi zorluklarla karşı karşıya kalmıştır (Wani ve ark., 2023). Teknolojik gelişmeler, bu zorlukların bir kısmını çözmede önemli bir katkı sağlayabilir. Ancak, bu yeniliklerin, biyolojik çeşitliliğin korunması, rekabet koşullarının gözetilmesi ve bitki hastalıklarının önüne geçilmesi gibi diğer sürdürülebilir uygulamalarla uyum içinde ve sorumlu bir şekilde hayata geçirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Süs bitkileri endüstrisinde IoT tabanlı otomatik sulama sistemleri ile ilgili çalışmaların sınırlı olması, bu teknolojinin tam potansiyelinin henüz ortaya çıkarılmadığını gösterse de diğer sektörlerdeki umut verici uygulamaları süs bitkileri üretiminde önemli avantajlar sağlayabileceğini düşündürmektedir. Ancak, sensörler arasındaki performans farklılıkları ve sensörlerin doğru şekilde konumlandırılması, bu sistemlerin etkinliğini belirleyen kritik unsurlar arasında yer almaktadır. Belirli bir üretim alanında optimum sensör sayısını tespit etmek, sensör doğruluğu ve tutarlılığı, sensör çeşitliliği, üretim alanının mekânsal özellikleri ve ekonomik gereksinim gibi bir dizi faktörü dikkate almak gerekmektedir (Wani ve ark., 2023). Bununla birlikte özellikle kırsal kesimdeki iş gücünün nitelik bakımından yetersiz olması, akıllı tarım teknolojilerinin geniş ölçekte benimsenmesini engelleyen önemli bir sosyoekonomik faktör olarak öne çıkmaktadır (Pivoto ve ark., 2019).

Hassas tarımın küresel ölçekte uygulanmasının önünde bulunan engeller arasında genel olarak teknoloji maliyetleri öne çıkmaktadır, çünkü hassas tarım genelde gelişmiş teknoloji ve sağlam veri altyapısı gerektiren önemli yatırımlarla mümkün olmaktadır. Bir diğer zorluk, veri yönetimi ve analizi; büyük hacimli veri kümelerinin etkin bir şekilde işlenmesi ve yorumlanması genellikle uzman bilgi birikimi veya özel yazılımlar gerektirmektedir. Ve son olarak erişilebilirlik ve eşitlik konusu da dikkat çekmektedir (Eissa, 2024). Tüm bu zorluklara rağmen hassas tarım, veri odaklı ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına geçiş sağlama konusunda önemli bir fırsat sunmaktadır. Çiftçiler, bu teknolojilerden ve bilgilerden yararlanarak kaynaklarını daha etkin kullanabilir, ürün verimliliğini artırabilir ve çevresel etkileri azaltabilir. Bu da daha güvenli ve sürdürülebilir bir gıda sistemi oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada sunulan literatürler incelendiğinde sınırlılıkları ve zorlukları üç kategoride ele almak mümkündür. *i. Teknolojinin ölçeklenebilirliği ve entegrasyon sorunları;* örneğin, küçük insansız hava araçları (sUAS) ve bulut tabanlı yapay zekâ entegrasyonu, geniş alanlarda su stresi yönetimi için etkili bir çözüm sunarken; laboratuvar ortamında geliştirilen hassas sensörlerin (örneğin orkide spor çimlenme sensörleri) büyük ölçekli ve değişken çevresel koşullara sahip ticari seralara uyarlanması, kalibrasyon ve maliyet zorluklarını beraberinde getirmektedir. Ayrıca, Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı sistemlerin başarısının, kırsal bölgelerdeki internet altyapısının (4G/5G) sürekliliği ve enerji güvenliği ile sıkı bir ilişki vardır. Dolayısıyla, teknolojinin laboratuvardan sahaya taşınması sürecinde, çevresel faktörlerin değişkenliği ve donanım maliyetleri ölçeklenebilirliği sınırlayan temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. *ii. Bitki türüne göre farklılaşan teknolojik çözümler;* kesme

çiçeklerde (gül, krizantem vb.) odak noktası, ürünün pazar değerini belirleyen estetik ve raf ömrüdür. Bu bağlamda, termal görüntüleme ve makine öğrenimi algoritmaları, vazo ömrünü tahmin etmek ve yaşlanma evrelerini izlemek amacıyla yoğun olarak kullanılmaktadır. Buna karşılık, birim maliyeti yüksek olan orkide gibi türlerde, hastalıkların erken tespiti büyük ekonomik kayıpları önlediği için derin öğrenme (CNN, REXnet) ve IoT tabanlı erken uyarı sistemleri tercih edilmektedir. Diğer yandan, süs çalıları ve dış mekân bitkilerinde ise teknolojinin odak noktası, su ve gübre kullanımını optimize ederek çevresel sürdürülebilirliği sağlamaktır. Bu grupta, toprak dielektrik sensörleri ve hiperspektral görüntüleme gibi araçlarla kök bölgesi yönetimi ve tuzluluk takibi ön plana çıkmaktadır. *iii. Sosyo-ekonomik dinamikler ve sürdürülebilirlik*; teknolojik ilerlemelere rağmen, akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel teknik yetersizlikten ziyade sosyo-ekonomik faktörlerdir. Özellikle kurulum maliyetlerinin yüksekliği ve yatırımın geri dönüş süresindeki belirsizlikler, küçük ölçekli üreticilerin risk alma isteğini azaltmaktadır. Ayrıca sektörde yaşanan "iş gücü paradoksu" dikkat çekicidir; otomasyon sistemleri vasıfsız iş gücüne olan ihtiyacı azaltırken, verileri yorumlayabilecek ve dijital sistemleri yönetecek nitelikli iş gücü ihtiyacını artırmaktadır. Bu durum, kırsal kesimdeki eğitim ve dijital okuryazarlık eksikliği ile birleştiğinde, teknolojinin benimsenmesini yavaşlatan yapısal bir sorun haline gelmektedir. Bununla birlikte, sensör tabanlı gübreleme ve sulama sistemlerinin kimyasal kullanımını ve su israfını azalttığına dair kanıtlar, hassas tarımın sadece ekonomik bir tercih değil, çevresel sürdürülebilirlik açısından bir zorunluluk olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu sistematik derleme süs bitkilerinde akıllı ve hassas tarım teknolojilerini, uygulamalarını, zorlukları ve sınırlılıkları incelemiştir. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyara ulaşması beklenmekte ve bu durum, tarım sektörünü ciddi bir baskı altına sokarak mahsul verimini ve üretkenliği artırma ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Yaklaşan gıda krizini önlemek adına iki temel stratejinin öne çıktığını görmekteyiz: bir yandan yenilikçi yaklaşımlar ve teknolojik ilerlemelerle mevcut tarım arazilerinin verimliliği artırılmaya çalışılırken, diğer yandan arazi kullanımını genişletip büyük ölçekli tarım yöntemlerini uygulamak gündeme gelmektedir (Paul ve ark., 2022; Balyan ve ark., 2024). Dünya nüfusunun giderek artması ve küresel iklim koşullarının daha zorlu hale gelmesi, tarımsal üretim faaliyetlerinin küresel gıda talebine uyum sağlayarak sürdürülebilir bir yapıya dönüşmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, akıllı ve hassas tarım ile nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ ve derin öğrenme gibi çözümler tarımsal verimliliği artırmak, israfı minimize etmek, maliyetleri düşürmek ve kaynak kullanımını optimize etmek gibi amaçlarla geliştirilip uygulanabilme potansiyeline sahiptir (Barreto ve Amaral, 2018). Özellikle ekim yapılan toprağın durumunun akıllı cihazlar aracılığıyla anlık olarak izlenmesi, çiftçilerin kaynakları daha etkili bir şekilde yönetmesine imkân tanıyarak tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirlik ilkesine uygun bir biçimde ilerlemesine katkı sağlayacaktır.

Tarım sektörü, giderek büyüyen şu sorunlarla başa çıkmak zorundadır:

- Değişen tüketici tercihleri,
- Çevre tahribatı,
- İş gücü yetersizliği,
- Nüfus artışı,

- Beslenme alışkanlıklarındaki değişimler.

Bu doğrultuda, tarımsal üretimde dijitalleşme şu kapsamlı avantajları beraberinde getirmektedir (Balyan ve ark., 2024):

- Verimli kaynak kullanımı,
- Düşük maliyetler,
- Çiftçilerin yaşam standartlarının iyileştirilmesi,
- Ekonomik gelişim,
- Çevresel sürdürülebilirlik.

Örneğin; görüntüleme teknolojilerinin süs bitkisi sektörü için değerli bir araç olduğu kanıtlanmış, özellikle bitki hastalıklarının tespit edilmesi ve önlem alınması, büyüme koşullarının optimize edilmesi ve ürün kalitesini iyileştirme potansiyelleri keşfedilmiştir (Wani ve ark., 2023). Nesnelerin interneti, yapay zekâ ve makine öğrenimi çiçek üretimi ve tedarik zinciri yönetiminde verimlilik, kalite ve sürdürülebilirlik faktörlerini iyileştirme konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Veri analizi ve ileriye dönük tahmin mekanizmaları aracılığıyla (Talaviya ve ark., 2020), üreticilerin yetiştirme şartlarını optimize etmesine, bitki hastalıklarını erken dönemde teşhis edip önlemesine olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, yapay zekâ tüketicilere daha yüksek kaliteli çiçekler sunmayı hedefleyen lojistik süreçlerin geliştirilmesinde de etkin bir rol oynayabilir.

Süs bitkileri sektöründe akıllı tarım teknolojileri; bitki sağlığı izleme, kaynak verimliliği ve hastalık yönetimi konularında umut verici çözümler sunmaktadır. Ancak bu teknolojilerin sürdürülebilir bir başarıya ulaşması şunlara bağlıdır:

- Yalnızca algoritmaların doğruluğuna değil,
- Sistemlerin ekonomik olarak erişilebilir olmasına,
- Kullanıcı dostu arayüzlerle çiftçi adaptasyonunun sağlanmasına,
- Kırsal altyapı sorunlarının giderilmesine.

Gelecek çalışmaların, teknolojiyi laboratuvar ortamından çıkarıp, üreticilerin sosyo-ekonomik gerçekleriyle uyumlu, ölçeklenebilir ve pratik çözümler geliştirmeye odaklanması sektörün gelişimi açısından hayati önem taşımaktadır.

Süs bitkileri sektörü, hala geleneksel ve yüksek girdi odaklı tarım sistemlerine dayanıyor olsa da bu yeniliklerin hem açık alanlarda hem de sera koşullarında mevcut bitki koruma stratejilerini geliştirmesi ve aynı zamanda süs bitkilerinin sürdürülebilir üretimine geçişi hızlandırması gerekiyor (Traversari ve ark., 2021). Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, süs bitkilerinde akıllı ve hassas tarım araştırmalarını daha ileriye taşıyabilmek için belirli odak noktaları ve geleceğe dönük olarak; çiçek kalitesi ve renk doygunluğu, hastalıkların erken tespiti, genellenebilir açık veri küme setleri, çiçek sayısı ve büyüklüğü, kalite bağlamında sınıflandırma modelleri gibi pek çok unsurların derin öğrenme, yapay zekâ, sensörler ve IoT teknolojisiyle entegre sistemlerin şu unsurlar üzerine çalışılması önerilmektedir:

- Çiçek kalitesi ve renk doygunluğu,
- Hastalıkların erken tespiti,
- Genellenebilir açık veri küme setleri,
- Çiçek sayısı ve büyüklüğü,
- Kalite bağlamında sınıflandırma modelleri.

5. Kaynaklar

- Abarna, J., & Selvakumar, A. (2015). Rose flower harvesting robot. *International Journal of Applied Engineering*, 4216–4222.
- Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry - A systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agriculture. Technology*, 2, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>
- Adli, H. K., Remli, M. A., Wan Salihin Wong, K. N. S., Ismail, N. A., González-Briones, A., Corchado, J. M., & Mohamad, M. S. (2023). Recent advancements and challenges of a IoT application in smart agriculture: A review. *Sensors*, 23, 3752. <https://doi.org/10.3390/s23073752>
- Ahmed, B., Shabbir, H., Naqvi, S. R., & Peng, L. (2024). Smart agriculture: Current state, opportunities and challenges. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Access*, 12, 144456-144478. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3471647>
- Alahmadi, A. N., Rehman, S. U., Alhazmi, H. S., Glynn, D. G., Shoaib, H., & Solé, P. (2022). Cyber-security threats and side-channel attacks for digital agriculture. *Sensors*, 22(9), 3520. <https://doi.org/10.3390/s22093520>
- Alves, R. G., Souza, G., Maia, R. F., Tran, A. L. H., Kamienski, C., Soininen, J. P., Aquino, P. T., & Lima, F. (2019). *A digital twin for smart farming*. In IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 1-4. <https://doi.org/10.1109/GHTC46095.2019.9033075>
- Anuga, S. W., Gordon, C., Boon, E., & Surugu, J. M. I. (2019). Determinants of climate smart agriculture (CSA) adoption among smallholder food crop farmers in the Techiman Municipality, Ghana. *Ghana Journal of Geography*, 11(1), 124-139. <https://dx.doi.org/10.4314/gjg.v11i1.8>
- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Access*, 7, 129551–129583. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609>
- Balyan, S., Jangir, H., Tripathi, S. N., Tripathi, A., Jhang, T., & Pandey, P. (2024). Seeding a sustainable future: Navigating the digital horizon of smart agriculture. *Sustainability*, 16(2), 475. <https://doi.org/10.3390/su16020475>
- Banda-Chávez, J. M., Pablo Serrano-Rubio, J., Osvaldo Manjarrez-Carrillo, A., Maria Rodriguez-Vidal, L., & Herrera-Guzman, R. (2018). *Intelligent wireless sensor network for ornamental plant care*. In Proceedings of the IECON 2018—44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington, DC, USA, October 2018, <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591644>
- Bañón, S., Ochoa, J., Bañón, D., Ortuño, M. F., & Sánchez-Blanco, M. J. (2019). Controlling salt flushing using a salinity index obtained by soil dielectric sensors improves the physiological status and quality of potted hydrangea plant. *Scientia Horticulturae*, 247, 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.026>
- Barreto, L., & Amaral, A. (2018). *Smart farming: Cyber security challenges*. In 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS), September, 870-876. <https://doi.org/10.1109/IS.2018.8710531>

Beeson, R. C., & Brooks, J. (2006). *Evaluation of a model based on reference crop evapotranspiration (ET_o) for precision irrigation using overhead sprinklers during nursery production of Ligustrum Japonica*. V. International Symposium on Irrigation Horticultural Crops, 792, 85–90. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.792.7>

Bhakta, I., Phadikar, S., & Majumder, K. (2019). State-of-the-art technologies in precision agriculture: A systematic review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(11), 4878-4888. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9693>

Blasch, J., van der Kroon, B., van Beukering, P., Munster, R., Fabiani, S., Nino, P., & Vanino, S. (2022). Farmer preferences for adopting precision farming technologies: A case study from Italy. *European Review of Agricultural Economics*, 49(1), 33-81. <https://doi.org/10.1093/erae/jbaa031>

Cardoso, J. C., & Vendrame, W. A. (2022). Innovation in propagation and cultivation of ornamental plants. *Horticulturae*, 8(3), 229. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030229>

Carolan, M. (2020). Automated agri-food futures: Robotics, labor and the distributive politics of digital agriculture. *Journal of Peasant Studies*, 47(1), 184–207. <https://doi.org/10.1080/03066150.2019.1584189>

Choi, S. Y., & Lee, A. K. (2020). Development of a cut rose longevity prediction model using thermography and machine learning. *Horticultural Science and Technology*, 38(5), 675-685. <https://doi.org/10.7235/HORT.20200061>

Data Bridge Market Research. (2022). Global Flowers and Ornamental Plants Market – Industry Trends and Forecast to 2029. <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-flowers-and-ornamental-plants-market#:~:text=Market%20Analysis%20and%20Size&text=Data%20Bridge%20Market%20Research%20analyses,forecast%20period%20of%202022%2D2029>. Erişim Tarihi: 22.08.2025

DGAGRI-G2 (2020). Horticultural products. In *Flowers and Ornamental Plants—Production; Statistics 2010–2019; European Commission Working Document*. Publications Office of the European Union: Luxembourg, Luxembourg. https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2020-06/flowers-ornamental-plants-statistics_en_0.pdf Erişim Tarihi: 16.08.2025

Eissa, M. (2024). Precision agriculture using artificial intelligence and robotics. *Journal of Research in Agriculture and Food Sciences*, 1(2), 35-52. <https://doi.org/10.5455/JRAFS.20240404014009>

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O’Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337–342. <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nature10452>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). *Feeding the world in 2050*. <https://www.fao.org/4/k6021e/k6021e.pdf> Erişim Tarihi: 16.08.2025

Freeman, D., Gupta, S., Smith, D. H., Maja, J. M., Robbins, J., Owen Jr, J. S., Peña, J. M., & Castro, A. I. (2019). Watson on the farm: Using cloud-based artificial intelligence

- to identify early indicators of water stress. *Remote Sensing*, 11(22), 2645. <https://doi.org/10.3390/rs11222645>
- Freidenreich, A., Barraza, G., Jayachandran, K., & Khoddamzadeh, A. A. (2019). Precision agriculture application for sustainable nitrogen management of *Justicia brandegeana* using optical sensor technology. *Agriculture*, 9(5), 98. <https://doi.org/10.3390/agriculture9050098>
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., Escalona, J., & Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agriculture Water Management*, 153, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>
- Giovannini, A., Laura, M., Nesi, B., Savona, M., & Cardi, T. (2021). Genes and genome editing tools for breeding desirable phenotypes in ornamentals. *Plant Cell Reports*, 40(3), 461–478. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02632-x>
- Goel, R., & Gupta, P. (2020). Robotics and Industry 4.0. (Ed: Nayyar, A., Kumar, A.), *A Road Map to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development*, Springer: Cham, Switzerland, 157–169. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-14544-6>
- Gomiero, T. (2019). Soil and crop management to save food and enhance food security. (Ed: Galanakis, C.M.), *Saving Food*, Academic Press: Cambridge, MA, USA, 33–87. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00002-X>
- Hendricks, J., Briercliffe, T., Oosterom, B., Treer, A., Kok, G., Edwards, T., & Kong, H. (2019). *Productions and Markets, The Future of Ornamentals*. AIPH, International Association of Horticultural Producers: Oxfordshire, UK.
- Huang, Y., & Wang, Y. (2024). Exploring enhanced object detection and classification methods for Alstroemeria genus morado. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(5), 1143–1150. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2024.01505116>
- Huylenbroeck, J. V., & Bhattarai, K. (2022). Ornamental plant breeding: entering a new era?. *Ornamental Horticulture*, 28(3), 297–305. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i3.2516>
- K., M. M. P., Pagariya, M. C., Jadhav, P. R., Gawade, N. S., Sarode, D. K., Karkute, S. G., Kardile, H. B., Deshmukh, R., Penna, S., & Kwar, P. G. (2025). Advancing ornamental plant breeding through genomic technologies: opportunities, challenges, and future directions. *Functional and Integrative Genomics*, 25(140), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10142-025-01640-y>
- Kashyap, P. K., Kumar, S., Jaiswal, A., Prasad, M., & Gandomi, A. H. (2021). Towards precision agriculture: IoT-Enabled intelligent irrigation systems using deep learning neural network. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17479–17491. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3069266>
- Kawollek, M., & Rath, T. (2008). Robotic harvest of cut flowers based on image processing by using *Gerbera jamesonii* as model plant. *Acta Horticulturae*, 801, 557–564. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.62>
- Khan, N., Ray, R. L., Zhang, S., Osabuohien, E., & Ihtisham, M. (2022). Influence of mobile phone and internet technology on income of rural farmers: Evidence from

- Khyber Pakhtunkhwa Province, Pakistan. *Technology in Society*, 68, 101866. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101866>
- Kocian, A., Massa, D., Cannazzaro, S., Incrocci, L., Di Lonardo, S., Milazzo, P., & Chessa, S. (2020). Dynamic Bayesian network for crop growth prediction in greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105167. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105167>
- Li, W., Clark, B., Taylor, J.A., Kendall, H., Jones, G., Li, Z., Jin, S., Zhao, C., Yang, G., Shuai, C., Cheng, X., Chen, J., Yang, H., & Frewer, L. J. (2020). A hybrid modelling approach to understanding adoption of precision agriculture technologies in Chinese cropping systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172, 105305. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105305>
- Li, Y., Luo, J., Liu, Z., Wu, D., & Zhang, C. (2023). A personalized and smart flowerpot enabled by 3D printing and cloud technology for ornamental horticulture. *Sensors*, 23(13), 6116. <https://doi.org/10.3390/s23136116>
- Liakos V., & Mavridis P. (2019). *Sensor networks in precision agriculture*. In: Precision agriculture technologies for crop improvement. Springer, Cham, Switzerland, 15–32, 2019.
- Lin, Y. B., Chen, Y. T., Hsieh, W. J., Chen, W. L., Lin, Y. W., & Sun, E. (2024). Design of a spore germination sensor for orchids. *IEEE Sensors Letters*, 9(12). <https://doi.org/10.1109/LSSENS.2024.3520018>
- Mahmud, M. S., Zahid, A., Das, A. K. (2023). Sensing and automation technologies for ornamental nursery crop production: Current status and future prospects. *Sensors*, 23(4), 1818. <https://doi.org/10.3390/s23041818>
- Nasra, P., Singh, J., Rani, S., Shandilya, G., Bharany, S., Sood, S., Rehman, A. U., & Hussien, S. (2025). Optimized ReXNet variants with spatial pyramid pooling, CoordAttention, and convolutional block attention module for money plant disease detection. *Discover Sustainability*, 6(1), 391. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01241-6>
- Ni, L., Boonsub, P., & Tao, X. (2025). Exploring the bridge between digital transformation and sustainable supply chain performance: An empirical study based on Yunnan fresh cut flower supply chain. *Journal of Project Management*, 10(2), 185–440. <https://doi.org/10.5267/j.jpjpm.2025.3.002>
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & McKenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, 1–36. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Patiluna, V., Owen Jr. J., Maja, J. M., Neupane, J., Behmann, J., Bohnenkamp, D., ... & de Castro, A. (2025). Using hyperspectral imaging and principal component analysis to detect and monitor water stress in ornamental plants. *Remote Sensing*, 17(2), 285. <https://doi.org/10.3390/rs17020285>
- Paul, K., Chatterjee, S. S., Pai, P., Varshney, A., Juikar, S., Prasad, V., Bhadra, B., & Dasgupta, S. (2022). Viable smart sensors and their application in data driven agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107096. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107096>

- Pivoto, D., Barham, B., Waquil, P. D., Foguesatto, C. R., Dalla Corte, V. F., Zhang, D., & Talamini, E. (2019). Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. *International Food and Agribusiness Management Review*, 22(4), 571-588. <https://doi.org/10.22434/ifamr2018.0086>
- Pivoto, D., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P. S., Corte, V. F. D., & Mores, G. D. V. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 21–32. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214317316301184>
- Pratama, H. P., Putri, D. I. H., Putri, H. E., Irawan, E. N., & Kautsar, M. A. R. (2024). Smart watering of ornamental plants: exploring the potential of decision trees in precision agriculture based on IoT. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 15(1), 82-92. <https://doi.org/10.55981/j.mev.2024.963>
- Qi, T. Z. (2023). *A review of solar dc microgrids design for smart farming in a New Zealand lifestyle block*. 2023 IEEE Fifth International Conference on DC Microgrids (ICDCM), November, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICDCM54452.2023.10433636>
- Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers Sustainable Food Systems*, 2, 87. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Ruett, M., Dalhaus, T., Whitney, C., & Luedeling, E. (2022). Assessing expected utility and profitability to support decision-making for disease control strategies in ornamental heather production. *Precision Agriculture*, 23(5), 1775-1800. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09909-z>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Shepherd, M., Turner, J.A., Small, B., & Wheeler, D. (2020). Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the ‘digital agriculture’ revolution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 5083–5092. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>
- Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote Sensing*, 12(19), 3136. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>
- Süs Bitkileri Üreticileri Alt Birliği (SÜSBİR). (2025). Süs Bitkileri Sektör Raporu. <https://www.susbir.org.tr/belgeler/raporlar/susbir-sektor-raporu-2025.pdf#page=2.08> Erişim Tarihi: 22.08.2025
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>
- Traversari, S., Cacini, S., Galieni, A., Nesi, B., Nicastro, N., & Pane, C. (2021). Precision agriculture digital technologies for sustainable fungal disease management of ornamental plants. *Sustainability*, 13(7), 3707. <https://doi.org/10.3390/su13073707>
- Tsai, Y. H., & Hsu, T. C. (2024). *An effective deep neural network in edge computing enabled Internet of Things for plant diseases monitoring*. In Proceedings of the

- IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision, 695-699.
<https://doi.org/10.1109/wacvw60836.2024.00081>
- Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2021). Advances in IoT and smart sensors for remote sensing and agriculture applications. *Remote Sensing*, 13(13), 2585.
<https://doi.org/10.3390/rs13132585>
- Vecchio, Y., De Rosa, M., Adinolfi, F., Bartoli, L., & Masi, M. (2020). Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. *Land Use Policy*, 94, 104481.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104481>
- Wani, M. A., Din, A., Nazki, I. T., Rehman, T. U., Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., ... & Mushtaq, M. (2023). Navigating the future: exploring technological advancements and emerging trends in the sustainable ornamental industry. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1188643. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1188643>
- Weersink, A., Fraser, E., Pannell, D., Duncan, E., & Rotz, S. (2018). Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annual Review Resource Economics*, 10, 19–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>