

## BÖLÜM 9

### AKILLI TARIM TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

Ali ÇAYLI<sup>1</sup>

#### GİRİŞ

Bilişim teknolojilerindeki gelişmelerin tarımsal sistemlere entegre edilmesi, tarımsal üretimde büyük bir etki oluşturmuştur. Bir bilgisayar ağı olan İnternet, 90'lı yıllarda ortaya çıktığında belki de günümüzdeki kadar geniş alanda vazgeçilmez bir araç olacağı beklenmemiştir. Ancak İnternet sayesinde bilginin hızla çoğalması ve yaygınlaşması, insan zekâsının katkısıyla, adım adım yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve kullanıma sunulmasına olanak sağlamıştır. Bu gelişmelerin son geldiği nokta olan yapay zekâ, aslında makineler ve bilgisayarlar aracılığıyla insan benzeri düşünme yeteneği geliştirmek, problemleri çözmek, öğrenmek, kararlar vermek ve dil gibi zihinsel süreçleri taklit etmek için çalışan sistemleri ifade etmektedir (1). McCarthy ve ark. (2), ise yapay zekânın, 'bir bilgisayarın bir insan gibi düşünmesi ve insan benzeri davranışlar sergilemesi' yeteneği ile ilgilendiğini ifade etmiştir. Simon (3), yapay zekâyı, 'insanların düşünme biçimini anlamak ve bu düşünme biçimini makinelerde uygulamak amacıyla tasarlanmış bir araştırma alanıdır' şeklinde tanımlamıştır. Yapay zekânın tarihsel sürecine bakıldığında 1950'li yıllardan itibaren çeşitli alanlarda kullanılmış ve geliştirilmiştir. Örneğin doğal dil işleme alanında 1950'lerden itibaren, yapay zekâ dil işleme aracı olarak önemli ilerlemeler kaydetmiştir. İlk doğal dil işleme yazılımı olan ELIZA gibi sistemler, insanlarla yazılı dilde etkileşim kurma yeteneğine sahiptir (4). Günümüzde doğal dil işleme yazılımları oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir ve metin analizi, konuşma tanıma ve çeviri gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Yapay zekânın bir başka kullanım alanı ise oyun ve oyun teorisi geliştirmektir. Özellikle satranç gibi strateji oyunlarındaki rakipleri yenme yeteneklerini geliştirmek için kullanılmıştır. IBM'in Deep Blue adlı satranç programı, 1997'de dünya şampiyonu Garry Kasparov'u yendiğinde

<sup>1</sup> Doç. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, alicayli@ksu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-8332-2264

önemli bir dönüm noktası aşılmıştır (5). Ayrıca, video oyunlarında rakipler veya karakterler üzerinde yapay zekâ kullanımı da oldukça yaygındır. Ayrıca yapay zekâ, görüntülerdeki nesnelere tanıma ve sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu alan, özellikle tıp (örneğin, radyoloji görüntülerinin analizi), otomasyon (örneğin, otonom araçlar) ve güvenlik (örneğin, yüz tanıma) gibi birçok uygulama içermektedir. (6-9)

Yapay zekânın gelişiminde makine öğrenimi ve derin öğrenme yöntemleri büyük rol oynamıştır. Bu yöntemler, algoritmaların büyük veri kümelerinden öğrenmesini ve karmaşık görevleri yerine getirmesini sağlamaktadır. Özellikle tahmin analitiği, görüntü sınıflandırma ve konuşma tanıma gibi uygulamalarda oldukça etkili sonuçlar vermektedir. Yapay zekâ, otonom araçlar (örneğin, otonom otomobiller) ve robotlar üzerinde kullanılarak bu cihazların çevrelerini algılamaları ve karmaşık görevleri yerine getirmeleri sağlamaktadır. Ayrıca sağlık ve tıp alanında hastalık teşhisi, tedavi önerileri ve hasta bakımını iyileştirmek için önemli bir araç haline gelmiştir. Özellikle radyoloji, patoloji ve ilaç geliştirme alanlarında yapay zekâ kullanımı yaygınlaşmıştır. Aynı zamanda finansal hizmetler alanında bulunan finansal piyasa analizi, risk yönetimi ve müşteri hizmetlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (10-15).

Akıllı tarım uygulamaları, hem çiftçilere hem de tüketicilere fayda sağlayan önemli bir gelişmedir ve bilgi-iletişim teknolojisinin kırsal ortamlara entegrasyonunu hızlandırmış ve tarım sektörünü daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmiştir (16). Son yıllarda dünya çapında yaşanan aşırı hava olayları ve buna bağlı yapılan çalışmalar, küresel ısınma nedeniyle küresel iklim değişikliğinin tarımsal üretim sistemleri üzerindeki etkilerinin daha dikkatli araştırılmasını ve acil çözüm üretilmesini zorunlu hale getirmiştir (17).

Yapay zekâ ve makine öğrenimi ile geliştirilen akıllı tarım uygulamaları; tarım sektörünü olumsuz etkileyen, iklim değişikliği, su kaynaklarının kirlenmesi ve azalması, mahsul verimliliği ve kaynakların daha verimli kullanılması gibi sorunların çözümüne katkı sağlayabilir. Bu çalışmada akıllı tarımın bitkisel ve hayvansal üretimdeki uygulamaları incelenmiştir. Bu doğrultuda akıllı tarımın birer unsuru olarak karşımıza çıkan ve son yıllarda hemen hemen her alanda karşılaşılan Internet of Things (IoT), bulut bilişim, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi yeni teknolojiler sunulmaya çalışılacaktır.

## **BULUT TABANLI IOT**

Akıllı tarım, gerçek zamanlı, uzaktan desteklenen ve çiftlik yönetimine ilişkin akıllı yöntemler geliştiren hassas tarımın bir evrimidir (18) ve tarım sektöründeki

bir dizi soruna çözümler getirebilir. Bu sorunların başında iklim değişikliği, su sıkıntısı, verimlilik artışı ile arazi ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması gibi konular gelmektedir. İklim değişikliği göz önüne alındığında, tarım sektörü bu değişikliğin etkileri ile daha fazla karşı karşıyadır. Akıllı tarım uygulamaları, çiftçilere hava tahminleri ve iklim değişikliğinin etkileri hakkında sürekli güncel bilgi sunarak bu zorlukların üstesinden gelmelerine yardımcı olabilir (19). Örneğin iklim değişikliğinin sebep olduğu hava olaylarındaki düzensizliklerin güncel olarak izlenmesi ve toplanan verilerin analiz edilmesi ile geliştirilecek yeni iklimsel modeller, çiftçilere yerel hava tahminlerini daha büyük bir doğrulukla yapmalarını sağlayabilir. Toplanan bu bilgiler, ekim zamanlaması ve hasat planlaması gibi üretim sürecindeki kararları optimize etmelerinde çiftçilere yardımcı olabilir.

Tarım sektörü, teknolojik gelişmelerin etkisi altında hızla dönüşmekte ve akıllı tarım uygulamaları bu değişimin öncüsü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dönüşümün temel taşları arasında IoT ve makine öğrenimi gibi yeni teknolojiler bulunmaktadır. Bu teknolojiler, tarımsal veri toplama, işleme ve karar verme süreçlerinde çiftçilere ve tarım sektörüne önemli destekler sunmaktadır.

Bu alanda yapılan çalışmalardan birisinde Muniasamy (20), akıllı tarıma yönelik tarımsal veri toplama, işleme ve karar verme hizmetlerinde IoT ve yapay zekâ tekniklerinin sağladığı destekleri ele aldığı çalışmasında akıllı tarım tekniklerinin uygulanmasına yönelik genel eğilimleri, bunun zorluklarını ve çöl bölgelerinde farklı ekim tekniklerini tartışmıştır. Ahmed ve ark. (21) ise IoT'nin, akıllı tarım ve iklim değişikliği gibi çeşitli alanlarda verimli ve güvenilir çözümler sunan önemli bir teknoloji olduğunu, birbiriyle iletişim kurabilen milyarlarca akıllı cihazın entegre edilmesi ile tarım alanlarının otomatik olarak bakımı ve izlenmesi gibi çözümler sunduğunu ve IoT, yapay zekâ ve blok zincir teknolojisinin birleşimi ile akıllı tarımı akıllı tarımın internetine dönüştürmemize olanak tanıyacak ve tedarik zinciri ağlarında daha fazla kontrol, yönetim ve güvenlik sağlanabileceğini bildirmiştir. Tao ve ark. (22) ise, iklim-ürün ilişkilerini, iklimdeki son eğilimleri ve bunun verim üzerindeki etkilerini Çin'de il ölçeğinde araştırmış, hava koşullarının izlenmesi ve hava tahminleri gibi akıllı tarım uygulamalarının çiftçilere ekim zamanlaması, sulama, gübre kullanımı ve hastalık kontrolü gibi kritik tarım kararlarını optimize etmelerine ve bu tür uygulamaların ürün verimliliğini artırarak iklim değişikliği koşullarında daha sürdürülebilir tarım uygulamaları geliştirmeye yardımcı olabileceğini bildirmiştir. Akıllı tarım uygulamalarının çiftçi kararlarının nasıl etkilediğini inceleyen bir başka çalışmada araştırmacılar, hava koşullarının izlenmesinin ve hava tahminlerinin tarımsal verimlilik üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve bir araç seti geliştirmişlerdir. Bu araç setinin araç setinin çiftçilere ekim zamanı ve sulama programlarını nasıl düzenlemeleri gerektiği konusunda yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir (23).

Bulut bilişim ve IoT, makine öğrenimi gibi teknolojilerle birleşerek tarım sektörünün verimliliğini artırarak, iklim değişikliğiyle başa çıkmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu, tarımın gelecekte daha sürdürülebilir ve verimli hale gelmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle, tarım sektörünün bu teknolojik dönüşüme olan katkısı büyüyecek ve gelecekte daha da iyi anlaşılacaktır.

## **SULAMA VE SU YÖNETİMİ**

Artan nüfus ve gıda talebi, sınırlı toprak ve su kaynaklarıyla birleşince, 21. yüzyılda sulama sistemlerinin geliştirilmesi ve performansının izlenmesi kaçınılmaz hale gelmektedir (24). Su mevcudiyetinin azaldığı bir dünyada, su kullanımının tamamen optimize edilmesi, tatlı suyun ana kullanıcısı olan sulu tarım sistemlerinin yönetiminin iyileştirilmesi ve bu kıt kaynaktan mümkün olduğunca tasarruf edilmesi gerekmektedir (25). Ancak bu karmaşık sistemlerin farklı yapıda olması ve anlık değişimleri, bu kaynağın günlük yönetimini zorlaştırmaktadır. Yeni bilgi ve iletişim teknolojileri ile yapay zekâ teknikleri, bu karmaşık ve değişken sistemleri anlamaya yardımcı olmakta ve daha iyi yönetmeyi mümkün kılmaktadır (26). Su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılması, özellikle su sıkıntısı yaşanan bölgelerde kritik öneme sahiptir. Akıllı tarım uygulamaları, toprak nem ölçümleri ve hava tahminleri ve makine öğrenme ve yapay zekâ kullanarak sulama stratejilerini otomatik olarak optimize etmekte ve bu sayede su tasarrufu sağlanabilmektedir.

Bu alanda yapılmış çalışmalardan birisinde Simunek ve ark. (27) toprak nem sensörleri kullanarak toprak nem seviyelerini izleyecek, üç boyutlu değişken doymuş ortamlarda su, ısı ve çözünen madde hareketini simüle etmeye yönelik bir uygulama geliştirmişler ve sulama gereksinimlerini belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Roy ve ark. (28), IoT tabanlı dinamik sulama planlama sistemi tasarlamışlardır. Bu sistem tarımsal ürünün farklı gelişme dönemleri için gerçek zamanlı, uzaktan sulama işlemi (sulama otomasyonu) sağlayabilmektedir. Aynı zamanda düşük maliyetli bir su seviye sensörü, bir alanda mevcut su miktarını ölçmek için geliştirilmiştir. Araştırmacılar, bu sistemin geleneksel sulama yöntemine göre ürün verimliliğini en fazla %10,21 oranında artırmaya yardımcı olduğunu, ağın ömrünü ise mevcut sisteme göre 2,5 kat daha fazla uzattığını bildirmişlerdir. Pardossi ve ark. (29)'da yaptıkları çalışmada sulama planlaması için bir makine öğrenme yöntemi ile uygulama modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modellerden birisi, ertesi gün toprak profilindeki toplam su miktarı diğeri ise bir sezondaki çevre koşullarına göre verimi tahmin etmek ve ardından net getiriyi ölçmek için kullanılmıştır. Tahminleri, yapay sinir ağı, uzun kısa süreli bellek ve evrişimli sinir ağı ile yapmışlardır. Geliştirdikleri model verimde %11 artış ve su

tüketiminde %20-30 tasarruf sağlamıştır. Perea (26), çalışmasında, yöneticilere yönelik bir hafta sonrası için saha ölçüğünde su talebi tahminine dayalı yeni bir araç geliştirmişlerdir. Bu araç, yapay zekâ tekniklerini, uydu ile uzaktan algılamayı ve açık kaynaklı iklim verilerini birleştirerek bir hafta önceden çiftlik ölçüğünde otomatik olarak su tahmin modeli oluşturmakta ve bu modelin uygulanması ile %17 ila %19 arasında değişen doğrulukta ve %80'den yüksek temsil edilebilirliğe sahip bir dizi optimum model elde etmişlerdir. Sulama suyu kontrolüne yönelik çeşitli yöntemlerin yanı sıra su kalitesi analizi de uygulanmıştır (30). Kamienski ve ark. (31), tarladaki su ihtiyacının belirlenmesi için önerdikleri otomatik sulama sisteminde, sensörler, toprak nemi, toprak sıcaklığı ve toprak bünyesi gibi farklı faktörlere ilişkin verileri tarlanın farklı noktalarından toplamışlar ve Bayes tekniği ile gerekli su miktarını tahmin etmişlerdir. Xie ve ark. (32), yaptıkları çalışmada, aşırı sulamayı önlemek için yalnızca saatlik hava durumu tahminini değil, aynı zamanda elektrik tasarrufu yaparak sulama maliyetini en aza indirgeyen zamana bağlı fiyat modelinin de dikkate alındığı, bir sulama programı önermişlerdir. Yaptıkları simülasyon çalışmalarında, önerilen yöntemin topraktaki su içeriğinin izlenmesine dayalı sulama programına kıyasla %7,97 su ve enerji kaynağı tasarrufu sağlayabildiğini ve amorti edilmiş maliyetini %25,34 oranında azaltabildiğini rapor etmişlerdir. Chen ve ark. (33), ise bir sulama öneri sistemi tasarlamışlardır. Bu sistemde, çeşitli tahmin modellerini kullanarak çeşitli regresyon ve sınıflandırma algoritmaları uygulanmış ve gerçek zamanlı kontrolü mümkün kılmak için hava durumu sensörleri, meteorolojik ve sensör tabanlı sistemler dahil olmak üzere farklı kaynaklardan gelen veriler kullanılmıştır. Subashini ve ark. (34) ışık yoğunluğu, nem, toprak nemi ve sıcaklığını izlemek için IoT tabanlı akıllı tarım sistemi önermiş ve bir otomatik sulama sistemi geliştirmişlerdir. Çeşitli çevresel parametreleri ölçmek için düşük maliyetli sensörler kullanmışlar ve ölçülen verileri, bir Wi-Fi modülü ile merkezi sunucuya aktarmışlardır. Sulama pompasını bir mikro işlemciye bağlayarak hava sıcaklığı ve toprak nem seviyesine göre otomatik olarak çalıştırmışlardır. Sureephong ve ark. (35), akıllı sulama sistemi için IoT tabanlı toprak ıslanma cephesi dedektörü (WFD) tasarımının nasıl geliştirilebileceğine odaklanan entegre sisteminin prototipini araştırmışlardır. Ampirik çalışma, ıslanma cephelerini tespit etmek için frekans alanı reflektrometri sensörü (FDR) ve direnç tabanlı sensör (RB) entegre edilmiş ve düşük maliyetli WFD ile tasarlanmış 2 sensör tipi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, IoT-WFD'nin, hassas tarım ve en uygun tarımsal su yönetimi sağlanmasına ilişkin kanıtlar göstermiştir.

Akıllı tarım uygulamaları, tarımsal sulama alanında suyun verimli kullanımını ve yönetimini sağlayarak önemli kolaylıklar ve avantajlar sunmaktadır. Yapılan çalışmalarda, toprak nem sensörleri, IoT tabanlı dinamik sulama planlama sis-

temleri, makine öğrenme modelleri ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak sulama ihtiyacı belirlenmiş ve sulama süreçleri iyileştirilmiştir. Bu uygulamalar, sadece su tasarrufu sağlamakla kalmamış, aynı zamanda ürün verimliliğini artırmıştır. Su yönetimi konusundaki bu gelişmeler, tarım sektörünün karşılaştığı su kaynaklarına yönelik zorlukları ele almak için önemli bir adım olacaktır.

## **BİTKİ SAĞLIĞI VE HASTALIK KONTROLÜ**

Bitki hastalığının tanımlanması, bitki hastalığının etkili ve kesin bir şekilde önlenmesinin temelini oluşturur. Bitkiler kontrolsüz bir çevrede oldukları için zarar görmeye karşı hassastırlar. Hastalığın yayılması çevre koşullarına ve bitkinin enfeksiyona yatkınlığına bağlıdır. Tarım ürünlerinde verim ve miktar kayıplarının önlenmesi için, bitkinin yaprakları, gövdeleri, tohumları ve köklerinden bitki içindeki çiçeklere, meyvelere ve tohumlara kadar uzanan bir aralıkta bitki hastalıklarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle dünyanın birçok bölgesinde erken teşhis önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bir çok bitki türündeki hastalıkların yalnızca fotoğraflarına bakılarak ayırt edilemeyeceği göz önüne alındığında, bitki hastalıklarını sınıflandırmaya yardımcı olacak görüntü işleme yazılımlarının kullanılması yüksek öncelik haline gelmiştir (16).

Akıllı tarımın hızla gelişmesiyle birlikte bitki hastalıklarının tespiti dijitalleşip veri odaklı hale gelmekte ve gelişmiş karar desteğine, akıllı analizlere ve planlamaya olanak tanımaktadır (36). Khirade ve ark. (37), yaptıkları çalışmada yaprak görüntüleri kullanılarak bitki hastalıklarının tespit edilmesinde kullanılan yöntemleri ve bitki hastalıklarının tespitinde kullanılan bazı bölümlenme ve özellik çıkarma algoritmalarını incelemiştir. Bir başka çalışmada Guo ve ark. (36) genel kullanıma uygun olan ve eğitim verimliliğini artıran derin öğrenmeye dayalı bitki hastalıklarının tespiti ve tanınması için matematiksel bir model önermektedir. Bu modelde ilk olarak, farklı çevresel koşullardaki yaprakları tanımak ve lokalize etmek için bölge öneri ağı (RPN) kullanılmıştır. Daha sonra RPN algoritmasının sonuçlarına göre bölümlenen görüntüler Chan-Vese (CV) algoritması aracılığıyla semptom (belirti) özelliklerine göre eşleştirilmiştir. Sonuçlar, yöntemin doğruluğunun %83,57 olduğunu, bunun geleneksel yöntemlere göre daha iyi olduğunu, dolayısıyla hastalıkların tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkisini azalttığını ve tarımın sürdürülebilir kalkınmasına olumlu olduğunu göstermiştir.

Mehra ve ark. (38), çalışmalarında domates yapraklarındaki renk ve mantar enfeksiyonuna bağlı olarak domates olgunluğunu belirlemiştir. Bu amaçla görüntü eşikleme algoritması kullanmışlardır. Sistemi daha genelleştirilmiş ve kendi kendini uyarlayan bir hale getirmek için K-ortalama kümeleme algoritmasına geçiş yapmışlar ve farklı koşullarda hangi yöntemin daha uygun olduğunu bulmasında her iki yöntemin karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. Richard ve

ark. (39), çalışmasında sentetik girdileri azaltmak için geliştirilen entegre mahsul yönetimi çözümlerine odaklanarak bazı düşük girdili tarım sistemlerini geleneksel tarım sistemleriyle karşılaştırmıştır. Entegre mahsul yönetimi gibi akıllı tarım tekniklerinin, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğin geliştirilmesinin mahsul hastalıklarının sıklığını ve şiddetini azaltma potansiyeli olduğunu, bu tekniklerin çeşitli mahsul sistemlerine en iyi şekilde nasıl uygulanacağını belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu rapor etmişlerdir. Potamitis ve ark. (40), çiftçilerin tarım arazilerini uzaktan böceklerle karşı izlemelerine yardımcı olan akıllı tuzaklar önermiştir. Akıllı tuzaktaki temel mekanizma, tuzakların bir ışık yayıcı ve bir ışık alıcı sensörünün birbirine dönük olması ve bir böceğin bu düzeneğin içinden geçtiğinde ışığı ve voltajı bozması ve bu sayede giren böceklerin sayılması esasına dayanmaktadır. Farklı böcekleri tespit etmek için tasarlanan tuzaklar ile 6 mm'den büyük böcekleri sayabilmişlerdir. Önerilen sistemin, böcek tespitinde yüksek doğruluk sağladığı rapor edilmiştir Rustia ve ark. (41) ise seralarda böcek izleme sistemi önermişlerdir. Önerdikleri sistem; ağ geçidi görevi gören Raspberry Pi bilgisayar, böceğin görüntüsünü yakalamak için kullanılan kamera ve sıcaklık, nem, atmosfer basıncı, ışık gibi çoklu ortam sensörleri olmak üzere üç ana bileşenden oluşturulmuştur. Her seradaki sensör düğümü, Wi-Fi veya 4G yönlendirici aracılığıyla yıldız WSN topolojisi kullanılarak internete bağlanmıştır. Kameranın karşısında yerleştirilen yapışkan bir yüzey içeren cisim ile böceklerin yakalanması amaçlanmıştır. Kamera her 10 dakikada bir karşısına yerleştirilen yüzeyin görüntüsünü çekerek, çevre koşulları ölçümleri ile birlikte, her 5 dakikada bir sunucuya göndermiştir. Geliştirilen yazılım ile görüntüyü işlenmiş ve böcek sayıları hesaplanmıştır. Kapoor ve ark. (42), bitkinin büyümesini engelleyen faktörleri tespit etmek için görüntü işlemeyi IoT teknolojileriyle entegre etmişlerdir. Ortam değişikliklerini tespit etmek için sıcaklık sensörü, toprak nem sensörü ve kamera gibi cihazlar kullanarak gözlemlenen veriler bir SD kartta depolanmıştır. Bitkiler kapalı, açık, yarı açık gibi farklı ortamlarda tutulmuş ve alınan görüntüler MATLAB programı ile analiz edilerek, bitki büyümesi ile farklı çevre senaryoları arasındaki korelasyon incelenmiştir. Foughali ve ark. (43) IoT yardımıyla patatesten geç yanıklık hastalığını önlemek için karar verme sistemini kullanmışlardır. Sistem Tunus'un Ras Jebel bölgesinde uygulanmış ve test edilmiştir. Wasmote sensörü ile elde edilen sıcaklık ve nem ölçüm verileri, ZigBee arayüzü kullanılarak bir ağ geçidine aktarılan sistemde, Meshlium (ağ geçidi) verileri toplarken, Ubidots bulut platformuna gönderilir. Ubidot'lar ayrıca çevresel koşulların eşik değerinin altına düştüğü durumlarda çiftçilere uyarı mesajı göndermek için de kullanılmıştır. Karar vermek için SIMCAST modeli kullanılan bu sistem ile geç yanıklık hastalığının tahmini başarı ile test edilmiştir.

Akıllı tarım uygulamaları, bitki hastalıklarının tespitinden, bitki büyümesinin izlenmesine, böcek kontrolünden, mahsul yönetimine kadar bir dizi alanı kapsamaktadır. Bu uygulamalar, tarımın verimliliğini artırmak, hastalık ve zararlı organizmaların etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmek için önemli avantajlar sunmaktadır.

## **İZLEME VE KONTROL SİSTEMLERİ**

Akıllı tarım uygulamalarının önemli bir parçası olarak izleme ve kontrol sistemleri, tarım sektörünü dönüştürmekte büyük bir rol oynamaktadır. Tarım üretim süreçleri, sensör teknolojisi, uzaktan izleme ve kontrol yetenekleri, veri analizi ve karar destek sistemleri sayesinde daha verimli ve sürdürülebilir hale getirilebilir. İzleme ve kontrol sistemleri, tarımın geleceği için büyük bir umut vaat etmekte ve halen geliştirilmeye de devam etmektedir. Akıllı tarım uygulamaları sayesinde çevre koşullarının izlenmesi ve kontrol edilmesi için farklı cihazlar ve sistemler kullanılmış ve üretim ortamları hakkındaki bilgiler uzaktan izlenebilmiştir. Aynı zamanda bu tür sistemler ile çiftçiler verileri analiz edebilmekte ve gerektiğinde de kontrol edebilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalardan birisinde Mohanraj ve ark. (44), Arduino mikroişlemci kartı kullanarak geliştirdikleri IoT tabanlı tarım arazisi izleme sistemi önermişlerdir. Bu sistem, depolanan verilere dayanarak çiftçilere hasat zamanı, gübre veya bir ilaç uygulama zamanı, sulama zamanlaması gibi bilgileri SMS yoluyla iletmiştir. Ma ve ark. (45), Çin'in Jiangsu eyaletinde bulunan balık çiftliği için IoT tabanlı su kalitesi izleme sistemi geliştirmişlerdir. Sensörler ile suyun pH seviyesi, çözülmüş oksijen (DO), amonyak azotu, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık ve su seviyesi gibi çeşitli su kalitesi parametrelerini ölçmüşlerdir. Su parametrelerinin konsantrasyonunu kontrol etmek için su pompaları, termostat ve gelişmiş DO ekipmanı gibi çeşitli unsurlar kullanmışlardır. Ayrıca sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, yağmur göstergesi, güneş ışınımı gibi ortam koşullarını tanımlamaya yardımcı olan parametreler de çeşitli sensörler ile ölçülmüştür. Sistem DO seviyesi düştüğünde çiftçiye alarm mesajı göndermekte, çiftçi de gelişmiş DO ekipmanını bir SMS hizmetiyle tetikleyebilmektedir. Geliştirilen bu sistem, tarımsal üretimi iyileştirmek amacıyla balık çiftliği havuzundaki su kalitesini korumada kullanılmıştır.

Seralar, kültür bitkilerinin üretimi için gerekli olan büyüme faktörlerini mevsim dışında sağlayabilen ve yoğun üretim yapılan yapay yetiştirme ortamlarıdır (46-48). Sera genelinde iç mekân ikliminin homojenliğinin sağlanması, üniform bitki yetiştiriciliği için çok önemlidir (49, 50). Lamprinos ve ark. (51), ZigBee iletişim teknolojisinin sera ortamındaki performansını analiz etmiştir. Sera ortamında, toprak sıcaklığı, bağıl nem, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve karbondiok-



sit miktarı, XBee modülüyle donatılan sensörler ile ölçülmüş, veriler yönlendirici aracılığıyla bir bilgisayara iletilmiştir. Denemeler boş bir serada 40 gün boyunca yürütülmüştür. Tasarlanan sistemin başarılı olduğu ancak sensörlerin sera içerisine daha sık yerleştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. García ve ark. (52), ise sera koşullarını izlemek ve kontrol etmek amacıyla Arduino mikro denetleyicisi ve sera içerisindeki su seviyelerini izlemek için ultrasonik sensörler kullanarak bir izleme sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemde su seviyeleri belirli bir eşik değerin altına düştüğünde, kullanıcılara SMS ile bilgilendirme gönderilmekte ve kullanıcılar da gerektiğinde pompayı etkinleştirebilmektedirler. Seraya ayrıca sıcaklık ve nem sensörleri yerleştirilmiştir. Sıcaklık veya nem seviyeleri belirli eşik değerleri aştığında, bir mikro denetleyici, sis üreticiye bağlı bir röleyi tetikleyerek mikro damlacıkların oluşmasını sağlamaktadır. Serada ayrıca bitki büyümesini teşvik etmek amacıyla LED ışıkları bulunmaktadır. Bir ışık sensörü, yeterli miktarda doğal ışık olmadığında bu ışıkları açmaktadır. Ayrıca ultrasonik sensörler ile ölçülen seviyenin belirli bir eşik değeri aşması durumunda kullanıcılara e-posta ile bilgilendirme göndermektedir. Elde edilen veriler, bir depoda saklanmak üzere Google E-Tablosu'na ve bir e-ticaret web sitesine otomatik olarak iletilmektedir.

Chieochan ve ark. (53), bir mantar üretim işletmesinde IoT tabanlı çevre koşulları izleme sisteminin uygulanabilir olabileceğini düşünmüşlerdir. İşletmede bağıl nem seviyesi DHT sensörleri ile ölçülmüş ve bağıl nem seviyesini %90 ile %95 arasında tutmak için otomatik sis pompaları ve bir su pompası IoT uygulaması ile kontrol edilmiştir. Sensörler, ölçtükleri nemi bir ağ geçidi görevi gören NodeMCU'ya iletmış ve NodeMCU, verileri Wi-Fi üzerinden, IoT cihazlarını birbirine bağlamaya yardımcı olan bulut tabanlı NETPIE ortamına aktarmıştır. Veri depolama ve veri erişiminde çeşitli NETPIE alt hizmetleri kullanılmıştır. Ölçülen verilere, Freeboard aracılığıyla mobil cihazlar ve bilgisayarlar üzerinden erişilebilmektedir. Sonuçlar, bu uygulanan IoT teknolojinin mantar yetiştiriciliğinde insan gücü gereksinimini azalttığını göstermektedir.

Pooja ve ark. (54), ise çiftlik izleme sistemi için MQTT protokolünü temel alan bir öneri sunmuşlardır. Bu sistem, toprak nem sensörü, hava nem ve sıcaklık sensörü, ışık şiddeti sensörü gibi farklı sensörler aracılığıyla çeşitli çevresel parametreleri ölçmektedir. Toplanan veriler, bir ağ geçidi olarak kullanılan Raspberry Pi'ye iletilmekte ve kontrolörler, bu verileri MQTT protokolü üzerinden bir veri tabanına aktarmaktadır. Çiftçiler, motorun çalışmasını kontrol etmek için röleye "AÇIK" veya "KAPALI" mesajı gönderme yetkisine sahiptirler. Bu sistem, çevresel verilere daha hızlı bir yanıt süresiyle erişim sağlarken, enerji tüketimi ve güvenlik konuları bu sistemde göz ardı edilmiştir.

Jayaraman ve ark. (55) tarafından önerilen Smart-Farm-Net platformu ise, kullanıcıların sensörler, kameralar ve diğer akıllı cihazları entegre edebileceği bir platform sunmaktadır. Bu akıllı cihazlar, Smart-Farm-Net ağ geçidi üzerinden iletişim kurarlar. Verilerin toplanması için OpenIoT X-GSN kullanılan bir ağ geçidi bulunmaktadır. Ayrıca, ağ geçidi tarafından alınan veriler önceden tanımlanmış bir yordam tarafından kodlanmıştır. Bu kodlanmış veriler, RDF (Kaynak Tanımlama Çerçevesi) kullanılarak temsil edilmekte ve ardından bir SQL grafik veri tabanında ve daha sonra bir bulut platformunda saklanmaktadır. OpenIoT, sensörlerin, zamanlayıcıların, hizmet sunumunun ve yardımcı program yöneticisinin olduğu bir altyapı kullanarak veri kaynaklarını keşfetmek için kullanılmıştır. Geliştirilen bu model, kullanıcıların akıllı cihazlarını SmartFarmNet platformuna kaydetmelerine ve ardından web sayfasından bu cihazlara ait istatistiksel verilere erişmelerine olanak tanımıştır. Araştırmacılar, bu platformun önemli bir avantajının, kullanıcıların IoT hizmetlerine programlama bilgisi gerektirmeksizin erişebilmesi olduğunu bildirmişlerdir.

Kalathas ve ark. (56), ise, domates tohumlarını izlemek amacıyla IoT tekniklerini kullanmışlardır. Çalışmada, IoT ile izlenen bir tohum yatağı ile geleneksel tohum yatağı karşılaştırılmıştır. Tohum yatağının çevresel koşulları, toprak sıcaklığı ve nem, hava sıcaklık ve nemi farklı sensörler kullanılarak sürekli olarak izlenmiştir. Bu sensörler, ölçülen verileri düzenli aralıklarla bir mikro denetleye iletmiştir. Elde edilen veriler, tohum yatağındaki ortam koşullarının domates tohumlarının gereksinimlerine uygun olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmıştır. Eğer ölçülen değerler uygun olmayan koşulları işaret ediyorsa, otomatik ısıtma devresi etkinleştirilmiştir. Araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara göre IoT ile izlenen tohum yatağının domates tohumlarının büyüme süresini kısalttığını ve tohum üremesini artırdığını rapor etmişlerdir.

İzleme ve kontrol sistemleri, tarımsal üretimde önemli kolaylıklar ve avantajlar sağlamaktadır. Bu sistemler, bir dizi farklı uygulama alanında tarımın verimliliğini artırarak kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır (57). Akıllı çiftliklerin geliştirilmesi, sensörlerin, kameraların ve diğer akıllı cihazların entegrasyonunu sağlayan platformlarla mümkün olmaktadır. Bu platformlar, kullanıcıların akıllı cihazlarını entegre etmelerine ve verilere erişmelerine olanak tanımaktadır. Bu sayede tarım süreçleri daha etkili bir şekilde yönetilebilmektedir.

## **BÜYÜK VERİ VE KARAR DESTEK SİSTEMLERİ**

Akıllı tarım uygulamaları sayesinde arazide en uç noktalara kadar yerleştirilebilen sensörlerden devasa boyutlarda veri toplamak mümkündür. Toplanan verilerin depolanması ve bir ortamdan diğerine taşınması gelişen teknoloji ve internet

ağının yaygınlaşması sayesinde artık bir sorun olmaktan çıkmıştır. Bu durumda önemli olan ve sorun teşkil eden şey verilerin analiz edilmesidir. Verilerin analiz edilmesi ve geliştirilecek modeller ile tarım sektöründe sorun teşkil eden birçok konuda akıllı sistemlerin karar vermesi sağlanabilecektir. Kararlar genellikle çevreden sürekli gerçek zamanlı olarak elde edilen niceliksel verilerin elde edilmesine, toplanmasına ve analizine dayanır (58). Günümüzde tarımda, farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerde devasa veri kümelerinin üretilmesiyle sonuçlanan bir bilgi devrimi yaşanıyor; bu nedenle, verileri işlemek ve özetlemek için etkili teknikler, etkili hassasiyet yönetimi için çok önemlidir. Uzaktan ve yakın algılama gibi modern teknolojinin sağladığı veri kaynaklarının bolluğu ve çeşitliliği ile sensör veri kümeleri, seyrek örneklenmiş bir hedef değişkeni desteklemek için yardımcı bilgi olarak kullanılabilir. Uzak ve yakın algılama verileri genellikle çok büyüktür, farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerde alınır ve ölçüm hataları olabilir. Üstelik enstrümanlar arasındaki farklılıklar her zaman mevcuttur; yine de bir veri birleştirme yaklaşımı, sensör veri kümelerini istatistiksel olarak sağlam bir şekilde birleştirerek bunların tamamlayıcı özelliklerinden yararlanabilir. Bu durumda, incelenen süreçlere ilişkin daha kapsamlı bir görüş ve bilgi elde etmek için, günümüzde mevcut çeşitli kaynaklardan gelen kısmi bilgilerin verimli bir şekilde ortaklaşa kullanılması (birleştirilmesi) daha ideal bir yaklaşım olacaktır (59, 60). Büyük veri tekniklerinin ve yöntemlerinin tarıma uygulanması, tarım ve gıda sektörü için büyük bir fırsat olarak değerlendirmeye yönelik önemli bir eğilim olmuştur (61, 62).

Büyük veri ve karar destek sistemlerinin tarımsal üretimdeki rolü, tarım süreçlerinin daha verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, bu teknolojilerin tarımsal uygulamalara sağladığı avantajları vurgulamaktadır.

Bu konuda yapılmış çalışmalardan birinde Cambra Baseca ve ark. (63) değişken oranlı sulama için, tarla ve hava koşullarından seçilen bazı parametreleri kullanarak gerçek zamanlı kararlar veren güçlü bir aracın avantajlarını göstermişlerdir. Saha parametreleri ve havadan görüntüler kullanılarak tahmin edilen bitki örtüsü indeksi, akış seviyesi, basınç seviyesi ve rüzgâr hızı gibi sulama olaylarında etkili olan dinamikler periyodik olarak örneklenmiştir. Toplanan veriler, Drools kural motoruyla birlikte öğrenme tahmin kurallarına dayalı bir karar verme sisteminde işlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çiftçiye daha iyi karar verme veya katma değer sağlamada faydalı olduğu bildirilmiştir.

Suakanto ve ark. (64), ise yaptıkları çalışmada, çiftçiler için gerekli görevlerin yerine getirilmesi amacıyla ağ sensör uygulamalarıyla akıllı tarımın karar desteğine yönelik kavramsal model ve sistem tasarımını geliştirmişlerdir. Model ve

sistem tasarımı sensörler aracılığıyla veri toplama, kontrol ve görev yönetimi ve veri analizini kapsamaktadır. Bu sistemde çiftçilerin görev yönetimi ve planlaması, çevre faktörlerinin ölçümü ve bilgi dağıtım konularında sorunlarla karşılaşmalarına yardımcı olacak bir çözüm önermişlerdir.

Debauche ve ark. (65), yaptıkları çalışmalarında hayvanların izlenmesinde uygulanan IoT'nin gelecekteki gelişmelerini entegre etmek için yüksek frekanslı verileri arşivlemek ve işlemek için kullanılan bilimsel bir paylaşım platformuna yenilikçi bir şekilde bağlanan bir bulut mimarisi önerilmişlerdir. Önerdikleri sistem ile verilerdeki fazlalıkları ortadan kaldırarak ham veri boyutunu ortalama %43,5 oranında azaltmışlardır.

Büyük veri ve karar destek sistemleri, tarımsal üretimde daha iyi kararlar alınmasına yardımcı olarak verimliliği artırır, kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar ve tarım süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirir. Bu teknolojilerin tarım sektöründe yaygınlaşması, gelecekte tarımsal üretimi daha rekabetçi ve verimli hale getirecek önemli bir faktör olacaktır.

## **HAYVANCILIKTA AKILLI TARIM UYGULAMALARI**

Hassas tarımın bir parçası olarak, hayvancılığın yönetimi tarımın mevcut zorluklarından biridir. Hassas hayvancılık terimi, yenilikçi bir üretim sistemi yaklaşımı olarak 2003 yılında düzenlenen ilk hassas hayvancılık konferansıyla ortaya çıkmış ve dördüncü sanayi devriminde önemli bir rol oynamıştır (66-68). Hassas hayvancılık, her bir hayvanın farklı değişkenlerini yüksek hassasiyetle ölçmek için çeşitli araç ve yöntemlerin bir kombinasyonunu kullanarak çiftçilerin hayvancılık üretim sistemleriyle ilgili kararlar vermesini desteklemektedir (69). Bu araçlar arasında sensör teknolojili kameralar, mikrofonlar, kablosuz iletişim araçları, internet bağlantıları ve bulut depolama gibi araçlar bulunmaktadır. Hassas hayvancılığın temel amacı, toplanan verilerin kullanımını iyileştirerek çiftlik kârlılığını, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini arttırmaktır. Akıllı ve hassas tarım uygulamaları kapsamında mera ot verim takibi, akıllı mera gübreleme sistemleri, süre yönetimi ve izleme sistemleri, hayvan sağlığı ve refahı, yem ve canlı ağırlık ölçümü, otomatik sağım sistemleri gibi hayvancılık ile ilgili birçok alanda yapılmış çalışmalar vardır.

Tarım sektörü, akıllı tarım uygulamalarının hızla geliştiği bir alandır ve bu uygulamalar, hayvancılık sektöründe otlatma yönetimi gibi temel süreçlerin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine yardımcı olmaktadır. Otlatma yönetimi, hayvanların otlayabileceği alanları, ot tüketimini, otun büyümesini ve hayvanların beslenme durumunu dikkate alarak planlama ve izleme süreçlerini

içerir. Bu bağlamda, aşağıda sunulan çalışmalar, otlatma yönetimi konusunda akıllı tarım teknolojisinin nasıl kullanılabileceğini gösteren örneklerdir.

Beukes ve ark. (70), otlatma yönetimine rehberlik edecek ot kütlesi tahmin etmenin oldukça zaman alan bir iş olduğu ve çiftçilere bu tür bilgilerin elde edilmesi için kaynak yatırımı yapıp yapmama konusunda karar vermede yardımcı olabilecek bir sisteme ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Bu doğrultuda, otlatma yönetiminin önemli bir bileşeni olan ve her padok için son otlatmadan sonra geçen süreyi tahmin eden bir sistem geliştirmişlerdir. Tasarladıkları sistem sayesinde padok başına ot kütlelerinin ortalama %15'lik bir hatayla tahmin edildiği, işletme gelirlerinde artış sağlandığını, yem arzı ve talebinin daha iyi eşleştirilmesi ile yetersiz ve aşırı besleme vakalarının azaldığını, daha yüksek süt üretimi ve otlatma sonrası ot kütlelerinin daha optimal düzeyde kalabildiğini rapor etmişlerdir.

Lussem ve ark. (71), ise otlakların toprak üstü biyokütle veriminin izlenmesi ve tahmin edilmesi, otlak yönetimi açısından kilit öneme sahip olduğunu bildirmişlerdir. Manuel yöntemlerin, yem verimine ilişkin doğru tahminler sağladığını, ancak zaman alıcı ve iş gücünün yoğun olması sebebiyle hassas tarım uygulamaları için gereken mekânsal verilerin sürekli olarak sağlanamayacağını ileri sürmüşlerdir. Bu amaçla düşük maliyetli insansız hava aracı tabanlı görüntü verilerinden elde edilen ot yüksekliği ölçümleriyle yem verimini tahmin etmeye yönelik çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma, Almanya 2014–2016 yıllarını kapsamış ve görüntüleme sistemi olarak Canon Powershot S110 takılan dron kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre dron tabanlı ölçümlerin, geleneksel ölçümlerden daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Schaefer ve ark. (72), bir otlakın toplam biyokütlesini belirlemek amacıyla araca monteli bir ışık algılama ve mesafe belirleme (LiDAR) ünitesi ve aktif bir optik yansıma sensörü kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına dayanarak, birleşik LiDAR ve aktif optik yansıma sensör kullanımının hem yeşil (canlı) hem de yaşlanmış (ölü) malzeme içeren alanlarda yeşil fraksiyon ve biyokütle arasındaki karmaşık ilişkinin çözümlenmesine yardımcı olabileceği sonucuna varmışlardır.

Oliveira ve ark. (73), yaptıkları çalışmada, silaj otu alanlarının yönetimi ve izlenmesi için dronların uzaktan algılama amaçlı kullanımını araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçların, dron ile uzaktan algılamanın silaj üretiminin verimli ve daha iyi yönetilmesi için optimal bir araç olduğunu bildirmişlerdir.

Akıllı tarım, hayvan davranışlarını ve seslerini izleyerek daha verimli, sürdürülebilir ve hayvan refahına duyarlı bir yaklaşım sunmaktadır. Meen ve ark. (74), sığır sesleri ile sığır davranışı arasında bir korelasyon bulunup bulunmadığını araştırmışlardır. Bu amaçla Hollanda'nın Herwijnen kentindeki yüksek üretimli

bir süt çiftliğine görüntü ve ses almada kullanılmak üzere kamera ve mikrofon sistemleri kurulmuştur. Çalışmada iki ile on dört yaş arasındaki süt sığırlarını, ve dört ile on ay arasındaki düveleri izlenmiştir. Kayıtlar art arda üç hafta ve on beş gün boyunca, günde on saat yapılmıştır. Araştırmacılar, yatma ve geviş getirme sırasındaki çağrılarının ortalama maksimum frekansı ile diğer davranışlar sırasında kaydedilen çağrılar arasında anlamlı bir fark olduğunu bildirmişlerdir.

Andriamandroso ve ark. (75), otlayan hayvanların yeri, duruşu ve hareketlerinin kaydedilerek çeşitli mera türleri için hayvan otlatma stratejilerini değerlendirmiş ve hayvanların beslenme durumunun daha iyi tahmin edilmesine olanak tanıyacak teknikleri geliştirmek için otlayan hayvanlardaki çene hareketleri ve ısırık şekillerindeki farklılaşmayı araştırmışlardır.

Carpentier ve ark. (76), birden fazla gürültü kaynağının mevcut olduğu bir durumda tavuk hapşırma seslerini izlemeye yönelik bir algoritma üzerinde çalışmışlardır. Toplam 51 tavuktan oluşan bir grubun hapşırmasının kaydedildiği bir deney tasarlamışlar ve 480 dakikalık ses kayıtlarından 763 hapşırık kaydetmişler ve önce yeterli kalitede etiketlenen hapşırıkların sayısı araştırılmıştır. Daha sonra ham ses sinyali, spektral çıkarma kullanılarak filtrelenmiş ve hapşırık olabilecek yüksek enerjili kısa aralıklara bölünmüştür. Bunlar daha sonra 8 farklı özellik halinde gruplandırılmış ve algoritma, sesi %88,4 hassasiyetle tanımlamıştır. Araştırmacılar çalışmanın, kümes hayvanı sağlığına yönelik otomatik ses tabanlı bir izleme sisteminin geliştirilmesine yönelik ilk adımı temsil ettiğini rapor etmişlerdir.

Bahlo ve ark. (77), kamuya açık verilerin kullanımı, açık standartlar ve birlikte çalışabilirlik ile ilgili olarak hassas hayvancılık teknolojileri hakkındaki güncel literatürü incelemişlerdir. Hayvancılık işletmelerinin, çeşitli bilgi ihtiyaçlarını ve teknolojik fırsatları yansıtan, ancak genellikle birlikte çalışabilir formatlardan ve meta verilerden yoksun, giderek artan hacimlerde farklı özel veri kümeleri ürettiğini ancak bu büyük miktardaki halka açık olarak erişilebilen veri kümelerinin, karar destek araçlarında yeterince kullanılmadığını bildirmişler ve bu verilerin paylaşılması ve yeniden kullanılmasının önündeki engellerin azaltılmasına ihtiyaç olduğu sonucuna varmışlardır.

Çevre koşullarının, süt sığırlarının verimliliği ve sağlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu etki, beslenme ve iklim faktörleri gibi değişkenler aracılığıyla ortaya çıkar. Özellikle sıcaklık, nem, hava hızı ve ışık gibi çevresel faktörler, yüksek verimli süt sığırları üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir (78, 79). Günümüzde küresel iklim değişikliği ve hayvan barınaklarında meydana gelen katı ve sıvı atıkların yeraltı ve yerüstü sularına verdiği zararlar hayvancılık üretimini etkileyen en büyük zorluklardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (80). Bu durum, çevreye,

hayvan sağlığına ve üretim maliyetlerine olumsuz etkiler yapmaktadır. Özellikle iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan sıcaklık stresi, süt sığırlarının verimliliğini ve sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle, çevresel faktörlerin yakından takip edilmesi ve uygun önlemlerin alınması hayvancılık işletmeleri için önem arz etmektedir (81). Özellikle yüksek genetik kapasiteye sahip kültür ırkı süt sığırlarının, doğru çevre koşullarında barındırılmasının, süt üretiminde potansiyeli artırabileceğini göstermektedir (82). Süt verimini artırmak ve hayvan sağlığını iyileştirmek, uygun çevre koşullarının sağlanması için akıllı tarım uygulamaları, bu konuda yeni olanaklar sunmakta ve çevre koşullarının daha hassas bir şekilde kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır.

Bu alanda yapılmış çalışmalardan birisinde Bezen ve ark. (83), süt ineklerinde bireysel olarak yem alımı ölçümü için derin evrişimli sinir ağları modellerine dayalı bir kameralı izleme sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem ineklerin %93,65'inin yem alım miktarlarını doğru bir şekilde tanımlamayı başarmıştır. Araştırmacılar gelişmiş süt çiftliklerinde bireysel yem alımı ölçümleri için düşük maliyetli kameraların potansiyelini ortaya koyduğunu bildirmişlerdir.

Hayvancılık işletmelerinde kullanılan süt sağım robotları artık klasikleşmiş bir uygulamadır. Bu teknolojinin artan popülaritesi, hızlı benimsenme oranından açıkça görülmektedir. Otomatik sağım sistemleri, özellikle Batı Avrupa'da süt çiftliklerindeki işçiliği azaltmak, inek başına üretimi artırmak ve süt çiftliği ailelerinin yaşam tarzını iyileştirmek için yaygın bir kabul görmüştür (84). Günümüzde robotların büyük ölçekli mera bazlı süt üretim sistemlerine entegrasyonuna yönelik artan bir ilgi vardır. Bu sistemler sayesinde sağım süreci artık 24 saatlik bir süreye yayılarak hayvanın ne zaman sağılacağı bilgisinin alınmasına olanak sağlayabilmektedir. Süt sağım robot sistemleri hem kapalı alanda hem de mera bazlı açık besleme sistemlerine uygulanabilmektedir (85).

Halihazırda kullanılan birçok otomatik sağım sistemi bulunmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar daha modern sensör/görüş sistemlerinin entegrasyonu, hayvan izleme özelliklerinin eklenmesi ve döner sağım odalarına robotların katılımı üzerine yoğunlaşmıştır.

O'Mahony ve ark. (86) hassas süt hayvancılığında uygulanan ve uygulanabilecek 3 boyutlu bilgisayarlı görme sistemlerini ve tekniklerini gözden geçirdiği çalışmasında, kısıtsız ortamlarda çalışabilen ve sürü özellikleri, hava koşulları, çiftlik düzeni ve hayvan-robot etkileşimindeki farklı senaryolardaki değişikliklere uyum sağlayabilen sistemlere ihtiyaç duyulduğu, bu tür sistemlerin ise yapay zekada yeni ortaya çıkan bir araştırma alanı olan geometrik derin öğrenme tekniklerinin uygulanması ile mümkün olabileceğini bildirmektedir.

Akıllı tarım uygulamaları, hayvancılık sektöründe verimliliği artırma, hayvan refahını koruma gibi çiftlik işletmelerine önemli faydalar sunmaktadır. Gelecekte bu alandaki teknolojik gelişmeler, hayvancılık sektörünü daha sürdürülebilir hale getirmeye devam edecektir.

## **AKILLI TARIM UYGULAMALARINDAKİ ZORLUKLAR**

Akıllı tarım uygulamalarının hayvancılık sektöründe yaygınlaştırılması ve benimsenmesi, bazı önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek, teknolojinin tarım sektörüne entegrasyonunu hızlandırmak ve çiftçilere daha fazla fayda sağlamak için bilgilendirme ve teşvik gibi çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Öncelikle, akıllı tarım uygulamalarının maliyetleri konusundaki endişeler göz önüne alınmalıdır. Elektronik ve bilgisayar bilimi alanındaki ilerlemeler, maliyetlerin düşürülmesine ve yeni teknolojilerin tarım işletmelerine daha etkin bir şekilde uygulanmasına yardımcı olabilecektir. Ayrıca, bilgi işlem teknolojilerinin daha geniş bir şekilde kullanılması, sistemlerin işleyişini basitleştirebilir ve verimliliği artırabilir. Aynı zamanda bu teknolojilerin yönetimler tarafından desteklenmesi yönünde politikalar da geliştirilebilir. Ayrıca su kaynaklarının kullanımı ve korunmasıyla ilgili çevresel mevzuatta akıllı su uygulama teknolojilerinin teşvik edilmesi su kaynaklarının verimli kullanılması ve korunmasına katkı sağlayacaktır. (29). Diğer bir zorluk, teknolojinin tarım sektöründeki daha büyük ve zengin katılımcılar tarafından daha fazla benimsenmesi ve kullanılmasıdır. Bu, çiftliklerin konsolidasyonuna ve sektördeki küçük işletmelerin rekabet gücünün azalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, teknolojinin etkili bir şekilde kullanılmayabileceği bazı durumlar mevcuttur. Çiftçilerin isteksizliği veya teknolojinin gerektirdiği yatırımı yapamamaları gibi durumlar, akıllı tarım uygulamalarının benimsenmesini engelleyebilir. Veri kullanımı da bir sorun teşkil etmektedir; büyük miktarda veri uzak bulut sunucularında depolanmakta ve bu veriler ticari amaçlar için kullanılmaktadır. Verilerin gizliliği ve kötüye kullanılması endişesi, çiftçiler ve teknoloji şirketleri arasında gerilimi artırabilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek ve akıllı tarımın hayvancılık sektöründeki potansiyelini tam olarak değerlendirmek için etkili politikalar ve düzenlemeler geliştirilmesi gerekmektedir.

## **SONUÇ**

Akıllı tarım uygulamalarında, verimliliği artırmak için otomasyon, otonom araçlar ve robotlar gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Bu sayede tarımsal faaliyetler daha hızlı ve daha hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Tarımsal verilerin toplanması ve analizi, çiftçilere daha bilinçli kararlar alma yeteneği



kazandırmaktadır. Örneğin, ekim zamanlaması, gübre kullanımı, hastalık ve zararlı kontrolü gibi kararları optimize etmelerine yardımcı olabilmektedir. Aynı zamanda akıllı tarım uygulamaları, bitki sağlığı için görüntü işleme ve yapay zekâ kullanarak bitki hastalıklarını erken teşhis edebilir ve böylece hızlı müdahale imkânı sunabilir. Veri toplama teknolojileri sayesinde elde edilen büyük veriler toprak kalitesi ve besin içeriği hakkında daha spesifik bilgiler sağlayarak, çiftçilere topraklarını daha verimli bir şekilde yönetmeleri konusunda yardımcı olabilir. Tarımsal üretimde bir başka sorun; yaşam alanlarında ürünlerin pazara hızlı ve güvenli bir şekilde ulaştırılamaması ve dağıtımını konusundaki zayıflıklardır. Bu konuda da akıllı tarım teknolojileri birçok kolaylık sağlamaktadır. Bu teknolojiler, çiftçilerin ürünlerini daha geniş bir pazara sunmalarına yardımcı olabilmekte ve üretimi daha karlı hale getirebilmektedir. Aynı zamanda kaynakların daha verimli kullanılmasına yardımcı olarak çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır.

## **KAYNAKLAR**

1. Russell Stuart J and Norvig P, Artificial Intelligence: A Modern Approach. New Jersey: Prentice Hall; 2009.
2. McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, et al., A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence. AI Magazine. 2006;27(4): 11-12. doi: <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
3. Simon HA, Artificial intelligence: an empirical science. Artificial intelligence. 1995;77(1): 95-127.
4. Moschona DS. An Affective Service based on Multi-Modal Emotion Recognition, using EEG enabled Emotion Tracking and Speech Emotion Recognition. in 2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Asia (ICCE-Asia). 2020. (pp. 1-3). doi: <https://doi.org/10.1109/ICCE-Asia49877.2020.9277291>.
5. Campbell M, Hoane Jr AJ, and Hsu F-h, Deep blue. Artificial intelligence. 2002;134(1-2): 57-83.
6. Robertson S, Azizpour H, Smith K, et al., Digital image analysis in breast pathology—from image processing techniques to artificial intelligence. Translational Research. 2018;194: 19-35.
7. Stoitsis J, Valavanis I, Mougiakakou SG, et al., Computer aided diagnosis based on medical image processing and artificial intelligence methods. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2006;569(2): 591-595.
8. Savadjiev P, Chong J, Dohan A, et al., Demystification of AI-driven medical image interpretation: past, present and future. European radiology. 2019;29: 1616-1624.
9. Karadöl H, Arslan S, and Gizlenci İ, Makine Görüsü Kullanarak Tarla Pülverizatöründe Bir Nokta Püskürtme Sisteminin Geliştirilmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi. 2018;14(1): 31-40.
10. Ma Y, Wang Z, Yang H, et al., Artificial intelligence applications in the development of autonomous vehicles: A survey. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. 2020;7(2): 315-329.
11. Di X and Shi R, A survey on autonomous vehicle control in the era of mixed-autonomy: From physics-based to AI-guided driving policy learning. Transportation research part C: emerging technologies. 2021;125: 103008.
12. Fujita H, AI-based computer-aided diagnosis (AI-CAD): the latest review to read first. Radiological physics and technology. 2020;13(1): 6-19.
13. Jussupow E, Spohrer K, Heinzl A, et al., Augmenting medical diagnosis decisions? An investigation into physicians' decision-making process with artificial intelligence. Information Sys-

- tems Research. 2021;32(3): 713-735.
14. Mhlanga D, Artificial intelligence in the industry 4.0, and its impact on poverty, innovation, infrastructure development, and the sustainable development goals: Lessons from emerging economies? *Sustainability*. 2021;13(11): 5788.
  15. Lin TCW, Artificial intelligence, finance, and the law. *Fordham L. Rev.* 2019;88: 531.
  16. Shaikh TA, Rasool T, and Lone FR, Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022;198: 107119.
  17. Yasloğlu E and Şimşek E, The Status of Livestock Production in Terms of Global Warming and Its Future Perspective, in *Pioneer And Contemporary Studies in Agriculture, Forest and Water Issues*. 2023. p. 69-82.
  18. Said Mohamed E, Belal AA, Kotb Abd-Elmabod S, et al., Smart farming for improving agricultural management. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2021;24(3, Part 2): 971-981. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007>.
  19. Lobell DB and Field CB, Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental research letters*. 2007;2(1): 014002.
  20. Muniasamy A. Machine Learning for Smart Farming: A Focus on Desert Agriculture. in *2020 International Conference on Computing and Information Technology (ICCIIT-1441)*. 2020. (pp. 1-5). doi: 10.1109/ICCIIT-144147971.2020.9213759.
  21. Ahmed RA, Hemdan EED, El-Shafai W, et al., Climate-smart agriculture using intelligent techniques, blockchain and Internet of Things: Concepts, challenges, and opportunities. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. 2022;33(11): e4607.
  22. Tao F, Yokozawa M, Liu J, et al., Climate-crop yield relationships at provincial scales in China and the impacts of recent climate trends. *Climate Research*. 2008;38(1): 83-94.
  23. Dunnett A, Shirsath PB, Aggarwal PK, et al., Multi-objective land use allocation modelling for prioritizing climate-smart agricultural interventions. *Ecological modelling*. 2018;381: 23-35.
  24. Tanriverdi C, Degirmenci H, and Sesveren S, Assessment of irrigation schemes in Turkey based on management types. *African Journal of Biotechnology*. 2011;10(11): 1997-2004.
  25. Sesveren S and Karakaya FG, Kartalkaya sol sahil sulama birliği bazı performans göstergeleri, sulama problemleri ve çözüm önerileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2019;9(1): 76-84.
  26. Perea RG, Water and energy demand forecasting in large-scale water distribution networks for irrigation using open data and machine learning algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021;188: 106327.
  27. Simunek J, Sejna M, Van Genuchten MT, et al., HYDRUS-1D. Simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, version. 1998;2.
  28. Roy SK, Misra S, Raghuvanshi NS, et al., AgriSens: IoT-based dynamic irrigation scheduling system for water management of irrigated crops. *IEEE Internet of Things Journal*. 2020;8(6): 5023-5030.
  29. Pardossi A, Incrocci L, Incrocci G, et al., Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors*. 2009;9(4): 2809-2835.
  30. Machado MR, Júnior TR, Silva MR, et al. Smart water management system using the micro-controller ZR16S08 as IoT solution. in *2019 IEEE 10th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS)*. IEEE. 2019. (pp. 169-172).
  31. Kamiński C, Soininen J-P, Taumberger M, et al., Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*. 2019;19(2): 276.
  32. Xie T, Huang Z, Chi Z, et al. Minimizing amortized cost of the on-demand irrigation system in smart farms. in *Proceedings of the 3rd International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks*. 2017. (pp. 43-46).
  33. Chen H, Chen A, Xu L, et al., A deep learning CNN architecture applied in smart near-infrared analysis of water pollution for agricultural irrigation resources. *Agricultural Water Management*. 2020;240: 106303.

34. Subashini MM, Das S, Heble S, et al., Internet of things based wireless plant sensor for smart farming. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2018;10(2): 456-468.
35. Sureephong P, Wiangnak P, and Wicha S. The comparison of soil sensors for integrated creation of IOT-based Wetting front detector (WFD) with an efficient irrigation system to support precision farming. in 2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT). IEEE. 2017. (pp. 132-135).
36. Guo Y, Zhang J, Yin C, et al., Plant disease identification based on deep learning algorithm in smart farming. 2020;2020: 1-11.
37. Khirade SD and Patil A. Plant disease detection using image processing. in 2015 International conference on computing communication control and automation. IEEE. 2015. (pp. 768-771).
38. Mehra T, Kumar V, and Gupta P. Maturity and disease detection in tomato using computer vision. in 2016 Fourth international conference on parallel, distributed and grid computing (PDGC). IEEE. 2016. (pp. 399-403).
39. Richard B, Qi A, and Fitt BD, Control of crop diseases through Integrated Crop Management to deliver climate-smart farming systems for low-and high-input crop production. *Plant Pathology*. 2022;71(1): 187-206.
40. Potamitis I, Eliopoulos P, and Rigakis I, Automated remote insect surveillance at a global scale and the internet of things. *Robotics*. 2017;6(3): 19.
41. Rustia DJA and Lin T-T, An IoT-based wireless imaging and sensor node system for remote greenhouse pest monitoring. *Chemical Engineering Transactions*. 2017;58: 601-606.
42. Kapoor A, Bhat SI, Shidnal S, et al. Implementation of IoT (Internet of Things) and Image processing in smart agriculture. in 2016 International Conference on Computation System and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS). IEEE. 2016. (pp. 21-26).
43. Foughali K, Fathallah K, and Frihida A, Using Cloud IOT for disease prevention in precision agriculture. *Procedia computer science*. 2018;130: 575-582.
44. Mohanraj I, Ashokumar K, and Naren J, Field monitoring and automation using IOT in agriculture domain. *Procedia Computer Science*. 2016;93: 931-939.
45. Ma D, Ding Q, Li Z, et al., Prototype of an aquacultural information system based on internet of things E-Nose. *Intelligent Automation & Soft Computing*. 2012;18(5): 569-579.
46. Boyacı S, Akyüz A, and Tanriverdi Ç, Comparison of heat requirements in greenhouses for Kırşehir and Kahramanmaraş provinces. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. 2022: 5-20.
47. Boyacı S, Abacı-Bayar AA, Başpınar A, et al., Kırşehir İlindeki Bazı Seralarda Yetiştirilen Bitkilerin Beslenme Durumlarının Toprak ve Yaprak Analizleri ile Değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2021;52(3): 273-287. doi: <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.887348>.
48. Yashioğlu E and Durmuş S, Bursa ilinde yetiştiricilik yapılan seraların yapısal yönden değerlendirilmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*. 2017;34(Ek Sayı): 164-171.
49. Boyacı S, Başpınar A, Atılğan A, et al., Determination of the Vertical Distribution Pattern of Indoor Climate Parameters in the Greenhouse Heated in the Winter Period. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2023;25: 105-115. doi: <https://doi.org/10.54740/ros.2023.011>.
50. Caylı A, Temperature and relative humidity spatial variability: An assessment of the environmental conditions inside greenhouses. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2020;29(7): 4954-4962.
51. Lamprinos I and Charalambides M, Experimental assessment of ZigBee as the communication technology of a wireless sensor network for greenhouse monitoring. *International Journal of Advanced Smart Sensor Network Systems*. 2015;6.
52. García L, Parra L, Jimenez JM, et al., IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. *Sensors*. 2020;20(4): 1042.
53. Chieochan O, Saokaew A, and Boonchieng E. IOT for smart farm: A case study of the Lingzhi mushroom farm at Maejo University. in 2017 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE). IEEE. 2017. (pp. 1-6).

54. Pooja S, Uday D, Nagesh U, et al. Application of MQTT protocol for real time weather monitoring and precision farming. in 2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICECCOT). IEEE. 2017. (pp. 1-6).
55. Jayaraman PP, Yavari A, Georgakopoulos D, et al., Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt. *Sensors*. 2016;16(11): 1884.
56. Kalathas J, Bandekas D, Kosmidis A, et al., Seedbed based on IoT: A Case Study. *Journal of Engineering Science & Technology Review*. 2016;9(2).
57. Çaylı A, Akyüz A, Baytorun AN, et al., Control of Greenhouse Environmental Conditions with IOT Based Monitoring and Analysis System. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 2017;5(11): 1279-1289.
58. Banhazi T, Lehr H, Black J, et al. Precision livestock farming: Scientific concepts and commercial reality. in *Proceedings of the XVth International Congress on Animal Hygiene: Animal Hygiene and Sustainable Livestock Production (ISAH 2011)*. University of Southern Queensland. 2011. (pp. 137-143).
59. Castrignanò A and Buttafuoco G, Chapter 3 - Data processing, in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, A. Castrignanò, et al., Editors. 2020, Academic Press. p. 139-182. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818373-1.00003-2>.
60. Naud O, Taylor J, Colizzi L, et al., Chapter 4 - Support to decision-making, in *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*, A. Castrignanò, et al., Editors. 2020, Academic Press. p. 183-224. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818373-1.00004-4>.
61. Sun Z, Zheng F, and Yin S, Perspectives of research and application of Big Data on smart agriculture. *Journal of Agricultural Science and Technology (Beijing)*. 2013;15(6): 63-71.
62. Çaylı A, Makine Öğrenimi (ML) ve Tarımdaki Uygulamaları, in *Biyosistem Mühendisliği III*, A. Atılgan, et al., Editors. 2022, Akademisyen Yayınevi Ankara. p. 198. doi: 10.37609/akya.1414.
63. Cambra Baseca C, Sendra S, Lloret J, et al., A Smart Decision System for Digital Farming. *Agro-nomy*. 2019;9(5): 216.
64. Suakanto S, Engel VJL, Hutagalung M, et al. Sensor networks data acquisition and task management for decision support of smart farming. in 2016 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI). 2016. (pp. 1-5). doi: 10.1109/ICIT-SI.2016.7858233.
65. Debauche O, Mahmoudi S, Andriamandroso ALH, et al., Cloud services integration for farm animals' behavior studies based on smartphones as activity sensors. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2019;10: 4651-4662.
66. Halachmi I and Guarino M, Precision livestock farming: a 'per animal' approach using advanced monitoring technologies. *Animal*. 2016;10(9): 1482-1483.
67. Rowe E, Dawkins MS, and Gebhardt-Henrich SG, A systematic review of precision livestock farming in the poultry sector: Is technology focussed on improving bird welfare? *Animals*. 2019;9(9): 614.
68. Garcia R, Aguilar J, Toro M, et al., A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020;179: 105826.
69. di Virgilio A, Morales JM, Lambertucci SA, et al., Multi-dimensional Precision Livestock Farming: A potential toolbox for sustainable rangeland management. *PeerJ*. 2018;6: e4867.
70. Beukes P, McCarthy S, Wims C, et al., Regular estimates of herbage mass can improve profitability of pasture-based dairy systems. *Animal Production Science*. 2019;59(2): 359-367.
71. Lussem U, Schellberg J, and Bareth G, Monitoring forage mass with low-cost UAV data: case study at the Rengen grassland experiment. *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*. 2020;88: 407-422.
72. Schaefer MT and Lamb DW, A combination of plant NDVI and LiDAR measurements improve the estimation of pasture biomass in tall fescue (*Festuca arundinacea* var. Fletcher). *Remote Sensing*. 2016;8(2): 109.
73. Oliveira RA, Näsi R, Niemeläinen O, et al., Machine learning estimators for the quantity and

- quality of grass swards used for silage production using drone-based imaging spectrometry and photogrammetry. *Remote Sensing of Environment*. 2020;246: 111830.
74. Meen G, Schellekens M, Slegers M, et al., Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015;118: 111-115.
  75. Andriamandroso A, Bindelle J, Mercatoris B, et al., A review on the use of sensors to monitor cattle jaw movements and behavior when grazing. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 2016;20.
  76. Carpentier L, Vranken E, Berckmans D, et al., Development of sound-based poultry health monitoring tool for automated sneeze detection. *Computers and electronics in agriculture*. 2019;162: 573-581.
  77. Bahlo C, Dahlhaus P, Thompson H, et al., The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A review. *Computers and electronics in agriculture*. 2019;156: 459-466.
  78. Yashoğlu E and İlhan H, Güney Marmara Süt Sığırı Yetiştiriciliğinin Isı Stresi Yönünden Değerlendirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2016;13(4): 12-19.
  79. Boyacı S, Etlik Piliç Kümeslerinde, Isıtma ve Soğutma Derece Gün Değerlerinin Derece Gün Yöntemiyle Belirlenmesi: Kırşehir İli Örneği. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2018;7(1): 75-82.
  80. Boyacı S, Akyüz A, and Kükürtcü M, Büyükbaş hayvan barınaklarında gübrenin yarattığı çevre kirliliği ve çözüm olanakları. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*. 2011;(1): 49-55.
  81. Yashoğlu E and Türkmen E, IPARD Destekli Süt Sığırcılığı İşletmelerinde İç Ortam İklim Parametrelerinin Analizi (Bursa Karacabey Örneği). *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*. 2017;34(Ek Sayı): 41-49.
  82. Yashoğlu E, İlhan H, Şimşek E, et al., Spatial and Temporal Variations of Temperature Humidity Index (THI) For Laying Hens in the Marmara Region, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2018;27(11): 7503-7509.
  83. Bezen R, Edan Y, and Halachmi I, Computer vision system for measuring individual cow feed intake using RGB-D camera and deep learning algorithms. *Computers and electronics in agriculture*. 2020;172: 105345.
  84. Rodenburg J, Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(9): 7729-7738.
  85. John A, Clark C, Freeman M, et al., Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal*. 2016;10(9): 1484-1492.
  86. O'Mahony N, Campbell S, Carvalho A, et al., 3D vision for precision dairy farming. *IFAC-PapersOnLine*. 2019;52(30): 312-317.