



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme

Hayvancılıkta Robotik Sistemler ve Yapay Zekâ Uygulamaları¹

Ali Hakan IŞIK^{a,*}, Ferdi ALAKUŞ^b, Ömer Can ESKİCİOĞLU^c

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

^b Itech Robotik Otomasyon Yenilenebilir Enerji Eğitim Medikal Taahhüt Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Isparta, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahakan@mehmetakif.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1015406

ÖZ

Hayvancılık, nesillerdir devam eden ve insanoğlunun temel gıda ihtiyacını karşılamasını sağlayan tarımın bir alt koludur. Ekonomik değer taşıyan hayvanların beslenmesi, bakımı ve üretimi yapılmaktadır. Büyükbaş, küçükbaş, tavukçuluk ve arıcılıkta hayvancılık kapsamında yer almaktadır. Temelinde hayvanların bakımı ve beslenmesi gibi gereksinimlerini karşılayarak insanların gıda ihtiyaçlarının sağlanması amaçlanmıştır. Bu ihtiyaçları karşılamak için hayvan çiftlikleri kurulmaktadır. Çiftliklerde hayvanların gereksinimlerinin sağlanması insan gücüne dayalı olarak sürdürülmektedir. Ancak günümüzde teknolojinin gelişmesiyle insan gücünün yerine makineler geçmektedir. Gömülü sistemler, robotik ve yapay zeka gibi konu alanlarının hayatımıza girmesiyle beraber karşılaşılan sorunlara daha kapsamlı çözümler bulunmaktadır. İnsan hatasından kaynaklanan ve kullanılan iş gücünü azaltarak en doğru bir şekilde mevcut teknolojiye faydalanılarak hayvancılık yapılması önerilmiştir. Çalışmamızda, literatürde bulunan hayvancılık kapsamında yapay zeka uygulamaları, görüntü işleme tabanlı sistemler, otonom çiftlik sistemleri incelenmiştir. İncelemelerden yola çıkarak insan hatasını minimize ederek yapay zeka tabanlı bir çiftliğin üretim kalitesi ve hızı yüksek oranda arttığı sonucuna varılmıştır. Mevcut çiftliklerde kendi kararını verebilen yapay zekaya sahip sistemlerin kullanılması üretim ve beslemenin yanı sıra hastalık tespiti de yapabilmektedir. Tamamen sayısal verilerden yola çıkarak maksimum verim elde etmek hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hayvancılık, Çiftlik Sistemleri, Yapay Zeka Uygulamaları, Otonom Teknolojiler, Görüntü İşleme, Robotik Sistemler

Robotic Systems and Artificial Intelligence Applications in Livestock

ABSTRACT

Livestock farming is a sub-branch of agriculture that has been going on for generations and enables human beings to meet their basic food needs. Animals with economic value are fed, cared for and produced. Cattle, ovine, poultry and beekeeping are included in animal husbandry. It is aimed to meet the food needs of people by meeting the needs of animals such as care and feeding. Animal farms are established to meet these needs. Providing the needs of animals in farms is based on human power. However, today, with the development of technology, machines are replacing human power. With the introduction of subject areas such as embedded systems, robotics and artificial intelligence into our lives, there are more comprehensive solutions to the problems encountered. It has been suggested that animal husbandry should be done by making use of the existing technology in the most accurate way by reducing the labor force caused by human error. In this study, artificial intelligence applications, image processing based systems, autonomous farm systems were examined within the scope of animal husbandry in the literature. Based on the investigations, it was concluded that the production quality and speed of an artificial intelligence-based farm increased at a high rate by minimizing human error. The use of systems with artificial intelligence, which can make its own decision in existing farms, can detect diseases as well as production and feeding. It is aimed to achieve maximum efficiency based on purely numerical data.

Keywords: Livestock, Farm Systems, Artificial Intelligence Applications, Autonomous Technologies, Image Processing, Robotic Systems.

¹ ICAIAME 2021 konferansında sunulmuş olup, özet metin olarak basılmıştır.

Geliş: 27/10/2021, Düzeltme: 13/12/2021, Kabul: 19/12/2021

I. GİRİŞ

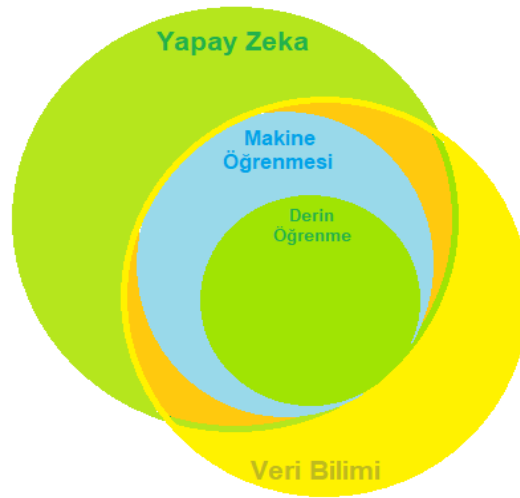
Yapay zeka hayatımızın birçok alanında bulunmaktadır. İnsan müdahalesiyle yapılacak olan işlemleri, hesaplamaları ve tespitleri gözlemleyerek yapabilmektedir. Tarımda, hayvancılıkta, tıp sektöründe, imalat sektöründe, lojistik alanında, havacılık sanayisinde, mekan dizaynı ve tasarım gibi alanlarda sıkça kullanılmaktadır. Yapay zekanın temelinde felsefe bilimi vardır. Daha sonra matematiksel olarak modellenmiştir. Tarihte, Aristoteles (M.Ö. 385 – 323) yazdığı Politika adlı kitabında ilk kez otomatlardan bahsetmiştir [1]. Sonraki yıllarda El – Cezeri, Leonardo da Vinci gibi ünlü bilim felsefesi ile uğraşan insanların çalışmalarıyla devam etmiştir. 1943 yılında 2. Dünya Savaşı sırasında “Makineler düşünebilir mi?” sorusunu ortaya atarak tartışmaya açan Alan Mathison Turing yapay zekanın fikir babası olarak kabul edilmektedir [2]. Yapay zeka sonraki yıllarda bir fikir veya bir sorunsal olmaktan daha çok matematiksel modeller ile alternatif çözümler üretmeye başlamıştır. Yapay zeka makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, örüntü tanıma, genetik algoritmalar, uzman sistemler konuşma anlama, robotik, bilgisayar görüşü ve optimizasyon gibi kendi içinde alt dallara ayrılmaktadır. Her bir alt dal farklı problemler için çözümler üretmeye odaklanmaktadır.

İnsanlar yıllar boyunca temel gıda ihtiyaçlarını tarım ve hayvancılıktan sağlamaktadır. Nesiller boyu sürdürülebilir olarak yeme-içme ihtiyaçlarını, ektiği ürünler ve hayvancılıktan elde etmektedir. Yapay zeka her alana olduğu gibi hayvancılık sektörüne de girmiştir. İnsan hatasından olabilecek sorunları minimize etmeyi bu sektörde de amaçlamaktadır. Yapay zekadan en iyi zamanlarda ve en optimum koşullarda olabildiğince az maliyet ile yapılacak işlerin yerine getirilmesi beklenmektedir. Hayvanların hastalık teşhisinde, günlük rutin bakımında, elde edilecek ürünlerin toplanmasında, refah seviyesinin yükseltilmesinde ve üreme ihtiyaçlarının denetlenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmamızda yapay zeka ve robotik teknolojilerini inceleyerek hayvancılık üzerine kullanımlarına yönelik uygulamalardan bahsedilecektir. İleride olacak tamamı insansız hayvan çiftliklerine değinilecek ve yapay zeka teknolojilerinden olan makine öğrenmesi, derin öğrenme ve bulanık mantık araştırılarak çalışmada yer verilecektir.

II. YAPAY ZEKA

İşlemlerin gerçekleşebilmesi için girdilere ve çıktılara ihtiyaç vardır. Girdiler algoritmalar yardımıyla işlenerek çıktılar elde edilmektedir [3]. Yapay zeka bu girdi verilerinin yorumlanması, çıkarımlar yaparak öğrenilmesi ve belirli hedeflere adaptasyon sağlayarak istenilen görevleri yerine getirme becerisine sahip olmalıdır [4]. Yapay zeka kendi içinde birçok kategoriye ayrılmaktadır. Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve bulanık mantık bunlardan bazılarıdır.



Şekil 1. Yapay zekanın makine öğrenmesi, derin öğrenme ve veri bilimi arasındaki ilişkisi.

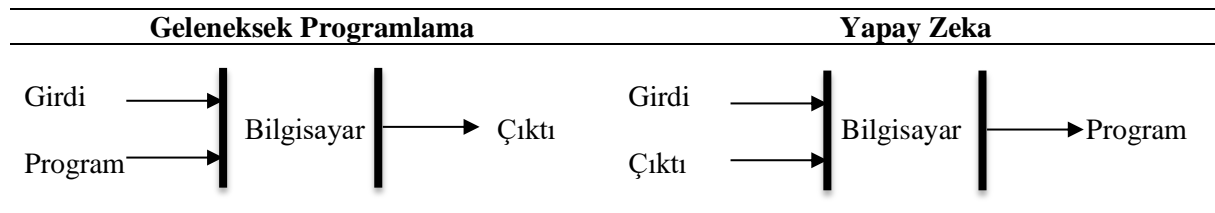
Yapay zeka veri girdilerini analiz ederek hedeflerin maksimum başarısını sağlayan fonksiyonları optimize etmektedir. Yapay zeka verilerden anlamlı sonuçların çıkarabilmesi için verilerin temiz, düzenli ve tutarlı olması gerekmektedir [5]. Bu temel nedenden dolayı veri bilimi ile beraber çalışmaktadır [6]. Şekil 1.'de verilen görüntüde beraber çalıştığı gösterilmektedir. Yapay zekanın birçok alt dalı bulunmaktadır. Çoğu alt dalları kendi alanında özgün problem çözme yöntemlerine sahiptir. Ancak ortak bir amaç vardır. Bu amaç ise eldeki veriler ile problemi maksimum başarı ile çözmektir.

Tarih boyunca yüzlerce bilim insanı bu konu üzerine çalışmıştır. Yeni metot ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile sorun çözme havuzu genişlemektedir. Çalışmamızda literatürde kullanılan yöntemleri inceleyeceğiz. Çiftliklerde yapay zekanın başka teknolojiler ile kullanılıp temel ihtiyaçlarımızın karşılanmasını sağlayan hayvancılık üzerindeki çalışmalara bakacağız.

A. MAKİNE ÖĞRENMESİ VE DERİN ÖĞRENME UYGULAMALARI

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yapay zekanın alt dalı olarak nitelendirilebilir. Makine öğrenmesi; algoritmaları girdilerden çıktılar elde etmek için, girdileri ve çıktıyı modeli belirleyebilmesinde eğitim verileri olarak kullanır [3]. Tablo 1'de yapay zeka ile geleneksel programlama arasındaki farklar görülmektedir [7].

Tablo 1. Geleneksel programlama ve yapay zeka arasındaki farklar.



Literatüre bakıldığında hayvancılıkla ilgili birçok çalışma olduğu gözlemlenmiştir. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bunlar;

Tabak M. ve arkadaşları [8] tarafından yapılan çalışmada Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) 5 eyalette yapılan kameralı tuzak görüntülerinden vahşi yaşam türlerini otomatik olarak sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmada ResNet – 18 mimarisine kullanılmıştır. 3.367.383 görüntü ile model eğitilmiştir. ResNet -18 mimarisi ABD'de elde edilecek görüntülerle %98 doğruluk oranı elde etmiştir.

Valdes-Donoso ve arkadaşları [9] tarafından yapılan çalışmada ABD Minnesota eyaletine bağlı 34 ilçesindeki hayvan hareketleri incelenmiştir. Yazarlar iki domuz üretim tesisini, çiftlikler ve pazar arasındaki hareketliliğini tahmin etmek için rastgele orman algoritmasını kullanmıştır. Araştırma sonunda iki üretim tesisinden 286 ve 215 hayvan hareketi belirlenmiştir. Hareketlerin sadece %14'ü diğer ilçelerde ki sahalarda bulunan hareketlere sahiptir.

Jensen D. ve arkadaşları [10] tarafından yapılan çalışmada ineklerde mastitis vakalarını saptamayı amaçlamıştır. 7 sensörden gelen verileri çok değişkenli dinamik doğrusal model (DLM) ve Naive Bayes (NB) sınıflandırıcısıyla beraber kullanılmıştır. Süt verimi, yağ, protein, laktoz, iletkenlik, kan ve vücut ağırlığı verilerini modelleyerek DLM ile bir sonraki sensör verileri tahmin edilmiştir. Veriler, elde edilen tahmin verilerinin hatalarının ve tahminlerin hata varyanslarına göre kategorize edilmektedir. İneğin mastitise olma olasılığının Bayes teoremi kullanarak inekle ilgili diğer verilerle (mevsim, sütte hafta, mastitis geçmişi, somatik hücre sayısı kategorisi ve parite) birleştirilmiştir. Bu olasılık, belirlenmiş bir eşğin üzerindeyse, mastitis pozitif olarak sınıflandırılmıştır. 2008 ve 2014 arasında toplanan 1.003.207 sağımdan elde edilen sensör verileri kullanılmıştır. DLM / NB yönteminin duyarlılığı %80, %81 özgünlük ve %89 alıcı çalışma karakteristik eğrisine ulaşılmıştır.

Ebrahimi M. ve arkadaşları [11] tarafından yapılan çalışmada 364.239 sağım verisi üzerinde geliştirilen model yardımıyla mastitis hastalığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada derin öğrenme,

naive bayes, genelleştirilmiş lineer modeli, lojistik regresyon, karar ağacı, gradyan arttırılmış ağaç (GBT) kullanılmıştır. Çalışmada GBT %84.9 doğruluk oranı ile en yüksek başarıyı elde etmiştir.

Yıldız K. [12] tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağı ile pedometre verileriyle hayvanlarda kızgınlık tahmini yapılmaktadır. 78 sığırdan toplamda 186 kızgınlık verisi elde edilmiştir. 2 katmanlı olarak tasarladığı YSA ile en yüksek başarıyı 0.9733 ROC skoruyla elde etmektedir.

Shahriar ve arkadaşları [13] tarafından yapılan çalışmada büyükbaş hayvanlardan alınan eğim sensörü ve sıcaklık verileriyle aktivite seviyelerini belirlemektedir. Çalışmanın asıl amacı hayvanlardaki kızgınlık durumunu saptamaktadır. K-ortalama algoritmasını verileri gruplandırma yapmak için kullanmıştır. İndekste değişikliklerin belirlenmesi gibi yöntemler kullanarak %100 duyarlılık elde etmiştir. Çalışmada %82 ile %100 arası genel doğruluk oranına ulaşılmaktadır.

Brunassi ve arkadaşları [14] tarafından yapılan çalışmada 25 bin kızgınlık verisi yardımıyla sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada toplamda 3 sınıf bulunmaktadır. % 84.2 duyarlılık skoruna ulaşılmıştır.

Işık E. ve Güler T. [15] tarafından yapılan çalışmada arabalı süt sağım makinelerinin basınç farklılıkları sonrasında meme başlarındaki hasarı görüntü işleme teknikleriyle saptanması yapılmıştır. Çalışmada vakum değerlerine göre meme deformasyon değerleri karşılaştırılmıştır.

Dandil E. ve arkadaşlarının [16] yaptıkları çalışmada Daha Hızlı Bölgesel - Evrimsel Sinir Ağları (DHB-ESA) ile sığır yüz görüntülerinin sınıflandırması yapılmıştır. Veri setinde 5 farklı sığırdan toplamda 1579 görüntü kullanılmıştır. 1129 görüntü ile eğitim, 450 görüntü ile test yapılmıştır. %98.44 doğruluk oranı elde edilmiştir. Sığır yüz görüntüleri başarılı bir şekilde sınıflandırılmıştır.

Cihan P. ve arkadaşları [17] tarafından yapılan çalışmada veri setindeki değerler ile ondalık ölçekleme, z-skor, sigmoid ve minimum-maksimum normalizasyonu yapılmıştır. Çalışmada kuzularda hastalık teşhisinin sınıflandırılması yapay sinir ağları ile yapılmaktadır. En yüksek başarıyı f-ölçümü 0.36 ile sigmoid normalizasyonunda elde edilmiştir.

Rao Y. ve arkadaşları [18] tarafından yapılan çalışmada makine öğrenmesi ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerden yararlanılarak keçiler için çiftlik refah izleme sistemi yapılmıştır. Sistem, videolar ve görüntüler toplanarak keçi büyümesinin izlenmesi, uzaktan kontrol edilip bakımı yapılabilmesi ve keçi davranışının analizleri yapılmaktadır. Destek vektör regresyonu (SVR) ve K-en yakın komşu algoritmaları kullanılmıştır. Sıcaklık, nem ve gaz değerlerini %94 - %97.5 oranında yüksek bir başarıyla tahmin etmektedir.

Volkman N. ve arkadaşları [19] tarafından yapılan çalışmada ineğin yürüyüşünün akustik analizi yapılarak pençe lezyonlarının tespiti için bir yöntem önerilmiştir. Rastgele orman algoritması kullanılmıştır. 64 inekten toplamda 640 ses dosyası toplanmıştır. Çalışma sonucunda %81 duyarlılık, %97 özgüllük oranı elde edildi.

Raksha R. ve Surekha P. [20] tarafından yapılan çalışmada K-en yakın komşu (KNN), lojistik regresyon ve destek vektör makineleri (SVM) gibi makine öğrenmesi modelleri kullanılmıştır. Nesnelerin interneti tabanlı (IoT) bir çiftlik izleme sistemi çalışmada önerilmiştir. Çalışma sonucunda %89.6 ile SVM en yüksek başarıya sahiptir.

Debauche O. ve arkadaşları [21] tarafından yapılan çalışmada çiftlik hayvanlarının otlatma, topallık, geniş getirme gibi davranışlarını tespit etmektedir. İnek, koyun, keçi, domuz, at ve tavukların davranışlarından elde edilen veri setini makine öğrenmesi algoritmalarıyla sınıflandırma yapılmaktadır. Her çiftlik hayvanının davranış sınıflandırmasından yüksek başarı oranları elde edilmiştir.

Warner D. ve arkadaşları [22] tarafından yapılan çalışmada 20 çiftlikte hayvanların topallığı karar ağaçları, rastgele orman ve lojistik regresyon algoritmaları ile tahmin edilmiştir. Sürü prevalansına göre

229 hayvanda topallık riski tespit edilmiştir. Alıcı çalışma karakteristik eğrisi (AUC) en yüksek 0.76 olarak belirlenmiştir. 0.54 duyarlılığa, 0.94 özgüllük değeri elde edilmiştir.

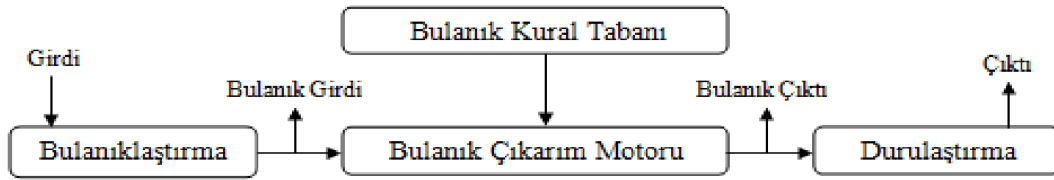
Tablo 2. Literatürdeki makine öğrenme algoritmalarının karşılaştırılması.

Yazarlar	Metotlar	Konular	Sonuçlar
Tabak M. ve arkadaşları [8]	ResNet – 18	Vahşi yaşam türlerini otomatik olarak sınıflandırılması	Doğruluk : %98
Jensen D. ve arkadaşları [10]	Çok değişkenli dinamik doğrusal model (DLM) + Naive Bayes (NB)	Mastitis Hastalığının Tespiti	Duyarlılığı %80, %81 özgüllük ve %89 alıcı çalışma karakteristik eğrisine ulaşılmıştır.
Ebrahimi M. ve arkadaşları [11]	Derin Öğrenme, Naive Bayes, Genelleştirilmiş Lineer Modeli Lojistik Regresyon Karar Ağacı Gradyan artırılmış ağaç (GBT)	Mastitis Hastalığının Tespiti	GBT %84.9 doğruluk oranı ile en yüksek başarıyı elde etmiştir.
Yıldız K. [12]	Yapay Sinir Ağı	Kızgınlık Tahmini	0.9733 ROC
Shahriar ve arkadaşları [13]	K - Ortalama	Kızgınlık Tahmini	%100 duyarlılık %82 ile %100 arası genel doğruluk elde edilmiştir.
Dandil E. ve arkadaşları [16]	Daha Hızlı Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları (DHB-ESA)	Yüz Görüntülerinin Sınıflandırması	%98.44 doğruluk oranı elde edilmiştir.
Cihan P. ve arkadaşları [17]	Yapay Sinir Ağları	Çalışmada Kuzularda Hastalık Teşhisi	En yüksek başarımlı f-ölçümü 0.36 ile sigmoid normalizasyonunda elde edilmiştir.
Rao Y. ve arkadaşları [18]	SVR KNN	Keçi büyümesinin izlenmesi Uzaktan kontrol edilip bakımı yapılabilmesi Keçi davranışının analizleri	Sıcaklık, nem ve gaz değerlerini %94 - %97.5 oranında yüksek bir başarımlı ile tahmin etmektedir.
Volkman N. ve arkadaşları [19]	Rastgele Orman	Pençe Lezyonlarının Tespiti	Çalışma sonucunda %81 duyarlılık, %97 özgüllük oranı elde edildi.
Raksha R. ve Surekha P. [20]	KNN SVM Lojistik Regresyon	Çiftlik İzleme Sistemi	Çalışma sonucunda %89.6 ile SVM en yüksek başarımlı oranına sahiptir.

Warner D. ve arkadaşları [22]	Rastgele Orman Lojistik Regresyon	Çiftlik hayvanlarının otlatma, topallık, geviş getirme gibi davranışlarının tespiti	AUC en yüksek 0.76 olarak belirlenmiştir. Duyarlılık : 0.54 Özgüllük : 0.94
-------------------------------	-----------------------------------	---	---

B. BULANIK MANTIK UYGULAMALARI

Bulanık mantık anlamlı bilgiler ile insan düşünme biçimine yakın modelleriyle denetim ve karar verebilme süreçlerinden oluşmaktadır [23]. Otomatik kontrol sistemlerinde, bilgi sistemlerinde, görüntü tanımlama ve optimizasyon yapmada sıklıkla kullanılmaktadır [24]. Literatürde hayvancılık alanında birçok bulanık mantık uygulaması incelenmiştir. Bazı çalışmalar şu şekildedir;



Şekil 2. Bulanık sistemlerin çalışma yapısı [25].

Wade K. M. ve arkadaşları [26] tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık tabanlı bir karar destek sistemi yapılmıştır. Oluşturulan sistemde sağmal ineklerde laktasyon sırasını, üreme etkinliğini ve üretim indeksine bağlı olarak sistem ayıklama karar çıktısı vermektedir.

Strasser M. ve arkadaşları [27] tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem ile düşük verimli hayvanların tespiti yapılmaktadır. Böylelikle bu hayvanların tespit edilerek çiftlikler için bir maliyet kaybını minimum yapmayı hedeflemektedir.

Morag I. ve arkadaşları [28] tarafından yapılan bir çalışmada bulanık mantık yardımıyla vücut ağırlığı ve sütteki verim gibi parametreler yardımıyla yem miktarının belirlenmesini sağlayan bir karar destek sistemi yapılmıştır. Yapılan sistem ile sürü yönetim programları ile entegre çalışabildiği gözlemlenmiştir.

Mehraban ve arkadaşları [29] tarafından yapılan çalışmada çiğ sütün kalitesini bulanık mantık tabanlı olarak geliştirdikleri yöntemde bulmaktadır. Fizikokimyasal ve mikrobiyolojik açıdan değerlendirmeye almışlardır. Yapılan sistemin %82.5 başarımlı sağladığı belirtilmiştir.

Kramer E. ve arkadaşları [30] tarafından yapılan çalışmada ineklerde meydana gelen mastitisin ve topallığın sınıflandırmasını sağlayan bulanık mantık temelli bir sınıflama yöntemi kullanmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucundan istenilen performans değerleri elde edilememiştir.

Memmedova ve Keskin [31] tarafından geliştirilen sistem ile ineklerdeki son kızgınlık değerlerini ve hareket durumlarından kızgınlık sınıflandırması yapılması hedeflenmiştir. Bulanık mantık tabanlı geliştirilen sınıflandırma yöntemi ile %98 değerinde başarımlı göstermektedir.

De Mol R. M. ve Woldt W. E. [32] tarafından yapılan çalışmada sütün verimini, elektriksel iletkenliği ve hayvan aktivitesini sensörler ile ölçerek mastitis ve östrus uyarılarını sınıflandırmak için bulanık mantık tabanlı bir sistem önerilmiştir. Önerilen yöntemle otomatik olarak inek durumları izlenmiştir.

Cavero D. ve arkadaşları [33] tarafından yapılan çalışmada otomatik sağım sistemine giren ineklerin mastitis hastalığını bulanık mantık ile sınıflandırma yaparak tespit eden bir sistem önerilmiştir. Çalışmada 478 inekten 403.537 sağım verilerinin bulunduğu bir veri seti kullanılmıştır. Bulanık mantık ile sınıflandırma yapabilmek için giriş verileri olarak süt üretim hızı, süt akış hızı ve elektriksel iletkenlik

değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda %93.9 ile %41.9 arasında özgülük değeri ve %95.5 ile %41.9 arasında ise hata oranı elde edilmiştir.

Zarchi H.A., Blanke M. ve Jónsson R.I. [34] tarafından yapılan çalışmada östrus uyarılarını sınıflandırmak için istatistiksel detektör ile beraber bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Altı ay boyunca toplanan 12 ineğin verileri üzerinde çalışma test edilmiştir. Çalışma sonucunda %85.3 duyarlılık, %100 özgülük ve %2.8 hata oranı elde edilmiştir.

Santos S. ve arkadaşları [35] tarafından yapılan çalışmada sığır çiftliklerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için bulanık mantık tabanlı bir karar destek sistemi olan Sürdürülebilir Pantanal Çiftliği'ni çalışmada açıklamaktadır. Her boyut, öznelilikler ve genel indeks için bir Bulanık Kural Tabanlı Sistem (FRBS) geliştirilmiştir.

Zaninelli M. ve arkadaşları [36] tarafından yapılan çalışmada keçilerin meme sağlığını gözlemlemek için yeni bir bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde elektriksel iletkenlik sinyali, bant genişliğinin, uzunluğu, Fourier frekans spektrumundaki ilk ana tepe noktasının genliği ve frekansı girdi olarak verilmiştir. 0.9 kesme seviyesinde %56 duyarlılık ve %92 özgülük oranı elde edilmiştir. 0.1 kesme seviyesinde ise %99 duyarlılık ve %27 özgülük sonuçları bulunmuştur.

Zaninelli M. ve arkadaşları [37] tarafından yapılan çalışmada çevrimiçi olarak sağlık durumu ve elektriksel iletkenlik değerleri izlenerek tespit potansiyeli belirlenmiştir. Süt verimi içinde benzer bir yaklaşımda bulunulmuştur. 8 sağlıklı Saanen keçisinden alınan 2 süt numunesi 6 ay boyunca günlük olarak ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik ve süt verimi tahmini olarak hesaplanıp bulanık mantık modeline girdi olarak verilmiştir. Çalışmanın sonucunda %81 duyarlılık ve %69 özgülük oranı elde edilmiştir.

Harsani P., Mulyana I. ve Zakaria D. [38] tarafından yapılan çalışmada A* algoritması ve bulanık mantık ile keçi arama oyunu yapılmıştır. Bulanık mantık düşman davranışlarını belirlemek için kullanılmıştır. Algoritma A* ise en kısa yolun bulunması için kullanılmaktadır. Oyundaki amaç labirentteki keçilerin otları bulmasıdır. Ancak keçilere düşman olarak 4 ayrı tür sınıf vardır. Oyun 4 aşamalı bir zorluk seviyesine sahiptir.

Zaninelli M. ve arkadaşları [39] tarafından yapılan çalışmada sensörlerden elde edilen çevrimiçi elektriksel iletkenlik verilerine göre bulanık mantık tabanlı bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemde sağlık durumları ve süt kalitesi değerlendirilmiştir. 0.7 kesme seviyesinde %73 özgülük ve %81 duyarlılık değeri elde edilmiştir.

Tablo 3. Literatürdeki bulanık mantık modellerinin karşılaştırılması.

Yazarlar	Metotlar	Konular	Sonuçlar
Mehraban ve arkadaşları [29]	Bulanık Mantık	Çiğ süt kalitesinin tespiti	%82.5 başarımlı sağlanmıştır. Özgülük : %93.9 ile %41.9 Hata Oranı %95.5 ile %41.9
Cavero D. ve arkadaşları [33]	Bulanık Mantık	Mastitis hastalığının tespiti	Duyarlılık :%85.3 Özgülük : %100 Hata Oranı : %2.8
Zarchi H.A., Blanke M. ve Jónsson R.I. [34]	İstatistiksel Detektör + Bulanık Mantık	Östrus uyarılarının sınıflandırılması	

Tablo 4(devam). Literatürdeki bulanık mantık modellerinin karşılaştırılması.

Yazarlar	Metotlar	Konular	Sonuçlar
Zaninelli M. ve arkadaşları [36]	Bulanık Mantık	Meme sağlığının gözlemlenmesi	0.9 kesme seviyesinde: Duyarlılık : %56 Özgüllük : %92 0.1 kesme seviyesinde: Duyarlılık : %99 Özgüllük : %27
Zaninelli M. ve arkadaşları [37]	Bulanık Mantık	Çevrimiçi sağlık durumunun ve elektriksel iletkenlik değerlerinin izlenmesi	Duyarlılık : %81 Özgüllük %69
Zaninelli M. ve arkadaşları [39]	Bulanık Mantık	Sağlık durumu ve süt kalitesinin izlenmesi	0.7 kesme seviyesinde: Duyarlılık : %81 Özgüllük : %73

III. ROBOTİK SİSTEMLER

Robotik sistemler insanoğlunun yaptığı işleri ve eylemleri otomatikleştirmektedir. Üretim uygulamalarında, imalat sanayisinde, sanayi sektöründe, hizmet sektöründe, inşaat sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Robotik sistemlerin asıl amacı insan hatasından meydana gelecek olayların önüne geçerek yapılacak eylemin sürekliliği sağlamaktır. Gece gündüz günlerce çalışan robotlar çok daha verimli tüketim maliyetleriyle sürdürülebilir olarak çalışmaktadır. Maliyetli ve uzun vadeli sistemlerdir. Robotik sistemler üreticilere kalite ve performans sağlamaktadır.

Teknolojinin son yıllarda ivmelenmesiyle evlere ve iş yerlerine bu sistemler yer bulmaktadır. Robotik sistemler farklı alanlarda insanın yaptığı bir rutin eylemin olduğu her yerde çalışabilmektedir. Mikro boyutlardan devasa boyutlara kadar olan bir ürün yelpazesi vardır. Geniş bir kullanıcı kitlesine sahiptir. Sistemin yapacağı işleme göre robotik çözümler farklılık gösterebilir. Çalışmamızda robotik sistemlerin hayvancılık alanında kullanımlarını inceleyeceğiz. Literatür incelendiğinde hayvancılık alanındaki birçok rutin eylemi ve sorunları bu sistemlerin çözdüğü anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar;

Butler D. ve Bear C. [40] tarafından yapılan çalışmada insan ihtiyacına gerek duymadan bir otomatik sağım sistemi (AMS) çiftlikler için kullanımı önerilmiştir. Robot tarafından ayrıntılı veriler kaydedilmektedir. Çalışmada stok görevlisi ile AMS arasındaki ilişkiye odaklanılmıştır. Böylelikle sağım rutini ile inek sağlığını ve refahını arttırmak hedeflenmiştir.

Kounalakis T., Triantafylidis G. ve Nalpantidis L. [41] tarafından yapılan çalışmada süt çiftliklerindeki yabancı otların görüntüleriyle bir veri seti oluşturmak için robotik platform kullanılmıştır. Derin öğrenme kullanılarak yabancı ot görsellerini tanıma algoritması oluşturulmuştur. Ayrıca transfer öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Böylelikle elde edilen gerçek verilerden yabancı ot sınıflandırması yapan bir sistem önerilmektedir.

Rossing W. ve arkadaşları [42] tarafından yapılan çalışmada 1996 yılında Hollanda da bulunan robot kol, meme temizleme cihazları, sağım ekipmanları ve durakları anlatılmaktadır. Çalışmada sağım sıklığının 2'den 3'e çıkarılması 1000kg süt kazancına geçildiğinden bahsetmektedir. Ayrıca robotik sistemler ile otomatik sağımın çiftçiler üzerinde olumlu bir etkisi olacağına değinilmiştir.

Hamrita T., Tollner E. ve Schafer R. L. [43] tarafından yapılan çalışmada robotik biliminin tarımdaki yerine ve önemine odaklanılmıştır. Kullanılan kontrolörler ve sensörlerdeki gelişmelerden bahsedilmiştir. Gelecek için bir vizyon oluşturulmaya çalışılmıştır.

Orsini R. ve arkadaşları [44] yaptıkları çalışmada Università Politecnica delle Marche tarafından finanse edilen PFRLab araştırma projesi hakkında bilgi verilmiştir. PFRLab projesinde mahsul sistemlerinin sürdürülebilirliği ve gıda güvenliğinin sağlanması hedeflenmiştir. Gıda güvenliği için hassas tarım robotik laboratuvarının kurulması ve multidisipliner bir yapıda akıllı tarım yapılması planlanmaktadır. Lauguico ve arkadaşları [45] tarafından yapılan çalışmada dünya nüfusunun ve gıda talebinin giderek artmasından dolayı yiyecek kıtlığının endişe verici olduğuna değinilmiştir. Robotik bir kol ile dikey tarım uygulamasına odaklanılmıştır. Kentlerde ve çiftliklerde popüler olması beklenmektedir. Bu araştırma çalışması MATLAB ve Universal Robots kullanılarak simüle edilmiştir.

Nguyen V. ve arkadaşları [46] tarafından yapılan çalışmada tarımda kullanılan robotik araçların analizi yapılmaktadır. Robotik teknolojinin ve sensör teknolojisinin sürekli olarak gelişmesiyle beraber ileriki çalışmalar için umut verici olarak nitelendirilebilir.

Mundan D. ve arkadaşları [47] tarafından yapılan çalışmada robotlu sağım sistemleriyle birlikte çalışan çiftliklerin ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Karşılaşılan zorluklar ve fırsatlardan bahsedilmiştir. İnsan maliyetini ortadan kaldırarak robotik çiftlik yatırımına odaklanılmıştır. Çalışma sonucunda büyük işletmelerin robotik sistemlere geçmesinin daha cazip olduğu anlaşılmıştır.

Hyde J. ve Engel P. [48] tarafından yapılan çalışmada robotik sağım sistemlerine yatırım yapmanın getirileri ve maliyetlerinden bahsedilmiştir. Robotik bir sağım sisteminin (RMS) gelir/gider değerlerini tahmin etmek için Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılmıştır.

Wagner-Storch A. ve Palmer R. [49] tarafından yapılan çalışmada bir çiftlikte geleneksel sağım yöntemi ile sağılan ve robotik sağım sistemini kullanılan ineklerin süt verimi, beslenme ve sağım davranışları incelenmiştir. Çalışma, gelecekte yapılacak olan otomatik sağım sistemlerinin taşıma ve besleme tesislerinin tasarımlarını doğrudan etkilemektedir.

Borshch O. ve arkadaşları [50] tarafından yapılan çalışmada ineklerin robotik sağım sistemine uyum göstergelerini incelemektedir. Çalışma robotik bir çiftlikte bulunan Fransız Holstein, Alman Holstein, ırkları ve kahverengi İsviçre ırkı inekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Alman Holstein ırkının daha kısa bir adaptasyon süresi olduğu gözlemlenmiştir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapay zeka ve robotik teknolojilerinin hayvancılık alanına olan uygulamaları incelenmiştir. Çalışmada herhangi bir görsele, videoya veya sayısal veriye sahip olduğu takdirde problemlere çözümler üretileceği açıklanmıştır. Hatasız, eksiksiz ve mükemmel veriler ile en zor sorunların yapay zeka ile çözüleceği düşünülmektedir. Çok yakında olması beklenen tam otonom çiftliklerde sınıflandırma ve tahminleme ile ilgili problemler için makine öğrenmesi ve bulanık mantık, daha zor problemler için derin öğrenmenin uygulanması planlanmaktadır. Yapay zekanın tamamıyla sayısal verilerden kesin sonuçlar verebilen başarılı öngörülerini çiftlik sahiplerini ikna etmektedir. Büyük çiftlikler bu trendi kaçırmak istememektedir. Oldukça insan hatasından kaçınmak ve hayvanlardan en optimum şartlarda faydalanmak istemektedir. Yapay zekanın yüksek başarımlardaki karar verme performansı ile robotik biliminin beraber kullanılması tam otonom akıllı çiftlikler için en büyük yapı taşıdır. Yapay zekanın görüntü işleme, karar verme, sınıflandırma, tahmin yapma ve sürü yönetim sistemleri gibi yetenekleriyle çiftliklerde insan müdahalesiyle yapılan çoğu problemi çözebilmektedir. Hastalık tespiti, optimum yemleme, hayvan mahsullerinin toplanması, hayvan davranışlarının tespiti ve hayvan sağlığının analizleri yapay zeka ile yapılabilmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ve çiftliklerdeki bu ihtiyacın gelecek çalışmalar için büyük bir potansiyel taşıdığı sonucuna ulaşılabilir. Tam otonom hayvancılık için incelenen örnekler gelecek için umut vermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, 4BHLI nolu KOSGEB Ar-Ge ve İnovasyon Destek Programı kapsamında desteklenmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Tuncay, *Aristoteles: Politika*, 21. baskı, İstanbul, Türkiye: Remzi Yayınevi, 2019.
- [2] A. Hodges, *Alan Turing: The Enigma Updated Edition*, Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 2014.
- [3] A. Süslü, “Doğa ve insan bilimlerinde yapay zekâ uygulamaları,” *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 1–10, 2019.
- [4] A. Kaplan and M. Haenlein, “Siri, Siri, in my hand: Who’s the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence,” *Business Horizons*, vol. 62, no. 1, pp. 15–25, 2019.
- [5] H. Pirim, “Yapay zeka,” *Journal of Yaşar University*, c. 1, s. 1, ss. 81–93, 2006.
- [6] R. Hoehndorf and N. Queralt-Rosinach, “Data Science and symbolic AI: Synergies, challenges and opportunities,” *Data Science*, vol. 1, no. 1–2, pp. 27–38, 2017.
- [7] V. Kotu and B. Deshpande, “Data Science: Concepts and practice,” in 2. Edition. Elsevier, USA, 2019.
- [8] M. A. Tabak *et al.*, “Machine learning to classify animal species in camera trap images: Applications in ecology,” *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, no. 4, pp. 585–590, 2019.
- [9] P. Valdes-Donoso, K. VanderWaal, L. S. Jarvis, S. R. Wayne, and A. M. Perez, “Using machine learning to predict swine movements within a regional program to improve control of infectious diseases in the US,” *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 4, no. 2, pp. 1-13, 2017.
- [10] D. B. Jensen, H. Hogeveen, and A. De Vries, “Bayesian integration of sensor information and a multivariate dynamic linear model for prediction of dairy cow mastitis,” *Journal of Dairy Science*, vol. 99, no. 9, pp. 7344–7361, 2016.
- [11] M. Ebrahimi, M. Mohammadi-Dehcheshmeh, E. Ebrahimie, and K. R. Petrovski, “Comprehensive analysis of machine learning models for prediction of sub-clinical mastitis: Deep Learning and Gradient-Boosted Trees outperform other models,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 114, 2019.
- [12] A. Koray Yildiz, “Büyükbaş hayvanlarda kızgınlığın (östrus) hareketlilik ve çevre verilerinden yararlanarak yapay sinir ağları ile belirlenmesi,” Doktora tezi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2016
- [13] M. S. Shahriar *et al.*, “Detecting heat events in dairy cows using accelerometers and unsupervised learning,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 128, pp. 20–26, Oct. 2016.
- [14] L. dos A. Brunassi *et al.*, “Improving detection of dairy cow estrus using fuzzy logic,” *Scientia Agricola*, vol. 67, no. 5, pp. 503–509, 2010.
- [15] E. Işık ve T. Güler, “Farklı vakum değerlerinde ineklerde sağım sonrası meme başı deformasyonun görüntü işleme tekniğiyle saptanması,” *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*,

c. 23, s. 1, ss. 33–41, 2009.

[16] E. Dandıl, M. Turkan, M. Boğa, ve K. K. Çevik, “Daha hızlı bölgesel-evrimsel sinir ağları ile sığır yüzlerinin tanınması,” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 6, ss. 177–189, 2019.

[17] P. Cihan, E. Gökçe, ve O. Kalipsiz, “Veteriner hekimlik alanında makine öğrenmesi uygulamaları üzerine bir derleme,” *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 4, ss. 673–680, 2017.

[18] Y. Rao, M. Jiang, W. Wang, W. Zhang, and R. Wang, “On-farm welfare monitoring system for goats based on Internet of Things and machine learning,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 16, no. 7, 2020.

[19] N. Volkmann, B. Kulig, S. Hoppe, J. Stracke, O. Hensel, and N. Kemper, “On-farm detection of claw lesions in dairy cows based on acoustic analyses and machine learning,” *Journal of Dairy Science*, vol. 104, no. 5, pp. 5921–5931, 2021.

[20] R. Raksha and P. Surekha, “A cohesive farm monitoring and wild animal warning prototype system using IoT and machine learning,” in *2020 International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics*, Bengaluru, India, 2020, pp. 472–476.

[21] O. Debauche, M. Elmoulat, S. Mahmoudi, J. Bindelle, and F. Lebeau, “Farm animals’ behaviors and welfare analysis with AI algorithms: A Review,” *Revue d'Intelligence Artificielle*, vol. 35, no. 3, pp. 243–253, 2021.

[22] D. Warner, E. Vasseur, D. M. Lefebvre, and R. Lacroix, “A machine learning based decision aid for lameness in dairy herds using farm-based records,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 169, pp. 1-7, 2020.

[23] G. Chen and T. T. Pham, *Introduction To Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Control Systems*, Florida, ABD, CRC Press, 2000.

[24] Altaş, İ. H., “Bulanık mantık : bulanıklılık kavramı,” *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, c. 62, ss. 80–85, 1999.

[25] Akıllı Aslı, Atıl Hülya, ve Harun Kesenkaş, “Çiğ süt kalite değerlendirmesinde bulanık mantık yaklaşımı,” *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 20, s. 2, ss. 223–229, 2014.

[26] K. M. Wade, R. Lacroix, and M. Strasser, “Fuzzy logic membership values as a ranking tool for breeding purposes in dairy cattle,” in *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Armidale, Australia, 1998, vol. 27, pp. 433–436.

[27] M. Strasser, R. Lacroix, R. Kok, and K. M. Wade. (1997). *A second generation decision support system for the recommendation of dairy cattle culling decisions* [Online]. Available: <https://www.mcgill.ca/animal/files/animal/97r04.pdf>

[28] I. Morag, Y. Edan, and E. Maltz, “An individual feed allocation decision support system for the dairy farm,” *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 79, no. 2, pp. 167–176, 2001.

[29] M. M. Sangatash, M. Mohebbi, F. Shahidi, A. V. Kamyad, and M. Q. Rohani, “Application of fuzzy logic to classify raw milk based on qualitative properties,” *International Journal of AgriScience*, vol. 2, no. 12, pp. 1168–1178, 2012.

[30] E. Kramer, D. Caverio, E. Stamer, and J. Krieter, “Mastitis and lameness detection in dairy cows

by application of fuzzy logic,” *Livestock Science*, vol. 125, no. 1, pp. 92–96, 2009.

[31] N. Mikail ve İ. Keskin, “İneklerde bulanık mantık modeli ile hareketlilik ölçüsünden yararlanılarak kızgınlığın tespiti,” *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 6, ss. 1003–1008, 2011.

[32] R. M. De Mol and W. E. Woltdt, “Application of fuzzy logic in automated cow status monitoring,” *Journal of Dairy Science*, vol. 84, no. 2, pp. 400–410, 2001.

[33] D. Cavero, K. H. Tölle, C. Buxadé, and J. Krieter, “Mastitis detection in dairy cows by application of fuzzy logic,” *Livestock Science*, vol. 105, no. 1–3, pp. 207–213, 2006.

[34] H. A. Zarchi, R. I. Jónsson, and M. Blanke, “Improving oestrus detection in dairy cows by combining statistical detection with fuzzy logic classification,” in *Proceedings of the 7th Workshop on Advanced Control and Diagnosis*, Zielona, Poland, 2009, pp. 20.

[35] S. A. Santos *et al.*, “A fuzzy logic-based tool to assess beef cattle ranching sustainability in complex environmental systems,” *Journal of Environmental Management*, vol. 198, pp. 95–106, 2017.

[36] M. Zaninelli, F. M. Tangorra, A. Costa, L. Rossi, V. Dell’Orto, and G. Savoini, “Improved fuzzy logic system to evaluate milk electrical conductivity signals from on-line sensors to monitor dairy goat mastitis,” *Sensors 2016*, vol. 16, no. 7, pp. 1079, 2016.

[37] M. Zaninelli, L. Rossi, F. M. Tangorra, A. Costa, A. Agazzi, and G. Savoini, “On-Line monitoring of milk electrical conductivity by fuzzy logic technology to characterise health status in dairy goats,” *Italian Journal of Animal Science*, vol. 13, no. 2, pp. 340–347, 2016.

[38] P. Harsani, I. Mulyana, and D. Zakaria, “Fuzzy logic and A* algorithm implementation on goat foraging games,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Tangerang Selatan, Indonesia, 2018, vol. 332, no. 1, p. 012054.

[39] M. Zaninelli, L. Rossi, A. Costa, F. M. Tangorra, A. Agazzi, and G. Savoini, “Use of electrical conductivity sensors to monitor health status and quality of milk in dairy goats,” *International Journal of Health, Animal Science and Food Safety*, vol. 2, no. 2s, pp. 8-9, 2015.

[40] D. Butler, L. Holloway, and C. Bear, “The impact of technological change in dairy farming: Robotic milking systems and the changing role of the stockperson,” *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, vol. 173, pp. 1-6, 2012.

[41] T. Kounalakis, G. A. Triantafyllidis, and L. Nalpantidis, “Deep learning-based visual recognition of rumex for robotic precision farming,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 165, p. 104973, 2019.

[42] W. Rossing, P. H. Hogewerf, A. H. Ipema, C. C. K.-D. Lauwere, and C. J. A. M. De Koning, “Robotic milking in dairy farming,” *Netherlands Journal of Agricultural Science.*, vol. 45, no. 1, pp. 15–31, 1997.

[43] T. K. Hamrita and E. W. Tollner, “Toward fulfilling the robotic farming vision: Advances in sensors and controllers for agricultural applications,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 36, no. 4, pp. 1026–1032, 2000.

[44] R. Orsini *et al.*, “Setting of a precision farming robotic laboratory for cropping system sustainability and food safety and security: preliminary results,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Ancona, Italy, 2019, vol. 275, no. 1, pp. 012021.

- [45] S. C. Lauguico, R. S. Concepcion, D. D. MacAsaet, J. D. Alejandrino, A. A. Bandala, and E. P. Dadios, "Implementation of inverse kinematics for crop-harvesting robotic arm in vertical farming," in *9th IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, Bangkok, Thailand, 2019, pp. 298–303.
- [46] V. Nguyen, Q. Vu, O. Solenaya, and A. Ronzhin, "Analysis of main tasks of precision farming solved with the use of robotic means," in *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 113, p. 02009.
- [47] D. Mundan, H. Selçuk, K. Orçin, E. Karakafa, ve F. Akdağ, "Modern süt sığırı işletmelerinde robotlu sağım sistemlerinin ekonomik açıdan değerlendirilmesi," *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 42–48, 2014.
- [48] J. Hyde and P. Engel, "Investing in a robotic milking system: A Monte Carlo simulation analysis," *Journal of Dairy Science.*, vol. 85, no. 9, pp. 2207–2214, 2002,
- [49] A. M. Wagner-Storch and R. W. Palmer, "Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system," *Journal of Dairy Science.*, vol. 86, no. 4, pp. 1494–1502, 2003.
- [50] O. O. Borshch *et al.*, "Adaptation strategy of different cow genotypes to the voluntary milking system," *Ukrainian Journal of Ecology*, vol. 10, no. 1, pp. 145–150, 2020.