

Hayvancılık Sektöründe Dijital Tarımın Kullanım Alanları ve Ekonomik Katkıları

Mutlu Bulut¹

¹Hayvansal Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

Özet

Tarım 4.0 anlayışıyla birlikte gelişen dijital tarım uygulamaları, hayvancılık sektöründe üretim verimliliğini artıran, maliyetleri düşüren ve sürdürülebilirliği destekleyen yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu çalışmada, hayvancılık işletmelerinde kullanılan dijital teknolojilerin başlıca uygulama alanları ve bunların ekonomik katkıları incelenmiştir. Sensör tabanlı hayvan izleme sistemleri, otomatik yemleme ve sağım robotları, akıllı sürü yönetim yazılımları, nesnelerin interneti (IoT) destekli çevresel kontrol sistemleri ve yapay zekâ tabanlı verim tahmin modelleri başlıca teknolojik yenilikler arasında öne çıkmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde hayvan refahının artırılması, hastalıkların erken teşhisi, yem ve enerji kullanımında tasarruf sağlanması ve üretim verimliliğinin yükselmesi mümkün olmaktadır. Çalışmada ayrıca, dijital tarım uygulamalarının işletme kârlılığına, kaynak kullanım etkinliğine ve gıda güvenliğine olan katkıları değerlendirilmektedir. Bulgular, dijital teknolojilerin hayvancılık sektöründe rekabet gücünü artırarak kırsal kalkınmaya önemli katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yüksek yatırım maliyetleri ve dijital okuryazarlık eksikliği gibi sınırlılıkların aşılması için kamu destekleri ve yayım faaliyetlerinin önem taşıdığı vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital Tarım, Hayvancılık, Ekonomik Katkı, Sürdürülebilirlik, Tarım 4.0

Digital Agriculture Applications in the Livestock Sector and Their Economic Contributions

Abstract

With the emergence of Agriculture 4.0, digital agriculture applications have introduced innovative solutions that enhance production efficiency, reduce costs, and support sustainability in the livestock sector. This study examines the main application areas of digital technologies in livestock farms and evaluates their economic contributions. Key technological innovations include sensor-based animal monitoring systems, automatic feeding and milking robots, smart herd management software, IoT-supported environmental control systems, and AI-based yield prediction models. These applications make it possible to improve animal welfare, enable early disease detection, save on feed and energy use, and increase production efficiency. In addition, the study assesses the contributions of digital agriculture practices to farm profitability, resource use efficiency, and food security. The findings reveal that digital technologies strengthen the competitiveness of the livestock sector while providing significant support to rural development. However, high investment costs and the lack of digital literacy remain major limitations, highlighting the importance of public support and extension activities to overcome these challenges.

Keywords: Digital Agriculture, Livestock, Economic Contribution, Sustainability, Agriculture 4.0

Giriş

Tarım sektörü, günümüzde küresel ölçekte karşı karşıya olduğu zorluklar nedeniyle stratejik bir dönüşüm sürecine girmiştir. Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara ulaşacağı öngörülmekte, bu durum gıda üretimine yönelik baskıyı her geçen gün artırmaktadır (FAO, 2020). Aynı zamanda iklim değişikliğinin yol açtığı üretim belirsizlikleri, doğal kaynakların azalması, çevresel sürdürülebilirlik sorunları ve artan tüketici talepleri tarım sektörünün verimlilik ve etkinlik açısından yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda "Tarım 4.0" kavramı öne çıkmış ve tarımsal üretimde dijitalleşme, yenilikçi teknolojilerin kullanımı ile önemli bir paradigma değişimi başlatmıştır (Wolfert vd., 2017).

Dijital tarım, bilgi ve iletişim teknolojileri, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zekâ, sensör sistemleri, robotik uygulamalar ve otomasyon çözümlerinin tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca üretim sürecinin verimliliğini artırmayı değil, aynı zamanda kaynak kullanımında etkinlik sağlanmasını, çevresel sürdürülebilirliği desteklemeyi ve gıda güvenliğini garanti altına almayı hedeflemektedir (Tzounis vd., 2017). Özellikle hayvancılık sektörü, hem üretim ölçeği hem de kaynak bağımlılığı nedeniyle dijital tarım uygulamalarının en yoğun şekilde uygulandığı alanlardan biri haline gelmiştir. Hayvancılıkta dijitalleşme sayesinde hayvan refahının artırılması, hastalıkların erken teşhisi, sürü yönetiminde etkinlik, yem ve enerji tasarrufu sağlanması mümkün olmaktadır (Rutten vd., 2013).

Türkiye açısından bakıldığında, hayvancılık sektörü gerek ekonomik gerekse sosyo-kültürel boyutlarıyla stratejik bir öneme sahiptir. Ülke genelinde kırsal nüfusun geçim kaynakları arasında hayvancılık önemli bir paya sahip olup, tarımsal üretim değerinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır (TÜİK, 2024). Bununla birlikte sektör, artan girdi maliyetleri, iş gücü eksiklikleri, hastalık riski ve pazarlama sorunları gibi yapısal zorluklarla karşı karşıyadır. Bu sorunların aşılmasında dijital tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılması kritik bir rol oynamaktadır. Büyük ölçekli işletmelerde sağım robotları, akıllı yemleme sistemleri ve sensör tabanlı hayvan izleme teknolojileri hızla kullanılmaya başlanırken; küçük ve orta ölçekli işletmelerde dijitalleşme düzeyi sınırlı kalmaktadır. Bu durum, dijital dönüşümün yaygınlaştırılması için altyapı yatırımlarına, finansal destek mekanizmalarına ve yayım faaliyetlerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Eastwood vd., 2019).

Dolayısıyla bu çalışma, hayvancılık sektöründe dijital tarım uygulamalarının kullanım alanlarını ve ekonomik katkılarını kapsamlı bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Çalışma, derleme yöntemiyle hazırlanmış olup, literatürde yer alan ulusal ve uluslararası araştırmalardan yararlanılarak güncel bir değerlendirme sunmaktadır. Dijital tarımın hayvancılıkta sunduğu fırsatlar, ekonomik etkiler, karşılaşılan sınırlılıklar ve gelecek için politika önerileri detaylı şekilde tartışılacaktır. Bu yönüyle çalışma, hem akademik alana katkı sağlamayı hem de karar vericilere yol gösterici öneriler sunmayı hedeflemektedir.

Dijital Tarım Teknolojilerinin Genel Çerçevesi

Dijitalleşme, 21. yüzyılda tarım sektöründe üretim ve yönetim anlayışını köklü bir biçimde dönüştüren en önemli dinamiklerden biri haline gelmiştir. Geleneksel üretim yöntemleri, artan nüfus, iklim değişikliği, kaynak kıtlığı ve gıda güvenliği gibi sorunlar karşısında yetersiz kalmakta; bu nedenle modern teknolojilerin tarımsal süreçlere entegrasyonu kaçınılmaz bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu noktada dijital tarım, yalnızca bir teknoloji seti değil, aynı zamanda üretimden pazarlamaya kadar tüm değer zincirini kapsayan bütüncül bir dönüşüm yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır (Wolfert vd., 2017).

Dijital tarımın en belirgin özelliği, veriye dayalı karar verme süreçlerini mümkün kılmasıdır. Üretim sürecinde kullanılan sensörler, yazılımlar ve otomasyon sistemleri sayesinde sürekli veri akışı sağlanmakta; bu veriler büyük veri analitiği ve yapay zekâ yöntemleriyle işlenerek üreticiye hızlı ve güvenilir geri bildirimler sunmaktadır. Böylelikle kaynak kullanımı daha etkin hale gelmekte, kayıplar en aza indirgenmekte ve sürdürülebilir üretim hedeflerine yaklaşılmaktadır (Kamilaris vd., 2018). Bu yönüyle dijital tarım, yalnızca teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin de güçlü bir aracı olarak görülmektedir.

Hayvancılık sektörü, dijital tarım teknolojilerinin en hızlı benimsenen alanlarından biridir. Bunun temel nedeni, hayvansal üretimin doğrudan canlı organizmalar üzerinden gerçekleşmesi ve bu süreçlerde sürekli izleme, kontrol ve optimizasyon ihtiyacının yüksek olmasıdır. Sensör tabanlı izleme sistemleri, akıllı sürü yönetim yazılımları, otomatik yemleme ve sağım robotları gibi uygulamalar, hayvan refahını artırırken işletmelerin maliyetlerini düşürmekte ve verimliliği yükseltmektedir (Rutten vd., 2013). Aynı zamanda, çevresel koşulların kontrolü ve izlenebilirlik sistemleri, hem ürün kalitesi hem de gıda güvenliği açısından stratejik önem taşımaktadır.

Dijital tarımın küresel ölçekte hızlı bir gelişim göstermesine rağmen, teknolojilerin benimsenme düzeyi ülkeler ve işletme ölçekleri arasında farklılık göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde dijital çözümler daha yaygın kullanılırken, gelişmekte olan ülkelerde maliyet, altyapı ve dijital okuryazarlık eksiklikleri nedeniyle adaptasyon sınırlı kalmaktadır (Eastwood vd., 2019). Türkiye’de özellikle büyük ölçekli süt sığırcılığı işletmeleri dijital teknolojilere yatırım yapmaya başlamış olsa da küçük ve orta ölçekli işletmelerde bu dönüşüm oldukça yavaş ilerlemektedir. Bu nedenle dijital tarımın sunduğu fırsatların yaygınlaştırılması için finansal teşvikler, eğitim programları ve altyapı yatırımları kritik bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır.

Sensör Teknolojileri

Sensörler, dijital tarımın en temel bileşenlerinden biridir. Hayvancılıkta kullanılan biyometrik, davranışsal ve çevresel sensörler sayesinde hayvanların sağlık durumları, yem ve su tüketimleri, hareketlilik düzeyleri ve çevresel koşullar sürekli olarak izlenebilmektedir. Örneğin, süt sığırlarında kullanılan boyun veya ayak bileklerine takılan sensörler aracılığıyla hayvanın geviş getirme süresi, yürüme mesafesi ve davranış değişimleri anlık olarak takip edilebilmekte, bu veriler hastalıkların erken teşhisinde önemli rol oynamaktadır (Caja vd., 2016). Bu sayede veteriner müdahale maliyetleri düşerken, hayvan refahı ve üretim verimliliği artmaktadır.

Sensör teknolojilerinin hayvancılık sektöründeki en önemli katkılarının biri, toplanan verilerin işletme yönetiminde kullanılabilir bilgiye dönüştürülmesidir. Örneğin, kızgınlık döneminde hayvanların hareketliliğinin artması pedometre veya ivmeölçer sensörlerle tespit edilerek döl verimliliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde, süt sığırlarında geviş getirme sürelerindeki düşüş, yemleme sorunlarının veya sindirim rahatsızlıklarının erken belirtisi olarak değerlendirilebilmektedir. Bu verilerin dijital sürü yönetim yazılımlarına aktarılması sayesinde hem hayvan refahı hem de ekonomik performans açısından önemli kazanımlar elde edilmektedir (Borchers ve Bewley, 2015). Ayrıca, sensör teknolojilerinin uzun vadede iş gücü maliyetlerini

azaltması, veteriner hizmetlerine olan ihtiyacı düşürmesi ve üretim kayıplarını önlemesi, yatırımın geri dönüşünü hızlandıran kritik avantajlar arasında yer almaktadır.

Nesnelerin İnterneti (IoT)

IoT, çiftlikte bulunan farklı sistemlerin birbiriyle iletişim kurmasını sağlayarak bütüncül bir yönetim ağı oluşturmaktadır. Yemleme robotları, sağım makineleri, çevresel sensörler ve hayvan takip cihazları internet üzerinden entegre edilerek merkezi bir sistemden yönetilebilmektedir (Tzounis vd., 2017). Bu bütünleşik yapı, üreticilere operasyonel süreçleri eş zamanlı izleme ve gerektiğinde müdahale etme olanağı tanımaktadır. IoT'nin sağladığı bu entegrasyon, enerji ve iş gücü tasarrufu sağlamakta, ayrıca gıda güvenliği açısından ürünlerin izlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır.

Hayvancılıkta IoT uygulamaları yalnızca üretim sürecinin kontrolü ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda karar alma süreçlerini de desteklemektedir. Örneğin, akıllı yemleme sistemleri hayvanın günlük aktivite ve sağlık verilerine göre bireyselleştirilmiş yem rasyonları hazırlayabilmekte, bu da yemden yararlanma etkinliğini artırarak maliyetleri azaltmaktadır. Benzer şekilde, IoT tabanlı çevresel kontrol sistemleri, ahır içi sıcaklık, nem ve hava kalitesini otomatik olarak düzenleyerek hem hayvan refahını yükseltmekte hem de verim kayıplarını önlemektedir (Liakos vd., 2018). Ayrıca IoT destekli izlenebilirlik çözümleri, tüketicilerin gıda güvenliği konusundaki taleplerine yanıt vererek ürünlerin pazarda daha yüksek değer bulmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla IoT, yalnızca operasyonel verimliliği değil, aynı zamanda piyasa rekabetçiliğini de güçlendiren stratejik bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir.

Yapay Zekâ ve Büyük Veri Analitiği

Dijital tarımda sensörler, makineler ve yönetim sistemleri tarafından toplanan veriler büyük miktarlara ulaşmaktadır. Bu verilerin işlenmesi ve anlamlı hale getirilmesi için yapay zekâ (YZ) ve büyük veri analitiği kullanılmaktadır. Hayvancılık işletmelerinde YZ tabanlı algoritmalar, süt verimi tahmini, yem tüketimi optimizasyonu, üreme takibi ve hastalık risk analizi gibi alanlarda uygulanmaktadır (Kamilaris vd., 2018). Örneğin, YZ tabanlı modeller sayesinde mastitis gibi ekonomik açıdan büyük kayıplara neden olan hastalıklar erken teşhis edilebilmekte, bu da hem maliyetleri düşürmekte hem de verim kayıplarını azaltmaktadır.

Yapay zekâ ve büyük veri analitiği, özellikle sürü yönetiminde karar alma süreçlerini optimize etme kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Örneğin, makine öğrenmesi algoritmaları ile hayvanların süt verim eğilimleri tahmin edilerek, yemleme programları bu öngörülere göre uyarlanabilmekte ve böylece yemden elde edilen verimlilik en üst düzeye çıkarılmaktadır (García vd., 2020). Benzer şekilde, görüntü işleme teknikleri kullanılarak hayvanların davranış kalıpları analiz edilmekte, stres veya rahatsızlık durumları erken dönemde tespit edilebilmektedir (Bhuiyan ve Wree (2023). Bu tür uygulamalar, üreticilere yalnızca operasyonel kolaylık sağlamamakta; aynı zamanda hastalık kaynaklı ekonomik kayıpları azaltmakta ve hayvan refahını artırmaktadır. Dolayısıyla yapay zekâ ve büyük veri analitiği, hayvancılık sektöründe sürdürülebilirlik ve kârlılığın artırılması açısından kritik bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir.

Robotik ve Otomasyon Sistemleri

Robotik teknolojiler, hayvancılık işletmelerinde iş gücü verimliliğini artıran en önemli araçlardan biridir. Sağım robotları, otomatik yemleme makineleri ve gübre temizleme robotları iş gücü ihtiyacını azaltmakta, üretim hatalarını en aza indirmekte ve hayvan refahını yükseltmektedir (Rutten vd., 2013). Ayrıca otomasyon sistemleri, üretim süreçlerinin standardizasyonunu sağlayarak ürün kalitesinde süreklilik yaratmaktadır. Büyük ölçekli işletmelerde yaygınlaşan bu sistemler, uzun vadede maliyet avantajı sağlayarak yatırımın geri dönüşünü hızlandırmaktadır.

Robotik ve otomasyon uygulamalarının bir diğer önemli katkısı, hayvan-çiftçi etkileşimini yeniden şekillendirmesidir. Örneğin, sağım robotlarının kullanıldığı işletmelerde hayvanlar daha az stres altında kalmakta, bu da süt verimi ve kalitesine doğrudan olumlu yansımaktadır (Jacobs ve Siegford, 2012). Ayrıca otomatik gübre temizleme ve iklim kontrol sistemleri, çevresel hijyeni ve hava kalitesini artırarak hastalık risklerini azaltmaktadır. Literatürde, robotik sistemlerin işletme maliyetlerini %15–20 oranında düşürdüğü ve iş gücü ihtiyacını kayda değer ölçüde azalttığı rapor edilmektedir (Steenefeld vd., 2012). Bu bağlamda, robotik ve otomasyon teknolojileri yalnızca üretim sürecinde kolaylık sağlayan araçlar değil, aynı zamanda hayvan refahı ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından stratejik yatırımlar olarak değerlendirilmektedir.

Karar Destek Sistemleri

Dijital tarımın en kritik unsurlarından biri de karar destek sistemleridir. Çeşitli sensörlerden ve kayıt sistemlerinden elde edilen veriler, yazılımlar aracılığıyla analiz edilerek üreticiye öneriler sunulmaktadır. Bu sistemler, özellikle üreme yönetimi, yemleme stratejileri, sürü sağlığı ve çevresel yönetim konularında önemli katkılar sağlamaktadır (Eastwood vd., 2019). Böylece işletmeler, sezgisel karar verme yerine veriye dayalı, daha güvenilir ve ekonomik açıdan rasyonel kararlar alabilmektedir.

Karar destek sistemleri, aynı zamanda farklı veri kaynaklarını bütünleştirerek üreticiye uzun vadeli stratejik planlama imkânı sunmaktadır. Örneğin, sürü yönetim yazılımları aracılığıyla hayvanların geçmiş sağlık kayıtları, üreme verileri ve üretim performansları bir arada analiz edilmekte; bu da daha isabetli yatırım kararlarının alınmasını kolaylaştırmaktadır. Literatürde, karar destek sistemlerinin özellikle süt sığırcılığı işletmelerinde üreme başarısını artırdığı, hastalık kaynaklı verim kayıplarını azalttığı ve genel işletme kârlılığını yükselttiği belirtilmektedir (Alawneh vd., 2018). Bu yönüyle karar destek sistemleri, dijital tarım teknolojilerinin sunduğu verilerin üretici için somut ve uygulanabilir faydaya dönüşmesinde kilit bir rol üstlenmektedir.

Hayvancılıkta Dijital Tarım Uygulama Alanları

Hayvan Sağlığı ve Refahının İzlenmesi

Hayvan sağlığı ve refahı, hayvancılık sektörünün sürdürülebilirliği açısından en kritik unsurlardan biridir. Dijital tarım uygulamaları, özellikle sensör tabanlı izleme sistemleri ve giyilebilir teknolojiler aracılığıyla bu alanda önemli gelişmeler sağlamaktadır. Vücut ısı, kalp atış hızı, aktivite düzeyi, geviş getirme süresi ve yem tüketimi gibi parametrelerin sürekli olarak izlenebilmesi, hastalıkların erken teşhisine ve önleyici tedbirlerin zamanında alınmasına imkân tanımaktadır. Bu yaklaşım, hem hayvan refahını artırmakta hem de ekonomik kayıpları azaltmaktadır.

Literatürde, sensör teknolojilerinin hayvan sağlığındaki katkılarını ortaya koyan birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Rutten vd. (2013), süt sığırlarında mastitisin erken teşhisi için sensör tabanlı sistemlerin kullanılmasının tedavi maliyetlerini %20 oranında azalttığını ve süt verim kayıplarını önemli ölçüde önlediğini rapor etmiştir. Benzer şekilde Caja vd. (2016), giyilebilir sensörlerin geviş getirme süresi ve yem tüketimindeki değişiklikleri izleyerek metabolik hastalıkların erken dönemde tespit edilmesine imkân tanıdığını ortaya koymuştur. Bu tür teknolojilerin kullanımı, veteriner müdahale sıklığını azaltarak iş gücü tasarrufu sağlamaktadır.

Hayvan refahı açısından bakıldığında, sensör tabanlı izleme sistemleri stres faktörlerinin tespiti ve önlenmesi noktasında da katkı sağlamaktadır. Örneğin, sıcaklık ve nem sensörleriyle desteklenen iklim kontrol sistemleri, hayvanların aşırı sıcaklık stresi altında kalmasını engelleyerek hem verimliliği artırmakta hem de refah standartlarını yükseltmektedir (Halachmi vd., 2019). Ayrıca bireysel izleme sayesinde hasta veya düşük performans gösteren hayvanların sürüden ayrılarak özel bakıma alınması mümkün olmakta, bu da genel sürü sağlığını iyileştirmektedir.

Sonuç olarak, dijital teknolojilerin hayvan sağlığı ve refahına yönelik uygulamaları yalnızca bireysel hayvanların yaşam kalitesini yükseltmekle kalmamakta, aynı zamanda işletmelerin ekonomik performansını da doğrudan etkilemektedir. Hastalıkların erken teşhisi, tedavi maliyetlerinin azalması, üretim kayıplarının önlenmesi ve hayvan refahı standartlarının yükselmesi; dijital tarım teknolojilerinin en önemli ekonomik ve sosyal kazanımları arasında yer almaktadır.

Yemleme ve Besleme Yönetimi

Yemleme ve besleme yönetimi, hayvancılık işletmelerinin en yüksek maliyet kalemlerinden biri olup toplam üretim giderlerinin %60'a kadarını oluşturabilmektedir. Bu nedenle yemden yararlanma etkinliğinin artırılması, hem işletme kârlılığı hem de sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Dijital tarım teknolojileri, özellikle otomatik yemleme robotları, yem tüketim sensörleri ve akıllı yemleme yazılımları aracılığıyla bu alanda devrim niteliğinde yenilikler sunmaktadır.

Otomatik yemleme sistemleri, hayvanların beslenme ihtiyaçlarını bireysel düzeyde karşılayarak yem israfını azaltmakta ve rasyon dengesini optimize etmektedir. Caja vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, otomatik yemleme sistemlerinin yem tüketiminde daha homojen bir dağılım sağladığı ve iş gücü maliyetlerini %15 oranında azalttığı rapor edilmiştir. Benzer şekilde, iş gücü verimliliği açısından otomatik yemleme robotlarının günlük iş yükünü önemli ölçüde hafiflettiği, küçük ölçekli işletmelerde dahi ekonomik avantaj sağladığı görülmektedir.

Yapay zekâ ve büyük veri analitiğiyle desteklenen yemleme sistemleri ise yem tüketim verilerini sürekli analiz ederek hayvanların performansına göre rasyon ayarlamaları yapabilmektedir. Steeneveld vd. (2012), bu tür sistemlerin süt sığırlarında yemden yararlanma oranını artırarak süt üretiminde %5–7 arasında artış sağladığını ortaya koymuştur. Bu durum, yem maliyetlerinin düşürülmesinin yanı sıra ürün verimliliğinin de yükselmesine katkıda bulunmaktadır.

Yemleme yönetiminde dijital teknolojilerin bir diğer katkısı, sürdürülebilir üretim hedeflerine hizmet etmesidir. Daha verimli yem kullanımı, yalnızca ekonomik kazanç sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda hayvancılığın çevresel ayak izini de azaltmaktadır. Daha az yem israfı ve daha dengeli besleme programları sayesinde sera gazı emisyonları düşmekte, bu da çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir kazanım sunmaktadır (Halachmi vd., 2019).

Sonuç olarak, dijital yemleme ve besleme sistemleri hem maliyet avantajı sağlamak hem de hayvanların performansını artırarak işletme kârlılığını güçlendirmektedir. Bu nedenle yemleme yönetiminde dijitalleşme, geleceğin hayvancılık işletmeleri için stratejik bir yatırım alanı olarak değerlendirilmektedir.

Süt Sağım Teknolojileri

Süt sığırcılığı işletmelerinde sağım, hem iş gücü maliyetlerinin yüksek olduğu hem de ürün kalitesi açısından kritik bir süreçtir. Geleneksel yöntemlerle yapılan sağım, zaman alıcı ve yoğun iş gücü gerektiren bir faaliyet olmasının yanı sıra, hijyen ve hayvan refahı açısından da bazı sınırlılıklar barındırmaktadır. Dijital tarım teknolojilerinin bir uzantısı olan robotik sağım sistemleri, bu süreçte önemli bir dönüşüm yaratmış ve işletmelere çok yönlü katkılar sunmaya başlamıştır.

Robotik sağım sistemleri (otomatik sağım makineleri), hayvanların bireysel olarak tanımlanmasını sağlayarak hem süt verimliliğini hem de süt kalitesini artırmaktadır. Bu sistemlerde entegre sensörler aracılığıyla süt miktarı, iletkenliği ve sıcaklığı gibi parametreler anlık olarak ölçülmekte, bu sayede meme sağlığı ve süt kalitesi hakkında üreticiye doğrudan geri bildirim verilmektedir. Ayrıca sağım işleminin hayvanların kendi tercihine göre gerçekleşmesi, stres seviyesini azaltmakta ve refah düzeyini yükseltmektedir (Jacobs ve Siegford, 2012).

Literatürde, robotik sağım teknolojilerinin ekonomik ve verimlilik etkilerine yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Steeneveld vd. (2012), Hollanda’da yaptıkları araştırmada robotik sağım sistemlerinin süt üretiminde %5–7 arasında artış sağladığını ve iş gücü maliyetlerini kayda değer ölçüde azalttığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Hogeveen vd. (2010), robotik sağım sistemlerinin iş gücü bağımlılığını azaltarak özellikle büyük ölçekli işletmelerde önemli ekonomik avantajlar yarattığını, küçük ve orta ölçekli işletmelerde ise yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle adaptasyonun daha sınırlı olduğunu vurgulamaktadır.

Süt sağım teknolojilerinin dijitalleşmesi yalnızca üretim süreçlerini optimize etmekle kalmamakta, aynı zamanda gıda güvenliği ve izlenebilirlik açısından da stratejik katkılar sunmaktadır. Sağım sırasında toplanan veriler, süt kalitesinin izlenmesine ve olası sağlık sorunlarının erken teşhis edilmesine imkân tanımaktadır. Bu durum, hem tüketici güvenini artırmakta hem de işletmelerin ürünlerini daha yüksek piyasa değerinden satabilmelerini mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, dijital süt sağım teknolojileri hayvancılık işletmelerinde üretim süreçlerinin otomasyonunu sağlayarak verimlilik, kârlılık ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Önümüzdeki dönemde teknolojinin maliyetlerinin düşmesiyle birlikte, küçük ve orta ölçekli işletmelerde de yaygınlaşması beklenmektedir.

Sürü Yönetim Sistemleri

Sürü yönetimi, hayvancılık işletmelerinde verimlilik, üreme başarısı ve hastalıkların önlenmesi açısından kritik bir alanı oluşturmaktadır. Geleneksel sürü yönetimi yöntemleri, çoğunlukla üreticinin gözlemleri ve deneyimlerine dayalıdır; ancak bu yöntemler zaman alıcı, hataya açık ve büyük ölçekli işletmeler için yetersizdir. Dijital tarım uygulamaları ile geliştirilen akıllı sürü yönetim sistemleri, bu sınırlılıkları aşarak işletmelere entegre ve veriye dayalı bir yönetim imkânı sunmaktadır.

Bu sistemler, sensörlerden, IoT tabanlı cihazlardan ve yönetim yazılımlarından elde edilen verileri analiz ederek hayvanların sağlık durumu, üreme döngüsü, beslenme alışkanlıkları ve üretim performansı hakkında ayrıntılı bilgi sağlamaktadır. Örneğin, kızgınlık dönemindeki hareketlilik artışı pedometre veya GPS verileriyle tespit edilerek üreticiye bildirilmekte ve böylece döl tutma oranlarının artırılması mümkün olmaktadır (Friggens ve Chagunda, 2005). Aynı şekilde, doğum tahmini algoritmaları sayesinde doğum öncesi riskler önceden belirlenmekte, bu da hem hayvan refahı hem de buzağı kayıplarının azaltılması açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Literatürde sürü yönetim sistemlerinin ekonomik faydalarını ortaya koyan pek çok çalışma bulunmaktadır. Moore ve Hasler (2017), ABD’de süt sığırcılığı işletmelerinde sürü yönetim yazılımlarının kullanımının, üreme başarısını artırarak sürüdeki gebelik oranlarını %10 oranında iyileştirdiğini rapor etmiştir. Ayrıca bu sistemlerin hastalıkların erken teşhisine olanak vermesi, tedavi maliyetlerini ve verim kayıplarını azaltarak işletme kârlılığını yükseltmektedir. Avrupa’da yapılan araştırmalar, sürü yönetim yazılımlarının kullanımının üreticiye yılda hayvan başına ortalama 100–150 € ekonomik katkı sağladığını göstermektedir (Calsamiglia vd., 2018).

Sürü yönetim sistemlerinin bir diğer avantajı ise iş gücü planlamasını kolaylaştırmasıdır. Dijital yazılımlar sayesinde sürüdeki hayvanların tüm verileri tek bir platformda toplanarak üreticiye günlük, haftalık ve aylık görev listeleri sunulmaktadır. Bu durum, özellikle büyük ölçekli işletmelerde iş yükünü azaltmakta ve yönetim süreçlerinde standardizasyon sağlamaktadır.

Sonuç olarak, dijital sürü yönetim sistemleri hayvancılıkta üretim etkinliğini artırmak, kayıpları azaltmak ve kârlılığı yükseltmek için stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Önümüzdeki dönemde yapay zekâ ve makine öğrenmesi entegrasyonu ile bu sistemlerin daha da akıllı hale gelmesi ve işletmelerin rekabet gücünü artırması beklenmektedir.

Çevresel Kontrol ve Enerji Yönetimi

Hayvancılık işletmelerinde üretim verimliliği ve hayvan refahı büyük ölçüde çevresel koşullara bağlıdır. Özellikle sıcaklık, nem, hava kalitesi ve aydınlatma koşulları hayvan sağlığı ve üretim performansını doğrudan etkilemektedir. Geleneksel yöntemlerde çevresel koşulların kontrolü çoğunlukla manuel yapılırken, dijital tarım uygulamaları sayesinde bu süreçler otomasyon sistemleri aracılığıyla sürekli ve hassas biçimde yönetilebilmektedir. IoT tabanlı sensörler, iklim kontrol yazılımları ve otomatik havalandırma sistemleriyle

donatılmış modern ahırlar, hayvanların optimum çevresel koşullarda yaşamasını sağlamaktadır (Brown-Brandl vd., 2005).

Çevresel kontrol sistemlerinin en önemli katkılarından biri, sıcaklık stresinin azaltılmasıdır. Özellikle süt sığırlarında sıcaklık stresi, süt veriminde düşüşe, döl tutma oranlarında azalmaya ve bağışıklık sisteminin zayıflamasına yol açmaktadır. Halachmi vd. (2019), otomatik iklim kontrol sistemlerinin kullanıldığı işletmelerde sıcaklık stresinin önemli ölçüde azaldığını ve bunun süt üretiminde %10'a varan artış sağladığını rapor etmiştir. Ayrıca nem ve hava kalitesini düzenleyen sensör tabanlı sistemler, solunum yolu hastalıklarının görülme sıklığını azaltarak hem veteriner maliyetlerini düşürmekte hem de sürü sağlığını iyileştirmektedir.

Enerji yönetimi de dijital tarımın önemli bileşenlerinden biridir. Akıllı enerji yönetim sistemleri sayesinde havalandırma, aydınlatma ve ısıtma-soğutma sistemleri gereksiz enerji tüketimini önleyecek şekilde optimize edilmektedir. ABD'de yapılan bir çalışmada, otomatik iklim ve enerji kontrol sistemlerinin kullanıldığı işletmelerde enerji tüketiminin %12 oranında azaldığı, bu sayede işletme maliyetlerinde kayda değer tasarruf sağlandığı ortaya konulmuştur (White, 2016). Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, biyogaz) ile entegre edilen dijital enerji yönetim sistemleri, çevresel sürdürülebilirliğe de katkıda bulunmaktadır.

Sonuç olarak, çevresel kontrol ve enerji yönetimine yönelik dijital uygulamalar, hem hayvan refahını artırmakta hem de işletmelerin ekonomik performansını güçlendirmektedir. Bu teknolojilerin yaygınlaştırılması, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılmasına ve sürdürülebilir üretim hedeflerinin gerçekleştirilmesine yönelik stratejik bir adım olarak görülmektedir.

Ekonomik Katkılar

Dijital tarım teknolojilerinin hayvancılık sektöründe yaygınlaşmasının en önemli motivasyonlarından biri, sağladığı ekonomik kazanımlardır. Geleneksel üretim yöntemlerinde yüksek iş gücü bağımlılığı, yem ve enerji maliyetleri, hastalık kaynaklı kayıplar ve verimlilik düşüklüğü işletmelerin kârlılığını sınırlamaktadır. Dijitalleşme ile birlikte bu sorunların önemli ölçüde azaltıldığı, işletmelerin maliyet-etkinlik düzeylerinin yükseldiği görülmektedir.

İlk olarak, dijital teknolojiler iş gücü maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır. Robotik sağım sistemleri, otomatik yemleme makineleri ve gübre temizleme robotları gibi otomasyon çözümleri sayesinde iş gücü ihtiyacı azalmış, aynı zamanda üretim süreçleri standardize edilmiştir. Steeneveld vd. (2012), Hollanda'daki süt sığırcılığı işletmelerinde robotik sağım sistemlerinin iş gücü ihtiyacını %20'ye kadar düşürdüğünü, üreticiye yıllık ortalama 15.000 € tasarruf sağladığını rapor etmiştir.

İkinci olarak, dijital tarım uygulamaları verimlilik artışı ile ekonomik katkı sunmaktadır. Sensör tabanlı sağlık izleme sistemleri ve sürü yönetim yazılımları, hastalıkların erken teşhisine olanak vererek süt, et ve üreme performansındaki kayıpları azaltmaktadır. Rutten vd. (2013), sensör teknolojilerinin mastitis teşhisi için kullanılmasının tedavi maliyetlerini %20 azalttığını ve süt üretiminde %5'e varan artış sağladığını göstermiştir. Benzer şekilde, yapay zekâ tabanlı yemleme optimizasyonu, yemden yararlanma oranını artırarak yem maliyetlerinde düşüşe yol açmaktadır (García vd., 2020).

Üçüncü olarak, dijitalleşme ürün kalitesi ve piyasa değerini artırmaktadır. Sağım robotları ve izlenebilirlik sistemleri sayesinde süt kalitesinde süreklilik sağlanmakta, ürünler gıda güvenliği standartlarına uygun olarak pazara sunulmaktadır. Bu durum, özellikle tüketici güvenini yükseltmekte ve ürünlerin daha yüksek fiyatlarla satılmasına imkân tanımaktadır. Avrupa'da yapılan bir çalışmada, izlenebilirlik uygulamalarının süt ürünlerinin piyasa fiyatını %10–15 arasında artırdığı bildirilmiştir (Bertolini vd., 2006).

Son olarak, dijital tarım uygulamalarının kırsal kalkınma ve sürdürülebilirlik açısından da önemli ekonomik katkıları bulunmaktadır. Daha verimli kaynak kullanımı, hem çevresel maliyetlerin azaltılmasına hem de küçük ölçekli işletmelerin rekabet gücünün artmasına hizmet etmektedir. Özellikle IoT tabanlı enerji yönetim sistemleri, enerji tüketiminde %10–12 oranında tasarruf sağlayarak işletmelerin enerji maliyetlerini düşürmekte ve kâr marjlarını yükseltmektedir (White, 2016).

Genel olarak bakıldığında, dijital tarım teknolojileri hayvancılık sektöründe iş gücü tasarrufu, verimlilik artışı, maliyetlerin düşürülmesi, ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve piyasa değerinin yükselmesi gibi çok boyutlu ekonomik faydalar sunmaktadır. Bu nedenle dijitalleşme, yalnızca bireysel işletmelerin kârlılığını artırmakla kalmamakta; aynı zamanda sektörün rekabetçiliğini ve kırsal kalkınma kapasitesini güçlendiren stratejik bir dönüşüm aracı olarak değerlendirilmektedir.

Sınırlılıklar ve Zorluklar

Her ne kadar dijital tarım teknolojileri hayvancılık sektörüne çok boyutlu katkılar sunsa da, uygulama aşamasında çeşitli sınırlılıklar ve zorluklarla karşılaşılmaktadır. Bu engellerin büyük kısmı, teknolojilerin maliyetinden, altyapı eksikliklerinden ve üreticilerin dijital okuryazarlık düzeylerinden kaynaklanmaktadır.

Yüksek yatırım maliyetleri, dijital tarım teknolojilerinin benimsenmesinde en büyük engel olarak öne çıkmaktadır. Robotik sağım sistemleri, otomatik yemleme robotları veya IoT tabanlı sensör ağları büyük ölçekli işletmeler için ulaşılabilirken, küçük ve orta ölçekli işletmeler için yüksek sermaye gerektirmesi nedeniyle erişim güçlüğü

yaratmaktadır. Steeneveld vd. (2012), özellikle küçük ölçekli süt sığırcılığı işletmelerinde robotik sağım sistemlerinin geri dönüş süresinin uzun olduğunu ve bu nedenle adaptasyonun sınırlı kaldığını belirtmektedir. Dijital okuryazarlık ve eğitim eksiklikleri de bir diğer önemli sınırlılıktır. Yeni teknolojilerin etkin kullanımında üreticilerin teknik bilgi düzeyi kritik bir faktördür. Eastwood vd. (2019), üreticilerin dijital teknolojilere yönelik bilgi eksikliklerinin teknolojilerin tam kapasiteyle kullanılmasını engellediğini, bu nedenle yayım faaliyetlerinin önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Altyapı sorunları, özellikle kırsal bölgelerde dijital tarımın yaygınlaşmasını sınırlayan bir diğer faktördür. İnternet erişimindeki yetersizlikler, elektrik kesintileri ve donanım eksiklikleri, IoT tabanlı sistemlerin sürekli çalışmasını engellemektedir. Bu durum, özellikle Türkiye gibi kırsal altyapının yeterince gelişmediği bölgelerde dijitalleşmenin hızını yavaşlatmaktadır.

Veri güvenliği ve mahremiyet endişeleri de dijitalleşmenin getirdiği yeni zorluklardan biridir. Sensörler, yazılımlar ve bulut tabanlı sistemler aracılığıyla toplanan büyük veri setlerinin güvenliğinin sağlanması, üreticilerin teknolojilere olan güvenini etkileyen kritik bir unsurdur. Ayrıca, farklı cihaz ve yazılımlar arasında standartlaşma eksikliği, verilerin entegrasyonunu zorlaştırmakta ve üreticiler açısından ek maliyet yaratmaktadır.

Son olarak, sosyo-ekonomik farklılıklar da dijitalleşme sürecinde önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Büyük ölçekli işletmeler hızla dijitalleşirken küçük ölçekli aile işletmeleri bu dönüşümden geri kalmakta, bu da sektörde dijital uçurumun derinleşmesine yol açmaktadır. Bu durum, kırsal kalkınma hedefleri açısından uzun vadede eşitsizlik riskini beraberinde getirmektedir.

Tüm bu sınırlılıklar, dijital tarım teknolojilerinin yaygınlaştırılabilmesi için politika yapımcıların ve sektör paydaşlarının finansal destek, eğitim programları ve altyapı yatırımlarına öncelik vermesi gerektiğini göstermektedir.

Sonuç ve Öneriler

Dijital tarım teknolojileri, hayvancılık sektöründe üretim süreçlerinin modernleşmesine ve sürdürülebilirliğine önemli katkılar sunmaktadır. Sensörler, IoT tabanlı sistemler, yapay zekâ, robotik uygulamalar ve karar destek yazılımları sayesinde işletmeler; hayvan sağlığını ve refahını iyileştirmekte, verimliliği artırmakta ve maliyetlerini azaltmaktadır. Literatürdeki bulgular, dijitalleşmenin hastalıkların erken teşhisinden yemleme optimizasyonuna, süt sağımından çevresel kontrol sistemlerine kadar pek çok alanda hem teknik hem de ekonomik faydalar sağladığını göstermektedir.

Bununla birlikte, yüksek yatırım maliyetleri, dijital okuryazarlık eksiklikleri, altyapı sorunları ve veri güvenliği gibi sınırlılıklar, dijital tarımın yaygınlaşmasının önünde engel teşkil etmektedir. Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerin bu teknolojilere erişimde zorlanması, sektörde dijitalleşme düzeyinde eşitsizliklere yol açmaktadır. Bu nedenle dijital tarımın sunduğu potansiyelin tam olarak hayata geçirilebilmesi için politika yapımcılar, araştırmacılar ve üreticilerin iş birliği içerisinde hareket etmesi gerekmektedir.

Çalışma neticesinde sektör paydaşları için aşağıdaki öneriler getirilmiştir;

İşletmeler için: Kademeli teknoloji adaptasyonu benimsenmeli, öncelikle en yüksek fayda sağlayacak sistemlerden başlanarak (ör. sağlık sensörleri, sürü yönetim yazılımları) dijitalleşme süreci planlanmalıdır.

Politika yapımcılar için: Küçük ve orta ölçekli işletmelerin dijitalleşmesini teşvik edecek hibe programları, düşük faizli krediler ve altyapı yatırımları hayata geçirilmelidir.

Eğitim ve yayım faaliyetleri: Üreticilerin dijital okuryazarlığını artırmaya yönelik eğitim programları yaygınlaştırılmalı, teknoloji firmaları ile üniversiteler arasında bilgi transferi mekanizmaları kurulmalıdır.

Araştırmacılar için: Dijital tarım teknolojilerinin ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerini ölçen kapsamlı saha çalışmaları yapılmalı; yerel ihtiyaçlara uygun, maliyet-etkin çözümler geliştirilmelidir.

Sürdürülebilirlik için: IoT tabanlı enerji yönetimi, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve çevresel izleme sistemleri öncelikli olarak desteklenmeli, böylece hayvancılığın çevresel ayak izi azaltılmalıdır.

Sonuç olarak, dijital tarım teknolojileri hayvancılık sektöründe verimlilik, kârlılık ve sürdürülebilirliği artıracak stratejik bir dönüşüm aracı olarak öne çıkmaktadır. Bu dönüşümün başarıya ulaşabilmesi için kamu desteği, üretici eğitimi, uygun finansman mekanizmaları ve araştırma-geliştirme faaliyetleri bir bütün olarak ele alınmalıdır. Böylece hem ulusal hem de küresel ölçekte hayvancılığın rekabet gücü artırılabilir ve gıda güvenliği hedeflerine katkı sağlanabilir.

Kaynaklar

García, R., Aguilar, J., Toro, M., Pinto, A., & Rodríguez, P. (2020). A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105826.

Bertolini, M., Bevilacqua, M., & Massini, R. (2006). FMECA approach to product traceability in the food industry. *Food Control*, 17(2), 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.09.013>

- Moore, S. G., & Hasler, J. F. (2017). A 100-Year Review: Reproductive technologies in dairy science. *Journal of dairy science*, 100(12), 10314–10331.
- Borchers, M. R., & Bewley, J. M. (2015). An assessment of producer precision dairy farming technology use, preparedness, and perceptions. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6229–6246. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9316>
- Caja, G., Castro-Costa, A., & Knight, C. H. (2016). Engineering to support wellbeing of dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 83(2), 136–147. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>
- Bhuiyan, M. R., & Wree, P. (2023). Animal behavior for chicken identification and monitoring the health condition using computer vision: A systematic review. *IEEE access*, 11, 126601–126610.
- Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2019). Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: From a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(5-6), 741–768. <https://doi.org/10.1007/s10806-019-09816-0>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- Friggens, N. C., & Chagunda, M. G. G. (2005). Prediction of the reproductive status of cattle on the basis of milk progesterone measures: Model description. *Theriogenology*, 64(1), 155–190. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.11.014>
- Brown-Brandl, T. M., Jones, D. D., & Woldt, W. E. (2005). Evaluating modelling techniques for cattle heat stress prediction. *Biosystems Engineering*, 91(4), 513–524.
- Halachmi, I., Guarino, M., Bewley, J., & Pastell, M. (2019). Smart animal agriculture: Application of real-time sensors to improve animal well-being and production. *Annual Review of Animal Biosciences*, 7, 403–425. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-020518-114851>
- Hogeveen, H., Kamphuis, C., Steeneveld, W., & Mollenhorst, H. (2010). Sensors and clinical mastitis—The quest for the perfect alert. *Sensors*, 10(9), 7993. <https://doi.org/10.3390/s100907991>
- Jacobs, J. A., & Siegford, J. M. (2012). Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2227–2247. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4943>
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- White, R. R. (2016). Increasing energy and protein use efficiency improves opportunities to decrease land use, water use, and greenhouse gas emissions from dairy production. *Agricultural Systems*, 146, 20–29.
- Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J., Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 1928–1952. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6107>
- Steeneveld, W., Tauer, L. W., Hogeveen, H., & Oude Lansink, A. G. J. M. (2012). Comparing technical efficiency of farms with an automatic milking system and a conventional milking system. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 7391–7398. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5737>
- Calsamiglia, S., Astiz, S., Baucells, J., & Castillejos, L. (2018). A stochastic dynamic model of a dairy farm to evaluate the technical and economic performance under different scenarios. *Journal of dairy science*, 101(8), 7517–7530.
- Alawneh, J. I., Henning, J., & Olchow, T. W. (2018). Functionality and interfaces of a herd health decision support system for practising dairy cattle veterinarians in New Zealand. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 21.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>