



## Advantages of Smart Agricultural Technologies to Agricultural Enterprises Management

Kemalettin Ağızan<sup>1,a,\*</sup>, Zeki Bayramoğlu<sup>1,b</sup>, Süheyla Ağızan<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup>Selçuk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, 42250 Selçuklu/Konya, Türkiye

\*Corresponding author

| ARTICLE INFO   | ABSTRACT   |
|--|--|
| <p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 03/06/2022<br/>Accepted : 09/08/2022</p> <p><b>Keywords:</b><br/>Smart Agriculture<br/>Enterprises Management<br/>Agricultural Technologies<br/>Agriculture 4.0<br/>Enterprises</p> | <p>The aim of this study; By examining the development of technology use in agriculture, making comparisons according to countries and discussing the applicability of 4.0 technology in the agricultural sector, the advantages of these technologies to business economy and management are determined. As a matter of fact, the increase in the world population and the need for more resources accordingly keeps the issue of productivity on the agenda. Technological methods are needed to increase productivity in agricultural production. These technological methods; It is known as green agriculture, precision agriculture, digital agriculture, smart agriculture or agriculture 4.0, and with the development of these technologies, a very comprehensive data acquisition process has started and it has come to the point of making business decisions according to the analysis of the data and the results of these. At this point, the most important issue to be discussed is the applicability and affordability of smart agriculture technology. As a matter of fact, the production factors (land, capital, labor and entrepreneurship) owned by agricultural enterprises in Turkey are limited and insufficient according to European standards. Therefore, the compatibility of the technologies to be used according to the enterprises is extremely important, and strategies should be determined in order to prevent the use of idle technology. In this context, for the first time in the study, the technological development was examined by classifying the application areas of Agriculture 4.0 technology and their hardware features. As a result, predictions and suggestions about the future of Agriculture 4.0 or smart agriculture will be prepared and the smart agriculture policy will be presented to the sector and public institutions.</p> |

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(9): 1697-1706, 2022

## Akıllı Tarım Teknolojilerinin Tarımsal İşletme Yöneticiliğine Sunduğu Avantajlar

| MAKALE BİLGİSİ  | ÖZ   |
|---|--|
| <p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 03/06/2022<br/>Kabul : 09/08/2022</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b><br/>Akıllı Tarım<br/>İşletme Yöneticiliği<br/>Tarım Teknolojileri<br/>Tarım 4.0<br/>İşletmeler</p> | <p>Bu çalışmanın amacı; tarımda teknoloji kullanımının gelişimi incelenerek ülkelere göre karşılaştırmaların yapılması ve 4.0 teknolojisinin tarım sektöründeki uygulanabilirliği tartışılarak bu teknolojilerin işletme ekonomisine ve yöneticiliğine sağlanmış olduğu avantajlar belirlenmesidir. Nitekim dünya nüfusunun giderek artması ve buna bağlı olarak da daha fazla kaynağa ihtiyaç duyulacak olması verimlilik konusunu gündemde tutmaktadır. Tarımsal üretimde verimlilik artışı için ise teknolojik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu teknolojik yöntemler; yeşil tarım, hassas tarım, dijital tarım, akıllı tarım veya tarım 4.0 olarak bilinmekte olup bu teknolojilerin gelişimiyle oldukça kapsamlı bir veri elde etme süreci başlamış ve verilerin analizi ile bunların sonuçlarına göre de işletmecilik kararlarının verilmesi noktasına gelinmiştir. Bu noktada, tartışılması gereken en önemli konu akıllı tarım teknolojisinin uygulanabilirliği ve ekonomikliğidir. Nitekim Türkiye tarım işletmelerinin sahip olduğu üretim faktörleri (arazi, sermaye, işgücü ve girişimcilik) sınırlı olup Avrupa standartlarına göre yetersizdir. Dolayısıyla da kullanılacak olan teknolojilerin işletmelere göre uyumu son derece önemli olup atıl teknoloji kullanımını önlemek amacıyla da stratejilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çalışmada ilk defa Tarım 4.0 teknolojisi uygulama alanlarına ve sahip oldukları donanımsal özelliklere sınıflandırılarak teknolojik gelişim irdelenmiştir. Sonuç olarak da Tarım 4.0 veya akıllı tarımın geleceğine dair öngörüler ve öneriler hazırlanarak akıllı tarım politikası sektör ilgililerine ve kamu kurumlarının kullanımına sunulacaktır.</p> |

<sup>a</sup> [agizankemalettin@gmail.com](mailto:agizankemalettin@gmail.com)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2340-2614>

<sup>b</sup> [zbayramoglu@selcuk.edu.tr](mailto:zbayramoglu@selcuk.edu.tr)

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3258-3848>

<sup>c</sup> [suheyla.agizan@selcuk.edu.tr](mailto:suheyla.agizan@selcuk.edu.tr)

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9210-1671>



## Giriş

Gıdadan endüstriyel üretime, ilaç sanayinden giyime kadar birçok sektörde hammadde sağlamanın en önemli yolu tarımsal üretimdir. Ancak tarımsal alanların azalması ve tarımla uğraşan nüfusun kırsal alanlardan göç etmesi, demografik yapısı, ürünlerin pazar sınırlılığı, tarım arazilerinin büyüklüğü ve niteliği, iklim değişikliği ve üretim maliyetlerindeki artışlar tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Öte yandan dünya nüfusunun 2050 yılına kadar %31 artacak olması, buna paralel olarak hammadde ihtiyacının sürekli artması ve tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı nedeniyle güçlü bir tarımsal verimlilik artışına ihtiyaç duyulmaktadır (Raj ve ark., 2021). Nitekim dünya nüfusunun %10'unu fiilen aç olup %20'si de yetersiz beslenmektedir. Buna karşı gelişmiş ülkelerde aşırı kilolu ve obez insan sayısının 2.5 milyarı geçmesine karşılık günlük açlıktan ölen sayısının 25-30 bin kişi olması ve dünyadaki fiilen aç insan sayısının 854 milyonu geçmesi (FAO, 2022a) dünyadaki gıda dağılım dengesizliğinin en net göstergesidir. Özellikle bu ülkelerde ürün gruplarına bağlı olarak tarımsal ürünlerde %5-40 arasında atık ve kayıplar (FAO, 2022b) meydana gelirken bu kayıpların önlenerek toplum ihtiyacının karşılanmasında ve artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılamada yeni dijital/akıllı tarım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Akıllı tarım teknolojileri üretimden tüketim aşamasına kadar her alanda kullanılmakta olup öncelikle tarımsal ürünün niteliğini ve niceliğini artırmaya yönelik teknolojilerdir. Tarımsal üretimde verimlilik artışının sağlanabilmesi için optimal yöntem bitkinin en iyi şekilde tanınması ve fenolojik gelişim sürecindeki ihtiyaç duyduğu girdileri uygun miktarda ve zamanda verilmesidir. Bu nedenle de dijital veya akıllı teknolojiler ile belirli algoritmalar, optimizasyonlar ve simülasyonlar oluşturularak bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddeleri, sulama, bakım ve hasat zamanları tahmin edilerek birim alandan en yüksek verim elde edilmeye çalışılmaktadır. Aynı zamanda ürün/piyasa izlenebilirliğinin sağlanması, işletme profillerinin oluşturulması ve üretim planlamalarının hazırlanması açısından da büyük önem taşıyan bu teknolojiler özellikle rekolte tahmininin yapılması açısından önemlidir.

Bu nedenle de tarımsal üretimde verimliliği artırıcı, gıda güvenliği ile güvencesini sağlayıcı ve tarım sektöründe daha verimli, sağlıklı ve akıllı üretim tekniklerinin kullanıldığı yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yeni yaklaşımlar Tarım 4.0 teknolojisi ile nitelendirilmekte olup çalışma kapsamında öncelikle tarım teknolojilerinin gelişim dönemleri incelenerek akıllı tarımın kavramsal değerlendirmesi yapılmıştır. Daha sonra da akıllı tarım teknolojileri çalışma kapsamında uygulama alanlarına ve piyasaya sunuş şekillerine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre akıllı tarım uygulama alanlarına göre mekanik, biyoteknolojik ve organizasyonel teknoloji olarak 3 bölümde incelenirken, piyasaya sunuş şekillerine göre donanım ve yazılım olarak 2 başlıkta incelenmiştir. Donanımsal özelliklerine göre genetik gelişim, uygulama, pazarlama ve tüketici olarak bölümlere ayrılan akıllı tarım teknolojileri yazılımsal özelliklerine göre ise; yapay zeka uygulamaları, veri madenciliği uygulamaları, makine öğrenmesi uygulamaları ve derin

öğrenme uygulamaları olarak sınıflandırılmıştır. Her iki sınıflandırmada da tarım işletmelerinde kullanılan akıllı tarım teknolojilerinin işletmelere, çevreye ve bölgeye olan etkileri belirlenerek akıllı tarım teknolojilerinin ilerlemesini engelleyen faktörler tartışılmış ve belirlenen hedefler doğrultusunda teknoloji kullanımını artırmaya yönelik politika önerileri geliştirilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

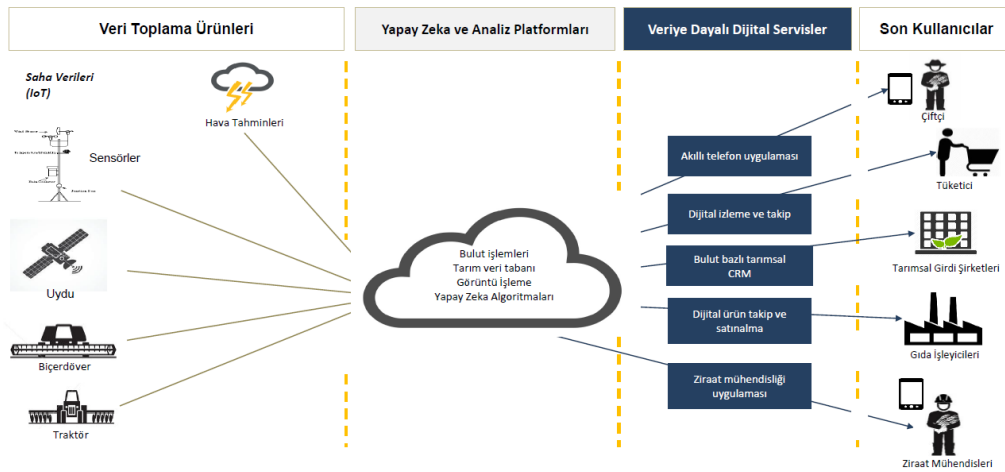
Yapılan çalışma kapsamında ikincil verilerden yararlanılmış olup, araştırmada kullanılan veriler her türlü basılı ve internet kaynağından alınmıştır. Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (FAO) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) başta olmak üzere çeşitli kurum ve kuruluşlardan istatistikler toplanmıştır. Ayrıca çalışmada Tarım 4.0, akıllı tarım, dijital tarım ve hassas tarım başlıkları altında her türlü basılı ve elektronik makale, bildiri, rapor, tez vb. yayımlar incelenerek karar vericileri yönlendirmek amacıyla öneriler hazırlanmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

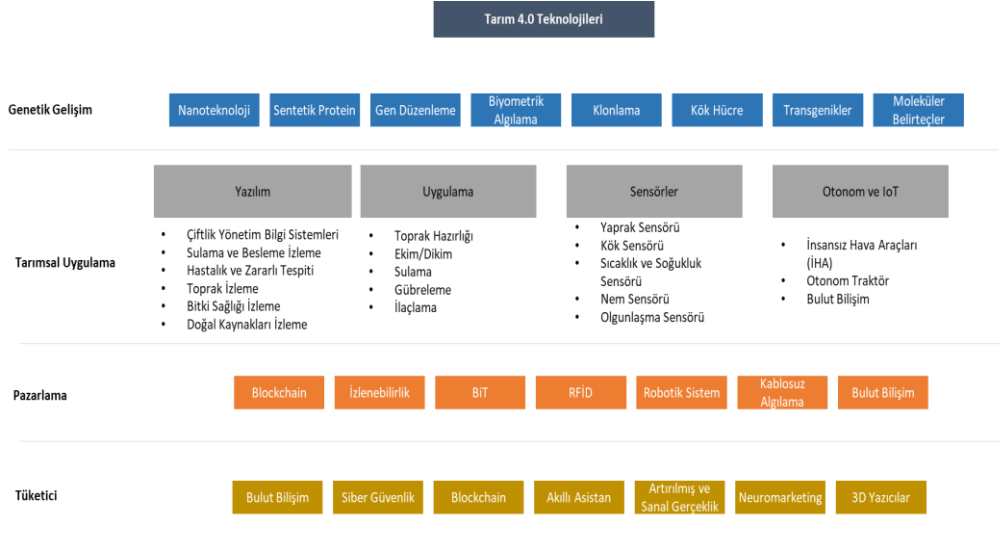
Tarımda teknolojik gelişmeler endüstri gelişim sürecinden ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü tarım gelişme evreleri, sanayi gelişmelerine göre bir yüzyıl geriden takip etmektedir. Özellikle sanayi 1.0 18 yy.'da başlarken tarım 1.0 19 yy.'de insan işgücünden mekanik üretime geçmekle başlamıştır. Geleneksel tarım dönemi olarak ifade edilen bu dönemde tarım işletmelerinde emek yoğun bir üretim yapılmıştır. Bu nedenle de nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için nüfusun 1/3'ü tarımda çalışmıştır (Tarmakbir, 2020). İkinci dünya savaşından sonra tarımsal üretimde seri üretim makineleri kullanılmaya başlanmış ve bu dönemde gübreleme, pestisit ve herbisitler ile verimlilik artışı sağlanmış ve birim alanda üretim maliyetleri azalmıştır. Gelişmeler doğrultusunda bu dönem "Yeşil Devrim" olarak adlandırılmış olup aynı zamanda Tarım 2.0 dönemi olarak da ifade edilmiştir. Özellikle genetik ve ıslah çalışmalarının yaygınlaşmasıyla verimlilik artışı yaşanmış, artan kimyasal girdi kullanımı ile ekolojik çevre tahribatı ve doğal kaynakların aşırı kullanılması sorunu ortaya çıkmıştır. Bu dönemi takiben başta traktörlerde olmak üzere çeşitli ekipmanlarda GPS sinyallerinin kullanılmasıyla Tarım 3.0 dönemi başlamıştır. 1990'lı yıllarda başlayan Tarım 3.0 süreci "Hassas Tarım" olarak da ifade edilirken bu yöntemlerle arazinin her bir parseline veya her bir hayvana özgü takip sistemleri ile çözümler sunulmuş ve üretim maliyetleri azaltılarak süreç daha etkin bir şekilde yönetilmiştir. Bu dönemde bilgisayar ve otomasyon sistemleri kullanılmaya başlanmış ve kaynak kullanım etkinliği artırılmaya başlanmıştır. 2010'lu yıllara gelindiğinde ise, Endüstri 4.0 ile sanayide yaşanan devrimin benzeri bir süreç tarım sektöründe yaşanmıştır. Bu sürece çalışmalarda farklı tanımlar yapılmış olup genellikle Tarım 4.0 (Rose ve Chilvers, 2018), Akıllı Tarım (Wolfert ve ark., 2017; Blok ve Gremmen, 2018), Hassas Tarım (Wolf ve Buttel, 1996; Eastwood ve ark., 2017) ve Dijital Tarım (Keogh ve Henry, 2016; Shepherd ve ark., 2020) gibi isimler verilmiştir. Hassas tarım, 1970-2010 (Tarım 3.0) döneminin

teknolojisini sunarken akıllı tarımda otonom teknolojiler kullanılmaktadır. Otonom teknolojilerinin kullanıldığı “Akıllı Tarım” veya “Tarım 4.0” ise gıda güvenliği başta olmak üzere doğal kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve kırsal kalkınmanın sağlanması amacıyla yeni yaklaşımlar ihtiyaç duyulması sonucunda ortaya çıkmıştır. Akıllı tarım teknolojileri; bulut bilişim ve uydu sistemleri, algılayıcıları, sensörleri, otonom ve robotik sistemleri, bilgi iletişim teknolojileri ile karar destek programlarını içeren uygulamalar olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler ve IoT teknolojisi ile çeşitli algoritmalar aracılığıyla tarladan çatala ürün arz zincirinin tamamı izlenebilmekte ve yönlendirilebilmektedir (Duman ve Özsoy, 2019; Ercan ve ark., 2019; Kılavuz ve Erdem, 2019; Arıcıoğlu ve ark., 2020; Ertaş, 2020). Akıllı tarım, ürünlerin kalitesini ve verimliliğini artırmak isteyen çiftçiler tarafından bilişim teknolojilerinin işletmelerde uygulanması olarak tanımlanırken, Mistry ve ark. (2020); göre akıllı tarım, işletmelerdeki üretim sistemlerini yönetmek için yapay zeka algoritmalarının kullanılmasıdır. Rose ve Chilvers (2018); göre ise Tarım 4.0 bulut, robotik ve yapay zekaya dayalı IoT gibi gelişen teknolojilerin benimsenmesidir. Klerkx ve ark. (2019), Tarım 4.0’ı işletme içi ve dışı organizasyonlarda farklı türdeki verilerle (bulut, hava durumu, tüketim, fiyat vb.) bitkileri, hayvanları, toprağı, doğal kaynakları ve çevreyi izlemek için sensörler, insansız hava araçları ve bulut sistemleri kullanmak olarak tanımlamaktadır. Bir diğer tanımda Klerkx ve Rose (2020); Tarım 4.0’ı robotik, nanoteknoloji, sentetik protein, hücresel tarım, gen düzenleme teknolojisi, yapay zeka, blok zinciri ve makine öğrenimi gibi halihazırda operasyonel veya gelişmekte olan farklı teknolojileri içeren uygulamaları tarımda kullanmak olarak tanımlamaktadır. Bu bakımdan çalışmada “Akıllı Tarım” veya “Tarım 4.0” dijital aletler (tablet, bilgisayar, bilişim teknolojileri vb.), iş bilgisayarları, IoT, GPS, algılayıcı, çip, sensör, bulut, uydu ve tahmin gibi veri platformlarından yararlanarak tedarik zincirinin tüm aşamalarında ve tüketim sonrası geri hizmetlerin tamamında ortaya çıkan sorunlara yönelik çözüm önerisi sunan ve verimlilik ile karlılığı artıran teknolojik alet ve ekipmanların tarım sektöründe kullanılması olarak tanımlanabilir (Şekil 1).

Bu doğrultuda tarım sektöründe kullanılan teknolojiler mekanik, biyolojik ve organizasyonel teknoloji olmak üzere 3 başlıkta tanımlanmıştır. Mekanik teknoloji, işgücü verimliliğini ikame ederken, biyolojik teknolojiler ise hem işgücünün hem de toprağın verimliliğini artırmaktadır. Mekanik teknoloji, tarımsal üretimde kullanılan makine ve ekipmanları ifade etmekte ve bu teknolojiler ile birim başına verimlilik artarken aynı zamanda sabit masrafların payı da yükselmektedir. Dolayısıyla mekanik teknoloji düzeyi, işletme büyüklüğüne uygun olması beklenmektedir (Özçelik, 2019). Türkiye’de mekanik teknoloji veya mekanizasyon düzeyi ile ilgili birçok istatistik yer almakla birlikte Türkiye’nin birçok ilinde mekanizasyon düzeyini farklı kriterlere göre hesaplanmıştır (Işık ve ark., 2003; Koçtürk ve Avcıoğlu, 2007; Özgüven ve ark., 2010; Altay ve Turhal, 2011; Altıkat ve Çelik, 2011; Gürsoy, 2013; Yeşilyurt ve ark., 2013; Baran ve ark., 2014; Gökdoğan, 2014; Altuntaş, 2016; Olçay ve ark., 2016; Sağlam ve Kuş, 2016; Akar ve Çelik, 2017; Oğuz ve ark., 2017; Aslantürk ve Altuntaş, 2018; Bayramoğlu ve ark., 2018a; Yılmaz ve Sümer, 2018; Aygün ve Gürsoy, 2020). Bu çalışmalara dayanarak özellikle Türkiye’nin son yıllarda AB düzeyine yaklaştığı söylenebilir. Bir diğer teknoloji gelişmesi ise biyolojik teknoloji olarak ifade edilmektedir. Biyolojik teknoloji, başta bitkisel ve hayvansal üretimde ıslah çalışmaları olmak üzere, yeni çeşitlerin geliştirilmesi, verim kapasitelerinin artırılması ve üretim verimliliğini artırıcı her türlü bilginin kullanılarak mevcut veya yeni bir ürün geliştirmek olarak tanımlanmaktadır. Fakat Türkiye’de mevcutta biyoteknoloji ile ilgili herhangi bir istatistik olmamakla birlikte sadece sınırlı sayıda çalışmada Türkiye’nin biyoteknolojisi kapasitesine ilişkin istatistikler (kurulu firmalar, patent sayıları vb.) verilmiştir (Kalaycı ve Vakfi, 2012; Kiper, 2013; Bayramoğlu ve ark., 2018b; Arısoy ve Avcı, 2020). Tarım sektöründe kullanılan ve son yıllarda önemi artan bir diğer teknoloji ise organizasyonel teknolojidir. Mekanik ve biyolojik teknoloji sonucunda bir ürün çıktısı elde edilirken organizasyonel teknoloji ile işletmelerin planlaması başta olmak üzere her türlü gelişmelere yönelik çözüm üretilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 1. Veri Platformu (Kaynak: BTK, 2021)  
Figure 1. Data Platform



Şekil 2. Tarım 4.0 teknolojisinin fiziksel boyutu  
Figure 2. In the dimensions of the Agriculture 4.0 model

Görüldüğü üzere tarımda kullanılan teknolojiler uygulama alanlarına göre 3 grupta incelenirken bu teknolojiler piyasaya sunuş özellikleri itibarıyla fiziksel (donanım) ve kuramsal (yazılım) olarak ilk defa sistematik olarak bu çalışmada gösterilmiştir. Buna göre fiziksel boyut daha çok teknolojik donanımları içerirken, kuramsal boyut teknolojinin kullanıldığı kodlanmış komutlar dizisidir (İşman, 2001; Türk ve Karadal, 2008). Tarım 4.0 teknolojilerinin fiziksel boyutu şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2’de görüleceği üzere Tarım 4.0 teknolojisinin fiziksel boyutunun ilk aşaması genetik gelişimdir. Genetik gelişimde tarihte ilk olarak bitkilerin ve hayvanların evcilleştirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra 1950’li yıllarda “Yeşil Devrim” olarak da adlandırılan süreçte hibrit tohumlar, ıslah çalışmaları ve genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO) kullanılmaya başlanmıştır. Böylece ürünlerde verimlilik artarak dünya nüfusu karşısında gıda arzının artması sağlanmıştır. Fakat değişen iklim koşulları, artan dünya nüfusu ve çevre hassasiyeti nedeniyle insan ve çevre sağlığını ön planda tutan, verimliliği ve karlılığı yüksek yeni teknikler geliştirilmiştir. Özellikle nanoteknoloji, klonlama, gen düzenleme ve biyometrik algılama gibi gelişmeler ile tarımsal üretimde yeni süreç başlamıştır.

Fiziksel boyutun ikinci aşaması tarımsal uygulama alanlarıdır. Bu alanda yazılım, uygulama, sensörler, otonom ve IoT teknolojileri yer almaktadır. Buna göre yazılım alanlarında çiftlik yönetim bilgi sistemleri, sulama ve besleme izleme, hastalık ve zararlı tespiti, toprak, bitki sağlığı ve doğal kaynakları izlemeye yönelik geliştirilen yazılımlar kullanılarak istenilen özellikler belirlenmektedir. Uygulama aşamasında toprak hazırlığından hasat aşamasına kadar geçen süreçte ihtiyaç duyulan teknolojik ekipmanlar (bulut bilişimli ekipmanlar) ifade edilirken sensörler ile yaprak, kök, sıcaklık, nem ve olgunlaşma gibi değerlere bakılabilmektedir. Otonom ve IoT teknoloji alanında özellikle traktör, İHA ve bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılmaktadır. Fiziksel boyutun üçüncü ve dördüncü aşaması birbirine bağlı olarak gelişmekte olup özellikle Blockchain, RFID ve Bulut Bilişim Sistemleri her iki aşamada da uygulanmaktadır.

Tarım 4.0 teknolojik ürünleri, bir önceki sınıflandırmadan farklı olarak kuramsal boyutu yani farklı bir ifadeyle yazılımsal özelliklerine göre 4 grupta incelenmiştir. Bunlardan ilki yapay zeka uygulamaları olarak nitelendirilebilir. Yapay zeka uygulamaları ile insan zekasında bulunan öğrenme, algılama, sorgulama, deneyim ve düşünce yeteneğinin çip benzeri yazılımlarla otonom makineler veya sistemlere kazandırılarak bu ekipmanların ileriye dönük tahminleme, sınıflandırma, kümeleme, ilişkilerin belirlenmesi ve yeni durumlara karşı karar vermelerini sağlamasıdır. Bu bakımdan yapay zekâ uygulamaları tarımda alternatif çözüm geliştirme potansiyeli nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritma, uzman sistemler ve karınca algoritmalar sıklıkla sulama yönetimi, bitki koruma yöntemleri, üretim yönetimi, karar destek sistemleri ve toprak optimizasyonunu sağlamada kullanılmaktadır. (Zotarelli ve ark., 2009; Alaiso ve ark., 2013; Romeo ve ark., 2013; Akıllı ve ark., 2014; Taner ve ark., 2015; Yakupoğlu ve ark., 2015; Hosseini ve ark., 2016; Matha ve ark., 2016; Haklı ve Uğuz, 2017; Kaya, 2017; Ahi ve ark., 2018; Ali ve ark., 2018; Faridi ve ark., 2018; Kurniasih ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2019; Eroğlu ve Şişman, 2020). İkinci teknoloji ise veri madenciliği uygulamalarıdır. Bu uygulamalarda yoğun veri kullanımlarının anlamlı, geçerli ve işlenebilir bir düzeye getirilmesi ve erişilebilir bir veritabanı oluşturması amaçlanmaktadır. Son yıllarda tarım sektöründe Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı (MLPNN) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) veri madenciliği uygulamaları kullanılmakta olup tarımsal üretim sürecinde işletmecilerin karar verme süreçlerini desteklemektedirler (Yuan ve ark., 2008; Sabancı ve ark., 2012; Liang ve ark., 2013; Yakupoğlu ve ark., 2015; Michelon ve ark., 2017; Yabanova ve Yumurtacı, 2018; Reis ve Yılcı, 2020). Bir diğer kullanılan Tarım 4.0 teknolojisi ise makine öğrenmesi uygulamalarıdır. Esasında bu uygulamalar yapay zekâ teknolojisinin bir alt dalı olarak nitelendirilebilir. Bu teknolojiye çeşitli algoritmalar ile matematiksel modellemeler belirlenmekte ve elde edilen model yardımıyla tahminler yapılmaktadır (Chlingaryan ve ark., 2018; Crane-Droesch, 2018; Liakos ve ark., 2018;

Başakın ve ark., 2019; Dizdaroğlu, 2019; Mekonnen ve ark., 2019; Sharma ve ark., 2020; Benos ve ark., 2021; Tunca ve Köksal, 2021). Tarımda kullanılan son Tarım 4.0 teknolojisi ise derin öğrenme uygulamaları olarak ifade edilebilir. Makine öğrenmenin bir alt dalı olarak nitelendirilebildiği bu uygulamalarda birçok doğrusal olmayan birim işlem katmanları kullanılmaktadır. Makine öğrenmeden temel farkı katman sayısı ile ilgilidir. Nitekim makine öğrenmesinde tek katman kullanılırken, derin öğrenmede birçok katmanda aynı anda işlem yapılmaktadır. Bir diğer farkı ise ihtiyaç duyulan ekipman donanımları ile ilgilidir. Çünkü makine öğrenmesinde ilişkiler tek katmanda belirlenirken GPU tabanlı sistemlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Fakat derin öğrenmede verilerin karmaşık olması ve verilerin işlenebileceği alanların çok katmanlı olması nedeniyle GPU tabanlı yüksek işlemcili sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle tarımda arazi kullanımı, bitki ve toprak sınıflandırması, meyve sayımı, hayvan büyümesi ve iklimsel faktörlerin belirlenmesine yönelik olarak kullanılan bu yöntemler arasında Konvolüsyonel Sinir Ağları, Oto-Kodlayıcılar, Tekrarlayan Sinir Ağları ve Derin İnanç Ağları yer almaktadır (Grinblat ve ark., 2016; Doğan ve Türkoğlu, 2018; Ferentinos, 2018; Kamilaris ve Prenafeta-Boldú,

2018; Özgür ve Nar, 2019; Aslan, 2021; Türkoğlu ve ark., 2021).

Görüldüğü üzere Tarım 4.0 teknolojilerinin hem kuramsal hem de fiziksel özellikleri incelendiğinde başta işletmeler olmak üzere hem mikro hem de makro düzeyde önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle de tarım işletmelerinde hız, gece çalışma, toprak sıkıştırma, girdi maliyetlerini minimize etme, işçilik maliyetlerini azaltma, toprağın tava gelmesinde ve sonraki işlemlerde kolaylık sağlama, etkin arazi kontrolü, gelişmiş işletme yönetimi, verim ve kazanç artışı gibi birçok faydası bulunmaktadır. Çizelge 1’te farklı teknolojik uygulamaların işletmecilere sağlamış olduğu avantajlar gösterilmiştir.

Tarım 4.0 önemli ekonomik katkılarının olmasının yanı sıra, yapılmış birçok çalışmada da hem sosyal hem de çevresel anlamda Tarım 4.0 gerekliliğinden bahsedilmiştir (Ozdoğan ve ark., 2017; Duman ve Özsoy, 2019; Ercan ve ark., 2019; Kaya, 2019; Kılavuz ve Erdem, 2019; Arıcıoğlu ve ark., 2020; Dayıoğlu ve ark., 2020; Ertaş, 2020; Pakdemirli ve ark., 2021; Şenol, 2021). Nitekim Tarım 4.0 başta işgücü olmak üzere işletme içi ve dışı üretim faktörlerinin sürdürülebilir kullanılmasını sağlarken aynı zamanda iklim koruyucu özellikleri nedeniyle çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Çizelge 1. Farklı Teknolojik Uygulamaların Sağladıkları Avantajlar\*

Table 1. Advantages of Different Technological Applications

| Yazar   | Çalışmanın Konusu  | Sonuç  |
|---|--|--|
| Balsari ve Tamagnone (1997)                             | Değişken düzeyli pestisit uygulaması                                 | %10-35 arasında pestisit tasarrufu   |
| Özgüven ve Türker (2010)                                | Değişken düzeyli ilaç uygulaması                                     | %55,84'lük ilaç tasarrufu  |
| Karimzadeh ve ark. (2011)                               | Değişken düzeyli insektisit uygulaması                               | %40-50 oranında insektisit tasarrufu   |
| Upadhyaya ve ark. (1999)                                | Değişken düzeyli azot uygulaması                                     | %35 girdi maliyeti ve %40-50 verim artışı  |
| Türker ve ark. (2003)                                   | Değişken düzeyli azot uygulaması                                     | %25 oranında gübre tasarrufu   |
| Koch ve ark. (2004)                                     | Değişken düzeyli azot uygulaması                                     | %6-46 oranında gübre tasarrufu ve hektara %18,2-29,6 \$ kar artışı   |
| Anonymous (1997)  | Geleneksel uygulamalar ile hassas tarım uygulamaları karşılaştırması | Girdi maliyeti %14,15 oranında ve karlılıkta ha başına 9,75 \$ artış   |
| Moss ve Schmitz (1999)                                  | Hassas Tarım maliyeti ve faydalarının belirlenmesi                   | Hassas tarım teknolojilerinin yatırım maliyetleri karlılıktan yüksek   |
| Muñoz-Carpena ve ark. (2008) , Zotarelli ve ark. (2009) | Su tasarrufu sağlayan otomasyonlar                                   | Sensörler %67-74 oranında su tasarrufu sağlamaktadır.  |
| Murphy (2011)   | Süt sağım robotu enerji tasarrufu                                    | Süt sağım robotu kullanan işletmelere geleneksel işletmelere göre %20 enerji tasarrufu sağlamıştır.                        |
| Keskin ve Keskin (2012)                                 | Ultrasonik algılayıcılar   | Ultrasonik algılayıcılar %10-35 arası pestisit ve %58 su tasarrufu sağlamaktadır.  |
| Mundan ve ark. (2014)                                   | Süt sağım robotunun verime etkisi                                    | Laktasyon süt veriminde %6-25 arasında artış sağlandı.   |
| Van Evert ve ark. (2017)                                | Akıllı tarımın patates ve zeytin üretiminin karlılığına etkisi       | Gübre ve ilaç kullanımında %30-40 oranında azalış ve karlılıkta %20 artış  |
| Keskin ve ark. (2018)                                   | Otomatik dümenleme sistemi   | Otomatik dümenleme sistemi kimyasal girdi maliyetini %10, yakıt tüketimini %9 ve işgücü çalışma saatini %17 azaltmaktadır. |
| Ragavi ve ark. (2019)                                   | Nesnelerin interneti uygulamalarının karlılığına etkisi              | Hem verimlilikte hem de karlılıkta %15 artış oranı   |
| İnan ve Karci (2021)                                    | Otonom drone'larla ağaçların ilaçlanması                             | %35-40 oranında ilaç tasarrufu ve %0 ürün kaybı  |

\*Kaynak: Güldal ve ark. (2019)

Geliştirilen teknolojiler ile atık ve kayıpların azaltılması, su tasarrufların sağlanması, toprak erozyonlarının önlenmesi, gübre ve pestisit kullanımının sınırlandırılması ve karbon salınımının azaltılması hem mikro hem de makro düzeyde sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu nedenle de akıllı tarım teknolojileri sadece üretim değil aynı zamanda girdi kullanımını, optimizasyonu, veri toplama, üretim planlaması, finansal yönetim, endüstriyel işleme ve pazarlama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kapsamda dünyada birçok teknoloji firması akıllı tarım teknolojilerine yatırım yaparak yeni girişimler oluşturmaktadırlar. Örneğin Google firması geliştirmiş olduğu sistem ile daha sağlıklı gıda sistemleri üretmeyi amaçlamaktadır. Microsoft ise tarım işletmelerindeki sorunların çözümünde IoT ve yapay zekadan yararlanarak FarmBeats adı altında bir yazılım geliştirmiştir. Benzer şekilde IBM yapay zekalı bir yazılım geliştirerek işletmecilerin hasat zamanlarında daha doğru bir karar almalarını sağlamıştır (Raj ve ark., 2021). Bunların dışında 365FarmNet ve OnFarm çiftlik yönetiminde, CropX toprak izleme sisteminde, EZ-Farm uydu, toprak ve su kullanımında, Field Connect ve Plug & Sense iklimsel parametrelerde, HereLab ve IRRomesh toprak neminde, SapIP bitki su kullanımında ve Phyttech karar destek sistemlerinde kullanılan platformlar vardır. Ülkesel olarak ise İngiltere, Hollanda, ABD, Japonya ve İsrail başta olmak üzere gelişmiş ülkelerde akıllı tarım uygulamalarına başarılı bir geçiş yapılmıştır. Örneğin İngiltere’de 250 milyon paund teknolojik yatırım ile buğday verimi 7 ton/ha’dan 8 ton/ha’ya yükseltilmiştir. Bunun yanı sıra ülkedeki Rothamsted Enstitüsü ve N8 Agrifood Platformları 1000’i geçkin araştırmacı ile 3 milyar paund İngiltere ekonomisine katkı sağlamaktadır. Hollanda ise tarım ihracatındaki başarısı ile güzel örneklerden birisi olup ülkenin tarım teknolojisi ihracatı 9 milyar €’dur. Özellikle yüksek verimli sulama sistemleri, ileri tohum teknolojileri, yenilenebilir enerji sistemleri, otomasyon sistemleri, büyük veri analizi ve akıllı çiftlik yazılımları ile üretimlerini ve verimliliklerini arttırmayı başarmışlardır (BTK, 2021). ABD ise en büyük tarım ihracatçısı olarak bilinmektedir. Ülkede birçok şirket otonom, yazılım, otomasyon ve bulut sistem üzerinde faaliyet gösterirken özellikle badem üretiminde sağlamış oldukları başarı güzel örnekler arasında yer almaktadır. Dünya badem üretiminin %80’ini karşılayan ABD’de sulama sistemlerinde yapılan otomasyon ile %20 tasarruf sağlanmıştır. Benzer örnekte ABD merkezli John Deere traktörlerine ait olup bu traktörlere takılan GPS sensörü sayesinde %40 yakıt maliyeti azaldığı tespit edilmiştir. İsrail’de en önemli akıllı tarım teknolojileri sulama ve bitki genetiği üzerinedir. Nitekim bölgenin coğrafi yapısı nedeniyle arazilerin sadece %20’si ekilebilir olup sulama sistemlerinde başarıları, bitki genetiği üzerindeki araştırmalar ve geliştirilen gübre çeşitleri sayesinde birincil ve işlenmiş tarım ürünlerin tamamında kendine yeterli olup ihtiyaç fazlasını ihraç etmektedir. Japonya ise teknolojik ürünlerde öncü bir ülke olup tarım teknolojileri konusunda da son yıllarda aktif olarak piyasayı yönlendirmektedir. Örneğin Japonya’da 2 dekar arazi üzerinde kurulan bir serada geliştirilen yapay ışık sayesinde yılda 20 kez hasat yapılabilmektedir. Ülkedeki bir diğer üniversitede geliştirilen giyilebilir akıllı tarım ekipmanları sayesinde ise işgücü verimliliği %50-85 oranında artış göstermiştir. Görüldüğü üzere ülkelerin rekabetçiliğinin artırılmasında, kendine yeterliliğin sağlanmasında ve işletmelerin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında teknoloji önemli bir faktördür.

Dünyada yaşanan bu gelişmelere karşılık tarım işletmelerinde akıllı tarım teknolojilerin benimsenmesine yönelik bir dizi birbirine bağlı engeller bulunmaktadır. Bu engeller arasında en önemlileri teknolojik karmaşıklık, enerji yönetimi, altyapı eksikliği, teknoloji altyapı maliyetleri, nitelikli işgücü ihtiyacı, politika eksikliği, dijital beceri eksikliği, iklimsel faktörler, topoğrafik yapı ile işletme ve arazi büyüklüğü olarak bilinmektedir. Bu engeller teknolojik, ekonomik, sosyal, siyasi ve çevre olarak sınıflandırıldığında en önemli engellin teknolojik boyut olduğu belirlenmiştir. Özellikle yeni teknolojilerin karmaşık olması, yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve altyapı eksikliği akıllı tarım teknolojisinin kullanımını sınırlandırmaktadır (da Silveira ve ark., 2021). Türkiye’de ise tarım işletmelerinde farkındalık eksikliği, yatırım maliyetlerinin yüksekliği, dijital okuryazarlık eksikliği, yetersiz altyapı, yerleştirme eksikliği ve yetersiz politikalar nedeniyle tarımın dijitalleştirilmesinde zorluklar yaşanmaktadır (Ağızın ve Bayramoğlu, 2021; Ağızın ve ark., 2021). Özellikle tarımdaki nüfusun yaş ortalamasının 54 olması (Bilgen, 2020) başta akıllı telefonlar olmak üzere diğer bilgi teknoloji kullanımı sınırlandırırken kırsal alanlardaki yetersiz telekomünikasyon altyapısı nedeniyle bulut hizmetleri istenilen verimlilikte çalışmamaktadır. Bunun yanı sıra farklı bölgelere, üretim faaliyetlerine ve topoğrafik şartlara göre akıllı tarım sistemlerinin geliştirilmemiş olması yerel de kullanımı sınırlandırmaktadır (Akıllı ve ark., 2019). Bu kapsamda 2012 yılından itibaren Türkiye’de tarımda akıllı tarım teknoloji kullanımına yönelik politikalar, eylemler ve stratejiler belirlenerek pilot uygulamalar gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Türkiye’de akıllı tarım teknolojileri gelişmeleri incelenecek olursa özellikle Tarım ve Orman Bakanlığı ile Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ön plana çıkmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri, Entegre İdare ve Kontrol Sistemleri, Tarım Bilgi Sistemleri ve Çiftlik Muhasebe Veri Ağı akıllı tarım teknolojilerine örnek olacak sistemler olarak bilinmektedir. Ayrıca Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından geliştirilen “Hassas Tarım Teknikleri Kullanılarak Hububat Ekim Alanlarında Verime Etki Eden Değişkenliklerin Belirlenmesi” adlı projede taban gübresi uygulamalarından %40 ve üst gübrelemesinden ise %30 tasarruf edilerek hektara gübre gideri 935 TL’den 575 TL’ye düşürülmüştür. Yine bakanlığın bünyesinde geliştirilen Yerli Otomatik Traktör Dümenleme ve Kontrol (OTAK) sistemi ile %12 yakıt tasarrufu sağlanmıştır (Çoşkun, 2021). Bunların yanı sıra İnsansız Hava Aracı ile Görüntü İşleme Temelli Hassas Tarım Uygulamaları, Buğday Hasadında dane kayıplarının izlenmesi ve takibine yönelik sistem ve Küçükbaş hayvan ıslahına yönelik akıllı ölçüm platformu prototip geliştirilmektedir.

Türkiye’de özel sektör veya STK tarafından son yıllarda oldukça başarılı akıllı tarım uygulamaları yapılmaktadır. Bu sistemlerden birisi olan birisi olan “Trimbox” başta seralar olmak üzere topraksız tarım veya akıllı tarım uygulamalarının kullanıldığı tüm işletmelerde elektrik güvenliğini korumak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistem otonom sistemlerinin çalışması gerekli olan elektrik sirkülasyonunu sağlamaktadır (Anonim, 2021c). Bir diğer akıllı tarım sistemi ise Görsentam Tarım Teknolojileri tarafından geliştirilen “Akıllı Tarımsal

Mücadele Sistemi” ve “Uzaktan Zararlı İzleme Sistemlerinin Geliştirilmesi” olarak söylenebilir. Bu sistemlerde üreticilerin arazilerine tarımsal meteoroloji istasyonları kurarak sıcaklık, hava nemi, rüzgâr verileri, yaprak ıslaklık süresi ve yağış gibi iklim verileri toplanmakta ve işlenen veriler sayesinde risklere karşı uyarılar verilmektedir. Bu sistemi kullanan zeytin işletmelerinde verim %190 artış gösterirken ilaçlama maliyetlerinde de %20-30 oranında düşüş gözlemlenmiştir (Anonim, 2021b). Zirai hava durumu ve uyarıları alanında sektörün en önemli firmalarından birisi olan İmceMobil; ürüne, konuma ve üretim faaliyetlerine özgü bildirimler, meteorolojik bilgiler, gelir-gider hesaplama modülleri, uydu destekli dijital gübreleme servisleri ve uzman soru ekipleriyle sayesinde 121.959 kullanıcının kayıtlarına göre %45 verim artışının yanında %25'lere varan girdi maliyeti tasarrufu sağlanmıştır (Anonim, 2021a). Bir başka örnek ise Huma Akıllı Tarım Sistemleri gösterilmektedir. Bu sistemde insansız hava araçları kullanılarak üretim maliyetlerinin azaltılması ve etkin bir ilaçlama ile gübreleme yapılması planlanmaktadır. Bu sistemde İHA'lar uzaktan algılama ve fiziki müdahale olarak 2 farklı uygulama gerçekleştirmektedir. İlkinde tarımsal bilgiler yüksek duyarlılıkla analiz edilerek algoritmalar aracılığıyla risk tahminleri yapmaktadır. İkincisinde ise başta gübreleme, ilaçlama ve tohum ekme gibi uygulamalar İHA'lar tarafından gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2021f). Özellikle İHA'ların kullanımıyla ilgili olarak TARNET A.Ş. ile Tarım Kredi Kooperatifleri ortaklığıyla yapılan Zirai İnsansız Hava Araçları (ZİHA) oldukça önemli yatırımlardır. Bu projede ilk olarak %30-40 arasında zirai ilaç tasarrufu sağlanırken ZİHA'lar ile 800 milyon \$ doları aşan tarım ilaçları kullanımını %45 azaltmak hedeflenmektedir. Benzer bir çalışmada ise insan gücü ile yapılan ilaçlamada ürün kaybı %1 olurken ciddi sağlık sorunlarının yaşanması ve büyük arazilerde zaman problemi yaşandığı tespit edilmiş olup bu durum traktör ile yapıldığında verim kaybı %3-5 arasında ve su kullanımı ise 20-30 lt arasında değişmektedir. ZİHA ile yapılan ilaçlamada ise ürün kaybı sıfıra inerken insan sağlığını tehdit edecek bir faktör olmamakla birlikte su kullanımı 6-8 lt arasında değişmektedir (Anonim, 2021e). Bunların yanı sıra Vodafone tarafından Akıllı Köy Projesi, Türk Telekom tarafından BulutTT iş çözümleri ve Turkcell tarafından Turkcell Filiz uygulamaları işletmeciler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Pazarlama alanında ise akıllı tarım uygulamalarının öncüsü olan Tarfın Tarım A.Ş. makine öğrenmesine dayalı tarımsal risk skorlama modeli geliştirerek tarım işletmelerinin gübre, tohum ve yem gibi tüm tarım girdilerine uygun fiyatlar ve hasatta ödeme fırsatları ile ulaşmalarını sağlamaktadırlar. Model BDDK tarafından geliştirilen Findeks Kredi Notuna benzemekte olup işletmelere en uygun fiyatlara ulaşmalarında yardımcı olduğu gibi ödeme kolaylıkları da risk skorlarına göre değişmektedir (Anonim, 2021d).

## Sonuç

Sonuç olarak dünyada akıllı tarım teknolojilerinin kullanımı artarken Türkiye'nin de bu teknolojik gelişmeden yararlanmasını beklenmektedir. Fakat Türkiye arazilerinin küçük ölçekli ve parçalı olması, işletme sayısının fazla olması, yatırım maliyetlerinin yüksek

olması, su kaynaklarının sınırlı olması ve işletmecilerin demografik yapıları akıllı tarım teknolojilerinin kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle başta Tarım ve Orman Bakanlığı olmak üzere Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının ilgili kurumları, Üniversiteler, STK'lar ve özel sektörden temsilcilerin katılımıyla “Tarım 4.0 Eylem Planı” hazırlanarak akıllı tarım teknolojilerinin kullanımı artırılmalıdır. Eylem planında yer alması gereken temel başlıklar ise aşağıda verilmiştir.

- Akıllı tarım teknolojilerinin finansmanına yönelik devlet politikalarının açıklanması gerekmektedir. Ayrıca işletme büyüklüklerine ve üretim faaliyetlerine göre farklı hibe/teşvik programları planlanmalıdır.
- Küçük ölçekli işletmelerde akıllı tarım teknolojilerinin kullanılmasına yönelik olarak teşvikler verilmelidir. Özellikle İHA kullanımında kira desteği sunularak yaygınlaştırılması sağlanabilir.
- Türkiye'de ortak makine kullanım modeli istenilen düzeyde başarıya ulaşamamış olup Türkiye'ye özgü “Ortak Makine Parkı” oluşturularak akıllı tarım teknolojilerinin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.
- Tarım işletmeleri başta olmak üzere ziraat odaları, kooperatif, birlik ve diğer tarımsal meslek gruplarına yönelik akıllı tarım teknolojilerinin kullanımına yönelik farkındalık eğitimleri verilmelidir. Bu eğitimler Üniversiteler başta olmak üzere Ar-Ge firmaları, ticari firmalar ve devlet kurumları belirli periyotlar halinde verilmesi gerekmektedir.
- Tarım Meslek Liselerinin tarımsal üretimin yoğun olduğu illerde kurulması gerekmektedir. Bu kapsamda mesleki yeterlilik belgeleri düzenlenerek işletmecilerin bu belgeleri almaları sağlanarak bilinçli bir üretim yapılması sağlanabilir. Bu belgelerin alınmasını sağlamak amacıyla da başta destekleme, teşvik, kredi vb. finansal yardımlar olmak üzere üretim ve pazarlama aşamalarında da bu belgelerin varlığı sorgulanarak işletmelerin niteliği artırılabilir.
- Tarım işletmelerine başta finansal okuryazarlık olmak üzere bilişim teknolojileri okuryazarlığı eğitimleri de verilerek işletmecilerin kapasiteleri artırılabilir. Ayrıca Üniversite ve Araştırma Kuruluşları başta olmak üzere kamu kurumları ile STK'lar aracılığıyla bu eğitimler kırsal alanlarda düzenlenerek kırsal nüfusun eğitim düzeyi ve farkındalığı artırılabilir.

Özetle tarımda verimliliği en üst düzeye çıkarmak için tarımdaki büyük verilerin toplanması ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu durumda ancak tarımda akıllı teknolojilerden yararlanılarak sağlanacaktır.

## Kaynaklar

- Ağızın S, Bayramoğlu Z. 2021. Comparative Investment Analysis of Agricultural Irrigation Systems, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (2), 222-233.
- Ağızın S, Oğuz C, Ağızın K, Bayramoğlu Z. 2021. Evaluation of the Utilization of Mechanization in the Agricultural Enterprises in Terms of Productivity, *Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 30 (Ek sayı (Additional issue)), 898-907.
- Ahi Y, Bellitürk K, Gültaş HT. 2018. Toprakta Tuzluluk Parametrelerinin Sulanan Alanlarda Toprak Verimliliğine Etkilerinin Bulanık Mantık ile Analizi, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, Özel Sayı, 400-408.

- Akar M, Çelik A. 2017. Muş Ovası Tarım İşletmelerinin Tarımsal Mekanizasyon Özellikleri, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4 (4), 491-498.
- Akıllı A, Atıl H, Kesenkaş H. 2014. Çiğ süt kalite değerlendirmesinde bulanık mantık yaklaşımı, *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 20 (2), 223-229.
- Akıllı H, Çiğ F, Pakyürek M. 2019. Hassas Tarım Uygulamalarına Bir Örnek: Mısır Yetiştiriciliği, *UBAK Uluslararası Bilimler Akademisi*, 521-542.
- Alaiso S, Backman J, Visala A. 2013. Ant colony optimization for scheduling of agricultural contracting work, *IFAC Proceedings Volumes*, 46 (18), 133-137.
- Ali RB, Bouadila S, Mami A. 2018. Development of a Fuzzy Logic Controller applied to an agricultural greenhouse experimentally validated, *Applied Thermal Engineering*, 141, 798-810.
- Altay F, Turhal K. 2011. Bilecik İlindeki tarımsal mekanizasyonun durumu ve çözüm önerileri, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18.
- Altıkat S, Çelik A. 2011. Iğdır ilinin tarımsal mekanizasyon özellikleri, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1 (4), 99-106.
- Altuntaş E. 2016. Türkiye'nin tarımsal mekanizasyon düzeyinin coğrafik bölgeler açısından değerlendirilmesi, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4 (12), 1157-1164.
- Anonim. 2021a. İmeceMobil Akıllı Tarım Uygulaması, <https://imecemobil.com.tr/>: [26.08.2021].
- Anonim. 2021b. Bursa'da Akıllı Tarım Uygulamaları, <https://enbursa.com/haber/bursa-da-akilli-tarim-uygulamaları-174068.html>: [26.08.2021].
- Anonim. 2021c. Akıllı Tarım Sistemlerinde Trimbox Kullanımı, <https://trimbox.com.tr/akilli-tarim-sistemlerinde-trimbox-kullanımı>: [26.08.2021].
- Anonim. 2021d. Tarfin Tarım, <https://tarfin.com/hakkimizda>: [27.08.2021].
- Anonim. 2021e. Tarnet ZİHA, <https://ziha.tarnet.com.tr/#price-area>: [21.08.2021].
- Anonim. 2021f. Huma İnsansız Hava Araçları, <https://www.humatr.com/>: [21.08.2021].
- Anonymous. 1997. The Precision-Farming Guide for Agriculturists, *Agricultural Primer*, John Deere,
- Arıcıoğlu MA, Yılmaz A, Gülnar N. 2020. 4.0 For Agriculture, *European Journal of Business and Management Research*, 5 (3), 1-8.
- Arısoy H, Avcı Y. 2020. Türkiye'nin Biyoekonomi Politikalarının Tarımsal Açından Değerlendirilmesi, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10 (4), 2999-3009.
- Aslan M. 2021. Derin Öğrenme ile Bitki Hastalıklarının Tespiti, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (23), 540-546.
- Aslantürk B, Altuntaş E. 2018. Malatya ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7 (2), 15-26.
- Aygün M, Gürsoy S. 2020. Antep Fıstığı (Pistacia vera L.) Üretimi Yapan İşletmelerin Tarımsal Mekanizasyon Düzeylerinin Belirlenmesi: Türkiye, Siirt İli Örneği, *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7 (2), 136-142.
- Balsari P, Tamagnone M. 1997. An automatic spray control for airblast sprayers: First results, *1st European Conference on Precision Agriculture*, 619-626.
- Baran M, Gökdoğan O, Durgut M. 2014. Batı Marmara Bölgesi'nin tarımsal mekanizasyon özellikleri, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (4), 561-567.
- Başakın EE, Ekmekcioğlu Ö, Özger M. 2019. Makine öğrenmesi yöntemleri ile kuraklık analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (8), 985-991.
- Bayramoğlu Z, Oğuz K, Ağızın K, Ağızın S. 2018a. Tarımda Mekanizasyon Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi, *IX. İnternaöonal Balkan and Near Eastern Social Sciences Congress Series*, Edirne, 1085-1095.
- Bayramoğlu Z, Tekin M, Ağızın K. 2018b. Türkiye'de Biyoekonomi Girişimciliğinin Tarımdaki Önemi, *Tarım ve Doğa Dergisi*, 21, 227.
- Benos L, Tagarakis AC, Dolias G, Berruto R, Kateris D, Bochtis D. 2021. Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review, *Sensors*, 21 (11), 3758.
- Bilgen T. 2020. Tarımda Türkiye'nin Mevcut Durumu ve Potansiyeli, <https://www.doktar.com/Files/tarimda-turkiye-nin-mevcut-durumu-ve-potansiyel-doc-10.pdf>: [16.01.2022].
- Blok V, Gremmen B. 2018. Agricultural technologies as living machines: toward a biomimetic conceptualization of smart farming technologies, *Ethics, Policy & Environment*, 21 (2), 246-263.
- BTK. 2021. Akıllı Tarım, *Sektörel Araştırma ve Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı*, 81, <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/arastirma-raporlari/akilli-tarim.pdf>:
- Chlingaryan A, Sukkariyh S, Whelan B. 2018. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review, *Computers and electronics in agriculture*, 151, 61-69.
- Crane-Droesch A. 2018. Machine learning methods for crop yield prediction and climate change impact assessment in agriculture, *Environmental Research Letters*, 13 (11), 114003.
- Çoşkun F. 2021. Akıllı tarım çalışmaları hız kesmiyor, *Türk Tarım Orman Dergisi* (263), 94-95.
- da Silveira F, Lermen FH, Amaral FG. 2021. An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages, *Computers and electronics in agriculture*, 189, 1-20.
- Dayıoğlu MA, Avcıoğlu AO, Özalp HY. 2020. Sürdürülebilir Tarım İçin Yenilenebilir Enerji ve Tarım 4.0, *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2*, 473.
- Dizdaroğlu T. 2019. Sentinel-1 ve Sentinel-2 Verilerinden Tarımsal Ürün Sınıflandırması İçin Makine Öğrenme Algoritmalarının Karşılaştırılması.
- Doğan F, Türkoğlu İ. 2018. Derin öğrenme algoritmalarının yaprak sınıflandırma başarımlarının karşılaştırılması, *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 1 (1), 10-21.
- Duman B, Özsoy K. 2019. Endüstri 4.0 Perspektifinden Akıllı Tarım, *4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry*, Antalya, 540-555.
- Eastwood C, Klerkx L, Nettle R. 2017. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies, *Journal of Rural Studies*, 49, 1-12.
- Ercan Ş, Öztep R, Güler D, Saner G. 2019. Tarım 4.0 ve Türkiye'de uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25 (2), 259-265.
- Eroğlu H, Şişman Y. 2020. Arazi toplulaştırması dağıtım işleminde tek amaçlı genetik algoritmanın kullanılması, *Geomatik*, 5 (2), 91-99.
- Ertaş B. 2020. A Tarım 4.0 İle Sürdürülebilir Bir Gelecek, *Icontech International Journal*, 4 (1), 1-12.
- FAO. 2022a. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022, <https://www.fao.org/publications/sofi/2022/en/>: [02.07.2022].
- FAO. 2022b. Supply Utilization Accounts, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/SCL>:
- Faridi M, Verma S, Mukherjee S. 2018. Integration of GIS, Spatial Data Mining, and Fuzzy Logic for Agricultural Intelligence, In: *Soft Computing: Theories and Applications*, Eds: Springer, p. 171-183.



- Ferentinos KP. 2018. Deep learning models for plant disease detection and diagnosis, *Computers and electronics in agriculture*, 145, 311-318.
- Gökdoğan O. 2014. Hakkari ilinin tarımsal mekanizasyon durumu, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 98-101.
- Grinblat GL, Uzal LC, Larese MG, Granitto PM. 2016. Deep learning for plant identification using vein morphological patterns, *Computers and electronics in agriculture*, 127, 418-424.
- Güldal HT, Özçelik A, Şahinli MA. 2019. Tarım İşletmelerinin Teknolojik İlerlemelerden (Tarım 4.0) Yararlanmasında Kooperatiflerin Önemi, 23. Milletlerarası Türk Kooperatifçilik Kongresi, Kiev-Ukrayna, 359-366.
- Gürsoy S. 2013. Batman ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin ilçeler bazında değerlendirilmesi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 146-158.
- Haklı H, Uğuz H. 2017. A novel approach for automated land partitioning using genetic algorithm, *Expert Systems with Applications*, 82, 10-18.
- Hosseini M, Naeini SAM, Dehghani AA, Khaledian Y. 2016. Estimation of soil mechanical resistance parameter by using particle swarm optimization, genetic algorithm and multiple regression methods, *Soil and Tillage Research*, 157, 32-42.
- İnan M, Karci A. 2021. Tarımda Ağaç İlaçlamanın Drone'larla Yapılmasında Yeni bir Yöntemin Geliştirilmesi ve Uygulanması, *Computer Science*, 6 (2), 72-89.
- İşık E, Güler T, Ayhan A. 2003. Bursa iline ilişkin mekanizasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik bir çalışma, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17 (2), 125-136.
- İşman A. 2001. Teknolojinin felsefi temelleri, *Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* (1), 1-19.
- Kalaycı İ, Vakfı İA. 2012. 2023 perspektifinde Türkiye ekonomisinde öncü sektörler: Türkiye tarım sektöründe yapısal dönüşüm politikaları (1923-2023) : sürdürülebilir tarımsal biyoekonomi ekseninde uygulanabilir öneriler, İktisadi Araştırmalar Vakfı, p.
- Kamilaris A, Prenafeta-Boldú FX. 2018. Deep learning in agriculture: A survey, *Computers and electronics in agriculture*, 147, 70-90.
- Karimzadeh R, Hejazi MJ, Helali H, Iranipour S, Mohammadi SA. 2011. Assessing the impact of site-specific spraying on control of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleridae) damage and natural enemies, *Precision Agriculture*, 12 (4), 576-593.
- Kaya A. 2017. GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI İLE SANAL PAMUK ÜRETİM MODELLEMESİ, *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 3 (1), 27-37.
- Kaya M. 2019. Ağrı'nın Kalkınması İçin Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Önerisi, *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi* (75), 130-156.
- Keogh M, Henry. 2016. The Implications of Digital Agriculture and Big Data for Australian Agriculture: April 2016, Australian Farm Institute, p. 1921808381: 1921808381
- Keskin M, Şekerli YE, Say SM, Arslan A. 2018. Hassas Tarım Teknolojileri İle Sağlanabilecek Faydalar, *Tarım Türk Dergisi*, 30, 14-17.
- Keskin MS, Keskin G. 2012. Hassas Tarım Teknolojileri, 3, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, p. 212.
- Kılavuz E, Erdem İ. 2019. Dünyada tarım 4.0 uygulamaları ve Türk tarımının dönüşümü, *Social Sciences*, 14 (4), 133-157.
- Kiper M. 2013. Biyoteknoloji Sektörel İnovasyon Sistemi: Biyoteknoloji Sektörel İnovasyon Sistemi Kavramlar Dünyadan Örnekler Türkiye'de Durum Ve Çıkarımlar, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), p. 9759587874: 9759587874
- Klerx L, Jakku E, Labarthe P. 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda, *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100315.
- Klerx L, Rose D. 2020. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?, *Global Food Security*, 24, 100347.
- Koch B, Khosla R, Frasier W, Westfall D, Inman D. 2004. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application utilizing site-specific management zones, *Agronomy Journal*, 96 (6), 1572-1580.
- Koçtürk D, Avcıoğlu A. 2007. Türkiye'de bölgelere ve illere göre tarımsal mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3 (1), 17-24.
- Kurniasih D, Jasmi KA, Basiron B, Huda M, Maselena A. 2018. The uses of fuzzy logic method for finding agriculture and livestock value of potential village, *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3), 1091-1095.
- Liakos KG, Busato P, Moshou D, Pearson S, Bochtis D. 2018. Machine learning in agriculture: A review, *Sensors*, 18 (8), 2674.
- Liang D, Guan Q, Huang W, Huang L, Yang G. 2013. Remote sensing inversion of leaf area index based on support vector machine regression in winter wheat, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29 (7), 117-123.
- Matha T, Jati AN, Azmi F. 2016. Fuzzy logic as a method of decision making in automatic watering plants, *Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems*, 2 (1), 15-21.
- Mekonnen Y, Namuduri S, Burton L, Sarwat A, Bhansali S. 2019. Machine learning techniques in wireless sensor network based precision agriculture, *Journal of the Electrochemical Society*, 167 (3), 037522.
- Michelon G, de Menezes P, Candido Junior A, Bazzi C, Barbosa M. 2017. Support vector machine to estimate the soybean yield, *Engenharia na Agricultura*, 25 (3), 240-248.
- Mistry I, Tanwar S, Tyagi S, Kumar N. 2020. Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 135, 1-20.
- Moss CB, Schmitz TG. 1999. Investing in precision agriculture, Morrison School of Agribusiness and Resource Management, Arizona State ..., p.
- Mundan D, Selçuk H, Orçin K, Karakafa E, Akdağ F. 2014. Modern süt sığırları işletmelerinde robotlu sağım sistemlerinin ekonomik açıdan değerlendirilmesi, *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 3 (1), 42-48.
- Muñoz-Carpena R, Dukes M, Li Y, Klassen W. 2008. Design and field evaluation of a new controller for soil-water based irrigation, *Applied Engineering in Agriculture*, 24 (2), 183-191.
- Murphy R. 2011. Profitable dairies Automatic milking systems, Department of Employment, Economic Development and Innovation, [http://www.dairyinfo.biz/images/QDPI/Technotes/Technote\\_03\\_AMS.pdf](http://www.dairyinfo.biz/images/QDPI/Technotes/Technote_03_AMS.pdf):
- Oğuz C, Bayramoğlu Z, Ağızan S, Ağızan K. 2017. Tarım İşletmelerinde Tarımsal Mekanizasyon Kullanım Düzeyi, Konya İli Örneği, *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 31 (1), 63-72.
- Olçay N, Bayhan AK, Gökdoğan O. 2016. Karaman İlinde Kuru Fasulye Yetiştiriciliğinde Mekanizasyon Girdi ve Maliyetlerinin Belirlenmesi *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2016 (33), 42-51.
- Ozdogan B, Gacar A, Aktas H. 2017. Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0, *Journal of Economics Finance and Accounting*, 4 (2), 186-193.
- Özçelik A. 2019. Tarımsal İşletmecilik ve İşletme Planlaması, Ekin Yayınevi, p. 332.
- Özgür A, Nar F. 2019. Derin öğrenme yöntemleri kullanarak ekin ile yabancı otların birbirinden ayırt edilmesi, *International Conference on Computer Technologies and Applications in Food and Agriculture. Konya: ICCTAFA*, 76-89.

- Özgülven MM, Türker U. 2010. Hassas Tarım Teknolojilerinin Üretim Ekonomisi ve Ülkemizde Mısır Üretiminde Kullanılabilir Olanakları, *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (1), 23-33.
- Özgülven MM, Türker U, Beyaz A. 2010. Türkiye'nin Tarımsal Yapısı ve Mekanizasyon Durumu, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27 (2), 89-100.
- Pakdemirli B, Birişik N, Aslan İ, Sönmez B, Gezici M. 2021. Türk Tarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı ve Tarım-Gıda Zincirinde Tarım 4.0, *Toprak Su Dergisi*, 10 (1), 78-87.
- Ragavi V, Subburaj J, Keerthana P, Soundaryaveni C. 2019. Smart Agriculture to Increase Farmers Profitability using Internet of Things, *Indian Journal of Science and Technology*, 12 (8), 1-6.
- Raj M, Gupta S, Chamola V, Elhence A, Garg T, Atiquzzaman M, Niyato D. 2021. A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0, *Journal of Network and Computer Applications* (187), 1-29.
- Reis HÇ, Yıllancı G. 2020. Destek vektör makineleri ve NDVI kullanarak pamuk ekili alanların tespiti: Harran ovası örneği, *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2 (1), 29-41.
- Romeo J, Pajares G, Montalvo M, Guerrero JM, Guijarro M, de la Cruz JM. 2013. A new Expert System for greenness identification in agricultural images, *Expert Systems with Applications*, 40 (6), 2275-2286.
- Rose DC, Chilvers J. 2018. Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87.
- Sabancı K, Aydın C, Ünlerşen MF. 2012. Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yardımıyla patates sınıflandırma parametrelerinin belirlenmesi, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2 (2 Sp: A), 59-62.
- Sağlam K, Kuş ZA. 2016. Orta Anadolu Bölgesi İllerinde Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Yıllara Göre Değişimi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 364-371.
- Sharma R, Kamble SS, Gunasekaran A, Kumar V, Kumar A. 2020. A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance, *Computers & Operations Research*, 119, 104926.
- Shepherd M, Turner JA, Small B, Wheeler D. 2020. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture' revolution, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100 (14), 5083-5092.
- Şenol C. 2021. İnovasyon, Destek, Sürdürülebilirlik: Türkiye Ekonomisi ve Tarım, *International Journal of Geography and Geography Education* (44), 475-488.
- Taner A, Tekgüler A, Hüseyin S. 2015. Yapay sinir ağları ile makarnalık buğday çeşitlerinin sınıflandırılması, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30 (1), 51-59.
- Tarmakbir. 2020. Tarım ve Makine Sanayi Etkileşimi Raporu, *Makine İhracatçıları Birliği, Makine İhracatçıları Birliği*, 124, <https://www.oaibftp.com/arge3/tar-mak-etk-rap.pdf>.
- Tunca E, Köksal E. 2021. Sentinel 2 Uydu Görüntülerinden Bitki Türlerinin Makine Öğrenmesi ile Belirlenmesi, *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (1), 189-200.
- Türk F, Karadal M. 2008. İşletmelerde Teknoloji Yönetiminin Geleceği, *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1 (1), 59-71.
- Türker U, Göç Demir İ, Karabulut A. 2003. Alansal Değişkenliğin Hassas Tarım Teknolojilerinden Yararlanarak Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, *Tarımsal Mekanizasyon*, Konya.
- Türkoğlu M, Hanbay K, Sivrikaya IS, Hanbay D. 2021. Derin Evrişimsel Sinir Ağı Kullanılarak Kayısı Hastalıklarının Sınıflandırılması, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 334-345.
- Upadhyaya S, Rosa U, Ehsani M, Koller M, Josiah M, Shikanai T. 1999. Precision farming in a tomato production system, *ASAE paper*, 991147.
- Van Evert FK, Gaitán-Cremaschi D, Fountas S, Kempenaar C. 2017. Can precision agriculture increase the profitability and sustainability of the production of potatoes and olives?, *Sustainability*, 9 (10), 1863.
- Wolf SA, Buttel FH. 1996. The political economy of precision farming, *American Journal of Agricultural Economics*, 78 (5), 1269-1274.
- Wolfert S, Ge L, Verdouw C, Bogaardt M-J. 2017. Big data in smart farming—a review, *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- Yabanova İ, Yumurtacı M. 2018. Destek vektör makineleri kullanarak dinamik yumurta ağırlıklarının sınıflandırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (2), 393-402.
- Yakupoğlu T, Şişman AÖ, Gündoğan R. 2015. Toprakların agregat stabilitesi değerlerinin yapay sinir ağları ile tahminlenmesi, *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 2 (2), 83-92.
- Yeşilyurt MK, Eryılmaz T, Gökdoğan O, Yumak B. 2013. Kırıkkale İlinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi, *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10 (2), 7-13.
- Yılmaz S, Sümer SK. 2018. Güney Marmara Kalkınma Bölgesinin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesi, *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6 (1), 115-122.
- Yuan Z, Zhang Y, Xiong J. 2008. Multidimensional time series analysis based on support vector machine regression and its application in agriculture, *Sci Agric Sin*, 41 (8), 2485-2492.
- Zhang Y, Li M, Zheng L, Qin Q, Lee WS. 2019. Spectral features extraction for estimation of soil total nitrogen content based on modified ant colony optimization algorithm, *Geoderma*, 333, 23-34.
- Zotarelli L, Scholberg JM, Dukes MD, Muñoz-Carpena R, Icerman J. 2009. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling, *Agricultural water management*, 96 (1), 23-34.