

DIGITAL TRANSFORMATION AND DEVELOPMENTS IN AGRICULTURE

TARIMDA DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE GELİŞMELER

Biset TOPRAK

Istanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Industrial Engineering, Istanbul, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1009-789X>

Emine Elif NEBATİ

Istanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Industrial Engineering, Istanbul, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3950-4279>

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Meeting the increasing food demand in line with the growing world population is becoming increasingly challenging. Climate change and limited resources have directed the agricultural sector towards reshaping through digital transformation. In this study, the contributions of Industry 4.0 technologies to the agricultural sector were investigated, as well as the role of robots in agricultural tasks and the effects of digitalization on the agricultural sector, were examined. **Materials and Methods:** A systematic literature review was conducted to propose a decision model. **Results:** The current state and applications of Industry 4.0 in agriculture were studied as part of a literature review and sector analysis. Industry 4.0 applications in agriculture have the potential to direct the sector toward a more efficient and sustainable future. **Discussion and Conclusion:** Factors such as high labor costs and physical challenges in the agricultural sector have encouraged the proliferation of robotic applications. Industry 4.0 implementations play a significant role in increasing agricultural productivity, optimizing decision-making processes, and promoting sustainable agricultural practices. This study aims to contribute to the literature by evaluating recent developments in agriculture within digital transformation.

Key Words: Agricultural Sector, Digital Transformation, Industry 4.0, Smart Agriculture

ÖZET

Giriş ve Amaç: Artan dünya nüfusuyla birlikte gıda talebinin karşılanması giderek zorlaşmaktadır. İklim değişikliği ve sınırlı kaynaklar, tarım sektörünü dijital dönüşümle yeniden şekillendirmeye yönlendirmiştir. Bu çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin tarım sektörüne sağladığı katkılar araştırılmış, robotların tarımsal faaliyetlerdeki rolü ve tarım sektöründeki dijitalleşmenin sonuçları incelenmiştir. **Gereç ve Yöntem:** Sistematik literatür taraması yapılarak bir karar modeli önerilmiştir. **Bulgular:** Endüstri 4.0'ın tarım sektöründeki konumu ve uygulamaları, literatür taraması ve sektörel araştırmalar çerçevesinde incelenmiştir. Endüstri 4.0'ın tarım sektöründeki uygulamaları, sektörü daha etkin ve sürdürülebilir bir geleceğe doğru yönlendirme potansiyeline sahiptir. **Tartışma ve Sonuç:** Tarım sektöründeki yüksek işçilik maliyetleri ve fiziksel zorluklar gibi faktörler, robotik uygulamaların

yaygınlaşmasını teşvik etmiştir. Endüstri 4.0 uygulamaları; tarımsal verimliliği artırmak, karar verme süreçlerini optimize etmek ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmek açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, dijital dönüşüm ile tarımdaki son gelişmelerin değerlendirilmesiyle literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarım Sektörü, Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0, Akıllı Tarım

GİRİŞ

2050 yılında 9,7 milyara ulaşması beklenen dünya nüfusunun küresel gıda talebini %70 oranında artıracığı tahmin edilmektedir. Artması beklenen gıda talebinin karşılanabilmesi, tarımsal üretimin birim alan başına maksimuma çıkarılmasını gerektirse de iklim değişikliği nedeniyle tarımsal üretim %10 oranında azalması öngörülmektedir (Alem vd., 2023). Bu durum, tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için çeşitli dijital teknolojilerin tarım sektörüne entegre edilerek akıllı tarım sistemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Mendes vd., 2022). Tarım sektöründe, gelişen teknolojiyle birlikte geleneksel tarım uygulamaları yerini akıllı tarım uygulamalarına bırakmıştır. Bu kapsamda; sensörler, uzaktan algılama sistemleri, yapay zekâ ve otomasyon gibi akıllı teknolojilerin tarıma entegre edilmesi tarım operasyonlarını daha verimli, çevre dostu ve sürdürülebilir hale getirme potansiyeline sahiptir. Endüstri 4.0'ın tarım sektörü ile ilişkisi; tarım sektörünü daha akıllı, daha verimli ve sürdürülebilir bir geleceğe yönlendiren önemli bir dönüşümü temsil eder. Tarımsal işçiliğin fiziksel zorluğu, tarımsal faaliyetlerin doğası gereği tekrarlanan işlerden oluşması ve işçilik maliyetlerindeki artış, tarımda robotik ve mekatronik uygulamaları hızlandırmıştır (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Bu teknolojik gelişmeler, çiftçilere daha fazla kaynak ve etkili adımlarla daha fazla verimlilik sunarak sürdürülebilir tarım hedeflerine katkıda bulunabilir.

Modern robotik; düşük maliyetli, hafif ve akıllı bileşenler kullanılarak oluşturulabilme avantajına sahiptir. Cep telefonları, oyun konsolları ve mobil bilgi işlem sistemleri gibi tüketici elektroniğinde yaygın kullanılan yüksek kaliteli kameralar ve gömülü işlemciler bu tür platformlara çok düşük maliyetle yerleştirilebilmektedir (Shamshiri et al., 2018). Tarım arazilerinde kullanılan robotlar, belirli görevleri yerine getirmek için tasarlanmışlardır. Ancak, bu robotlar genellikle sınırlı bir alanda ve belirli bir sınırdaki çalışabilmektedirler. Son zamanlarda ise, çok sayıda farklı görevi yerine getirebilen çok amaçlı robotlar geliştirilmeye başlanmıştır. Ancak, bu sistemlerin bir zayıf noktası, genellikle çeşitli gerçek saha koşullarına, örneğin çamur, yağmur, sis, düşük ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmamalarıdır. Tarım robotlarının, zorlu, dinamik ve örneğin seralarda olduğu gibi yarı yapılandırılmış ortamlarda hareket etmeleri gerekmektedir. Yer robotlarının engebeli, homojen olmayan, çamurlu topraklarda hareket etmesi, hava araçlarının ise farklı hava koşullarında uzun süre çalışabilmesi gerekmektedir. Ancak, seralarda raylar üzerinde veya beton zeminde, açık alanlarda ise aşırı çamurlu ve zorlu arazilerde hareket etmekte zorluklar yaşanabilmektedir.

Bu noktada, tarımsal robotlarının dayanıklılığını artırmak ve görevlerini gerçek saha koşullarında etkin bir şekilde yerine getirebilmeleri için daha fazla Ar-Ge ve inovasyon çalışmalarına ihtiyaç vardır. Ayrıca, tarımsal robotlarının tasarımında uyumluluğa odaklanmak da önemlidir. Böylelikle, tarımsal robotların mevcut tarım ekipmanlarına kolayca entegre edilmesiyle farklı görevleri yerine getirebilen robotların geliştirilmesi de mümkün olabilir. Robotik uygulamaların daha da geliştirilmesi, tarımın daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine katkıda bulunabilir. Ancak, çevresel şartlar ve teknolojik sınırlamalar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin tarım sektörüne sağladığı katkılar araştırılarak tarımsal faaliyetlerdeki rolü ve tarım sektöründeki dijitalleşmenin sonuçları incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan yola çıkarak bir tarımda dijital dönüşüm için bir karar modeli önerilmiştir. Endüstri 4.0'ın tarım sektöründeki konumu ve uygulamaları, literatür taraması ve sektörel araştırmalar çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışma, dijital dönüşüm ile tarımdaki son gelişmelerin değerlendirilmesiyle literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, tarımda dijital dönüşüm ile ilgili literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiştir. Şahin (2022), dijital tarımda yükselen trendler, karşılaşılan temel problemler ve geleceğin tarım uygulamalarında kurumlar arası ortak stratejilerin nasıl geliştirilebileceği sorularına cevaplar aranmıştır. Makalede literatür taraması yapılarak, akıllı tarım teknolojilerinin çiftçilerin hizmetine sunulması gerektiğini sonucuna varılmıştır. Liu vd. (2020) endüstriyel tarımın mevcut durumunu inceleyerek endüstriyel tarım-gıda tedarik zincirlerini değerlendirilmiştir. Özellikle, gelişen teknolojilerin tarım sektöründeki temel uygulamalarına ve karşılaşılan araştırma zorluklarına odaklanılmıştır. Abdalla ve El-Ramady (2022) tarafından yapılan çalışmada tarımın önemi vurgulanarak, özellikle biyoinformatik alanında yapılan ilerlemelerin tarım sektörünü esnek ve gelişmiş bir noktaya getireceği belirtilmiştir. Çalışmada, araştırmacılardan akıllı tarımın çeşitli yönlerini, özellikle sulama, gübreleme ve benzeri uygulamalardaki uygulamalarını inceleyen makaleler sunmalarını istenerek, bu konuda daha fazla bilgi ve deneyimin geliştirilmesine katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Dayıoğlu ve Turker (2021), su-enerji-gıda kaynaklarına dayanarak tarımsal dijital dönüşüm kapsamında sürdürülebilir kalkınma için bütünsel çözümler sunmuşlardır. Tarım 4.0 kapsamında ele alınan dijital tarım, izleme, kontrol, tahmin ve lojistik alanlarına değinmişlerdir. Çalışma, IoT, bulut bilişim, büyük veri, yapay zekâ, karar destek sistemleri gibi dijital teknolojileri örneklerle açıklamaktadır. Aydın (2022), tarımın evrimine odaklanmıştır. Dijital tarımın, nesnelerin interneti, veri yönetimi, akıllı ağlar gibi konseptleri içerdiği belirtilmiş ve bu sayede çiftçilerin bilinçli kararlar alabildiği ve üretimde artış sağlayabildiği vurgulanmıştır. Dijitalleşmenin, toprağın korunması, organik madde artışı, çeşitlendirmenin teşvik edilmesi ve girdi kullanımının azaltılması gibi sürdürülebilirlik hedeflerine nasıl katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir. Ertaş (2020), yaptığı çalışmada genel ve özel araştırma yöntemleri kullanarak Hollanda, Tayvan, İsrail, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nin akıllı tarım uygulama deneyimleri incelenmiş ve Türkiye için genel durum çözümlenmesi yapmıştır. Alekseeva vd. (2021), tarımın modern koşullarda yenilikçi gelişiminin yüksek bir seviyede olduğunu ve dijitalleşmenin tarımın istikrarlı işleyişi ve verimliliğinin büyümesi için önemli bir ivme kazandıracağını belirtmiştir. Tarımda dijital dönüşümün, makine ve hassas tarım teknolojilerini içeren teknolojilerin kullanımında yeni bir seviyeye geçişi içerdiği belirtilmiştir. Hrustek (2020), tarım sektöründe dijital teknolojilerin sürdürülebilirlik hedeflerine nasıl katkıda bulunabileceğini ve tarımın bu süreçte lider bir rol oynayabileceğini açıklamıştır. Dijital teknolojilerin tarım süreçlerini nasıl etkileyebileceğine dair bir genel bakış sunmuş ve bu dönüşümün tarımın ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için nasıl bir araç olabileceğini tartışmıştır. Nemchenko vd. (2020), dijital teknolojinin tarımsal üretimi nasıl etkileyebileceğini ve bu dönüşümün temel hedefinin gıda güvenliğini sağlamak ve tarım üretiminin rekabet avantajları elde etmesini sağlamak olduğunu vurgulamışlardır. Zorluklara rağmen, tarım sektöründe dijital dönüşümün sürdürülebilir bir ekonomik ve organizasyonel seviyeye taşınmasından başka bir alternatifinin olmadığı belirtilmiştir.

Tarımda Dijital Dönüşüm Model Önerisi

Yapılan literatür araştırması sonucunda, mevcut tarım sistemlerinin dijitalleşme sürecinde insani ve çevresel boyutların göz ardı edilerek, yalnızca yüksek teknolojinin kullanımına odaklanıldığına ve tarımda dijitalleşme süreçlerini objektif olarak değerlendirebilecek bir aracın bulunmadığı gözlemlenmiştir (Büyük vd., 2021). Martins vd. (2023), tarımda dijital dönüşüm için tutarlı kriterlerin bulunmamasının proje geliştirme ve endüstriyel uygulamalara yönelik ilerlemeyi kısıtlayabileceğine değinmiştir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında tarım sektöründe dijital dönüşümün değerlendirilmesi sürecinde göz önünde bulundurulması gereken ana kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatür taramasında bu amaca yönelik tasarlanmış modellerin sınırlı olması ve bütüncül bir karar verme mekanizmasının bulunmaması da araştırma alanında bir eksiklik olarak değerlendirilmiş ve akademik motivasyon kaynağı olarak görülmüştür. Tablo 1’de farklı sektörlerde yapılan dijital dönüşüm ve dijital olgunluk ile ilgili çalışmalarda önerilen ana kriterlere yer verilmiştir. Tabloda yer alan ve Zhang vd. (2019), Büyük vd. (2021), Mendes vd. (2021), Safiullin vd. (2022), ve Martins vd (2023) tarafından yapılan çalışmalar tarım sektörü ile ilgili olup, bu alandaki tüm çalışmaların ele alınarak tarımda dijital dönüşüm için kapsamlı bir kriter seti geliştirilmesi gelecek çalışmalar için motivasyon sağlamaktadır.

Tarımda dijital dönüşümün değerlendirilmesi kapsamında ulusal ve uluslararası literatürde öne çıkan kriterler Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Tarımda Dijital Dönüşüm Alanında Öne Çıkan Kriterler

Referanslar / Kriterler	Strateji	Liderlik	Yönetim	Müşteriler	Ürünler	İşlemler/Süreçler	Kültür	Çalışanlar, Bilgi ve Beceriler	Teknoloji	Organizasyon	Ekonomi	Çevresel Sürdürülebilirlik	Altyapı	İş Birliği	Değişim	Yenilik	Akıllı Ürünler	Akıllı Servisler	Akıllı Üretim	Akıllı Çiftlik	Akıllı Tesis	İzleme ve Kontrol	Veri Analizi ve Yönetimi	Bilgi Yönetimi	Otomasyon	Verimlilik	Süreklilik
Schumacher vd. (2016)	X	X	X	X	X	X	X	X	X																		
De Carolis vd. (2017)						X			X	X												X					
Klötzer and Pflaum (2017)	X													X			X										
Tupa vd. (2017)								X																			
Wagire vd. (2020)	X									X							X	X									
Von Leipzig vd. (2017)	X	X	X		X	X	X	X	X																		
Wibowo and Taufik (2017)																											
Ataman (2018)	X					X																					
Eke (2018)																											
Bibby and Dehe (2018)	X						X	X																			
Keskin et al. (2019)	X									X																	
Kayar (2019)	X					X			X	X						X											
Zhang vd. (2019)	X						X		X															X			
Büyüközkan and Güler (2020)							X		X	X																	
Hizam-Hanafiah vd. (2020)	X	X				X		X	X							X											
Baltacı (2020)										X																	
Büyük vd. (2021)	X							X	X											X	X		X				
Baki and Serdar (2020)	X							X		X							X										
Kaya vd. (2020)		X	X	X	X	X	X	X	X	X																	
Etkeser and Apilioğulları (2021)	X							X		X									X								
Borštnar and Pucihar (2021)	X																										
Kıyıklık vd. (2022)	X			X					X	X																	
Mendes vd. (2022)			X					X	X		X	X	X	X	X												
Simetinger and Basl (2022)	X								X	X																	
Heinz vd. (2022)																	X	X									
Ting vd. (2022)																											
Chen vd. (2022)	X															X											
Safullin vd. (2022)			X		X		X	X	X														X				
Martins vd. (2023)																							X	X	X	X	X

ENDÜSTRİ 4.0'IN TARIM SEKTÖRÜNDEKİ YERİ VE UYGULAMALARI

Endüstri 4.0, tarım sektörünün daha verimli, sürdürülebilir ve rekabetçi hale gelebilmesinde yeni imkanlar sunmaktadır. Tarımda Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikleri anlamak çiftçilere ve tarım sektörüne avantajlar sağlamaktadır. Tarımın Endüstri 4.0 ile ilişkisi, sektördeki işlemlerin dijitalleşmesi ve akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşması sonucu ortaya çıkan yenilik ve verimlilik artışını içermektedir. Tarımda dijital dönüşümün geleceğinde etkin rol oynayacak dört temel teknoloji; sensörler, otomasyon ve robotik sistemler, büyük veri ve biyolojik aktörlerdir (Berger, 2019; Dayıoğlu ve Turker, 2021). Bu bölümde, Endüstri 4.0'ın tarım alanında öne çıkan uygulamalarından bazılarına yer verilmiştir.

Nesnelerin İnterneti (IoT): Fiziksel olarak tanımlanan nesnelerin birbirleriyle veya daha büyük sistemlerle insan müdahalesi olmadan internet aracılığıyla bağlantılı olduğu iletişim ağıdır. Nesnelerin interneti teknolojisi; enerji sistemleri, haberleşme, lojistik, tarım, sağlık, endüstri gibi birçok alanda kullanılır (Bıçakçı 2019; Gökrem ve Bozuklu 2016; Kirmikil ve Ertaş, 2020). Tarım arazilerine yerleştirilen sensörler aracılığıyla çiftçiler toprağın nemini, sıcaklığını ve çevresel uzaktan ölçebileceklerdir. Ek olarak, nesnelerin interneti tarım arazisine hangi tohumları ekileceğinden, gerekli gübre miktarına, değişen iklim koşullarının takip edilmesine kadar birçok konunun takip edilmesine de olanak sağlar (Ercan vd.,2019). Ayrıca, bu sensörler sayesinde makinelerin çalışma performansı da incelenebilmektedir.

Robotik Sistemler: Endüstri 4.0, tarım işlemlerinde robotların daha yaygın olarak kullanılmasına olanak tanıyacaktır. Tarımsal faaliyetlerde teknolojinin maliyetini karşılayabilmek için büyük ölçekli tarım arazileri gereklidir. Otonom biçerdöverlerin kullanılmasıyla ürünlerin saplarının daha verimli bir şekilde ayırt edilebileceği, otonom traktörler ve tarım makinelerinin kullanılmasıyla arazilerin daha hassas bir şekilde sürülerek hassas tohumlama yapılabileceği, robotlar yardımıyla en verimli noktalara ekim yapılabileceği, arazideki zararlı otlarla mücadelede iş gücü oranının düşürülebileceği ifade edilmiştir (Uzun, vd., 2018). Özellikle tekrarlı işlemlerde ve hasat süreçlerinde maliyetleri düşürerek verimliliği arttırmaya yardımcı olacaktır.

Büyük Veri: Tarımda, çiftçinin yetiştirdiği ürünler ve tarla koşulları ile ilgili davranışlarını daha iyi anlamak için büyük veriler kullanılabilir (Aydın, 2022). Yapay zekâ ve büyük veri analizi gibi teknolojilerin etkin kullanımı ile, tarla koşullarının ölçülmesi ve bu verilerin girdi ve çıktı fiyatlarıyla karşılaştırılması, çiftçilerin emeğini daha verimli kullanmalarını, girdi satın alımını optimize etmelerini ve üretim uygulamalarını iyileştirmelerini sağlamaya yardımcı olacaktır (Asare-Kyei, 2020).

Bulut Bilişim: Bulut bilişim, bilgisayar veya bilgi teknolojisi altyapısının internet üzerinden sunulduğu bir teknoloji türüdür. Bu yenilikçi yaklaşım, müşterilerin esnek taleplerini internet aracılığıyla en az çaba harcayarak veya servis sağlayıcı ile etkileşim kurarak karşılamayı amaçlar. Bulut bilişim sayesinde internet üzerinden paylaşılan kaynaklar, yazılımlar, uygulamalar ve hizmetler erişilebilir hale gelir. Bu teknoloji; toprak, hava, araştırma, mahsul ve çiftçi verileri gibi tarımla ilgili bilgilerin merkezi bir konumda depolanmasını sağlayarak veri kullanılabilirliğini artırır. Böylelikle çiftçiler; tarım uygulamaları, bitki girdileri, tarımsal yenilikler, pestisitler, tohumlar, gübreler, besin maddeleri ve yabancı ot direnci ile ilgili çeşitli uzman tavsiyelerinin de bulunduğu bilgi temelli depoları kullanabileceklerdir (Duman ve Özsoy,2019).

SONUÇ

Tarımda sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için Türkiye’de kapsamlı bir politikaya, tarımda dijitalleşmeye, Ar-Ge ve bilimsel çalışmalara ve hükümet desteğine ihtiyaç bulunmaktadır. Gelecekte en önemli üç stratejik kaynağın, gıda/tarım, temiz su ve yenilenebilir enerji olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir tarımsal kalkınmayı gerçekleştirmek için bu kaynakların daha verimli kullanılması bir zorunluluktur. Verimi arttırmak için de dijital ve akıllı teknolojilerin çiftçilerin hizmetine sunulması gerekmektedir.

Endüstri 4.0 ile birlikte tarımsal makineler ve robotlar, nesnelerin interneti, büyük veri, yapay zekâ, insansız hava araçları, insansız yer araçları ve robotik gibi teknolojiler güvenli, sürdürülebilir ve yüksek verimli gıda üretimini destekleyerek artmakta olan dünya nüfusunun ihtiyaçlarına cevap verebilecektir. Ancak, tarım robotlarının ve diğer teknolojik uygulamaların saha koşullarına tam anlamıyla uyum sağlamadığı ve çeşitli zorluklarla karşılaştığı da yadsınamaz bir gerçektir. Bu nedenle, sonraki araştırmaların, bu teknolojilerin dayanıklılığını artırmaya ve çiftçilerin ihtiyaçlarına daha uygun hale getirilmesine yardımcı olmaya yönelik olması araştırmacılara yön verecektir.

Ek olarak; devlet, üniversiteler ve özel sektör arasında iş birliği sağlanarak tarım teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için ortak projeler yürütülebilir. Başarılı tarım projelerinin örnekleri duyurulmalı ve yaygınlaştırılmalıdır. Böylelikle, diğer çiftçilerin de bu projelerden faydalanması sağlanabilir. Küçük ölçekli tarım işletmelerinin de teknolojiye yararlanabilmesi için uygun koşullar sağlanmalı ve eğitim olanakları sunularak bu işletmelerin gelişmesi desteklenmelidir. Tarım sektöründe yapılan Ar-Ge çalışmaları artırılarak yenilikçi çözümler geliştirilmelidir. Böylelikle, sektörün rekabet gücü artırılarak sürdürülebilir tarım teşvik edilmiş olacaktır.

Bu çalışmada literatürde çeşitli sektörler için önerilen dijital dönüşüm ve dijital olgunluk modelleri incelenerek tarım sektöründe dijital dönüşümün değerlendirilmesi sürecinde göz önünde bulundurulması gereken önemli ana kriterler belirlenmiştir. Gelecek çalışmalar için bu çalışmanın sonucunda elde edilen kriter setinin tarım sektörüne uygun olarak genişletilmesi ve bütüncül bir karar verme mekanizması ile bu kriterlerin önceliklendirilerek tarımda dijital dönüşüm için bir yol haritası çıkarılması amaçlanmaktadır. Sonuç olarak, öncelikle Türkiye'nin bir tarım ülkesi olduğu unutulmamalıdır. Endüstri 4.0'ın tarım sektöründeki uygulamaları, sektörü daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir bir geleceğe taşıma potansiyeli taşımaktadır. Ancak, bu teknolojilerin başarılı bir şekilde tarıma entegre edilebilmesi için daha fazla Ar-Ge çalışması, sektöre yönelik çözümler ve çiftçilerin ihtiyaçlarına odaklanan inovasyonlar gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Abdalla, Z. F., & El-Ramady, H. (2022). Applications and Challenges of Smart Farming for Developing Sustainable Agriculture. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 81-90.

Alekseeva, S., Volkova, G., Sukhanova, O., & Fudina, E. (2021). Digital transformation of agricultural industrial complex in the implementation of its development strategy. *Series Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development*, 21(2), 19-25.

Alem, S., Toprak, B., Tolga, B., & Tolga, A. Ç. (2023, August). Level of Automation Assessment for Controlled-Environment Hydroponic Agriculture via Fuzzy MCDM Method. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 45-52). Cham: Springer Nature Switzerland.

Ataman, A.C. (2018), Savunma Sanayinde Endüstri 4.0 Olgunluk Parametrelerinin Tereddütlü Bulanık AHP Yöntemi İle Önceliklendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aydın, N. (2022). Tarım Sektöründe Bilgi Teknolojileri. *Balkan & Near Eastern Journal of Social Sciences (BNEJSS)*, 8.

Asare-Kyei, D (n.d.). Big Data: The Future Of Sustainable Agriculture In Ghana. Erişim tarihi: 9 Ekim, 2022, <https://esoko.com/big-data-sustainable-agriculture/>

Baki, B , Serdar, D . (2020). Sanayi 4.0 olgunluk düzeyinin değerlendirilmesine yönelik çok kriterli bir yaklaşım: lojistik sektörü uygulaması. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 38 (4) , 655-693 . doi: 10.17065/huniibf.693578.

Baltacı, İ. (2020). Lojistik sektöründe dijital olgunluk seviyesinin ölçülmesi ve bir uygulama”Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bıçakçı, S.N. 2019. Nesnelerin İnterneti, *Takvim-i Vekayi*, 24-36, ISSN: 2148-0087.

Bibby, L., B. Dehe (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector”, *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.

Borštnar, M. K., & Pucihar, A. (2021). Multi-attribute assessment of digital maturity of SMEs. *Electronics*, 10(8), 885.

Büyüközkan, G., Güler, M. (2020). Analysis of companies’ digital maturity by hesitant fuzzy linguistic MCDM methods. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 38(1), 1119-1132.

Büyük, A. M., Ateş, G., Burghli, S., Yılmaz, D., Temur, G. T., & Sivri, Ç. (2021). Digital Maturity Assessment Model for Smart Agriculture. In *Digital Conversion on the Way to Industry 4.0: Selected Papers from ISPR2020, September 24-26, 2020 Online-Turkey* (pp. 289-301). Springer International Publishing.

Chen, Q., Zhang, W., Jin, N., Wang, X., & Dai, P. (2022). Digital Transformation Evaluation for Small-and Medium-Sized Manufacturing Enterprises Using the Fuzzy Synthetic Method DEMATEL-ANP. *Sustainability*, 14(20), 13038.

De Carolis, A., Macchi, M., Negri, E., Terzi, S. (2017). Guiding Manufacturing Companies Towards Digitalization: A Methodology for Supporting Manufacturing Companies in Defining Their Digitalization Roadmap. *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, IEEE, 487-495.

Dayıoğlu, M. A., & Turker, U. (2021). Digital transformation for sustainable future-agriculture 4.0: a review. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(4), 373-399.

Duman, B., & Özsoy, K. Endüstri 4.0 Perspektifinde Akıllı Tarım. 4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Dığital Industry.

Eke, E. (2018). Lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmaların endüstri 4.0 olgunluk seviyesinin ölçülmesi (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Ercan Ş., Öztep, R., Güler, D., Saner G. 2019. Tarım 4.0 ve Türkiye'de Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 2019, 25:2,259-265.

Etkeser, S , Apilioğulları, L . (2021). Designating Industry 4.0 Maturity Items and Weights for Small and Medium Enterprises . *Bilişim Teknolojileri Dergisi* , 14 (1) , 79-86 . DOI: 10.17671/gazibtd.733460.

Gökrem, L., Bozuklu, M. 2016. Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 13, 47 -68.

Heinz, D., Benz, C., Silbernagel, R., Molins, B., Satzger, G., & Lanza, G. (2022). A Maturity Model for Smart Product-Service Systems. *Procedia CIRP*, 107, 113-118.

Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M. A., Abdullah, N. L. (2020). Industry 4.0 readiness models: a systematic literature review of model dimensions. *Information*, 11(7), 364.

Hrustek, L. (2020). Sustainability driven by agriculture through Digital transformation. *Sustainability*, 12(20), 8596.

Kaya, İ., Erdoğan, M., Karaşan, A., Özkan, B. (2020). Creating a road map for industry 4.0 by using an integrated fuzzy multicriteria decision-making methodology. *Soft Computing*, 24(23), 17931-17956.

Kayar, A. (2019). İmalat sektöründeki işletmelerde endüstri 4.0'a geçiş için dijital olgunluk seviyesinin belirlenmesi: Yeni bir model önerisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Keskin, F.D., İ. Kabasakal, Y. Kaymaz, H. Soyuer (2019). An Assessment Model for Organizational Adoption of Industry 4.0 Based on Multi-criteria Decision Techniques", *The International Symposium for Production Research*, 85–100.

Kıyıklık, A., Kuşakcı, A. O., Mbowe, B. (2022). A digital transformation maturity model for the airline industry with a self-assessment tool. *Decision Analytics Journal*, 100055.

Kirmikil, M., & Ertaş, B. (2020). Tarım 4.0 ile Sürdürülebilir Bir Gelecek. *Icontech International Journal*, 4(1), 1-12.

- Klötzer, C., A. Pflaum (2017), Toward the Development of a Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry's Supply Chain, Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 50, 4210-4219.
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322-4334.
- Martins, F. S., Fornari Junior, J. C. F., Mazieri, M. R., & Gaspar, M. A. (2023). A fuzzy AHP analysis of potential criteria for initiatives in digital transformation for agribusiness. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, 24.
- Mendes, J. A. J., Carvalho, N. G. P., Mourarias, M. N., Careta, C. B., Zuin, V. G., & Gerolamo, M. C. (2022). Dimensions of digital transformation in the context of modern agriculture. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 613-637.
- Nemchenko, A. V., Dugina, T. A., Likholetov, E. A., Shaldokhina, S. Y., & Likholetov, A. A. (2020). Digital Transformation of Agricultural Production: Regional Aspect. In *Iv International Scientific And Practical Conference Modern S&T Equipments And Problems in Agriculture*, 158-168.
- Safiullin, N. A., Kurakova, C. M., Valeeva, G. A., & Yachina, L. T. (2022). Evaluation of digital maturity for agricultural organizations based on DMPTSC analysis. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 52, p. 00020). EDP Sciences.
- Schumacher, A., S. Erol, W. Sihn (2016), A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Prodecia CIRP*, 52, 161-166. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- Shamshiri, R. R., Weltzien, C., Hameed, I. A., Yule, I. J., Grift, T. E., Balasundram, S. K., Pitonakova, L., Ahmad, D., & Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *Int J Agric & Biol Eng*, 11(4), 1–14.
- Simetinger, F., & Basl, J. (2022). A pilot study: An assessment of manufacturing SMEs using a new Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing Small-and Middle-sized Enterprises (I4MMSME). *Procedia Computer Science*, 200, 1068-1077.
- Şahin, H. (2022). Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2), 68-83.
- Ting, C. Y., Kuen, C. M., Chung-Min, W., & Yu, W. H. (2022). Assessing the Digital Transformation Maturity of Motherboard Industry: A Fuzzy AHP Approach. *BOHR International Journal of Finance and Market Research*, 1(1), 68–8.
- Tupa J., Simota J., Steiner F., (2017). Aspects of risk management implementation for Industry 4.0, 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy, *Procedia Manufacturing* 11 (2017) 1223 – 1230.

Uzun, Y., Bilban, M.ve Arıkan, H.,2018. Tarım ve Kırsal Kalkınmada Yapay Zeka Kullanımı, VI. Uluslararası KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, 26-27 Ekim, Konya.

Von Leipzig, T., Gamp, M., Manz, D., Schöttle, K., Ohlhausen, P., Oosthuizen, G., von Leipzig, K. (2017). Initialising customer-orientated digital transformation in enterprises. *Procedia Manufacturing*, 8, 517-524.

Wagire, A. A., Joshi, R., Rathore, A. P. S., Jain, R. (2021). Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. *Production Planning & Control*, 32(8), 603-622.

Wibowo, A., Taufik, J. (2017). Developing a self-assessment model of risk management maturity for client organizations of public construction projects: Indonesian context.

Zhang, A., Hobman, E., Smith D. and Guan, X. (2019). A Digital Maturity Index and Assessment Tool for the Agricultural Industry. Retrieved from <https://www.crdc.com.au/sites/default/files/Digital%20Maturity%20%20index%20and%20assessment%20tool.pdf>