

Tarih ve Teknoloji Kesişiminde Tarım: Antik Çağdan Yapay Zekâ Destekli Geleceğe

Agriculture at the Intersection of History and Technology: From Antiquity to the AI-Enabled Future

Doç. Dr. Yusuf Kemal Öztürk

Amasya Üniversitesi, İ.İ.B.F. Öğretim Üyesi, ykozuturk@amasya.edu.tr, Amasya/Türkiye

ORCID: 0000-0001-8918-0500

Bilgin Çelik

Tarımsal Teknoloji ve Teknoloji ve İnovasyon Uzmanı, clkbilgin@gmail.com, Sivas/Türkiye

ORCID: 0000-0001-8072-2190

ÖZET

Tarım, insanlığın varoluşundan itibaren hayatta kalma mücadelesinin temelini oluşturmuş ve ekonomik kalkınma, istihdam yaratma ve sürdürülebilir bir dünya için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Tarımın tarihsel gelişimi, mekanizasyonun üç ana evresini kapsamaktadır: ilkel el aletlerinin kullanımı, hayvan gücünün entegrasyonu ve endüstri devrimiyle mekanik teknolojilerin benimsenmesi. Bu süreç, insanlığın sosyal ve ekonomik yapılarının dönüşümünü şekillendirmiştir. İkinci tarım devriminde saban gibi araçların icadı, üretkenliği artırmış; buhar gücünün kullanımı ve içten yanmalı motorların yaygınlaşması ise tarımsal üretimde köklü değişimlere neden olmuştur. Günümüzde, Tarım 4.0 olarak adlandırılan dijital dönüşüm, tarımsal üretimi optimize etmekte ve çevresel sürdürülebilirlik için yenilikçi çözümler sunmaktadır. IoT, yapay zekâ ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler, tarım süreçlerinde su ve enerji tasarrufu sağlarken, gıda güvenliği ve izlenebilirliği artırmaktadır. Ayrıca, bu yenilikler, yoksulluğun azaltılması ve iklim değişikliğine uyum sağlanması gibi küresel hedeflere katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, tarımın tarihsel süreçten modern inovasyonlara kadar geniş bir yelpazede geçirdiği dönüşümleri ele alarak, sürdürülebilir tarım uygulamaları için bilimsel ve pratik öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tarım 4.0, Tarımsal Mekanizasyon, Dijital Tarım, Neolitik Devrim, Tarımsal İnovasyon.

ABSTRACT

Agriculture has been a cornerstone of human civilization, evolving to meet the changing needs and challenges of societies. Beyond fulfilling basic nutritional demands, it has played a critical role in driving economic growth, creating employment opportunities, and promoting environmental sustainability. The historical progression of agriculture can be delineated into three major phases of mechanization: the initial reliance on hand tools, the integration of animal-powered technologies, and the mechanization brought about by the Industrial Revolution. Key agricultural innovations throughout history have shaped human survival and societal advancement. Hand tools facilitated early hunting efficiency and the transition to settled life, marking the first agricultural revolution. The second revolution introduced animal-powered tools like the plow, enhancing productivity and fostering the development of structured communities. The Industrial Revolution further transformed agriculture with steam engines and internal combustion technologies, revolutionizing productivity and economic systems globally. In the modern era, digital technologies, including the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and big data analytics, are driving Agriculture 4.0. These innovations enhance productivity, optimize resource utilization, and minimize environmental impacts, contributing to global food security and poverty reduction. This study explores the historical evolution of agriculture, emphasizing how emerging technologies continue to reshape agricultural practices and offering sustainable solutions to address the dynamic challenges of the 21st century.

Keywords: Agriculture 4.0, Mechanization, Digital Agriculture, Neolithic Revolution, Agricultural Innovation.

1. GİRİŞ

Tarım, insanlık tarihinin başlangıcından itibaren hayatta kalma mücadelesinin merkezinde yer almış ve değişen ihtiyaçlara yanıt olarak sürekli evrilmiştir. Tarım, yalnızca temel besin gereksinimlerini karşılamakla kalmamış; ekonomik kalkınma, istihdam yaratma ve sürdürülebilir bir dünya için vazgeçilmez bir rol üstlenmiştir (Mazoyer & Roudart, 2006). Bu süreçte tarımsal mekanizasyon, iş gücünü azaltarak verimliliği artırmış; inovasyon ise su kullanımı, enerji tasarrufu ve ürün yönetimi gibi alanlarda insanlık için yeni fırsatlar yaratmıştır (Pretty, 2008).

Bu çalışma, tarımsal mekanizasyonun tarihsel gelişimini ve inovasyon süreçlerini ele alarak tarım teknolojilerinin insanlık üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel hedefleri:

- Tarımın tarihsel süreçte geçirdiği mekanizasyon evrelerini analiz etmek.
- Tarımsal inovasyonların ekonomik ve sosyal etkilerini değerlendirmek.
- Günümüzün ileri teknolojileri olan Tarım 4.0 uygulamalarının gelecekteki potansiyelini tartışmak.

Araştırma, tarımsal mekanizasyonun evrimini geniş bir perspektifle ele alırken, modern teknolojilerin gelecekteki etkilerini de bilimsel bir çerçevede incelemektedir. Bu bağlamda, çalışmanın literatüre katkısı, tarımda mekanizasyonun dönüşümünü anlamak ve bu dönüşümün gelecekteki etkilerini stratejik bir çerçeveye oturtmaktır.

Tarım tarihine baktığımızda, mekanizasyonun üç temel evreden geçtiğini görmekteyiz:

1. El Aletleri Teknolojisi: İnsanlık tarihinin ilk aşamalarında, taş ve kemikten yapılan el aletleri, tarımda üretkenliğin temellerini atmıştır. Bu aletler, insanlara hayatta kalma mücadelesinde avantaj sağlayarak yerleşik hayata geçişi hızlandırmıştır (Mazoyer & Roudart, 2006).

2. Hayvan Gücüne Dayalı Teknoloji: Sabanın öküz gücüyle kullanılması, tarımda üretkenliği artırmış ve ikinci tarım devriminin başlangıcını simgelemiştir. Bu dönemde demirden yapılan tarım aletleri, toprağın daha verimli işlenmesini sağlamıştır (Pretty, 2008).

3. Mekanik ve Dijital Teknoloji: Endüstri devrimi, buhar gücünün tarımda kullanımını başlatarak büyük bir dönüşüm yaratmıştır. Ardından içten yanmalı motorların ve traktörlerin yaygınlaşmasıyla tarım mekanizasyonu derinleşmiştir. Günümüzde ise yapay zekâ, IoT cihazları ve robot teknolojileri gibi yenilikler, tarımı daha verimli ve sürdürülebilir bir hale getirmiştir (Wolfert et al., 2017).

Bu gelişmelerin başlangıç noktası, Bereketli Hilal olarak bilinen Mezopotamya, Nil Deltası ve Levant bölgelerinde, buğday ve arpa gibi tahılların evcilleştirildiği dönemlere kadar uzanmaktadır. Bu bölge, insanlık tarihinde yerleşik hayata geçişin ve tarımın başlangıç noktasıdır (Diamond, 1997).

Bu bağlamda, çalışmamız, tarım teknolojilerinin tarihsel evriminden modern inovasyonlara kadar geniş bir yelpazeyi inceleyerek, insanlığın bu en eski ve en vazgeçilmez faaliyetindeki dönüşümleri anlamayı amaçlamaktadır.

2. TARIMIN TARİHSEL GELİŞİMİ

2.1. Antik Çağ: İnsan Gücünün Yükselişi (M.Ö. 13500- M.S. 700)

Antik Çağ'da tarım, insan gücüne dayalı olarak gelişmiş ve yerleşik hayata geçişin temel taşı oluşturmuştur. Mezopotamya'dan Nil Nehri'ne kadar uzanan Bereketli Hilal, buğday ve arpa gibi temel tahılların evcilleştirildiği ilk bölge olarak kabul edilir. Bu bölgede gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler, insanlığın hayatta kalma mücadelesine ve toplumsal örgütlenmeye katkı sağlamıştır (Mazoyer & Roudart, 2006).

MÖ 7000'de Hindistan'da tahıl ve buğday üretiminin yaygınlaşması, tarımın Asya kıtasına taşınmasında önemli bir adım olmuştur. MÖ 5000'de Mısır'da Nil Nehri'nin taşkınlarına dayalı sulama sistemleri, tarımsal verimliliği artırarak bu bölgedeki nüfus yoğunluğunu desteklemiştir (Pretty, 2008). Aynı dönemde Sümer uygarlığında tarım ve hayvancılık birlikte gelişmiş; bölgede bulunan evcilleştirilmiş hayvan kalıntıları ve sulama sistemleri, bu gelişimi destekleyen arkeolojik kanıtlar arasında yer almaktadır (Godfray & Garnett, 2014).

Antik Roma'da MÖ 900'lerde tahıl ticareti gelişmiş ve tarım, ekonomik faaliyetlerin merkezine oturmuştur. Zeytin, üzüm ve pamuk gibi yüksek değerli ürünlerin üretimi, hem ekonomik

hem de kültürel zenginliği artırmıştır. Aynı dönemde Antik Yunanistan'da ise toprak kıtlığına rağmen zeytin ve pamuk gibi stratejik ürünlerin yetiştirilmesi dikkat çekmektedir (Wolfert et al., 2017).

Bu tarımsal yenilikler ve organizasyonlar, sadece üretim yöntemlerini değil, aynı zamanda toplumsal yapıları ve ekonomik ilişkileri de dönüştürmüştür; tarımın, insanlık tarihindeki merkezi rolünü güçlendirmiştir (Diamond, 1997).

2.2. Orta Çağ: Toprak Gücünün Etkisi (700-1800)

Orta Çağ'da, geniş topraklara sahip olma arzusu ve büyüyen nüfus, tarımın gelişiminde itici güç olmuştur. Bu dönemde tarımsal yenilikler, sadece yerel ekonomiler üzerinde değil, aynı zamanda toplumsal ve kültürel yapılar üzerinde de uzun süreli etkiler bırakmıştır (Mazoyer & Roudart, 2006).

İslam dünyasında tarımsal çeşitlilik artmış; enginar, pamuk, turuncgiller, şeker pancarı, kayısı ve safran gibi ürünlerin üretimi yaygınlaşmıştır. Bu ürünler, hem yerel tüketimi karşılamış hem de ticaret yollarının genişlemesine katkı sağlamıştır (Godfray & Garnett, 2014). Su değirmeni gibi teknolojik yenilikler, sulama sistemlerinin verimliliğini artırarak tarımsal üretimde bir devrim yaratmıştır. Bu sistemler, hidrolik enerjiyi kullanarak kuraklık sorunlarının aşılmasını mümkün kılmıştır (Wolfert et al., 2017).

Emevi Devleti'nin Avrupa'ya doğru genişlemesiyle, incir, badem, pamuk, limon ve portakal gibi yüksek değerli tarımsal ürünlerin üretimi artmış; bu ürünler, İslam dünyası ile Avrupa arasında ticaret ağlarının oluşumuna öncülük etmiştir (Lobell et al., 2011). Aynı dönemde Çin'de geliştirilen metal uçlu çift tutacaklı saban, tarımsal üretimde önemli bir yenilik olarak verimliliği artırmıştır (Diamond, 1997).

350-800 yılları arasında, küresel ölçekte yaşanan kuraklık ve kıtlık, tarım alanlarının yetersiz kalmasına neden olmuş ve büyük kavimler göçünü tetiklemiştir. Orta Asyalı topluluklar, ormanlık ve bataklık alanları ıslah ederek yeni tarım arazileri oluşturmuş ve bu alanlarda tahıl üretimi yapmışlardır. Bu dönemde, topraklar bir yıl tahıl ekimi, bir yıl nadasa bırakılacak şekilde kullanılmıştır (Pretty, 2008).

Avrupa'da, 9. yüzyılda yulaf, arpa ve çavdar gibi ürünlerin tarımı yaygınlaşmış; ancak düşük verimli üretim, hasat sırasında yaşanan kayıplara neden olmuştur. Topraklardan daha fazla verim almak için güz ekimi ve bahar ekimi yöntemleri geliştirilmiştir (Mazoyer & Roudart, 2006).

14.yüzyılda Avrupa, tarımsal üretim üzerinde yıkıcı etkileri olan çeşitli krizlerle karşılaşmıştır. Kara veba salgını, yaklaşık 75-200 milyon insanın ölümüne yol açarak tarımsal iş gücünü ciddi şekilde azaltmıştır. Aynı dönemde, Yüzyıl Savaşları ve Moğol istilaları, tarım alanlarının işlenmesini engellemiş ve büyük kıtlıklar yaratmıştır (Tübitak, 2021).

Bu krizler, ticari ekim uygulamalarının yaygınlaşmasını teşvik etmiştir. Toprakların para karşılığında ekilip biçilmesi, üretilen mahsullerin büyük kentlerde kurulan pazarlarda satılmasına olanak tanımıştır. Böylece kırsaldan kente göç hızlanmış ve şehirlerin büyümesi için önemli bir zemin hazırlanmıştır (Wolfert et al., 2017).

2.3. Yakın Çağ: Tarımsal Mekanizasyonun Gücü (1800-2000)

Yakın Çağ, kırsaldan şehirlere yoğun göçlerin yaşandığı, sanayileşmenin tarımsal faaliyetleri köklü bir şekilde dönüştürdüğü bir dönemdir. Köylü sınıfının sanayi iş gücüne dönüşmesi, kırsal bölgelerde insan gücünün azalmasına ve tarımsal üretim süreçlerinin yeniden şekillenmesine neden olmuştur (Mazoyer & Roudart, 2006).

Bu dönemde dökme demirden yapılan saban ve tırmık gibi aletlerin kullanımı yaygınlaşmış; buharlı makinelerin tarıma entegrasyonu, tarımsal mekanizasyonun ilk adımlarını oluşturmuştur. İngiltere'nin geliştirdiği "4'lü Ekim Modeli" bu süreçte dikkat çekmiştir. Bu modelde buğday, üçgül, arpa ve şalgam ekimiyle toprak nadasa bırakılmadan kullanılmış; aynı zamanda hayvansal gübre

verimliliği artırılarak hayvan besleme ve sürülerin genetik kalitesinin korunması sağlanmıştır (Pretty, 2008).

İngiltere'nin tarımsal dönüşüm hamleleri, aynı zamanda iş gücü eksikliğini hafifletmiş ve kırsal ekonominin modernizasyonuna katkıda bulunmuştur (Allen, 1999).

Alman kimyacı Justus von Liebig'in bitkilerin potasyum, fosfor ve azot gibi besin maddelerine ihtiyaç duyduğunu keşfetmesi, yapay gübrelerin geliştirilmesine olanak tanımış; Lowes ve Gilbert'in fosfatlı kayalardan sentetik gübre üretmesi, tarımsal verimliliğin artırılmasında çığır açmıştır (Godfray & Garnett, 2014).

Kumlu ve verimsiz toprakların kil ve tebeşirle ıslah edilmesi ve İngiltere'de bataklıkların akaçlama borularıyla kurutulması, kullanılabilir tarım arazilerini artırmış ve ekonomik fırsatlar yaratmıştır (Lobell et al., 2011).

Fransa ve Almanya'da tarımda uygulanan arazi iyileştirme projeleri, sadece verimliliği değil, aynı zamanda iş gücü tasarrufunu artırmıştır (Bairoch, 1989).

I. Dünya Savaşı ve Sonuçları (1914-1918);

I. Dünya Savaşı sırasında, Avrupa genelinde tarımsal iş gücünde büyük kayıplar yaşanmış; bu durum, gıda üretiminde azalmaya ve kıtlık sorunlarına yol açmıştır. ABD, bu dönemde tahıl, süt ürünleri ve tuzlu et ticaretini geliştirerek Avrupa pazarına hâkim olmuş, İngiltere ise mandıra sistemlerini geliştirerek süt üretiminde rekabet avantajı elde etmiştir. Bu dönemde genetik iyileştirme çalışmaları hız kazanmış ancak ürün kalitesinde düşüşler yaşanmıştır (Wolfert et al., 2017).

ABD'nin savaş dönemi tarımsal üretim başarıları, yeni sulama ve saklama teknikleriyle desteklenmiş ve bu teknolojiler sonraki yıllarda Avrupa tarafından benimsenmiştir (Olmstead & Rhode, 2008).

Türkiye'de Tarımsal Mekanizasyonun İlk Adımları;

1924 yılında Türkiye, Almanya ve Avusturya'dan traktör, pulluk ve harman makineleri ithal ederek tarımsal mekanizasyon sürecini başlatmıştır. Bu makineler, Ankara ve Konya'daki çiftliklere dağıtılmış; İstanbul Halkalı Ziraat Mektebi'nden gelen öğrenciler, makinelerin kullanımını ve bakımını öğrenmiştir. 1929 yılına gelindiğinde, Türkiye'de traktör sayısı 221'e ulaşmıştır (Yurtoğlu, 2017).

Buhar gücünün içten yanmalı motorlara dönüşmesiyle traktörler, modern tarımın vazgeçilmez unsuru haline gelmiş; mekanik tarım aletlerinin kullanımı, üretim hızını ve ürün çeşitliliğini artırmıştır (Mazoyer & Roudart, 2006).

II. Dünya Savaşı ve Tarımsal Dönüşüm (1936-1939);

II. Dünya Savaşı'nın başlaması, tarımsal üretimi olumsuz yönde etkilemiş; çiftçilerin askere alınması ve tarım arazilerinin işlenememesi kıtlık ve gıda çeşitliliğinde azalma sorunlarını beraberinde getirmiştir. 1939'da DDT'nin keşfiyle tarımsal zararlılar kontrol altına alınmış; ancak bu kimyasalın sağlık üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle 86 ülkede yasaklanmıştır. Günümüzde, değiştirilmiş formülleri sınırlı alanlarda kullanılmaktadır (Tübitak, 2021).

Marshall Yardımları ve Yeşil Devrim (1949-1952);

Marshall Planı çerçevesinde yapılan yardımlar, Türkiye'de traktör sayısının 11.729'dan 31.413'e çıkmasını sağlamıştır. Yeşil Devrim olarak bilinen bu dönemde, traktörlerin yanı sıra sentetik gübreler ve pestisitler tarımsal üretimin modernleşmesinde kritik bir rol oynamıştır. Bu yenilikler, coğrafi çeşitlilik içinde tarım alanlarının genişlemesine olanak tanımış ve verimliliği artırmıştır (Sabancı, 1990).

2.4. Tarım'da Akıllı Çağın Yükselişi (2000-Günümüz)

21.yüzyıl, tarım sektörünün dijitalleşme ve teknolojik dönüşüm süreciyle yeniden şekillendiği bir dönem olmuştur. Bu dönemde geliştirilen Tarım 4.0 kavramı, Endüstri 4.0 devriminden esinlenerek tarımda dijital teknolojilerin kapsamlı bir şekilde uygulanmasını ifade etmektedir. Tarım 4.0, yalnızca tarımsal üretkenliği artırmakla kalmamış, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamıştır (Basso & Antle, 2020).

Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ (AI) ve otonom sistemler gibi yenilikler, tarımsal süreçlerin daha hassas bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanımıştır. Örneğin, hassas tarım teknolojileriyle geliştirilen sensörler, toprak nemi, sıcaklık, bitki sağlığı ve iklim koşullarını gerçek zamanlı olarak izleyerek çiftçilere daha bilinçli kararlar alma imkânı sunmaktadır (Tzounis et al., 2017).

Robotik teknolojiler ve otonom traktörler, tarımsal üretim süreçlerinde iş gücü ihtiyacını azaltmış, aynı zamanda üretim maliyetlerini düşürerek tarımsal verimliliği artırmıştır. Büyük veri analitiği, makine öğrenimi ve blokzincir teknolojileri ise tedarik zincirlerini optimize ederek gıda güvenliği ve izlenebilirliğin sağlanmasında kritik bir rol oynamıştır (Rose et al., 2021).

Dijitalleşmenin bu etkileri, yalnızca ekonomik fayda sağlamakla kalmamış, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli katkılar sunmuştur. Avrupa Birliği tarafından yürütülen akıllı tarım projeleri, su ve enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra, tarımsal üretimde %15 ila %20 oranında verimlilik artışıyla dikkat çekmiştir (Finger et al., 2019). Benzer şekilde, ABD'de akıllı sulama sistemleri ve otomatik gübreleme uygulamaları, tarımsal girdilerin %30'a varan oranlarda azaltılmasını sağlamış ve çevre dostu tarım yöntemlerini teşvik etmiştir (Zhang et al., 2020).

Tarım 4.0'ın sağladığı bu yenilikler, dünya nüfusunun hızla artmasıyla beraber gıda üretiminde karşılaşılan zorlukların çözümüne yönelik kapsamlı çözümler sunmaktadır. Gelecekte, tarım sektörünün sürdürülebilirlik, verimlilik ve dijitalleşme odaklı bu dönüşümünün, küresel gıda güvenliğini sağlamada merkezi bir rol oynaması beklenmektedir (Wolfert et al., 2017).

3. ENDÜSTRİ 4.0'DA TARIMIN BİLEŞENLERİ

Tarım 4.0, Endüstri 4.0'ın tarımsal süreçlere uyarlanmasını ifade eder. Bu dönüşüm, dijitalleşmenin tarımsal faaliyetlere entegre edilmesiyle, üretkenliği ve sürdürülebilirliği artırmayı hedefler. Dijital teknolojiler ve otomasyon sistemleri, tarım sektörünü daha verimli ve hassas hale getiren bir devrim yaratmıştır (Rose et al., 2021).

Tarım 4.0'ın temel bileşenleri, dijital tarım ve akıllı-hassas tarım uygulamalarıdır. Bu iki bileşen, tarımsal üretimde akıllı gücün temelini oluşturarak daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmaktadır.

Dijital tarım, tarımsal süreçlerde veri toplama, analiz ve optimizasyonu sağlayan teknolojilerin entegrasyonunu içerir. Bu teknolojiler, modern tarımın temelini oluşturur ve çiftçilere bilgiye dayalı kararlar alabilme imkânı sunar.

Öne çıkan araçlar ve teknolojiler:

- Nesnelerin İnterneti (IoT): Toprak nemi, sıcaklık ve hava durumu gibi parametreleri gerçek zamanlı olarak izler (Tzounis et al., 2017).
- Drone Teknolojileri: Ekim, sulama ve görüntüleme süreçlerinde kullanılarak verimliliği artırır (Finger et al., 2019).
- GPS ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS): Tarımsal faaliyetlerin hassasiyetini artırmak için kullanılır.

- Robotik Sistemler ve Otomasyon: İş gücüne bağımlılığı azaltarak üretim süreçlerini hızlandırır.
- Büyük Veri Analitiği ve Bulut Teknolojisi: Toplanan verilerin analiz edilmesiyle tarımsal verimliliği artırır (Wolfert et al., 2017).

Akıllı-hassas tarım, dijital tarım tarafından sağlanan verilerden yararlanarak tarımsal süreçlerin optimizasyonunu sağlar. Bu yaklaşım, üretim maliyetlerini azaltırken çevresel etkileri minimize etmeyi hedefler.

Ana odak alanları:

- Sürdürülebilir Tarım: Doğal kaynakların etkin kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlik (Pretty, 2008).
- Gıda Güvenliği: Ürünlerin izlenebilirliğini artıran teknolojiler.
- İklim Değişikliği ile Mücadele: Karbon ayak izini azaltan yenilikçi yöntemler.
- Hayvan Refahı ve Standartları: Hayvancılık süreçlerinde daha iyi koşulların sağlanması.
- Toprak ve Su Yönetimi: Verimlilik için kaynakların etkin kullanımı.

Bu bileşenler, tarımda hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağlamakta ve dünya nüfusunun artan gıda taleplerine yanıt vermektedir.

3.1. Dijital Tarım “Veri Toplama” ve Veri Temelli Dönüşüm

Tarım 4.0, dijitalleşmenin ve otomasyon sistemlerinin tarımsal süreçlere entegre edilmesini ifade eder. Bu yaklaşım, üretkenliği artırırken çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için modern teknolojilerin kullanılmasını hedefler. Tarım 4.0’ın ortaya çıkışı, Endüstri 4.0’ın teknolojik kazanımlarının tarıma uygulanmasıyla gerçekleşmiştir ve bu dönüşüm, tarım sektöründe devrim niteliğinde bir değişim yaratmıştır (Rose et al., 2021).

Bu yeni tarım paradigmasının temel bileşenleri arasında dijital tarım ve akıllı-hassas tarım uygulamaları yer alır. Her iki yaklaşım da tarımsal üretimi daha verimli, sürdürülebilir ve ekonomik hale getirmeyi amaçlar.

Dijital tarım, tarımsal süreçlerde veri toplama, analiz etme ve bu analizlere dayalı karar alma süreçlerini destekleyen teknolojiler bütünüdür. Bu sistemler, tarımsal üretimde etkinlik sağlamak ve çiftçilerin daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir (Klerkx et al., 2019).

Dijital Tarımda Kullanılan Başlıca Teknolojiler:

- Nesnelerin İnterneti (IoT): Gerçek zamanlı veri toplayarak, toprak nemi, hava durumu ve bitki sağlığı gibi tarımsal parametrelerin izlenmesini sağlar (Tzounis et al., 2017).
- Drone Teknolojileri: Ekim, sulama ve görüntüleme süreçlerini optimize ederek tarımsal verimliliği artırır (Finger et al., 2019).
- Büyük Veri ve Bulut Teknolojileri: Toplanan verilerin güvenli bir şekilde saklanması ve analiz edilmesini sağlayarak tarımda stratejik kararların alınmasına katkıda bulunur (Wolfert et al., 2017).
- Robotik Sistemler ve Otomasyon: Sulama, gübreleme ve hasat gibi süreçlerin otomasyonunu sağlayarak üretim maliyetlerini düşürür (Basso & Antle, 2020).
- Uydu Tabanlı Görüntüleme ve GPS Sistemleri: Tarımsal faaliyetlerin mekânsal doğrulukla gerçekleştirilmesine olanak tanır (Zhang et al., 2020).

Bu teknolojiler, yalnızca tarımsal süreçleri optimize etmekle kalmamış, aynı zamanda gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik için yenilikçi çözümler sunmuştur.

3.2. Akıllı-Hassas Tarım Uygulamaları

Akıllı-hassas tarım, dijital tarımın sağladığı verileri kullanarak tarımsal süreçleri daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmeyi hedefler. Bu yaklaşım, doğal kaynakların korunmasını sağlarken üretim maliyetlerini azaltmayı ve çevresel etkileri minimize etmeyi amaçlar (Pretty, 2008).

Akıllı-Hassas Tarımın Başlıca Odak Alanları:

- Sürdürülebilir Tarım: Doğal kaynakların etkin kullanımı ve çevresel etkilerin azaltılması hedeflenir (Finger et al., 2019).
- Gıda Güvenliği: Dijital teknolojiler sayesinde gıda üretiminin her aşamasında izlenebilirlik ve kalite standartları artırılır (Klerkx et al., 2019).
- İklim Değişikliği ile Mücadele: Karbon ayak izini azaltan yöntemler ve hassas gübreleme sistemleri, tarımsal faaliyetlerin çevresel etkilerini düşürmektedir (Basso & Antle, 2020).
- Toprak ve Su Yönetimi: Kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayarak tarımsal üretimi artırır.
- Hayvan Refahı ve Standartları: Hayvancılık süreçlerinde daha iyi koşulların sağlanması hedeflenir (Tzounis et al., 2017).

Bu teknolojilerin uygulanmasıyla, tarım sektörü yalnızca üretim süreçlerinde verimlilik sağlamakla kalmamış, aynı zamanda çevresel ve ekonomik faydalar elde etmiştir.

Dijital tarım ve akıllı-hassas tarım uygulamaları, tarımsal üretimde verimlilik ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için stratejik bir araç haline gelmiştir. Bu teknolojiler, dünya nüfusunun artan gıda talebini karşılamanın yanı sıra, çevresel etkileri en aza indirerek tarım sektörünün geleceğine yön vermektedir.

4. İNOVASYON

İnovasyon, Latince *innovatus* kelimesinden türeyen bir kavram olup, "toplumsal, kültürel ve idari sistemlerde yeni yöntemlerin uygulanması" anlamına gelir (Godin, 2015). Bu kavram, yeniliği sadece yeni bir ürün veya sürecin ortaya çıkışı olarak değil, aynı zamanda bu yeniliklerin toplumsal sistemler tarafından benimsenmesi ve yayılması olarak da ele alır (Rogers, 2003).

21.yüzyılda, dijitalleşme ve küresel entegrasyon süreçleriyle birlikte inovasyon, toplumlar ve ekonomiler arasındaki sınırları bulanıklaştırmış, daha hızlı benimsenen ve daha geniş çapta etkiler yaratan bir fenomen haline gelmiştir (Kılıç,2013). İnovasyon, tarımdan sanayiye, sağlık hizmetlerinden enerjiye kadar birçok sektörde sürdürülebilir büyüme, verimlilik artışı ve rekabet gücünü destekleyen bir araç olarak kritik önem taşımaktadır (Schumpeter, 1934).

4.1. Kavram ve Benimsenme Adımları

Rogers'ın Yeniliğin Yayılması Kuramı (2003), inovasyonun benimsenme sürecini açıklamak için beş temel niteliğe odaklanır (Kılıç,2013):

- Göreli Avantaj:

İnovasyonun mevcut yöntemlere kıyasla sağladığı ekonomik ve sosyal faydalar, benimsenme oranını artırır. Ekonomik avantaj, maliyet tasarrufu ve üretkenlik artışı gibi boyutlarla ölçülürken, sosyal avantaj bireylerin toplumda kazandığı statü veya prestij ile ilişkilidir. Örneğin, gelişmiş sulama sistemlerinin su tasarrufu sağlaması, bu teknolojilerin benimsenmesini hızlandırmaktadır (Li et al., 2019).

- Uygunluk:

İnovasyonun kullanıcıların mevcut değerleri, ihtiyaçları ve deneyimleriyle uyumlu olması benimsenmeyi kolaylaştırır. Örneğin, tarımda kullanılan dijital teknolojiler, kırsal bölgelerde yaşayan çiftçilerin çalışma koşullarına uygun hale getirildiğinde daha hızlı benimsenir (Klerkx & Leeuwis, 2009).

- Karmaşıklık:

İnovasyonun anlaşılması ve uygulanması zorlaştıkça benimsenme oranı azalır. Yüksek teknoloji gerektiren tarımsal makineler, bilgi eksikliği nedeniyle benimsenme süreçlerinde engellerle karşılaşabilir (Liakos et al., 2018).

- Denenebilirlik:

İnovasyonun küçük ölçekli projelerde denenebilmesi, kullanıcıların faydalarını gözlemlemesine olanak tanır. Örneğin, akıllı sulama sistemlerinin pilot uygulamalarla tanıtılması, benimsenme oranlarını artırabilir (Jayaraman et al., 2019).

- Gözlemlenebilirlik:

İnovasyonun sonuçlarının diğer kişiler tarafından açıkça görülebilir olması, benimsenme oranını artıran önemli bir unsurdur. Örneğin, otonom traktörlerin üretim verimliliğini artırdığı net bir şekilde gözlemlendiğinde, bu teknolojiye olan talep artmaktadır (Zhang et al., 2020).

4.2. Tarımsal Üründe İnovasyon

Tarımsal inovasyon, tarım sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamada ve artan küresel gıda taleplerini karşılamada önemli bir araçtır. Bu kavram, ürün geliştirme, üretim yöntemleri, örgütlenme ve pazarlama gibi geniş bir alanı kapsar.

4.2.1. Tarımsal İnovasyon Kavramı

Tarımsal inovasyon, tarım sektöründe yenilikçi teknolojilerin uygulanması yoluyla verimliliği artırmayı ve çevresel etkileri azaltmayı hedefler. Örneğin, Hollanda gibi ülkeler, yüksek teknolojiye dayalı tarımsal üretim modelleri ile verimliliği artırırken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de sağlamıştır (Klerkx et al., 2012).

4.2.2. Tarımsal İnovasyon Örnekleri

Tarımsal inovasyon, modern teknolojilerin entegrasyonu ile somut faydalar sağlamaktadır:

- IoT ve Veri Analizi:

IoT cihazları ile toprak ve iklim verilerinin analizi sonucunda gübre ve su tüketimi %30 azaltılmış, çevresel etkiler minimize edilmiştir (Liakos et al., 2018).

- Akıllı Traktör ve Nakliye Süreçleri:

Akıllı traktörler, toprak koşullarını analiz ederek ekim süreçlerini optimize ederken, veri entegrasyonu sayesinde nakliye süreçleri hızlanmıştır (Wolfert et al., 2017).

- Sofra Üzümü İnovasyonu:

İnovatif uygulamalar sayesinde sofrta üzümü üretiminde %15 verim artışı, %20 raf ömrü uzaması sağlanmıştır. Aynı zamanda su tüketimi %20 azalırken, hasat sonrası kayıplar %10 oranında düşürülmüştür (Tektaş, 2016).

Bu örnekler, tarımsal inovasyonun coğrafî ve sosyoekonomik bağlamlara uygun şekilde uygulanması gerektiğini göstermektedir. Genel geçer yaklaşımlar yerine, bölgesel ihtiyaçlara yanıt veren stratejilerin benimsenmesi, tarımsal inovasyonun başarısını artıracaktır (Pretty, 2008).

5. DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇ

5.1. Değerlendirmeler

Tarım, insanlık tarihinin başlangıcından itibaren yalnızca hayatta kalma aracı değil, aynı zamanda toplumsal ve ekonomik kalkınmanın temel taşı olmuştur (Mazoyer & Roudart, 2006). Günümüzde, bu dönüşüm dijitalleşme ve sürdürülebilirlik temelli bir yapıya evrilmiştir.

- Sürdürülebilir Tarım ve Geleneksel Yöntemlerin Rolü;

Tarımsal inovasyon, yalnızca teknolojik yeniliklerle sınırlı olmayıp, yerel sosyokültürel ve ekolojik dinamiklere dayanan özelleştirilmiş çözümler gerektirir (Klerkx et al., 2019). Geleneksel yöntemlerin, modern teknolojilerle dengeli bir şekilde bir araya getirilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamaları için kritik öneme sahiptir. Örneğin, organik tarım gibi kimyasal kullanımını minimize eden yöntemler, çevresel sürdürülebilirlik ve tüketici taleplerine yanıt vermek açısından stratejik avantajlar sunmaktadır (Godfray & Garnett, 2014).

- Yapay Zekâ ve Dijital Teknolojilerin Katkısı;

Yapay zekâ, IoT, robotik sistemler ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler, tarımsal verimliliği artırmak ve kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamak için güçlü araçlardır. Örneğin, sensör tabanlı sulama sistemleri su kullanımını %30 azaltırken, ürün verimliliğini %20 artırmıştır (Liakos et al., 2018). Bu yenilikçi teknolojiler, tarımsal süreçlerin otomasyonu ve optimizasyonunda yeni fırsatlar yaratmaktadır (Wolfert et al., 2017).

- Politik ve Stratejik Öneriler;

Tarımsal inovasyonların yaygınlaştırılması için, kamu ve özel sektör iş birliği ile Ar-Ge yatırımlarının artırılması ve eğitim programlarının yaygınlaştırılması kritik öneme sahiptir. Ayrıca, sürdürülebilir tarım politikalarının benimsenmesi ve yenilikçi teknolojilerin adaptasyonunu kolaylaştıracak yasal düzenlemeler hayata geçirilmelidir (Pretty, 2008).

5.1. Sonuç

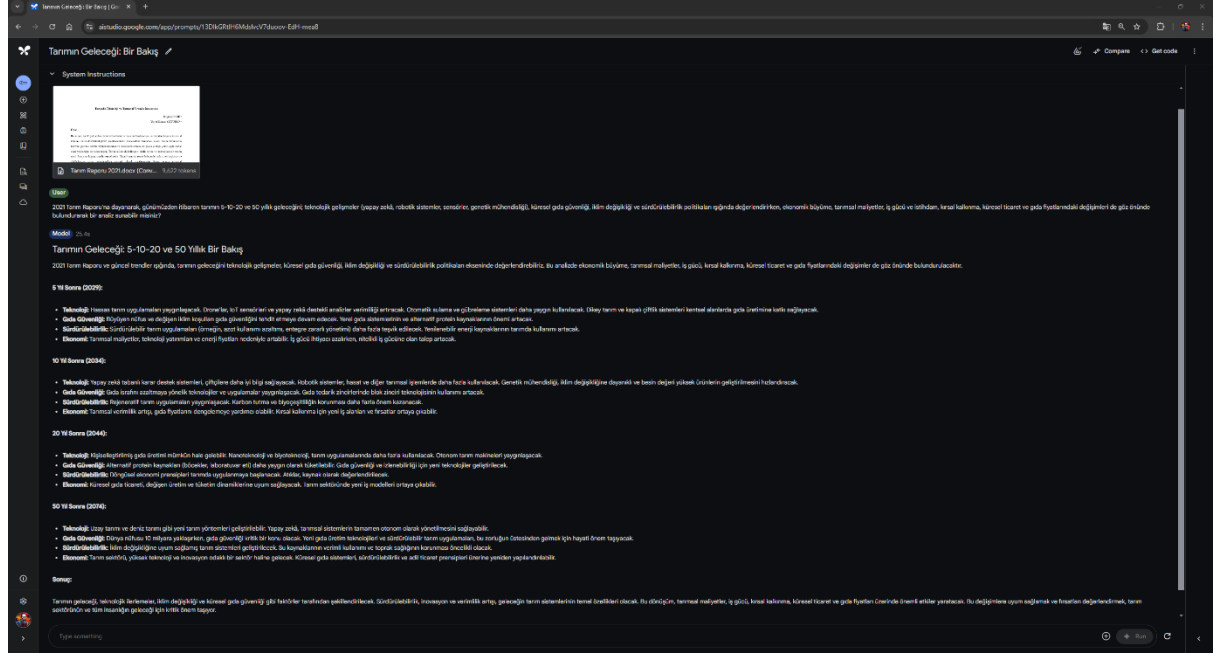
Tarımsal inovasyon, yalnızca ekonomik büyüme ve verimlilik için değil, aynı zamanda küresel gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri için de vazgeçilmezdir. Tarım 4.0 ve dijitalleşme süreçleri, artan dünya nüfusunun gıda taleplerine yanıt vermek ve iklim değişikliği gibi küresel zorluklarla başa çıkmak için stratejik bir fırsat sunmaktadır. Gelecekte, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin daha yaygın bir şekilde benimsenmesi, tarımın daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine olanak tanıyacaktır.

Yapay zeka bilgilendirmesi: Ağustos 2021 tarihinde yazılmış olan *Tarım Raporu*, Google'ın (Gemini 1.5 Pro 002) ve OpenAI'ın (Scholar ChatGPT) yapay zeka araçlarına referans verilerek bir analiz çalışması için kullanılmıştır. Bu araçlara, şu talimat verilmiştir:

“2021 Tarım Raporu'na dayanarak, günümüzden itibaren tarımın 5, 10, 20 ve 50 yıllık geleceğini; teknolojik gelişmeler (yapay zekâ, robotik sistemler, sensörler, genetik mühendisliği), küresel gıda güvenliği, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik politikaları ışığında değerlendiriniz. Ayrıca, ekonomik büyüme, tarımsal maliyetler, iş gücü ve istihdam, kırsal kalkınma, küresel ticaret ve gıda fiyatlarındaki değişimleri de analiz ediniz.”

Bu doğrultuda, yapay zeka araçlarından alınan cevaplar aşağıda sunulmaktadır.

“Gemini 1.5 Pro 002”



Tarımın Geleceği: 5-10-20 ve 50 Yıllık Bir Bakış

2021 Tarım Raporu ve güncel trendler ışığında, tarımın geleceğini teknolojik gelişmeler, küresel gıda güvenliği, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik politikaları ekseninde değerlendirebiliriz. Bu analizde ekonomik büyüme, tarımsal maliyetler, iş gücü, kırsal kalkınma, küresel ticaret ve gıda fiyatlarındaki değişimler de göz önünde bulundurulacaktır.

5 Yıl Sonra (2029):

- **Teknoloji:** Hassas tarım uygulamaları yaygınlaşacak. Drone'lar, IoT sensörleri ve yapay zekâ destekli analizler verimliliği artıracak. Otomatik sulama ve gübreleme sistemleri daha yaygın kullanılacak. Dikey tarım ve kapalı çiftlik sistemleri kentsel alanlarda gıda üretimine katkı sağlayacak.
- **Gıda Güvenliği:** Büyüyen nüfus ve değişen iklim koşulları gıda güvenliğini tehdit etmeye devam edecek. Yerel gıda sistemlerinin ve alternatif protein kaynaklarının önemi artacak.
- **Sürdürülebilirlik:** Sürdürülebilir tarım uygulamaları (örneğin, azot kullanımını azaltımı, entegre zararlı yönetimi) daha fazla teşvik edilecek. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımda kullanımı artacak.
- **Ekonomi:** Tarımsal maliyetler, teknoloji yatırımları ve enerji fiyatları nedeniyle artabilir. İş gücü ihtiyacı azalırken, nitelikli iş gücüne olan talep artacak.

10 Yıl Sonra (2034):

- **Teknoloji:** Yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri, çiftçilere daha iyi bilgi sağlayacak. Robotik sistemler, hasat ve diğer tarımsal işlemlerde daha fazla kullanılacak. Genetik mühendisliği, iklim değişikliğine dayanıklı ve besin değeri yüksek ürünlerin geliştirilmesini hızlandıracak.
- **Gıda Güvenliği:** Gıda israfını azaltmaya yönelik teknolojiler ve uygulamalar yaygınlaşacak. Gıda tedarik zincirlerinde blok zinciri teknolojisinin kullanımı artacak.
- **Sürdürülebilirlik:** Rejeneratif tarım uygulamaları yaygınlaşacak. Karbon tutma ve biyoçeşitliliğin korunması daha fazla önem kazanacak.

- Ekonomi: Tarımsal verimlilik artışı, gıda fiyatlarını dengelemeye yardımcı olabilir. Kırsal kalkınma için yeni iş alanları ve fırsatlar ortaya çıkabilir.

20 Yıl Sonra (2044):

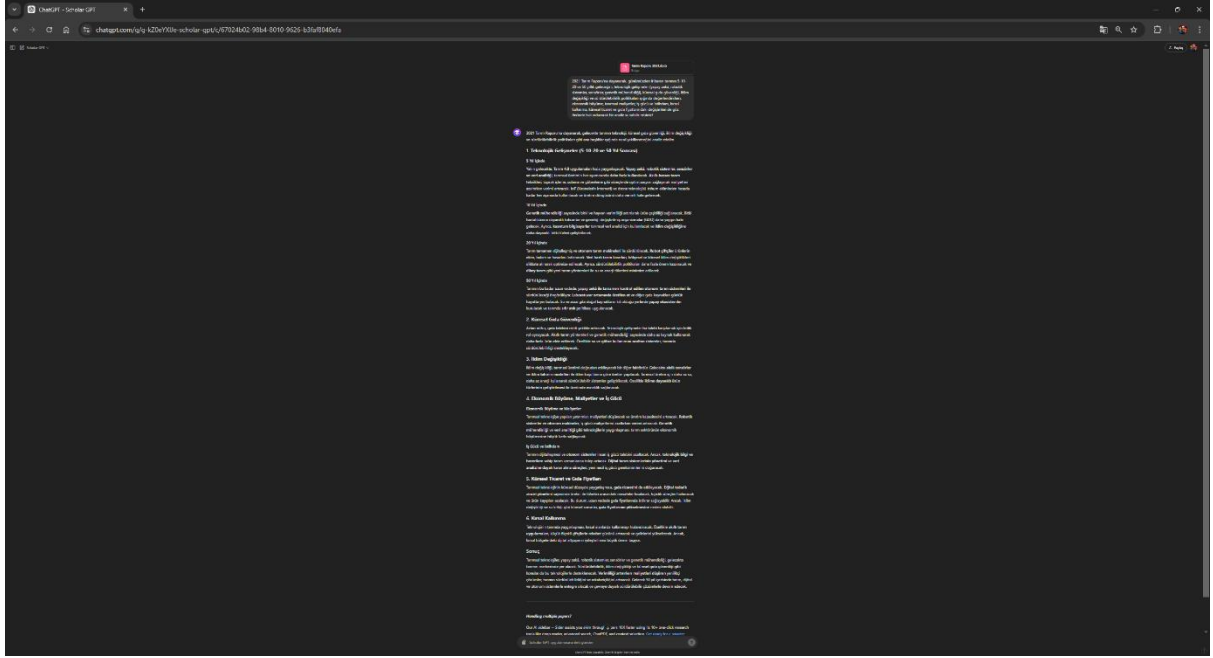
- Teknoloji: Kişiselleştirilmiş gıda üretimi mümkün hale gelebilir. Nanoteknoloji ve biyoteknoloji, tarım uygulamalarında daha fazla kullanılacak. Otonom tarım makineleri yaygınlaşacak.
- Gıda Güvenliği: Alternatif protein kaynakları (böcekler, laboratuvar eti) daha yaygın olarak tüketilebilir. Gıda güvenliği ve izlenebilirliği için yeni teknolojiler geliştirilecek.
- Sürdürülebilirlik: Döngüsel ekonomi prensipleri tarımda uygulanmaya başlanacak. Atıklar, kaynak olarak değerlendirilecek.
- Ekonomi: Küresel gıda ticareti, değişen üretim ve tüketim dinamiklerine uyum sağlayacak. Tarım sektöründe yeni iş modelleri ortaya çıkabilir.

50 Yıl Sonra (2074):

- Teknoloji: Uzay tarımı ve deniz tarımı gibi yeni tarım yöntemleri geliştirilebilir. Yapay zekâ, tarımsal sistemlerin tamamen otonom olarak yönetilmesini sağlayabilir.
- Gıda Güvenliği: Dünya nüfusu 10 milyara yaklaşırken, gıda güvenliği kritik bir konu olacak. Yeni gıda üretim teknolojileri ve sürdürülebilir tarım uygulamaları, bu zorluğun üstesinden gelmek için hayati önem taşıyacak.
- Sürdürülebilirlik: İklim değişikliğine uyum sağlamış tarım sistemleri geliştirilecek. Su kaynaklarının verimli kullanımı ve toprak sağlığının korunması öncelikli olacak.
- Ekonomi: Tarım sektörü, yüksek teknoloji ve inovasyon odaklı bir sektör haline gelecek. Küresel gıda sistemleri, sürdürülebilirlik ve adil ticaret prensipleri üzerine yeniden yapılandırılabilir.

Sonuç olarak; Tarımın geleceği, teknolojik ilerlemeler, iklim değişikliği ve küresel gıda güvenliği gibi faktörler tarafından şekillendirilecek. Sürdürülebilirlik, inovasyon ve verimlilik artışı, geleceğin tarım sistemlerinin temel özellikleri olacak. Bu dönüşüm, tarımsal maliyetler, iş gücü, kırsal kalkınma, küresel ticaret ve gıda fiyatları üzerinde önemli etkiler yaratacak. Bu değişimlere uyum sağlamak ve fırsatları değerlendirmek, tarım sektörünün ve tüm insanlığın geleceği için kritik önem taşıyor.

“Scholar ChatGPT”



2021 Tarım Raporu'na dayanarak, gelecekte tarımın teknoloji, küresel gıda güvenliği, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik politikaları gibi ana başlıklar ışığında nasıl şekilleneceğini analiz edelim.

- Teknolojik Gelişmeler (5-10-20 ve 50 Yıl Sonrası)

5 Yıl İçinde;

Yakın gelecekte, Tarım 4.0 uygulamaları hızla yaygınlaşacak. Yapay zekâ, robotik sistemler, sensörler ve veri analitiği, tarımsal üretimin her aşamasında daha fazla kullanılacak. Akıllı-hassas tarım teknikleri, toprak işleme, sulama ve gübreleme gibi süreçlerde optimizasyon sağlayarak maliyetleri azaltırken verimi artıracak. IoT (Nesnelerin İnterneti) ve drone teknolojisi, tohum ekiminden hasada kadar her aşamada kullanılacak ve üretim döngüsünü daha verimli hale getirecek.

10 Yıl İçinde;

Genetik mühendisliği sayesinde bitki ve hayvan verimliliği artırılarak ürün çeşitliliği sağlanacak. Bitki hastalıklarına dayanıklı tohumlar ve genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO) daha yaygın hale gelecek. Ayrıca, kuantum bilgisayarlar tarımsal veri analizi için kullanılacak ve iklim değişikliğine daha dayanıklı bitki türleri geliştirilecek.

20 Yıl İçinde;

Tarım tamamen dijitalleşmiş ve otonom tarım makineleri ile sürdürülecek. Robot çiftçiler ürünlerin ekim, bakım ve hasadını üstlenecek. Veri bazlı tarım kararları, bölgesel ve küresel iklim değişiklikleri dikkate alınarak optimize edilecek. Ayrıca, sürdürülebilirlik politikaları daha fazla önem kazanacak ve dikey tarım gibi yeni tarım yöntemleri ile su ve enerji tüketimi minimize edilecek.

50 Yıl İçinde;

Tarımın bu kadar uzun vadede, yapay zekâ ile tamamen kontrol edilen otonom tarım sistemleri ile sürdürüleceği öngörülüyor. Laboratuvar ortamında üretilen et ve diğer gıda kaynakları günlük hayatta yer bulacak. Su ve arazi gibi doğal kaynakların kıt olduğu yerlerde yapay ekosistemler kurulacak ve tarımda sıfır atık politikası uygulanacak.

- Küresel Gıda Güvenliği

Artan nüfus, gıda talebini ciddi şekilde artıracak. Teknolojik gelişmeler bu talebi karşılamak için kritik rol oynayacak. Akıllı tarım yöntemleri ve genetik mühendisliği sayesinde daha az kaynak kullanarak daha fazla ürün elde edilecek. Özellikle su ve gübre kullanımını azaltan sistemler, tarımda sürdürülebilirliği destekleyecek.

- İklim Değişikliği

İklim değişikliği, tarımsal üretimi doğrudan etkileyecek bir diğer faktördür. Gelecekte akıllı sensörler ve iklim tahmin modelleri ile iklim koşullarına göre üretim yapılacaktır. Tarımsal üretim için daha az su, daha az enerji kullanarak sürdürülebilir sistemler geliştirilecek. Özellikle iklime dayanıklı ürün türlerinin geliştirilmesi ile üretimde esneklik sağlanacaktır.

- Ekonomik Büyüme, Maliyetler ve İş Gücü

Ekonomik Büyüme ve Maliyetler: Tarımsal teknolojiye yapılan yatırımlar, maliyetleri düşürecek ve üretim kapasitesini artıracak. Robotik sistemler ve otonom makineler, iş gücü maliyetlerini azaltırken verimi artıracak. Genetik mühendisliği ve veri analitiği gibi teknolojilerin yaygınlaşması, tarım sektörünün ekonomik büyümesine büyük katkı sağlayacaktır.

İş Gücü ve İstihdam: Tarımın dijitalleşmesi ve otonom sistemler insan iş gücü talebini azaltacaktır. Ancak, teknolojik bilgi ve becerilere sahip tarım uzmanlarına talep artacaktır. Dijital tarım sistemlerinin yönetimi ve veri analizine dayalı karar alma süreçleri, yeni nesil iş gücü gereksinimlerini doğuracaktır.

- Küresel Ticaret ve Gıda Fiyatları

Tarımsal teknolojinin küresel düzeyde yaygınlaşması, gıda ticaretini de etkileyecek. Dijital tedarik zinciri yönetimi sayesinde üretici ile tüketici arasındaki mesafeler kısalacak, lojistik süreçler hızlanacak ve ürün kayıpları azalacaktır. Bu durum, uzun vadede gıda fiyatlarında istikrar sağlayabilir. Ancak, iklim değişikliği ve su kıtlığı gibi küresel sorunlar, gıda fiyatlarının yükselmesine neden olabilir.

- Kırsal Kalkınma

Teknolojinin tarımda yaygınlaşması, kırsal alanlarda kalkınmayı hızlandıracaktır. Özellikle **akıllı tarım uygulamaları**, küçük ölçekli çiftçilerin rekabet gücünü artıracak ve gelirlerini yükseltecektir. Ancak, kırsal bölgelerdeki dijital altyapının iyileştirilmesi büyük önem taşıyor.

Sonuç olarak; Tarımsal teknolojiler, yapay zekâ, robotik sistemler, sensörler ve genetik mühendisliği, gelecekte tarımın merkezinde yer alacaktır. Sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve küresel gıda güvenliği gibi konular da bu teknolojilerle desteklenecektir. Verimliliği artırırken maliyetleri düşüren yenilikçi çözümler, tarımın sürdürülebilirliğini ve rekabetçiliğini artıracaktır. Gelecek 50 yıl içerisinde tarım, dijital ve otonom sistemlerle entegre olacaktır ve çevreye duyarlı sürdürülebilir çözümlerle devam edecektir.

KAYNAKLAR

- Basso, B., & Antle, J. (2020). Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability*, 3(4), 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>
- Diamond, J. (1997). *Guns, germs, and steel: The fates of human societies*. W.W. Norton & Company.
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Finger, R., Swinton, S. M., El Benni, N., & Walter, A. (2019). Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*, 11(1), 313–335. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>
- Godfray, H. C. J., & Garnett, T. (2014). Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639), 20120273. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0273>
- Kılıç, S. (2013). İnovasyon anlayışına dayalı ürün geliştirme performansının değerlendirilmesi [Doctoral dissertation, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü].
- Klerkx, L., Aarts, N., & Leeuwis, C. (2010). Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural Systems*, 103(6), 390–400. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.04.005>
- Klerkx, L., & Leeuwis, C. (2009). Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(6), 849–860. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.10.001>
- Li, S., & Wang, C. (2019). Adoption of sustainable agricultural practices: Role of social capital and innovation characteristics. *Sustainability*, 11(6), 1722. <https://doi.org/10.3390/su11061722>
- 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>
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (2006). *A history of world agriculture: From the Neolithic age to the current crisis*. Monthly Review Press.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles, and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1491), 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Rose, D. C., Chilvers, J., & Sutherland, W. J. (2021). Decision support tools for agriculture: Towards effective design and delivery. *Agricultural Systems*, 187, 103027. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103027>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Sabancı, A., & Özgüven, F. (1990). Tarımsal mekanizasyon işletmeciliği. ÇÜ Ziraat Fakültesi Ders Kitabı. <https://tarimmakinalari.cu.edu.tr>
- Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Harvard University Press.
- Tektaş, A., & Tosun, E. Ö. (2016). Yiyecek ve içecek endüstrisinde uluslararası performans kıyaslaması [International performance benchmarking in the food and beverage industry].

- Tübitak Bilim Genç. (2021). 5000 yıllık kafatasında veba izleri. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/5000-yillik-kafatasinda-veba-izleri>
- 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>
- Yurtoğlu, N. (2017). Cumhuriyet dönemi ziratte makineleşme sürecinde Türkiye Zirai Donatım Kurumu (TZDK) yeri ve önemi (1943-1960). *Tarih Okulu Dergisi*, 10(29), 277–312.