

Tarım Alanında Dijital İkiz Yönteminin Kullanılması

Mahmut Durgun¹

Özet

Tarım sektörü, insanların beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için temel bir sektördür ve dünya genelinde birçok insanın geçim kaynağıdır. Ancak, tarım sektörü de diğer sektörler gibi gelişmeye ihtiyaç duymaktadır. Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte, tarım sektöründe de dijital teknolojilerin kullanımı artmaktadır. Bu teknolojiler, tarım sektörünün verimliliğini artırmak, sürdürülebilirliği sağlamak ve maliyetleri azaltmak için kullanılmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi de bu teknolojiler arasında yer almaktadır. Dijital ikiz teknolojisi, gerçek bir nesnenin sanal bir kopyasının oluşturulmasıdır. Bu teknoloji, tarım sektöründe bitki, hayvan, arazi ve üretim gibi birçok alanda kullanılabilir. Bu teknolojinin tarım sektörüne getirdiği yenilikler, birçok akademik çalışmanın konusu olmuştur. Bu makalede, tarımda dijital ikiz teknolojisinin bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından getirdiği yenilikler ele alınacak ve akademik çalışmaların sonuçlarına yer verilecektir.

1. Giriş

Dijital İkiz teknolojisi, tarım, imalat, otomotiv ve enerji gibi çeşitli sektörler tarafından ciddi bir şekilde kabul gören ve çok disiplinli sorunları çözmek için kullanılacak yöntemlerden birisidir. Bu teknolojinin amacı, bu sektörlerdeki işletmelerin verimliliğini artırmak, iş süreçlerini iyileştirmek ve inovasyonu teşvik etmektir. Dijital İkiz, aslında gerçek fiziksel sistemlerin dijital birer benzeridir (Leng vd., 2021). Bu teknoloji, karmaşık sistem analizleri, karar desteği ve teknolojik entegrasyonu içermektedir. Dijital İkizin, Nesnelerin İnterneti teknolojisinin kabul edilmesiyle önemi de git gide artmaya başlamıştır (Zhang vd., 2022). Bu teknoloji, minyatür cihazlar ve uzaktan algılama yolları gibi fiziksel ikizlerin neredeyse gerçek zamanlı

1 Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Elektronik Ticaret ve Yönetimi Bölümü. E-mail: mahmut.durgun@gop.edu.tr

olarak izlenmesine olanak tanımakta ve sürekli artan veri akışları üretmektedir. Dijital ikiz kavramı, Grieves ve Vickers tarafından sanal ve fiziksel varlıkların birleştirilmesindeki bir teknik incelemesi sonucu ilk olarak ortaya atılmıştır (Grieves and Vickers, 2017). O tarihten bu yana, farklı disiplinler Dijital İkizi benimsemiş ve genel bir tanımın bulunmaması nedeniyle her bir disiplin kendi tanımını belirlemiştir. Ashında fiziksel bir nesnenin ya da sistemin yaşam döngüsü boyunca toplanan gerçek dünya verilerinin, simülasyonların veya makine öğrenme modellerinin veri analizi kullanılarak öğrenilmesi ve akıllı bir şekilde yürütülmesini ifade etmektedir. Yine bu teknoloji, farklı soruları yanıtlamaya yardımcı olmak için kullanılabilir ve insana benzer şekilde sezgisel öngörüler sunabilecektir. Tarımda dijital ikiz teknolojisi konusunda yapılmış birçok akademik araştırma ve literatür mevcuttur.

Nasirahmadi ve Hensel (2022)'in yaptıkları çalışmada, bitki ve üretim açısından dijital ikiz teknolojisinin kullanımını incelemiştir. Bu makalede, tarım sektöründe dijital ikiz teknolojisinin kullanımının artan önemine ve avantajlarına dikkat çekilmiştir. Hayvancılık sektöründe dijital ikiz teknolojisinin kullanımını Neethirajan and Kemp (2021) yaptıkları çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin hayvan sağlığı, üreme verimliliği ve yem tüketimi gibi faktörleri nasıl optimize edebileceği tartışılmıştır. Purcell ve arkadaşları (2022) yaptıkları çalışma ile tarımsal çayır arazilerinin verimliliğini artırmak için dijital ikiz teknolojisinin kullanımını ele alır. Bu makalede, dijital ikiz teknolojisinin tarım arazilerinin toprak kalitesi, sulama ve gübreleme gibi faktörlerini nasıl optimize edebileceği tartışılmıştır. Gupta ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada, bitki hastalıklarının tespit edilmesi ve önlenmesinde dijital ikiz teknolojisinin kullanımını inceler. Bu çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin bitki hastalıklarını erken teşhis etmek ve uygun önlemleri almak için nasıl kullanılabilirliği tartışılmıştır. Jo et al. (2018) yaptıkları "Dijital ikizi kullanan akıllı hayvancılık çiftlikleri: Fizibilite çalışması" adlı makale, hayvancılık çiftlikleri üretim sürecinin verimliliğini artırmak için dijital ikiz teknolojisinin kullanımını ele alır. Bu makalede, dijital ikiz teknolojisinin hayvancılık çiftlikleri üretiminde verimliliği ve kaliteyi artırmak için nasıl kullanılabilirliği tartışılmıştır. Nie et al. (2022) yaptıkları bu makale, tarım sektöründe dijital ikiz teknolojisinin kullanımıyla ilgili son gelişmeleri ele almaktadır. Bu çalışmada, bitki ve arazi özelliklerinin tespiti, hasat sonrası takip ve hayvan sağlığı yönetimi gibi birçok uygulama örnekleri verilmektedir. "Introducing digital twins to agriculture" (2021) adlı bu çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin tarımda kullanımı ile ilgili genel bir bakış sunulmaktadır. Bitki ve hayvanların dijital ikizleri oluşturma, tarım makinelerinin optimizasyonu ve üretim planlama gibi konular ele alınmaktadır Pylianidis et al. (2021). Xin and Wang (2022) yaptıkları bu çalışmada, dijital

ikiz teknolojisinin tarımda kullanımıyla ilgili uygulama alanları, zorluklar ve gelecekteki yönelimler ele alınmaktadır. Bu makalede, bitki ve hayvan sağlığı yönetimi, arazi yönetimi, tarım makineleri optimizasyonu ve veri analizi gibi konular ele alınmaktadır.

2. Altı Farklı Dijital İkiz Kavramı

Hayali Dijital İkiz, bir ürün, sistem veya hizmet hakkında hayal edilen ve uygulanması mümkün olan tüm verilerin ve bilgilerin toplandığı ve kaydedildiği bir dijital modelidir. Bu model, fiziksel ürünün ya da sistemin hayal edilen ideal performansını, özelliklerini ve kullanımını yansıtır. Hayali Dijital İkiz, bir ürünün ya da sistemin tasarımı, geliştirilmesi ve optimizasyonu aşamalarında, ürün ya da sistem hakkında en doğru ve kesin bilgiye ulaşmak için kullanılır.

“İzleme Dijital İkiz” (Monitoring Digital Twin), özellikle tarım sektöründe, fiziksel sistemle ilgili verilerin takibinin ve analizinin gerçekleştirildiği sanal bir sistemdir. Bu sanal sistem, fiziksel sistemle ilgili tüm verileri (örneğin, su, gübre, toprak analizi, iklim verileri, gübreleme verileri vb.) toplar ve bu verileri analiz eder. Bu analiz sonucu, tarımın verimliliğini ve verimini artırmak için öneriler yapar ve tarım işletmelerinin süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olur. İzleme Dijital İkiz, tarımın dijitalleşmesi ve verimliliğinin artmasına yardımcı olur ve tarım işletmelerinin maksimum verimi elde etmelerine yardımcı olur.

Öngörülebilir Dijital İkiz, fiziksel bir sistem veya ürün hakkındaki bilgilerin ve verilerin analizi sonucu ortaya çıkan öngörü ve tahminleri içeren sanal bir sistemdir. Bu öngörüler, sistem veya ürünün performansını, verimliliğini veya olası arızalarını tahmin etmeyi ve önceden müdahil etmeyi mümkün kılar. Öngörülebilir Dijital İkiz, tarım sektöründe tarla verimliliğini ve ürün kalitesini arttırmak için kullanılabilir.

Reçeteli Dijital İkiz, tarım sektöründe verimlilik ve verimlilik için kullanılan bir dijital teknoloji çözümdür. Bu dijital ikiz, bir ürünün ya da ekipmanın performansını ve durumunu sürekli olarak izler ve bu verileri analiz ederek, ürün veya ekipmanın verimliliğini ve performansını artırmaya yönelik öneriler sunar. Reçeteli Dijital İkiz ayrıca ürün veya ekipmanın gelecekteki performansını tahmin etme yeteneğine de sahiptir, böylece tarım işletmeleri gelecekteki ihtiyaçlarını veya olası sorunları öngörebilir.

Otonom Dijital İkiz, fiziksel sistemle aynı anda çalışan ve o fiziksel sistem hakkında toplanan verileri kullanarak o sistemi yöneten ve kendini kontrol eden bir dijital modeldir. Otonom Dijital İkiz, tarımda verimliliği ve verimlilik çıktılarını artırmak için kullanılabilir. Örneğin, bu dijital ikiz bir tarladaki

bitkilerin gelişimini izleyebilir ve verilerini analiz ederek gerekli gübre ve su miktarını otomatik olarak belirleyebilir. Böylece tarım işletmelerinin üretim maliyetlerini azaltmasına ve verimliliğini artmasına yardımcı olabilir.

Hatıra Dijital İkiz, bir fiziksel sistemin ya da makine elemanının geçmiş performans verilerinin ve hikayelerinin depolandığı bir sanal temsildir. Hatıra Dijital İkiz, bu fiziksel sistem ya da makine elemanının önceki durumlarını ve performansını analiz etmeyi ve incelemelerin sonuçlarını kullanarak gelecekteki performansını tahmin etmeyi kolaylaştırır. Aynı zamanda bu fiziksel sistem ya da makine elemanının tasarım ve bakım süreçlerinin verimli bir şekilde yürütülmesini de destekler.

2.1. Tarımda Dijital İkiz

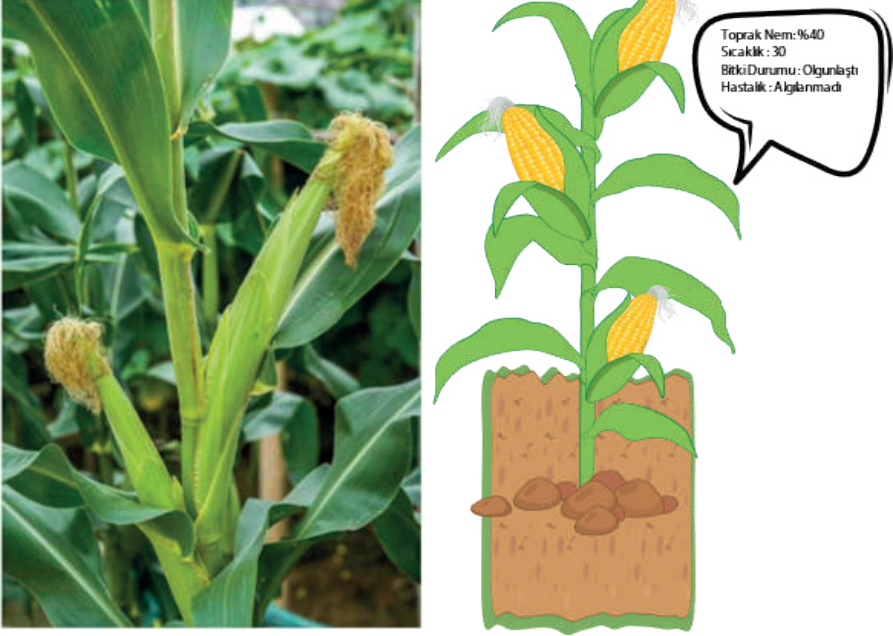
Tarımda Dijital İkiz, tarım sektöründe tarımsal faaliyetlerin, bitkilerin ve çevre faktörlerinin verilerinin toplanması, analiz edilmesi ve bu verilerin kullanılarak hayvanların, bitkilerin, tarım arazilerinin ve tarımsal bileşenlerin daha verimli yönetilmesi olarak tanımlanır. Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisi, makine öğrenimi ve bulut bilişim gibi teknolojik araçların birleşmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Tarımdaki dijital ikiz topolojisi ise şu şekildedir:

Bitki İkizi: Tarım arazilerindeki bitkilerin verilerinin toplanması ve analiz edilmesi sonucu oluşan bir dijital modeldir. Dijital ikiz teknolojisi, bitkilerin büyüme sürecini izlemek ve optimize etmek için kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, bitkilerin gerçek zamanlı olarak takip edilmesine, verilerin toplanmasına ve analiz edilmesine olanak sağlar. Dijital ikiz teknolojisi, bitki yetiştiriciliğinde birçok fayda sağlar. İlk olarak, bitki büyümesi hakkında gerçek zamanlı veriler toplayarak, üreticilere bitkileri daha etkili bir şekilde yönetme ve bakım yapma imkanı verir. Bu veriler, bitkilerin su, gübre, ışık gibi ihtiyaçlarına göre optimize edilerek, verimliliğin artırılmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, hastalık veya zararlılar gibi sorunların erken teşhis edilmesine ve çözümlenmesine yardımcı olur.

Dijital ikiz teknolojisi, bitki yetiştiriciliği için kullanılan bir dizi diğer teknolojiyle birlikte kullanıldığında daha da etkili hale gelebilir. Örneğin, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları, toplanan verileri analiz ederek, bitki yetiştiricilerine daha doğru ve anlamlı bilgiler sunabilir. Bu bilgiler, bitki yetiştiricilerinin üretim süreçlerini daha da optimize etmelerine yardımcı olabilir. Dijital ikiz teknolojisi ayrıca, bitki yetiştiriciliği için verimli ve sürdürülebilir çözümler sağlamaya da yardımcı olabilir. Bitki yetiştiriciliği için kullanılan su ve gübre miktarını azaltarak, sürdürülebilirliği artırabilir ve çevresel etkiyi azaltabilir. Ayrıca, tüketici taleplerini karşılamak

için ürünlerin kalitesini artırabilir. Sonuç olarak, dijital ikiz teknolojisi, bitki yetiştiriciliği alanında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu teknolojinin kullanımı, üreticilere gerçek zamanlı veriler sağlayarak bitki büyümesini optimize etmelerine yardımcı olurken, sürdürülebilir ve verimli üretim için de çözümler sunabilir.



Şekil 1 Bitki İkizi Örneği

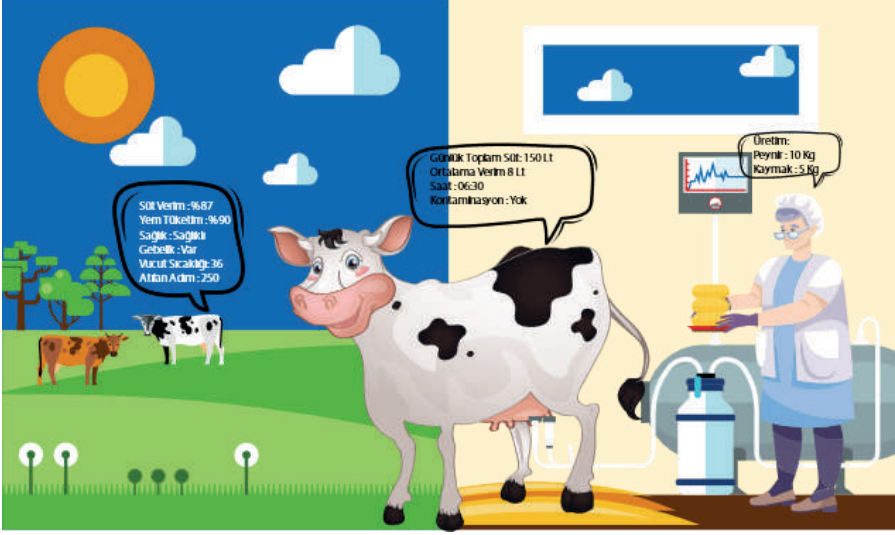
Tarım arazisi ve tarım ekipmanları için dijital ikiz: Tarım arazilerinin verilerinin toplanması ve analiz edilmesi sonucu oluşan bir dijital modeldir. Tarım arazisi için dijital ikiz teknolojisi, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz etme işlemleri sayesinde tarım arazilerinin tam bir sanal kopyasını oluşturur. Tarım arazisi için dijital ikiz teknolojisi, tarım arazisinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine, analiz edilmesine, tarım makinalarının performansını izlemek ve bakımını yapmak için kullanılmaktadır. Tarım makinaları için dijital ikiz teknolojisi, tarım ekipmanlarının performansını izlemek, bakımını yapmak ve optimize etmek için kullanılır. Bu teknoloji, tarım ekipmanlarındaki sensörler ve akıllı sistemler sayesinde gerçek zamanlı veri toplar ve analiz eder. Bu sayede, tarım ekipmanlarının çalışma süresi, verimliliği ve maliyeti optimize edilir. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisi tarım ekipmanlarının bakımını da kolaylaştırır. Bu teknoloji, ekipmanların bakım ihtiyaçlarını izler ve bakım planlarını oluşturur. Böylece, üreticiler, tarım ekipmanlarının ömrünü uzatırken, bakım maliyetlerini azaltabilirler.

Tarım arazisi ve tarım ekipmanları için dijital ikiz teknolojisi ayrıca, üreticilerin işlerini daha etkili bir şekilde yönetmelerine de yardımcı olur. Bu teknoloji sayesinde, üreticiler, tarım arazileri ve ekipmanlarının durumunu takip ederek, gerektiğinde müdahale edebilirler. Böylece, üretim kayıplarını önlerler ve tarım işlerini daha verimli hale getirirler.



Şekil 2 Tarım arazisi ve tarım ekipmanları için dijital ikiz örneği

Üretim İkizi: Üretim süreci ve maliyetlerinin verilerinin toplanması ve analiz edilmesi sonucu oluşan bir dijital modeldir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin verimliliğini ve karlılığını artırmaya yardımcı olur. Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin üretim süreçlerini izleyerek, işletmelerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için kullanılır. Bu teknoloji sayesinde, üreticiler, tarım ürünleri için en uygun koşulları oluşturabilirler. Bu da, tarım işletmelerinin üretim miktarını artırırken, maliyetlerini azaltmasına yardımcı olur. Dijital ikiz teknolojisi aynı zamanda, tarım işletmelerinin kaynakları ve maliyetleri optimize etmelerine de yardımcı olur. Bu teknoloji, işletmelerin üretim süreçlerini analiz eder ve işletmelerin kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanmasını sağlar. Bu sayede, işletmeler, maliyetleri azaltırken, üretim miktarını artırabilirler. Dijital ikiz teknolojisi, ayrıca, tarım işletmelerinin çevresel etkilerini de azaltmalarına yardımcı olur. Bu teknoloji sayesinde, işletmeler, üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirirler. Bu da, işletmenin çevresel etkilerini azaltarak, doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur.



Şekil 3. Süt inekleri için dijital ikiz örneği.

Tarımda dijital ikiz teknolojisi, bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından birçok yeniliği beraberinde getirir. Bu yenilikler, tarım sektöründe verimliliği ve sürdürülebilirliği artırırken, üreticilerin karlılığını ve rekabet gücünü artırır. İşte, dijital ikiz teknolojisi ile tarım sektöründe elde edilen yeniliklerden bazıları:

Bitki Verimliliği: Dijital ikiz teknolojisi, bitki verimliliğini artırmak için kullanılabilir. Bu teknoloji, bitkilerin büyümesini ve gelişimini izleyerek, bitkiler için en uygun koşulları oluşturabilir. Bu da, üreticilerin bitki üretimini artırmasına ve ürün kalitesini artırmasına yardımcı olur.

Hayvan Sağlığı: Dijital ikiz teknolojisi, hayvan sağlığı için de kullanılabilir. Bu teknoloji, hayvanların sağlık durumunu izleyerek, hastalıkların erken teşhis edilmesine ve tedavi edilmesine yardımcı olur. Bu da, hayvanların sağlıklı kalmasına ve üretim verimliliğinin artmasına yardımcı olur.

Arazi Yönetimi: Dijital ikiz teknolojisi, arazi yönetimi için de kullanılabilir. Bu teknoloji, tarım arazilerinin verimliliğini artırmak için kullanılabilir. Bu teknoloji, arazinin tüm detaylarını, verimlilik oranlarını, toprak analizlerini, su kaynaklarını, eğimini, güneşlenme açılarını vb. özellikleri inceleyerek, en uygun tarım uygulamalarının belirlenmesine yardımcı olur.

Üretim Süreçleri: Dijital ikiz teknolojisi, tarım üretim süreçlerinde de kullanılabilir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin üretim süreçlerini analiz ederek, verimlilik artırma ve maliyetleri azaltma konusunda öneriler sunar.

Bu da, işletmelerin karlılığını artırırken, üretim verimliliğini artırmasına yardımcı olur.

Veri Yönetimi: Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin veri yönetimi için de kullanılabilir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin verilerini toplar ve analiz ederek, işletmelerin daha iyi kararlar almasına yardımcı olur. Bu sayede, işletmeler, kaynakları daha verimli bir şekilde kullanırken, üretim süreçlerini ve işletme yönetimini daha iyi bir şekilde kontrol edebilirler.

Otomasyon: Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinde otomasyonun artırılmasına yardımcı olur. Bu teknoloji sayesinde, tarım işletmeleri üretim süreçlerindeki bazı işlemleri otomatikleştirebilirler. Bu da, işletmelerin üretim verimliliğini artırmasına ve maliyetlerini azaltmasına yardımcı olur.

Yönetim ve Planlama: Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin yönetim ve planlama süreçlerinde de kullanılabilir. Bu teknoloji, işletmelerin gelecekteki faaliyetlerini planlamalarına yardımcı olur ve işletmelerin tedarik zincirini daha iyi yönetmelerine yardımcı olur. Bu da, işletmelerin karlılığını artırırken, üretim verimliliğini artırmasına yardımcı olur.

Sürdürülebilirlik: Dijital ikiz teknolojisi, tarım sektöründe sürdürülebilirliği artırmaya yardımcı olabilir. Bu teknoloji, tarım işletmelerinin çevresel etkilerini azaltmalarına ve kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur. Bu da, işletmelerin çevre dostu tarım uygulamalarına geçmelerine yardımcı olur.

Maliyetler: Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin maliyetlerini azaltmaya yardımcı olur. Bu teknoloji, işletmelerin üretim süreçlerindeki verimliliği artırarak, işletmelerin maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olur. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisi, işletmelerin kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur ve böylece maliyetleri azaltmalarına yardımcı olur.

Sonuç olarak, tarımda dijital ikiz teknolojisi, bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından birçok yenilik getirir. Bu yenilikler, tarım sektörünün verimliliğini artırırken, sürdürülebilirliği ve karlılığı artırır. Dijital ikiz teknolojisi, tarım işletmelerinin üretim süreçlerini daha iyi yönetmelerine ve kaynakları daha verimli bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur.



Şekil 4. Tarımda dijital ikiz.

3. Sonuç

Tarımda dijital ikiz teknolojisi, bitki, hayvan, arazi ve üretim açısından birçok yenilik getirmektedir. Bu teknoloji, tarım sektöründe verimliliği artırırken, sürdürülebilirliği ve karlılığı artırmaktadır. Dijital ikiz teknolojisi sayesinde, tarım işletmeleri üretim süreçlerinde daha verimli bir şekilde çalışabilir, işletmelerin üretim kapasitesi artırılabilir, ürün kalitesi artırılabilir ve maliyetler azaltılabilir.

Bu teknolojinin tarım sektörüne getirdiği yenilikler, akademik çalışmalarda da geniş bir şekilde ele alınmaktadır. Bu çalışmaların sonuçları, dijital ikiz teknolojisinin tarım sektöründeki etkilerini daha detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Örneğin, birçok araştırma, dijital ikiz teknolojisinin bitki hastalıklarının teşhisinde ve mücadele edilmesinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisinin hayvan sağlığı ve refahını artırmada da etkili olduğu belirtilmektedir.

Bunun yanı sıra, dijital ikiz teknolojisi, tarım arazilerinin daha iyi yönetimini ve verimliliğini sağlamak için kullanılabilir. Tarım arazilerinin dijital ikizleri sayesinde, arazi verimliliği analizleri yapılarak, toprak kalitesi ve nem seviyesi gibi faktörlerin daha iyi kontrol edilmesi mümkündür. Bu da, üretim verimliliğinin artırılmasına ve maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Sonuç olarak, tarımda dijital ikiz teknolojisi, birçok alanda yenilikler getirmekte ve tarım sektöründe verimliliği artırarak sürdürülebilirliği ve karlılığı artırmaktadır. Bu teknolojinin tarım sektöründe yaygınlaşması, tarımın geleceği için umut verici bir gelişme olarak değerlendirilmektedir.

Literatür

- Grievens M, Vickers J (2017) Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches* pp 85–113.
- Gupta M, Kumari M, Ved C (2021) Digital Twin in Agriculture Sector: Detection of Disease Using Deep Learning.
- Jo SK, Park DH, Park H, Kim SH (2018) Smart livestock farms using digital twin: Feasibility study. In: 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), pp 1461–1463.
- Leng J, Wang D, Shen W, Li X, Liu Q, Chen X (2021) Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. *Journal of manufacturing systems* 60:119–137.
- Nasirahmadi A, Hensel O. (2022) Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors* 22(2): 498.
- Neethirajan S, Kemp B (2021) Digital twins in livestock farming. *Animals* 11(4):1008
- Nie J, Wang Y, Li Y, Chao X (2022) Artificial intelligence and digital twins in sustainable agriculture and forestry: a survey. *Turkish J. of Agriculture and Forestry* 46(5): 642–661.
- Purcell W, Klipic A, Neubauer T (2022) A Digital Twin for Grassland Management. In: 2022 Int. Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), pp 1–6.
- Pylaniadis C, Osinga S, Athanasiadis IN (2021) Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 184:105942.
- Xin C, Wang Y (2022) Digital twins and innovation management: a literature review, framework, challenge, and future direction. *Technology Analysis & Strategic Management* pp 1–14.
- Zhang Z, Wen F, Sun Z, Guo X, He T, Lee C (2022) Artificial intelligence-enabled sensing technologies in the 5G/internet of things era: from virtual reality/augmented reality to the digital twin. *Advanced Intelligent Systems* 4(7): 2100228.