

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTONOM BİR TARIM ROBOTUNUN DİJİTAL İKİZ VE ARTIRILMIŞ
GERÇEKLİKLE MODELLENMESİ

Onur ÜÇER

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTONOM BİR TARIM ROBOTUNUN DİJİTAL İKİZ VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİKLE MODELLENMESİ

Onur ÜÇER

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Caner KOÇ

Günümüz teknolojik imkanları göz önüne alındığında, her türlü üretimin önizlemesi ve simülasyonu yapılarak kaynak kullanımı optimum düzeyde sağlanmaktadır. Endüstri 4.0 ile ortaya çıkan dijitalleşme ve cihazların internet aracılığıyla birbirleri arasında etkileşimi ile birlikte pek çok ürün uzaktan erişim olanağına kavuşmakta ve üretim kapasitesi artırılmaktadır. Modellemeye dayalı üretim anlayışında Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), analiz ve simülasyon programları; uzay, sanayi ve tarımsal üretimin vazgeçilmez unsurları haline gelmekte ve diğer birçok sektörde kullanılmaktadır. Dijital İkiz(DT) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) ile simülasyon ve uzaktan operasyon olanakları, yeni bir üretim yaklaşımının ortaya çıkmasını hızlandırmaktadır. Gerek uzaktan operasyon kabiliyetlerinin artması, gerekse öngörülemeyen koşulların bilimsel verilerle simüle edilmesi, kayıpların her alanda en aza indirgenmesine ve bilinmeyene dair öngörü sahibi olunmasına imkan sağlamaktadır. Tehlike arz eden ya da insanın yaşayamayacağı koşullarda, Otonom Mobil Robotlar (AMR) ve Otonom Güdümlü Araçlar (AGV) her geçen gün daha karmaşık görevleri yerine getirerek insan yaşantısına ve bilimsel ilerlemeye destek olmaktadır. Tarımsal üretimin en önemli girdileri olan yakıt, gübre, tohum gibi maliyetlerin dijital ortamlarda simüle edilerek optimum ekonomik koşulların yaratılması Dijital İkiz (DT) modelleriyle mümkün kılınmaktadır.

Şubat 2024, 96 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Endüstri 4.0, Dijital İkiz (DT), Artırılmış Gerçeklik (AR) , Otonom Mobil Robotlar(AMR), Otonom Güdümlü Robotlar (AGV)

ABSTRACT

Master Degree Thesis

MODELLING OF AN AUTONOMOUS AGRICULTURAL ROBOT WITH DIGITAL TWIN AND AUGMENTED REALITY

Onur ÜÇER

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Caner KOÇ

In light of today's technological capabilities, the preview and simulation of all kinds of production are carried out to optimize resource usage. With the digitization brought by Industry 4.0 and the interaction between devices through the internet, many products gain remote accessibility, leading to an increase in production capacity. In the model-based production approach, Computer-Aided Design (CAD), analysis, and simulation programs have become indispensable elements in spatial, industrial, and agricultural production, being used in various other sectors as well. Simulation and remote operation capabilities with Digital Twins (DT) and Augmented Reality (AR) accelerate the emergence of a new production approach. The increase in remote operation capabilities and the simulation of unforeseen conditions with scientific data allow minimizing losses in all areas and gaining insights into the unknown. In conditions that pose a danger or are inhospitable for humans, Autonomous Mobile Robots (AMR) and Autonomous Guided Vehicles (AGV) support human life and scientific progress by performing increasingly complex tasks. The simulation of essential inputs in agricultural production, such as fuel, fertilizer, and seeds, in digital environments, enables the creation of optimal economic conditions through Digital Twin (DT) models.

February 2024, 96 pages

Key Words: Computer Aided Design (CAD), Industry 4.0, Digital Twin (DT), Augmented Reality (AR), Autonomous Mobile Robots (AMR), Autonomous Guided Vehicles (AGV)

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans araştırma çalışmalarımın başlamasına destek ve motivasyon kaynağı olan anneme, anneanneme ve babama Őukranlarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarım süresince, beni yönlendiren, araŐtırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını gece-gündüz demeden paylaşan, akademik ortamda olduğu kadar beŐerî ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişmeme ve gelişmeme katkıda bulunan danışmanım Sayın Doç. Dr. Caner KOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca kazandığım kıymetli bilgi ve tecrübelere imkan tanımakta olan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü hocalarıma Őukranlarımı sunarım.

Onur ÜÇER

Ankara, Şubat 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
2.1 Endüstri 4.0.....	2
2.1.1 Özerk (Otonom) robotlar	5
2.1.2 Simülasyon	6
2.1.3 Sistem entegrasyonu.....	7
2.1.4 Nesnelerin internet	7
2.1.5 Siber güvenlik	8
2.1.6 Bulut bilişim.....	8
2.1.7 Katmanlı imalat.....	10
2.1.8 Büyük very	12
2.1.9 Artırılmış gerçeklik	12
2.2 Dijital Temsil	13
2.3 Entegrasyon Seviyeleri.....	14
2.4 Dijital Model	15
2.4.1Ansys	16
2.4.2 AutoDesk AutoCad	17
2.4.3 DSS Catia	17
2.4.4 DSS SolidWorks	18
2.4.5 Rocky DEM.....	19
2.5 Dijital Gölge.....	20
2.6 Dijital İkiz	21
2.6.1 Autodesk Fusion 360	23
2.6.2 Bentley Systems	24
2.6.3 Blender	24
2.6.4 Gazebo.....	25
2.6.5 PTC ThingWorx.....	26
2.6.6 Rviz.....	27

2.6.7 Simio	28
2.6.8 Siemens Simcenter ve Teamcenter	29
2.7 Diital İkizi Vizyonuyla Tarımda Odak Alanlar	29
2.7.1 Ürün verimliliği ve kalite	29
2.7.2 Su kaynakları yönetimi	30
2.7.3 Hastalık ve zararlı kontrolü	30
2.7.4 Makine ve ekipman optimizasyonu	30
2.7.5 İklim değişikliği ve risk yönetimi	31
2.7.6 Organik tarım ve sürdürülebilirlik.....	31
2.7.7 Hassas tarım	32
2.7.8 Bitki simülasyonu ve modelleme	32
2.7.9 Akıllı sulama yönetimi	33
2.7.10 Hayvan izleme ve yönetimi	33
2.7.11 Tedarik zinciri optimizasyonu	35
2.7.12 Sürdürülebilir tarım uygulamaları.....	37
2.7.13 İklim değişikliği ve uyum.....	38
2.7.14 Ürün kalitesi ve takip edilebilirlik	40
2.7.15 Uzaktan izleme ve otomasyon	40
2.7.16 Veriye dayalı karar verme.....	40
2.7.17 Özelleştirme ve ölçeklenebilirlik	41
2.7.18 İşbirliği ve bilgi paylaşımı.....	41
2.8 Otonom Araçlar	42
2.8.1 Otonom güdümlü araçlar	44
2.8.2 AGV uygulamaları	45
2.8.3 AGV türleri.....	47
2.8.4 AGV parçaları ve tasarımı	47
2.8.5 AGV kontrol türleri ve navigasyon.....	50
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	54
3.1 ROS ve URDF Kullanarak Robot Modeli Oluşturma	54
3.1.1 Katı modelin oluşturulması	54
3.1.2 Çalışma alanının oluşturulması	54
3.1.3 URDF dosyalarının oluşturulması	55
3.1.4 Başlatma dosyalarının oluşturulması	56
3.1.5 Dif drive kontrolörünü entegre etme.....	57
3.1.6 Robotu yönlendirme.....	58
3.2 Uygulama Örneği	58
3.2.1 Sulama sistemleri.....	59
3.2.2 LED bitki yetiştirme paneli	60
3.2.3 Lineer actuator	61

3.2.4 Yardımcı robot kol	62
3.2.5 Kontrol ünitesi	63
3.3 Model Sera ve Sistem Entegrasyonu	64
3.3.1 Sistem çalışma prensibi	67
3.3.2 Robot kol ve artırılmış gerçeklik	68
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	69
4.1. Model	70
4.2 Kısmen Entegre	70
4.3 Tam Entegre	71
4.4 Uygulamalar ve Kullanım Alanları	71
4.4.1 Bitki gelişiminde izleme, kaynak optimizasyonu ve yetiştirme desteği	71
4.4.2 Hayvancılıkta izleme, yönetim ve optimizasyon	74
4.4.3 Kentsel alanlarda kontrollü ortam ve aküaponik tarım	75
4.4.4 Ürün tasarımı, akıllı hizmetler ve makine yönetimi	78
4.4.5 Tedarik ve değer zinciri	79
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	81
KAYNAKLAR	83
EKLER	86
EK 1 Robot kol URDF kodları	87
EK 2 Model sera teknik resmi	95
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Santigrat derece
A	Amper
db(A)	Ses basınç seviyesi
gr	Gram
K	Kelvin
kg	Kilogram
L/dk	Akım hızı
mm	Milimetre
nm	Nanometre
PSI	İnç başına pound
VDC	Volt doğru akım
AI	Yapay Zeka
AM	Katmanlı İmalat
AGV	Otonom GÜdümlü Araçlar
AMR	Otonom Mobil Robotlar
AR	Artırılmış Gerçeklik
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik
CMS	İçerik Yönetim Sunucusu
CPS	Siber-Fiziksel Sistemler
DARPA	Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı
DM	Dijital Model
DR	Dijital Sunum
DS	Dijital Gölge
DT	Dijital İkiz
ERP	Kurumsal Kaynak Planlama
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
IoT	Nesnelerin İnterneti
LED	Işık Yayan Diyot
LIDAR	Işık Algılama ve Menzilleme
LoRaWAN (LPWAN)	Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı
MIMO	Çoklu Giriş-Çoklu Çıkış
MJ	Malzeme Jeti
MQTT	Mesaj Kuyruklama Telemetri Aktarımı
NHTSA	Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi
PAR	Fotosentetik Aktif Radyasyon
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PLM	Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi
QR	Hızlı Cevap

RFID
ROS
SLAM
URDF
UV
WLAN

Radyo-frekans Tanımlama
Robot İşletim Sistemi
Eşzamanlı Yerelleştirme ve Haritalama
Birleşik Robotik Açıklama Formatı
Ultraviyole
Kablosu Yerel Ağ



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Endüstri 4.0 üretim anlayışının bileşenleri.....	4
Şekil 2.2 Mars rover otonom keşif robotu.....	5
Şekil 2.3 Bulut bilişim mimarisi	9
Şekil 2.4 Katmanlı imalat yöntemleri.....	10
Şekil 2.5 Dijital Model (DM) ve Fiziki Nesne arasındaki veri transferi	15
Şekil 2.6 Ansys Fluent Modül'ü kullanılarak yapılan akışkanlar analizi	16
Şekil 2.7 AutoDesk AutoCad ile yapılmış alt yapı modellemesi	17
Şekil 2.8 DSS Catia ile yapılmış bir otomobil modellemesi	18
Şekil 2.9 DSS SolidWorks'de ray bakım arac modellemesi	19
Şekil 2.10 Rocky DEM'de taneciklerin modellemesi ve simülasyonu	19
Şekil 2.11 Dijital Gölge (DS) ve Fiziksel Nesne arasındaki veri transferi	21
Şekil 2.12 Dijital İkiz (DT) ve Fiziki Nesne arasındaki veri transferi.....	23
Şekil 2.13 Bentley Systems kullanılarak modellenmiş bir hava alınının DT'si	24
Şekil 2.14 Blender 3D kullanılarak modellemesi yapılmış bir tasarım	25
Şekil 2.15 Gazebo simülatöründe oluşturulan gerçek fabrika salonunun DT görünümü	26
Şekil 2.16 Rviz kullanarak tasarlanmış bir robot modellemesi	27
Şekil 2.17 Simio'da oluşturulan bir montaj sürecinin DT'si.....	28
Şekil 2.18 AGV tasarımında kullanılan standart parçalar	48
Şekil 3.1 Yağmurlama-sisleme başlıkları ve su pompası kiti.....	59
Şekil 3.2 Uygulama örneğinde kullanılan led bitki yetiştirme paneli.....	60
Şekil 3.3 Uygulama örneğinde kullanılan lineer actuator	61
Şekil 3.4 DOBOT Magician E6-Cobot (yardımcı robot kol)	62
Şekil 3.5 Siemens sera iklim kontrol ünitesi	63
Şekil 3.6 Model sera ve alt bileşenleri	65
Şekil 3.7 Robot kol Dijital Model (DM)'i.....	66
Şekil 3.8 Model sera çalışma prensibi.....	67
Şekil 3.9 Robot kol Dijital Model (DM) görüntüsü	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Diyaframlı su pompası çalışma parametreleri.....	59
Çizelge 3.2 Mars Hydro TS3000 LED bitki yetiştirme paneli teknik verileri.....	60
Çizelge 3.3 Lineer aktüatör teknik bilgileri.....	61
Çizelge 3.4 DOBOT Magician E6-Cobot teknik parametreleri	62



1. GİRİŞ

Tarımın kökenleri, insan medeniyetinin erken tarihine kadar izlenebilir ve günümüzde hala dünyanın en önemli sektörlerinden biri olarak sürdürülmektedir. Akademi ve endüstride "Tarım 4.0" veya "4. Tarım Devrimi"nin duyurulması, dijitalleşme, teknolojik ilerleme ve artan verimlilik fırsatları getirmiştir. Endüstri 4.0, üretim, tıp ve lojistik alanlarında önemli ilerlemelere ve dijitalleşme adımlarına yol açarken, bu devrimin avantajları henüz tam olarak tarımda gerçekleştirilmemiş olsa da dijitalleşme ile paydaşların yeni teknolojileri ve akıllı tarım, hassas tarım-hayvancılık gibi konseptleri kullanmalarıyla belirgin hale gelmektedir. Bugünün son derece rekabetçi pazarlarında, ürünlerin toplu özelleştirilmesi ve yazılım bileşenlerinin artan önemi yeni zorluklar sunarken, üretimde dijitalleşme, verimliliği artırmak için önemli bir fırsat olarak görülmektedir. Dijital teknolojiler, Endüstri 4.0 devrimiyle, atölye içindeki birbirleriyle iletişim kuran akıllı bileşenlerin sorunsuz entegrasyonunu mümkün kılmaktadır. Bu teknolojiler, cihazların ve siber fiziksel üretim unsurlarının ağ altyapıları üzerinden gerçek zamanlı olarak izlenmesine ve kontrol edilmesine olanak tanımakta ve böylece fiziksel dünyadan sanal dünyaya doğrudan bir entegrasyon ve senkronizasyon sağlamaktadır. Ortaya çıkan büyük veriler, simülasyon ve optimizasyon araçları tarafından işlenerek analiz edilmekte, değerlendirilmekte ve bu sayede gerçek zamanlı planlama için kullanılabilir hale gelmektedir. Birçok endüstri alanında henüz çok yeni fakat büyük potansiyele sahip olan, simülasyon tabanlı planlama ve optimizasyon unsurlarından biri olan Dijital İkiz (DT) kavramı üreticiler ve araştırmacıların yeni odak noktalarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dijitalleşmenin en önemli katkılarından biri olan IoT, tarımsal üretimde karşılaşılan zorlukları önemli ölçüde azaltmakta ve çiftçilerin güncel teknolojileri kullanarak üretimlerini anlık olarak takip edebilmesini mümkün kılmaktadır. Tez, üretim bilimi ve tarımsal üretim bağlamında Endüstri 4.0, Dijital İkiz (DT), Otonom Araçlar (AGV) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) kavramlarını ele almakta ve bu kavramların tarımsal üretim odağında uygulama alanları, bireysel vaka çalışmaları ve bilimsel çalışmalarda şu anda kullanılan kavramların genel entegrasyon seviyesi hakkında bütünsel bir bakış sunmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde, Endüstri 4.0, Dijital Model (DM), Dijital Gölge (DS) ve Dijital İkiz (DT) kavramlarının akademik ve teorik tanımı, farklı entegrasyon seviyeleri anlatılmakta ve kullanılan temel dijital teknolojilerin genel bir bakışı sunulmaktadır. Takip eden alt başlıklarda, dijital teknolojilerin vazgeçilmez unsurlarından olan Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) programlarının, Dijital Model (DM) ve Dijital İkiz (DT) kavramlarının tarımsal üretimdeki katkıları tartışılmakta ve iklim değişikliği üzerindeki olumlu etkileri anlatılmaktadır.

2.1 Endüstri 4.0

Birinci Endüstri Devrimi, 18. yüzyılın sonlarına doğru, buharlı motorun icadıyla gerçekleşmiştir. 20. yüzyılın başlarında Frederick Taylor tarafından geliştirilen ve elektrik enerjisi ile çalışan enerji hatları aracılığıyla kitlesel üretim mantığı ile İkinci Endüstri Devrimi'nin ana özelliği olarak belirtilmektedir (Ramsauer, C. 2013). 1969'da başlayan Üçüncü Endüstri Devrimi, Programlanabilir Mantık Denetleyicisi (PLC)'yi tanıtmakta ve dijital otomasyon sistemlerinin programlanmasını mümkün kılarak yeni üretim anlayışını perçinlemektedir. Programlama paradigmaları, modern otomasyon mühendislik sistemlerini yönetmekte ve son derece esnek ve verimli otomasyon sistemlerinin geliştirilmesine imkan tanımaktadır (Drath, R., vd. 2014). Fabrikalardaki gelişmiş tarama ve birden fazla teknolojinin birleşimi ile internet ve akıllı nesnelere etkileşimi endüstriyel yaşamda temel bir değişime yol açmaktadır. Üretimde akıllı cihazların, internetin ve dijital dünyanın birleştirilmesiyle ortaya çıkan bu üretim anlayışı ise Dördüncü Endüstri Devrimi veya Endüstri 4.0 olarak adlandırılmaktadır (Lasi, H., vd. 2014). Endüstri 4.0, endüstriyel üretimde dijital dönüşümün en son aşamasını temsil etmektedir. Bu kavram, otomasyon, veri değişimi, yapay zeka, büyük veri analizi ve diğer ileri teknolojilerin üretim süreçlerine ve endüstriyel işletmelere entegre edilmesini ifade etmektedir (Schwab, K. 2017). Endüstri 4.0, üretimde daha verimli, esnek ve rekabetçi hale gelmeyi hedeflemektedir. Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri arasında nesnelere interneti (IoT), bulut bilişim, otomasyon, büyük veri, veri

güvenliği, akıllı cihazlar ve akıllı sensörlerin yanı sıra, işletmeler için değerli ve kritik yeni teknolojiler yer almaktadır. Bu teknolojiler, üretim tesislerini daha akıllı hale getirerek ortaya çıkan tüm verilerin toplanmasını, analiz edilmesini ve kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Endüstri 4.0, birçok endüstride ve sektörde uygulanmakta ve aynı zamanda küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi konularda da iyileşmelere destek olmaktadır. Üretim süreçlerinin otomasyonu ve daha fazla veri toplama, işletmelerin daha iyi kararlar almasını ve üretimlerini optimize etmesini sağlamakta, artan müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verilmesini ve daha esnek üretim süreçlerinin planlanmasını mümkün kılmaktadır. Endüstri 4.0, endüstriyel üretimde dijital teknolojilerin benimsenmesini ve üretim süreçlerinin dönüşümünü destekleyerek, işletmelerin daha rekabetçi hale gelmesini ve geleceğe daha hazırlıklı bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Endüstri 4.0, endüstriyel dünyada büyük bir değişimi beraberinde getirmekte ve bu dönüşümün ortaya koyduğu birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlardan birkaçı; üretim süreçlerinin daha verimli hale gelmesi, akıllı üretim hatları ve otomasyon, hataların öngörü ve analizlere dayalı olarak azaltılması ve üretim süreçlerinin daha hızlı hale getirilmesiyle, nihai ürünlerin daha kısa sürede pazara sunulmasını sağlamaktadır. Ayrıca, Endüstri 4.0 anlayışı sayesinde üretim tesislerinin daha esnek hale gelmesi mümkün olmaktadır. Üretim hattının hızlı bir şekilde değiştirilebilmesi veya farklı ürünlerin aynı hatta üretilmesi, işletmelerin pazar taleplerine daha iyi yanıt vermesini sağlamakta, bu da müşteri memnuniyetini artırarak pazar payının oransal artışı olarak gerçekleşmektedir. Endüstri 4.0 aynı zamanda “Büyük Veri Analizi” ve “Yapay Zeka(AI)” kullanımını da içermektedir. Bu teknolojilerin benimsenmesiyle, üretim süreçlerinin daha iyi izlenmesi ve iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Örnek olarak, sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, makine arızalarını önceden tahmin etmeye yardımcı olabilmekte ve böylece bakım işlemleri daha öngörülebilir hale gelebilmektedir. Ancak, Endüstri 4.0'ın getirdiği avantajların yanı sıra bazı zorlukları da ortaya çıkarmaktadır. Bu zorlukların başında, üretim alanından toplanan verilerin güvenliği ve gizliliği konuları ön plana çıkmaktadır, çünkü fabrika ya da diğer üretim alanlarında daha fazla veri toplanmakta ve paylaşılmaktadır. Ayrıca, çalışan personelin bu yeni teknolojilere uyum sağlaması ve eğitilmesi gerekmektedir. Endüstri 4.0, endüstriyel üretimde büyük bir dönüşümü temsil etmekte ve işletmelere daha verimli, esnek ve rekabetçi olma fırsatı sunmaktadır (Bai, C. vd

2020). Şirketler, ekonomik şartlar ve rekabetçi pazar koşullarının her geçen gün zorlaşması sebebiyle, üretim yaptıkları alanlara daha fazla teknolojinin entegre edilmesi için yeni yatırımlar yapmaktadır. Bu durum, endüstri devriminin ortaya çıkmasıyla gözlemlenmekte ve bu da başta önemli üretkenlik artışları olmak üzere birçok avantaj getirmektedir. Endüstri 4.0'ın bir diğer önemli yönü de sürdürülebilirlik konusunda etkili çözümler geliştirerek, daha verimli üretim süreçleri, enerji ve kaynak kullanımını optimize etme olanağı sunmasıdır. Bu olanaklar sayesinde, çevre ve iklim üzerindeki olumsuz etkiler azaltılabilmekte ve yeşil üretim uygulamaları teşvik edilebilmektedir. Ayrıca, endüstriyel işletmeler, ürünlerinin yaşam döngüsünü daha iyi izleyerek geri dönüşüm ve atık azaltma çalışmaları geliştirilebilmektedir. Endüstri 4.0'ın üretim dünyasına etkisi sadece verimlilikle sınırlı kalmayıp aynı zamanda yeni üretim modellerinin ortaya çıkmasına da olanak tanımaktadır. Endüstri 4.0 kavramının temel bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Anonymous. 2024a).



Şekil 2.1 Endüstri 4.0 kavramının temel bileşenleri (Anonymous. 2024a)
(<https://www.calsoft.com/what-is-industry-4-0/>)

Örneğin, internet tabanlı üretim modelleri, ürünlerin yanı sıra hizmetlerin de sunulmasını mümkün kılmakta ve işletmelerin gelir kaynaklarını çeşitlendirmesine, daha geniş bir müşteri kitlesine ulaşmasına yardımcı olmaktadır. Ancak bu yeni

teknolojilerin benimsenmesi ve Endüstri 4.0 dönüşümünün başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için yatırım ve üretim anlayışında değişiklik gerektirmektedir. Hem altyapı hem de yetenek geliştirme açısından yatırım yapmak, işletmelerin bu dönüşüme hazır olmalarını sağlamaktadır. Ayrıca, endüstri standartlarının ve düzenlemelerinin gözden geçirilmesi ve güncellenmesi de önemlidir. Sonuç olarak, Endüstri 4.0, endüstriyel üretimde büyük bir dönüşümü temsil ederek işletmelere birçok avantaj sunmaktadır. Ancak bu dönüşümün başarılı olabilmesi için dikkatli planlama ve analiz gerekmektedir. Endüstri 4.0, işletmelerin rekabetçi kalmalarına ve geleceğe hazırlıklı olmalarına yardımcı olmaktadır (Schwab, K. 2017). Takip eden başlıklarda, bir işletmenin Endüstri 4.0 kavramına adaptasyonunu gerçekleştirebilmesi ve üretimini bu yönde iyileştirebilmesi için gerekli olan temel bileşenler açıklanmaktadır. Bu temel bileşenler arasında, özerk (otonom) robotlar, simülasyon, sistem entegrasyonu, nesnelerin internet (IoT), siber güvenlik, bulut bilişim, katmanlı imalat (AM), büyük veri ve artırılmış gerçeklik gibi teknolojiler bulunmaktadır. Teknolojinin sağladığı kazanımlar ve Endüstri 4.0 kavramının benimsenmesiyle, Dijital İkiz (DT) altyapısı ile üretim tanımlamalarının gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır.

2.1.1 Özerk (Otonom) robotlar

Özerk bir robot, kendi başına kararlar alabilen ve hareket edebilen bir robot türü olarak tanımlanmaktadır (Kober, J.. vd. 2013). Bu tür robotlar, çevrelerini algılamak ve bu bilgilere dayalı olarak görevlerini gerçekleştirmek için sensörler ve Yapay Zeka(AI) teknolojilerini kullanmaktadır. Özerk robotlar, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan, programlarına ve teknik yeterliliklerine göre belirli görevleri yerine getirebilmekte ve birçok farklı endüstri ve uygulama alanında kullanılmaktadır.



Şekil 2.2 Mars Rover otonom keşif robotu (Anonymous. 2024b)
(<https://mars.nasa.gov/mer/>)

Uzay sanayinin yanı sıra endüstriyel otomasyon, depo yönetimi, sağlık hizmetleri ve tarım gibi birçok alanda da özerk robotlar kullanılmaktadır. Bu robotlar, iş gücü verimliliğini artırarak, tehlikeli görevleri üstlenebilir ve insanların daha stratejik görevlere odaklanmasına yardımcı olabilmektedir. Bu nedenle, özerk robotlar, birçok endüstri ve uygulama alanında önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, uzay teknolojileri alanında, literatürde var olan ya da yeni keşfedilen gezegenlerde yapılması gereken inceleme ve örneklemelerde, insanın ulaşamayacağı tehlikeli koşullara dair ön görüş sahibi olabilmek adına otonom robotlardan faydalandığı görülmektedir. Şekil 2.2’de gösterilen Mars Rover özerk robotu, teknolojik gelişmeler ışığında en yüksek kabiliyetlere sahip olacak şekilde ve insan müdahalesi olmadan görevini yerini getirebilen özerk robot örneklerinden birisi olarak öne çıkmaktadır (Anonymous. 2024b).

2.1.2 Simülasyon

Simülasyon, gerçek dünya olaylarını veya süreçlerini bir model veya benzeri bir sistem aracılığıyla taklit etmek amacıyla kullanılan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (de Paula Ferreira, W., vd. 2020). Bu model, genellikle bilgisayar programları veya fiziksel cihazlar kullanılarak oluşturulur ve gerçek dünyadaki olayların sanal bir temsilini sunmaktadır. Simülasyon, birçok farklı alanda kullanılmakta olup endüstri, askeri, sağlık, ulaşım ve eğitim gibi birçok sektörde simülasyon uygulamaları bulunmaktadır . Örneğin, tıp eğitiminde cerrahi prosedürlerin simülasyonları gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, askeri eğitimde savaş senaryolarının simülasyonları kullanılarak askerlerin eğitimi gerçekleştirilmektedir. Simülasyonun temel amacı, belirli bir olayın veya sürecin nasıl çalıştığını anlamak, iyileştirmek veya eğitim amacıyla kullanarak, belirli bir coğrafya ya da fiziksel ortamı canlandırmaktır. Bu nedenle, birçok alanda kullanılan etkili bir araç olarak kabul edilmektedir.

2.1.3 Sistem entegrasyonu

Sistem entegrasyonu, farklı bileşenlerin veya alt sistemlerin bir araya getirilmesi ve uyumlu bir bütün oluşturulması süreçlerini belirlemektedir (Suri, K., vd. 2017). Bu bütün, genellikle bir organizasyonun veya bir sistemin daha etkili ve verimli çalışmasını sağlamak amacıyla farklı teknolojilerin veya iş süreçlerinin birleştirilmesini içermektedir. Sistem entegrasyonu, birçok endüstride yaygın olarak kullanılan bir kavramdır. Özellikle bilgi teknolojileri, üretim, otomasyon, ve lojistik gibi alanlarda sistem entegrasyonu büyük öneme sahiptir. İşletmeler, farklı yazılım uygulamalarını veya donanım bileşenlerini uyumlu bir şekilde entegre ederek daha etkili ve hızlı kararlar alabilmektedir. Sistem entegrasyonu, organizasyonların veri paylaşımını, süreçlerini iyileştirmeyi ve maliyetleri azaltmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, müşteri hizmetlerini iyileştirmek, verimliliği artırmak ve rekabet avantajı sağlamak için kullanılmaktadır. Sonuç olarak, sistem entegrasyonu, farklı bileşenlerin veya alt sistemlerin koordineli bir şekilde çalışabilmesini sağlayan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç, birçok endüstride verimliliği artırmak ve iş süreçlerini optimize etmek için kritik bir öneme sahip olmaktadır.

2.1.4 Nesnelerin interneti

Nesnelerin İnterneti (IoT), farklı cihazların, nesnelerin ve sistemlerin internet üzerinden birbirleriyle iletişim kurabildiği ve veri paylaşabildiği bir teknoloji kavramını ifade etmektedir (Okano, M. T. 2017). Bu sayede, fiziksel dünyadaki nesneler dijital bir ağ aracılığıyla birbiriyle bağlantılı hale gelmekte ve verileri paylaşabilmektedir. IoT, birçok farklı endüstri ve sektörde kullanılan bir teknoloji olup, özellikle akıllı evler, sağlık hizmetleri, enerji yönetimi, ulaşım ve sanayi gibi alanlarda büyük bir öneme sahiptir. Örneğin, akıllı evlerde IoT cihazları, aydınlatma, ısıtma, güvenlik sistemleri gibi ev sistemlerini uzaktan kontrol etmeyi mümkün kılmaktadır. Ayrıca, sağlık sektöründe IoT, hasta takibi, teşhis ve tedaviye yardımcı olacak verilerin toplanmasını ve paylaşılmasını sağlamaktadır. IoT'nin temel amacı, nesneler arasındaki iletişimi ve veri paylaşımını kolaylaştırarak verimliliği artırmaktadır. IoT aynı zamanda, daha fazla

bilgi ve veri toplanmasına olanak tanıyarak, işletmelerin doğru kararlar almasını ve hizmetlerini iyileştirilmesini sağlamaktadır.

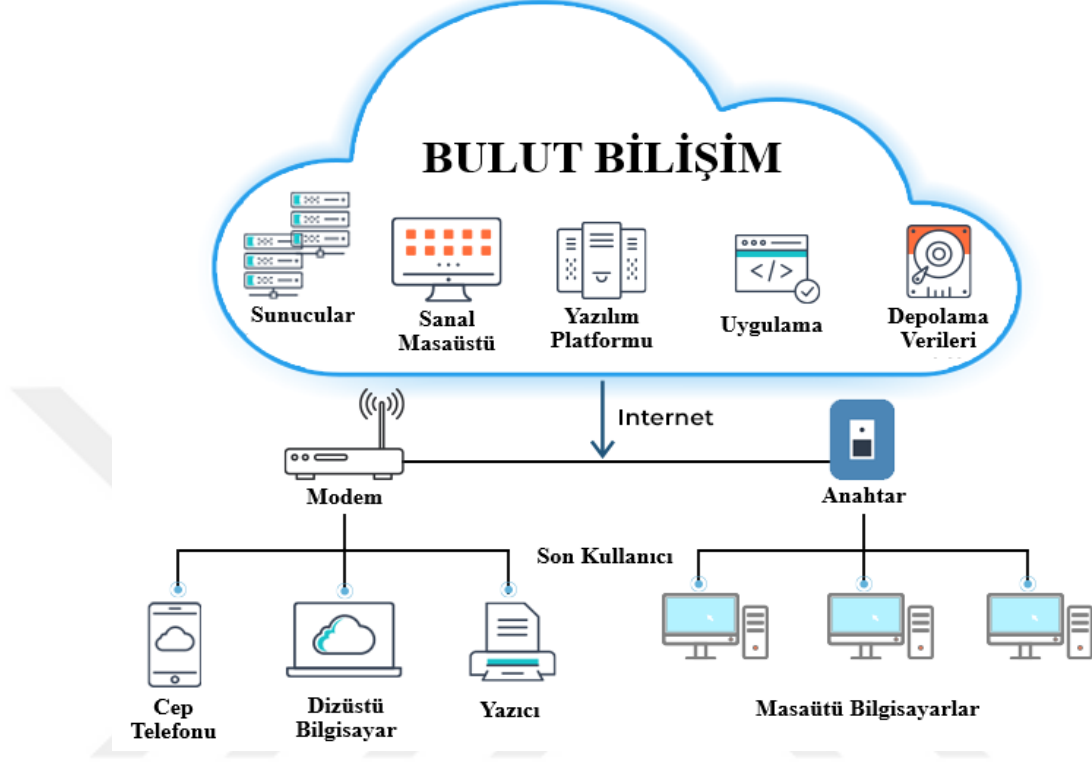
2.1.5 Siber güvenlik

Siber güvenlik, bilgisayar sistemleri, ağlar, cihazlar ve verileri siber tehditlere karşı koruma amacı taşıyan bir disiplin olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilgisayar korsanlarının, kötü amaçlı yazılımların ve diğer siber tehditlerin neden olduğu zararları önlemek veya sınırlamak için kullanılmaktadır. Siber güvenlik, bilgisayar sistemlerinin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini korumayı hedeflemektedir. Siber güvenlik, günümüz dijital çağında büyük bir öneme sahiptir çünkü internetin yaygınlaşması ve dijitalleşmenin artması, siber saldırıların artmasına neden olmaktadır. Kritik altyapılar, kişisel veriler, finansal bilgiler ve hükümet sırları gibi birçok değerli bilgi ve varlık, siber saldırıların hedefi olmaktadır. Bu nedenle siber güvenlik, kişisel, kurumsal ve ulusal güvenliği korumada hayati bir rol oynamaktadır (Lezzi, M., vd. 2018). Siber güvenlik, güçlü şifrelerin kullanılması, güvenilir güvenlik yazılımlarının ve güncellemelerin düzenli olarak yapılması, ağ trafiğinin izlenmesi ve güvence altına alınması gibi bir dizi önlemleri içermektedir. Ayrıca, e-postalara dikkat edilmesi, güvensiz web sitelerinden uzak durulması ve güvenilmeyen kaynaklardan yazılım indirilmemesi gibi güvenli internet kullanım alışkanlıkları geliştirilmesi de bu önemler arasında sayılmaktadır. Siber güvenlik, bilgi ve iletişim teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı çağımızda büyük bir gereklilik haline gelmiş ve bireylerden büyük şirketlere kadar herkesin bu konuda bilinçli olması gerekmektedir.

2.1.6 Bulut bilişim

Bulut bilişim, bilgisayar kaynaklarının (örneğin, sunucular, depolama, veritabanları, ağlar, yazılım) internet üzerinden sunulduğu ve paylaşıldığı bir bilgi teknolojileri modelini ifade etmektedir (Aceto, G., vd. 2020). Bu tanım, kullanıcıların belirli kaynaklara internet aracılığıyla erişim sağlamalarını ve ihtiyaçlarına göre kullanmalarını mümkün kılmaktadır. Şekil 2.3'te gösterilmekte olan bulut bilişim mimarisi,

kullanıcıların kendi altyapılarını kurma ve yönetme ihtiyacını azaltarak daha verimli ve maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır (Anonymous. 2024c).



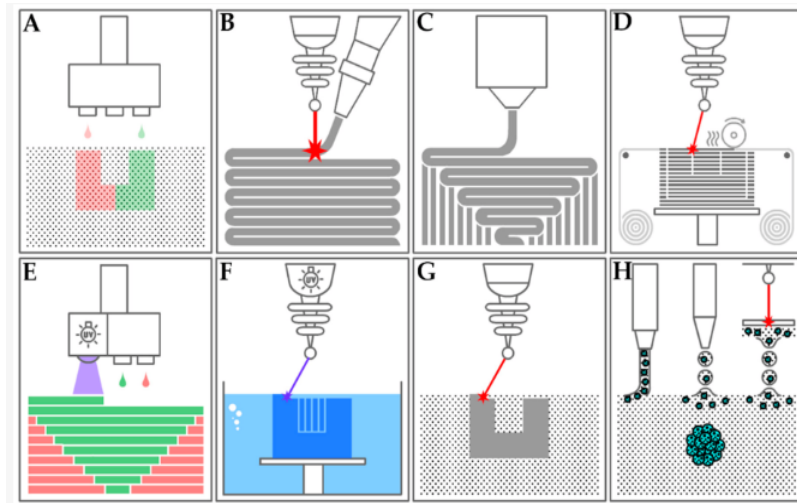
Şekil 2.3 Bulut bilişim mimarisi (Anonymous. 2024c)

<https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-cloud-computing/>

Bulut bilişim, işletmelere ve bireylere bir dizi avantaj sunmakta olup bunların başında, fiziksel sunucu ve donanım satın alma gereksinimini ortadan kaldırarak altyapı maliyetlerini azaltmaktadır. Ayrıca kullanıcılar, ihtiyaçlarına göre kaynakları kolayca ölçeklendirebilerek üretimde esnekli sağlamaktadır. Bulut hizmetleri ayrıca veri yedekleme ve iş sürekliliği için etkili bir çözüm sunmaktadır. Bulut bilişim, kullanıcılara internet bağlantısı üzerinden sunuculara uzaktan erişmesini sağlamaktadır. Bu sunucular, kullanıcıların verilerini saklamak, işlem yapmak ve uygulamalara erişim sağlamak için kullanılabilir. Kullanıcılar genellikle aylık veya yıllık bir hizmet ücreti ödeyerek, ihtiyaçlarına göre bulut hizmet sağlayıcısının sunucularından faydalanabilmektedir. Bu sunucular, kullanıcıların gereksinimlerine göre ölçeklenebilirlik gerçekleştirilmektedir. Bulut bilişim, günümüzde birçok kişi ve organizasyon için önemli bir teknoloji haline gelmiş ve veri depolama, işleme ve iş uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

2.1.7 Katmanlı imalat

Eklemeli üretim, ürünlerin katman katman oluşturulduğu bir üretim teknolojisi olarak tanımlanmaktadır (Pouyan A., vd 2019). Bu teknik, genellikle ürünün bilgisayar destekli tasarım (CAD) modeline dayalı olarak katmanlar halinde malzeme ekleyerek gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım, geleneksel üretim yöntemlerinden farklıdır, çünkü malzeme çıkarılması (talaş kaldırılması) gereksizdir katmanlar eklenmektedir. Eklemeli üretim, 3D yazıcılar gibi cihazlar aracılığıyla uygulanabilmektedir. Eklemeli üretim, ürün tasarımında büyük bir esneklik sağlar ve karmaşık geometrilerin ve tasarımların üretilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, ürünlerin özelleştirilmesine olanak tanıyarak kişiselleştirilmiş ürünlerin ve prototiplerin hızlı bir şekilde üretilmesini mümkün kılmaktadır. Eklemeli üretim, malzeme israfını azaltarak üretim süreçlerini daha sürdürülebilir hale getirmektedir. Tasarım, yazılım aracılığıyla kesirli katmanlara ayrılır ve her katman sırayla eklenmektedir. Bu ekleme, tasarımın katman katman fiziksel bir nesneye dönüşmesini sağlamaktadır. Farklı malzemeler, üç boyutlu yazıcıların özelliklerine göre kullanılabilir, bu da farklı uygulama alanlarına olanak tanımaktadır. Eklemeli üretim, endüstriyel tasarım, prototip üretimi, özelleştirilmiş ürünler ve sürdürülebilir üretim gibi birçok alanda kullanılan önemli bir üretim teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknoloji, ürün geliştirme ve üretim süreçlerini büyük ölçüde geliştirmekte ve daha verimli hale getirmektedir.



Şekil 2.4 Katmanlı imalat yöntemleri
(<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/8/1713>)

Şekil 2.4'te Katmanlı üretimin (AM) türleri gösterilmektedir. (A) Bağlayıcı püskürtme; bir sıvı bağlayıcı ve bir tozun belirli bir bölgeye aynı anda püskürtülerek oluşturulan katmanlı üretim yöntemidir; ek toz ve sıvı, bir önceki katmanın üstüne ilave edilerek işlem tekrarlanmaktadır. (B) Yönlendirilmiş enerji biriktirme; bir lazer, metal eritilirken bir nozuldan çıkar ve metali eriterek katmanlar oluşturmaktadır. (C) Malzeme ekstrüzyonu; erimiş termoplastikler bir nozul aracılığıyla dökülür ve hızla soğutulurak yeni katmanlar oluşturulmaktadır. (D) Levha laminasyonu; bir malzeme levhası, bir bıçak veya lazerle boyutuna kesilir, ardından yapıştırıcı ile bir sonraki levha eklenir ve katmanları birleştirmek için ısı uygulanarak üretim gerçekleştirilmektedir. (E) Malzeme püskürtme; bir katman sıvı reçine (genellikle UV ışığı ile) sertleştirilmeden önce püskürtülerek bir sonraki katmana geçilmektedir. (F) Stereolitografi; baskı yatağı belli bir mesafe ile bir sıvı reçine havuzuna indirilmekte ve ardından UV ile sertleştirilerek, baskı yatağı, reçine içinden katman katman yukarıya doğru hareket ederek yeni katmanların üretilmesini mümkün kılmaktadır. (G) Toz yatağı füzyonu; bir toz katmanı (genellikle metal) baskı yatağının üzerine yayılır ve ardından bir lazerle eritilerek yeni katmanlar oluşturulmaktadır. Baskı yatağı aşağı doğru hareket ederek, sertleşmiş katmanın üzerine bir sonraki toz katmanı yayar ve işlem sürekli olarak tekrarlanmaktadır. (H) Ekstrüzyon biyoyazıcı; malzeme ekstrüzyonuna benzer şekilde, bir biyomürekkep (hücrelerin ve taşıyıcı malzemenin karışımı) bir nozul veya iğne aracılığıyla katman katman dökülür, ardından çapraz bağlama veya sertleştirme yapılmaktadır. Mürekkep püskürtmeli biyoyazıcı, biyomürekkebin, pikolitre büyüklüğünde damlacıklarını baskı yatağına yerleştirerek bu damlacıkların elyaflara dönüşmesi beklenmektedir. Bu işlem, yeni elyaf katmanlarının oluşmasını sağlayarak, üretimi yapılan nesnenin nihai fiziki formu tamamlanıncaya kadar devam etmektedir (Pouyan A., vd 2019).

2.1.8 Büyük veri

Büyük veri, büyük hacimlerde, yüksek hızda ve çok çeşitli verilerin toplandığı, işlendiği ve depolandığı bir veri türünü ifade etmektedir (Aceto, G., vd. 2020). Bu veriler genellikle geleneksel veritabanları veya analiz araçları kullanılarak işlenemeyecek kadar büyük veya karmaşık olabilmektedir. Büyük veri, genellikle "3V" olarak adlandırılan hacim, hız ve çeşitlilik özelliklerini içermektedir. Büyük veri, işletmeler ve kurumlar için önemlidir, çünkü bu veriler değerli içgörüler sunmaktadır. Büyük verinin analizi, pazar trendlerini, müşteri tercihlerini, operasyonel verimliliği ve daha fazlasını anlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca, büyük veri analizi, hızlı kararlar almayı ve işletmelerin rekabet avantajını artırmayı mümkün kılmaktadır. Örneğin, sağlık sektöründe büyük veri analizi, hastalık taraması ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Büyük verinin işlenmesi için genellikle özel yazılım araçları ve altyapılar kullanılmaktadır. Bu araçlar, büyük veriyi saklamak, analiz etmek ve sonuçları görselleştirmek için kolaylık sağlamaktadır. Büyük verinin analizi için farklı yöntemler ve algoritmalar kullanılabilir ve özelleştirilebilme imkanı, işletmenin veya organizasyonun amaçlarına göre amacına hizmet edecek şekilde tasarlanmaktadır. Büyük veri, günümüzün veri odaklı dünyasında işletmelerin ve organizasyonların rekabet avantajını artırmak ve daha iyi kararlar almak için önemli bir kaynaktır. Büyük verinin doğru bir şekilde işlenmesi ve analiz edilmesi, organizasyonların başarılı olmalarına yardımcı olmaktadır.

2.1.9 Artırılmış gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (AR), fiziksel dünya ile sanal dünyanın birleştirildiği bir teknoloji konseptini ifade etmektedir (Reljić, V., vd. 2021). Bu teknoloji, gerçek dünyayı görsel veya işitsel olarak zenginleştiren dijital bilgileri eklemektedir. Kullanıcılar, artırılmış gerçeklik uygulamalarını kullanarak fiziksel çevrelerindeki nesnelere üzerine ekstra bilgileri veya görselleri görebilmektedir. Artırılmış gerçeklik, birçok farklı endüstri ve uygulama alanında önemli bir role sahiptir ve özellikle eğitim, eğlence, sağlık, endüstriyel tasarım ve perakende gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Artırılmış gerçeklik,

kullanıcı deneyimini zenginleştirmenin yanı sıra, iş süreçlerini iyileştirmeye, öğrenmeyi kolaylaştırmaya ve etkileşimi artırmaya yardımcı olmaktadır. Artırılmış gerçeklik, genellikle akıllı telefonlar, tabletler, gözlükler veya özel AR cihazları gibi araçlarla kullanılmaktadır. Kullanıcı, bu cihazları kullanarak fiziksel dünyayı tarayarak ve ekstra bilgileri veya dijital nesnelere gerçek dünyaya eklemektedir. Bu eklentiler, bir AR uygulaması veya cihaz aracılığıyla yapılmaktadır. Örneğin, bir perakende mağazasında AR uygulamasını kullanarak bir ürünün üzerine telefonla tıkladığınızda, ürünün özellikleri ve fiyatı hakkında ek bilgilere erişilebilmektedir. Artırılmış gerçeklik, dijital dünya ile fiziksel dünyanın etkileştiği, yenilikçi bir teknoloji olarak birçok farklı alanda büyük öneme sahip olmaktadır. Bu teknoloji, işletmelerin ve kullanıcıların daha etkili ve zengin deneyimler elde etmelerine olanak tanımaktadır.

2.2 Dijital Temsil

Dijital Temsil (DR), gerçek dünyadaki nesnelere veya olguların, dijital bir formatta bilgisayarlar veya diğer dijital cihazlar tarafından temsil edilmesini ifade etmektedir (Kritzinger, W., vd. 2018). Bu temsil, nesnelere özelliklerini, ilişkilerini ve davranışlarını dijital olarak yakalamayı içermektedir. Dijital Temsil (DR), bilgisayar grafikleri, veri madenciliği, yapay zeka ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Dijital Temsil (DR), bilgisayar sistemlerinin dünyayı anlamasına ve etkileşimde bulunmasına olanak tanımaktadır. Bu olanaklar ile, otomasyon, veri analizi, simülasyon ve karar destek sistemleri gibi birçok uygulamada kritik bir rol oynayarak ekonomik anlamda önemli kazançlar sağlanmaktadır. Özellikle yapay zeka ve veri bilimi gibi teknolojiler, Dijital Temsil (DR)'i kullanarak karmaşık problemleri çözmek ve yeni bilgiler elde etmek için büyük miktarda veriyi işlemektedir. Dijital Temsil (DR), genellikle nesnelere özelliklerini ve ilişkilerini tanımlayan veri yapıları veya modeller aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Örneğin parametreleri doğru tanımlanmış bir 3D model, tasarımı yapılan nesnenin boyutlarını ve şeklini dijital olarak temsil etmektedir. Veri madenciliği, büyük veri kümelerini Dijital Temsil (DR) kullanarak analiz eder ve veri kalıplarını keşfetmektedir.

Dijital Temsil (DR), dijital çağın vazgeçilmez bir parçasıdır ve birçok teknoloji alanında kullanılmaktadır. Bu teknoloji, bilgisayarların gerçek dünyayı anlamasına, analiz etmesine ve daha etkili bir şekilde işlemesine olanak tanımaktadır. Dijital Temsil (DR)'in önemi, birçok alanda giderek artmaktadır ve özellikle yapay zeka, büyük veri analizi, otonom sistemler, sanal gerçeklik ve benzeri teknolojiler, Dijital Temsil (DR) kullanarak daha karmaşık ve zengin deneyimler sunmaktadır. Örneğin, sağlık sektöründe hasta kayıtlarının Dijital Temsil (DR)'i, hızlı ve doğru teşhislerin konulmasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda, Dijital Temsil (DR), karmaşık makinelerin ve otonom robotların çevrelerini anlamalarına ve etkileşimde bulunmalarına yardımcı olmaktadır. Dijital Temsil (DR) diğer yandan sanat ve eğlence dünyasında da büyük bir rol oynamaktadır. Bilgisayar grafikleri, dijital sanat eserleri ve sanal dünya oyunları gibi yaratıcı alanlarda, Dijital Temsil (DR)'in kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu teknolojik yaygınlaşma, sanatçılara ve yaratıcılara daha büyük bir ifade özgürlüğü ve yeni medya türlerinin keşfi konusunda olanak tanımaktadır. Ancak Dijital Temsil (DR)'in kullanımıyla birlikte önemli etik ve güvenlik sorunları da gündeme gelmektedir. Kişisel verilerin Dijital Temsil (DR)'i, gizlilik endişelerini beraberinde getirmekte ve bu konuda sıkı düzenlemeler gerekmektedir. Sonuç olarak, Dijital Temsil (DR), modern teknolojinin temel bir unsuru olmuş ve birçok alanda büyük bir etki yaratmaktadır. Bu yenilikçi etki, bilgisayarların dünyayı anlamasını, işlemesini ve insanlarla etkileşimde bulunmasını mümkün kılmaktadır. Ancak bu teknolojinin de etik ve güvenlik sorunlarına dikkat edilmesi gerekmektedir (Kritzinger, W., vd. 2018).

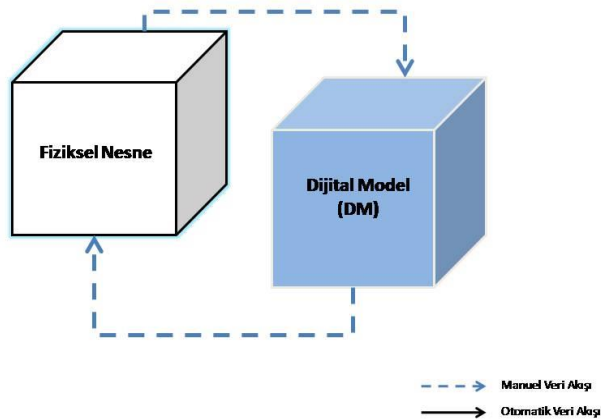
2.3 Entegrasyon Seviyeleri

Herhangi bir bağlamdaki Dijital Temsil (DR) tanımları temel alındığında, Dijital Temsil (DR)'lerin genel bir anlayışını, fiziksel nesnelere dijital karşılıkları olarak tanımlamak mümkün olmaktadır. Bu tanımlar içinde var olan terimlerden, Dijital Model (DM), Dijital Gölge (DS) ve Dijital İkiz (DT) sıklıkla eşanlamlı olarak kullanılmaktadır. Ancak, verilerin fiziksel ve dijital karşılık arasındaki entegrasyon seviyesi açısından işleme şekli ve aktarımı farklılık göstermektedir. Bazı Dijital Temsil (DR)'lerde

manuel olarak modelleme yapılır ve var olan hiçbir fiziksel nesne ile bağlantılı değildir, diğerleri ise gerçek zamanlı veri alışverişi ile tam entegre edilmektedir. Bu nedenle yazarlar, Dijital Temsil (DR)'leri veri entegrasyon seviyelerine göre üç alt kategoriye ayırmayı önermektedirler (Kritzinger, W., vd. 2018).

2.4 Dijital Model

Bir Dijital Model (DM), fiziksel bir nesnenin mevcut veya planlanmış bir Dijital Temsil (DR)'idir ve fiziksel nesne ile dijital nesne arasında otomatik veri değişimi türünü kullanmamaktadır. Dijital Model (DM), fiziksel nesnenin daha az veya daha fazla kapsamlı bir açıklamasını içermektedir. Bu modeller, planlanmış fabrikaların simülasyonları, yeni ürünlerin matematiksel modelleri veya otomatik veri entegrasyonu türünü kullanmayan fiziksel bir nesnenin herhangi bir modelini içerebilir, mevcut fiziksel sistemlerin dijital veri modellerini geliştirmede de kullanılabilir, fakat tüm veri alış-verişi manuel bir şekilde yapılmaktadır. Fiziksel nesnenin durumundaki bir değişiklik, dijital nesne üzerinde doğrudan bir etkiye sahip değildir ve aynı şekilde dijital nesnenin durumundaki bir değişiklik de fiziksel nesne üzerinde doğrudan bir etkiye sahip değildir (Kritzinger, W., vd. 2018). Fiziksel nesne ve model arasındaki entegrasyon seviyesi ve veri akışı Şekil 2.5'de gösterilmektedir.



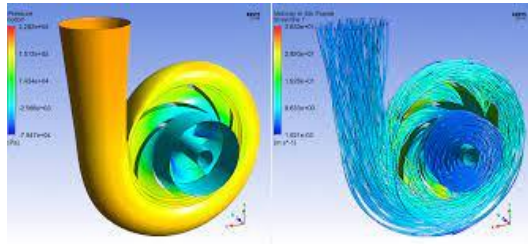
Şekil 2.5 Dijital Model (DM) ve fiziksel nesne arasındaki veri transferi

Bu alanda kullanılmakta olan bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları, modellemelerin yapılabilmesi için kolaylık sağlamaktadır. Bahsedilen modellemeleri gerçekleştirebilmek için gerekli olan bilgisayar destekli programlardan (CAD) birkaçı aşağıda tanımlanmaktadır.

2.4.1 Ansys

Ansys, mühendislik alanlarında kullanılan bir tasarım, analiz ve simülasyon yazılımıdır. Ürünlerin tasarım aşamasında veya sadece analiz, simülasyon aşamalarında kullanılır ve prototip üretilmeden önce, sanal ortamda birçok analiz modülünü kullanarak test imkanı tanımaktadır. Parçaların veya parça montajlarının üç boyutlu simülasyonları ve analizleri yardımıyla, ürünün mukavemet, mekanik, titreşim gibi yönlerden incelenmesini sağlayarak tasarımı geliştirmeye yardımcı olmaktadır. Ansys sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir yazılımdır. Şekil 2.6'da gösterilen ve Ansys'de incelenmekte olan parça, birçok küçük elemana bölünerek işlemler sürdürülmekte ve talep edilen analizlerin sonuçları simüle edilmektedir. Ansys'de kullanılan bazı "Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analiz (FEA)" paketleri aşağıda sıralanmaktadır (Anonymous. 2024d).

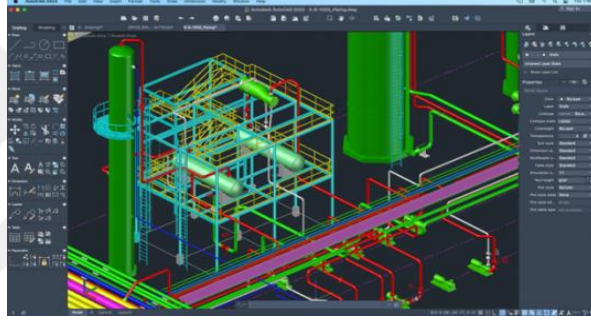
- Stres analizi
- Termal analiz
- Aerodinamik analiz
- Kinematik analiz
- Akışkanlar analizi
- Çarpışma analizi



Şekil 2.6 Ansys Fluent Modül'ü kullanılarak yapılan akışkanlar analizi (Anonymous. 2024d)
(<https://cf.ninja/ansys-fluent/ansys-fluent-centrifugal-pump/>)

2.4.2 AutoDesk AutoCad

Autodesk, endüstriyel kullanıma dönük profesyonel yazılımlar geliştiren bir ABD firmasıdır. Dünyada en çok kullanılan endüstriyel amaçlı yazılımları portföyünde bulundurmakla birlikte en çok yazılım kodu üreten firmaların başında olmasıyla da tanınmaktadır. En çok kullanılan yazılım paketi AutoCad olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün yelpazesi oldukça geniş olup inşaat, makine, endüstri, mimari ve sinema sektörlerine yönelik de program-paket ürünleri sunulmaktadır. Şekil 2.7’de AutoCad ile modellenmiş olan bir üretim tesisinin altyapı sistemleri gösterilmektedir (Anonim. 2024a).

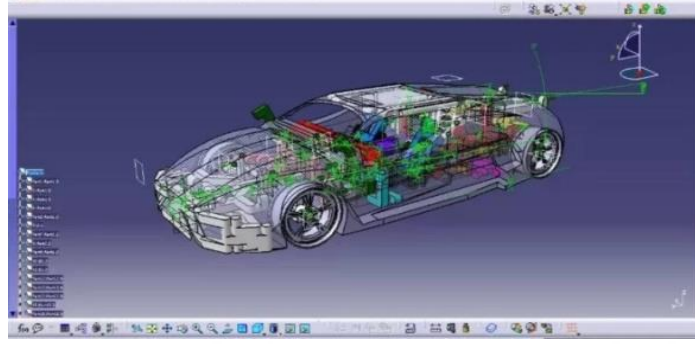


Şekil 2.7 AutoDesk AutoCad ile yapılmış alt yapı modellemesi (Anonim. 2024a).
(<https://www.cadprogramlari.com/autocad-alternatifi-programlar/>)

2.4.3 DSS Catia

Fransızca’da “Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée”, Türkçe karşılığı “Eşgüdümlü Üç Boyutlu Etkileşimli Uygulama” anlamlarına gelen, Fransız Dassault Systèmes şirketi tarafından geliştirilen ve IBM tarafından pazarlanan bir profesyonel yazılım sürümüdür. Dassault Systèmes firmasının, Ürün Yaşam Döngüsü (PLM) için sunduğu çözümlerinin temel ögesidir. Dassault Aviation'ın 1977 yılında firma içi kullanım amacıyla geliştirilmeye başladığı yazılım, 1981'de Dassault Systèmes'in geliştirme ve bakım, IBM'in ise pazarlamasını gerçekleştirdiği bir ürüne dönüşmüştür. DSS Catia, çoğunlukla uzay ve havacılık, gemi inşaatı ve otomotiv sektörü firmaları tarafından kullanılmaktadır. DSS Catia, CAD/CAE alanında

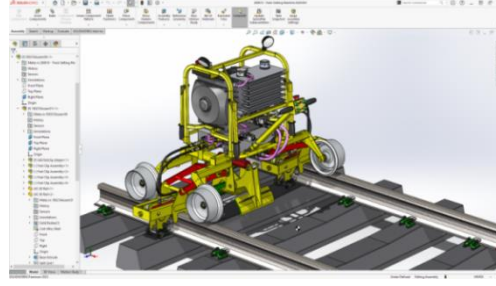
SolidWorks, Ansys gibi yazılımlarla rekabet etmektedir. Şekil 2.8’de DSS Catia ile modellenmiş olan bir otomobilin entegre elemanları ve sistemleri gösterilmektedir (Anonymous. 2024e).



Şekil 2.8 DSS Catia ile yapılmış bir otomobil modellemesi (Anonymous. 2024e)
(<https://diyguru.org/p/catia-computer-aided-design-and-drafting/>)

2.4.4 DSS SolidWorks

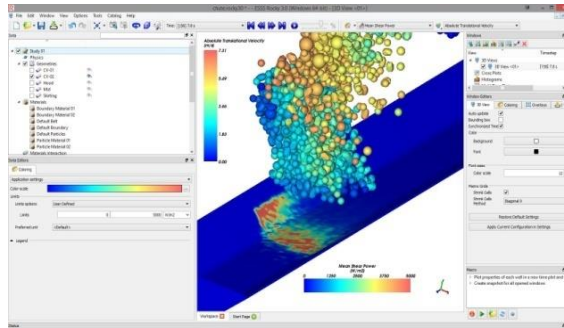
SolidWorks Corporation 1993 yılında Jon Hirschtick tarafından Concord, Massachusetts’te kurulmuştur. Yazılımın ilk versiyonunu 1995’te piyasaya çıkarıldıktan sonra 1997 yılında Dassault Systemes’a satılmıştır. Microsoft Windows'a entegre edilen ilk üç boyutlu katı modelleme (CAD) yazılımıdır ve imalat sektöründe en yaygın kullanılan yazılımlardan bir diğeri olarak sektörde yerini almaktadır. Birçok üniversite, meslek yüksek okulu ve teknik lisede eğitimi verilmektedir. AutoCad kullanıcılarının çoğu, iki boyutlu çizimden üç boyutlu çizime geçiş için SolidWorks'ü tercih etmektedir. Bunun sebebi AutoCAD dosyaları ile en uyumlu CAD yazılımının SolidWorks olmasıdır. SolidWorks, makine, mobilya, plastik/sac kalıpcılığı, otomasyon, mekatronik, endüstriyel ürün tasarımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca, Ansys kadar kapsamlı analiz modülleri içermese de çeşitli fiziksel analizlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 2.9’da DSS SolidWorks ile modellenmiş olan bir ray işletme makinesinin raylar üzerindeki konumu ve entegre elemanları gösterilmektedir (Anonim. 2024b).



Şekil 2.9 DSS SolidWorks’de ray bakım arac modellemesi (Anonim. 2024b)
(<https://blog.armadayazilim.com/2022/10/28/solidworks-2023-satin-almaya-deger-mi/>)

2.4.5 Rocky DEM

Rocky DEM, dökme malzemelerin akış davranışını, karmaşık parçacık şekilleri ve boyut dağılımları ile hızlı ve doğru bir şekilde simüle etmek için kullanılan Brezilya menşeli ESSS firmasının bir yazılımıdır. Ağır ekipman imalat endüstrisinde, dökme malzemelerin davranışını benzersiz şekilde simüle ve analiz etmektedir. Transfer kanalları, besleyiciler, değirmenler ve kırıcılar, Rocky DEM’in kabiliyetleri kullanılarak analiz ve optimize edilebilen dökme malzeme taşıma ekipmanlarından sadece birkaçıdır. Süreç ekipmanlarında işlem verimliliğini artırmak için Rocky DEM, ilaçlardan gıdaya ve özel kimyasallardan biyo-yakıtlara kadar herşeyi geliştirmek için kullanılmaktadır. Tarım alet ve ekipmanlarını parçacık simülasyonu kullanarak test etmek ve tarımsal proseslerin verimliliğini arttırmak için kullanılmaktadır. Şekil 2.10’da Rocky DEM ile modellenmiş olan taneli yapıda malzemenin akış simülasyonu gösterilmektedir (Anonymous. 2024f).

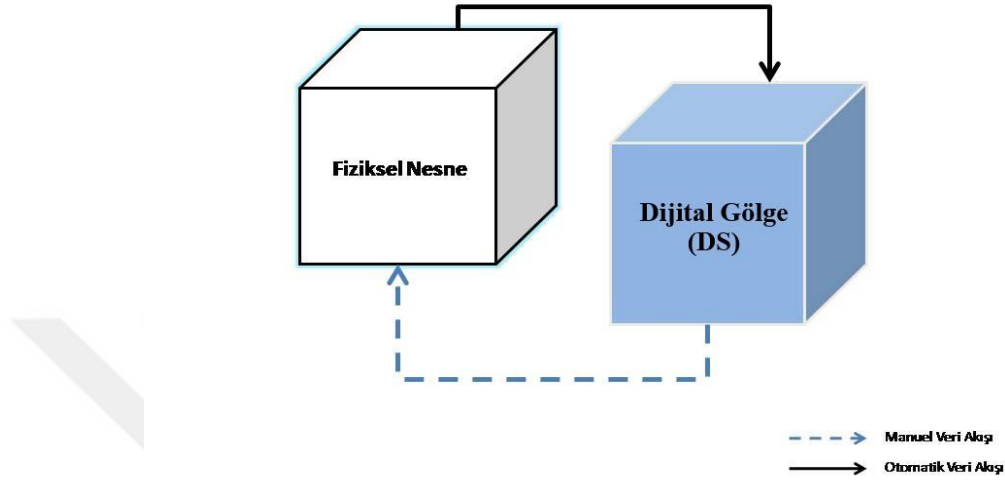


Şekil 2.10 Rocky DEM’de taneçiklerin modellemesi ve simülasyonu (Anonymous. 2024f)
(<https://www.finiteelementanalysis.com.au/featured/dem-to-fea-coupling-rocky-and-ansys-part-1/>)

2.5 Dijital Gölge

Dijital Gölge (DS), bir bireyin ya da cihazın çevrimiçi varlığının, internet üzerindeki izlerinin ve dijital faaliyetlerinin bir koleksiyonunu ifade etmektedir (Kritzinger, W., vd. 2018). Bu faaliyetler, kişinin ya da cihazın çevrimiçi platformlarda bıraktığı veriler, etkileşimler, sosyal medya paylaşımları, çevrimiçi alışveriş geçmişi ve daha fazlasını içermektedir. Dijital Gölge (DS), bir bireyin ya da cihazın çevrimiçi kimliğini, tercihlerini ve davranışlarını yansıtmaktadır. Mühendislik bağlamında Dijital Gölge (DS), fiziksel bir nesnenin veya sistemin, gerçek dünyadaki fiziksel özelliklerinin ve davranışlarının, dijital bir model veya simülasyon aracılığıyla tam ve hassas bir şekilde yansıtılmasıyla ilgilenmektedir. Bu, mühendislik projelerinde gerçek dünya prototipleri oluşturmadan önce tasarımın ve performansın sanal olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Dijital Gölge (DS), mühendislik tasarımı, prototipleme ve test aşamalarında büyük öneme sahiptir. Dijital Gölge (DS), mühendislerin tasarımlarını iyileştirmelerine ve optimize etmelerine yardımcı olmaktadır. Fiziksel prototiplerin inşa edilmesi ve test edilmesi maliyetli ve zaman alıcı olmakta ve bu noktada Dijital Gölge (DS), mühendislerin tasarım hatalarını erken aşamalarda tespit etmelerine, ürünlerin performansını önceden değerlendirmelerine ve daha hızlı ürün geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Dijital Gölge (DS) oluşturmak için, bir nesnenin veya sistemin fiziksel özelliklerinin (boyut, malzeme, ağırlık, akışkan dinamiği vb.) ve davranışlarının (hareket, sıcaklık değişimi, stres analizi vb.) sanal bir modeli veya simülasyonu oluşturulması gerekmektedir.. Bu model, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları veya mühendislik simülasyon araçları aracılığıyla tasarlanabilmektedir. Model oluşturulduktan sonra, bu Dijital Gölge (DS), farklı senaryolarda test edilebilir ve optimize edilmektedir. Mühendislik bağlamında Dijital Gölge (DS), tasarım ve ürün geliştirme süreçlerini daha verimli ve etkili hale getiren bir teknoloji olarak önemli bir rol oynamaktadır. Bu etkinlik ve öngörü kabiliyeti, mühendislerin karmaşık sistemleri daha iyi anlamalarına ve daha iyi ürünler geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. Dijital Model (DM) tanımına dayalı olarak, mevcut bir fiziksel nesnenin durumu ile bir dijital nesne arasında otomatik bir yönlü veri akışı varsa, böyle bir kombinasyona Dijital Gölge (DS) olarak atıfta bulunmaktadır. Şekil 2.11'de gösterilmekte olan koşullarda,

fiziksel nesnenin durumundaki bir değişiklik, dijital nesnenin durumunda bir değişikliğe yol açmaktadır, ancak tersi geçerli değildir (Kritzinger, W., vd. 2018).

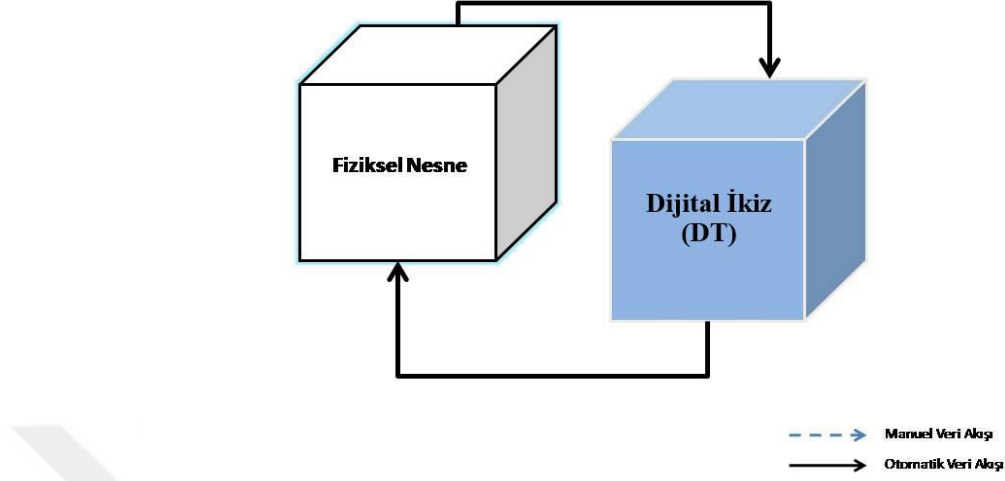


Şekil 2.11 Dijital Gölge (DS) ve fiziksel nesne arasındaki veri transferi

2.6 Dijital İkiz

Fiziksel ikizler uzun bir süredir var olmasına rağmen, günümüzde Dijital İkiz (DT) olarak bilinen kavramın ilk tanımı 2002 yılında Michael Grieves tarafından yapılmaktadır (Kritzinger, W., vd. 2018). Bu tanım, ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM) ile ilgili bir endüstri sunumu bağlamında yapılmaktadır. Orijinal formundaki Dijital İkiz (DT), fiziksel bir sistem hakkında dijital bir bilgi yapısı olarak tanımlanır, bağımsız bir varlık olarak oluşturulur ve ilgili fiziksel sistemle bağlantılıdır. Dijital Temsil (DR), gerçek dünyada detaylı bir incelemeden potansiyel olarak elde edilebilecek sistem varlığıyla ilgili tüm bilgileri içermektedir. Dijital İkiz (DT), gerçek dünyadaki bir fiziksel varlığın veya sistemin dijital bir temsilinin oluşturulduğu bir mühendislik kavramını ifade etmektedir. Bu kavram, gerçek nesnenin veya sistemin özelliklerini, davranışlarını ve işleyişini her aşamasıyla anlık olarak yansıtmaktadır. DT, mühendislerin gerçek dünyadaki nesnelerin veya sistemlerin performansını daha iyi anlamalarına ve optimize etmelerine yardımcı olmaktadır. Bu yenilik, endüstriyel tasarım, üretim, bakım, ve hatta yaşam döngüsü yönetimi gibi birçok mühendislik

alanında kullanılmaktadır. Dijital İkiz (DT) , mühendislerin daha iyi tasarım kararları almasına, ürün veya sistem performansını önceden değerlendirmesine ve hataları erken aşamalarda tespit etmesine yardımcı olmaktadır. Bu, ürün geliştirme süreçlerini hızlandırarak aynı zamanda maliyetleri azaltmaktadır. Ayrıca, Dijital İkiz (DT) ler, bakım ve onarım süreçlerinin daha etkili hale getirilmesine olanak tanımaktadır (Jones ve Brown, 2019). Bu model, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları, simülasyon araçları ve veri toplama teknolojileri aracılığıyla oluşturulmaktadır. Dijital İkiz (DT) , gerçek dünya nesnesinin veya sisteminin tüm yaşam döngüsü boyunca güncel olarak güncellenir ve izlenir (Anderson ve Smith, 2020). Ayrıca, Dijital İkiz (DT)'ler, endüstri 4.0 ve Internet of Things (IoT) gibi diğer dijital teknolojilerle entegre edilebilmektedir. Bu, büyük veri analizi ve yapay zeka kullanarak daha karmaşık analizlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Örneğin, bir endüstriyel tesisin Dijital İkiz (DT)'i, tesisin enerji verimliliğini artırmak için tasarım değişikliklerini simüle edebilir veya üretim hattındaki arızaları tahmin edebilmektedir. Ancak Dijital İkiz (DT) lerin oluşturulması ve yönetilmesi karmaşık ve maliyetli olabilir. Ayrıca, veri güvenliği ve gizliliği konularına dikkat edilmelidir, çünkü Dijital İkiz (DT)'ler gerçek dünya nesnelere veya sistemleri hakkında hassas bilgilere sahip olmaları sebebi ile güvenlik yazılımlarıyla korunmalıdır. Sonuç olarak, Dijital İkiz (DT)'ler mühendislik dünyasında inovasyonu teşvik eden ve karmaşık sistemlerin daha iyi anlaşılmasını sağlayan önemli bir araçtır. Bu kavram, endüstriyel tasarım, ürün geliştirme ve bakım alanlarında büyük bir rol oynamaktadır ve mühendislerin daha iyi kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Dijital Model (DM) tanımına dayalı olarak, mevcut bir fiziksel nesnenin durumu ile dijital nesne arasında otomatik iki yönlü veri akışı varsa, böyle bir kombinasyona Dijital İkiz (DT) olarak atıfta bulunmaktadır. Şekil 2.12'de gösterilmekte olan koşullarda Fiziksel nesnenin durumundaki bir değişiklik, dijital nesnenin durumunda bir değişikliğe yol açmaktadır, ve tersi de geçerli olmaktadır (Kritzinger, W., vd. 2018).



Şekil 2.12 Dijital İkiz (DT) ve fiziksel nesne arasındaki veri transferi

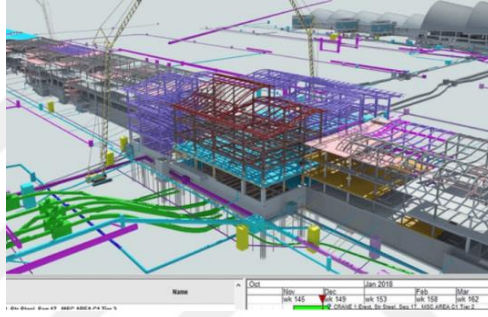
Dijital İkiz (DT) yaratmak ve süreçleri yönetebilmek için kullanılan bilgisayar programları, Dijital Model (DM) ve Dijital Gölge (DS) oluşturmak için gereken programlarla çeşitli benzerlik gösterebilir de simülasyon ve analiz yöntemleri düşünüldüğünde , tamamiyle amaca yönelik programlar olarak kullanılmaktadırlar. Dijital İkiz (DT) yaratmak için kullanılan bazı programlar, takip eden bölümlerde açıklanmaktadır.

2.6.1 Autodesk Fusion 360

Autodesk, çeşitli bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları üreten bir firma olarak dijital teknolojilerin modellenmesini sağlayan araçlar da geliştirmektedir. Autodesk, mühendislik tasarımı ve Dijital İkiz (DT)ler oluşturma konularında geniş bir yelpazede yazılım çözümleri sunmakta ve bunların başında AutoDesk Fusion 360 ve AutoCAD gibi yazılımlar, ürün tasarımı ve prototipleme süreçlerini desteklemektedir (Anonymous. 2024g).

2.6.2 Bentley Systems

Bentley Systems, 1984 yılında kurulmuş bir Amerikan yazılım şirkettir. Altyapı ve inşaat projeleri için yazılım çözümleri sunmaktadır. Bentley Systems, altyapı projelerinin tasarımı ve yönetimi için yazılım platformları geliştirmektedir. Bu platformlar, inşaat, yol yapımı, su kaynakları ve benzeri projelerde kullanılmaktadır. Dijital İkiz (DT)'ler, altyapı projelerinin daha etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Şekil 2.13'de Bentley Systems kullanılarak modellenmiş bir hava alanı terminalinin Dijital İkiz (DT) tasarımı gösterilmektedir (Anonymous. 2024g).



Şekil 2.13 Bentley Systems kullanılarak modellenmiş bir hava alanının Dijital İkiz (DT) (Anonymous. 2024g)

(<https://www.shapr3d.com/history-of-cad/bentley-systems-incorporated>)

2.6.3 Blender

Blender, 1995 yılında kurulan ve açık kaynak bir üç boyutlu modelleme, animasyon ve görüntüleme yazılımı olarak geliştirilmeye devam etmektedir. Blender, dünya genelinde birçok kullanıcı ve geliştirici tarafından kullanılmakta ve sürekli olarak kullanıcıların geliştirdiği kodlarla güncellenmektedir. Özellikle, özgür ve ücretsiz bir üç boyutlu modelleme aracı olarak ortaya çıkmış olup ve gün geçtikçe daha fazla özellik eklenerek birçok farklı kullanım alanına yönelik ihtiyacı karşılamaktadır. Blender, üç boyutlu modelleme, animasyon ve görselleştirme konularında kullanılan tümleşik bir yazılım paketidir. Şekil 2.14'de gösterilmekte olan Blender tasarım programı kullanılarak, bilgisayar animasyonları, oyun geliştirme, film yapımı, mimari tasarım ve daha birçok alanda modelleme yapabilme kabiliyetine erişilmektedir (Anonymous. 2024h).



Şekil 2.14 Blender 3D kullanılarak modellenmesi yapılmış bir tasarım (Anonymous. 2024h) (<https://www.blender.org/>)

Özellikle bağımsız animasyoncular, sanatçılar ve küçük stüdyolar için ideal ve kompakt bir çözümdür. Ayrıca, Blender topluluğu büyük ve aktif olduğu için kullanıcılar birbirlerine destek sağlamakta ve binlerce ücretsiz eklenti ve kaynak sunmaktadırlar. Blender, kullanıcılarına profesyonel düzeyde iç boyutlu modelleme ve animasyon yetenekleri sunarken aynı zamanda açık kaynak ve ücretsiz bir platform olmasıyla öne çıkmaktadır. Bu avantajlar, Blender'ın büyük bir kullanıcı kitlesi ve geliştirici topluluğu tarafından desteklenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, Blender, dökümantasyon ve eğitim materyalleri bakımından zengindir, bu da yeni kullanıcıların programı öğrenmelerini kolaylaştırmaktadır.

2.6.4 Gazebo

Gazebo, robotik sistemlerin ve otonom robotların geliştirilmesi için kullanılan üç boyutlu modelleme ve simülasyon programı olarak kullanılmaktadır. İlk sürümü 2002 yılında yayınlanmıştır. Gazebo, özellikle robotik mühendisliği ve yapay zeka konularında kullanılmaktadır. Gazebo, robotlar, dronlar ve otonom araçlar gibi karmaşık sistemlerin simülasyonunu yapmak için kullanılmaktadır. Yazılım, üç boyutlu dünyada nesnelerin ve robotların davranışlarını simüle etme yeteneğine sahip özellikler içermektedir. Gazebo, mühendislerin ve geliştiricilerin fiziksel dünyada test etmeleri zor olan robotik sistemlerini sanal olarak test etmelerine ve geliştirmelerine olanak

tanımlanmaktadır. Şekil 2.15’de gösterilmekte olan fabrika yerleşkesi ve robot rotaları Gazebo robotik sistemleri tasarım program ile modellenmiştir (Anonymous. 2024i).



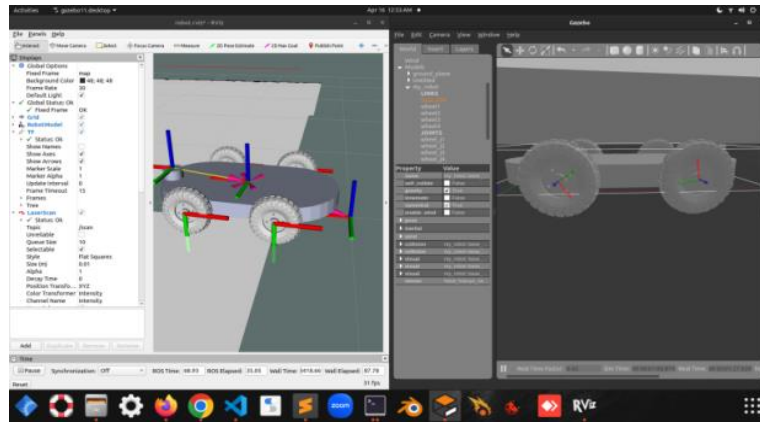
Şekil 2.15 Gazebo simülöründe oluşturulan gerçek fabrika salonunun DT görünümü (Anonymous. 2024i) (<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/23/7830>)

2.6.5 PTC ThingWorx

PTC, 1985 yılında kurulan bir Amerikan yazılım şirkettir ve bilgisayar destekli tasarım program(CAD) olan ThingWorx, nesnelerin interneti (IoT) ve Dijital İkiz (DT)’lerin entegre edilerek modellenmesine imkan tanımlanmaktadır. PTC ThingsWorx, özellikle (IoT) konularında güçlü bir yazılım olarak üretim sektöründe yerini almaktadır. ThingWorx, ürünlerin gerçek zamanlı izlenebilmesini, analiz edilebilmesini ve yönetilebilmesini sağlamaktadır. PTC, Endüstri 4.0'a geçiş yapmakta olan şirketlerin dijital dönüşüm süreçlerini kolaylaştıracak ürünler sunarak bu geçişi kolaylaştırmaktadır (Anonymous. 2024j).

2.6.6 Rviz

ROS ekosistemi 2007 yılında Willow Garage tarafından başlatılmıştır ve Rviz, robotik ve otonom sistemlerin geliştirilmesi ve hata ayıklanması için kullanılan bir üç boyutlu görselleştirme ve simülasyon aracıdır. Rviz, robot operasyonu sistemi (ROS) ekosistemi içinde yer alan bir üç boyutlu görselleştirme aracı olarak kullanılmaktadır. ROS, açık kaynaklı bir robot yazılımı platformudur ve Rviz, ROS'un bir parçası olarak geliştirilerek, robotların, dronların ve otonom araçların davranışlarını ve algılama sonuçlarını görselleştirmek amacıyla mühendislik konularında çözümler ve bakış açıları sunmaktadır. Rviz, üç boyutlu modelleme ve görselleştirme yetenekleri sunarak ROS platformu ile tam entegrasyon sağlamaktadır. Kullanıcılar, robotların sensör verilerini, yol planlamasını ve etkileşimlerini gerçek zamanlı olarak izleyebilmektedir. Ayrıca, bu görselleştirme aracı, hataları tespit etmeye yardımcı olarak robotların davranışlarını kalibre etme imkanı sunmaktadır. Rviz, robot mühendisliği ve yapay zeka projelerinde geniş çapta kullanılmaktadır. Özellikle ROS kullanıcıları ve robot geliştiricileri için vazgeçilmez bir araçtır. Rviz hakkında daha fazla bilgiye ROS resmi dokümantasyonu ve ROS topluluğu kaynaklarından ulaşılmaktadır. Şekil 2.16'da Rviz robotik modelleme programı kullanılarak hareket eksenleri oluşturulmuş bir robotun simülasyon ekranı gösterilmektedir (Anonymous. 2024k).



Şekil 2.16 Rviz kullanarak tasarlanmış bir robot modellemesi (Anonymous. 2024k)
(<https://stackoverflow.com/questions/76028361/rviz-is-not-updating-joint-states>)

2.6.7 Simio

Simio, endüstri mühendisleri ve simülasyon profesyonelleri için geliştirilen bir simülasyon yazılımı olarak kullanılmaktadır. İlk sürümü 2007 yılında piyasaya sürülmüş olup, karmaşık iş süreçlerini ve sistemleri modellemek ve simüle etmek için güncellenerek teknolojiye ayak uydurmaktadır. Simio, iş süreçleri, üretim, tedarik zinciri yönetimi ve lojistik gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Simio'nun öne çıkan özelliklerinden biri, nesnelerin ve sistemlerin davranışlarını gerçek zamanlı olarak izleme ve simülasyon sonuçlarını anlık olarak gözlemlenebilir hale getirmesidir. Bu gözlem ve analiz, kullanıcılara gerçek zamanlı veriler yaratarak iş süreçlerini optimize etme fırsatı sunmaktadır (Anonymous 2024). Şekil 2.17'de, Simio'da oluşturulan bir fabrika üretim hattının Dijital İkiz (DT)'i gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Simio'da oluşturulan bir montaj sürecinin Dijital İkiz (DT)'i (Anonymous 2024)
(https://www.researchgate.net/figure/A-digital-twin-for-an-assembling-process-created-in-SIMIO-Version-9147-software_fig11_345947813)

2.6.8 Siemens Simcenter ve Teamcenter

Siemens, dünya genelinde endüstriyel otomasyon, enerji yönetimi ve dijitalleşme çözümleri konusunda köklü bir geçmişe sahiptir. Siemens'in mühendislik yazılımları ve Dijital İkiz (DT) platformları, üretim endüstrisinde uzun süredir kullanılmaktadır.

Siemens, Simcenter ve Teamcenter gibi yazılımlarla, ürün geliştirme, üretim ve işletme süreçlerini entegre eden endüstri lideri bir şirkettir. Bu paket programlar, ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM), ürün tasarımı ve simülasyon gibi üretim sektöründe kullanılan araçları içermektedir. Siemens, genellikle büyük endüstriyel üreticilerin tercih ettiği bir marka olarak öne çıkmaktadır (Anonymous 2024m).

2.7 Dijital İkiz Vizyonu ile Tarımda Odak Alanlar

Dijital İkiz (DT)'ler, tarımsal alanda da birçok farklı odak alanı ve uygulama imkanı sunmaktadır. Tarımsal üretim bağlamında Dijital İkiz (DT)'lerin modellenmesinde odaklanılan ana alanlar takip eden alt başlıklarda açıklanmaktadır.

2.7.1 Ürün verimliliği ve kalite

Dijital İkiz (DT)'ler, bitki ve hayvan üretimi süreçlerini simüle ederek verimliliği ve ürün kalitesini artırmaya yardımcı olmaktadır. Özellikle bitki yetiştiriciliğinde iklim koşulları, toprak verimliliği ve gübre uygulamalarının simülasyonları, ürün verimliliğini artırmak için önem arz etmektedir (Ruan, J., vd. 2019). Tarımsal alanda Dijital İkiz (DT)'ler, bitki yetiştiriciliği ve hayvan yetiştiriciliği süreçlerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Tarımsal üretim için Dijital İkiz (DT)'ler, toprak analizi, bitki besin maddesi yönetimi. Gübreleme stratejilerinin simülasyonunu ve arazi modellemelerini içermektedir. Ayrıca, bitkilerin büyüme koşullarını izlemek ve optimize etmek amacıyla çevresel faktörlerin izlenmesi ve modelleme parametrelerinin oluşturulması önemlidir. Bitki hastalıkları ve zararlılarının erken teşhisi, bitki sağlığı ve ürün kalitesi için kritik öneme sahip olarak üretimde rol oynamaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.2 Su kaynakları yönetimi

Dijital İkiz (DT)'ler, su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve sulama sistemlerinin simülasyonları, su tasarrufunu ve bitki sulama stratejilerini optimize etmeye yardımcı olmaktadır. Sulama sistemlerinin etkin bir şekilde çalıştırılması, su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve Dijital İkiz (DT)'ler, sulama programlarının optimize edilmesi, suyun doğru miktarda ve doğru zamanda verilmesi için önemli avantajlar yaratmaktadır. Ayrıca, toprak nemini ve bitki su tüketimini izlemek ve bu bilgilere dayalı olarak sulama kararları almak, su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesine yardımcı olmaktadır.

2.7.3 Hastalık ve zararlı kontrolü

Tarımsal üretimde Dijital İkiz (DT)'ler, bitki hastalıkları tespitini ve zararlıların kontrolünü kolaylaştırmaktadır. Bitki hastalıklarının ve zararlıların yayılma modelleri, Dijital İkiz (DT)'lerle simüle edilmekte ve bu sayede hastalık veya zararlı yayılmasını önlemek için stratejiler geliştirilebilmektedir (Ruan, J., vd. 2019). Bitki hastalıkları ve zararlıları, tarım ürünlerine zarar verebilecek tehlikeli dış faktörler arasında bulunmaktadır. Dijital İkiz (DT)'ler, hastalık ve zararlıların yayılma modellerini ve etkilerini simüle etmekte ve bu da entegre zararlı yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine ve kimyasal müdahalelerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bitki hastalıkları için erken uyarı sistemleri geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.4 Makine ve ekipman optimizasyonu

Tarım makinelerinin ve ekipmanlarının Dijital Temsil (DR)'leri, tarımsal işlemlerin otomasyonunu ve optimizasyonunu kolaylaştırmakta ve bu sebeple, işgücü maliyetlerini azaltarak verimliliği artırmaktadır (Gatet et al., 2020). Tarım makineleri ve ekipmanları, tarımsal işlemlerinin sürdürülmesi esnasında birbirleriyle iletişim kurarak (DT)'lerle entegre edilebilmekte ve insansız operasyonlar için yüksek teknik kabiliyetler

geliştirebilmektedir. Örneğin, traktörler ve biçerdöverler, GPS, sensörler ve Nesnelerin İnterneti(IoT) aracılığıyla büyük tarımsal alanları otomatik olarak sürmekte ve hasat etmektedir (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.5 İklim değişikliği ve risk yönetimi

Dijital İkiz (DT)'ler, iklim değişikliği etkilerini değerlendirmek ve bu değişikliklere uyum sağlamak için kullanılmaktadır. Özellikle mevsimsel tahminler, tarım işletmelerinin risk yönetimini desteklemektedir. İklim değişikliği, tarımsal üretim ve hayvancılık üzerinde büyük etkilere sahiptir. Dijital İkiz (DT)'ler, iklim değişikliği etkilerini modelleme, analiz ve değerlendirme yöntemleriyle ileriye dönük tahminler sunmak için avantaj sağlamaktadır. Bu avantaj, çiftçilere mevsimsel tahminlere dayalı olarak ürün yetiştirme stratejileri geliştirme ve riskleri azaltma fırsatı sunmaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.6 Organik tarım ve sürdürülebilirlik

Dijital İkiz (DT)'ler, organik tarım ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının planlanması ve yönetilmesinde de yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır. Toprak kalitesi, gübre kullanımı ve ürün rotasyonu gibi faktörlerin simülasyonları, sürdürülebilir tarımı teşvik etmektedir (Gatet et al., 2020). Dijital İkiz (DT)'ler, tarım mühendisliği alanında sürdürülebilirlik, verimlilik ve risk yönetimi gibi temel konuları ele almak için güçlü bir araç olarak hizmet vermekte olup organik tarım ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını planlama ve yönetme konularında öngörü sağlamaktadır. Bu öngörü, toprak kalitesi ve besin maddesi yönetimi, kimyasal gübre kullanımının azaltılması ve toprak erozyonunun kontrolü gibi sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemektedir. Her biri ziraat mühendisliği konusunda önemli olan bu odak alanlar, Dijital İkiz (DT)'lerin, tarımın verimliliğini artırma ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etme potansiyelini vurgulamaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.7 Hassas tarım

Dijital İkiz (DT)'ler, sensörler, insansız hava araçları ve uydu görüntüleri gibi kaynaklardan gelen gerçek zamanlı verileri entegre ederek hassas tarımı mümkün önemli katkılar sağlamaktadır. Bu katkılar, bitki sağlığı, toprak koşulları ve sulama ihtiyaçlarının doğru bir şekilde izlenmesine olanak tanır ve kaynak kullanımının optimize edilmesine yol açmaktadır. Dijital İkiz (DT)'lerin gücüyle gerçekleştirilen hassas tarım, gerçek zamanlı verileri kullanarak tarım uygulamalarının hassas bir şekilde yönetilmesini içermektedir. Sensörler, dronlar ve uydu görüntüleme, bitki sağlığı, toprak koşulları ve hava durumu hakkında veri toplamaktadır. Dijital İkiz (DT)'ler bu bilgiyi entegre ederek çiftliğin sanal bir temsilini oluşturabilmektedir. Bu sanal model sayesinde çiftçiler, ne zaman nerede ekim yapacaklarını, sulama yapacaklarını ve hasat edeceklerini veriye dayalı kararlar alabilmekte. Sonuç olarak, kaynak israfında önemli bir azalma ve kaynakların optimize edilmesi nedeniyle artan ürün verimi elde edilmektedir (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.8 Bitki simülasyonu ve modelleme

Dijital İkiz (DT)'ler, çeşitli çevresel koşullar altında bitki büyümesini ve gelişimini simüle eder. Bu tür simülasyonlar, verim tahminlerinde bulunmada, ekim desenlerini optimize etmede ve iklim değişikliğinin bitki verimliliği üzerindeki etkisini değerlendirmede yardımcı olmaktadır. Bitki simülasyonu ve modelleme, tarımda Dijital İkiz (DT) teknolojisinin temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

Dijital İkiz (DT)'ler, çeşitli çevresel koşullar altında bitki büyümesinin ve gelişiminin sanal temsillerini modellemektedir. Simülasyonlar çalıştırılarak, çiftçiler, bitki verimi tahmin edebilir, ekim desenlerini optimize edebilir ve iklim değişikliğinin bitki üretkenliği üzerindeki etkisini gözlemlemekte. Bu gözlem, bitki yönetimine yardımcı olur ve çiftçilere ne zaman ve hangi bitkileri ekecekleri konusunda bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.9 Akıllı sulama yönetimi

Dijital İkiz (DT)'ler, toprak nem seviyelerini modelleyerek ve bitki su ihtiyaçlarını tahmin ederek sulama stratejilerini optimize edebilmektedir. Bu yaklaşım, suyun verimli bir şekilde kullanılmasını, su israfının azaltılmasını ve ürün verimini artırmasını sağlamaktadır. Akıllı sulama yönetimi, Dijital İkiz (DT)'ler sayesinde mümkün hale gelir ve toprak nem seviyelerini modellemek ve bitki su ihtiyaçlarını tahmin etmek gibi süreçleri içermektedir. Bu modelleme sayesinde çiftçiler, bitkilerin doğru zamanda doğru miktarda su aldığı verimli sulama stratejileri uygulayabilirler. Modelleme, sadece su israfını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda bitki büyüme ve gelişimi için optimal koşulları sağladığı için ürün verimini artırmaktadır.

2.7.10 Hayvan izleme ve yönetimi

Hayvancılıkta, Dijital İkiz (DT)'ler, hayvan sağlığını, davranışını ve çevresel koşulları izlemek için kullanılmaktadır (Ruan, J., vd. 2019). Çiftçiler bu veriyi analiz ederek, hayvan refahı, besleme ve üreme uygulamaları hakkında bilinçli kararlar alabilmektedir. Dijital İkiz (DT)'ler, modern tarımda hayvanların izlenmesi ve yönetilmesi şeklini kökten değiştirmiştir. Bu uygulama, hayvanların Dijital Temsil (DR)'lerinin ve yaşam koşullarının oluşturulmasını içermekte ve böylece hayvanların genel refahını ve verimliliğini artırmaktadır. Dijital İkiz (DT) teknolojisinin sunmuş olduğu avantaj ve imkanlardan birkaçı aşağıda açıklanmaktadır.

- Sağlık izlemesi: Dijital İkiz (DT)ler, sürekli olarak hayvan sağlığını izlemeye olanak sağlamaktadır. Hayvanlara takılan sensörler ve giyilebilir cihazlar, hayvanların yaşamsal bulguları, davranışları ve genel sağlıkları hakkında veri toplamaktadır. Bu veriler daha sonra Dijital İkiz (DT)'e iletilmekte ve bu şekilde hastalık veya stres belirtileri hızlı bir şekilde tespit edebilmektedir. Erken teşhis, çiftçilere zamanında tıbbi bakım sağlama olanağı sunmakta olup, hastalık salgınlarının riskini azaltmakta ve hayvan refahını artırmaktadır.

- Davranış analizi: Dijital İkiz'ler, hayvan davranışlarını anlamak, hayvan yönetimini optimize etmek için hayati önem taşımaktadır. Dijital İkiz (DT)'ler, beslenme alışkanlıkları, hareket desenleri ve sosyal etkileşim gibi davranışsal verileri analiz edebilmektedir. Normal davranıştan sapmalar, potansiyel sorunları işaret edebilmekte ve bu sayede çiftçiler sorunları hızla çözebilmektedir.
- Çevresel kontrol: Hayvanların bulunduğu çevreyi de izleyen hayvan Dijital İkiz (DT)'leri, sıcaklık, nem ve hava kalitesi gibi faktörleri içermektedir. Optimal çevresel koşulları sürdürerek Dijital İkiz (DT), hayvanların refahına katkıda bulunmaktadır. Örneğin, konforlu ve sağlıklı bir ortam sağlamak için ısıtma veya havalandırma sistemlerini otomatik olarak kontrol etmektedir.
- Besleme optimizasyonu: Dijital İkiz (DT)'ler, çiftçilere besleme uygulamaları hakkında bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmaktadır. Bireysel hayvanların beslenme ihtiyaçlarını analiz ederek, Dijital İkiz (DT) özelleştirilmiş besleme planları oluşturabilmektedir. Bu planlar, aşırı besleme veya yetersiz beslenmeyi en aza indirmekte ve bu şekilde sağlık sorunlarına veya düşük verime yol açan problemleri bertaraf etmektedir.
- Üreme yönetimi: Dijital İkiz (DT)'ler hayvanların üreme sağlığını izlemeye yardımcı olmaktadır. Optimal üreme zamanlarını tahmin ederek çiftleşmenin başarısına dair içgörüler sunabilmektedir. Bu içgörüler sayesinde, üreme programlarını geliştirmek ve genetik çeşitliliği artırmak için değerli imkanlar açığa çıkmaktadır.
- Veriye dayalı kararlar: Hayvan Dijital İkiz (DT)'leri büyük miktarda veri üretmektedir. Bu verileri işlemek için gelişmiş analitik ve makine öğrenme kullanılmakta ve bu da uygulanabilir içgörüler sunmaktadır. Çiftçiler, hayvan refahı, besleme uygulamaları ve üreme konusunda veriye dayalı kararlar alarak daha sağlıklı ve verimli hayvanlar ikamesine imkan yaratmaktadır.
- Hayvan yönetimi: Dijital İkiz (DT)'ler, sadece hayvan refahını artırmakla kalmaz, aynı zamanda hayvancılığın verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Bu teknoloji sayesinde, çiftlik hayvanlarının sağlığını ve verimliliğini garanti altına almak konusunda büyük avantajlar sağlanmaktadır.

2.7.11 Tedarik zinciri optimizasyonu

Dijital İkiz (DT)'ler, tarımsal tedarik zincirinin optimizasyonunda da kolaylıklar sağlamaktadır. Lojistik, depolama koşulları ve taşıma rotalarını simüle ederek çiftçiler ve distribütörler işlemlerini optimize edebilir, atıkları azaltabilir ve tarımsal tedarik zincirinin genel verimliliğini artırabilmektedir. Dijital İkiz (DT)'ler, tarımsal tedarik zincirini devrim niteliğinde dönüştürerek işlemleri optimize etmeye ve genel verimliliği artırmaya yönelik sofistike bir yaklaşım sunmaktadır. Dijital İkiz (DT)'lerin tarımda tedarik zinciri optimizasyonunun modelleme yöntemlerinden bazıları aşağıda sıralanmaktadır.

- Lojistik simülasyon: Dijital İkiz (DT)'ler, tarımsal tedarik zincirindeki lojistik süreçleri simüle edebilmektedir. Bu simülasyonlar, ham malzemelerin, ekipmanların ve nihai ürünlerin hareketini içermektedir. Çiftçiler ve distribütörler, malların akışını modelleyerek potansiyel darboğazları belirleyebilmekte, rotaları optimize edebilmekte ve düzgün ve verimli bir lojistik sürecini sağlayabilmektedirler.
- Depolama koşullarını modelleme: Raf ömrü kısa olan tarım ürünleri için optimal depolama koşullarını sürdürmek kritiktir. Dijital İkiz (DT)'ler, sıcaklık, nem ve depolama süresi gibi faktörleri içeren farklı depolama senaryolarını simüle edebilmektedir ve bu simülasyonlar, tarım ürünlerinin tedarik zinciri boyunca kalitesini koruyan depolama tesislerinin tasarlanmasına olanak tanımaktadır.
- Taşıma rotası optimizasyonu: Taşıma, tarımsal tedarik zincirinin önemli bir parçasıdır ve tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için kritik önem arz etmektedir. Dijital İkiz (DT)'ler, mesafe, yol koşulları ve araç kapasitesi gibi faktörleri içeren çeşitli taşıma rotalarını analiz edebilmekte ve optimize edebilmektedir. Bu optimizasyon, ürünlerin en etkili ve maliyet etkin şekilde taşınmasını sağlayarak, taşıma maliyetlerini azaltmakta ve çevreye zararlı etkileri en aza indirmektedir.
- Gerçek zamanlı izleme: Dijital İkiz (DT)'ler, tedarik zinciri boyunca gerçek zamanlı izleme imkanı sağlamaktadır. Sensörler ve IoT cihazları, ürünlerin

çiftlikten nihai tüketiciye kadar olan hareketini izlemektedir. Bu gerçek zamanlı görünürlük, planlanan tedarik zincirinden sapmalar veya aksaklıklar konusunda hızlı yanıt verilmesini sağlamakta ve ürün kalitesini güvence altına alarak gecikmeleri minimum düzeye indirgeyebilmektedir.

- Atık azaltma: Dijital İkiz (DT)'ler, tedarik zincirindeki verimsizlikleri ve potansiyel sorunları belirleyerek atık azaltımına katkıda bulunabilmektedir. Stok seviyelerini optimize etmek, taşıma verimliliğini artırmak veya depolama kayıplarını en aza indirmek olsun, sonuç olarak genel atık önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu, sadece çevreye fayda sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tarımsal operasyonların ekonomik sürdürülebilirliğini de artırmaktadır.
- Zamanında teslimat: Tedarik zinciri optimizasyonunun temel sorunlarından biri, tarım ürünlerinin hedeflerine zamanında ulaştığından emin olmaktır. Dijital İkiz (DT)'ler, gecikmeleri tahmin etme ve önleme konusunda yardımcı olmakta ve aşırı olgun ürün riskini azaltarak genel müşteri memnuniyetini artırabilmektedirler.
- Maliyet-efektif operasyonlar: Dijital İkiz (DT)'ler, çiftçilere ve distribütörlere tedarik zincirinin her aşamasında maliyet-etkin stratejileri belirleme olanağı tanımaktadır. Bu olanaklar, taşıma maliyetlerini minimize etmek, stok yönetimini optimize etmek ve depolama masraflarını azaltarak çiftçiye ekonomik açıdan optimum öngürleri sunmaktadır. Sonuç olarak, daha maliyet etkin ve finansal olarak sürdürülebilir bir tedarik zinciri oluşturulabilmektedir.

Dijital İkiz (DT)'lerin tedarik zinciri optimizasyonundaki kullanımı, tarım endüstrisinin direncini ve çevikliğini artırarak ürünlerin etkili bir şekilde tüketicilere ulaştırılmasını sağlar, atık ve maliyetleri minimize edebilme imkanı sunmaktadır. Bu teknolojik ilerleme, modern, duyarlı ve sürdürülebilir bir tarımsal tedarik zincirinin temel bir etkenine dönüşmektedir.

2.7.12 Sürdürülebilir tarım uygulamaları

Dijital İkiz (DT)'ler, organik gübrelerin kullanımını optimize etme, ekim nöbeti stratejilerini uygulama ve zararlı kontrol önlemlerini etkili bir şekilde yönetme konusunda sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu tür simülasyonlar, çevresel etkiyi azaltmaya ve toprak sağlığını artırmaya katkıda bulunmaktadır. Dijital İkiz (DT)'lerin tarımsal uygulamalara entegrasyonu, sürdürülebilir tarımın teşvik edilmesinde önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Karmaşık simülasyonlar ve gerçek zamanlı verileri kullanarak, Dijital İkiz (DT)'ler, tarımın çeşitli yönlerini hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından optimize etmek için kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır (Ruan, J., vd. 2019). Dijital İkiz (DT)'lerin, sürdürülebilir tarım uygulamaları için modellemelerine yönelik bazı alanlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Organik gübre kullanımının optimizasyonu: Dijital İkiz (DT)'ler, toprak koşullarını hassas bir şekilde izleyip modelleyerek, çiftçilere organik gübrelerin kullanımını optimize etme imkanı tanımaktadır. Modellenen sistem içerisinde, toprak besin seviyeleri, nem içeriği ve bitki gereksinimleri üzerine veri analizi yapılarak, gübre uygulamaları optimize edilebilmektedir. Bu optimizasyon, sadece ürün verimini maksimize etmekle kalmaz, aynı zamanda fazla gübre kullanımının neden olduğu çevresel etkiyi de en aza indirmektedir.
- Mevsimlik tarım stratejilerinin uygulanması: Mevsimlik tarım, toprak verimliliğini korumaya ve zararlılar ile hastalıkların riskini azaltmaya yardımcı olan önemli bir sürdürülebilir tarım pratiği olarak kullanılmaktadır. Dijital İkiz (DT)'ler, farklı bitki dizilerinin toprak sağlığı üzerindeki etkisini modelleyerek optimize edilmiş mevsimlik tarım stratejilerinin uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Çiftçiler, besin döngüsünü artırmak, zararlı döngülerini kırmak ve genel toprak yapısını iyileştirmek için bitki rotasyonlarını simüle edebilmekte ve planlayabilmektedir.
- Zararlı kontrol tedbirlerinin etkili yönetimi: Dijital İkiz (DT)'ler, zararlı dinamiklerini modelleme ve analiz etme platformu sağlayarak zararlı yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Çiftçiler, zararlı popülasyonları, hava

koşulları ve bitki duyarlılığıyla ilgili verileri, modellerine entegre ederek, hedeflenmiş ve zamanında zararlı kontrol tedbirlerini uygulayabilmektedir. Bu tedbirler, kimyasal pestisitlere olan bağımlılığı azaltarak çevre dostu ve sürdürülebilir zararlı yönetim uygulamalarını teşvik etmektedir.

- Çevresel etkinin azaltılması: Dijital İkiz (DT)'lerin yaptığı simulasyonlar, tarım uygulamalarının çevresel etkisinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Çiftçiler, su, gübre ve pestisit gibi girdilerin optimizasyonu sayesinde, çevreye zararlı maddelerin sızmasını ve kaçmasını en aza indirgeyebilmektedir. Dijital İkiz (DT)'ler sürdürülebilir tarım uygulamalarında, biyoçeşitliliği teşvik ederek doğal ekosistemleri korumakta ve çevresel ortamın genel sağlığına katkıda bulunabilmektedir.
- Toprak sağlığının iyileştirilmesi: Dijital İkiz (DT), toprak sağlığının korunmasına ve iyileştirilmesine önemli ölçüde yardımcı olmaktadır. Toprak koşullarının sürekli izlenmesi ve modellenmesiyle çiftçiler, toprak erozyonunu önlemek için bilinçli kararlar almaktadır. Bu kararlar, sulama uygulamalarını ayarlamayı, örtü bitkisi uygulamayı ve besin yönetimini optimize etmeyi içermektedir.
- Uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirlik: Dijital İkiz (DT)'ler tarafından teşvik edilen sürdürülebilir tarım uygulamaları, sadece çevreye değil, aynı zamanda çiftçilik operasyonlarının uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirliğine de katkı sağlamaktadır. Girdi maliyetlerini azaltmak, çevresel uyumluluk risklerini en aza indirmek ve toprak verimliliğini artırmak, çiftçilere dayanıklı ve ekonomik olarak sürdürülebilir tarım sistemleri oluşturmalarını sağlamaktadır.

2.7.13 İklim değişikliği ve uyum

Dijital İkiz (DT)'ler, tarımsal üretkenlik üzerindeki iklim değişikliği etkilerini anlama ve adapte olma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Çiftçiler, farklı iklim senaryolarını simüle eden modeller oluşturarak, uyum stratejileri geliştirebilmektedir. Bu stratejiler arasında uygun ürün çeşitleri seçimi, ekim ve hasat zamanlarının ayarlanması ve direnç önlemlerinin alınması yer almaktadır. Değişen iklim desenleriyle

ilişkilendirilen potansiyel risklerin anlaşılması, uzun vadeli tarımsal üretkenliği sağlamak için kritiktir (Ruan, J., vd. 2019). Dijital İkiz (DT)'lerin, iklim değişikliği ve uyum modellemelerine yönelik bazı alanlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Farklı iklim senaryolarının simülasyonu: Dijital İkiz (DT)'ler, çeşitli iklim senaryolarını simüle ederek çiftçilere farklı iklim koşullarının potansiyel etkilerini anlama imkanı tanımaktadır. Bu modeller, sıcaklık değişiklikleri, yağış miktarı ve diğer iklim faktörleri üzerindeki olası etkileri öngörmeye yardımcı olmaktadır.
- Adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi: Dijital İkiz (DT)'ler, çiftçilere değişen iklim koşullarına uyum sağlamak için gerekli stratejileri geliştirme konusunda rehberlik etmektedir. Bu stratejiler, iklim değişikliğine dayanıklı ürün çeşitlerinin seçilmesini, ekim ve hasat takvimlerinin revize edilmesini ve çeşitli iklim senaryolarına göre uyarlanabilir üretim yöntemlerinin benimsenmesini içermektedir.
- Tarım risklerine karşı direnç önlemleri: Dijital İkiz (DT)'ler, tarımsal operasyonlara entegre edilen direnç önlemleri konusunda çiftçilere rehberlik etmektedir. İklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkabilecek tarımsal risklere karşı alınacak önlemler, iklim senaryolarına dayalı olarak belirlenmektedir. Bu önlemler arasında afetlere karşı hazırlık, su yönetimi stratejilerinin optimize edilmesi ve çeşitlendirilmiş üretim uygulamalarının benimsenmesi yer almaktadır.
- Uygun tarım tekniklerinin kullanımı: Dijital İkiz (DT)'ler, çiftçilere uygun tarım tekniklerini benimsemeleri konusunda farklı bakış açıları sunmaktadır. Örneğin, iklim değişikliğinin etkilerini en aza indirmek için su tasarrufu sağlayan sulama yöntemleri, toprak nemini koruyan örtü bitkileri ve iklim değişikliğine dayanıklı hibrit tohumlar gibi tekniklerin kullanımı desteklenmektedir.
- Uzun vadeli tarımsal üretkenliği güvence altına alma: İklim değişikliğinin tarımsal üretkenlik üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak, uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için kritiktir. Dijital İkiz (DT)'ler, çiftçilere bu değişikliklere karşı adaptasyon sağlamak ve dayanıklı tarım uygulamalarını benimsemek için gereken araçları sunmaktadır.

2.7.14 Ürün kalitesi ve takip edilebilirlik

Dijital İkiz (DT)'ler, tarım endüstrisinde ürün kalite kontrolünü ve takip edilebilirliği artırmaktadır. Ekimden, hasata ve paketlenmeye kadar üretimin her aşamasını izleyerek, kalite ve güvenlikle ilgili sorunları tanımlamak ve ele almak daha kolay hale gelmektedir. Bu avantaj, kalite kontrolü ve takip edilebilirliği artırmaktadır. Örneğin, sensörlerle sürekli olarak sıcaklık, nem ve diğer faktörler izlenerek, bitkilerin optimal koşullar altında yetiştirildiğinden emin olunmaktadır. Herhangi bir kalite sorunu durumunda Dijital İkiz (DT), sorunu kaynağına kadar izleyebilmekte ve hemen düzeltici önlemlerin alınmasına olanak tanımaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.15 Uzaktan izleme ve otomasyon

Uzaktan izleme ve otomasyon, tarımda Dijital İkiz (DT)'lerin en temel bileşenleridir ve bu sistemler; sulama, zararlı kontrolü ve iklim kontrolü gibi çeşitli tarımsal süreçleri uzaktan yönetme ve kontrol etme olanağı sağlayarak verimliliği artırmakta ve işçilik maliyetlerini azaltmaktadır. Uzaktan izleme ve otomasyon, modern tarımda kritik bir rol oynamaktadır. Çiftçiler, Dijital İkiz (DT)'lerin yardımıyla, çeşitli tarımsal süreçleri uzaktan kontrol etmektedir. Örneğin, sulama sistemleri, gerçek zamanlı verilere dayalı olarak su seviyelerini otomatik olarak ayarlayarak zararlı kontrolü için dronlar kullanılabilir. Bu veriler ışığında, sadece verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda manuel işgücü ihtiyacını azalarak zamandan tasarruf etme olanağı da artmaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.16 Veriye dayalı karar verme

Dijital İkiz (DT)'ler büyük miktarda veri üreterek, veriye dayalı karar verme olanakları için kullanılmaktadır. Gelişmiş analitik ve makine öğrenme algoritmaları toplanan verileri işleyerek bitki sağlığı, kaynak kullanımı ve genel çiftlik yönetimi hakkında içgörüler sağlanmaktadır. Çiftçiler, ne zaman ekim yapacaklarını, ne zaman hasat

edeceklerini ve sulama yapacaklarını, ayrıca çiftliğin hangi bölgelerinin özel dikkat gerektirdiği konusunda bilinçli kararlar alabilmektedir. Bu bilinçli kararlar doğrultusunda, kaynak tahsisinin optimize edilmesi ve ürün verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.17 Özelleştirme ve ölçeklenebilirlik

Dijital İkiz (DT) teknolojileri, özelleştirmeye ve ölçeklenebilirliğe olanak tanımaktadır. Farklı boyut ve tiplerdeki çiftlikler, Dijital İkiz (DT) çözümlerini ihtiyaçlarına göre uyarlayabilmektedir. Bu esneklik, küçük ve büyük ölçekli tarım işletmelerinin kolaylıkla Dijital İkiz (DT) teknolojisinden faydalanmasını sağlamaktadır (Ruan, J., vd. 2019).

2.7.18 İşbirliği ve bilgi paylaşımı

Dijital İkiz (DT)'ler, bilgi paylaşımı için en iyi uygulamalar ve gerçek zamanlı verilerin paylaşılması için ortak bir platform sağlayarak; çiftçiler, tarım uzmanları ve araştırmacılar arasında daha bağlantılı ve bilgili bir tarım topluluğunun işbirliğini teşvik etmektedir. Çiftçiler, bu platformlarda kendi deneyimlerini ve içgörülerini paylaşarak, sektöre katılacak yeni yatırımcılar için kolaylıklar sağlamak ve sürdürülebilir tarımsal uygulamalarını geliştirmekte işbirliği yapabilmektedir (Ruan, J., vd. 2019).

Bu odak alanları, tarımsal üretimde Dijital İkiz (DT)'lerin çok yönlülüğünü ve potansiyelini vurgulamaktadır. Gelişmekte olan dijital teknolojilerden faydalanmakta olan üreticiler, geleneksel tarım uygulamalarını son derece veri odaklı, verimli ve sürdürülebilir işletmelere dönüştürmektedir.

2.8 Otonom Araçlar

Otonom araçlar uzun süredir bilim kurgu alanında bulunsa da, yakın gelecekte sürücüsüz araçların sokaklarımızda olacak olması güncel gelişmelerle mümkün hale gelmektedir. Yeni teknoloji şirketleri (örneğin Google, Uber ve Tesla) ile köklü otomobil şirketleri (örneğin Mercedes Benz, General Motors, Nissan ve birçok diğer şirket) arasında güçlü bir rekabet görülmektedir. Bazıları yıllardır otonom araçlar üzerinde çalışmakta ve birçok çalışan prototip ve deneme programını sürdürmektedir. Tezin bu bölümünde, otonom araçlarla ilgili bilgiler sunulmaktadır. Otonom araçların tarihçesi: Mucitler, araçların (taşıtların) ilk icat edildikleri zamandan beri insansız araçlar konusunda düşünmekte ve uğraşlar vermektedir. Özellikle, endüstri devriminin gerçekleşmesi sonrasında, 1920 ile 1980 yılları arasında, birçok otomobil şirketinin ve üniversitenin, otonom araçları öncüleştirmek için çeşitli çabalar sarf ettikleri görülmektedir. Bu tür araçların ilk örneklerinden biri 1920'lerde üretimi gerçekleştirilmiş olan, radyo kontrollü sürücüsüz bir araç olarak gösterilmektedir. Bu araç, arkasında ikinci bir araca ihtiyaç duymakta olup önünde hareket etmekte olan sürücüsüz araca radyo sinyallerini iletmek için kullanılan bir verici antene sahip olduğu anlaşılmaktadır (The Milwaukee Sentinel 1926). Takip eden yıllarda, araştırmacılar yollara gömülü elektronik cihazlar tarafından etkinleştirilebilen daha modern sürücüsüz araçlar üzerine çalışmalarını sürdürmeye devam etmektedir. Bu modern çalışmalar, elektrik-elektronik kontrollü sokakların inşa edilmesi anlamına gelmekte ve bu yolların inşaatı öncelikli olarak, İngiltere ve ABD'nin bazı bölgelerinde planlanmaktaydı. Yolları elektronik raylar içerecek şekilde yeniden tasarlama fikrinin çok fazla yatırım gerektirmesi sebebiyle, genel görüş otonom araçların mevcut yollarda sürüş yapması düşüncesine kaymaktaydı. Sadece 20 yıl sonra, Almanya'nın Bundeswehr Üniversitesi'nden Ernst Dickmanns bu vizyonu mümkün kıldı. Kendisi ve üniversitedeki ekibi, bir Mercedes Benz marka minibüsün üzerinde geliştirmeler yaparak, boş bir otoyolda 96 km/h'lik maksimum hızla ulaşıp toplamda 20 kilometreden fazla otomatik sürüş yapmayı başarmıştır. 1989 yılına gelindiğinde, robot minibüs engelleri (sınırlı sayıda algılanan) tanıyabilmekteydi ve 1990 yılının başlarında insan müdahalesi olmadan şerit değişikliğini yapabilmekteydi (Weber, 2014). Bu inovasyon sayesinde, otonom araçların sıradan yollarda nasıl otonom sürüş yapabileceğine dair

önemli bir ilham kaynağı olmuş ve yeteneğinin ilk gösterisinden sonra takip eden yıllarda birçok proje ortaya çıkmıştır. Bu tür projelere destek olmak amacıyla düzenlenen etkinliklerden bir diğeri 2004'te tertiplenen, otonom araçlar alanında çalışan araştırmacıların oluşturduğu takımların katılmakta olduğu ve 1 milyon dolarlık ödül için yarıştığı ünlü ABD Savunma İleri Araştırma Projeleri İdaresi (DARPA) Grand Challenge etkinliğidir. Etkinliğin ilk yılında DARPA Challenge'ın belirlemiş olduğu standartları karşılayan ve çölde önceden yerleştirilmiş engellerle yapılan parkuru tamamlayabilen bir girişimci proje yoktu. Araştırma takımları tarafından tasarlanan araçlar, sadece birkaç mil yol aldıktan sonra kaza yaptı ve hiç bir takım hibe desteği alamadı. İlerleyen yıllarda DARPA, daha yüksek standartlar ve zorlu engellerle donatılmış parkurlara sahip bir başka Grand Challenge II'yi düzenledi ve ödül miktarını iki katına çıkardı. Bu sefer, yirmi üç araştırmacı takımdan sadece beş tanesi bitiş çizgisine ulaştı (Vanderbilt, 2012). DARPA, 2007 yılında Grand Challenge III'ü düzenledi, bu sefer otonom araçlar için taklit bir kentsel alan geliştirdi ve yeni kriterlerini bu test ortamı içerisinde belirledi. Seksen dokuz araştırmacı takımdan, otuz beş tanesi ulusal kalifikasyon etkinliğinde yarışmak üzere seçildi. İkinci aşamaya geçebilen takımlar arasından on bir takım, daha sonra final etkinliğinde yarışmak üzere seçildi, ancak bu takımların sadece altısının araçları parkuru tamamlayabildi (DARPA, 2007). Otonom araçların farklı teknolojik seviyeleri bulunmaktadır. Bu teknolojik seviyeler; tamamen sürücü kontrolünden, sürücü girişi olmadan tamamen otomatik hale gelmeye kadar uzanmaktadır. Amerika Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi (NHTSA), otonom araçlar için aşağıdaki sınıflandırmayı sunmaktadır (Davidson, P., vd. 2015).

- Seviye 0 (Otomasyon yok): Sürücü, her zaman temel araç kontrolü - fren, direksiyon, gaz ve hareket gücü - üzerinde tam ve tek kontrol sahibidir.
- Seviye 1 (Fonksiyonel otomasyon): Bu seviyedeki otomasyon, bir veya daha fazla belirli kontrol fonksiyonunu içermektedir. Örnekler, elektronik denge kontrolü veya önceden şarjlı frenlerdir; araç, sürücünün aracı tek başına kullanarak mümkün olanın ötesinde daha hızlı kontrolü geri kazanmasına veya aracı durdurmaya otomatik olarak yardımcı olmaktadır.

- Seviye 2 (Kombine fonksiyon otomasyonu): Bu seviye, en az iki temel kontrol fonksiyonunun otomatikleştirilmesini içerir ve bu fonksiyonların kontrolünü sürücünden almak için bir arada çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Seviye 2 sistemine örnek olarak, şerit ortalama ve adaptif hız bileşenlerini barındıran araçlar gösterilmektedir.
- Seviye 3 (Sınırlı kendi sürüş otomasyonu): Bu otomasyon seviyesindeki araçlar, belirli trafik veya çevresel koşullar altında sürücünün tüm güvenlikle ilgili fonksiyonlar üzerinde tam kontrolü bırakmasına ve aracın bulunduğu koşullardaki değişikliklerini izlemek için ağırlıklı olarak araca güvenmesine olanak tanımaktadır. Sürücünün zaman zaman kontrol için uygun olması beklenir, ancak yeterince rahat bir geçiş süresi bulunmaktadır. Google otonom aracı, sınırlı kendi sürüş otomasyonunun bir örneği olarak çalışmaktadır.
- Seviye 4 (Tam kendi sürüş otomasyonu): Araç, bir gezinin tamamı boyunca tüm güvenlikle ilgili sürüş fonksiyonlarını yerine getirmek üzere tasarlanmaktadır. Bu tasarım, sürücünün gezinin herhangi bir anında kontrol sağlamanın beklenmediğini öngörmektedir. Bu, hem yüklü hem de yüksüz araçları içermektedir.

2.8.1 Otonom güdümlü araçlar

Bugünün endüstri faaliyetleri, robotik ve otomasyon dünyasıyla birleşmiş durumda ve gün geçtikçe daha hassas ve daha kaliteli ürün elde etme düşüncesi, yeni teknolojilerin kullanılmasına imkan tanımaktadır. Tüm robot türleri arasında, otomatik güdümlü araçlar (AGV), diğerleri arasında özel bir yere sahiptir ve teknolojiadaki gelişmeler bu tasarımın ilerlemesine ve çeşitli uygulamalarda daha kullanışlı hale gelmesine yardımcı olmaktadır. AGV'ler, çevresini otomatik olarak algılayabilen ve planlanan yol boyunca hareket edebilen programlanabilir bir mobil robot olarak tanımlanmaktadır (Das, S. K. 2016). Bu sistem, rehberlik tesisleri, merkezi kontrol sistemi, şarj sistemi ve iletişim sistemi gibi çeşitli parçalardan oluşmaktadır. İlk kullanılan ve AGV'nin icadı tam olarak net değildir ve birçok makalede ve referansta birçok kez bahsedilmektedir, ancak bu sistemin endüstrilerde ilk kez kullanıldığı tarih 1950'ler olarak belirtilmektedir ve hatta

dünyadaki ilk AGV'nin 1953 yılında Birleşik Krallık'ta tanıtıldığı, bir çeki traktöründen değiştirilmiş ve bir üst tel tarafından yönlendirilebilen bir taşıma aracı olduğu anlatılmaktadır. AGV'ler, malzeme taşıma için üretim fabrikaları ve depolar dahil olmak üzere çeşitli endüstrilere geniş bir şekilde uygulanmaktadır. Gelişiminden on yıllar sonra, yüksek verimlilik, esneklik, güvenilirlik, güvenlik ve sistem ölçeklenebilirliği nedeniyle çeşitli görev ve görevlerde geniş bir uygulamaya sahip olmaktadır.

AGV'ler, sürekli olarak gün boyunca insan işçiler tarafından elde edilemeyen bir şekilde çalışmaktadır. Bu nedenle, malzeme taşımanın verimliliği, bir dizi AGV ile işbirliği yaparak artırılmakta ve yönetici sistemi genişletilebilir olduğundan daha fazla AGV'yi devreye alabilmektedir (Moshayedi, A. J., vd. 2019). AGV'ler, çarpışma önleme ve acil frenleme yeteneğine sahiptir ve genellikle çalışma durumu kontrol sistemi tarafından izlendiği için güvenilirlik ve güvenlik sağlanmaktadır. Birden fazla AGV, genellikle merkezi bir kontrol sistem tarafından izlenmekte ve programlanmaktadır. AGV'ler, yer navigasyon sistemi, şarj sistemi, güvenlik sistemi, iletişim sistemi ve konsol, olmak üzere çeşitli iş ünitelerinden oluşmaktadır (Moshayedi, A. J., vd. 2019). Takip eden bölümlerde, AGV'lerin tasarımında kullanılan parçalar, dikkate alınması gereken kriterler ve bu alandaki mevcut kullanılan teknolojiler hakkında bilgi sunulmaktadır.

2.8.2 AGV uygulamaları

Esnek üretim sistemleri ve lojistik, otomatik taşıma sistemleri hızla geliştikçe ve geniş bir şekilde uygulandıkça, esneklik, güvenilirlik ve verimlilikle birlikte taşıma ekipmanlarına büyük bir talep olmaktadır. Eski tip AGV'ler, insan işçilerle karşılaştırıldığında, iş yoğunluğunu önemli ölçüde azaltmakta, üretkenliği ve güvenliği artırmaktadır. AGV'ler, depolama, lojistik, fabrika hizmetleri ve tehlikeli yerler gibi endüstriyel üretim alanlarında yaygın bir popülerliğe sahip olmakta ve AGV'lerin kullanım alanlarından bazıları takip eden başlıklarda açıklanmaktadır.

- Depolama ve lojistik: Depolama ve lojistik endüstrisi, AGV'lerden faydalanan ilk uygulama alanlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevrim içi ticaret

işletmelerinin hızla yükselmesiyle birlikte, bazı şirketler otomatikleştirilmiş lojistik sistemlerini geliştirmek için büyük yatırımlar yapmaktadır. Bazı postaneler, paket taşıma amacıyla 1980'lerde AGV'leri tanıtmıştır . En büyük çevrimiçi perakendeci olarak Amazon, Kiva adlı binlerce AGV'yi normalde insan işçiler tarafından tamamlanan malzeme taşıma işlemleri için ABD depolarında kullanmaktadır. Cainiao adlı bir başka büyük lojistik şirketi, 2018'de Çin'in en büyük robot distribütör merkezini inşa ederek, 350 adet AGV'nin, günün her saatinde, 2000 metrekarelik bir depoda çalışmasına ve günde 500.000'den fazla paket dağıtmasına imkan tanımaktadır (Moshayedi, A. J., vd. 2019).

- İmalat: AGV'ler, esnek üretim sistemlerinin bir parçası olarak, üretim hatlarındaki büyümenin itici güçlerinin arasında sanayinin birçok alanında yer almaktadır. Transport sistemlerinin esnekliğini artırmak amacıyla VOLVO, 280 bilgisayar tarafından kontrol edilen AGV'leri taşıyıcılar olarak kullanan bir montaj sistemini işletmekte ve montaj hataları için yapılan yatırımların geri dönüş süresini önemli ölçüde azalmaktadır. Son zamanlarda, AGV'ler sadece GM, Toyota, Chrysler ve Volkswagen gibi otomobil fabrikalarının montaj hatlarında yaygın olarak kullanılmakla kalmayıp aynı zamanda temiz ve güvenli taşıma operasyonları için birçok başka endüstride de kullanılmaktadır (Moshayedi, A. J., vd. 2019).
- Kamu hizmeti kurumları: Esneklik, kütüphane, hastane ve havaalanı gibi alanlarda en önemli kavramlardan birisidir çünkü bu alanlarda aktarılmakta olan yükün şekli dinamik olarak değişmektedir. AGV'ler, hastanelerde yemek ve ilaç dağıtımını yapma, tıbbi ve biyolojik atıkları toplama gibi medikal hizmetlerde ve havaalanlarında bagaj taşıma gibi görevlerde hizmet vermektedir.
- Tehlikeli alanlar ve özel endüstriler: AGV'ler, insanların ulaşması için tehlikeli olan birçok yerde kullanılmaktadır. Buna örnek olarak, radyoaktif malzeme ve nükleer atık taşımak için nükleer santrallerde kullanılmakta olan AGV'ler hizmet vermektedir. Ontario nükleer santralleri, harcanmış çubuk gibi nükleer atıkları güvenli ve doğru bir şekilde imha etmek için AGV'leri kullanmaktadır.

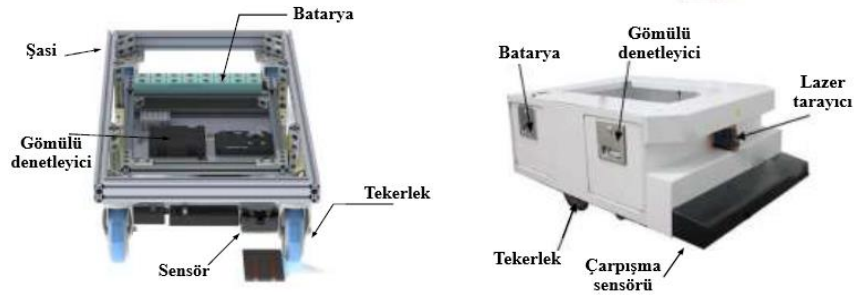
2.8.3 AGV türleri

AGV'lerin çeşitli mekanik yapıları ve navigasyon yaklaşımları bulunmaktadır. AGV'ler mekanik yapılarına göre üç kategoriye ayrılmaktadır ve bunlar; yükleyici-taşıyıcı tip AGV, otomatik palet kamyonu tip AGV ve çekici tip AGV olarak tanımlanan kategoriler takip eden başlıklarda açıklanmaktadır (Moshayedi, A. J., vd. 2019).

- **Yükleyici-taşıyıcı tip AGV:** Yükleyici taşıyıcı tip AGV'ler, genellikle paletler, raflar, rulolar veya birçok diğer yük şeklini taşımak için üzerinde bir platform veya konteyner ile donatılmaktadır. Bazı platformlarda yükü kaldırmak ve indirmek için güç bulunurken, bazıları kolayca boşaltmak için hidrolik silindirler entegre edilmektedir.
- **Otomatik palet kamyonu tip AGV:** Otomatik palet kamyonu AGV'ler, paletli yükleri taşımak için özelleştirilmiş AGV tipidir. Bazı çeşitleri, ağır yükü kaldırmak için güce sahip olan forkliftlerdir, diğerleri ise yükleri yalnızca yer seviyesinde taşıyabilmektedir.
- **Çekici tip AGV:** Çekici tip AGV'ler genellikle büyük kapasiteli bir treyleri çekebilen çekici araçlar olarak tasarlanmaktadır.

2.8.4 AGV parçaları ve tasarımı

Bir AGV genellikle; araç şasisi, gömülü kontrol cihazı, motorlar, sürücüler, navigasyon ve çarpışma önleme sensörleri, iletişim cihazı ve bataryaları içermekte, bazılarında ise yük transfer cihazı da entegre edilmektedir. Araştırma kuruluşları ve şirketler tarafından çeşitli AGV araç tasarımları yapılmakta ancak, genellikle tüm AGV'ler, Şekil 2.18'de gösterilen parçalardan oluşmaktadır (Moshayedi, A. J., vd. 2019).



Şekil 2.18 AGV tasarımında kullanılan standart parçalar

- Araç şasisi: Şasi, AGV'lerin entegre tüm cihazlarını üzerinde bulduran metal ya da kompozit malzemelerden yapılmış kafes yapı olarak tanımlanmaktadır. Tekerlekler, motorlar ve sürücüler, şasinin altına monte edilmekte ve gömülü denetleyici, sensörler ve iletişim cihazı ise şasi üzerine monte edilmektedir. Özellikle manyetik bant veya RFID kullanımı olan şemalar için anti-elektromanyetik müdahale yeteneğine sahip tasarımlar yapılmaktadır.
- Gömülü denetleyici: AGV'lerin zekâ düzeyi, gömülü denetleyicinin performansına bağlı olarak değişmektedir. AGV temel şeması, sensörlerden veri yakalama, merkezi kontrol sistem ile iletişim kurma ve aracın hareketini kontrol etme görevlerini ele almak için mikrodenetleyici veya PLC kullanılmaktadır. Bazı gelişmiş şemalar, bu görevleri ele almak için robot işletim sistemini (ROS) çalıştıran güçlü bilgisayar çiplerini kullanmaktadır.
- Sensörler ve rehberlik resisleri: AGV'lere takılan sensör türleri, navigasyon yaklaşımına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ultrasonik sensörler, yakındaki engelleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Kızılötesi sensörler, rehberlik çizgisini algılamak için kullanılmaktadır. Elektromanyetik sensörler, elektrik tellerini tespit etmek için kullanılmaktadır. Kameralar, QR kodu etiketlerini yakalamak için kullanılmaktadır. RFID modülleri, RFID etiketlerini okumak için kullanılmaktadır. Lazer tarayıcılar, çevresel engelleri tespit etmek ve yansıtıcı etiketleri algılamak için kullanılmaktadır. Lazer tarayıcı veya derinlik kamerası kullanan bazı akıllı şemalar, herhangi bir rehberlik tesisine bağlı olmaksızın çalışabilmektedir.
- İletişim cihazı: Genellikle telli bir veri yolunda iletişim kuran diğer endüstriyel otomasyon ekipmanlarının aksine, AGV'ler kablosuz iletişim gerektirmektedir.

Son zamanlarda güvenilirliği sağlamak için ürünler genellikle MIMO antenli WLAN kullanmakta ve yüksek bir elektromanyetik uyumluluk tasarım standardına sahip olmaktadır. Ericsson ve China Mobile tarafından yakın zamanda üretilen AGV'lerde 5G teknolojisi uygulanmakta ve daha yüksek güvenilirlik, veri transferi ve güvenliği sağlanmaktadır. Ayrıca, bazı ürünler aynı zamanda bir acil durdurma düğmesine sahip uzaktan kumanda özelliği taşımaktadır (Moshayedi, A. J., vd. 2019).

- Yük transfer cihazı: Yükleme ve boşaltma için kullanılan ve genellikle bir çatal gibi şekillendirilmiş güçlü bir robot koldur, ancak bazı türdeki mallar için özelleştirilmiş diğer formlara da sahip olarak tasarlanabilmektedir.
- Batarya: AGV'lerde kullanılabilecek çeşitli batarya tipleri bulunmaktadır, bunlar arasında akma kurşun asit, NiCad, lityum iyon, kapalı, indüktif güç ve yakıt hücreleri bulunmaktadır. Ancak lityum iyon tipi, boyut ve performans nedeniyle tercih sebebi olmaktadır. Ancak batarya tiplerini karşılaştırmak gerekirse, kurşun-asit pil en maliyet etkin şarj edilebilir pillerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Oldukça ağırdır, bir forkliftin karşı ağırlığı olarak tasarımda yer alabilmektedir. Dezavantajı ise, şarj sırasında çevreye gaz salınımı oluşturmakta ve şarj etmek için nispeten uzun süreye ihtiyaç duymaktadır. Kurşun jel piller ve lityum iyon pillerin şarjları daha hızlıdır ve gaz emisyonu açığa çıkartmadığı için daha çevre dostudur, ancak belirli aralıklarla bakım gerektirmektedir.
- Motorlar: AGV'lerin motorları genellikle yolun mesafesini ölçmek için bir kodlayıcı ile entegre edilmektedir. AGV'lerde kullanılan motor tipleri; Dişli DC motorlar, fırçasız DC motorlar ve servo motorlar olarak tanımlanmaktadır. Bu motorlar, AGV hareketinin esnekliği ve doğruluğu üzerindeki etkilerine göre seçilmektedir. AGV'lerde tercih edilen sürüş modları; tek tekerlek tahrikli, diferansiyel tahrikli ve tam yönlü tahrikli olarak ayrılmaktadır. Tek tekerlek tahrikli, bir tahrik tekerleğinin yürüme ve yönlendirme fonksiyonuna sahip olduğu ve iki tahrik tekerleğinin sabit olduğu anlamına gelmektedir. Diferansiyel tahrik, dönüşü gerçekleştirmek için hız farkını kullanarak iki tahrik tekerleği içermektedir. Tam yönlü tahrik ise çok daha esnek hareket olanağı sağlamaktadır. İki tahrik ve dönebilen tekerleklerle hem paralel hareket hem de diferansiyel tahrik fonksiyonları bulunmaktadır.

- Merkezi kontrol sistemi: Merkezi kontrol sistemi, AGV'lerin görev planlaması, trafik yönetimi, yol planlama, otomatik şarj ve diğer bazı fonksiyonların işlenmesine ve yerine getirilmesine imkan tanımaktadır. İşçilerin, AGV görevlerini izlemeleri ve yönetmeleri için bir insan arayüzüne sahip olmaktadır. Merkezi kontrol sistemi, AGV'lerle iletişim kurmaya devam ederek, bekleme durumunda kalır ve sürekli olarak komutlar göndermektedir. Durum verileri genellikle konum, hız, batarya kapasitesi ve bazı diğer sensör verilerini içermektedir. Merkezi kontrol sistemi, tüm bu verileri analiz ederek AGV'lere yeni iş görevleri atayarak, AGV'ler için en makul yolu ve sıralamayı oluşturur, çarpışma kazalarını önler, enerjisi tükenmiş AGV'lere güvenli ve doğru bir şekilde şarj istasyonuna gitmeleri talimatını verir ve planlanan görevi en verimli şekilde tamamlayarak AGV'lerin optimum işletme koşullarını iyileştirmektedir.
- Şarj istasyonu: Şarj istasyonunun tasarımı için iki yol bulunmaktadır ve bunlar; bitmiş bataryayı tamamen şarj edilmiş bir batarya ile değiştirmek veya bataryası düşük olan AGV'leri şarj istasyonunda askıya almak olarak sıralanmaktadır. Başka bir referansta AGV şarjı için dört yaklaşım belirtilmiştir; manuel batarya değişimi, otomatik batarya değişimi, otomatik şarj ve fırsat şarjı olarak sıralanmaktadır (Moshayedi, A. J., vd. 2019). Batarya değiştirme yöntemi, bekleme süresini azaltmakta, ancak değişim için yedek batarya bulundurmaya gerektirmektedir. Otomatik batarya değişimi, AGV sayısı fazla ise manuel değiştirmeye göre daha maliyetli olmaktadır. Otomatik şarj ve fırsat şarjları ise benzerlik göstermekte olup AGV'lerin operasyonlarda bulunmadığı zamanlarda uygulanmaktadır.

2.8.5 AGV kontrol ve navigasyon yöntemleri

AGV'lerin kontrol sistemleri taşıma verimliliğini artırmak için sabit kontrol sistemi ve çevresel kontrol sistemi metodları kullanılmaktadır. Tüm üst düzey denetleyici cihazlar, sabit kontrol sistemine entegre edilmektedir. Bu tür cihazlar, taşıma siparişini yönetme, programı optimize etme ve diğer sistemlerle iletişim kurma görevine sahip olarak sistemde yerini almaktadır. Ayrıca, atölye yöneticisi için grafik ekran arayüzü ve

istatistiksel analiz bulunmaktadır. Aynı zamanda, çevresel kontrol sistemi, araç üzerindeki çeşitli cihazları, forklift ve şarj cihazı dahil olmak üzere, yönetmekten sorumlu olarak sistem entegrasyonunu gerçekleştirilmektedir. AGV'lerde kullanılmakta olan güncel navigasyon teknikleri, konumlandırma, çevresel algılama ve yol planlama olarak üç ana başlıktan oluşmaktadır. Konumlandırma, navigasyonun temel tekniği olarak, aracın iş alanındaki mevcut konumunu ve yönünü belirlemekte kullanılmaktadır. Otomatik hareketi sağlamak için yolun sınırlarının ve engellerin konumunu tespit etmekte olan çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Bu teknikle AGV'ler, ulaşılabilir ve ulaşılabilir alanları belirleyebilmekte ve bu da yol planlaması için daha etkin ve optimum rotalar sunmaktadır. Yol planlaması, bilinen çevresel bilgilere dayanan küresel yol planlaması ve eş zamanlı sensör verilerine dayanan yerel yol planlaması olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Çeşitli navigasyon metodolojileri, genellikle alt yapıya gerek duymayan esnek rehberlik sistemleri kullanmak yerine, yerleşik metal teller gibi sabit yolları kullanmaktadır. Ancak modern AGV'ler genellikle sabit rehberlik altyapısına ihtiyaç duymamaktadır. Genellikle daha kolay ayarlanabilen esnek rehberlik tesislerine veya yapay işaretlerden uzak çevresel ortamı algılayarak hareket etmektedir. Esnek üretim sistemlerinde esneklik ve verimlilik performansı çok önemlidir. Sabit yol rehberliği kullanan AGV'lerle karşılaştırıldığında, yazılım konfigürasyonunun değişikliği ve daha az zaman ve maliyet gerektiren işaretlerin dağıtımı ile düzen değişikliği yapılabilir. Günümüzde kullanılan ana akım navigasyon yaklaşımları takip eden başlıklarda açıklanmaktadır.

- Tel rehberli navigasyon: Elektromanyetik navigasyon, geleneksel navigasyon yöntemlerinden biridir ve bugün hala popülerliğini korumaktadır. AGV'lere monte edilmiş olan elektromanyetik sensör tarafından algılanabilen düşük frekansta akım taşıyan elektrik teller, zemine gömülü olarak operasyon alanına entegre edilmektedir. Gizli-gömülü teller oldukça dayanıklı olup kir ve ışığın korozyon etkisinden etkilenmeden çalışmaktadır. Bu nedenle, AGV'lerin navigasyonu için güvenilir bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak elektromanyetik müdahale ve karışıklığa karşı duyarlıdır ve rotayı değiştirmek veya genişletmek maliyet düşünüldüğünde yatırım gerektirmektedir.

- Manyetik bant rehberli navigasyon: Manyetik bant rehberli navigasyon, manyetik bantlarla AGV'leri yönlendirebilmek için bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Tel rehberliği ile benzer bir prensibe sahiptir, ancak inşaat için çok daha kolay ve maliyet etkin bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak hasar görmeye eğilimli olduğu için bakım maliyeti ortaya çıkmaktadır.
- Manyetik işaret rehberliği ve inertial navigasyon: Manyetik çiviler, elektromanyetik sensör tarafından algılanabilen referans noktaları olarak zemine monte edilmektedir. AGV'ler, motorlarına monte edilmiş kodlayıcıları ve jiroskopu kullanarak bir noktadan diğerine hareket etmek için bu sistemden yararlanmaktadır. Metal zemin dışındaki neredeyse tüm ortamlar için oldukça kolay uygulama imkanı sunmaktadır.
- Optik iz rehberliği Navigasyonu: Bu navigasyon türü, AGV'leri zemindeki metal çizgilerle yönlendiren manyetik bant rehberliğine benzemektedir. İz tanıma için kameralar ve görüntü işleme teknolojileri kullanılmaktadır. Bakım gereklidir, ancak elektromanyetik müdahaleye yüksek direnç ve adaptasyon kabiliyetleri göstermektedir.
- QR kod rehberliği çubuğu: QR kod etiketleri, AGV'lerde bulunan kameralar tarafından algılanabilen zeminde veya raflarda bulunan yerlere yapıştırılarak AGV'lere rehberlik için kullanılmaktadır. AGV'ler, konumunu belirlemek için QR kod, kodlayıcı ve jiroskopun geri bildiriminden faydalanmaktadır. Ancak QR kod etiketleri kırılmalıdır, AGV'lerin kameraları tarafından algılanabilecek temizlikte tutulması ve belli periyotlarda değişmesi gerekmektedir.
- GPS navigasyon: GPS (Global Positioning System) kullanımı, AGV'leri ya da herhangi bir objeyi takip etmek için uydular ile iletişim kurma prensibine dayanmaktadır. GPS navigasyonu iç mekan kullanımı için uygun değildir çünkü uydu sinyallerinin engellenmesi, karıştırılması ve çoklu yol oluşturması konumun doğruluğunu azaltmaktadır. Günümüzde, bazı açık alanlarda uzun mesafe taşımacılığı için kullanılmaktadır. Rehberlik ekipmanı gerektiren yaklaşımlara göre daha fazla esneklik sağlamaktadır.
- Lazer hedef navigasyonu: Bu yaklaşımdaki amaç, yansıtıcı hedeflerin AGV'lerin çalışma alanına monte edilerek, ortamın lazer çizgilerden oluşan yansımaları yaratmaktır. AGV'ler üzerindeki lazer tarayıcılar, lazer ışınını yayar ve yansıtıcı

paneller dışında herhangi bir engelden yansıyan ışığı algılamaktadır. AGV'ler üzerindeki mikrodenetleyiciler, birkaç yansıtıcı hedefin mesafe ve açısının verilerini algıladıktan sonra konumu belirleyebilmektedir. Yol planı, yansıtıcı hedefleri yeniden düzenlemeden kolayca değiştirilebilmekte, ancak yansıtıcı paneller karartılırsa verimlilik ve doğruluk kaybolmakta ve bu nedenle ekstra çevresel gereksinimlere ve bakıma ihtiyaç duyulmaktadır.

- Lazer tabanlı SLAM navigasyonu: Lazer tabanlı SLAM navigasyonu, konumlandırma ve navigasyon için lazer tarayıcı kullanarak çevresel ortamın doğal özelliklerini tanımakta ve AGV'lerin doğru şekilde yönlendirilmesine imkan tanımaktadır. Eşzamanlı konumlandırma ve haritalama (SLAM), mobil robotların bilinmeyen bir alanın haritasını oluşturmasına ve bu alan içinde seyahat ederken konumunu belirlemesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, herhangi bir yapay rehberlik altyapısı gerektirmediği için son derece esnek bir özelliğe sahip olmaktadır. Aynı zamanda genellikle inertial navigasyon ile birlikte kullanılmakta, ancak konumlandırma hassasiyeti lazer tabanlı hedefleme navigasyona göre daha düşük performans göstermektedir.
- Görüntü tabanlı navigasyon: Görüntü tabanlı navigasyon, diğer navigasyon metodları kadar olgun olmayan ve araştırma aşamasında olan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. AGV'lerin üzerine, monoküler kamera, stereo kamera ve RGBD-kamera gibi görüntü işleme özellikli optik görüntüleyiciler entegre edilmekte ve genellikle konumlandırma yaklaşımı için SLAM kullanılmaktadır. Görüntü tabanlı navigasyon türüne sahip olan AGV'ler, üç boyutlu harita oluşturmak ve kendini konumlandırmak için görüntü dokusunu elde etmekte ve bu verileri sürekli olarak işlemektedir. Lazer tabanlı SLAM navigasyonu gibi, inertial navigasyonla da eşleştirilmekte ve rehberlik altyapısı olmadan uygulanabilmektedir (Moshayedi, A. J., vd. 2019).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölüm Dijital İkiz (DT)'lerin ve bu alanda kullanılan otonom robotların modellenmesine, URDF kodlarının oluşturulmasına ve bu yöntemlerle oluşturulmuş bir uygulama örneğinin kullanılmakta olan malzemeleri sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, katı model oluşturma aracı olarak SolidWorks, URDF kod oluşturma araçları olarak Blender ve SolidWorks eklentilerinin iş adımları da takip eden alt başlıklarda açıklanmaktadır. Katı model ve URDF kodlarının oluşturulmasıyla ilgili bilgilere değinildikten sonra, tarımsal üretim bağlamında bir Dijital İkiz (DT)'in uygulanması için gerekli olan ortamın ve bu ortamda çalışacak olan robotik sistemler ile ilgili bilgiler de bu bölüm altında tartışılmaktadır.

3.1 ROS ve URDF Kullanarak AGV Modeli Oluşturma

Takip eden alt başlıklarda, ROS (Robot Operating System) ve URDF (Unified Robotics Description Format) kullanarak bir mobil AGV oluşturmak için gerekli bilgiler anlatılmaktadır.

3.1.1 Katı modelin oluşturulması

Öncelikle, mobil robotun CAD modelinin tasarlanması gerekmektedir. Tasarlanan robotun parçalarını (taban, tekerlekler, vs.) Collada (.dae) formatına dönüştürme işlemi gerekmektedir. Bu dönüşüm Blender kullanarak da yapılabilmektedir.

3.1.2 Çalışma alanının oluşturulması

Robot modeli için bir çalışma alanı ve ayrıca onebot_description adında bir paket oluşturularak çalışma alanı derlenmektedir.

```
mkdir onebot_ws  
cd onebot_ws/
```

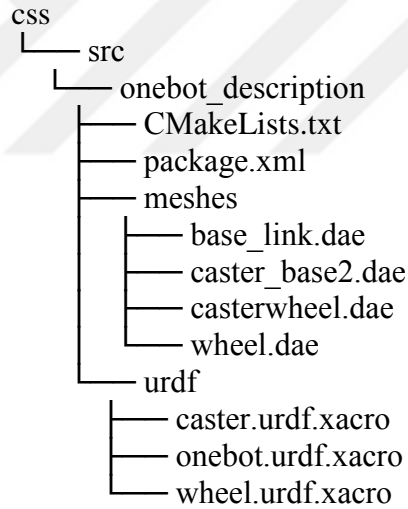
```
mkdir src
catkin init
cd src/
catkin_create_pkg onebot_description
catkin build
```

Bu komutları sırasıyla çalıştırarak ROS için bir çalışma alanı ve paketi oluşturulmaktadır.

3.1.3 URDF dosyalarının oluşturulması

"onebot_description" paketi içinde URDF adında bir klasör oluşturuldu ve bu klasörün içinde "onebot.urdf.xacro," "caster.urdf.xacro" ve "wheel.urdf.xacro" adında yeni dosyalar oluşturulmaktadır. Ayrıca, "meshes" adında bir klasör oluşturularak Collada (.dae) dosyaları bu klasörün içerisine yerleştirilmektedir.

- Bu adımdan sonra klasör yapısı aşağıdaki gibi olmalıdır:



Bu adımları takip ederek URDF dosyalarını oluşturmuş ve gerekli dosyaları doğru konumlara yerleştirerek, URDF dosyalarındaki kodlarla robot modeli tanımlanmaya devam edilmektedir. Bir başka yöntem olarak, SolidWorks içerisinde bulunan “Export to URDF” komutu da bu işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

3.1.4 Başlatma dosyalarının oluşturulması

URDF dosyaları hazırlanmış olup, robot tanımının parametre sunucusuna yüklemek ve simulasyon ve görselleştirmenin gereksinim duyduğu düğümleri çalıştırmak için bir başlatma dosyası gerekmektedir.

- Aşağıdaki komut kullanılarak "onebot_bringup" adında yeni bir paket oluşturulmaktadır.

```
cd onebot_ws/src
catkin_create_pkg onebot_bringup
```

Paketin içinde "launch" adında bir klasör oluşturulması ve bu klasörün içine "onebot_bringup.launch" adında bir başlatma dosyası eklenmesi gerekmektedir

Başlatma dosyasını, oluşturduğumuz paket içinde tanımlayarak robot tanımını yüklemeye ve simulasyonu başlatmaya hazırlanılmaktadır. Başlatma dosyasında ilk olarak boş bir "dünya" ile Gazebo simülatörü başlatılmaktadır. Ardından, xacro kullanılarak robot tanımı parametre sunucusuna yüklenmekte ve "onebot_spawn" adlı komut, tasarlanan robotu Gazebo simülatöründe görselleştirmek için kullanılmaktadır.

Daha sonra, eklem durumu yayınlayıcı (joint state publisher) ve robot durumu yayınlayıcı (robot state publisher) komutları çalıştırılmaktadır. Eklem durumu yayınlayıcı komutu, sahte eklem durumu değerlerini yayınlayarak robotun Rviz'de görselleştirilmesine yardımcı olmaktadır ve robot durumu yayınlayıcı, eklem durumu yayınlayıcı tarafından yayınlanan eklem durumlarını takip ederek transformasyon çerçeveleri yayınlamaktadır. Robotu başlatmak için önce "catkin build" komutunu kullanarak çalışma alanında komutlar paketi oluşturulmaktadır. Daha sonra, çalışma alanının kurulum dosyaları eklenerek, son aşamada başlatma dosyasını yüklemek için aşağıdaki komutları kullanılmaktadır.

```
catkin build
source devel/setup.bash
roslaunch onebot_bringup onebot_bringup.launch mesh_enabled:=true
```

Robotu, Rviz'de görselleştirmek için, çalışma alanı kurulum dosyalarını ekledikten sonra yeni bir terminalde aşağıdaki komutu çalıştırılmaktadır.

```
roslaunch rviz rviz
```

Rviz, aşağıdaki kod parçasını başlatma dosyasına ekleyerek doğrudan başlatılabilmektedir.

```
<node name="rviz" pkg="rviz" type="rviz" output="screen"/>
```

3.1.5 Dif drive kontrolörünü entegre etme

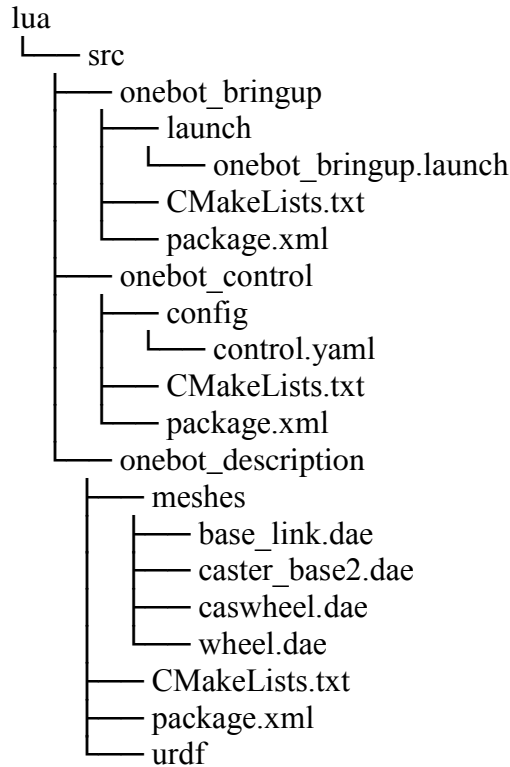
İlk olarak, kontrolör yapılandırmalarını içerecek komut paketi oluşturulmaktadır.

```
catkin_create_pkg onebot_control
```

Komut paketi içerisinde "config" adında bir klasör oluşturulmakta ve içerisinde "control.yaml" adında bir dosya daha oluşturulmaktadır. Sonraki adımda, "onebot_bringup.launch" komutuyla, parametreleri yüklemek ve denetleyicileri başlatmak için aşağıdaki kod parçası eklenerek güncellenmektedir.

```
<rosparam command="load" file="$(find onebot_control)/config/control.yaml" />
<node name="base_controller_spawner" pkg="controller_manager"
type="spawner" args="joint_state_controller velocity_controller"/>
```

Ardından, launch dosyasından "joint state publisher" düğmesi kaldırılmaktadır. Son durumda klasör yapısı aşağıdaki gibi olmalıdır.



```
├── caster.urdf.xacro
├── materials.urdf.xacro
├── onebot.urdf.xacro
└── wheel.urdf.xacro
```

3.1.6 Robotu yönlendirme

Robot, velocity_controller/cmd_vel komutlar paketine veri gönderilerek sanal dünyada hareket ettirilebilmektedir.

```
$ rostopic pub -r 50 /velocity_controller/cmd_vel geometry_msgs/Twist
```

lineer:

```
x: 0.0
y: 0.0
z: 0.0
```

açısıl:

```
x: 0.0
y: 0.0
z: 0.0"
```

Bu yöntemlerle oluşturulmuş olan robotu yönlendirmek zor olabilmekte ve bu nedenle rqt_plugins bu görevi daha kolay hale getirmek için bir robot yönlendirme eklentisi sunmaktadır. Bu eklenti aşağıdaki komutu çalıştırarak yüklenmektedir.

```
$ rosrn rqt_robot_steering rqt_robot_steering
```

rqt_robot_steering eklentisinin komutunu velocity_controller/cmd_vel olarak değiştirmek gerekmektedir. Yukarıdaki adımları takip edip tüm işlemleri tamamladıktan sonra onebot_bringup.launch dosyası başlatılmakta ve rqt_robot_steering eklentisi kullanılmaktadır. Ardından robot, gerçek dünyada hareket ettirilebilmektedir.

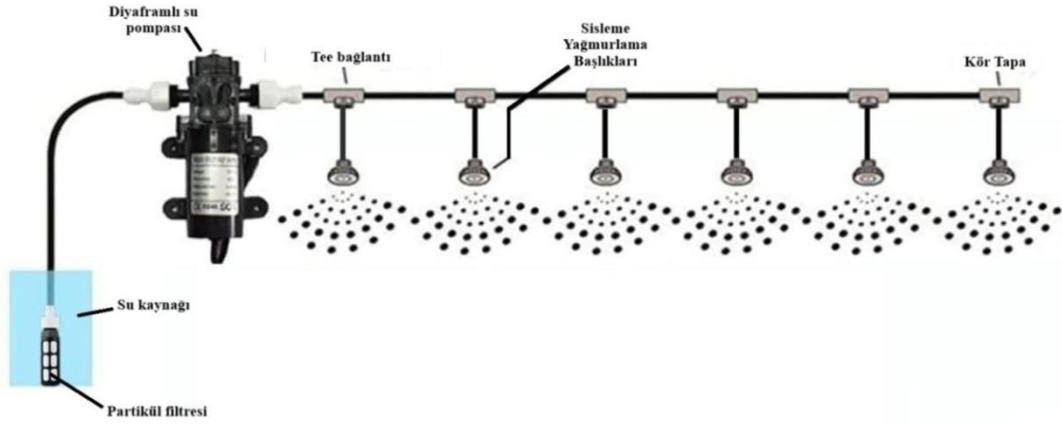
3.2 Uygulama Örneği

Bu bölümünde, seracılık faaliyetlerinde kullanılan çeşitli iş adımlarının, entegre bir sistemle gerçekleştirilmesi ve geliştirilen entegre sistemin Dijital İkiz (DT), Otonom Robotlar (AMR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) kullanılarak gerçek koşullar altında

tasarlanması ve işletilmesi hakkında bir uygulama örneği anlatılmaktadır. Bahsedilen uygulama örneğinde kullanılan sensörler, sulama ve iklimlendirme sistemleri, vb. entegre alt sistemler ile ilgili bilgiler takip eden başlıklarda açıklanmaktadır.

3.2.1 Sulama sistemleri

Şekil 3.2.1’de gösterilmekte olan yağmurlama-sisleme başlıkları ve su pompası kiti, uygulama örneğinde kullanılmak üzere maliyet etkin özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir (Anonim. 2024b). Uygulama örneğindeki seranın içerisinde yetiştirilecek olan ürünlerin, su ve besin ihtiyaçlarının karşılanabilmesi amacıyla, sistem içerisine entegre olarak konumlandırılmış yağmurlama-sisleme başlıkları ve sisteme sıvı arz etmesi gereken diyaframlı su pompası ile ilgili çalışma parametreleri Çizelge 3.1’de paylaşılmaktadır.



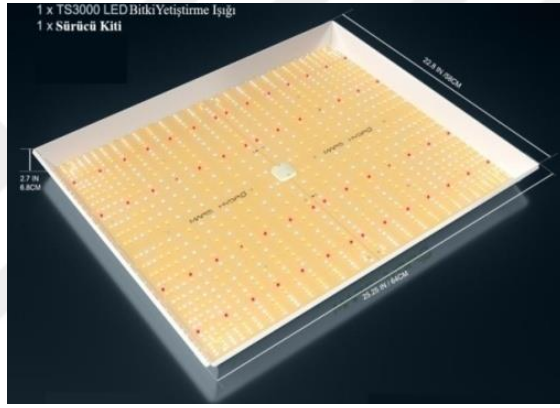
Şekil 3.1 Yağmurlama-sisleme başlıkları ve su pompası kiti (Anonim. 2024c)
(www.amazon.com.tr/sisleme)

Çizelge 3.1 Diyaframlı su pompası çalışma parametreleri (Anonim. 2024c)
(www.amazon.com.tr/sisleme)

Anma gerilimi	Hortum Çapı	Giriş basıncı	Çalışma basıncı	Anma akımı	Çalışma akışı	Max. Basınç	Max. Akış	Sıcaklık
24 VDC	6 mm	0 PSI	70 PSI	≤1.0 A	≥0.8 L/dk	130 PSI	≤1.5 L/dk	≤30 °C

3.2.2 LED bitki yetiştirme paneli

Uygulama örneğinde kullanılmakta olan hazır LED paneller, enerji tasarrufu, optimum ışık spektrumu değerleri ve sera alanının en uygun şekilde değerlendirilmesine imkan tanımları sebepleriyle tercih edilmektedir. Şekil 3.2.2’de aydınlatma işlemleri için otomasyon sistemine entegre çalışacak Mars Hydro TS3000 markalı LED paneller gösterilmektedir. Bahsedilen led bitki yetiştirme panel, 64x58x6.8 cm ebatlarında olup uygulama örneğinde 4 adet kullanılmaktadır. Çizelge 3.2’de Mars Hydro TS3000 LED bitki yetiştirme paneli ile ilgili teknik veriler paylaşılmaktadır (Anonim. 2024d).



Şekil 3.2 Uygulama örneğinde kullanılan led bitki yetiştirme paneli (Anonim. 2024d)
(<https://botanikled.com/project/ts3000-led/>)

Çizelge 3.2 Mars Hydro TS3000 LED bitki yetiştirme paneli teknik verileri (Anonim. 2024d)
(<https://botanikled.com/project/ts3000-led/>)

Güç tüketimi	PAR etkinliği	Çip markası	Spektrum	Ebat	IP sınıfı	Diyot sayısı	Kullanım ömrü
450 Watt	2.7	BridgeLux	Tam spectrum 660-665 nm 730-740 nm 3000-3200 K 6000-6500 K	59x68 cm	IP65	1016	50.000+Saat

3.2.3 Lineer aktüatör

Uygulama örneğinde kullanılmakta ve tüm sistemi içerisinde muhafaza etmekte olan sera şasisi, otomatik olarak sera kapaklarını açma-kapama işlemlerini gerçekleştiren 2 adet lineer aktüatör ile donatılmıştır. Bu aktüatörler sera üst penceresine monte edilecek şekilde, gerekli durumlarda seranın dış ortamdaki izolasyonunu sağlamak için hareket mekanizması olarak çalışmaktadır. Şekil 3.3’de uygulama örneğinde kullanılmakta olan lineer aktüatörler gösterilmektedir. Çizelge 3.3’te lineer aktüatörün teknik bilgileri paylaşılmaktadır (Anonim. 2024e).



Şekil 3.3 Uygulama örneğinde kullanılan lineer aktüatör (Anonim. 2024e)
(https://www.robocombo.com/ayarlanabilir-lineer-motor-1224v-80mm-aktuator-2989?ref=Cimri&utm_source=Cimri&utm_medium=Cimri&utm_campaign=Cimri-fiyat-karsilastirma)

Çizelge 3.3 Lineer aktüatör teknik bilgileri (Anonim. 2024e)
(https://www.robocombo.com/ayarlanabilir-lineer-motor-1224v-80mm-aktuator-2989?ref=Cimri&utm_source=Cimri&utm_medium=Cimri&utm_campaign=Cimri-fiyat-karsilastirma)

Kapalı uzunluk	Strok uzunluğu	Güç gereksinimi	Yük kapasitesi
32 cm	8 cm	12 V	100 kg

3.2.4 Yardımcı robot kol

Uygulama örneğinde, sera içerisindeki sulama, bakım, hasat, zararlılarla mücadele, vb. faaliyetlerin sürdürülmesi ve bu işlemleri otomasyon, artırılmış gerçeklik ve dijital ikiz teknolojileriyle entegre bir bütün olarak kullanabilmek amacıyla bir adet yardımcı robot kol tercih edilmektedir. Yüksek teknoloji, temin edilebilirlik ve optimum fiyat kriterleri sebeplerinden ötürü, piyasada hazır olarak teşhir edilmekte olan ürünlerden birisi olan DOBOT Magician E6-Cobot tercih edilmektedir. Şekil 3.4’de bahsedilen yardımcı robot ko gösterilmektedir. Çizelge 3.4’de yardımcı robot kol ile ilgili teknik parametreler paylaşılmaktadır (Anonymous. 2024n).



Şekil 3.4 DOBOT Magician E6-Cobot (Anonymous. 2024n)
(<https://www.mybotshop.de/DOBOT-Magician-E6-Cobot>)

Çizelge 3.4 DOBOT Magician E6-Cobot teknik parametreleri (Anonymous. 2024n)
(<https://www.mybotshop.de/DOBOT-Magician-E6-Cobot>)

Ağırlık	Eksen Sayısı	Yük Kapasitesi	Çalışma Mesafesi	Tutarlılık	Max.Lineer Hız	Güç Tüketimi	IP Sınıfı	Ses Şiddeti
7,2 kg	6	750 gr	450 mm	0,1mm	± 0,1 mm	130 W	IP20	60 db(A)

3.2.5 Kontrol ünitesi

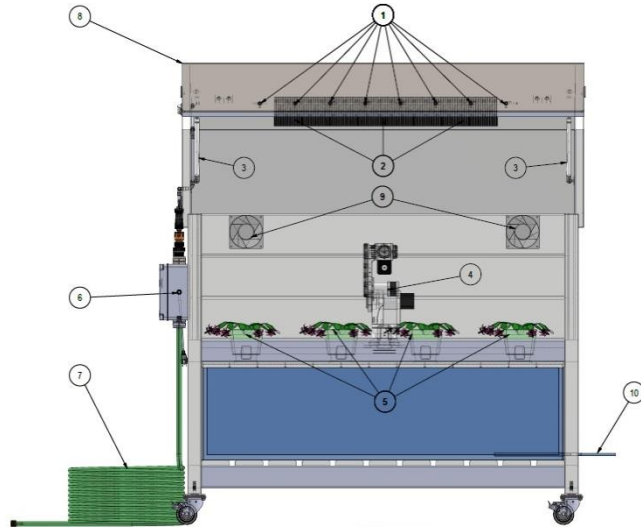
Sera içerisindeki bitkilerin yetiştirebilmesinde kritik faktörlerden olan atmosferik ve iklimsel koşullar, otomasyonu sağlanmış iklimlendirme sistemleri tarafından gerçekleştirilmekte olup uygulama örneğinde kullanılmak üzere anemometre, higrometre, termometre, barometre, manometre, yağmur sensörleri ve sera otomasyonunu kontrol etmek için bir adet Siemens 6ED1052-1MD08-0BA1 kodlu PLC kontrol modülü kullanılmaktadır. Sera içerisindeki sıcaklığı ölçerek ısıtma ve pencereleri, nemi ölçerek sislemeyi kontrol etmektedir. Rüzgar ve yağmur sensörleri pencerelerin fırtınalı yağmurlu ya da üretim için tehlike arz eden atmosferik koşullarda kapalı kalmasını sağlamaktadır. Bu sensörlerin hassasiyeti üzerlerinde bulunan hassas ayarlardan ya da sistemin bağlı olduğu arayüz üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 3.5’de uygulama örneğinde kullanılmakta olan sera otomasyon kontrol ünitesi gösterilmektedir (Anonymous. 2024o).



Şekil 3.5 Siemens sera iklim kontrol ünitesi (Anonymous. 2024o)
(<https://www.amazon.de/-/en/Siemens-6ED1052-1MD08-0BA1-PLC-Control-Module/dp/B097C48MSG>)

3.3 Model Sera ve Sistem Entegrasyonu

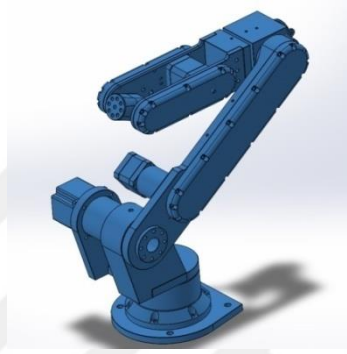
Seracılık sistemlerinin beklenen verimlilikle işletilebilmesi için yapılacak olan üretim tipinin, gerçekleştirilecek olan üretim için gerekli olan atmosferik koşullar ve istenilen iklimsel koşullandırmaların yapılabilmesi için kapalı bir ortamın sağlanması gerekmektedir. Üretim kapasitesi ve ürün modelinin seçimleri aşamalarından sonra, gerçekleştirilecek olan üretimin ekonomik optimizasyonu gerekmektedir. Ekonomik optimizasyonun sağlanabilmesi için, daha önceden parametreleri belirlenip sabitlenmiş, inşaatı tamamlanmış olan seraların enerji maliyetleri, bitki besin ve sulama giderleri gibi birçok kalemin dikkatli bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Optimum koşulların ve girdilerin sağlanması, minimum operasyon giderlerinin belirlenmesiyle üretimi gerçekleştirecek ürün için sera modellemesi tanımlanmaktadır. Yukarıda bahsedilen ve bahsedilmeyen fakat üretimde mutlaka gider oluşturacak kalemlerin hesaplandığı varsayılarak, teorik anlamda bir tarım robotunun sera içerisinde otomasyonun gerçekleştirilmesi ve bu sistemin Atırılmış Gerçeklik (AR) entegrasyonunda belirli parametrelere sadık kalarak model sera tasarlanmaktadır. Tasarlanan seranın prizmatik ölçüleri Ek 2’de paylaşılmaktadır. Sera içerisindeki her eklenti, sera üzerinde entegre olarak bulunana kontrol paneli ya da oluşturulmuş Dijital İkiz (DT) modeli vasıtasıyla programlanmakta ve kontrol edilmektedir. Sistem, bitki besleme sistemlerinin çalışabilmesi için doğrudan sıvı besleme tankına ya da üreticinin belirlemiş olduğu su ve bitki besin kaynaklarına entegre edilmektedir. Bahsedilen su kaynakları; dere, ırmak, su ve sulama kanalları, vb. olmak üzere sisteme doğrudan arz edilebilmektedir. Su filtrasyon ve Ph dengeleme işlemleri, bitki besin maddelerinin otomatik olarak dozajlanarak sisteme arz edilmesinden önce gerçekleşmektedir. Bahsedilen şekilde çalışmakta olan işlemler Ph ve bitki besin maddelerinin optimizasyonunda kritik öneme sahiptir.



Şekil 3.6 Model sera ve alt bileşenleri

Model seranın ön görünüşü ve entegre edilmiş bileşenleri Şekil 3.6’da gösterilmekte ve numaralı pozisyonları aşağıda açıklanmaktadır. 1 numaralı pozisyonda bulunan yağmurlama-sisleme başlıkları (memeleri), 6 numaralı pozisyonda bulunan PLC entegreli kontrol ünitesine doğrudan bağlanmıştır. İhtiyaç doğrultusunda, kontrol ünitesi üzerinden verilen komutlar aracılığıyla, yağmurlama ya da sisleme gerektiren bitki türlerinin veya gereken iklim koşullarını sağlamak, ortam nemini regüle etmek amacıyla sistemin bitki besleme ve gübreleme gereksinimini karşılamaktadır. 2 numaralı pozisyonda bulunan LED paneller, güneş ışığından verimli yararlanma miktarının yetersiz olduğu koşullarda çalışarak, bitkilerin fotosentez metabolizması için gerekli olan ışık miktarını tıpkı doğal coğrafyasındaki güneş saatlerine göre değişen ışık spektrumunu simüle edecek şekilde, 6 numaralı pozisyonda bulunan kontrol ünitesinden komut alacak biçimde sistem içerisinde entegre edilmektedir. 3 numaralı pozisyonda bulunan servo kontrollü aktüatörler, güneş ışığından yararlanma miktarının optimum olduğu ya da tam tersi durumlarda, seraya ışık izolasyonu yeteneği kazandırmak amacıyla, ışık geçirgenliği ayarlanabilir kapakları açıp kapatmak için kontrol ünitesinden alacağı komutlarla çalışmaktadır. Ayrıca, meteorolojik koşulların elverişsiz olduğu durumlarda da sera içerisindeki bitkileri korunaklı bir alanda yetiştirebilmek amacıyla muhafaza görevini üstlenmektedir. Şekil 3.7’de gösterilmekte olan ve Şekil 3.6’da 4 numaralı pozisyonda bulunan yardımcı robot kol, üzerine entegre edilmiş olan; nem, sıcaklık, basınç sensörleri, anot-katod diyotlar, stereo kamera, ayarlanabilir akışlı sulama başlığı, gripper(kıskaç) ile sistem içerisinde yetiştirilmekte olan bitkilerin bakım,

analiz ve hasat işlemlerini tıpkı bir insanın işgücünü taklit ederek sistemin tam otomatik olarak çalışmasına katkıda bulunmaktadır. 5 numaralı pozisyonda bulunan hidroponik ya da aeroponik yapıda saksılar, 10 numaralı pozisyonda bulunan drenaj tankı ile entegre çalışarak bitki besin maddelerinin doğru oranlarda ortamda bulunmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, saksı tabanlarındaki load-cell ve yüzeylerindeki sensörlerle, bitki besin ihtiyacının belirlenmesinde gerekli parametreleri kontrol ünitesine sağlamaktadır.



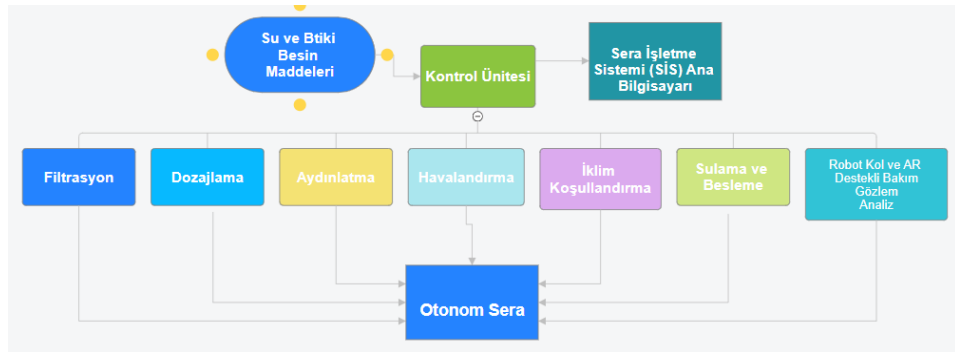
Şekil 3.7 Robot kol Dijital Model (DM)'i

Bu parametreler ise; yetiştirme ortamının oksijen ve çözünmüş bitki besin maddelerinin seviyeleri ve saksı sıcaklığı olarak belirlenmektedir. 6 numaralı pozisyonda bulunan kontrol ünitesi, sistemin otomasyon faaliyetlerinin gerçekleştirmek amacıyla bir adet PLC kartı bulundurmaktadır. Bu kart aracılığıyla sistem içerisinde çalışan 1,2,3,4,5,7,8,9,10 numaralı pozisyonlardaki entegre sistemlerin yönetimi sağlanmaktadır. Diğer yandan kontrol ünitesi, sistemin Dijital İkiz (DT) yansıması için gerekli olan bilgileri işleyip depolayabilmek ve nihayetinde bu verileri iletmek amacıyla bir adet işletim bilgisayarına sahiptir. Bu bilgisayar, yerel ağ üzerinden ana işletim bilgisayarına bağlanmak suretiyle fiziksel ve dijital sistemler arasındaki veri akışını mümkün kılmaktadır. Kontrol ünitesi içerisinde ayrıca, filtrasyon sağlayan ve Ph dengeleyici bir adet arıtma ünitesi, bitki besin maddesi dozajlama ünitesi, regülatör, wi-fi ve Bluetooth kartları ve elektrik kesintisi gibi acil durumlar için güç ünitesi vardır. Bu güç ünitesi doğrudan güneş panellerine de bağlanarak, sistemin elektrik ihtiyacını yenilenebilir kaynaklardan da sağlayabilmektedir. 7 numaralı pozisyonda bulunan sıvı giriş hortumu, sistem içerisinde gerekli olan bitki besin maddeleri ve su miktarlarının ayarlanabilmesi amacıyla dışarıda bulunan herhangi bir su ve sıvı besin

kaynağına bağlanabilmektedir. Hortum, kontrol ünitesine girişinden hemen önce, sisteme arz edilen suyu ön filtrasyonla kısmi arıtılmasını sağlayarak kontrol ünitesi içerisindeki ana filtrasyon elemanlarının daha verimli çalışmasını sağlamaktadır. 8 numaralı pozisyondaki hava kanalı ve içerisindeki kanal tipi fan, 9 numaralı pozisyonda bulunan radyal fanlar ile birlikte çalışarak, kontrol ünitesinin analizine dayalı verilerle, sera içerisindeki havalandırma-iklimlendirme işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bahsedilen iklimlendirme işlemleri, seranın otonom çalışma koşullarında dış ortamdan tam olarak izole edildiği durumlarda etkinliğini yerine getirecek şekilde programlanmaktadır.

3.3.1 Sistem çalışma prensibi

1 numaralı pozisyondaki hortum, sistem için gerekli olan sıvıyı transfer edebilmek amacıyla su ve besin kaynaklarına bağlanmaktadır. Bahsedilen su kaynakları; dere, ırmak, su ve sulama kanalları, vb. olmak üzere sisteme doğrudan arz edilebilmektedir. Arz edilen sıvılar, kontrol ünitesinden geçmek üzere sistem talebini karşılamaktadır. Kontrol ünitesi içerisindeki mini bilgisayar, sera içerisindeki faaliyetleri robot kol üzerinde bulunana sensörler ve stereo kamera aracılığıyla izledikten sonra oluşturulan verileri analiz etmekte ve sistemin bağlı olduğu ana bilgisayar üzerindeki “Sera İşletme Sistemi” uygulamasına; iklim koşulları, bitkilerin sağlık durumları ve sera içerisindeki diğer kritik öneme sahip bilgileri iletmektedir. Şekil 3.8’ de model sera çalışma prensibi gösterilmektedir.

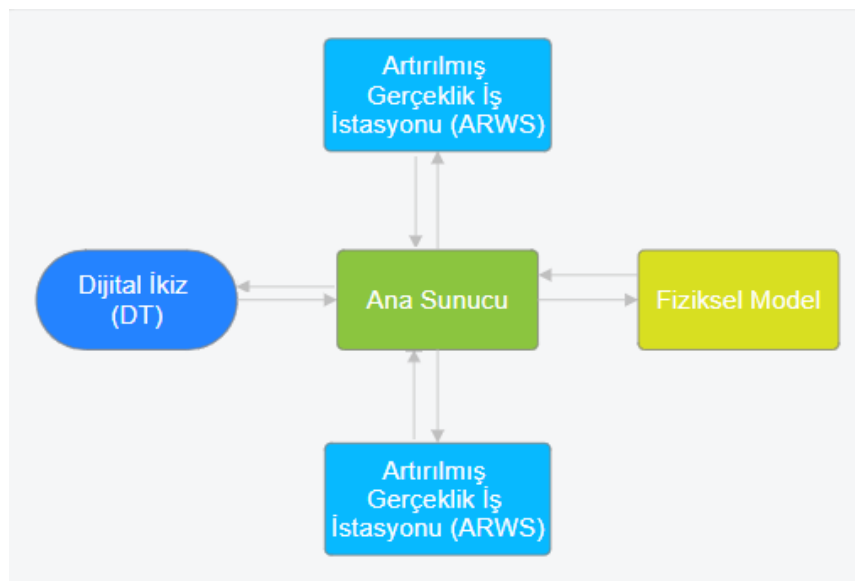


Şekil 3.8 Model sera çalışma prensibi

“Sera İşletme Sistemi” uygulamasında kişiselleştirilerek oluşturulacak model sera ve entegre sistemleri, fiziksel modeli yansıtacak şekilde ana bilgisayarda görüntülenmektedir. Dijital Model (DM), Dijital Gölge (DS) ve Dijital İkiz (DT) tasarım aşamaları gerçekleşmiş olan sistem, bu aşamada insan müdahalesine gerek kalmadan minimum operasyon olanaklarına sahip olmaktadır.

3.3.2 Robot kol ve artırılmış gerçeklik

Bitki bakım ve hasat işlemlerinde ise, ana bilgisayara bağlı Artırılmış Gerçeklik (AR) ekipmanlarının kullanılmasıyla, seraya uzaktan erişim mümkün kılınmaktadır. Bu aşamada Şekil 3.9’ da gösterilmekte olan çalışma prensibinde, serada çalışması gereken kişiler ana bilgisayar üzerinden çoğaltılmış ve aynı sunucu ile sisteme bağlı olan köle (slave) bilgisayar ve Artırılmış Gerçeklik(AR) istasyonları aracılığıyla gerekli işlemleri seraya gitmeden yapabilmektedir. Bu avantaj ise sera çalışanlarının fiziksel güçlerinden kayıplarının en aza indirgenmesini de sağlarken, ulaşım ücretlerini tamamen ortadan kaldırmaktadır. İnsansız operasyonlarda ise temel hedef, üretim için gerekli olan kaynakları optimum seviyelerde tutmak ve sürekli iyileştirme yöntemleriyle insan gücünün bertaraf edilmesiyle işletmelerde büyük ekonomik kazanımlar sağlanması öngörülmektedir. Robot kolun URDF kodları EK 1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Robot kol Dijital Model (DM) görüntüsü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan araştırmalarda, çoğunlukla tarımdaki Dijital İkiz (DT)'ler, devam eden bir süreç olarak görülmekte ve bu nedenle deneysel ölçekte veya laboratuvar ortamının dışında genellikle uygulanmamaktadır. Bu gecikmiş gelişmenin nedenlerinden biri, canlı varlıkların modellenmesinin zorluğu ve karmaşıklığından doğmakta ve hatta canlı olmayan varlıkların bile canlı varlıklarla etkileşime girmesi, etkilemesi veya etkilenmesi bu konuyu daha da karmaşık bir hale getirmektedir. Bu bağlamda, makine ve derin öğrenme gibi veri odaklı modelleme yöntemleri, bu büyük çok değişkenli ve çok varlıklı sistemlerin yüksek dinamik ve karmaşık özelliklerini yakalama ve modelleme konusunda benzersiz bir yetenek sergilemektedir. Araştırmalarda dikkate değer olan bir başka gelişme ise, canlı varlıkların modellenmesinde kullanılmakta olan tekniklerin gelişme göstermekte olduğu ve ilerleyen zamanda doğru verilerin toplanması için yeni yöntemlerin geliştirileceğine dair umut vaat edici imkanlar sunmaktadır. Bu tez kapsamında tasarlanan uygulama örneğinde, geliştirilmekte olan dijital sistemde öne çıkan önemli bulgulardan birisi ise, sistemlerin maliyet açısından yüksek yatırım gereksinimi olduğudur. Üretim alanlarının büyüklüğü göz önüne alındığında, büyük arazilerin kontrolünü, veri analizini ve simülasyonunu sağlamak için gerekli olan yatırım, yapılmakta olan üretimin maliyetlerini önemli ölçüde artırabileceği ön görülmektedir. Artan maliyetlerin başlıca sebepleri arasında; yüksek teknolojik kapasiteye sahip ekipman ihtiyacı, izleme-takip-simülasyon alt yapıları ve bu sistemleri işletecek olan personel için yapılması gereken eğitim yatırımları gelmektedir. Bahsedilen dezavantajların yanı sıra, küçük ya da orta ölçekli sera işletmeleri için maliyet etkin bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Bu avantajın sebepleri arasında; küçük ve orta ölçekli işletmelerin arazi büyüklükleri, yapılması gereken yatırımlar açısından optimum düzeyde görülebilir. Ayrıca, sistemlerin insansız çalışma kabiliyetleri, enerji, su ve bitki besin maddelerinin optimizasyonu ve otomasyonu yetenekleri düşünüldüğünde, üretim için gerekli olan maliyetleri düşürebileceği öngörülmektedir.

4.1 Model

Tarımsal alandaki çeşitliliğin modellenmesinde, entegrasyon seviyesindeki örneklerin eksikliği hem olumlu hem de olumsuz olarak görülmekte olup uygulamalar daha yüksek bilgi-entegrasyon seviyeleri gerektirmektedir ve bunun ana nedeni konuyla ilgili sınırlı araştırma ve makale olmasından ileri gelmektedir. Çoklu-fiziki ve çoklu-etmen modelleme yöntemlerini kullanarak, Dijital İkiz (DT) bağlamında modelleme için yeni yaklaşımlar sunulmaktadır. Bu yaklaşımlar, tarımda varlıkların ve etkileşimlerinin modellenmesine yönelik değerli bir katkı sağlasa da, otomatik veri toplama altyapısı ve yöntemleri, varlık durumunu ve koşullarını gerçek zamanlı olarak yeterince yansıtmak için temel yeterliliğe henüz erişmemiş olarak görülmektedir. Tarımsal üretimde kullanılmakta olan Dijital İkiz (DT)'ler ve dijitalleşme teknolojileri henüz erken bir aşamadadır fakat tasarımı gerçekleştirilmek istenen Dijital İkiz (DT)'lerin test edilmeleri durumunda, tarımsal alanların tüm parametrelerinin dikkate alınmak zorundadır ve bu bağlamda tarımsal modellerin geliştirilmesi için gerekli dijital araçlar kullanıcılara yeterli imkanı sağlamaktadır (Purcell, W., vd., 2023).

4.2 Kısmen Entegre

İncelenen çalışmalarda, tarımsal alanda faaliyet sağlamak için geliştirilen, tamamiyle otonom ve entegre bir Dijital İkiz (DT)'in elde edilmesindeki zorluklar vurgulanmaktadır. Ancak, bu gelişim aşaması, Dijital İkiz (DT)'lerin yeni uygulamalara uygulandığında oluşturma sürecine dair bir içgörü sunmaktadır. Paydaşların varlıkları daha iyi anlamalarına izin vererek, tam entegrasyon yaklaşımları araştırılabilir ve değerlendirilebilir hale gelmektedir. Bu yaklaşımlar, verilerin derlenmesi aracılığıyla benimsenmekte ve varlıkların temel etkileşimleri ve davranışlarına dair içgörü sunabilmektedir. Başka bir yaklaşımda, kısmen entegre edilmiş Dijital İkiz (DT)'leri, yeni teknoloji ve modellerin keşfi ve testi için bir çerçeve olarak kullanarak, tam entegre Dijital İkiz (DT)'lere doğru aşamalı gelişmeleri kolaylaştırmaktır (Purcell, W., vd., 2023).

4.3 Tam Entegre

Araştırmalarda ve uygulamalarda hali hazırda kullanılmak üzere tasarlanmış olup very aktarmakta olan tarımsal alandaki Dijital İviz (DT)'ler bu başlığın altında tanımlanmaktadır. Bahsedilen modellerde, gerçek zamanlı verilerin, tüm parametreleriyle tanımlanmış varlık davranışlarının ve geri bildirim mekanizmalarının gereken özelliklere ulaştığını belgelemektedir. Bu entegrasyon seviyesindeki Dijital İviz (DT)'ler, domuz ahırlarında enerji optimizasyonundan patates hasat makinelerine ve hayvancılıkta değer zincirlerine kadar geniş bir uygulama yelpazesini kapsamaktadır (Purcell, W., vd., 2023).

4.4 Uygulamalar ve Kullanım Alanları

Bu bölümde tarımsal alanda kullanılan Dijital İviz (DT)'lerin uygulamalarını ve yaklaşımlarını belirlemek için yayınlanmış araştırmaların temel odaklarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bahsedilen Dijital İviz (DT)'lerin çeşitli uygulama alanlarını tanımlayan ve araştırma geliştirme süreçleriyle ilgili akademik yayınlarda en fazla uygulama alanının tanımlandığı başlığın “bitki yetiştiriciliği” olduğunu belirleyerek bu konu hakkında ayrıntılı bilgiler paylaşılmaktadır (Purcell, W., vd., 2023). Ancak, bu hızlandırıcı projelerin tamamen araştırma odaklı olmaması nedeniyle modeller ile ilgili kritik gelişmelere erişmek zorlaşmaktadır. Detaylı bilgi eksikliği, her projenin veri entegrasyon seviyesini belirlemeyi son derece zorlaştırmaktadır. Belirsizlik veya yanlış sonuçları önlemek ve bu tezin hedeflerine daha iyi hizmet etmek amacıyla, bazı projeler incelemenin dışında bırakılmaktadır.

4.4.1 Bitki gelişiminde izleme, kaynak optimizasyonu ve yetiştirme desteği

Laryukhin, vd. tarımsal sistemlerin karmaşıklığını aşmayı amaçlayan bir “siber-fiziksel çoklu ajan” yaklaşımını önermektedir. Bu “ajan” varlıklar, sanal ortamda sonlu eylem ve kural setleri temelinde birbirleriyle etkileşimde bulunarak, yönetimle ilgili kritik

unsurları (örneğin, toprak, gübre, bitki, çiftçi vb.) temsil etmektedir. Kaynak kullanımını ve dağıtım maliyetini optimize etmeye yardımcı olmakta ve ortaya çıkan davranışı teşvik etmeyi amaçlayarak, süreçlerin ve etkileşimlerin daha yüksek güvenilirlik ve sadakatli bir modelini oluşturmaktadır, aksi takdirde pratik olmayacağını belirtmektedir. Laryukhin, vd. tarafından belirtilen bir diğer önemli nokta ise, büyümeyi izleyen, simülasyon aracılığıyla sonuçları tahmin edebilecek bir bitki Dijital İkiz (DT)'ini geliştirmektir.

Skobelev, vd., Laryukhin, vd.'ye bir geliştirme olarak, buğdayın Dijital İkiz (DT)'ini geliştirmek için “çoklu ajan” yaklaşımını uygulamakta ve kapsamlı bir bilgi tabanını “çoklu ajan” modelleme ile birleştirmektedir. Model tabanlı ve gerçek dünya sistemlerinin sapmaya başladığı noktalarda, tahmin etme ve sınıflandırma konusunda etkisiz hale gelebilen veri odaklı modelleme yöntemlerinin sınırlamalarını aşmayı amaçlayan yeni bir mimari taslağı sunulmaktadır. Bu taslak, özellikle iklim değişikliği bağlamında öne çıkmakta ve burada önerilen çözüm de “çoklu ajan” yaklaşımını kullanarak temel sistem dinamiklerini çoğaltmakta ve bulut bilişim destekli veri tabanlarını kullanarak anormal durumları tespit etmek ve düzeltmek için uygun önlemleri önermektedir. Bu çalışma, tarımın gelecekteki başarısı için hayati olan iklim dayanıklı karar destek teknolojilerine doğru önemli bir adımdır olarak önem taşımaktadır.

Moghadam, vd., bir meyve bahçesinin modellenmesi ve Dijital İkiz (DT)'inin yaratılmasını tartışmaktadır. 3D LIDAR kameraları kullanarak her ağacın Dijital İkiz (DT)'i oluşturulmakta ve güncellenmektedir. Bu sistem, birçok ağaca dair gerçek zamanlı durum izleme ve karar destek sağlamayı amaçlamakta ve aynı zamanda çiftçinin emek gereksinimlerini azaltmaktadır.

Machl, vd. tarım ve kırsal taşıma geliştirmesi için jeo tasarım süreçlerini desteklemek amacıyla bir kültür peyzajının zamansal ve mekansal Dijital İkiz (DT)'i taslağını çizmektedir. Veri toplama yöntemlerinin ayrıntılı bir açıklaması verilmese de, mekansal ve zamansal bilginin toplanması ve kullanılması tartışılmaktadır. Bu yaklaşımda, Dijital

İKiz (DT)'i modellenen varlığın güncel bir temsilini sürdürdüğünü, ancak diğer uygulamalarda görülebilecek daha büyük bir zaman ölçeğinde olduğunu ima etmektedir.

Angin, vd., bitki izleme ve karar destek için bir tarla Dijital İKiz (DT)'i uygulamaktadır. LoRaWAN tabanlı, düşük güçlü IoT kablosuz sensör ağı ve drone görüntülerine dayanan bir Dijital İKiz (DT) çerçevesinin taslağını çizmektedir. Tasarlanan Dijital İKiz (DT) için amaçlanan görevler; bitkileri hastalık ve yabancı ot tespiti için modellemek ve birbirleriyle etkileşimlerini anlayabilmek adına da derin öğrenmeyi kullanmaktadır. Araştırma, tasarlanan modellerin yeni veri kaynağına dahil edilebilme yeteneğini ve bu nedenle modelleme için kullanım-durum kapsamının kolayca genişletilebileceğini göstermektedir. Jayaraman, vd., fiziksel bir varlığın durumundaki değişiklikleri gözlemlemek için IoT tabanlı veri toplama sisteminin (hem mekansal hem de zamansal) faydalarını anlatmaktadır. Değişen koşullar altında (örneğin, sulama, gübreleme ve bitkiler) ikincil araştırma olarak, çalışmanın Phenonet platformu ve akıllı tarım için uygulanabilirliğini gözden geçirmektedir.

Loke, vd. tarımsal araştırmalarında IoT'nin genel bir bakışını sunmaktadır. İleri sürülen vaka çalışması, IoT ve veri odaklı modellerin Dijital İKiz (DT) oluşturmak için nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Prototip sistem, su kirliliğini en aza indirmeyi amaçlayan gübreleme ve su kalitesini izlemek için önerilen daha büyük bir sistemin parçası olarak tanımlanmaktadır. IoT'nin, literatürde açıkça görüldüğü gibi, Dijital İKiz (DT)'lerin geleceği için bir kaçınılmaz bir olanak faktörü olduğu gösterilmektedir.

Alves, vd. diğerleri, verim artışı için bitki sulama optimizasyonuna odaklanarak, izleme ve karar destek mekanizmaları için IoT tabanlı bir Dijital İKiz (DT) modelini öne sürmektedir. Birden çok veri kaynağının kullanımı dikkat çekicidir, hem yerel (örneğin, sahadaki sensörler) hem de uzaktan algılama (örneğin, hava durumu istasyonları) yöntemlerini kullanmakta olup ayrıca kolay entegrasyon için bulut tabanlı bir mimariyi de içermektedir.

Kampker, vd. bir patates hasat makinesi için "dijital (bir) patates" oluşturmanın yöntemlerini araştırmaktadır. Bu araştırma, bir patates hasat makinesini otomatik olarak kalibre etmek için bir yöntem oluşturmayı hedeflemektedir. Bu yöntem, üreticilerin ve çiftçilerin patateslerde oluşabilecek herhangi bir potansiyel hasarı en aza indirmelerine ve makinenin optimal kalibrasyonunu sağlamalarına izin verecek şekilde sürdürülmektedir. Sistem, patatese benzer şekil ve ağırlıkta ve sensörle donatılmış bir cismin modellenmesini, ve saha içerisinde belirli bölgelere yerleştirilerek üretmeleri beklenen verileri, çeşit bilgisi ve makine öğrenimi kullanarak üretimi izleyebilmekte ve optimum hasat ayarlarının yapılandırmasını belirleyebilmektedir (Purcell, W., vd., 2023).

4.4.2 Hayvancılıkta izleme, yönetim ve optimizasyon

Erd'elyi, vd. domuz besleyicileri için bir Dijital İkiz (DT) modeli tasarlamakta ve amacı ise belirsiz faktörler altında uygulama sistemlerini modelleme konusundaki sorunları belirlemektedir. Başlangıç olarak, yalnızca tekil alt sistemler ve etkileşim noktaları düşünölmekte ve her biri üretim sürecinin korelasyonlarını ve özelliklerini yakalayan matematiksel denklemler aracılığıyla modellenmektedir.

Niswar, vd. yumuşak kabuklu yengeç yetiştiriciliğinde gerçek zamanlı su kalitesi izlemek için uygun maliyetli ve IoT tabanlı Dijital İkiz (DT) taslağını modellemektedir. Sistem, MQTT veri aktarıcısı ve bulut bilişim kullanarak veri toplamaakta, analiz gerçekleşmekte ve ortaya çıkan igöröler sayesinde karar verme süreçlerini uygulamaktadır. Testler, her aktarıcının 25 sensöre kadar bağlanabileceğini ortaya koymakta ve bu da düşük maliyetli ve yüksek çözünürlüklü bir durum izleme sistemi oluşturmayı mümkün kılmaktadır.

Jo, vd. tarımsal ve hayvancılık alanlarındaki üretimlerin, Dijital İkiz (DT) modelleri aracılığıyla yapılabirliğine dair bir ön araştırma yapmaktadır. alışmaları, tarım hayvanlarının optimal büyümesi için bir Dijital İkiz (DT)'in taslağını ortaya koymaktadır. Bu araştırma Dijital İkiz (DT)'lerin, ahır sistemlerini düzenlenmesi

amacıyla, hava kalitesi ve sıcaklığı belirlenmiş bir aralık içinde tutmak için kontrol edildiğini belirtilmektedir. Arzu edilen bir sonuç üreten senaryoların tanımlanması için büyük veri ve model tabanlı simülasyon kombinasyonu kullanılmakta ve bu da karar verme desteği sağlamak ve ahır sistemlerinin kontrol otomasyonunu sağlamak için kolaylık sağlamaktadır. Gerekli duruma ulaşmak için fan hızı ve pencere otomatik açma kombinasyonu ahır kontrol sistemleri aracılığıyla düzenlenmektedir. Kullanılan modelin kesin özellikleri sağlanmamakla birlikte, bu araştırmanın veri üretebilmesi ve operasyonel kabiliyetlerini geliştirebilmesi için makine ve/veya derin öğrenme modelleri en olası yöntemler olarak görünmektedir. Jo, vd. optimal ahır tasarımı için karar destek sağlamak amacıyla bir domuz ahırının enerji tüketimini simüle etmeye odaklanmaktadır. Geliştirilmekte olan Dijital İkiz (DT), IoT verileri, fan özellikleri ve işletme ahırının modelini tasarlanan sistem içerisinde entegre bir bütün olarak kullanmaktadır. Dijital İkiz (DT)'in asıl amacı, enerji tüketimini optimize etmek ve ahır tasarımını değerlendirip iyileştirerek, optimal hava kalitesini, sıcaklığı ve nemini teşvik ettikten sonra en düşük enerji girişini sağlamak için gerekli simülasyonları gerçekleştirmektir. Bu değerlendirme, gerçek dünya altyapısının maliyetli ve zaman alıcı araştırma-geliştirme ve test etme süreçlerini simülasyon aracılığıyla optimize etmektedir (Purcell, W., vd., 2023).

4.4.3 Kentsel alanlarda, kontrol edilen ortam ve akuaponik tarım

Monteiro, vd. dikey tarım için bir Dijital İkiz (DT) geliştirilmesini ele almaktadır ve araştırmanın odak noktası, dikey tarım yapıları için dirençli ve adapte edilebilir otomasyonu verimliliği artıracak şekilde geliştirmektir. Redundant (yedek) tasarım tekniklerinin var olan modellere entegrasyonu ve donanım arızalarının tanımlanmasına izin verilerek sistemlerin güvenli bir şekilde arızalanmasını imkan sağlanmaktadır. Bunu başarmak için, tasarım aşamasında fiziksel ve sanal varlıklar arasında sıkı entegrasyon, sistem optimizasyonu ve potansiyel risklerin önceden önlenmesi yöntemleri bir arada kullanılmaktadır. Bu çalışmada temel amaç, Dijital İkiz (DT)'ler için optimum fiziksel ortamların yaratılmasıdır. Bu fiziksel ortamlar, sistem arızası, hatalı sensör okumaları veya harici faktörlerin ortaya çıkması durumunda istenmeyen

davranışları önlemek için tasarlanmaktadır. Bu yöntemlerle bir Dijital İkiz (DT) oluşturmak, genellikle yüksek dinamik ortamlarda (örneğin, çiftlik) karşılaşılan işletme müdahalesini azaltmakta ve bu da optimal koşulların korunmasını daha kolay hale getirmektedir.

Ahmed, vd. karmaşık sistemlerin optimizasyonu ve yönetimi için pratik bir Dijital İkiz (DT) modelinin tasarlanması üzerine çalışmaktadır. Araştırma, aküaponik üretim (aquaphonic) bağlamında bir Dijital İkiz (DT)'in faydalarına dair içgörü sağlamaktadır. Aküaponik tarım, hidroponik (suda yetiştirme) ve akvakültürün (balık yetiştiriciliği) simbiyozu olarak tanımlanmaktadır ve bu türde sistemleri etkileyen başlıca faktörler, besin konsantrasyonu ve su kalitesi olarak belirtilmektedir. Bu faktörler işletme maliyeti ve üretim seviyeleri ile dengelenmekte ve işletmeler optimum verim seviyelerine ulaşmaktadır. Bu noktada Dijital İkiz (DT) modellerinde gerekli simülasyonlar yapılarak, besin maddelerinin ve suda çözünmüş diğer organik ya da inorganik bileşenlerin optimum seviyede sisteme katılmasına olanak sağlamaktadır. Araştırması yapılmakta olan Dijital İkiz (DT), aküaponik tarımın zorlukları için benzersiz çözümler sunmakta ve küçük ölçekli deneysel bir ortamda dört hafta boyunca çalıştırılmıştır ve ortaya çıkan gerçek zamanlı veri, simülasyon ve otomasyonun birleşimi, Dijital İkiz (DT) sisteminin temel faktörlerini ayarlayarak optimal işlemi sürdürmesine izin vermektedir. Çalışmanın amacı, Dijital İkiz (DT)'in içsel sanal varlık durumunu ve simülasyon çıktısını araştırmacılar tarafından doğrudan toplanan gerçek verilere karşı değerlendirmektir. Bu çalışmanın sonucunda, pH ve çözünmüş katılar yeterli doğrulukta tahmin edilmiş, ancak büyüme hızları ve nitrat seviyeleri beklenen ve gözlenen sonuçlardan farklı çıkmaktadır. Daha fazla gerçek zamanlı veri ve yüksek teknolojili entegrasyonunun birleşimi senaryosunun, bu sorunları çözmeye yardımcı olacağı sonucuna varılarak, optimal sonuçları sağlamak için gerçek dünya koşullarının ve varlık durumunun doğru bir temsilinin ne kadar önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Ghandar, vd. kentsel alanlarda yapılmakta olan tarımsal üretimler için karar ve destek sistemini oluşturmak amacıyla “ajan” modelini araştırmaktadır. Aküaponik tabanlı üretim sistemlerinde, tahmin ve karar kabiliyetlerini geliştirmek için bir Dijital İkiz (DT) modellenmekte olup IoT, makine öğrenimi ve veri odaklı simülasyonun bir

kombinasyonu kullanılarak uygulanmaktadır. Araştırma, Çin'in Shenzhen şehrindeki birçok şehir çiftliğini yönetmeyi ve entegre sistem içerisinde kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Bu araştırmanın sonucunda, model tabanlı bir simülasyonun, özellikle düşük veri aktarımı durumlarında, makine öğrenimi yaklaşımlarına dayalı olarak belirli avantajlar sağlayabileceği belirtilmektedir.

Jans-Singh, vd. yeraltı şehir çiftliğinin kavramlarıyla ilgili bir Dijital İkiz (DT) modelini öne sürmektedir. Bu çalışmada incelenen Dijital İkiz (DT)'in amacı, uzaktan izleme, karar destek, tahmin ve optimizasyonu mümkün kılmakta ve bunu gerçekleştirmek için otomatik ve manuel veri toplama yöntemleri kullanılmaktadır. Veri analizi, veri birleştirme ve zamanla değişen dinamik modeller içeren tasarımlar en iyi sonucu sağlamaktadır. Ancak, üretim modeline özgün sistem modellerinin oluşturulmasının gerekliliği de bu çalışmada vurgulanmaktadır.

Johannsen, vd. kentsel alanlarda yapılmakta olan arıcılık faaliyetleri için "ajan" tabanlı bir Dijital İkiz (DT) modelini öne sürmektedir. Uzaktan izleme ve karar destek sistemlerini geliştirmek için sensör verileri, ırk ve flora tipine dayalı "ajan" tabanlı modelleme kombinasyonu kullanılmaktadır. Bu "ajan" varlıkları modellemek için makine öğrenimi, olasılıksal veri analizi ve veri birleştirme tekniklerini kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın yenilikçi yönü, "ajan" modellerin, arı kovanlarını ve arıcıları temsil etmek için kullanılması olarak görülmektedir. Bu modellerin analizi, arıcının arı kovanı üzerindeki etkisini, doğrudan veya dolaylı eylemleri aracılığıyla belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

Howard, vd., ticari seralar içerisinde genel uygulamaların sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla bir Dijital İkiz (DT)'in taslağını çizmektedir. Araştırmanın temel hedefleri, sera yönetimini ve enerji tüketimini optimize etmek ve bu optimizasyon ile, çoklu bağlantılı sistem değişkenlerinin modellenmesini ve sistemin yeni parametrelere göre tekrar dengelenmesini içermektedir. Bahsedilen Dijital İkiz (DT), halen tartışılmakta olup henüz uygulanmamıştır fakat IoT, "ajan" tabanlı modelleme ve yapay zeka teknolojileri kullanılarak modelleme, kontrol etme ve optimize işlemlerinin

gerçekleştirildiğinin varsayılması sebebiyle Dijital İkiz (DT) olarak tanımlanmaktadır (Purcell, W., vd., 2023).

4.4.4 Ürün tasarımı, akıllı hizmetler ve makine yönetimi

Tsolakis, vd. tarım makinelerini sanal ortamlarda taklit etmek için AgROS adlı bir uygulama platformunu geliştirmektedir. Bu uygulama, siber-fiziksel arayüzleri aracılığıyla gerçek dünyanın veri girdilerini ve ortamlarını çoğaltarak, tasarlanan sistem davranışını gerçek dünya saha koşulları altında daha iyi değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Fiziksel karşılıklar yani tarım makineleri ve teçhizatları, AgROS'a bağlanarak sensör okumalarının gerçek zamanlı olarak yapılmasına izin vermekte ve tarımsal alanda bir Dijital İkiz (DT)'e doğru atılmış temel bir adım olarak tanımlanmaktadır.

Paraforos, vd. tarımsal alanda kullanılabilecek bir Dijital İkiz (DT)'i tasarlamak ve geliştirmek için mevcut teknoloji ve standartların nasıl uygulanabileceğini tartışmaktadır. ISOBUS standardına uyumlu sensörlerle donatılmış tarım makinelerinin, tarla Dijital İkiz (DT)'leri için veri toplama yöntemi olarak kullanmasına izin vermektedir. Bu veriler arasında ürün verimi, sıcaklık ve makine durumu bulunmaktadır.

Susarev, vd. genellikle imalat sektöründe faaliyette bulunanlarla yakından benzerlik gösteren bir Dijital İkiz (DT) uygulaması üzerinde çalışmaktadır. Çalışmaları, otonom güdümlü araçlar için Dijital İkiz (DT) modellemesi kullanarak etkili testlerin nasıl gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Bireysel, karmaşık ya da yapısal bileşenlerin yüksek sadakatli modelleri, tarım arazisindeki varlıkların kapsamlı bir modelini oluşturmak için bir araya getirilmektedir. Üretim alanı içerisindeki bileşenleri ve mevcut bileşenlerle etkileşimlerini test etme yeteneği, bu yaklaşımı kullanarak oldukça kolaylaşmakta ve yeni bileşenlerin daha hızlı değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Purcell, W., vd., 2023).

4.4.5 Tedarik ve değer zinciri

R. Dolci tarafından modellenen bir Dijital İkiiz (DT), malt üretimi için optimal koşulları belirlemek ve sürdürmek için IoT tabanlı bir sistem entegrasyonu kullanmaktadır. Bu yaklaşım, temel kalite göstergelerinin gözlemlenmesini sağlayarak kolonilerin büyümesi üzerinde verimi artırmaktadır. Bu sonuçlara ulaşmak için nispeten basit ve çok değişkenli analizler kullanılmaktadır.

Tagliavini, vd. meyve kalitesinin değişen soğutma koşulları altındaki değişimini incelemek için meyve şekli, malzeme ve ilişkili özellikleri modelleme üzerine çoklu-fizik modelleme ve sayısal simülasyon yaklaşımını önermektedir. Araştırma, iklim kontrolü ve kalite optimizasyonu için gelecekte tasarlanması beklenen Dijital İkiiz (DT)'lerin temelini oluşturmak amacıyla meyve modelleme üzerine odaklanmaktadır.

R. Dolci ve Tagliavini, vd. tarafından sunulan Dijital İkiiz (DT)'ler arasındaki temel fark, fiziksel varlığın sanal olarak nasıl temsil edildiğidir. R. Dolci veri odaklı modelleme kullanırken, Tagliavini, vd. çoklu-fiziki bir yaklaşım kullanmaktadır.

O. Keates vd. et ve hayvan değer zincirini iyileştirmek için bir Dijital İkiiz (DT) üzerinde çalışmaktadır. Modellenen Dijital İkiiz (DT), temel ölçümleri yakalamak ve paylaşmak, ayrıca bunları bir referans modeline karşı değerlendirmek için bir çözüm yöntemi olarak sunulmaktadır. Belirtilen ana kullanım durumu, fiziksel tedarik zincirini, referans modeline dayalı olarak simüle ederek yeteri miktarda veri oluşturmakta ve bu da tedarik zincirinin daha iyi anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmanın temel hedeflerinden biri, IoT teknolojisinin ve Dijital İkiiz (DT) konseptinin uygulanma değerini göstererek, bu hedefe ulaşmak için kapsamlı bir yol haritası sunmaktır (Purcell, W., vd., 2023).

Yukarıda bahsedilen araştırma projelerinden elde edilen sonuçlar, gelecekteki çalışmalar için umut verici bir yol göstermektedir, ancak karmaşık tarımsal sistemlerin yönetimi ve otomasyonu ile ilgili sorunlar devam etmektedir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Diğer araştırmacılar tarafından da görüldüğü gibi, Dijital İkiz (DT) teknolojileri, üretimin her alanında beklentinin ötesinde faydalar sağlamakta ve dinamik koşulların belirsizliği hakkında değerli içgörüler sunmaktadır. Farklı disiplinlerdeki odak alanların çeşitliliği, gelişmekte olan teknolojiyi kullanmak adına sınırsız seçenek sunmaktadır. Üretim alanlarında yeni yatırımları ve katkıları teşvik etmek için dijital teknolojilerin kullanımı ile ilgili endüstri standartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, odaklanılan alanların alan özgü gereksinimlerini karşılayan referans modeller geliştirilmesi, bu alanlarda teknolojik ilerlemenin hızlanmasına katkı sağlayacaktır. Tez, Dijital İkiz (DT)'in gelişiminin hala başlangıç aşamasında olduğunu göstermektedir, çünkü literatür çoğunlukla somut vaka çalışmaları olmadan kavram makalelerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte, özellikle düşük entegrasyon seviyelerinde (DM ve DS) araştırılmakta olan uygulamalı vaka çalışmaları, hali hazırda var olan tekniklerle benzerlik göstermektedir. Tarımsal üretimdeki Dijital İkiz (DT)'lerle ilgili son araştırmaların ana odak noktası, canlı ya da cansız varlıkların sistemi içerisinde modellenmesi, nihai üretimin tüm aşamalarıyla ilgili gerekli olan tüm kritik verilerin toplanması ve üretim planlama araçlarının optimizasyonu ile ilgilenmektir. Canlı ve cansız varlıkların birbirleriyle etkileşimi ve bu belirsiz etkileşimin modellenmesiyle ilgili ortaya çıkan zorluklar sebebiyle bu tür dijital tanımlamaların, kısa vadeli bir zaman perspektifine sahip üretim alanları için uygun olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, Dijital İkiz (DT)'ler, endüstriyel üretimin gerçekleştirilmekte olduğu alanlarda, toplanması istenen verileri belirlenen zaman diliminde derleyerek gerekli optimizasyonları en kısa sürede yapabilmektedir. Dijital İkiz (DT)'lerin faydasını değerlendirmek için endüstriyel ortamlarda vaka çalışmalarına yönelik daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak, tarım ve hayvancılık sektöründeki Dijital İkiz (DT) kavramı, IoT, makine öğrenimi ve Cyber-Physical Systems (CPS) gibi teknolojiler aracılığıyla, bitkiler, hayvanlar ve hydroponic sistemler gibi bir dizi kullanım alanında umut vaat eden gelişmeler göstermektedir. Dijital İkiz (DT)'lerin tarımsal alanlarda başarılı olması için açık sorunlar ele alınmalı, veri güvenliği sağlanıp kullanıcılar için ortak platformlar geliştirilmelidir. Yeni yöntemlerin geliştirilmesi, tarıma özel tanımlamalarının yapılması ve dijital teknolojilerinin uygulanmasıyla,

mevcut kısıtlamaları ve zorlukları aşmak kolaylaşmaktadır. Dijital İkiz (DT), dinamik sistemlerin modellenmesi, simulasyonu ve otomasyonunu mümkün kılma konusunda heyecan verici bir fırsat sunmakta ve tarım gibi karmaşık alanlarda gerçek dijitalleşmeyi başarma fırsatını vaad etmektedir.



KAYNAKLAR

- Aceto, G., Persico, V., & Pescapé, A. (2020). Industry 4.0 and health: Internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 18, 100129.
- Ahangar, P., Cooke, M. E., Weber, M. H., & Rosenzweig, D. H. (2019). Current biomedical applications of 3D printing and additive manufacturing. *Applied sciences*, 9(8), 1713.
- Anonymous. 2024a Calsoft Websitesi <https://www.calsoft.com/what-is-industry-4-0/>
- Anonymous. 2024b Nasa Websitesi <https://mars.nasa.gov/mer/>
- Anonymous. 2024c Spiceworks Websitesi <https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-cloud-computing/>
- Anonymous. 2024d Ansys Websitesi <https://www.ansys.com/>
- Anonim. 2024a AutoDesk AutoCad Websitesi <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Anonymous. 2024e Technia Websitesi [https://www.technia.com/blog/what-is-catia/#:~:text=CATIA%20stands%20for%20Computer%20Aided,\(Computer%2DAided%20Manufacture\).](https://www.technia.com/blog/what-is-catia/#:~:text=CATIA%20stands%20for%20Computer%20Aided,(Computer%2DAided%20Manufacture).)
- Anonim. 2024b DSS SolidWorks Websitesi <https://www.solidworks.com/>
- Anonymous. 2024f Rocky Websitesi <https://www.esss.co/en/ansys-simulation-software/ansys-rocky/>
- Anonymous. 2024g AutoDesk Fusion 360 Websitesi <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Anonymous. 2024h Bentley Systems Websitesi <https://www.bentley.com/software/digital-twins/>
- Anonymous. 2024i Blender Websitesi <https://www.blender.org/>
- Anonymous. 2024j Gazebo Websitesi <https://gazebosim.org/home>
- Anonymous. 2024k Rviz Websitesi <https://wiki.ros.org/rviz/UserGuide>

- Anonymous. 2024l Simio Websitesi
<https://www.simio.com/software/simulation-software.php>
- Anonymous. 2024m Siemens Websitesi
<https://webinars.sw.siemens.com/en-US/high-fidelity-digital-twin/>
- Anonim. 2024c (www.amazon.com.tr/sisleme)
- Anonim. 2024d (<https://botanikled.com/project/ts3000-led/>)
- Anonymous. 2024e Robocombo Websitesi
(https://www.robocombo.com/ayarlanabilir-lineer-motor-1224v-80mm-aktuator-2989?ref=Cimri&utm_source=Cimri&utm_medium=Cimri&utm_campaign=Cimri-fiyat-karsilastirma)
- Anonymous. 2024n Mybotshop Websitesi
(<https://www.mybotshop.de/DOBOT-Magician-E6-Cobot>)
- Anonymous. 2024o Amazon Websitesi
(<https://www.amazon.de/-/en/Siemens-6ED1052-1MD08-0BA1-PLC-Control-Module/dp/B097C48MSG>)
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776.
- Das, S. K. (2016). Design and methodology of line follower automated guided vehicle-a review. *international journal of science technology and engineering*, 2, 2349-784.
- Davidson, P., & Spinoulas, A. (2015). Autonomous vehicles: what could this mean for the future of transport. In Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference, Brisbane, Queensland.
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. *IEEE industrial electronics magazine*, 8(2), 56-58.
- Feledy, C., & Schiller Luttenberger, M. (2017). A State of the Art Map of the AGVS Technology and a Guideline for How and Where to Use It.
- Kober, J., Bagnell, J. A., & Peters, J. (2013). Reinforcement learning in robotics: A survey. *The International Journal of Robotics Research*, 32(11), 1238-1274.

- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *Ifac-PapersOnline*, 51(11), 1016-1022.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6 (4), 239-242.
- Lezzi, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2018). Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. *Computers in Industry*, 103, 97-110.
- Moshayedi, A. J., Jinsong, L., & Liao, L. (2019). AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance. *Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering*, 12(4), 5-18.
- Okano, M. T. (2017, September). IOT and industry 4.0: the industrial new revolution. In *International Conference on Management and Information Systems* (Vol. 25, p. 26).
- Purcell, W., & Neubauer, T. (2023). Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100094.
- Ramsauer, C. (2013). Industrie 4.0—die produktion der Zukunft. *WINGbusiness*, 3(2013),6-12.
- Reljić, V., Milenković, I., Dudić, S., Šulc, J., & Bajči, B. (2021). Augmented reality applications in industry 4.0 environment. *Applied Sciences*, 11(12), 5592.
- Ruan, J., Jiang, H., Li, X., Shi, Y., Chan, F. T., & Rao, W. (2019). A granular GA-SVM predictor for big data in agricultural cyber-physical systems. *IEEE transactions on industrial informatics*, 15(12), 6510-6521.
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Suri, K., Cuccuru, A., Cadavid, J., Gerard, S., Gaaloul, W., & Tata, S. (2017). Model based development of modular complex systems for accomplishing system integration for industry 4.0. In *International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development* (Vol. 2, pp. 487-495). SciTePress.

EKLER

EK 1 Robot kol URDF kodları

EK 2 Tasarlanan seranın prizmatik ölçüleri



EK 1 Robot kol URDF kodları

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<robot
  name="DTGHRA URDF 1">
  <link
    name="base_link">
    <inertial>
      <origin
        xyz="0.046153 0.12064 0.2166"
        rpy="0 0 0" />
      <mass
        value="0.16914" />
      <inertia
        ixx="0.00028634"
        ixy="2.6508E-08"
        ixz="7.1581E-20"
        iyy="0.00058008"
        iyz="-1.9186E-21"
        izz="0.00029673" />
    </inertial>
    <visual>
      <origin
        xyz="0 0 0"
        rpy="0 0 0" />
      <geometry>
        <mesh
          filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/base_link.STL" />
        </geometry>
      <material
        name="">
        <color
          rgba="0.79216 0.81961 0.93333 1" />
        </material>
      </visual>
    <collision>
      <origin
        xyz="0 0 0"
```

```

    rpy="0 0 0" />
  <geometry>
    <mesh
      filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/base_link.STL" />
    </geometry>
  </collision>
</link>
<link
  name="Link 1">
  <inertial>
    <origin
      xyz="-0.00065266 0.00084608 5.6499E-08"
      rpy="0 0 0" />
    <mass
      value="0.18581" />
    <inertia
      ixx="0.00022785"
      ixy="2.0949E-07"
      ixz="1.084E-10"
      iyy="0.00035008"
      iyz="8.1803E-12"
      izz="0.00023294" />
  </inertial>
  <visual>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 1.STL" />
      </geometry>
    <material
      name="">
    <color
      rgba="0.79216 0.81961 0.93333 1" />
    </material>
  </visual>
  <collision>
    <origin

```

```

    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
  <geometry>
    <mesh
      filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 1.STL" />
    </geometry>
  </collision>
</link>
<joint
  name="J1"
  type="fixed">
  <origin
    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
  <parent
    link="base_link" />
  <child
    link="Link 1" />
  <axis
    xyz="0 0 0" />
</joint>
<link
  name="Link 2">
  <inertial>
    <origin
      xyz="-0.0123532144570768 -0.00666550031118571 0.000522918219511614"
      rpy="0 0 0" />
    <mass
      value="0.0936771887851603" />
    <inertia
      ixx="6.05538323579133E-05"
      ixy="2.91096551002138E-07"
      ixz="5.33548027868094E-07"
      iyy="0.000139292077161183"
      iyz="-7.98800366585821E-08"
      izz="8.11848452459958E-05" />
    </inertial>
  <visual>
    <origin

```

```

    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
  <geometry>
    <mesh
      filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 2.STL" />
    </geometry>
  <material
    name="">
    <color
      rgba="0.792156862745098 0.819607843137255 0.933333333333333 1" />
    </material>
  </visual>
  <collision>
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <geometry>
      <mesh
        filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 2.STL" />
      </geometry>
    </collision>
  </link>
  <joint
    name="J2"
    type="revolute">
    <origin
      xyz="0 0 0"
      rpy="0 0 0" />
    <parent
      link="Link 1" />
    <child
      link="Link 2" />
    <axis
      xyz="0 0 0" />
    <limit
      lower="0"
      upper="0"
      effort="0"
      velocity="0" />

```

```

</joint>
<link
  name="Link 3">
  <inertial>
    <origin
      xyz="0.000561511945593451 0.0412051056340786 0.0115180282326699"
      rpy="0 0 0" />
    <mass
      value="0.2554356498246" />
    <inertia
      ixx="0.000422601659374327"
      ixy="-2.76460948213544E-06"
      ixz="-5.99940326359468E-06"
      iyy="0.000193069731393053"
      iyz="-3.01955105536587E-05"
      izz="0.000301028454335206" />
    </inertial>
    <visual>
      <origin
        xyz="0 0 0"
        rpy="0 0 0" />
      <geometry>
        <mesh
          filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 3.STL" />
        </geometry>
      <material
        name="">
        <color
          rgba="0.792156862745098 0.819607843137255 0.933333333333333 1" />
        </material>
    </visual>
    <collision>
      <origin
        xyz="0 0 0"
        rpy="0 0 0" />
      <geometry>
        <mesh
          filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 3.STL" />
        </geometry>

```

```

</collision>
</link>
<joint
  name="J3"
  type="fixed">
  <origin
    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
  <parent
    link="Link 2" />
  <child
    link="Link 3" />
  <axis
    xyz="0 0 0" />
</joint>
<link
  name="Link 4">
  <inertial>
  <origin
    xyz="0.00545276939400935 -0.146983218301514 -1.34321180844665E-07"
    rpy="0 0 0" />
  <mass
    value="0.264031346790739" />
  <inertia
    ixx="0.00294669041808002"
    ixy="-3.64951831585047E-05"
    ixz="7.68416765425397E-11"
    iyy="0.000114025628898903"
    iyz="1.63112488278192E-09"
    izz="0.00284521552999994" />
  </inertial>
  <visual>
  <origin
    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
  <geometry>
  <mesh
    filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 4.STL" />
  </geometry>

```

```

<material
  name="">
  <color
    rgba="0.792156862745098 0.819607843137255 0.933333333333333 1" />
  </material>
</visual>
<collision>
  <origin
    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
  <geometry>
    <mesh
      filename="package://DTGHRA URDF 1/meshes/Link 4.STL" />
    </geometry>
  </collision>
</link>
<joint
  name="J4"
  type="revolute">
  <origin
    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
  <parent
    link="Link 3" />
  <child
    link="Link 4" />
  <axis
    xyz="0 0 0" />
  <limit
    lower="0"
    upper="0"
    effort="0"
    velocity="0" />
</joint>
<link
  name="Link 5">
  <inertial>
  <origin
    xyz="0.00225106406589481 -0.000129429577579887 -0.00131456194782104"

```

```
    rpy="0 0 0" />
  <mass
    value="0.150974836543913" />
  <inertia
    ixx="9.76703361256491E-05"
    ixy="-4.74946813304749E-08"
    ixz="-4.42628063245515E-07"
    iyy="0.000110365126962969"
    iyz="9.13354299517415E-08"
    izz="0.000127019902223938" />
</inertia>
<visual>
  <origin
    xyz="0 0 0"
    rpy="0 0 0" />
```



