



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



MAKİNELERİN BAKIM, İMALAT VE
UZAKTAN KONTROLÜ İÇİN SANAL VE
ARTTIRILMIŞ GERÇEKLIK
UYGULAMALARI TABANLI DİJİTAL İKİZ
GELİŞTİRME

Cemal PAMUKCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül- 2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Cemal PAMUKCU tarafından hazırlanan “Makinelerin Bakım, İmalat ve Uzaktan Kontrolü İçin Sanal ve Arttırılmış Gerçeklik Uygulamaları Tabanlı Dijital İkiz Geliştirme” adlı tez çalışması 27/09/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Barış GÖKÇE

Danışman

Doç. Dr. Abdülsamed TABAK

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Okan UYAR

İmza

.....

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun / /20 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Cemal PAMUKCU

Tarih:27/09/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNELERİN BAKIM, İMALAT VE UZAKTAN KONTROLÜ İÇİN SANAL VE ARTTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI TABANLI DİJİTAL İKİZ GELİŞTİRME

Cemal PAMUKCU

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendiliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Abdülsamed TABAK

2024, 74 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Abdülsamed TABAK
Doç. Dr. Barış GÖKÇE
Dr. Öğr. Üyesi Okan UYAR**

Günümüz endüstriyel dünyasında, makinelerin bakım, imalat ve uzaktan kontrolü, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek amacıyla sürekli olarak geliştirilmektedir. Dijital ikiz teknolojisi, bu hedeflere ulaşmada devrim niteliğinde bir yenilik olarak öne çıkmaktadır. Dijital ikizler, fiziksel makinelerin sanal kopyalarını oluşturarak, gerçek zamanlı verilerle beslenen ve makinelerin performansını, durumunu ve operasyonlarını simüle eden sistemlerdir. Bu teknoloji, sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla birleştiğinde, makinelerin bakım, imalat ve uzaktan kontrol süreçlerinde önemli kolaylıklar ve yenilikler sunmaktadır.

Bu çalışma, dijital ikiz teknolojisinin geliştirilmesine ve bu teknolojinin makinelerin bakım, imalat ve uzaktan kontrol süreçlerindeki uygulamalarına odaklanmaktadır. Dijital ikizler, fiziksel makinelerin sanal kopyalarını oluşturmakta ve gerçek zamanlı verilerle beslenerek makinelerin performansını, durumunu ve operasyonlarını simüle etmektedir. Sanal ve artırılmış gerçeklik (VR ve AR) uygulamalarıyla entegre edilen dijital ikizler, mühendislerin ve teknisyenlerin makinelerle sanal ortamda etkileşim kurmalarına, sorunları önceden tespit etmelerine ve en etkili çözümleri geliştirmelerine olanak tanımaktadır.

Dijital ikizler, bakım ve onarım süreçlerini hızlandırmakta, üretim süreçlerini optimize etmekte ve uzaktan kontrol yeteneklerini artırmaktadır. VR ve AR teknolojileri, kullanıcıların fiziksel makinelerle temas etmeden önce sanal ortamda deneyim kazanmalarını sağlayarak, bakım ve imalat süreçlerinde büyük kolaylıklar sunmaktadır. Bu teknolojiler, endüstriyel süreçlerin daha verimli, güvenli ve maliyet etkin olmasına katkıda bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, Dijital İkiz, Endüstriyel Bakım Uzaktan Kontrol, Sanal Gerçeklik

ABSTRACT

MS THESIS

DEVELOPMENT OF DIGITAL TWINS BASED ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY APPLICATIONS FOR MACHINE MAINTENANCE, MANUFACTURING, AND REMOTE CONTROL

Cemal PAMUKCU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHATRONICS ENGINEERING**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Abdülsamed TABAK

2024, 74 Pages

Jury

Assoc.Prof.Dr. Abdülsamed TABAK

Assoc.Prof.Dr. Bariş GÖKÇE

Asst. Prof. Okan UYAR

In today's industrial world, the maintenance, manufacturing, and remote control of machinery are continuously developed to enhance efficiency and reduce costs. Digital twin technology stands out as a revolutionary innovation in achieving these goals. Digital twins create virtual replicas of physical machines, forming systems that are fed with real-time data to simulate the machines' performance, condition, and operations. When combined with virtual and augmented reality applications, this technology offers significant ease and innovations in the maintenance, manufacturing, and remote control processes of machinery.

This study focuses on the development of digital twin technology and its applications in the maintenance, manufacturing, and remote control processes of machinery. Digital twins create virtual replicas of physical machines and, by being fed with real-time data, simulate the machines' performance, condition, and operations. Integrated with virtual and augmented reality (VR and AR) applications, digital twins enable engineers and technicians to interact with machines in a virtual environment, detect problems in advance, and develop the most effective solutions.

Digital twins accelerate maintenance and repair processes, optimize production processes, and enhance remote control capabilities. VR and AR technologies provide users with the ability to gain experience in a virtual environment before interacting with physical machines, thereby offering significant ease in maintenance and manufacturing processes. These technologies contribute to making industrial processes more efficient, safe, and cost-effective.

Keywords: Digital Twin, Augmented Reality, Virtual Reality, Industrial Maintenance, Remote Control

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışması, bireyin bilgi birikimini derinleştirdiği, akademik yöntem ve süreçleri öğrendiğim ve bilimsel anlamda katkıda bulunma yolunda adımlar attığı bir süreçtir. Bu süreç, sabır, özveri ve azim gerektiren bir yolculuktur. Bu yolculukta karşılaşılan zorluklar ve kazanılan deneyimler, bireyin kişisel ve akademik gelişimine önemli katkılar sağlar. Bu tez çalışması, Dijital İkiz üzerine odaklanarak, literatür taraması, veri toplama ve analiz süreçlerini içermiştir. Bu süreç boyunca, tezin hazırlanmasında emeği geçen herkese minnettarlığımı sunmak isterim. İlk olarak, tez danışmanım Doç. Dr. Abdülsamed TABAK'a teşekkür etmek isterim. Kendisinin bilgi birikimi, yol gösterici yaklaşımı ve sabrı, tezin her aşamasında büyük bir değer sağlamıştır. Ayrıca, aileme ve desteklerini esirgemeyen herkese teşekkür etmek isterim. Onların moral desteği ve teşvikleri, bu süreci daha da kolaylaştırmış ve motive etmiştir. Bu çalışma, akademik bir araştırmanın yanı sıra kişisel bir gelişim sürecini temsil etmektedir. Umarım, bu çalışmanın sonucunda elde edilen bilgiler, daha ileriye taşınacak yeni araştırmalara ışık tutar ve benzeri yolculuklara ilham verir.

Cemal PAMUKCU
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	İV
ABSTRACT	V
ÖNSÖZ	VI
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Cnc Makinesi Nedir?.....	1
1.1.1. Cnc makineleri kullanım alanları	2
1.1.2. Cnc makinelerinin arızaları ve üretime olan negatif etkisi.....	3
1.2. Arttırılmış Gerçeklik Nedir?.....	5
1.2.1. Arttırılmış gerçeklik kullanım alanları	6
1.3. Sanal Gerçeklik Nedir?.....	9
1.3.1. Sanal gerçeklik kullanım alanları	10
1.4. Dijital İkiz Nedir?.....	12
1.4.1. Dijital ikizin önemi nedir?.....	15
1.4.2. Dijital ikizin kullanım alanları.....	16
2. CNC MAKİNE İMALATINA DİJİTAL İKİZİN ETKİLERİ	18
2.1. Arttırılmış Gerçeklik ile Cnc İmalat Süreçlerinin Geliştirilmesi.....	18
2.2. Arttırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Cnc İmalat Süreçlerine Etkisi	19
2.3. Sanal Gerçeklik Destekli Cnc Makine Bakımı.....	20
2.4. Cnc Makinesi ile İletişimde Kullanılan Web Soket Teknolojisi	22
2.5. Dijital İkiz ve Uzaktan İzleme ve Kontrol	24

2.6. Dijital İkiz Teknolojisinin Cnc Makine Endüstrisine Faydaları.....	27
2.7. Yaygın CNC Arızaları.....	28
2.7.1. Mekanik arızalar.....	32
2.7.2. Elektriksel arızalar.....	33
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	36
4. METERYAL VE YÖNTEM	40
4.1. Donanım Materyalleri	40
4.1.1. Cnc 1610.....	40
4.1.2. MKS DLC31 V2.1 kontrolcü kartı	41
4.1.3. Android işletim sistemine sahip cihaz.....	43
4.1.4. Meta Quest Pro sanal gerçeklik gözlüğü	44
4.2. Yazılım Materyalleri	45
4.2.1. Solidworks 2023.....	45
4.2.2. Keyshot 2023.....	46
4.2.3. Unity Hub 3.6.0	47
4.2.4. Unity Editör 2022.3.20f1.....	48
4.2.5. Visual Studio 2022	50
4.2.6. Unitde kullanılan kütüphaneler	50
4.2.6.1. Lean Touch.....	50
4.2.6.2. AR Foundation	51
4.2.6.3. ARCore Xr Plugin	53
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	55
6. ÖNERİLER.....	62
7.KAYNAKLAR.....	64
8.EKLER	69
8.1 Web Socket Visual Studio Kodu.....	69
8.2 Animasyon Visual Studi Kodu.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

NC	: Numerical Control
CNC	: Computer Numerical Control
DT	: Dijital Twin
Dİ	: Dijital İkiz
AG	: Arttırılmış Gerçeklik
AR	: Augmented Reality
VR	: Sanal Gerçeklik



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. DT Mimarisi.....	15
Şekil 2. Dijital İkiz Kavram Şeması.....	16
Şekil 3. CNC makinesi Kontrol paneli.....	29
Şekil 4. CNC İş Mili.....	31
Şekil 5. Aşınmış Takım Tutucu.....	32
Şekil 6. CNC 1610	41
Şekil 7. MKS DLC 32 V2.1 Kontrol Sürücü Kartı	42
Şekil 8. Android Cihaz	43
Şekil 9. Meta Quest Pro Sanal Gerçeklik Gözlüğü	44
Şekil 10. Solidworks Giriş Ekranı.....	45
Şekil 11. Keyshot Giriş Ekranı.....	46
Şekil 12. Unity Hub giriş Ekranı.....	48
Şekil 13. Unity Editör Giriş Ekranı.....	49
Şekil 14. AR Foundation Örnek.....	53
Şekil 15. Solidworks ve Keyshot ile CNC Makinesinin Tasarımı.....	56
Şekil 16. CNC Makinesinin Unity Programı 3 boyutlu Uygulaması.....	57
Şekil 17. Web Soket Akış Diyagramı	58
Şekil 18. Android Cihazda Kontrol Paneli Görünümü	59
Şekil 19. Meta Quest Pro da Kontrol Paneli Görünümü	60

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin hayatın pek çok alanında giderek artan bir etkisi vardır. Bu gelişmeler, kendi kendine gidebilen araçlar, tıbbi durumları teşhis edebilen giyilebilir teknolojiler ve tüm cihazları internete bağlayarak onları akıllı hale getiren akıllı evlerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Bilgisayarlar ve bunların uygulamaları, yaşamın neredeyse her alanında daha fazla yer edinmiş olup, bu durum çeşitli endüstriler için de geçerlidir. Bilgisayarların erişilebilirliğinin artmasıyla birlikte, hızlı ve etkili algoritmalar üretim oranlarını artırmak, daha karmaşık sorunları çözmek ve genel olarak daha iyi bir ürün kalitesine ulaşmak amacıyla her türlü endüstride kullanılmaktadır. (Javaid vd., 2023a)

Dijital ikiz kavramı, endüstriyel süreçlerin dijital olarak temsil edilen bir kopyasıdır ve gerçek dünya varlıklarının sanal bir modelini oluşturur. Bu model, fiziksel varlıkların işlevselliğini, durumunu ve performansını doğru bir şekilde yansıtır ve gerçek zamanlı olarak güncellenebilir. Dijital ikizler, endüstriyel işletmeler için bir dönüşüm aracı olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, dijital ikiz kavramını tanıtmak ve endüstriyel uygulamalarında kullanımının önemini vurgulamaktır. İlk olarak, dijital ikizlerin temel prensipleri ve bileşenleri incelenecek, ardından endüstriyel süreçlerdeki çeşitli kullanım alanları ele alınacak ve son olarak da dijital ikizlerin endüstriyel dönüşüm sürecindeki rolü ve etkileri tartışılacaktır. Bu giriş, dijital ikizlerin endüstriyel uygulamalardaki artan önemini anlamak için bir temel oluşturacaktır.

1.1. Cnc Makinesi Nedir?

İnsanlık tarih boyunca, yaşam kalitesini artırmak ve işleri daha etkin hale getirmek için sürekli yenilikler arayışı içinde olmuştur. Bilgisayar teknolojisindeki önemli ilerlemeler, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini genişletmiş ve bilgi birikimini derinleştirmiştir. Otomatikleşme ve yapay zekâ, insanların işlerini daha hızlı ve daha hassas bir şekilde tamamlama isteğini gerçekleştirmiştir. Bu süreçte, insan müdahalesi olmadan kendi başına karar verebilen ve görevleri yerine getirebilen akıllı makinelerin geliştirilmesi, günümüzdeki ana hedeflerden biri haline gelmiştir. Bu gelişme, sanayileşme ile hayatımıza giren ve üretimde vazgeçilmez bir konuma gelen CNC makineleri tarafından somutlaştırılmıştır. (Prianto, M.Eng, 2017)

CNC (Computer Numerical Control), bilgisayar sayısal kontrolünün kısaltmasıdır ve İngilizce "Computer Numerical Control" teriminin baş harflerinden oluşur. CNC, kesme,

delme, taşlama ve diğer işleme işlemlerini gerçekleştiren bir makineyi, otomatik bir kontrol sistemi kullanarak bilgisayar programlarına dayalı olarak ifade eder.

Modern imalat endüstrisinin önemli bir bileşeni olan CNC teknolojisi, sanayi devriminden önceki döneme kadar uzanmaktadır. Endüstriyel üretimdeki otomasyon ve teknoloji gelişmelerine paralel olarak şekillenmiştir. İlk sayısal kontrol makineleri, manuel olarak ayarlanabilen punch kartları veya delikli bantlar kullanarak çalışmaktaydı. Ancak, bu sistemlerin karmaşıklığı ve esnekliği sınırlıydı.

CNC'nin modern tarihçesi, 20. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. İlk CNC makineleri, 1940'ların sonlarında ve 1950'lerin başlarında ortaya çıktı. Bu makineler, özellikle ABD'deki savunma endüstrisi tarafından geliştirildi ve kullanıldı. İkinci Dünya Savaşı'nın etkisiyle, endüstriyel üretimde daha fazla hassasiyet ve verimlilik arayışı hızlandı. (Oleksiak vd., 2023)

1960'larda, bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle birlikte, NC makineleri CNC makinelerine evrildi. Bilgisayarlar, işleme talimatlarını daha hızlı ve daha doğru bir şekilde işleyebildiğinden, CNC makineleri daha kompleks işlemleri gerçekleştirebilir hale geldi. Bu dönemde, CNC makineleri endüstride giderek daha fazla kabul görmeye başladı ve imalat süreçlerinde devrim niteliğinde bir değişim yarattı. 1970'ler ve 1980'ler, CNC teknolojisinin yaygınlaşması ve gelişimi için kritik dönemlerdi. Bu dönemde, CNC makineleri daha fazla endüstriyel uygulamada kullanılmaya başlandı ve farklı sektörlerde büyük bir etki yarattı. Özellikle otomotiv, havacılık, metal işleme ve diğer imalat endüstrilerinde CNC makineleri yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

Gelişmiş CNC makineleri, karmaşık geometrileri işleyebilir, yüksek hassasiyetle parçalar üretebilir ve üretim süreçlerini otomatikleştirerek verimliliği artırabilir. Ayrıca, 3D yazıcılar gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu ile birlikte, CNC teknolojisi daha da gelişmektedir. Gelecekte, CNC'nin daha da karmaşık parçaların üretiminde ve endüstriyel otomasyonun daha ileri düzeylerine entegrasyonunda önemli bir rol oynaması beklenmektedir.

1.1.1. Cnc makineleri kullanım alanları

CNC makineleri, genel olarak kesme, delme, şekillendirme, frezeleme, tornalama, taşlama ve diğer birçok işlemi otomatik olarak gerçekleştirmek için kullanılabilirler. Bu makineler, yüksek hassasiyet, tekrarlanabilirlik ve verimlilik sağladığından, birçok endüstriyel alanda tercih edilirler. CNC makineleri, geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan çok yönlü

makineler olarak öne çıkmaktadır. Metal işleme alanında, CNC makineleri metal parçaların işlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kesme, delme, frezeleme, tornalama ve taşlama gibi işlemler otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Özellikle otomotiv, havacılık, savunma ve makine imalatı gibi sektörlerde, bu makineler yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlik sağlayarak üretim süreçlerini optimize eder; bu durum, üretimde kaliteyi artırırken maliyetleri de düşürmektedir.

Ahşap işleme sektöründe ise mobilya üretimi, yapı malzemeleri ve dekoratif ürünlerin imalatında CNC makineleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ahşap işleme CNC makineleri, kesme, oyma, delme ve şekillendirme gibi işlemleri hassas ve verimli bir şekilde gerçekleştirerek üretim süreçlerini hızlandırır.

Plastik işleme alanında, plastik parçaların kesilmesi, delinmesi ve şekillendirilmesi amacıyla CNC makineleri kullanılmaktadır. Özellikle plastik enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon süreçlerinde, CNC makineleri üretim hızını artırmakta ve kaliteyi sağlamaktadır.

Mimari ve inşaat işlerinde, mimari modelleme, prototipleme ve kalıp imalatında CNC makinelerinin kullanımı yaygındır. Mermer, granit ve cam gibi yapı malzemelerinin işlenmesinde bu makineler, karmaşık tasarımların ve detayların üretimini kolaylaştırmaktadır.

Elektronik sanayisinde, devre kartı üretimi ve elektronik bileşenlerin imalatında CNC makineleri kritik bir rol oynamaktadır. Yüksek hassasiyet gerektiren elektronik parçaların üretiminde, CNC makineleri kaliteyi artırmakta ve üretim süreçlerini optimize etmektedir.

Tıp ve sağlık endüstrisinde ise, protetik ve ortopedik cihazlar, dental restorasyonlar ve diğer tıbbi cihazların imalatında CNC makineleri kullanılmaktadır. Bu makineler, hastalara özel ve hassas parçaların üretilmesini sağlamakta, böylece tıbbın ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

Son olarak, sanat ve tasarım alanında heykeltıraşlar, sanatçılar ve tasarımcılar, karmaşık ve detaylı eserlerin üretimi için CNC makinelerini kullanabilmektedir. Bu durum, sanat ve tasarım alanında özgün ve yaratıcı projelerin gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. (P. Zhao ve Sun, 2021)

1.1.2. Cnc makinelerinin arızaları ve üretime olan negatif etkisi

NC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) makineleri, imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan otomatik işleme makineleridir. Bu makineler, önceden programlanmış talimatları

izleyerek metal, ahşap, plastik ve diğer malzemeleri işleyebilirler. Ancak zaman zaman mekanik arızalar veya işleme sürecinde sorunlar ortaya çıkabilir.

İstenmeyen takım yolu seçimi, iş parçasının istenen yüzey kalitesine ulaşmasını engelleyebilir. Bu durum, kesici aletin belirli bir yüzeyi işleme için gereken optimum yolun dışında bir hareket izlemesi anlamına gelir. Çok derin kesme, malzemenin yüzeyinde istenmeyen çatlaklara veya yüzey kusurlarına neden olabilirken, çok sığ kesme ise iş parçasının yeterince işlenmemesine yol açabilir. Bu durumda, kesici alet hızla aşınabilir ve iş parçası kalitesi olumsuz yönde etkilenebilir. (K. Liu vd., 2022)

CNC tezgahlarının işlemlerini yönlendiren kodların yanlış kullanımı veya yanlış programlanması, iş parçalarının doğru şekilde işlenmemesine neden olabilir. Yanlış kodlar, kesici aletlerin yanlış yönde veya yanlış hızda hareket etmesine sebep olabilir. Bu durum, iş parçasının istenilen boyutta veya şekilde işlenmemesine yol açar ve işleme hatalarıyla sonuçlanabilir.

CNC tezgahlarında kullanılan kesme parametreleri, işleme sürecinin başarılı olması için kritik öneme sahiptir. Yanlış ayarlanmış parametreler, iş parçasının doğru şekilde işlenmemesine veya istenmeyen sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Örneğin, besleme oranları gibi parametrelerin yanlış ayarlanması, kesme hızının uygun olmayan seviyelerde kalmasına veya kesici aletin gereğinden fazla yüklenmesine yol açabilir. Bu durum, kesme kalitesini düşürebilir ve kesici aletin ömrünü kısaltabilir.

CNC tezgahlarında kullanılan sürücü kartları veya motor sürücüleri, hareketli parçaların kontrolünü sağlar. Bu bileşenlerde meydana gelen arızalar, tezgâhın doğru şekilde çalışmasını engelleyebilir veya istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Örneğin, sürücü kartının yanması veya motor sürücüsünün arızalanması, tezgâhın hareketlerinin istenilen şekilde gerçekleşmemesine neden olabilir.

CNC tezgahlarının mekanik bileşenlerinde meydana gelen arızalar, iş parçasının doğru şekilde işlenmesini engelleyebilir veya işleme kalitesini düşürebilir. Bu arızalar, bilyaların aşınması, torna taret pimlerinin kırılması veya talaşlı imalat makinelerindeki lineer cetvelinin temizlenmesi gerekliliği gibi çeşitli biçimlerde ortaya çıkabilir. Bu tür arızaların çözümü, mekanik bileşenlerin düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımının yapılmasıyla sağlanabilir.

Elektriksel arızalar, CNC tezgahlarının elektronik bileşenlerinde meydana gelen sorunlardır. Bu tür arızalar genellikle kartların yanması, sigortaların patlaması veya elektriksel bağlantılardaki kısa devreler gibi durumlarla ilişkilendirilir. Elektriksel arızalar, tezgâhın doğru şekilde çalışmasını engelleyebilir ve iş parçalarının istenilen şekilde işlenmesini engelleyebilir.

CNC tezgahlarında, doğru işleme için referans noktasının doğru bir şekilde ayarlanması gereklidir. Referans noktasının kaybolması veya yanlış ayarlanması, tezgâhın hareketlerinin doğru bir şekilde kontrol edilememesine neden olabilir. Bu durum, iş parçalarının istenilen boyut ve şekilde işlenmemesine yol açabilir ve işleme sürecinde ciddi hatalara neden olabilir.

Acil durum duraklaması düğmesinin etkinleştirilmesi durumunda, CNC tezgahlarının normal işlemesi durdurulur. Ancak, acil durum duraklaması düğmesinin gereksiz yere etkinleştirilmesi veya yanlış bir şekilde sürücü kartının resetlenmesi gibi durumlar, tezgâhın doğru şekilde çalışmasını engelleyebilir. Bu tür sorunlar, operatörün dikkatli olmaması veya yanlışlıkla düğmeye basması gibi nedenlerle ortaya çıkabilir. Bu durumda, tezgâhın normal işlemesini sağlamak için acil durum duraklaması düğmesinin kontrol edilmesi ve gerektiğinde sürücü kartının resetlenmesi gerekebilir.

Tüm bu arızaların üretime olan negatif etkilerini minimize etmek için, düzenli bakım, doğru kalibrasyon ve eğitimli personel hayati önem taşır. CNC tezgahlarının düzenli olarak bakımının yapılması ve operatörlerin eğitilmesi, olası arızaların hızlı bir şekilde tespit edilmesini ve çözülmesini sağlar. Ayrıca, etkili bir arıza yönetim sistemi kurulması da arızaların üretime olan etkilerini azaltmada önemli bir rol oynar. Sonuç olarak, CNC tezgahlarında meydana gelen arızalar, üretim süreçlerini ciddi şekilde etkileyebilir ve işletmelere maliyetli sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, arızaların önlenmesi ve hızlı bir şekilde çözülmesi, üretim verimliliğini ve ürün kalitesini korumak için büyük önem taşır. İşletmelerin arıza yönetimi konusunda dikkatli olmaları ve gerekli önlemleri almaları gerekmektedir.

1.2. Arttırılmış Gerçeklik Nedir?

Arttırılmış gerçeklik (AG), bilgi teknolojileri ve bilgisayar biliminin bir alt dalı olarak, fiziksel dünyanın dijital bilgi ve öğelerle zenginleştirilmesi sürecini ifade eder. Akademik literatürde AG, genellikle Milgram ve Kishino'nun "Gerçeklik-Virtualite Sürekliliği" (Reality-Virtuality Continuum) kavramı çerçevesinde ele alınır. Bu süreklilikte, arttırılmış gerçeklik, gerçek ortam ile sanal ortam arasındaki orta noktayı temsil eder ve şu şekilde tanımlanabilir:

Artırılmış gerçeklik (AG), kullanıcıların gerçek zamanlı olarak etkileşimde bulunabilecekleri ve aynı zamanda fiziksel dünyadaki unsurlar üzerine sanal öğeler (grafikler, sesler, video, GPS verileri vb.) ekleyerek deneyimlerini zenginleştiren bir teknoloji sistemidir. Bu teknoloji, üç temel özellik içerir. Kombinasyon, gerçek ve sanal nesnelerin bir araya getirilerek entegre edilmesini ifade eder. Bu yaklaşım, sanal dünyanın gerçek dünyayla etkileşime geçtiği ve birleştiği bir ortam yaratır. Gerçek zamanlı etkileşim ise kullanıcı ve sistem arasındaki etkileşimin anlık olarak gerçekleştiği bir süreçtir. Kullanıcıların, sanal ve gerçek nesnelerle etkileşime geçerken herhangi bir gecikme olmadan anında geri bildirim alması sağlanır. Üçüncü olarak, 3D kaynaştırma, sanal nesnelerin üç boyutlu olarak gerçek dünya ile uyumlu bir şekilde bir araya getirilmesini ifade eder. Bu sayede sanal nesneler, gerçek dünya ortamına doğal bir şekilde entegre edilir ve kullanıcılar arasında daha doğal ve gerçekçi bir deneyim sunar. (Kamińska vd., 2023)

Artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisi, çeşitli bileşenlerden ve tekniklerden oluşur. Donanım, AG'nin uygulanması için kullanılan cihazları içerir. Bu cihazlar arasında akıllı telefonlar, tabletler, başa takılan ekranlar (HMDs), akıllı gözlükler ve projeksiyon sistemleri bulunur. Yazılım ise AG yazılımlarını tanımlar; bu yazılımlar, sanal nesnelerin gerçek dünyaya entegrasyonunu sağlamak için çeşitli algoritmalar ve yazılım araçları kullanır. Bu araçlar genellikle bilgisayarla görme (computer vision), görüntü işleme (image processing) ve kullanıcı etkileşimini yönetmek için kullanılan yazılım geliştirme kitlerini (SDK'lar) içerir. Algoritmalar da AG sistemlerinin temelini oluşturur. Bu sistemler, kullanıcı hareketlerini ve çevresel değişiklikleri izlemek için konum belirleme ve izleme (tracking), nesne tanıma (object recognition) ve uzamsal haritalama (spatial mapping) gibi çeşitli algoritmalar kullanır. Bu bileşenlerin bir araya gelmesiyle, AG teknolojisi etkileyici ve etkili bir şekilde uygulanabilir, kullanıcılarla gerçek dünya ile etkileşime geçmek için yenilikçi çözümler sunar. (Muñoz-Saavedra vd., 2020)

1.2.1. Arttırılmış gerçeklik kullanım alanları

Artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisi, birçok farklı sektörde ve disiplinler arası uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojinin sunduğu yenilikçi çözümler hem akademik hem de endüstriyel alanlarda büyük ilgi görmektedir. AG'nin kullanım alanlarını akademik bir perspektiften şu şekilde detaylandırabiliriz:

Artırılmış Gerçeklik (AG), eğitim ve eğitim teknolojileri alanında devrim niteliğinde çözümler sunmaktadır. Etkileşimli Öğrenme sayesinde, öğrenciler karmaşık konuları daha iyi anlamak için 3D modeller ve simülasyonlarla etkileşim kurabilir. Örneğin, anatomi derslerinde insan vücudunun 3D modelleri kullanılarak, öğrencilerin organların yapılarını ve işlevlerini daha net kavramaları sağlanabilir. Görsel ve İşitsel Öğrenme yöntemleri ile AG, ders materyallerini zenginleştirerek farklı öğrenme stillerine sahip öğrencilere hitap eder. Bu sayede, görsel ve işitsel öğrenciler için derslerin daha ilgi çekici ve anlaşılır hale gelmesi mümkün olur. Ayrıca, Sanal Laboratuvarlar öğrencilerin fiziksel laboratuvarlara ihtiyaç duymadan deney yapmalarına olanak tanır; bu durum özellikle bilim ve mühendislik eğitiminde büyük avantajlar sunar. Son olarak, Eşzamanlı İş Birliği sayesinde öğrenciler ve öğretmenler, artırılmış gerçeklik ortamlarında sanal olarak bir araya gelerek projeler üzerinde iş birliği yapabilirler. Böylece, ekip çalışması ve yaratıcı problem çözme süreçleri daha verimli hale gelir.

Artırılmış Gerçeklik (AG), tıp ve sağlık alanında önemli yenilikler sunarak hem eğitim hem de tedavi süreçlerine katkı sağlamaktadır. Cerrahi Eğitimde, tıp öğrencileri ve cerrahlar, AG kullanarak cerrahi prosedürleri simüle edebilir ve pratik yapabilirler. Bu simülasyonlar, cerrahların becerilerini geliştirmelerine ve hata oranlarını azaltmalarına yardımcı olur. Hasta Eğitimi ise, hastaların tedavi süreçlerini ve prosedürlerini daha iyi anlayabilmeleri için AG teknolojisinden yararlanır. AG ayrıca Görüntü Kılavuzlu Cerrahi uygulamaları ile cerrahların ameliyat sırasında hastanın anatomisini daha net görmelerini sağlar, böylece cerrahi doğruluk artar ve komplikasyon riski azalır. Rehabilitasyon sürecinde ise AG, fiziksel terapi ve iyileşme aşamalarında hastaların egzersizlerini doğru yapmalarını sağlar ve ilerlemelerini takip ederek iyileşme sürecini destekler.

Artırılmış Gerçeklik (AG), endüstri ve üretim sektöründe verimliliği artıran ve güvenliği sağlayan yenilikçi çözümler sunmaktadır. Montaj Kılavuzları sayesinde, AG teknolojisi işçilere montaj süreçlerinde adım adım rehberlik ederek hata oranlarını azaltır ve üretim süreçlerinin daha hızlı ve verimli bir şekilde tamamlanmasını sağlar. Uzaktan Destek ise bakım teknisyenlerinin karmaşık tamir işlemlerini AG aracılığıyla uzaktan destek alarak daha kolay gerçekleştirmesine olanak tanır. Bu, arızaların hızlı bir şekilde giderilmesine katkıda bulunur. AG ayrıca İşçi Eğitimi kapsamında, işçilerin tehlikeli işler için güvenli bir şekilde eğitim almasına ve pratik yapmasına olanak sağlar, bu da iş kazalarını azaltır. Güvenlik Denetimlerinde ise AG, tesislerdeki güvenlik risklerini tespit edip işçileri bu risklere karşı zamanında uyararak iş güvenliğini en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olur.

Artırılmış Gerçeklik (AG), perakende ve pazarlama sektöründe müşteri deneyimini dönüştürerek markalara yeni fırsatlar sunar. Sanal Deneme Kabinleri sayesinde, müşteriler kıyafetleri sanal olarak deneyip üzerlerinde nasıl duracağını görebilirler. Bu teknoloji, özellikle çevrimiçi alışverişte geri dönüş oranlarını azaltarak müşteri memnuniyetini artırır. Ürün Tanıtımı ise AG ile daha etkili hale gelir; ürünlerin özellikleri ve kullanımları üç boyutlu görseller ve etkileşimli sunumlarla müşterilere daha iyi aktarılabilir. Ayrıca, Etkileşimli Kataloglar aracılığıyla mağazalarda müşteriler, ürünlerin ek bilgilerine ve 3D modellerine erişim sağlayarak daha bilinçli ve keyifli alışveriş deneyimi yaşarlar. Son olarak, Kampanyalar ve Promosyonlar AG ile yaratıcı ve dikkat çekici hale getirilerek müşteri ilgisini artırır ve marka bağlılığını güçlendirir.

Artırılmış Gerçeklik (AG), turizm ve kültür alanında benzersiz deneyimler sunarak tarihi ve kültürel zenginliklerin daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlar. Sanal Turlar ile turistler, tarihi ve kültürel mekanları sanal olarak keşfedebilir, bu yerler hakkında zenginleştirilmiş bilgiler alarak daha derin bir anlayışa sahip olabilirler. Müze Deneyimleri de AG ile interaktif hale gelir; ziyaretçiler, sergilenen eserler hakkında daha fazla bilgiye erişebilir ve dijital içeriklerle öğrenme süreçlerini zenginleştirebilirler. Ayrıca, Tarihi Rekonstrüksiyonlar sayesinde, AG kullanıcıları tarihi yapıların ve alanların geçmişte nasıl görüldüğünü sanal olarak görebilir, bu sayede tarihi olayları ve yapıların evrimini daha iyi kavrayabilirler.

Artırılmış gerçeklik teknolojisi, çeşitli alanlarda kullanıcı deneyimini ve verimliliği artırma potansiyeline sahiptir. Eğitimden sağlığa, endüstriden perakendeye kadar birçok sektörde inovatif uygulamalarla AG, akademik ve endüstriyel araştırmaların merkezinde yer almaktadır. Bu teknolojinin gelişimi, gelecekte daha da geniş kullanım alanları ve yenilikçi çözümler sunacaktır.(Carmigniani vd., 2011)

CNC makinenizin dijital ikizini artırılmış gerçeklik (AR) teknolojisi kullanarak oluşturmak, üretim süreçlerinde önemli yenilikler getirir. AR ile desteklenen dijital ikiz, CNC makinesinin gerçek zamanlı performansını ve operasyonlarını kullanıcıların fiziksel dünyalarında görsel olarak zenginleştirir. Operatörler ve mühendisler, AR gözlükleri veya mobil cihazlar aracılığıyla CNC makinesinin dijital ikizini inceleyebilir, makineleri üzerinde interaktif bilgi katmanları görebilir ve bakım veya onarım süreçlerini adım adım takip edebilirler. Bu teknoloji, kullanıcıların makinenin işleyişini daha iyi anlamalarını, olası sorunları hızlı bir şekilde tespit etmelerini ve çözmelerini sağlar. AR tabanlı dijital ikiz, üretim hattında verimliliği artırırken, maliyetleri düşürür ve kaliteyi iyileştirir. Artırılmış gerçeklik ile

entegre edilen dijital ikiz teknolojisi, endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri olarak, akıllı üretim ve endüstriyel süreçlerde devrim niteliğinde değişiklikler sunar.

1.3. Sanal Gerçeklik Nedir?

Sanal gerçeklik (Virtual Reality - VR), kullanıcıların bilgisayar tarafından oluşturulmuş bir üç boyutlu ortama tamamen daldırılmasını sağlayan bir teknoloji türüdür. Akademik literatürde, sanal gerçeklik, kullanıcıların duyuşsal algılarını manipüle ederek, onları gerçek dünyadan ayırıp sanal bir dünyada varlık hissi (presence) yaşamalarını sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanır. Bu teknoloji, başa takılan ekranlar (Head-Mounted Displays - HMDs), el ve vücut izleyicileri, haptik cihazlar ve özel kontrol cihazları gibi çeşitli donanım bileşenleri ile desteklenir. (Tu vd., 2023)

Sanal gerçekliğin temel bileşenleri ve teknik özellikleri, donanım ve yazılım bileşenleri olmak üzere iki ana kategoride incelenir. Donanım bileşenleri arasında başa takılan ekranlar (HMDs), hareket izleyiciler, haptik cihazlar ve kontrol cihazları bulunur. HMD'ler, kullanıcıların gözlerinin önüne yerleştirilen ekranlarla 3D görüntüler ve stereo ses sunarak temel bir VR deneyimi sağlar. Hareket izleyiciler, kullanıcının baş, el ve vücut hareketlerini izleyerek bu hareketlerin sanal dünyada doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlar. Haptik cihazlar, kullanıcıların sanal nesnelere hissetmesini ve manipüle etmesini sağlayan dokunsal geri bildirim sağlayan cihazlardır. Kontrol cihazları ise kullanıcıların sanal dünyayla etkileşime geçmesini sağlayan özel kumandalar ve cihazlardır. (Garg vd., 2021)

Yazılım bileşenleri arasında ise sanal ortamlar ve uygulamalar, fizik motorları ve kullanıcı arayüzü ve deneyimi (UI/UX) bulunur. Sanal ortamlar ve uygulamalar, kullanıcıların etkileşimde bulunabileceği sanal dünyalar ve uygulamaları içerir. Fizik motorları, sanal dünyadaki nesnelere fizik kurallarına uygun hareket etmesini sağlayan yazılımlardır ve gerçekçi bir etkileşim deneyimi için kritik öneme sahiptir. Kullanıcı arayüzü ve deneyimi, kullanıcıların sanal ortamlarla kolayca etkileşime geçebilmesi için tasarlanan arayüzler ve deneyim tasarımlarını içerir.

Sanal gerçekliğin teorik çerçevesi, daldırma, varlık hissi ve etkileşim kavramlarına dayanır. Daldırma, kullanıcının duyuşsal algılarının (görme, işitme, dokunma) sanal dünya tarafından tamamen meşgul edilmesini ifade eder. Varlık hissi, kullanıcının sanal ortamda fiziksel olarak bulunduğunu hissetmesidir ve VR deneyiminin merkezi bir bileşenidir.

Etkileşim ise kullanıcının sanal ortamla gerçek zamanlı olarak etkileşime geçebilmesini ifade eder ve bu, kullanıcının hareketlerine ve eylemlerine duyarlı bir sanal dünya gerektirir.

Sanal gerçeklik (Virtual Reality- VR) teknolojisi, çeşitli disiplinlerde ve endüstrilerde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

1.3.1. Sanal gerçeklik kullanım alanları

Sanal Gerçeklik (VR), eğitim ve eğitim teknolojilerinde öğrencilere ve profesyonellere eşsiz öğrenme deneyimleri sunar. Pilot Eğitimi için kullanılan VR simülatörleri, pilot adaylarına uçuş tekniklerini ve acil durum prosedürlerini güvenli bir ortamda pratik etme fırsatı verir, böylece uçuş güvenliği artarken eğitim maliyetleri de düşer. Askeri Eğitimde, askerler VR simülasyonlarıyla savaş senaryolarını ve operasyonel eğitimleri deneyimleyerek savaş yeteneklerini geliştirirler. Ayrıca, Etkileşimli Dersler sayesinde öğrenciler sanal sınıflarda eğitim alabilir ve dünyanın dört bir yanındaki uzmanlarla bağlantı kurarak derslerini daha zengin ve kapsamlı hale getirebilirler. Laboratuvar Deneyleri ise bilim eğitimi için sanal ortamda güvenli ve erişilebilir deney yapma imkânı sağlayarak öğrencilere pratik beceriler kazandırır.

Tıp ve sağlık alanında önemli yenilikler sunarak hem tedavi süreçlerini hem de sağlık profesyonellerinin eğitimini dönüştürmektedir. Cerrahi Simülasyonlar sayesinde, cerrahlar karmaşık cerrahi prosedürleri VR ortamında pratik yaparak becerilerini geliştirebilirler. Bu simülasyonlar, hata oranlarını azaltırken cerrahi sonuçların iyileşmesine de katkı sağlar. Ameliyat Planlama sürecinde ise VR, cerrahların hastanın anatomisini 3D olarak inceleyip ameliyat öncesi daha doğru ve optimize planlar yapmasına yardımcı olur. Fiziksel Terapide VR, hastaların rehabilitasyon egzersizlerini daha motive edici ve etkileşimli bir ortamda yapmalarını sağlayarak iyileşme sürecini hızlandırabilir. Ayrıca, Ruh Sağlığı Tedavisinde VR terapileri, anksiyete, fobiler ve travma sonrası stres bozukluğu (PTSD) gibi ruhsal sağlık sorunlarında kullanılır. Özellikle sanal ortamda maruz kalma terapisi (exposure therapy) yöntemi, bu rahatsızlıkların tedavisinde yaygın olarak uygulanmaktadır (Taghian vd., 2023).

Endüstri ve üretim alanında yenilikçi çözümler sunarak verimliliği ve iş süreçlerini iyileştirir. Ürün Tasarımında mühendisler ve tasarımcılar, VR teknolojisi ile ürün prototiplerini sanal ortamda oluşturup test edebilirler. Bu, tasarım süreçlerini hızlandırırken maliyetleri önemli ölçüde düşürür. Mimari ve İnşaat sektöründe ise mimarlık firmaları, VR kullanarak

binaların sanal modellerini oluşturarak projelerini müşterilere ve proje ekiplerine daha etkili bir şekilde tanıtabilirler. Montaj Eğitimlerinde VR, fabrika işçilerine sanal montaj hatlarında eğitim alma imkânı sunar, bu da gerçek çalışma ortamlarında hata oranlarını azaltır. Ayrıca, Uzaktan Destek sayesinde bakım teknisyenleri VR kullanarak uzaktan uzman desteği alabilir ve karmaşık tamir işlemlerini daha kolay gerçekleştirebilirler.

Perakende ve pazarlama sektöründe müşteri deneyimlerini yeniden şekillendirerek yenilikçi çözümler sunar. Sanal Mağazalar sayesinde müşteriler, VR kullanarak sanal ortamlarda alışveriş yapabilir ve ürünleri sanal olarak deneyimleyebilirler, bu da çevrimiçi alışveriş deneyimini daha zengin ve etkileşimli hale getirir. Ürün Tanıtımı alanında markalar, VR ile ürünlerinin tanıtımını yapabilir ve müşterilere ürünlerin kullanımını gösteren interaktif deneyimler sunarak alışveriş kararlarını destekleyebilirler. Ayrıca, Etkileşimli Reklamlar VR ile daha yaratıcı ve etkileşimli hale getirilerek müşteri ilgisini artırır, bu da marka bağlılığını güçlendiren önemli bir avantaj sağlar.

Turizm ve kültür alanında çarpıcı deneyimler sunarak ziyaretçilerin ve sanatseverlerin dünyayı keşfetme şekillerini dönüştürüyor. Tarihi ve Kültürel Yerler açısından, turistler VR ile tarihi ve kültürel mekanları sanal olarak ziyaret edebilirler; bu, fiziksel olarak erişimi zor veya imkânsız olan yerler için büyük bir avantaj sağlar. Müze Deneyimlerinde, ziyaretçiler VR sayesinde sergilenen eserler hakkında daha fazla bilgi edinebilir ve interaktif deneyimlerle öğrenme süreçlerini zenginleştirebilirler. Ayrıca, tatil planlarını yapmadan önce Otel ve Tatil Köyleri sanal ortamda keşfedilerek seyahat kararlarını kolaylaştırır. Sanat ve eğlence alanında ise, sanatçılar VR ile sanal sanat galerileri ve sergiler oluşturarak eserlerini geniş bir izleyici kitlesine sunabilirler. Sanal Performanslar ile müzik grupları ve sanatçılar, VR platformları üzerinden sanal konserler düzenleyerek daha fazla kitleye ulaşma imkânı bulurlar. Ayrıca, VR Oyunları kullanıcılara tamamen sanal bir dünyada etkileşimli ve sürükleyici oyun deneyimleri sunarken, eğlence parklarında da VR, yeni nesil atraksiyonlar ve interaktif deneyimler sunarak ziyaretçilere benzersiz bir eğlence sağlar. Son olarak, Sosyal Etkileşim ve İletişim alanında, VR sanal toplantı odaları ve etkinlik alanları sunarak iş toplantıları ve sosyal etkinlikler için yeni bir boyut kazandırır. Kullanıcılar, sanal sosyal ağlar üzerinden arkadaşlarıyla buluşarak sosyal etkileşimlerde bulunabilirler.

Sanal gerçeklik, eğitimden sağlığa, endüstriden perakendeye kadar birçok alanda yenilikçi çözümler sunarak kullanıcı deneyimlerini ve verimliliği artırmaktadır. Bu teknolojinin gelişimi, gelecekte daha da geniş kullanım alanları ve daha sofistike uygulamalar sunarak,

çeşitli sektörlerde önemli değişimlere yol açacaktır. Akademik araştırmalar, VR'nin potansiyelini ve etkilerini daha iyi anlamak için devam etmekte ve bu alandaki yenilikler hızla ilerlemektedir.

CNC makinenizin dijital ikizini sanal gerçeklik teknolojisi kullanarak oluşturmak, üretim süreçlerinde büyük bir inovasyon sağlar. Sanal gerçeklik ortamında oluşturulan bu dijital ikiz, CNC makinesinin gerçek zamanlı performansını ve operasyonlarını simüle eder, bu sayede kullanıcılar makinenin işleyişini daha iyi anlayabilir ve olası sorunları önceden tespit edebilirler. Mühendisler ve operatörler, sanal ortamda CNC makinesini etkileşimli olarak inceleyebilir, bakım ve onarım süreçlerini güvenli bir şekilde pratik edebilir ve yeni üretim senaryolarını risksiz bir şekilde test edebilirler. Bu, üretim hattında verimliliği artırırken, maliyetleri düşürür ve kaliteyi iyileştirir. Sanal gerçeklik ile desteklenen dijital ikiz teknolojisi, endüstri 4.0'ın temel taşlarından biri olarak, akıllı üretim ve endüstriyel süreçlerde devrim niteliğinde değişimler yaratır.(Javaid vd., 2023b)

1.4. Dijital İkiz Nedir?

Dijital ikiz kavramının kökeni, bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle yakından ilişkilidir. İlk başlarda, bilgisayarlar sadece hesaplama ve veri depolama araçları olarak kullanılıyordu. Ancak, bilgisayar güçleri arttıkça ve yazılım teknolojileri geliştikçe, gerçek dünyadaki nesnelere veya süreçlerin dijital modellerinin oluşturulması mümkün hale geldi.

İlk dönemlerde, dijital ikizler daha çok endüstriyel tasarım ve üretimde kullanılmıştır. Örneğin, 1960'larda NASA'nın uzay araçlarının tasarımında kullanılan bilgisayar simülasyonları, bu teknolojinin öncülerindedir. Ancak, bu simülasyonlar, günümüzdeki dijital ikiz kavramından daha basit ve kısıtlıydı. Dijital ikiz kavramı, 2000'li yılların başlarında endüstriyel sektörde daha yaygın hale gelmeye başladı. Bu dönemde, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) sistemlerinin birleşimiyle ürün geliştirme süreçlerinde dijital ikizlerin kullanımı arttı. Üretim süreçlerinin simülasyonu, ürün tasarımının iyileştirilmesi ve prototipleme süreçlerinde dijital ikizlerin kullanımı yaygınlaştı. (Tu vd., 2023) 2010'lu yıllarda, dijital ikizlerin kullanımı daha da yaygınlaştı ve çeşitlendi. Nesnelere interneti (IoT) teknolojisinin gelişmesiyle, gerçek dünyadaki nesnelere elde edilen verilerin dijital ikizlerle entegre edilmesi mümkün hale geldi. Bu sayede, endüstriyel tesislerin ve ürünlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi, analiz edilmesi ve optimize edilmesi mümkün hale geldi. (Tao vd., 2018)

Günümüzde, dijital ikizlerin kullanımı sadece endüstriyel alanda değil, sağlık, enerji, şehir planlaması, tarım ve birçok farklı alanda da yaygınlaşmış durumdadır. Bu teknolojinin gelişimiyle birlikte, gerçek dünyadaki nesnelere veya süreçlerin dijital modelleri daha da karmaşık hale gelmekte ve daha fazla veriyle beslenmektedir. Gelecekte, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin daha da entegre edilmesiyle, dijital ikizlerin kullanım alanlarının ve etkinliğinin artması beklenmektedir.

Dijital ikizler, genellikle üç boyutlu modelleme, simülasyon, veri analizi ve yapay zekâ gibi teknolojilerin birleşimiyle oluşturulur. Bu teknolojiler, gerçek dünyadaki nesnelere veya süreçlerden gelen verileri toplar, bu verileri analiz eder ve bir dijital model oluşturur. Bu dijital model, gerçek dünyadaki nesnenin veya sürecin davranışlarını simüle etmek veya izlemek için kullanılabilir.

Dijital ikizlerin kullanımı birçok alanda yaygındır. Endüstriyel üretimde, ürün tasarımı ve prototipleme süreçlerinde dijital ikizler kullanılır. Sağlık alanında, cerrahi simülasyonlar, hastaların tedavilerinin planlanması ve kişiselleştirilmiş tıbbi cihazların geliştirilmesi gibi birçok uygulama için dijital ikizler kullanılabilir. Ayrıca, şehir planlaması, altyapı yönetimi, enerji sistemleri, otonom araçlar ve daha pek çok alanda dijital ikizlerin kullanımı mevcuttur. Dijital ikizlerin temel amacı, gerçek dünyadaki nesnelere veya süreçlerin daha iyi anlaşılmasını, izlenmesini, yönetilmesini ve optimize edilmesini sağlamaktır. Bu, daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir sistemlerin tasarlanması ve işletilmesine olanak tanır.

DT sistemini fiziksel katman, veri çıkarma ve birleştirme katmanı, siber uzay katmanı, etkileşim katmanı olarak dört sınıfa ayırabiliriz.(Opoku et al., 2021)

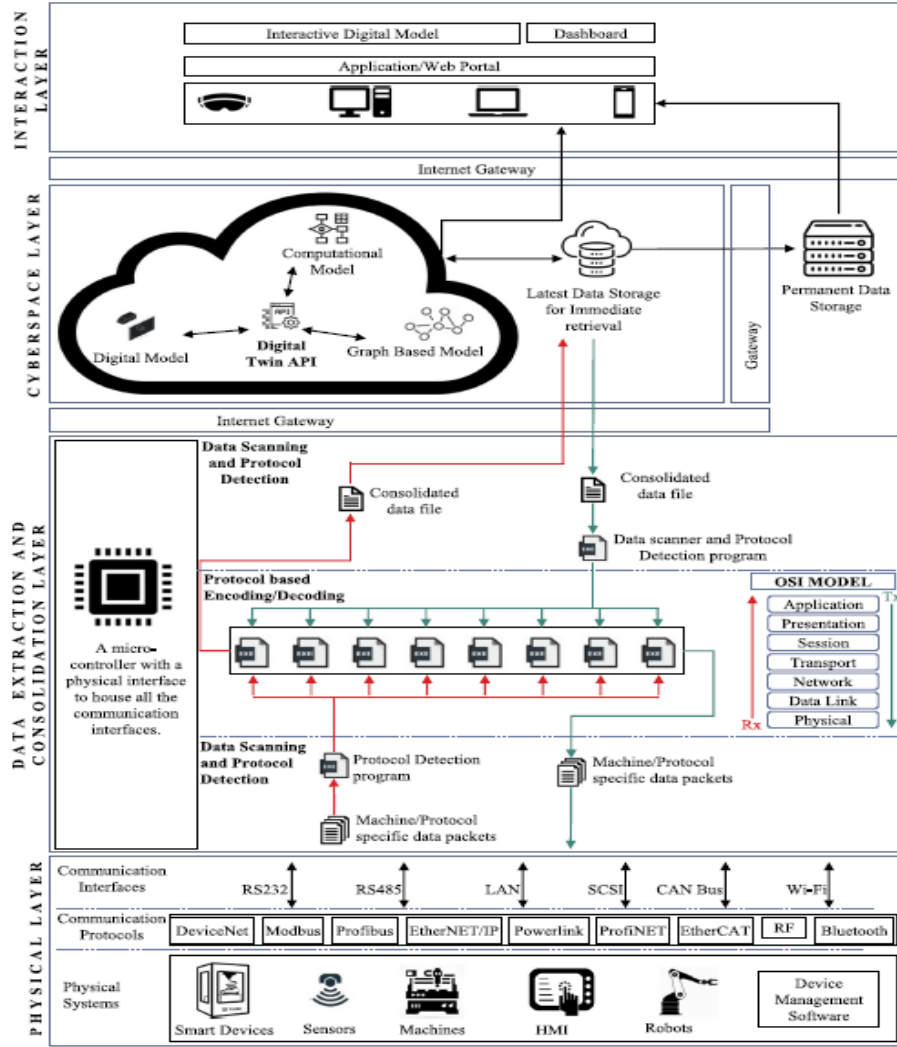
Fiziksel katman, gözlem altındaki fiziksel sistemi içerir. Fiziksel katmanın çevresi ve etkileşimleri ile doludur, her biri farklı olan çok sayıda makine içerebilir farklı iletişim arayüzlerinin yanı sıra veri aktarımı için farklı iletişim protokolleride kullanabilir. Bu sistemlerin dijital olarak izlenebilmesi için dijitalleştirilebilir ve dijital ağda kullanılabilir olması gereklidir.

Veri çıkarma ve birleştirme katmanı fiziksel ve siber katman arasında bir köprü görevi görür. Fiziksel ve siber katmandan tüm veri paketlerini alarak işler. Fiziksel sistemler, bunların işlenmesi ve bir makineye dönüştürülmesi siber katmana aktarmadan önce şekillendirir. Fiziksel katmandan alınan verileri siber katmana göre kodlar. Siber ortamdan gelen verileri, komutları makinenin anladığı formata dönüştürür ya da tam tersi işlemi yapar.

Siber uzay katmanı, DT mimarisinin çekirdeğini oluşturur ve DT' nin kurulduğu katman. Siber uzay katmanı fiziksel sisteme her yerde erişim sağlamak için iletişim imkânı ve dijital ikiz bulut üzerinde kurulmuş ve internet olarak hizmet verir. Tüm fiziksel nesnelere içeren fiziksel nesnenin gelişmiş dijital versiyonu sistemin fiziksel ve kimyasal özelliklerine uyarak fiziksel sisteme benzer şekilde bilim yasalarını barındırır. Dijital modeli grafik tabanlı programlar yardımıyla modelin gerçek zamanlı durumunu siber dünyaya aktarır. Dijital İkiz API tarafından kontrol edilir bu aynı zamanda gelen ve giden veri iletimi ve alımından da sorumlu bulut depolamasıdır. (Koulouris et al., 2021)

Etkileşim katmanı, DT çerçevesinin son katmanıdır ve Dijital İkiz aracılığıyla fiziksel sistemle insan etkileştiği katmandır. Bulut alanında DT' nin varlığı, erişim için fırsatlar sunar herhangi bir cihazdaki herhangi bir yerden, hatta düşük işleme sahip olanlar bile neredeyse tüm işler bulut alanında yapılabilir. Bu nedenle, etkileşim katmanı olabilecek herhangi bir cihaz olabilir, kullanıcı etkileşimini tanıyarak görsel bilgi sunar. Akıllı telefon kadar basit bir cihazla erişim mümkündür. Bu katman bulut alanındaki DT' ye ait tüm bilgileri işler ve günceller. Bu güncellenmiş dijital model daha sonra kullanıcıya sunulur ve fiziksel sistemin kullanıcıya ilgili gerçek zamanlı durumunu etkileşimi sağlar. Denetim modunda etkileşim katmanı, görsel bir temsili olan bir HMI görevi görür. Dijital ikiz üzerinden sistem DT ye gerçek zamanlı senkronizasyon sağlar ve fiziksel sistemle model güncellemesini yapar. Geleneksel bir yaklaşımdan ziyade sürükleyici kontrole sahip kullanıcı deneyimi sunar. Bu etkileşimli model, kullanıcı girdisini tetikleyici noktalardan çevirir ilgili eylemleri gerçekleştirir ve komut olarak siber uzaya iletir daha sonra DT API tarafından işlenen ve iletilen sinyaller fiziksel dünyada gerçekleşir.(Vitorino et al., 2019)

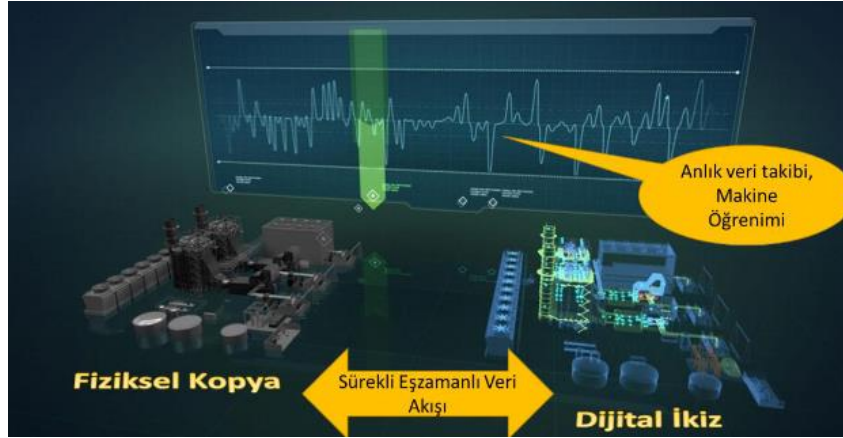
DT' nin amacı, kullanıcılara her yerde izleme ve kontrol sağlamaktır. Sistemin kurulması için dört farklı katman gösteren mimari Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. DT Mimarisi

1.4.1. Dijital ikizin önemi nedir?

Dijital ikizler, ürün tasarımı ve geliştirme süreçlerinde temel bir araç olarak kabul edilir. Bu teknoloji, fiziksel prototiplerin maliyetini ve zamanını azaltarak tasarım sürecinin etkinliğini artırır. Ayrıca, ürünlerin dijital ikizleri, gerçek dünya koşullarında simüle edilerek tasarım hataları önceden tespit edilebilir. Bu durum, ürünlerin kalitesini artırır ve müşteri memnuniyetini sağlar. Endüstriyel üretimde, dijital ikizlerin kullanımı üretim süreçlerinin optimize edilmesini sağlar. Şekil 2'deki gibi gerçek zamanlı veri toplama ve analiz, üretim hattındaki verimliliği artırır ve atık miktarını azaltır. Ayrıca, dijital ikizler öngörücü bakım ve servis sağlar. Ekipmanın durumu hakkında gerçek zamanlı veri toplayarak, arıza riskleri önceden tahmin edilebilir ve bakım zamanlaması optimize edilir. (Shahat vd., 2021)



Şekil 2. Dijital İkiz Kavram Şeması

Sağlık alanında, dijital ikizler hastaların bireysel sağlık verileri ve anatomik özellikleri üzerinden oluşturulabilir. Bu, cerrahi planlama, tedavi optimizasyonu ve kişiselleştirilmiş tıbbi cihazların geliştirilmesi gibi alanlarda kullanılabilir. Dijital ikizler, gerçek dünya olaylarını simüle ederek riskleri azaltır ve güvenlik önlemlerinin etkinliğini değerlendirir. Örneğin, otonom araçların dijital ikizleri, gerçek dünya koşullarında karşılaşılabilecekleri durumları simüle ederek güvenlik önlemlerinin etkinliğini test edebilir.

Şehir planlamasında, altyapı projelerinin planlanması, geliştirilmesi ve yönetilmesinde dijital ikizler önemli bir rol oynar. Trafik yönetimi, enerji dağıtımını, su yönetimi gibi alanlarda dijital ikizlerin kullanımı, şehirlerin daha sürdürülebilir ve verimli olmasını sağlar.(Zhong vd., 2023)

1.4.2. Dijital ikizin kullanım alanları

Dijital ikizler, fiziksel varlıkların dijital temsilcileri olarak, günümüzde birçok alanda devrim yaratmaktadır. Üretimden sağlık hizmetlerine, şehir planlamasından enerji yönetimine kadar geniş bir yelpazede kullanılan dijital ikiz teknolojisi, gerçek zamanlı veri analizi, simülasyon ve öngörü yetenekleriyle süreçleri optimize ederken, maliyetleri düşürmekte ve verimliliği artırmaktadır. Endüstriyel tesislerin performansını izlemek ve bakım ihtiyaçlarını tahmin etmek, karmaşık tıbbi cihazların etkinliğini artırmak ve akıllı şehirlerin altyapısını yönetmek gibi uygulamalar, dijital ikizlerin sağladığı faydalardan sadece birkaçıdır. Bu yenilikçi teknoloji, fiziksel ve dijital dünyalar arasındaki bağı güçlendirerek, geleceğin daha sürdürülebilir ve verimli bir şekilde inşa edilmesine olanak tanımaktadır. Endüstriyel üretimde dijital ikizler, üretim süreçlerinin optimize edilmesinde ve verimliliğin artırılmasında önemli bir rol oynar. Gerçek zamanlı veri toplama ve analiz sayesinde, üretim hatlarının performansı izlenir ve iyileştirme fırsatları belirlenir. Örneğin, sensörler aracılığıyla toplanan

veriler sayesinde, ekipman arızaları önceden tahmin edilebilir ve bakım süreçleri optimize edilir.(Zhong vd., 2023)

Ürün tasarımı sürecinde dijital ikizler, ürünlerin sanal bir kopyasını oluşturarak tasarım hatalarının erken aşamalarda tespit edilmesini sağlar. Bu, fiziksel prototiplerin maliyetini ve zamanını azaltırken, ürün kalitesini artırır. Ayrıca, ürünlerin kullanıcı deneyimini simüle ederek tasarım iyileştirmeleri yapılabilir.

Sağlık alanında dijital ikizler, cerrahi planlama, simülasyonlar, hastaların kişiselleştirilmiş tedavilerinin geliştirilmesi ve tıbbi cihazların tasarımı gibi birçok alanda kullanılır. Hastaların anatomik yapılarına dayalı özelleştirilmiş tedavilerin geliştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, tıbbi cihazların tasarımı ve prototipleme sürecinde dijital ikizler kullanılarak ürünlerin güvenilirliği ve etkinliği artırılabilir.

Otomotiv endüstrisinde dijital ikizler, otonom araçların geliştirilmesi ve test edilmesinde önemli bir rol oynar. Gerçek dünya koşullarını simüle ederek otonom araçların güvenliğini ve etkinliğini test etmeyi sağlar. Ayrıca, trafik akışı simülasyonları yaparak trafik yönetimi çözümlerinin geliştirilmesine de katkı sağlar.(Cabral vd., 2023)

Şehirlerde dijital ikizler, altyapı projelerinin planlanması, geliştirilmesi ve yönetilmesinde kullanılır. Trafik yönetimi, enerji dağıtımı, su yönetimi gibi alanlarda şehirlerin daha sürdürülebilir ve verimli olmasını sağlar. Ayrıca, şehirlerin gelecekteki ihtiyaçlarına daha iyi yanıt vermek için şehir modelleri oluşturulmasında da kullanılır.

Enerji üretimi, dağıtımı ve tüketimi süreçlerinde dijital ikizler, enerji verimliliğini artırmak, ağ güvenliğini sağlamak ve enerji kaynaklarının optimize edilmesine yardımcı olmak için kullanılır. Gerçek zamanlı veri toplama ve analiz sayesinde, enerji ağlarının performansı izlenebilir ve iyileştirme fırsatları belirlenebilir.

Eğitim alanında dijital ikizler, özellikle mühendislik, tıp ve diğer teknik alanlarda eğitim simülasyonları için kullanılır. Öğrencilere gerçek dünya deneyimleri sağlar ve pratik becerilerini geliştirmelerine olanak tanır. Örneğin, cerrahi eğitim simülasyonları, cerrahi becerilerin geliştirilmesinde ve cerrahi prosedürlerin pratik yapılmasında kullanılabilir.

Dijital ikizlerin bu geniş kullanım alanları, birçok endüstri ve sektörde verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve yenilikleri hızlandırmak için önemli bir araç olarak kabul edilmesini sağlar.

2. CNC MAKİNE İMALATINA DİJİTAL İKİZİN ETKİLERİ

2.1. Artırılmış Gerçeklik ile Cnc İmalat Süreçlerinin Geliştirilmesi

Artırılmış Gerçeklik (AR) ve CNC makine imalat süreçlerinin birleştirilmesi, endüstriyel üretimde önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Bu birleşim, operatörlerin ve mühendislerin üretim süreçlerini optimize etmelerine, verimliliği artırmalarına ve hata oranını azaltmalarına olanak tanımaktadır. (Elmqaddem, 2019)

Bu teknolojik entegrasyon, öncelikle eğitim ve yetenek gelişimi alanında önemli katkılar sunmaktadır. AR destekli eğitim programları, operatörlerin makine kullanımını öğrenmelerini ve karmaşık işlemleri güvenli bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlar. Bu da yeni operatörlerin daha hızlı bir şekilde yetkinlik kazanmasına ve mevcut operatörlerin sürekli eğitim almalarına olanak tanır. Ayrıca, AR teknolojisi, CNC makinelerinin bakım ve onarım süreçlerini iyileştirmektedir. Operatörler ve teknisyenler, AR destekli bakım uygulamaları aracılığıyla makine parçalarını yerinden çıkarma, bakım prosedürlerini uygulama ve hata giderme konularında adım adım rehberlik alabilirler. Bu da bakım süreçlerinin daha hızlı ve daha doğru bir şekilde tamamlanmasını sağlar.

Üretim süreçlerinin iyileştirilmesi açısından da AR teknolojisinin rolü büyüktür. Operatörler, AR gözlükleri aracılığıyla gerçek zamanlı üretim verilerini izleyebilir, üretim hatlarını optimize edebilir ve işlemleri sürekli olarak iyileştirebilirler. Bu da üretim süreçlerinin daha verimli hale gelmesine ve atık oranlarının azalmasına katkıda bulunur.

Tasarım ve prototipleme süreçlerinde de AR teknolojisi önemli bir rol oynamaktadır. Tasarımcılar, AR teknolojisi kullanarak tasarım modellerini gerçek dünya ortamlarında görselleştirebilir ve doğrudan geribildirim alabilirler. Bu da ürün geliştirme süreçlerinin daha hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlar. (Kabaldin, Kolchin, vd., 2019)

Son olarak, AR teknolojisinin operatör performansını artırdığı ve işyerinde verimliliği artırdığı belirtilmelidir. Operatörler, AR gözlükleri aracılığıyla talimatları ve yönergeleri doğrudan görebilir ve işlemleri daha hızlı ve daha doğru bir şekilde gerçekleştirebilirler. Bu da hata oranlarının azalmasına ve işyeri güvenliğinin artmasına katkıda bulunur. Bu nedenlerle, AR ve CNC makine imalat süreçlerinin birleştirilmesi, endüstrideki dijital dönüşümü hızlandırır ve üretim süreçlerini daha verimli ve etkili hale getirir.

2.2. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Cnc İmalat Süreçlerine Etkisi

Artırılmış Gerçeklik (AR), CNC makine imalat süreçlerinde giderek daha fazla kullanılmakta ve endüstride büyük bir etki yaratmaktadır. AR, CNC makine imalat süreçlerinde eğitim ve yetenek gelişimi için önemli bir araçtır. Operatörler ve bakım personeli, AR teknolojisi sayesinde karmaşık makineleri daha iyi anlayabilir ve güvenli bir şekilde işlem yapmayı öğrenebilirler. Bu, işe alım ve eğitim süreçlerini hızlandırır ve operatörlerin beceri seviyelerini artırır.

AR, bakım ve onarım süreçlerini iyileştirmek için kullanılır. Operatörler, AR destekli uygulamalar aracılığıyla makinelerin bakımını daha etkin bir şekilde yapabilir ve hataları daha hızlı tespit edebilirler. Bu, makine duruş sürelerini azaltır ve üretkenliği artırır. AR, operatörlere gerçek zamanlı veri akışı sağlayarak üretim süreçlerini optimize etmeye yardımcı olur. Operatörler, AR gözlükleri aracılığıyla makinenin çalışma durumunu, işleme verimliliğini ve diğer önemli parametreleri izleyebilirler. Bu, üretim süreçlerinin daha verimli hale gelmesine ve atık oranlarının azalmasına katkıda bulunur. (Kamińska vd., 2023)

AR, CNC makine imalat süreçlerinde tasarım ve prototipleme süreçlerini hızlandırır. Tasarımcılar, AR teknolojisi kullanarak tasarım modellerini gerçek dünya ortamlarında görselleştirebilir ve tasarım değişikliklerini hızlı bir şekilde yapabilirler. Bu da ürün geliştirme süreçlerinin daha verimli hale gelmesini sağlar. AR, operatör performansını artırır ve hata oranlarını azaltır. Operatörler, AR gözlükleri aracılığıyla talimatları ve yönergeleri doğrudan görerek işlem yapabilirler. Bu da işyerinde verimliliği artırır ve işçi güvenliğini sağlar. Genel olarak, AR teknolojisinin CNC makine imalat süreçlerinde kullanımı, iş verimliliğini artırır, hata oranlarını azaltır ve operasyonel mükemmelliği destekler. Bu teknolojinin giderek daha fazla benimsenmesiyle birlikte, endüstride daha fazla inovasyon ve verimlilik artışı beklenmektedir.

Unity tabanlı artırılmış gerçeklik (AR) uygulamalarının imalat verimliliğinin artırılmasındaki değeri, endüstride önemli bir konudur. Bu uygulamalar, bir dizi avantaj sunarak imalat süreçlerini optimize etme potansiyeline sahiptir. İlk olarak, AR uygulamaları, operatörlerin eğitim ve yetenek gelişimini desteklemek için etkili bir araç olarak kullanılabilir. Karmaşık makinelerin işleyişini interaktif bir şekilde göstererek, operatörlerin daha hızlı bir şekilde yetkinlik kazanmasına olanak tanır. Bunun yanı sıra, AR uygulamaları, bakım ve onarım süreçlerini iyileştirmek için önemli bir rol oynar. Operatörler, AR gözlükleri aracılığıyla

makinelerin bakımını yaparken adım adım rehberlik alabilirler, bu da bakım süreçlerinin daha hızlı tamamlanmasını ve makinelerin daha az duruş süresi yaşamasını sağlar. Üretim süreçlerini optimize etme açısından, AR uygulamaları operatörlere gerçek zamanlı üretim verilerini izleme imkânı sunar. Bu da operatörlerin işgücü ve makine kullanımını daha verimli bir şekilde planlamalarına ve işlemleri sürekli olarak iyileştirmelerine yardımcı olur. Tasarım ve prototipleme süreçlerinde de AR teknolojisi etkili bir araçtır. Tasarımcılar, AR teknolojisi kullanarak tasarım modellerini gerçek dünya ortamlarında görselleştirebilir ve tasarım değişikliklerini hızlı bir şekilde yapabilirler. Son olarak, AR uygulamaları operatör performansını artırır ve işyeri güvenliğini sağlar. Operatörler, AR gözlükleri aracılığıyla talimatları ve yönergeleri doğrudan görerek işlem yapabilirler, bu da işyerinde verimliliği artırır ve operasyonel riskleri azaltır. Bu nedenle, Unity tabanlı AR uygulamalarının imalat sektöründe kullanılması, verimliliği artırmak ve rekabet avantajı elde etmek için önemli bir fırsattır.

2.3. Sanal Gerçeklik Destekli Cnc Makine Bakımı

Sanal gerçeklik destekli CNC makine bakımı, endüstriyel işletmelerin bakım süreçlerindeki etkinliği ve verimliliği artıran önemli bir teknolojik gelişmedir. Bu yaklaşım, bakım ekiplerine sanal ortamda makine parçalarını inceleme, bakım prosedürlerini öğrenme ve pratik yapma imkânı sunarak gerçek dünya risklerini azaltır. Ayrıca, sanal gerçeklikle desteklenmiş bakım operasyonları, daha verimli bir şekilde planlanabilir ve uygulanabilir, bu da makine duruş sürelerinin azaltılmasına ve üretim verimliliğinin artırılmasına katkı sağlar. Sonuç olarak, sanal gerçeklik destekli CNC makine bakımı, işletmelerin rekabet gücünü artıran güvenli, etkili ve maliyet-etkin bir bakım stratejisi sunar. Sanal gerçeklik (VR) teknolojisinin CNC makine bakım süreçlerine entegrasyonu, endüstriyel bakım uygulamalarında devrim niteliğinde yenilikler sunmaktadır. VR, kullanıcılara sanal ortamlar aracılığıyla gerçek dünyadaki makinelerle etkileşimde bulunma imkânı sunar, bu da eğitim, bakım ve onarım süreçlerinde önemli avantajlar sağlar. CNC makinelerinin karmaşık yapısı ve hassas işleyişi, bakım ve onarım süreçlerinde yüksek düzeyde uzmanlık gerektirir. VR teknolojisi, bu süreçleri daha verimli ve güvenli hale getirir. (Won vd., 2023)

VR destekli eğitim programları, operatörlere ve bakım teknisyenlerine CNC makinelerinin işleyişini ve bakım prosedürlerini öğretmek için etkileşimli simülasyonlar sunar. Geleneksel eğitim yöntemleri, teorik bilgi aktarımı ile sınırlıdır ve pratik uygulamalar sırasında hataların meydana gelme riski yüksektir. VR eğitimleri ise, kullanıcıların sanal ortamda güvenli bir şekilde pratik yapmalarını sağlar. Bu sayede, operatörler ve teknisyenler, gerçek makineler

üzerinde çalışmaya başlamadan önce yeterli deneyimi kazanır ve olası hataları minimuma indirir.

VR teknolojisi, CNC makine bakım süreçlerinde gerçek zamanlı destek ve sorun giderme imkânı sunar. Uzmanlar, uzaktan bağlantı aracılığıyla sanal ortamda operatörlere rehberlik edebilir ve adım adım bakım prosedürlerini yönlendirebilir. Bu, özellikle karmaşık arızaların giderilmesi sırasında kritik öneme sahiptir. VR ile sağlanan görsel ve işitsel geri bildirimler, kullanıcıların doğru prosedürleri takip etmelerini ve hataları hızlı bir şekilde düzeltmelerini sağlar. CNC makinelerinin dijital ikizlerinin sanal gerçeklik ortamında oluşturulması, bakım ve onarım süreçlerinin simülasyonlarla test edilmesine olanak tanır. Bu simülasyonlar, makinenin farklı çalışma koşulları altında nasıl performans gösterdiğini analiz etmeye yardımcı olur. Ayrıca, bakım prosedürlerinin etkinliği ve verimliliği sanal ortamda test edilerek, gerçek dünya uygulamalarında karşılaşılabilecek sorunlar önceden belirlenebilir ve çözümler geliştirilebilir. (Walker vd., 2022) VR teknolojisi, CNC makine bakım süreçlerinin daha hızlı ve verimli bir şekilde tamamlanmasını sağlar. Eğitim ve bakım süreçlerinde geçen sürenin kısalması, makinelerin daha az downtime yaşaması ve üretim sürekliliğinin sağlanması anlamına gelir. Ayrıca, VR ile desteklenen bakım ve onarım süreçleri, maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olur. Operatörler ve teknisyenler, sanal ortamda yaptıkları hatalardan ders çıkararak, gerçek dünyada daha az hata yapar ve bu da bakım maliyetlerini azaltır.

Sanal gerçeklik teknolojisinin CNC makine bakım süreçlerine entegrasyonu, endüstriyel bakım ve onarım uygulamalarında önemli iyileştirmeler sunmaktadır. Eğitim, gerçek zamanlı destek, simülasyonlar ve maliyet tasarrufu gibi birçok avantajı olan VR, CNC makinelerinin bakım süreçlerini daha verimli, güvenli ve ekonomik hale getirir. Bu teknolojinin endüstri 4.0 ile gelişmesi, gelecekte daha yenilikçi ve etkili bakım stratejilerinin uygulanmasına olanak tanıyacaktır. (Luo vd., 2019) Sanal gerçeklik kullanımının CNC makine bakım süreçlerinin etkinliği üzerindeki etkisi, endüstride büyük bir dönüşüm ve iyileştirme sağlamaktadır. Aşağıda, bu etkilerin bazılarını odaklanarak daha ayrıntılı olarak ele alabiliriz:

Sanal gerçeklik, CNC makine bakımı için eğitim ve uzmanlık gelişim süreçlerini iyileştirir. VR tabanlı eğitim programları, operatörlere ve bakım teknisyenlerine gerçek dünya deneyimi kazandırırken, güvenli bir ortamda pratik yapma fırsatı sunar. Bu, operatörlerin ve teknisyenlerin sahip oldukları becerileri geliştirir ve bakım süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetmelerini sağlar.

Sanal gerçeklik, bakım ekiplerine gerçek zamanlı destek sağlayarak sorun giderme süreçlerini hızlandırır. Uzmanlar, uzaktan bağlantı aracılığıyla sahada bulunan personeli yönlendirebilir ve sorunların hızlı bir şekilde tanımlanmasına ve çözülmesine yardımcı olabilir. Bu, makine duruş sürelerinin azalmasına ve üretkenlikte artışa yol açar.

CNC makine bakım süreçlerinde simülasyonlar ve sanal prototipler oluşturarak verimliliği artırır. Bu simülasyonlar, bakım ekiplerinin farklı senaryoları test etmesine ve bakım prosedürlerini geliştirmesine olanak tanır. Ayrıca, gerçek dünyada karşılaşılabilecek sorunların önceden belirlenmesine ve çözümlenmesine yardımcı olur.

CNC makine bakım süreçlerinin verimliliğini artırır ve maliyetleri düşürür. Operatörler ve teknisyenler, sahada pratik yapmadan önce sanal ortamda deneyim kazanabilir ve hataları sanal olarak düzeltebilirler. Bu, bakım süreçlerinin daha az zaman almasına ve maliyetlerin azalmasına yol açar. (van Dinter vd., 2022)

Bakım ekiplerine daha güvenli bir çalışma ortamı sağlar ve riskleri azaltır. Operatörler ve teknisyenler, sanal ortamda tehlikeli durumları simüle edebilir ve nasıl müdahale edeceklerini öğrenebilirler. Bu, iş kazalarının önlenmesine ve personel güvenliğinin artırılmasına yardımcı olur.

Sanal gerçeklik kullanımının CNC makine bakım süreçlerinin etkinliği üzerindeki etkisi, endüstriyel bakım uygulamalarında önemli bir artış sağlar. Bu teknolojinin giderek daha yaygın hale gelmesiyle birlikte, daha verimli, güvenli ve ekonomik bakım stratejilerinin geliştirilmesi beklenmektedir.

2.4. Cnc Makinesi ile İletişimde Kullanılan Web Soket Teknolojisi

CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) makineleri ile iletişimde kullanılan web soket teknolojisi, CNC makinelerinin uzaktan izlenmesi, kontrol edilmesi ve verilerin iletilmesi için modern bir iletişim protokolüdür. Web soketleri, web tarayıcıları ve sunucular arasında çift yönlü iletişimi sağlamak için kullanılır ve genellikle gerçek zamanlı web uygulamalarında tercih edilir. CNC makineleri için web soketleri, operatörlerin ve bakım personelinin makineleri uzaktan izlemesine ve kontrol etmesine olanak tanır. (Lubbers ve Greco, 2010)

Web soketleri, sürekli ve gerçek zamanlı iletişim sağlar. Bu, CNC makinelerinden gelen verilerin anlık olarak alınmasını ve işlenmesini mümkün kılar. Bu özellik, makinelerin çalışma

durumu, üretim verimliliği ve hata durumları gibi önemli bilgilerin anında kullanıcılara iletilmesini sağlar. (Shweta Thakur & V. A. Gulhane, 2014) Web soketleri hem sunucu hem de istemci arasında çift yönlü iletişimi destekler. Bu, operatörlerin CNC makinelerine komut göndermesine ve makinelerden gelen yanıtları almasına olanak tanır. Örneğin, bir operatör bir işlem başlatmak veya durdurmak için bir komut gönderebilir ve makinelerden gelen cevapları alabilir. Web soketleri, uzaktan izleme ve kontrol uygulamaları için idealdir. Operatörler ve bakım personeli, CNC makinelerinin çalışma durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilir, hata durumlarını tespit edebilir ve gerektiğinde müdahalede bulunabilir. Web soketleri, HTTPS (Güvenli HTTP) üzerinden iletişim sağladığı için güvenlik ve performans açısından avantajlıdır. Veriler şifrelenir ve güvenli bir şekilde iletilir, bu da hassas üretim verilerinin korunmasına yardımcı olur. Ayrıca, web soketleri, geleneksel HTTP bağlantılarına göre daha düşük gecikme süreleri sağlar, bu da daha hızlı ve daha duyarlı bir iletişim deneyimi sunar. (Q. Liu ve Sun, 2012)

CNC makineleri ile iletişimde kullanılan web soket teknolojisi, endüstride dijital dönüşümü hızlandırır ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirir. Bu teknoloji, operatörlerin ve bakım personelinin CNC makinelerini daha etkin bir şekilde yönetmelerini sağlar ve üretim tesislerinin rekabetçiliğini artırır.

Web soketi iletişimi, modern web tarayıcılarında ve sunucularda kullanılabilen bir iletişim protokolüdür. Bu protokol, istemci ve sunucu arasında çift yönlü iletişimi sağlar ve gerçek zamanlı veri akışı için idealdir. CNC makineleri gibi endüstriyel cihazlarla web soketi kullanarak iletişim kurulması, operatörlere ve mühendislere makine durumu hakkında anlık bilgi sağlar ve uzaktan erişim ve kontrol imkânı sunar. (“Real-Time Interactivity In Hybrid Applications With Web Sockets”, 2024) Örneğin, bir CNC makinesinin web soketi iletişimi kullanılarak uzaktan erişimi ve kontrolü sağlanabilir. Makinenin kontrol ünitesi, web soketi aracılığıyla bir sunucuya veya bulut tabanlı bir platforma bağlanabilir. Bu sayede, operatörler herhangi bir web tarayıcısı veya mobil uygulama üzerinden makineye erişebilir ve kontrol edebilirler.

Gerçek zamanlı veri iletimi, operatörlerin ve mühendislerin, herhangi bir yerden makine durumunu izlemelerini sağlar. Makinenin çalışma verilerini, işlem durumunu ve hatta sensör verilerini görselleştirebilirler. Bu, makine performansının sürekli olarak izlenmesini sağlar. (Krisna Putra vd., 2023) Uzaktan erişim ve kontrol, operatörlere makine parametrelerini ayarlama ve işlemleri başlatma veya durdurma yeteneği verir. Örneğin, bir operatör, bir CNC

makinesinin işlem parametrelerini uzaktan ayarlayabilir veya bir işlemi başlatıp durdurabilir. Bu, üretim süreçlerinin daha esnek hale gelmesini sağlar ve makine verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunur. Sonuç olarak, CNC makinesi ile web soketi iletişiminin uzaktan erişim ve kontrolünde kullanılması, endüstriyel otomasyon alanında önemli bir gelişmedir. Bu teknoloji, operatörlere ve mühendislere makine durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlar ve uzaktan erişim ve kontrol imkânı sunar. Bu da işletmelerin verimliliğini artırır ve rekabet avantajı sağlar.

2.5. Dijital İkiz ve Uzaktan İzleme ve Kontrol

Günümüzde endüstriyel süreçlerin karmaşıklığı ve rekabetçi baskılar, üretim ve işletim süreçlerini optimize etmek için yenilikçi yaklaşımların benimsenmesini gerektiriyor. Bu bağlamda, Dijital İkiz ve Uzaktan İzleme ve Kontrol gibi dijital teknolojiler, endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu yazıda, Dijital İkiz ve Uzaktan İzleme ve Kontrolün endüstriyel uygulamalarını ele alacak ve bu teknolojilerin endüstriyel süreçlerdeki rolünü ve etkisini inceleyeceğiz. Dijital İkiz, gerçek dünya sistemlerinin sanal bir kopyasıdır ve endüstriyel uygulamalarda kullanıldığında, fiziksel sistemlerin dijital bir temsilini sağlar. Endüstriyel süreçler için bir dijital ikiz oluşturmak, üretim ve işletme süreçlerini optimize etmek, bakım ve onarım işlemlerini iyileştirmek ve ürün geliştirme süreçlerini hızlandırmak için önemli fırsatlar sunar. Örneğin, bir üretim hattının dijital ikizini oluşturmak, üretim süreçlerini simüle etmek ve iyileştirmek için kullanılabilir. Bu, üretim verimliliğini artırabilir, hata oranlarını azaltabilir ve maliyetleri düşürebilir.

Uzaktan İzleme ve Kontrol, endüstriyel süreçlerin uzaktan izlenmesini ve yönetilmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, sensörler ve iletişim ağları aracılığıyla gerçek zamanlı veri akışını sağlar ve operatörlere veya mühendislere uzaktan erişim ve kontrol imkânı sunar. Endüstriyel tesislerde, uzaktan izleme ve kontrol, üretim süreçlerinin sürekli olarak izlenmesini, operasyonel verimliliğin artırılmasını ve hata oranlarının azaltılmasını sağlar. Ayrıca, uzaktan izleme ve kontrol, operatörlerin ve mühendislerin işletme süreçlerine hızlı ve etkili bir şekilde müdahale etmelerini sağlar, bu da operasyonel mükemmelliği destekler. Dijital İkiz ve Uzaktan İzleme ve Kontrol teknolojileri, birçok endüstriyel uygulama alanında değerli fırsatlar sunar. Örneğin, otomotiv endüstrisinde, dijital ikizler, üretim hatlarının simülasyonunu sağlayarak üretim süreçlerini optimize etmeye yardımcı olabilir. Aynı zamanda, enerji sektöründe, uzaktan izleme ve kontrol, enerji üretim tesislerinin performansını izlemek ve yönetmek için kullanılabilir, bu da enerji verimliliğini artırabilir ve işletme maliyetlerini düşürebilir. (Pintavirooj vd., 2021) Sonuç olarak, Dijital İkiz ve Uzaktan İzleme ve Kontrol, endüstriyel

uygulamalarda önemli bir rol oynar ve üretim süreçlerinin optimize edilmesi, operasyonel verimliliğin artırılması ve rekabet avantajının elde edilmesi için değerli araçlar sunar. Bu teknolojilerin endüstriyel uygulamalardaki kullanımının daha da yaygınlaşmasıyla birlikte, endüstride daha büyük inovasyonlar ve verimlilik artışları beklenmektedir.

Unity tabanlı dijital ikizlerin CNC makinesi uzaktan izleme ve kontrol süreçlerindeki kullanımı, endüstriyel üretimde önemli bir dönüşüm sağlayabilir. Bu yaklaşım, operatörlerin ve mühendislerin CNC makinelerini uzaktan izlemesini, analiz etmesini ve kontrol etmesini sağlar. Unity tabanlı dijital ikizler, gerçek dünya CNC makinelerinin sanal bir kopyasını oluşturur. Bu dijital ikizler, makinenin fiziksel özelliklerini, hareketlerini ve işlevlerini doğru bir şekilde simüle eder. Bu sayede, operatörler ve mühendisler, gerçek CNC makinelerine fiziksel olarak erişmeden sanal ortamda görebilir, inceleyebilir ve kontrol edebilirler. (Suryowinoto ve Rizaldy, 2019)

Bu teknoloji, CNC makinesi uzaktan izleme ve kontrol süreçlerinde bir dizi avantaj sunar. İlk olarak, operatörler, CNC makinelerinin çalışma durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilirler. Unity tabanlı dijital ikizler, makinenin işlem verilerini ve performansını detaylı bir şekilde görselleştirir, bu da operatörlerin üretim süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetmelerini sağlar. Ayrıca, bu teknoloji, uzaktan hata teşhisi ve sorun giderme süreçlerini kolaylaştırır. Operatörler ve mühendisler, Unity tabanlı dijital ikizler aracılığıyla makinenin işleyişini detaylı bir şekilde inceleyebilirler. Sorunlar ortaya çıktığında, hızlı bir şekilde tanımlanabilir ve çözülebilir, bu da makinenin duruş süresini minimize eder ve üretkenliği artırır. Ek olarak, Unity tabanlı dijital ikizler, CNC makinelerinin uzaktan yönetilmesini sağlar. Operatörler, sanal ortamda makine parametrelerini ayarlayabilir, işlemleri başlatıp durdurabilir ve hatta makine programlarını değiştirebilirler. Bu, operatörlerin üretim süreçlerini uzaktan yönetmelerini sağlar ve esnekliklerini artırır. (Shukla vd., 2023) Sonuç olarak, Unity tabanlı dijital ikizlerin CNC makinesi uzaktan izleme ve kontrol süreçlerindeki kullanımı, endüstriyel üretimde önemli bir dönüşüm sağlar. Bu teknoloji, operatörlerin ve mühendislerin CNC makinelerini daha etkin bir şekilde yönetmelerini, hata oranlarını azaltmalarını ve üretim süreçlerini optimize etmelerini sağlar. Bu da işletmelerin rekabetçi avantajlarını artırır ve operasyonel mükemmelliğe katkıda bulunur.

Bir otomotiv parça üretim tesisinde, CNC işleme merkezlerinden biri uzak bir bölgede bulunuyorsa ve operatörlerin fiziksel olarak erişmesi zor ise, Unity tabanlı dijital ikizlerin rolü büyük önem taşır. Operatörler, bu dijital ikizler aracılığıyla makineyi uzaktan izleyebilir,

kontrol edebilir ve hatta bakım işlemlerini gerçekleştirebilirler. Örneğin, bir operatör, CNC makinesinin dijital ikizine bilgisayar veya tablet üzerinden erişerek makinenin çalışma durumunu izleyebilir. Makinenin işlem verilerini ve performansını görsel olarak görüntüleyebilir ve gerektiğinde parametreleri ayarlayabilir. Ayrıca, makinede olası bir arıza durumunda, dijital ikizler aracılığıyla sorun teşhisi yapılabilir ve gerekli müdahaleler uzaktan gerçekleştirilebilir. (Q. Liu ve Sun, 2012; Kabaldin, Shatagin, Anosov, Kolchin, vd., 2019) Bununla birlikte, bakım ve onarım işlemleri için de Unity tabanlı dijital ikizler kullanılabilir. Örneğin, bir operatör, dijital ikizler aracılığıyla makinenin parçalarını detaylı bir şekilde inceleyebilir ve bakım prosedürlerini simüle edebilir. Gerekli parçaların siparişi de dijital platformlar üzerinden kolayca verilebilir. Bu sayede, uzak bir bölgedeki CNC makinesinin performansı her zaman izlenebilir ve gerektiğinde müdahale edilebilir. Bu, işletme maliyetlerini düşürür, makine duruş sürelerini minimize eder ve üretkenliği artırır. Aynı zamanda, operatörlerin ve mühendislerin fiziksel olarak makineye erişmelerine gerek kalmadan sorunları tespit etmelerini ve çözmelerini sağlar, bu da işletmenin operasyonel verimliliğini artırır.

CNC makine endüstrisinde Unity tabanlı dijital ikizlerin yaygınlaşma süreci, endüstriyel dönüşümün bir parçası olarak hızla ilerlemektedir. Bu sürecin yaygınlaşması, CNC makinelerinin tasarımı, üretimi, işletilmesi ve bakımı süreçlerinde önemli değişiklikler getirir ve çeşitli etkileri beraberinde getirir.

Unity tabanlı dijital ikizler, CNC makinelerinin tasarım sürecinde büyük bir fayda sağlar. Mühendisler, gerçek dünyada deneyimlemek zorunda kalmadan tasarımları sanal ortamda test edebilir, optimize edebilir ve simüle edebilirler. Bu, tasarım hatalarının erken aşamalarda tespit edilmesini sağlar ve ürünlerin daha hızlı bir şekilde piyasaya sürülmesine olanak tanır.

Dijital ikizler, CNC makinelerinin üretim süreçlerinde de büyük bir rol oynar. Sanal bir ortamda üretim süreçlerini simüle etmek, işletmelerin üretkenliğini artırır, hata oranını azaltır ve üretim maliyetlerini düşürür. Ayrıca, üretim verimliliğinin artması, daha rekabetçi fiyatlar sunma ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verme yeteneğini sağlar.

Unity tabanlı dijital ikizler, CNC makinelerinin operasyonel verimliliğini artırır. Operatörler, sanal bir ortamda makineyi kontrol edebilir, bakım süreçlerini planlayabilir ve operasyonel verileri izleyebilirler. Bu, işletmelerin makine duruş sürelerini minimize etmelerine ve işletme performanslarını optimize etmelerine olanak tanır.

Dijital ikizler, CNC makinelerinin bakım ve onarım süreçlerinde de önemli bir rol oynar. Operatörler, sanal bir ortamda makineyi detaylı bir şekilde inceleyebilir, arızaları tespit edebilir ve bakım planlarını optimize edebilirler. Bu, makine duruş sürelerinin azaltılmasına ve bakım maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur.

Unity tabanlı dijital ikizlerin yaygınlaşması, CNC makine endüstrisinde inovasyonu teşvik eder ve işletmelerin rekabet gücünü artırır. Bu teknolojiler, işletmelerin daha esnek, verimli ve müşteri odaklı olmalarını sağlar ve pazar liderliğini sürdürmelerine yardımcı olur.

Sonuç olarak, Unity tabanlı dijital ikizlerin yaygınlaşması, CNC makine endüstrisinde önemli değişikliklere yol açar ve işletmelerin daha rekabetçi hale gelmelerini sağlar. Bu teknolojilerin doğru bir şekilde uygulanması, işletmelerin verimliliğini artırır, maliyetleri düşürür ve müşteri memnuniyetini artırır.

2.6. Dijital İkiz Teknolojisinin Cnc Makine Endüstrisine Faydaları

Gelecekteki teknolojik trendler, CNC makine endüstrisindeki rekabetçi ortamı ve üretim süreçlerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu değişimler, SolidWorks ve Unity tabanlı çözümlerin CNC makine endüstrisine sağlayabileceği çeşitli faydaları vurgular. SolidWorks gibi CAD yazılımları ve Unity gibi oyun motorları, bu dönüşümlerde önemli rol oynar ve birçok avantaj sunar. (Walker vd., 2022)

SolidWorks, CNC makinelerinin tasarım sürecini hızlandırabilir ve iyileştirebilir. 3D modelleme ve simülasyon yetenekleri sayesinde, tasarım hataları erken aşamalarda tespit edilebilir ve düzeltilerek ürünün geliştirilmesi sağlanır. Örneğin, tasarımın erken aşamalarında yapılan simülasyonlar, olası hataları ve iyileştirilmesi gereken alanları belirleyerek tasarım sürecini daha verimli hale getirir.

Unity tabanlı çözümler, CNC makinelerinin sanal prototiplerinin oluşturulması ve simülasyonunun gerçekleştirilmesinde kullanılabilir. Bu, gerçek dünya testlerinin maliyetini azaltırken ürünün performansını ve güvenilirliğini artırır. Örneğin, sanal prototipler sayesinde, fiziksel prototip üretimine gerek kalmadan ürün performansı test edilebilir ve gerekli düzenlemeler yapılabilir.

Unity tabanlı VR uygulamaları, operatörlere sanal bir ortamda CNC makinelerinin işleyişini öğrenme ve pratik yapma fırsatı sunar. Bu, yeni operatörlerin hızlı bir şekilde eğitilmesini ve

deneyimli operatörlerin becerilerini geliştirmesini sağlar. Örneğin, sanal eğitim ortamları, operatörlerin gerçek makineleri kullanmadan önce güvenli bir şekilde pratik yapmalarına olanak tanır, bu da hataların ve kaza risklerinin azalmasına yardımcı olur.

SolidWorks ve Unity tabanlı çözümler, üretim süreçlerinin optimize edilmesine ve verimliliğin artırılmasına yardımcı olabilir. Bu da işletmelerin maliyetleri düşürmesine ve rekabet avantajı elde etmesine olanak tanır. Örneğin, üretim sürecindeki darboğazları belirlemek ve optimize etmek için kullanılan simülasyonlar, genel verimliliği artırabilir.

Unity tabanlı çözümler, CNC makinelerinin sanal olarak görselleştirilmesi ve interaktif deneyimlerin sunulması yoluyla müşteri iletişimini ve pazarlamayı iyileştirebilir. Bu, müşterilerin ürünleri daha iyi anlamalarını ve karar vermelerini kolaylaştırır. Örneğin, sanal showroom'lar sayesinde müşteriler, ürünleri fiziksel olarak görmeden önce detaylı bir şekilde inceleyebilir ve deneyimleyebilir.

Gelecekteki teknolojik trendlerin etkisiyle, SolidWorks ve Unity tabanlı çözümler CNC makine endüstrisinde daha yaygın olarak benimsenebilir ve bu teknolojilerin sağladığı faydaların daha da artması beklenmektedir. Bu, endüstrinin daha rekabetçi hale gelmesine ve daha yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine olanak tanır. SolidWorks ve Unity'nin sağladığı bu yenilikçi çözümler, endüstriyel süreçlerin dijital dönüşümünde kritik bir rol oynayarak, gelecekte daha akıllı ve verimli üretim yöntemlerine geçişi hızlandıracaktır.(Gomes vd., 2019)

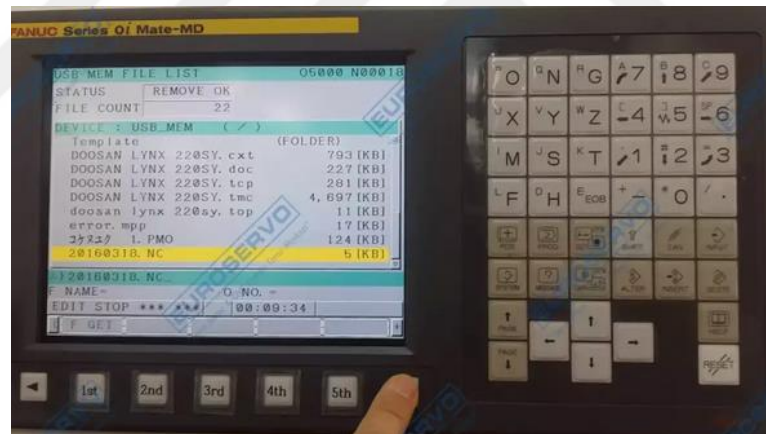
2.7. Yaygın CNC Arızaları

Torna ve freze gibi CNC makinelerinin en kritik bileşenlerinden biri olan spindle, yüksek devirlerde dönerek iş parçasını şekillendiren ana mekanizmadır. Ancak, bu önemli parça zamanla çeşitli arızalarla karşılaşabilir. Spindle arızaları, üretim süreçlerinde ciddi aksamalara yol açabilir ve maliyetli onarımlar gerektirebilir. Bu arızalar genellikle yatak aşınması, rulman hasarları, termal genleşme sorunları ve dengesizliklerden kaynaklanır. Ayrıca, yanlış montaj, yetersiz yağlama ve aşırı yüklenme gibi insan kaynaklı faktörler de spindle performansını olumsuz etkileyebilir. Spindle arızalarının erken tespiti ve doğru şekilde müdahale edilmesi, üretim hattının kesintisiz çalışması ve uzun ömürlü bir makine performansı için kritik öneme sahiptir. [5(Shuguang vd., 2020)]

Spindle motorlarda yaşanan arızalar, motorun düzgün çalışmasını, işlem kalitesinin artmasını engeller. Bu durum da istenen verimliliğin elde edilmesinin önüne geçer. Spindle

motor ile kesim işlemleri gerçekleştirilir. Kesim işlemlerindeki hareket kaynağı olarak tanımlanır. Çok yüksek hızlarla hareket eden bu motorlar, kullanılan malzemeye doğru şekilde işlem yapılmasını sağlar. Bu yüzden motorun doğru şekilde çalışması oldukça önemlidir. Belirli durumlarda ise spindle motor arızaları yaşanmaktadır. Yaşanan arızaların da belli başlı belirtilerinin olabileceği söylenmektedir. CNC motor arızaları içerisinde anormal seslerin olması, aşırı ısınma, düşük dönme hızları, dönüşlerin düzensiz olması gibi örnekler de gösterilmektedir. Bu gibi durumlarda servo motor hata kodları da kullanılmaktadır. (Xue vd., 2024).

Arızaların nedenleri içerisinde elektrik sıkıntıları yer almaktadır. Elektriksel bağlantılardan kaynaklı olan aşınma ve hasar, bağlantılarda gevşemeye neden olabilmektedir. Aynı şekilde motorun bileşenlerinde bazı yıpranmalar da yaşanmaktadır. Bu durum da mekanik problemlerden kaynaklanmaktadır. Düzenli yağlama işlemlerinin yapılmaması, toz ve kir birikmesi söz konusudur. Ek olarak dışarıdan müdahale ve yabancı cisimlerin neden olduğu hasarlar da bulunmaktadır.



Şekil 3. CNC makinesi Kontrol paneli

Karşılaşılan fanuc Şekil 3 cnc makinesi kontrol panelindeki hata kodları ve çözümleri içerisinde steo motorunun arızalanması yer alıyor. Motorda arızanın olması, kontrol sisteminde sorun yaşanması mümkündür. Böyle bir durum içerisinde motorun kendisinde sorun olabileceği gibi sürücü devresinde de arızanın olması söz konusudur. Sizler böyle bir durumlar karşı karşıya kaldığınız zaman ilk olarak step motorun bağlantı fişini kontrol etmelisiniz. Fişin temas halinde olup olmadığına bakmanız gerekir. Dokunma iyi durumdaysa o zaman motorun iyi olup olmadığına bakmalısınız. Bu konudaki işlemin de motorunuzu hatasız şekilde değiştirebilirsiniz. Motorunuzu değiştirmenizin ardından da hala normal şekilde çalışmadığını

düşünüyorsanız, kontrol kısmında sorun var demektir. CNC hata kodları üzerinden sorunu anlayabilir ve bu konuda uzmanlardan destek alabilirsiniz. (Walker vd., 2022)

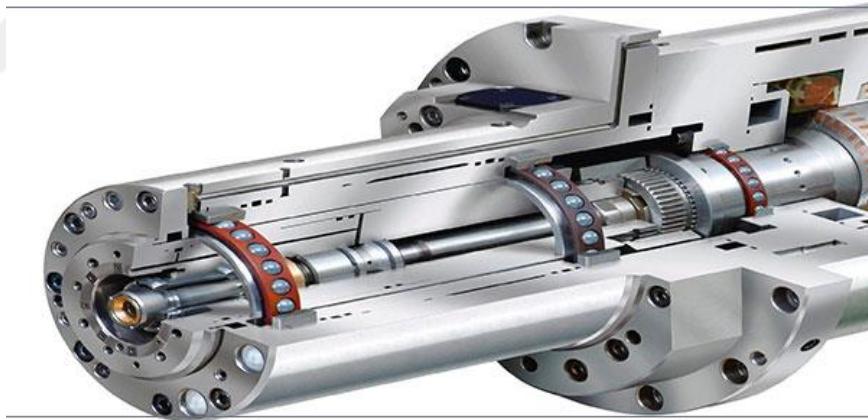
Belirli durumlarda step motorun aniden durduğunu görebilirsiniz. Yaygın motor arızaları arasında bu gibi seçenekler de yer alıyor. Böyle bir durumla karşı karşıya kaldığımız zamansa sorunun mekanik bir problemten kaynaklandığını düşünebilirsiniz. Ancak bu problem yalnızca mekanik problemlerden değil aynı zamanda kontrol sisteminde yer alan hiç beklenmeyen problemlerden de kaynaklı olabilmektedir. Bu noktada çalışma tezgâhını orijinal noktaya döndürebilirsiniz. Aynı şekilde işleme prosedürünü de başlatabilirsiniz. Çalışma sırasında motor aniden duruyorsa o zaman sistemin belirli bir bölümünün hasar gördüğü söyleyebilir. Yabancı cisimlerden ötürü alınan bu hasar sıkışma, deforme olma gibi problemleri de beraberinde getirir. Bu gibi bir durum içerisinde ilk olarak yapmanız gereken ise gücü kapatmaktır. Sonrasında uzmanlardan destek alarak sorunun temelini anlayabilirsiniz. Özellikle kontrol sisteminde yaşanan bir arızanın kontrol edilmesi cnc motor onarımı yaptırabilirsiniz. Bu da geri dönüşü olmayan hataları da engellemiş olursunuz.

Fanuc hata kodları içerisinde step motorun yüksek hızda adımlarını kaybettiği ile ilgili seçenekler de yer almaktadır. Yani step motorun torkunun azalmasına neden olan sürücü güç kaynağında azalma yaşanabilmektedir. Böyle bir durum içerisinde güç kaynağını kontrol etmeniz gerekir. Voltajla ilgili bir hasar gördüğünüz zaman güç kaynağını açmanız da sizin faydanıza olacaktır. Yüksek hız halinde step motorun adımlarının kaybolması da söz konusudur. Bu durumda sorunun mekanik olduğu söyleyebilir. Bundan ötürü bazı kontrollerin yapılması gerekir. İlgili kontrol ve test işlemlerinin de uzmanlar tarafından yapılması çok daha faydalı olacaktır. Böylece sorunun büyümesinin önüne geçme şansınız olacaktır. Parçaların bükülmesi, deforme durumunun oluşması halinde de çalışma direncinin artması mümkündür. Düşük hızda yapılan çalışmalarda ise bu sorun yaşanmayacaktır.

CNC motor tamiri işlemlerinde karşılaşılan sorunlardan bir diğeri programın tamamlanması halinde takımın sıfıra dönmemesi yer almaktadır. Bu durum genellikle kontrol sisteminden kaynaklı olarak yaşanan bir hatadır. İşlem sırasında step motoru düşük hızda çalışır. Program sıfır noktasına döndüğü zaman ise hızlı bir biçimde geri dönüş yapması gerekmektedir. Motorun yüksek hızlı şekilde çalışması, torkun artırılması için de yüksek güçlü sürücü gücü tercih edilmektedir. Sürücü güç kaynağının çıkışının kontrol edilmesi sırasında ise hasar görülebilir. Böyle bir durumda güç kaynağının açılmaması olasıdır. Yapılması gereken işlemse parça değişimi olabilir. Sorunun tespit edilmesi, çözüme gidilmesi için de yetkili

kişilerden destek alabilirsiniz. Böylece gerekli olan parça değişimini orijinal ve sıfır parça ile yapabilir, garanti avantajlarından da faydalanabilirsiniz. (Shuguang vd., 2020) Çeşitli nedenlerle yaşanan takım sıfıra dönünce hata veriyor, mekanik bir sistem hatası olabilmektedir. Fazla çalışma direncine bağlı olarak gerçekleşmesi de olasıdır. Takım düşük hızla çalışırken düşük voltaj kullanılır. Step motor da direncin üstesinden gelmek, kayıplara neden olmak amacıyla küçük bir çalışma torku barındırır. Sıfıra dönüş yapıldığında da step motor yüksek voltajla çalışmaktadır. Çalışma hızının da yüksek olduğu bilinmektedir. Bu da step motorun adım kaybetmesini engellemektedir. Böylece gidip geri gelme sonrasında adım sıfıra dönmez. Çalışmanın devamlılığı ve artırılması için de şanzıman dişlisinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Tüm bu işlemlerin sağlanması ve CNC motor arızalarının önlenmesi amacıyla da profesyonellerden destek almak en doğrusudur. Böylece problemi en hızlı şekilde belirleyip, çalışmalara kaldığınız yerden yüksek verimlilikle devam edebilirsiniz.

CNC iş mili Şekil 4 kaynaklı sorunları tespit etmek ve gidermek çoğunlukla zaman alan bir süreçtir fakat sorunun giderilmediği durumlarda karşılaşılabilecek daha büyük sorunlar düşünüldüğünde, harcanan her saniyeye değer olduğu açıktır.



Şekil 4. CNC İş Mili

Yaygın CNC İş Mili Sorunlarından Bazıları:

- Mil geriye doğru çalışması
- Mil sarsıntı ve titreşimi
- VFD'nin açmaya devam etmesi
- Mil hareketsizliği
- Yüksek sıcaklık
- Mil sebepsiz olarak aniden durur
- Hava sızıntıları
- Sıkma arızası
- Takım değiştiricide kırık ya da deforme kollar

- Mil bırakmıyor
- Sensör arızası
- Radyal yük hatası
- Eksenel yük hatası
- Zayıf takım dengesi
- Aktüatör piston zamanlama hatası
- Takım serbest kalmaması
- Takım kayması
- Takım için düşük güç

2.7.1. Mekanik arızalar

CNC iş mili aşınmaları baş gösterdiğinde, bazı işaretler belirginleşmeye başlar. CNC operatörü bu aşamada ortaya çıkabilecek farklılıklara karşı tetikte olmalıdır ve aynı zamanda makinenin ses ve titreşimini algılayacak konumda olmalıdır. Bazı sorunlar henüz teşhis edilebilir duruma gelmeden önce, sorunun varlığını gösteren ve makinenin doğru olmadığına işaret eden durumlar fark edilmelidir. (Y. Zhang vd., 2023)

Her ne kadar belirli bir titreşim seviyesi beklenebilir olsa da, küçük titreşimler bazı durumlarda daha büyük ve zarar verebilecek sorunları tetikleyebilir. Bir CNC operatörü olağandışı bir titreşim hissettiğinde, makineyi hızla kapatmalı ve titreşimin kaynağını bulmak olası bölümler incelemelidir.

Makinenin olağan sesi, aynı zamanda performansın takibi için de iyi bir göstergedir. Kulağa gelen seste bir aksilik olduğu düşünüldüğünde, genellikle bir sorun olduğu anlaşılabilir. Makinenin olağan sesi içerisinde farklı ses ve gıcırımlar duymak genellikle iyiye işaret olmadığından üretime devam etmeden önce iyice kontrol edilmelidir.



Şekil 5. Aşınmış Takım Tutucu

Bir CNC makinesinde sıcaklık kontrolü kulağa biraz tuhaf gelse de aslında çok büyük sorunları önlemek için anahtar önlem haline gelebilir. İş mili, dokunulduğunda soğuk ile sıcak arasında bir sıcaklığa sahip olmalıdır. Sıcaklığın bu aralığın üstüne çıktığı durumlarda, yataklar ve diğer sürtünen bileşenlerde sorunlar yaratacağından iş milinin servise gönderilmesi gerekir.

CNC iş milinin aşırı aşınması ya da takımlarla zayıf temasın sonucu, pürüzlü kenarlar, sürtünme yüzeyleri ve kırık parçalar gibi büyük sorunlardır. Bu gibi durumlarda daha fazla hasara mahal verilmeden hemen düzeltilmelidir. Şekil 5'teki görseldekine tutucu aşınmasına örnektir.

İş milinin içine ve dışına itilen takımlar, yüzeyin aşınmasına ve dolayısıyla zayıf takım aktarımı ve dengesiz takım tutuşuna neden olacaktır.

Takımlar takılıp çıkarılırken, görülmesi ya da belirlenmesi zor dâhili hasarlara neden olabilmektedir. Bu durumdan şüphelenildiğinde, uzman teknisyenler tarafından incelenmelidir.

2.7.2. Elektriksel arızalar

NC takım tezgahlarının elektriksel arıza teşhisi, üç temel aşamadan oluşur: arıza tespiti, arıza teşhisi ve izolasyonu ve arıza lokalizasyonu. Arıza tespitinin ilk aşaması, CNC takım tezgâhının test edilerek bir arıza olup olmadığını belirlemektir. İkinci aşama, arızanın niteliğini belirlemek ve arızalı bileşenleri veya modülleri izole etmektir. Üçüncü aşama ise, onarım süresini kısaltmak amacıyla arızayı değiştirilebilir bir modüle veya baskılı devre kartına tespit etmektir. Sistem arızalarının zamanında tespit edilmesi, arızanın yerinin hızlı bir şekilde bulunması ve zamanında ortadan kaldırılması amacıyla arıza teşhislerinin mümkün olduğunca az ve basit olması ve teşhis süresinin kısa tutulması gerekmektedir. (Y. Zhang vd., 2023)

Arıza teşhis yöntemleri çeşitli yaklaşımlar içerir:

Arıza meydana geldiğinde duyu organlarını kullanarak kıvılcım veya parlak ışık olup olmadığını, anormal gürültü, anormal ısı ve yanık kokusu gibi belirtileri dikkatle gözlemleyin. Muayene kapsamını daraltmak için, arızalanmış olabilecek baskılı devre kartlarının yüzey durumunu, yanma veya hasar belirtilerini kontrol edin. Bu en temel ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Iqbal ve Madan, 2022).

CNC sisteminin verileri hızlı bir şekilde işleme yeteneğine güvenerek, hata konumunda çoklu ve hızlı sinyal toplama ve işleme gerçekleştirilir. Teşhis programı, mantıksal analiz ve karar

verme süreçleriyle sistemde bir arıza olup olmadığını belirler ve arızayı zamanında bulur.

Modern CNC sistemlerinin kendi kendine teşhis işlevi iki kategoriye ayrılır:

- Sistemin her açılışında CPU, bellek, veri yolu, I/O ünitesi, baskılı devre kartı, CRT ünitesi, fotoelektrik okuyucu ve disket sürücüsü gibi modüllerin fonksiyonel testleri otomatik olarak yürütülür.
- Makinenin çalışması sırasında bir arıza oluştuğunda, sayının ve içeriğin CRT ekranında görüntülenmesi ile bilgi verilir. İlgili bakım kılavuzuna başvurarak arızanın nedeni ve sorun giderme yöntemi doğrulanabilir.

CNC sisteminin kendi kendine diyagnostiği, arıza alarmı bilgilerini görüntülemenin yanı sıra takım tezgâhı parametreleri ve durum bilgilerini çeşitli "diagnostik adresler" ve "diagnostik veri" sayfaları biçiminde sağlar.

- CNC takım tezgâhının normal çalışmasını sağlayan kazanç, hızlanma, kontur izleme toleransı, ters boşluk telafisi ve kılavuz vida hatve telafisi değerleri gibi önemli parametreler kontrol edilir.
- CNC sistemi ile takım tezgâhı arasındaki giriş/çıkış arayüz sinyalleri kontrol edilerek, makine tarafındaki anahtar sinyallerinin CNC sistemine girip girmediği incelenir.

Modern CNC takım tezgahlarının CNC sistemlerinde, güç kaynağı, servo sürücü ve giriş/çıkış gibi cihazlara dağıtılan "donanım" alarm göstergeleri bulunmaktadır. Bu alarm ışıkları yardımıyla arızanın nedeni belirlenebilir.

Arıza şüphesi olan şablonları değiştirmek için yedek devre kartlarının kullanılması, arızaların nedenini belirlemek için hızlı ve basit bir yöntemdir. Test panosundaki seçim anahtarı ve jumper telinin orijinal şablonla tutarlı olup olmadığı kontrol edilmelidir.

CNC takım tezgahlarında sıklıkla aynı fonksiyona sahip modüller veya üniteler bulunur. Aynı modül veya ünitelerin değiştirilmesi ve arıza aktarımının gözlemlenmesiyle arızanın yeri hızlı bir şekilde belirlenebilir.

CNC sistemi, çeşitli devre kartlarından oluşur ve herhangi bir hatalı lehimleme veya zayıf temas arızalara neden olabilir. Şüpheli bir devre kartına, konnektöre veya izolasyonlu elektrik bileşenine hafifçe vurulduğunda bir arıza meydana gelirse, arızanın dokunma konumunda olması muhtemeldir.

Multimetre, osiloskop gibi aletler kullanılarak algılama terminallerinin seviye veya dalga şekli, arıza anındaki normal değerle karşılaştırılarak arızanın nedeni ve yeri analiz edilebilir.

CNC takım tezgahlarının kapsamlı ve karmaşık yapısı nedeniyle arızalara neden olabilecek birçok faktör bulunmaktadır. Bu nedenle, yukarıdaki arıza teşhis yöntemleri bazen eşzamanlı olarak kullanılarak arızanın kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi ve yerinin hızlı bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Arıza teşhisi sürecinde, sadece elektriksel veya mekanik hususlar değil, her iki faktör de dikkate alınarak kapsamlı bir değerlendirme yapılmalıdır.

Bu çalışmanın motivasyonu, CNC makine imalat süreçlerinin dijitalleşme ve endüstri 4.0 uygulamalarıyla daha verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesi gerekliliğinden doğmaktadır. Artırılmış gerçeklik (AR), sanal gerçeklik (VR), dijital ikiz teknolojisi ve web soket tabanlı uzaktan izleme sistemlerinin entegrasyonu, bu süreçleri optimize etmekte kritik bir rol oynayabilir. CNC makinelerinde yaygın olarak karşılaşılan arızaların tespiti, iş mili sorunlarının giderilmesi ve makine bakım süreçlerinin hızlandırılması, bu teknolojilerle daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışmanın katkıları; CNC makineleri için dijital ikiz tabanlı uzaktan izleme ve kontrol çözümlerinin faydalarını incelemek, AR ve VR teknolojilerinin imalat ve bakım süreçlerine entegrasyonunu araştırmak ve bu yeniliklerin, üretim verimliliği, bakım maliyetleri ve sistem sürekliliği üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymaktır. Ayrıca, bu teknolojilerin yaygın arızaların önlenmesinde nasıl kullanılabileceği üzerine de öneriler sunulacaktır.

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kung Jeng ve arkadaşları bu çalışmada, makinelerin gerçek zamanlı izlenmesi için bir denetim sistemi olarak DT önermişlerdir. Geliştirilen Dijital ikiz makine koşullarını gerçek zamanlı olarak izlemekle kalmayıp bir kalıp kesme makinesi için bir DT uygulamışlar. Makinenin durumunu gerçek zamanlı olarak görüntülemek için pano tabanlı bir görev merkezi oluşturulmuş. Görev merkezi üç ana fonksiyondan oluşur: gerçek zamanlı makine izleme, genel ekipman etkinliği ve sipariş planlamasını amaçlamışlardır. (Wang vd., 2020)

Raşit ve arkadaşları ise üretim sistemlerinin Dijital ikiz modelinin geliştirilmesi hedeflenmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın ikinci aşamasında ise geliştirilen Dijital ikiz modeli ile esnek imalat sistemi tezgahlarında doğrusal hareket komutlarının tamamlanma süresi tahmin etmişlerdir. Tahmin aşamasında birden çok makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmış ve performanslarını karşılaştırdılar(Li, 2020)

Ceren ve arkadaşları çalışmalarında, Endüstriyel mutfak ürünleri imal eden ve ürün gamında yüzlerce ana ürün ve binlerce yarı mamul bulunan bir firmanın talaşlı imalat atölyesinde Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi uygulayarak. Atölyede bulunan, 12 adet makinaya yerleştirilen Programlanabilir Mantık Denetleyici kartlar ile anlık makinanın durumu, ürün ve üretim izlerdir. Makinelere yerleştirilen PLC kartları yardımıyla veriler merkezi bilgisayara kaydedip, makinanın çalışmasıyla ilgili sağlıklı veriler almışlar. Çalışma kapsamında, Makineye yerleştirilen kartlardan alınan veriler ile makinelerin çalışma durumları, kapasite kullanım süreleri, makinelerin çalışma süreleri, sadece yatay torna makinelerine ait parça sıkılmış durumda bekleme süreleri, boşta bekleme süreleri, çalışma süreleri ve duruş süreleri elde etmişler.(Cimino vd., 2019)

Mevlüt ise çalışmasında bahsettiği zamanla uçaklar, üretici performans modellerinden sapmalar gösterir. Mevlütün çalışmasında, uçuş planlaması ve yakıt tüketimi tahminleri için veri odaklı bir makine öğrenimi yaklaşımı önermiştir. Özellikle uçak performans modellerindeki ve rüzgâr belirsizliklerindeki sapmalar üzerine odaklanmıştır. Çalışmasında, tırmanış, seyir ve iniş aşamalarındaki yakıt akış modelini güncellemek için derin öğrenme yöntemleri kullanmıştır. 30 farklı kuyruk numarasından 2 milyonun üzerinde uçuş verisiyle eğitilen modeller, gerçek uçuş verileri ile karşılaştırıldığında %0.7'nin altında hata oranlarıyla yakıt akışını doğru şekilde tahmin edebilmiştir. Ayrıca, rüzgâr belirsizliklerinde de önemli azalmalar sağlanmıştır. Modeller, yer tabanlı planlama sistemleriyle karşılaştırıldığında toplam

yakıt yüklemesinde %3,5'e varan farklar tespit edilmiş, bu da kalkış sırasında gereksiz yakıt yükünü azaltarak yıllık 17 milyon USD tasarruf sağlayabileceğini göstermektedir.(Mevlüt UZUN, 2021)

Li ve arkadaşları, demiryolu hatlarından farklı sensörler aracılığıyla topladıkları verileri kullanarak arızaları önceden tahmin etmeye çalışmışlardır. Topladıkları veriler arasında sıcaklık, gerilim, görüntü, kızılötesi, ağırlık ve demiryolu üzerindeki etkiler yer almaktadır. Verilerden özellik çıkarma ve boyut azaltma işlemleri yaptıktan sonra, destek vektör makineleri (SVM) ve karar ağaçları gibi modellerle eğitim yapmışlardır. Veri setlerini %80 eğitim ve %20 test olarak ayırarak, test setinde %80'in üzerinde doğruluk elde etmişlerdir. (Xue vd., 2022; van Dinter vd., 2022)

Spiegel ve arkadaşları, öngörücü bakım uygulamalarında makine öğrenimi model eğitiminin yalnızca model hatası dikkate alınarak yapılmasının, gerçek dünya performansını tam olarak yansıtmadığını belirtmişlerdir. Bu sorunu aşmak için, model hatasını ve diğer uygulama spesifik maliyetleri içeren yeni bir hata fonksiyonu önermişlerdir. Örnek senaryolarında, yeni maliyet fonksiyonlarının daha fazla tasarruf sağladığını göstermişlerdir. (Tuhaise vd., 2023)

Wang, Akıllı Hata Teşhis ve Prognoz Sistemleri (IFDaPS) adlı bir çerçeve geliştirmiştir. Bu çerçeve, sensörler aracılığıyla çevreden veri toplayarak ilgili özellikleri çıkarır ve karar verme modülüne iletir. Wang, bu çerçeveyi üç titreşim sensörü bağlı bir üfleyici üzerinde denemiş ve yapay sinir ağı ile başarılı sonuçlar elde etmiştir(R. Zhang vd., 2022)

Li ve arkadaşları, makine merkezlerinde çalışmak üzere bir çerçeve tanıtmışlardır. Bu çerçeve, veri toplama, veri ön işleme, veri madenciliği, karar destek ve bakım uygulama modüllerinden oluşmaktadır. Endüstri 4.0 kavramlarına dayanan bu çerçeve, verileri toplayarak arıza tahmini yapabilmekte ve kullanıcıya ekipmanın durumu hakkında bilgi verebilmektedir. Genetik algoritma ve yapay sinir ağları gibi çeşitli yapay zekâ algoritmaları kullanarak verilerden bilgi çıkarmışlardır. Çerçevelerini sensörlerden veri toplayarak ve bir yapay sinir ağı kullanarak maliyetleri azaltmayı amaçlayan bir vaka çalışması ile desteklemişlerdir. (W. Zhao vd., 2023)

Cachada ve arkadaşları, Endüstri 4.0 ilkelerine dayanan yeni bir öngörücü bakım sistemi tanımlamışlardır. Bu sistemin amacı, üretim sürecinde makine arızalarını tahmin etmektir.

Sistem, veri toplama, veri analizi, verilerin dinamik izlenmesi ve akıllı karar verme gibi modüllerden oluşmaktadır. Çeşitli veri türlerini (basınç, sıcaklık, nem, titreşim ve gürültü) toplayarak bu verileri analiz etmişlerdir. Ayrıca, HTML, CSS ve JavaScript kullanarak gerçek zamanlı veri toplama ve kaydetme uygulaması geliştirmişlerdir. Toplanan veriler, tekrarlayan sinir ağları (RNN), uzun kısa süreli bellek (LSTM) ve kapılı tekrarlayan birim (GRU) gibi derin öğrenme modelleri ile eğitilmiştir. (UU Republik Indonesia vd., 2022)

Fuller ve diğerleri tarafından sunulan makale, Dijital İkizlerin mevcut durumunu ve etkilerini ele alarak, IoT/IIoT ve istatistiksel analitiklerin yanı sıra yapay zekâ, Dijital İkizler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi önemli teknolojileri tartışıyor. Üretim, sağlık ve akıllı şehirler gibi çeşitli alanlarda yapılan çalışmalar incelenerek, bu alanlardaki araştırmaların seviyesi değerlendiriliyor. Bu değerlendirme, özellikle tıp ve akıllı binalar gibi ilgi çekici yeni alanları belirliyor. Böylece, üretim sektörüne odaklanmanın ötesine geçerek, sağlık ve akıllı binalar gibi farklı sektörlerde de kapsamlı bir değerlendirme yapılıyor(Deren vd., 2021)

Kufeoğlu ve ekibinin çalışması, enerji endüstrisindeki dijitalleşme eğilimlerini inceliyor ve bu alandaki yenilikçi iş modellerini araştırıyor. Yapay zekâ, makine öğrenimi, derin öğrenme ve Blockchain gibi teknolojilerin enerji sektöründe nasıl kullanılabileceğini ele alıyor. Bu çalışma, mevcut büyük enerji sektörlerinde yeni iş modelleri sunabilecek girişimciler ve start-up'lar için fırsatları ortaya koyuyor. (Kufeoglu vd.,2019)

Babazadeh ve Kumara Bowatte'nin çalışması, ölçüm tabanlı kontrol şemalarını mevcut sayısal modelleme ortamlarıyla entegre etmenin mümkün olduğunu araştırıyor. Bu çalışma, Ad Hoc arayüzler aracılığıyla gerçek zamanlı sistemlere entegre edilebilecek potansiyeli gösteriyor. Ayrıca, enerji dağıtım ağının Dijital İkizi için modelleme tekniklerini inceliyor ve bu tekniklerin uygulanabilirliğini değerlendiriyor. (Baboli vd.,2020)

Pimenta ve diğerleri, rüzgâr çiftliklerinin sanal ikizlerinin oluşturulması ve deneysel verilerin çoğaltılması üzerine odaklanarak, rüzgâr enerjisi sektöründeki dijitalleşme sürecini inceliyorlar. Bu çalışma, onshore ve offshore rüzgâr çiftliklerinin sanal ikizlerini oluşturarak, bu ikizlerin sahip olduğu potansiyeli ve önemi ortaya koyuyor. Ayrıca, rüzgâr enerjisi üretimindeki yenilikçi yaklaşımları değerlendiriyor ve gelecekteki araştırmalar için yol gösterici olabilecek bulgular sunuyor. (Pimenta vd.,2020)

Nguyen ve ekibinin çalışması, yenilenebilir enerji kaynaklarının merkezsizleştirilmiş bir şekilde değerlendirilmesi için dijital ikiz entegrasyon yaklaşımını savunuyor. Bu yaklaşım, gerçek zamanlı simülasyon ve izleme sistemlerinin senkronizasyonunu sağlayarak, elektrik ağının dijital modelini oluşturmayı amaçlıyor. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını ve dağıtılmasını sağlamak için yenilikçi bir yöntem sunuyor. (Nguyen vd.,2022)

Ebrahimi'nin çalışması, yeşil enerji jeneratörlerinin dijital ikizlerinin geliştirilmesinin önemini vurgulayarak, bu amaçla kullanılabilir modelleme yaklaşımlarını inceliyor. Bu çalışma, yeşil enerji üretimindeki belirsizlikleri ve karmaşıklıkları ele alarak, daha güvenilir ve verimli enerji üretimi için yeni bir yaklaşım sunuyor. (Ebrahim vd.,2019)

Salcedo-Sanz ve diğerleri, yenilenebilir enerji uygulamalarında özellik seçimi sorununu ele alarak, özellik seçimi içeren tahmin yöntemlerinin değerini inceliyorlar. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının tahmin edilmesinde kullanılan çeşitli özellik seçimi tekniklerini değerlendiriyor ve en etkili yöntemleri belirliyor. (Sanz vd.,2018)

Lai ve diğerleri, yenilenebilir enerji tahmininde kullanılan makine öğrenimi tekniklerini ve bu tekniklerin avantaj ve dezavantajlarını ele alarak, yenilenebilir enerji üretiminin geleceğine yönelik tahminlerde bulunuyorlar. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak için yeni makine öğrenimi yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini öne sürüyor. Bu çalışmalar, enerji sektöründeki dijital ikizlerin potansiyelini ve önemini vurgulayarak, enerji üretim ve dağıtım sistemlerinin daha akıllı, esnek ve verimli hale getirilmesinde nasıl kullanılabilirliğini gösteriyor. (Lai vd.,2020)

Çalışmamda, CNC makinesinin sanal ortamda birebir kopyası oluşturulmuş ve bu kopya aracılığıyla gerçek zamanlı veri alınabilmektedir. Bu sayede, sadece arıza durumlarında değil, aynı zamanda üretim sürecine destek olmak amacıyla da makineye komutlar ve işlemler gönderilebilmektedir. Bu yenilikçi yaklaşım, üretim verimliliğini artırırken, arıza tespiti ve müdahale sürelerini de önemli ölçüde azaltmaktadır. Sanal kopya, gerçek makinenin performansını ve çalışma koşullarını sürekli olarak izleyerek, operatörlerin daha bilinçli ve etkili kararlar almasına olanak tanır. Bu sayede, üretim süreci daha kesintisiz ve verimli bir şekilde yönetilebilmektedir.

4. METERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için kullanılan ekipman ve araçlar bu bölümde anlatılmıştır. Yazılım ve donanım ekipmanları 2 ayrı alt başlıkta incelenmiştir.

4.1. Donanım Materyalleri

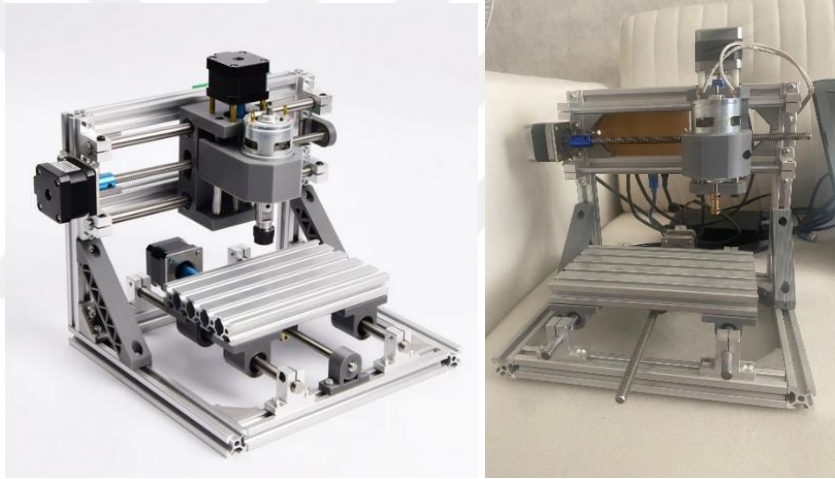
4.1.1. Cnc 1610

CNC, İngilizce "Computer Numerical Control" ifadesinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Bu teknoloji, otomatik bir kontrol sistemi kullanarak bilgisayar programlarına dayalı olarak kesme, delme, taşlama ve diğer işleme işlemlerini gerçekleştiren makineleri ifade eder. CNC makineleri, genellikle bir bilgisayar programı aracılığıyla kontrol edilen hareketli bir kesici alet veya iş parçası üzerindeki işlemleri gerçekleştirmek için kullanılır. Programlar genellikle G-kodu adı verilen bir dizi talimatla yazılır ve bu talimatlar, iş parçasının kesileceği şekli, kesme derinliğini, hareket yollarını ve diğer işleme parametrelerini belirtir. CNC makineleri, birçok farklı endüstride yaygın olarak kullanılır. Örneğin, otomotiv, havacılık, metal işleme, ahşap işleme ve elektronik üretimi gibi birçok sektörde CNC makineleri kullanılır. CNC teknolojisi, işleme sürecini daha hızlı ve daha doğru hale getirirken insan hatalarını azaltır. Aynı zamanda karmaşık ve detaylı işlemleri gerçekleştirebilme yeteneği sayesinde tasarım özgürlüğü sunar. CNC makineleri, seri üretimde büyük avantajlar sağlar ve işleme süreçlerini otomatikleştirerek üretkenliği artırır. CNC makineleri, birçok farklı işlemi otomatik olarak gerçekleştirebilen çok yönlü makinelerdir. İş parçalarının kesme, delme, frezeleme, tornalama, taşlama ve diğer birçok işlemi yapabilme yetenekleri vardır. Genellikle bir iş parçasını önceden belirlenmiş boyutlara ve şekillere getirmek için kullanılırlar. Programlama diline göre, makinenin takip etmesi gereken kesme yolları, hızlar, derinlikler ve diğer işleme parametreleri belirlenir. CNC makineleri, hassas ve tekrarlanabilir işlemler gerçekleştirebilme yetenekleriyle bilinir. İnsan hatası olasılığını azaltırken, işlem sürelerini ve maliyetleri de düşürebilirler. CNC makineleri genellikle endüstriyel üretim süreçlerinde, metal işleme, ahşap işleme, plastik işleme ve benzeri alanlarda kullanılırlar. Ayrıca, prototipleme, otomotiv, havacılık, tıp, elektronik ve diğer birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. (Vishnu vd., 2021)

CNC makineleri, yüksek hassasiyet, tekrarlanabilirlik ve verimlilik sağlamaları nedeniyle tercih edilir. Bu teknoloji, üretim süreçlerini optimize ederken aynı zamanda tasarım ve üretim özgürlüğü sunar. Metal işleme, ahşap işleme, plastik işleme ve diğer birçok sektörde

kullanılan CNC makineleri, modern endüstriyel üretimde önemli bir rol oynamaktadır. CNC 1610, masaüstü boyutunda bir CNC yönlendirme makinesi olarak tasarlanmıştır. Şekil 5’te görüldüğü gibi, kompakt ve taşınabilir yapısıyla ev veya küçük atölye ortamlarında kullanım için idealdir. Tipik olarak, 160 mm x 100 mm x 45 mm boyutlarında bir işleme alanına sahiptir. Bu boyutlar, işlenebilecek parçaların büyüklüğünü belirler.

CNC 1610, yüksek hassasiyetli işleme yapabilen step motorlarla donatılmıştır. Bu motorlar, X, Y ve Z eksenlerinde hareketi kontrol eder ve iş parçasını istenilen pozisyona getirir. Çeşitli kesici takımları kullanarak, CNC 1610 farklı malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir, genellikle ahşap, plastik ve PCB gibi malzemeler için idealdir. Kontrol birimi, bilgisayar tabanlı bir kontrol yazılımı aracılığıyla işleme yolunu belirler ve makineyi çalıştırır. (Oleksiak vd., 2023)



Şekil 6. CNC 1610

4.1.2. MKS DLC31 V2.1 kontrolcü kartı

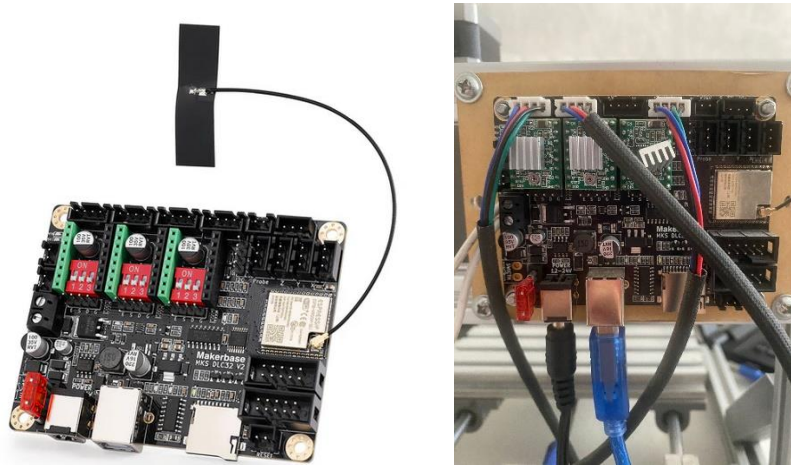
MKS DLC V2.1 kontrol kartı, MakerBase tarafından geliştirilmiş ve lazer gravür, CNC işlemleri ve benzeri uygulamalar için kullanılmaktadır. İşte bazı önemli özellikleri:

- Kontrolcü: ATMEGA328P işlemciye sahiptir. 8 bit işlemci, 20 MHz çalışma frekansı ve 5V mantık seviyesi ile çalışır.
- Besleme Gerilimi: 12V ile çalışır.
- Eksen Sayısı: 4 eksen destekler: X, Y1, Y2 ve Z eksenleri.
- Endstop Sayısı: X, Y ve Z eksenleri için 3 endstop bağlantısı bulunur.

- Step Motor Sürücülerini Desteği: A4988, DRV8825, TMC2100, LV8729, TMC2208 gibi popüler step motor sürücülerine uyumludur.
- Lazer Desteği: 10W altı lazerler için uygundur.
- AUX-1 ile MKS TFT24/32/35 Bağlantısı: Çevrimdışı kontrol imkânı sağlar ve MKS TFT serisi dokunmatik ekranlar ile uyumludur.
- Yazılım Desteği: GRBL tabanlı yazılımları destekler, örneğin GrblController, benbox ve mDraw.
- Boyut: 90x60 mm boyutlarındadır.

MKS DLC32 V2.1, 3D Şekil 6'deki gibi yazıcılar ve cnc makineleri için kullanılan bir kontrol kartıdır ve gelişmiş özellikler sunar. 32 bitlik mimarisi, daha hızlı işleme gücü ve pürüzsüz hareket kontrolü sağlar. Bu kontrol kartı, çeşitli ek modülleri ve sensörleri destekleyerek sistemleri genişletme ve özelleştirme imkânı sunar. USB, SD kart ve Ethernet gibi genişletilmiş bağlantı seçenekleri, farklı cihazlarla iletişim kurma esnekliği sağlar. Bazı modeller, dokunmatik ekranları doğrudan kontrol etmek için uygun bağlantı noktalarına sahiptir, bu da kullanıcıların işlemciyi kolayca yönetmelerini sağlar. Ayrıca, popüler 3D yazıcı yazılımlarıyla uyumludur o ve çeşitli güvenlik özelliklerine sahip olabilir, bu da kullanıcıların sistemi güvenle kullanmalarını sağlar. (G. Zhang vd., 2022)

Çalışmada şekil 7'deki Mks Dlc32 kontrolcü kartı Cnc 1610 makinesi sürmek ve kartın üzerinde bulunan ESP 32 Modülü ile kablosuz şekilde haberleşmek için kullanılmıştır.



Şekil 7. MKS DLC 32 V2.1 Kontrol Sürücü Kartı

4.1.3. Android işletim sistemine sahip cihaz

Android, Google ve Open Handset Alliance tarafından kodlanmış Linux İşletim Sistemi tabanlı bir mobil cihaz (PDA ve cep telefonları) için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir işletim sistemidir. Android, aygıtların fonksiyonelliğini genişleten uygulamalar yazan geniş bir geliştirici grubuna sahiptir.

Android, günümüzde akıllı telefonlar başta olmak üzere tabletler, bilgisayarlar ve pek çok elektronik cihazda kullanılır. Sistem, GPS'in trafikten kaçınmasını, saatinizin mesaj göndermesini ve Asistanınızın sorulara cevap vermesini mümkün kılar. 2,5 milyardan fazla aktif cihazın içinde bulunan Android işletim sistemi, 5G telefonlardan muhteşem tabletlere kadar tüm cihazları destekler. Android'in desteklenen uygulama uzantısı ".apk"dır. Android, Linux çekirdeği üzerine inşa edilmiş bir mobil işletim sistemidir. Bu sistem ara katman yazılımı, kütüphaneler ve API'lar ile C diliyle yazılmıştır. Uygulama yazılımları ise, Apache Harmony üzerine kurulu Java-uyumlu kütüphaneleri içine alan uygulama iskeleti üzerinden çalışmaktadır. Android, derlenmiş Java kodunu çalıştırmak için dinamik çevirmeli Android Runtime (ART) kullanır ve cihazların fonksiyonelliğini artıran uygulamaların geliştirilmesi için çalışan geniş bir programcı-geliştirici çevresine sahiptir. Android, kullanıcıların verilerini kontrol etmelerine olanak tanır ve güvenlik özellikleriyle telefonları güvende tutar. Ayrıca, Dijital Denge araçlarıyla kullanıcıların bağlantılarını kesmelerine veya dikkat dağıtan unsurları azaltmalarına yardımcı olur. Herkes için faydalı teknoloji sunan Android, ekran okuyuculardan artırılmış gerçeklik destekli yürüyüş rehberlerine kadar birçok erişilebilir özelliği içerir. (Quek vd., 2014)



Şekil 8. Android Cihaz

Çalışmada Android 10 ve üzeri sürümler için apk oluşturulmuş olup cihaz olarak Samsung Note 10 lite Şekil 8'deki akıllı cihazı kullanılmıştır.

4.1.4. Meta Quest Pro sanal gerçeklik gözlüğü

Meta Quest Pro, Meta'nın yeni karma gerçeklik gözlüğüdür. Qualcomm'un yeni Snapdragon XR2+ yonga seti ile gelen ilk gözlük olma özelliğine sahiptir. Ayrıca, Şekil 9'deki Meta ve Qualcomm iş birliği kapsamındaki dördüncü gözlüktür .

Meta Quest Pro'nun özellikleri:

- İşlemci: Snapdragon XR2
- Ekran: İki adet 1800×1920 piksel başına göz (ppe) LCD
- Bellek: 12 GB RAM
- Depolama: 256 GB hafıza
- Kameralar ve Sensörler: Hem cihazın hem de kontrolcülerin üzerinde çok sayıda kamera ve 360 derece algılama sensörleri bulunur.
- Mixed Reality (Karışık Gerçeklik): Bu özellik sayesinde cihazı kullandığınız odayı sanal dünyaya taşıyabilirsiniz. Örneğin, masanızın üzerinde duran bir defter veya duvardaki tahtaya 3D çizim yapabilirsiniz.

Meta Quest Pro, inovatif özellikleri ve gelişmiş tasarımıyla iş birliği ve üretkenlik alanında kullanıcıları desteklemektedir. Özellikle mimarlar, mühendisler, tasarımcılar ve iş akışlarını artırmak isteyen diğer profesyoneller için ideal bir seçenektir. (Wei vd., 2023)



Şekil 9. Meta Quest Pro Sanal Gerçeklik Gözlüğü

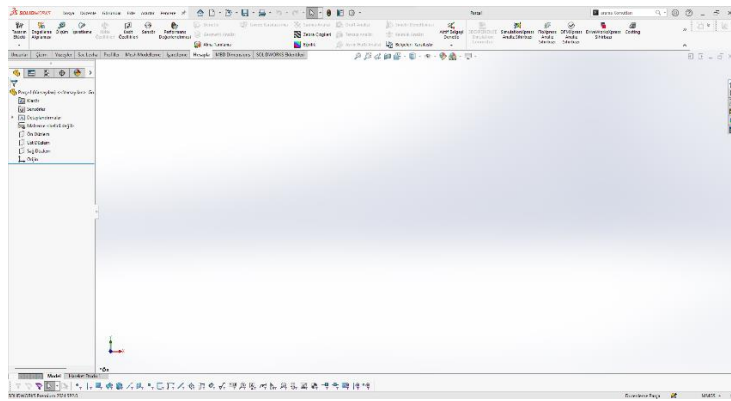
Çalışmada gözlüğe uygulama yazılarak CNC 1610 makinesini uzaktan kontrolü 3 boyutlu ortamda gerçek zamanlı olarak sağlanmıştır.

4.2. Yazılım Materyalleri

4.2.1. Solidworks 2023

SolidWorks, bilgisayar destekli 3 boyutlu katı modelleme ve tasarım (3D CAD) yazılımıdır. Bu yazılım, mühendisler, tasarımcılar ve üretim profesyonelleri tarafından yaygın olarak kullanılır. Şekil 10 da giriş ekranı verilmiştir. SolidWorks, mühendislik ve tasarım süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştıran güçlü bir yazılımdır. Karmaşık 3D nesnelerin tasarımı için katı modelleme teknikleri kullanarak parçaları oluşturabilir, montajlar oluşturabilir ve bu parçaları bir araya getirebilirsiniz. Ayrıca, 2D çizimler oluşturmanıza yardımcı olur; bu çizimler, üretim sürecinde kullanılan teknik resimlerdir. SolidWorks, birden fazla parçanın bir araya geldiği montajları oluşturmanıza imkân tanırken, parçalar arasındaki ilişkileri tanımlayıp montajın nasıl çalıştığını görselleştirmenize olanak sağlar. Simülasyon ve analiz yetenekleri sayesinde, parçaların gerilme, akışkan dinamiği ve ısı transferi gibi fiziksel özelliklerini simüle edebilir, bu sayede tasarımınızın performansını önceden değerlendirebilirsiniz. Veri yönetimi işlevi, tasarım dosyalarınızı düzenli bir şekilde yönetmenizi sağlar; dosya sürümlerini takip edebilir, değişiklikleri geri alabilir ve iş birliği yapabilirsiniz. CAM (Bilgisayar Destekli İmalat) eklentisi ile entegre olarak, tasarımınızı doğrudan üretim sürecine hazırlamak için kullanılabilir. Ayrıca, SolidWorks Electrical, elektrik devreleri tasarımı için kullanılarak elektrik bileşenlerini 3D modelleme ile entegre etme imkânı sunar. Son olarak, SolidWorks ile 3D nesnelerinizi gerçekçi bir şekilde görselleştirip animasyonlar oluşturabilirsiniz, bu da tasarımlarınızı daha etkili bir şekilde sunmanıza yardımcı olur.

Bu özellikler, SolidWorks'un geniş bir yelpazede uygulamalara sahip olduğunu göstermektedir. Akademik çalışmalarınızda SolidWorks'u kullanarak karmaşık tasarımlar oluşturabilir ve analizler yapabilirsiniz. (Kennedy vd., 2023)



Şekil 10. Solidworks Giriş Ekranı

4.2.3. Unity Hub 3.6.0

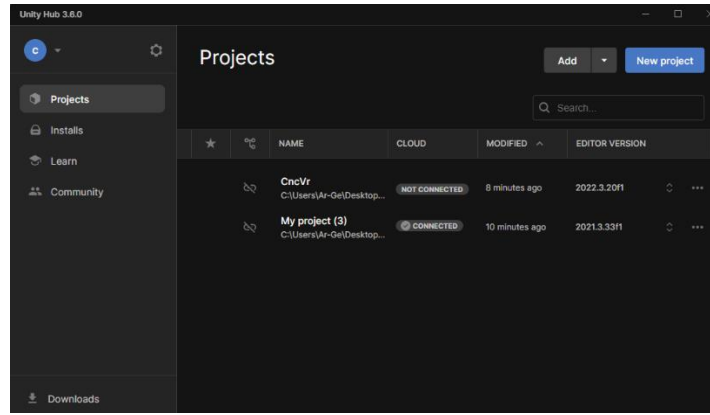
Unity Hub, Unity ekosistemine erişim sağlayan bağımsız bir uygulamadır. Bu uygulama, Şekil 12'deki gibi Unity projelerinizi yönetmek, Editör sürümleri kurmak, lisansları etkinleştirmek ve eklenti bileşenlerini yüklemek gibi işlemler için kullanılır. (Anggraini vd., 2021)

Unity Hub, kullanıcıların lisanslarını etkinleştirme ve hesap yönetimini kolaylaştıran bir platformdur. Kullanıcılar, güvenli web kimlik doğrulaması veya tek oturum açma (SSO) yöntemi ile bir kez oturum açarak Unity projelerine ve gerekli araçlara kolay erişim sağlayabilirler. Proje başlatma aşamasında, 2D, 3D, VR, AR, mobil ve Microgames gibi çeşitli alanlarda şablonlar veya öğretici proje dosyaları ile yeni projeler oluşturulabilir. Kullanıcılar, proje değişikliklerini zaman içinde takip etmek amacıyla sürüm kontrolü depoları oluşturabilir ve bunları bağlayabilirler.

Projelerin yönetimi ve iş birliği, Unity Hub sayesinde oldukça verimlidir; tüm projeler tek bir platformda güvenli bir şekilde saklanabilir. Kullanıcılar, takım arkadaşlarıyla iş birliği yapma veya kendi projeleri üzerinde çalışma imkânına sahip olup, iki arkadaşlarını ücretsiz olarak sürüm kontrolünde iş birliği yapmaya davet edebilirler. Ayrıca, Unity Hub üzerinden Uzun Süreli Destek (LTS) veya Ön Sürüm (Tech Stream) sürümlerinin indirilmesi ve yönetilmesi mümkündür; bu, kullanıcıların platformdan en iyi şekilde yararlanmalarına olanak tanır.

Kullanıcılar, ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilmiş bir öğrenme yolu keşfedebilir ve öğrenme hedeflerine uygun öğreticilere ve makalelere erişebilirler. Unity yaratıcısı olarak rozet kazanma ve iş becerilerini geliştirme fırsatları sunulmaktadır. Son olarak, kullanıcılar, forumlarda diğer yaratıcılarla etkileşime geçerek sorunları ve çözümleri tartışabilir, canlı yardım alabilir, blog makalelerini okuyabilir ve en güncel haberlerden haberdar olma imkânına sahip olarak, Unity topluluğuna katılabilirler.

Unity Hub, Unity projelerinizi daha verimli bir şekilde yönetmenizi sağlayan güçlü bir araçtır. Bu sayede projelerinizi daha kolay takip edebilir, iş birliği yapabilir ve Unity'nin sunduğu kaynaklardan yararlanılabilir.



Şekil 12. Unity Hub giriş Ekranı

4.2.4. Unity Editör 2022.3.20f1

Unity Editör, Unity oyun motorunun bir parçası olan bir geliştirme ortamıdır ve oyun ile interaktif deneyimler yaratmak için kapsamlı bir özellik seti sunar. Bu araç, geliştiricilere oyun objelerini yerleştirme, sahneleri tasarlama, bileşenleri ekleme ve oyun mantığını programlama olanağı sağlar. Unity Editörün temel özellikleri arasında sahne görüntüleyici (Scene View), oyun görüntüleyici (Game View), hiyerarşi paneli (Hierarchy Panel), proje paneli (Project Panel) ve müfettiş paneli (Inspector Panel) bulunur. Şekil 13'deki gibi temel özelliklerini giriş ekranında bulundurur. Sahne görüntüleyici, oyun sahnelerini 3D veya 2D olarak görselleştirip düzenlemek için kullanılırken, oyun görüntüleyici oyunun çalıştırıldığında nasıl görüneceğini ve davranacağını gösterir. Hiyerarşi paneli sahnedeki tüm oyun objelerini hiyerarşik bir yapıda gösterir ve proje paneli, proje dosyaları ile varlıkları (assets) yönetmek için kullanılır. Müfettiş paneli ise seçili oyun objesinin özelliklerini ve bileşenlerini görüntüler ve düzenler. Ayrıca Unity Editör, Visual Studio ve diğer popüler kod editörleri ile entegrasyon sağlayarak C# dili ile oyun mantığının programlanmasını mümkün kılar. Unity Editörünün önemli avantajlarından biri de çoklu platform desteğidir; oyunları bir kez geliştirip birçok platforma (PC, konsollar, mobil cihazlar) kolayca uyarlayabilmeyi sağlar. Unity'nin Asset Store'u ise geliştiricilerin oyun geliştirme süreçlerini hızlandırmak için varlıklar, araçlar ve uzantılar satın alabilecekleri veya indirebilecekleri bir pazar yeridir. Bu özellikler, Unity Editörünü hem profesyonel oyun geliştiriciler hem de yeni başlayanlar için güçlü ve esnek bir araç haline getirir.

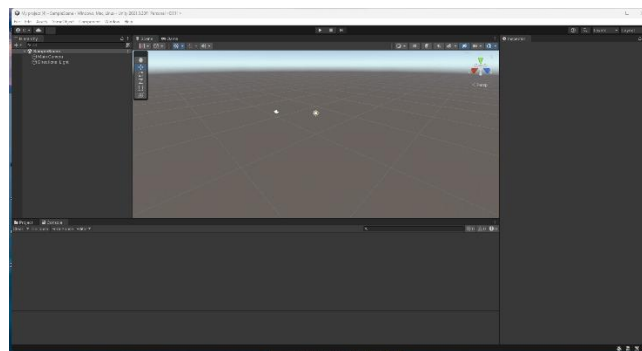
Unity Editör, sahne tasarımında çeşitli pencereleri ve araçları bir araya getirerek kullanıcıların oyun geliştirme süreçlerini kolaylaştırır. Sahne Görünümü, editörün merkezinde yer alarak kullanıcıların oyun dünyasını tasarlamalarına olanak tanır. Bu görünümde, nesnelere

eklenebilir, düzenlenebilir ve farklı açılardan incelenebilir. Diğer yandan, Oyun Görünümü, oyunun test edilmesi amacıyla kullanılır; oyunu çalıştırdığınızda, bu görünümde gerçek zamanlı olarak oyunun nasıl görüneceği gözlemlenebilir.

Hiyerarşi Penceresi, projede bulunan tüm nesnelere (GameObjects) listelenecek şekilde düzenleme ve gruplama imkânı sağlar. Kullanıcılar, nesnelere sürükleyip bırakarak sahneye istedikleri gibi düzenleme yapabilirler. Proje Penceresi ise projedeki tüm dosyaları (assetleri) içerir; metinler, sesler, 3D modeller, materyaller ve daha fazlası bu pencerede yer alır. Kullanıcılar, bu pencereden assetleri sahneye sürükleyerek kolaylıkla kullanabilirler.

Denetçi Penceresi, seçili bir GameObject'in özelliklerini düzenlemek için kullanılır; burada pozisyon, döndürme ve ölçek gibi ayarlar yapılabilir. Son olarak, Araç Çubuğu, Unity Editör'ün üst kısmında yer alır ve sahne görünümünü değiştirmek, oyunu başlatmak ve diğer işlemleri gerçekleştirmek için gerekli araçları sağlar. Bu pencereler ve araçlar, kullanıcıların oyun geliştirme süreçlerinde etkili bir çalışma ortamı sunar.

Unity Editör, oyun geliştirme sürecini kolaylaştıran ve verimliliği artıran bir araçtır. Oyun tasarımı, animasyon oluşturma, sahne düzenleme ve diğer işlemleri bu ortamda gerçekleştirebilirsiniz. (Unity officiala dokümantacija, 2018) Unity'nin çeşitli programlama dilleriyle (özellikle C# ile) kodlama ve scripting yapmayı sağlaması, geliştiricilere esneklik ve özelleştirme imkânı sunar. Geniş varlık mağazası ve aktif topluluk desteği, hızlı prototipleme ve ihtiyaçlarına uygun çözümler bulma konusunda yardımcı olur. Unity'nin kullanım alanları sadece oyun endüstrisiyle sınırlı değildir; eğitim, mimari, simülasyon, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Şekil 13'de unity programının arayüzü verilmiştir.



Şekil 13. Unity Editör Giriş Ekranı

4.2.5. Visual Studio 2022

Visual Studio, birçok programlama dilini kullanarak program, uygulama veya web sitesi geliştirmek için kullanılan bir IDE (entegre geliştirme ortamı) olarak tanımlanır. Microsoft Windows için bilgisayar programları, web siteleri, web uygulamaları, web hizmetleri ve mobil uygulamalar oluşturmak amacıyla kullanılır. (Salamah, 2021)

Visual Studio, yazılım geliştirme süreçlerini destekleyen çeşitli temel özellikler sunar. Çoklu Dil Desteği ile .NET, C++, JavaScript gibi birçok programlama dilini destekleyerek geliştiricilere geniş bir çalışma alanı sağlar. Hata Ayıklama Araçları, kullanıcıların kodlarını analiz etmelerine ve hataları etkili bir şekilde tespit etmelerine olanak tanır, bu sayede kod kalitesi artırılır.

Ayrıca, GUI Tasarım Aracı, kullanıcı arayüzlerini görsel olarak tasarlama imkânı sunarak, geliştiricilerin daha kullanıcı dostu uygulamalar oluşturmasını sağlar. Veritabanı Şeması Tasarımı özelliği, kullanıcıların veritabanı yapılarını oluşturmasına ve yönetmesine olanak tanır; bu da veri tabanı ile ilgili işlemleri kolaylaştırır. Son olarak, Kaynak Denetimi Entegrasyonu, projelerinizi kaynak denetim sistemleriyle entegre etme olanağı sunarak, ekip içi iş birliğini ve sürüm kontrolünü geliştirmektedir. Bu özellikler, Visual Studio'yu modern yazılım geliştirme için vazgeçilmez bir araç haline getirir.

Visual Studio, yazılım geliştiricileri ve ekipleri için güçlü bir araçtır. Ayrıca, GitHub Copilot gibi yapay zekâ destekli özelliklerle kod yazma sürecini daha verimli hale getirebilirsiniz.

4.2.6. Unitde kullanılan kütüphaneler

4.2.6.1. Lean Touch

Lean Touch, Unity oyun motorunda dokunmatik hareketleri kolayca uygulamanızı sağlayan bir varlıktır. (Tan vd., 2024)Lean Touch, dokunmatik ekranlarda kullanıcı hareketlerini algılamak ve bu hareketlerle etkileşim sağlamak için geliştirilmiş bir araçtır. Dokunmatik Hareketler özelliği, dokunma, kaydırma, döndürme ve ölçeklendirme gibi çeşitli hareketleri tanımlamaktadır. Dokunma Algılama yeteneği, kullanıcının ekranın neresine dokunduğunu tespit ederek, nesnelerin seçilmesi veya sürüklenmesi için faydalı bir altyapı sunar.

Ayrıca, Ölçeklendirme ve Döndürme işlevleri, kullanıcıların nesneleri kolayca büyütmelerine veya döndürmelerine olanak tanır; örneğin, bir nesneyi iki parmakla birleştirerek

ölçeklendirmek mümkündür. UI Elemanları İçin Kullanım açısından Lean Touch, oyun içi kullanıcı arayüzü elemanlarını destekleyerek, kullanıcıların menülere dokunmalarını veya kaydırmalarını sağlar. Son olarak, Dokunmatik Hareketlerin İzlenmesi özelliği, kullanıcıların oyun içindeki etkileşimlerini takip etmeyi mümkün kılar. Lean Touch'ın kullanımı son derece basit olup, Unity Asset Store'dan indirilebilir. Bu özellikleriyle Lean Touch, dokunmatik tabanlı uygulama geliştirme süreçlerinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

4.2.6.2. AR Foundation

AR Foundation, Unity oyun motoru için geliştirilen bir çerçevedir ve artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları geliştirmeyi kolaylaştırır. Unity'nin sunduğu AR Foundation, çeşitli AR platformlarında (iOS için ARKit, Android için ARCore) çalışan uygulamalar oluşturmak için ortak bir API sağlar. Bu çerçeve, geliştiricilere hem AR deneyimlerini hem de etkileşimleri Şekil 14'teki gibi sorunsuz ve verimli bir şekilde yaratma olanağı sunar.

AR Foundation, Unity içinde çok platformlu bir çerçevedir. Bu çerçeve, artırılmış gerçeklik (AR) deneyimleri oluşturmanıza olanak tanır ve bu deneyimleri Android veya iOS cihazları için aynı kod tabanıyla geliştirmenizi sağlar. (Pierdicca vd., 2024) İşte AR Foundation hakkında bazı önemli bilgiler:

AR Foundation, Unity geliştiricilerine bir arayüz sunar, ancak kendisi herhangi bir AR özelliği uygulamaz. Hedef cihazda AR Foundation'ı kullanmak için Unity tarafından resmi olarak desteklenen hedef platformlar için ayrı paketlere ihtiyacınız vardır. (Pierdicca vd., 2024)

- ARCore XR Plugin (Android için)
- ARKit XR Plugin (iOS için)
- Magic Leap XR Plugin (Magic Leap için)
- Windows XR Plugin (HoloLens için)

AR Foundation, aşağıdaki kavramları destekleyen MonoBehaviour'lar ve API'lerden oluşur:

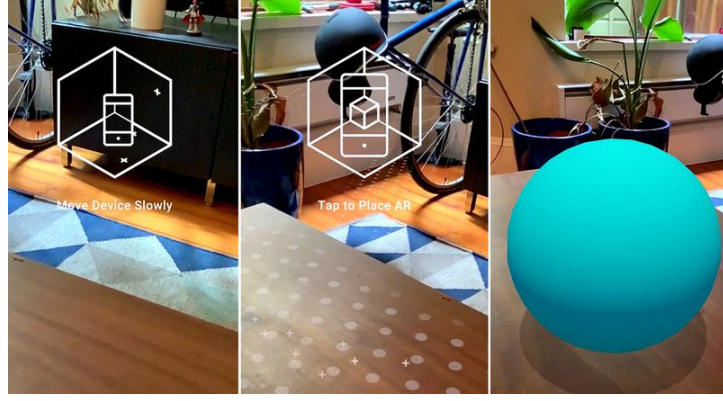
AR (Artırılmış Gerçeklik) teknolojisinin sunduğu çeşitli özellikler, kullanıcı deneyimini zenginleştiren önemli işlevler sunmaktadır. Cihaz Takibi, fiziksel alandaki bir cihazın konumunu ve yönelimini izleyerek, kullanıcının hareketlerini doğru bir şekilde yansıtır. Düzlem Algılama özelliği, yatay ve dikey yüzeyleri tespit ederek, artırılmış gerçeklik uygulamalarında etkileşim alanlarını belirler.

Nokta Bulutları, diğere bir deyişle özellik noktaları, algılanan çevrenin detaylı bir temsilini sağlamak amacıyla kullanılır. Bağlayıcı, cihazın izlediğı keyfi bir konum ve yönelim oluşturarak, kullanıcıların sanal içerikle olan etkileşimlerini artırır. Işık Tahmini, fiziksel ortamda ortalama renk sıcaklığı ve parlaklık hakkında tahminler yaparak, sanal içeriklerin daha gerçekçi görünmesini sağlar.

Çevre Probu, belirli bir fiziksel alanın temsilini oluşturmak için bir küp haritası yaratırken, Yüz Takibi, insan yüzlerini algılayarak takip eder. 2D Görüntü Takibi ve 3D Nesne Takibi, sırasıyla iki boyutlu ve üç boyutlu nesnelerin izlenmesini sağlar. Mesh Oluşturma işlevi, fiziksel alan ile uyumlu üçgen meshler oluşturarak etkileşimli ortamlar yaratır. Vücut Takibi, fiziksel alanda tanınan bireylerin iki ve üç boyutlu temsillerini sağlar.

İş Birliğı Yapabilen Katılımcılar, paylaşılan artırılmış gerçeklik deneyimlerinde diğere cihazların konum ve yönelimini takip ederek, çoklu kullanıcı etkileşimini mümkün kılar. İnsan Segmentasyonu, görüntüde tespit edilen bireylerin stencil dokusu ve derinlik haritasını oluştururken, Işın İzleme, algılanan düzlemler ve özellik noktaları üzerinden fiziksel çevreyi sorgular. Passthrough Video özelliğı, mobil kamera görüntüsünü optimize edilmiş bir biçimde dokunmatik ekrana yansıtarak, AR içeriğı ile gerçek dünya arasında bir köprü oluşturur. Oturum Yönetimi, AR özellikleri etkinleştirildiğinde veya devre dışı bırakıldığında otomatik olarak platform düzeyinde yapılandırmayı değıştirir. Son olarak, Okklüzyon özelliğı, algılanan çevresel derinlik veya insan derinliğı ile sanal içeriğın örtülmesine olanak tanıyarak, daha doğal ve gerçekçi bir deneyim sağlar.

Artırılmış Gerçeklik (AR) uygulamaları için desteklenen platform paketleri, çeşitli cihaz ve işletim sistemlerinde etkin bir şekilde kullanılabilmeyi sağlar. ARCore XR Plugin, 4.1 ve sonrası sürümlerle Android cihazlarda artırılmış gerçeklik deneyimleri sunarken, ARKit XR Plugin ise yine 4.1 ve sonrası sürümlerle iOS platformunda benzer işlevleri gerçekleştirir. Magic Leap XR Plugin, 6.0 ve sonrası sürümlerle Magic Leap cihazlarında AR uygulamalarının geliştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, Windows XR Plugin ise 5.0 ve sonrası sürümleriyle Windows tabanlı cihazlarda artırılmış gerçeklik deneyimlerini destekleyerek, geliştiricilere geniş bir platform yelpazesi sunar. Bu paketler, kullanıcıların farklı cihazlarda ve işletim sistemlerinde etkili ve sorunsuz bir AR deneyimi yaşamalarını sağlamaktadır.



Şekil 14. AR Foundation Örnek

4.2.6.3. ARCore Xr Plugin

ARCore XR Plugin, Unity içinde çok platformlu bir çerçevedir. Bu çerçeve, artırılmış gerçeklik (AR) deneyimleri oluşturmanıza olanak tanır ve bu deneyimleri Android veya iOS cihazları için aynı kod tabanıyla geliştirmenizi sağlar. (Samala vd., 2024) İşte ARCore XR Plugin hakkında bazı önemli bilgiler: ARCore XR Plugin, Unity'nin çok platformlu XR API'sini kullanarak Google'ın ARCore platformunu hedeflemek için gerekli olan yerel uç noktaları uygular. Bu paket, aşağıdaki XR Alt Sistemlerini içerir:

ARCore XR Plugin, artırılmış gerçeklik uygulamalarında kapsamlı bir işlevsellik sunarak kullanıcı deneyimini zenginleştirmektedir. Oturum yönetimi, ARCore'un oturumlarının etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Kamera işlevleri, ARCore kamerasının özelliklerine erişim sağlayarak görüntü işleme süreçlerini kolaylaştırır. Derinlik bilgisi, çevresel derinlik algısı sunarak, kullanıcıların fiziksel alanlarını daha iyi anlamalarına yardımcı olur. Ayrıca, giriş işlevleri ARCore'a özgü etkileşim yöntemleri sunarak kullanıcıların uygulamayla olan etkileşimlerini geliştirmektedir. Düzlemler, yatay ve dikey yüzeylerin algılanmasını sağlar, bu da sanal nesnelerin fiziksel ortamda doğru bir şekilde yerleştirilmesine olanak tanır. Işın izleme işlevleri, çevresel unsurları algılayarak sanal içeriğin fiziksel dünya ile etkileşimini artırır. Bağlayıcılar, ARCore'daki nesnelerin konum ve yönelimlerini takip etme işlevselliği sunar. Yüz takibi işlevi, insan yüzlerini algılayarak sosyal etkileşimleri zenginleştirir ve 2D görüntü takibi sayesinde düzlem üzerindeki nesnelerin algılanmasını ve takibini mümkün kılar. Çevre probu, fiziksel ortamı temsil etmek için bir küp haritası oluştururken, oklüzyon özelliği, algılanan çevresel derinlik veya insan derinliği ile sanal içeriklerin örtülmesine olanak tanır. Tüm bu işlevler, ARCore 1.22 sürümünü kullanarak artırılmış gerçeklik uygulamalarının gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Cihaz yerelleştirmesi, yatay düzlem algılama, dikey düzlem algılama, nokta bulutları, passthrough kamera görünümü, ışık tahmini, bağlayıcılar, yönlendirilmiş özellik noktaları, vuruş testi, oturma yönetimi, arcove apk'nın talep üzerine yüklenmesi, 2d görüntü takibi, yüz takibi, evre probu, okklzyon işlevsellikleri destekler. (Samala vd., 2024)

ARCore XR Plugin, ARCore'ın desteklemediği alt sistemleri içermez. Bu alt sistemler arasında nesne takibi ve vücut takibi bulunur.

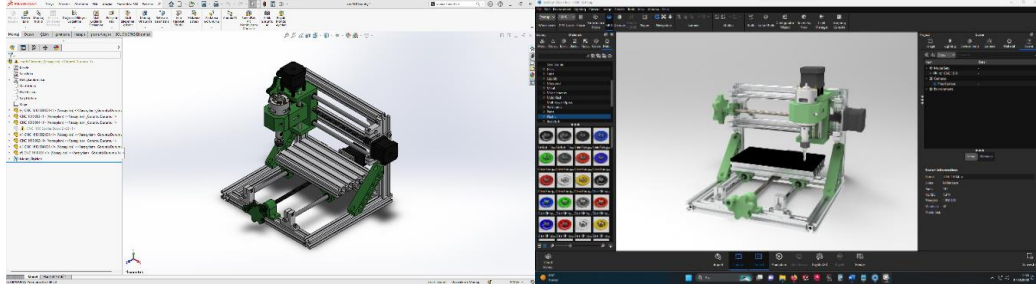
4.2.6.4. OpenXR

OpenXR, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) için bir endüstri standardıdır. Farklı cihazlar ve platformlar arasında uyumluluk sağlar, geliştiricilere tek bir API kullanarak birden fazla cihaz ve platforma destek sunma imkânı verir. Bu standart, genişletilmiş gerçeklik uygulamalarının daha geniş bir kullanıcı kitlesine sunulmasını ve geliştirme sürecinin daha verimli hale gelmesini sağlar. Khronos Group tarafından yönetilen açık bir standart olan OpenXR, endüstri genelinde benimsenmiştir ve birçok büyük VR ve AR platformu tarafından desteklenmektedir(Diachenko vd., 2022; Abeywardena, 2023)

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, CNC makinesinin sanal ortama aktarılması süreci, Unity oyun motoru ve OpenXR standardının kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Makinelerin sanal ortama aktarılması için ilk adım olarak, gerçek dünyadaki CNC makinesinin detaylı 3B modellenmesi yapılmıştır. Bu süreçte, tasarım detaylarını tam olarak yansıtabilmek amacıyla SolidWorks ve Blender gibi profesyonel CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımları kullanılmıştır. Modelleme aşamasında, makinenin gerçek boyutları, parça detayları ve işlevselliği gibi önemli faktörler titizlikle dikkate alınmıştır. Bu yaklaşım, sanal ortamdaki makinenin gerçekliğe en yakın biçimde oluşturulmasını sağlamakta olup, kullanıcıya gerçekçi bir deneyim sunma hedefi taşımaktadır.

Sanal modelleme sürecinde, makinenin her bir bileşeninin ayrıntılı olarak ele alınması, kullanıcılara hem görsel hem de işlevsel bir anlayış kazandırmayı amaçlamaktadır. SolidWorks ile gerçekleştirilen modelleme aşamasında, parçaların mekanik özellikleri ve montaj detayları üzerinde yoğunlaşmış; ardından Blender kullanılarak görsel gerçekçilik artırılmıştır. Bu bağlamda, malzeme dokuları ve aydınlatma efektleri gibi unsurlar, sanal ortamda kullanıcı deneyimini zenginleştirmek amacıyla özel olarak tasarlanmıştır. Ayrıca, kullanıcıların etkileşimde bulunabilmesi için Unity içerisinde kullanıcı arayüzleri (UI) ve etkileşimli unsurlar geliştirilmiştir. Sanal ortamda oluşturulan CNC makinesi, kullanıcılara makinenin işleyişini ve bakım süreçlerini sanal bir platformda deneyimleme imkânı sunmaktadır. Böylece, eğitim süreçlerinde daha etkili bir öğrenim sağlanmakta ve kullanıcıların makineye dair bilgi edinimleri artırılmaktadır. Ayrıca, bu model sayesinde kullanıcılar, makinenin potansiyel sorunlarını ve bakım gereksinimlerini önceden görerek, gerçek zamanlı problemleri çözme becerilerini geliştirebilmektedirler. Şekil 15'teki SolidWorks ve Keyshot görüntüsü gibi görseller, bu sanal modelin ne denli gerçekçi olduğunu ve kullanıcıların deneyimlediği etkileşimin kalitesini ortaya koymaktadır. Bu süreç, CNC makineleri ile ilgili eğitim ve bakım faaliyetlerinde önemli bir yenilik sunarak, imalat endüstrisinde dijital dönüşümün hızlanmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir.



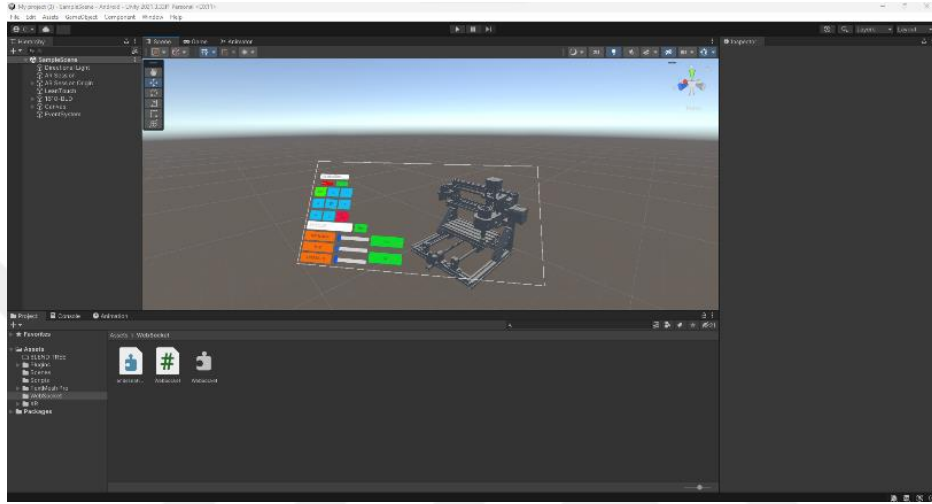
Şekil 15. Solidworks ve Keyshot ile CNC Makinesinin Tasarımı

Makine modellemeleri, Unity oyun motoru ortamına aktarılmış ve böylece sanal ortamın oluşturulması sağlanmıştır. Unity, güçlü bir oyun motoru ve geliştirme ortamı olarak bilinir; bu platform, sanal dünyaların oluşturulması, animasyon, fizik simülasyonu ve etkileşim gibi işlemleri kolaylaştıran bir dizi araç ve işlevsellik sunmaktadır. Bu süreç, kullanıcıların sanal ortamda gerçekçi deneyimler yaşamalarını sağlamak amacıyla titizlikle tasarlanmıştır.

Modelin sanal ortama entegrasyonu, Visual Studio kullanılarak C# dilinde yazılan kodlarla gerçekleştirilmiştir. Bu kodlar, sanal ortamda etkileşim ve simülasyonların düzgün bir şekilde çalışmasını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Örneğin, makine parçalarının hareketlerini kontrol eden, kullanıcı etkileşimlerini algılayan ve animasyonları yöneten scriptler geliştirilmiştir. Bu bağlamda, makine modeli, Unity içerisindeki sahne düzenleyicisi aracılığıyla yerleştirilmiş ve makinenin gerçek dünyadaki hareketleri Unity ortamında simüle edilmiştir. Unity’de oluşturulan model, kullanıcıların CNC makinesi ile etkileşimde bulunabilmesi için tasarlanmıştır. Kullanıcılar, sanal ortamda makineyi manipüle ederek çeşitli işlemleri gerçekleştirme imkânına sahip olmuşlardır. Bu etkileşim, sanal ortamda kullanıcı deneyimini zenginleştirmenin yanı sıra, kullanıcıların gerçek makine üzerindeki işleyişe dair bilgilerini de artırmaktadır. Örneğin, kullanıcılar, makinenin farklı çalışma modlarını, ayarlarını ve bakım gereksinimlerini sanal ortamda deneyimleyerek öğrenebilirler. Şekil 16’da CNC makinesinin Unity üzerindeki 3 boyutlu modeli gösterilmektedir; bu görsel, sanal ortamda sunulan deneyimin görselliğini ve gerçekçiliğini gözler önüne sermektedir. Bununla birlikte, Unity'nin sunduğu fizik simülasyonu özellikleri sayesinde, makine hareketlerinin doğal ve akıcı bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Kullanıcıların sanal ortamda deneyimlediği etkileşimler, gerçek zamanlı geri bildirimlerle desteklenerek, mekanik sistemleri anlamalarını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, eğitim süreçlerinde, kullanıcıların makineyle ilgili problemleri çözme becerilerini geliştirmelerine yardımcı olacak senaryolar oluşturulmuştur. Bu bağlamda, sanal ortamda sağlanan deneyimlerin, kullanıcıların gerçek hayatta karşılaşılabilecekleri

sorunları öngörmelerine ve bunlarla başa çıkma yeteneklerini geliştirmelerine katkı sağladığı ifade edilebilir.

Tezde gerçekleştirilen modelleme ve simülasyon süreçleri, CNC makinelerinin eğitim ve bakım faaliyetlerinde yenilikçi bir yaklaşım sunarak, kullanıcıların gerçek dünyadaki deneyimlerini zenginleştirmeyi hedeflemektedir.



Şekil 16. CNC Makinesinin Unity Programı 3 boyutlu Uygulaması

Sanal ortamdaki makinenin gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi ve etkileşimde bulunulması amacıyla WebSocket kullanılarak haberleşme sağlanmıştır. WebSocket, tarayıcı ile sunucu arasında tam çift yönlü iletişim imkânı sunan bir iletişim protokolüdür. Bu protokol sayesinde kullanıcılar, sanal ortamdaki makineleri anlık olarak kontrol edebilmekte ve etkileşime geçebilmektedirler. Bu durum, kullanıcı deneyimini daha etkileyici ve gerçekçi hale getirmek için önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

WebSocket protokolü, özellikle veri iletiminde düşük gecikme süreleri sağladığı için sanal simülasyonlar için ideal bir iletişim aracı olarak öne çıkmaktadır. Kullanıcılar, sanal ortamda gerçekleştirdikleri işlemleri anlık olarak gözlemleyebilmekte ve bu işlemler üzerinde doğrudan etki yaratabilmektedirler. Örneğin, kullanıcı bir komut girdiğinde bu komut hemen işlenerek makinenin sanal ortamda gerçekleştirdiği hareketlere yansıdığı için, kullanıcıların deneyimleri gerçek dünyadaki makine kullanımıyla paralellik göstermektedir. Haberleşme, C# programlama dili kullanılarak WebSocket üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu entegrasyon, Unity projesi ile uyumlu bir şekilde çalışarak kullanıcıların sanal makinelerle sorunsuz bir etkileşim kurmalarını sağlamıştır. Unity içerisinde, kullanıcı arayüzü (UI) ile etkileşimli bileşenler oluşturularak, kullanıcıların daha sezgisel bir deneyim yaşamaları hedeflenmiştir.

Kullanıcılar, sanal makine üzerindeki çeşitli kontrolleri (örneğin, hız ayarlama, yön değiştirme, durdurma) anlık olarak yaparak gerçek zamanlı geri bildirim alabilmektedirler. Şekil 17’de, web soket akış diyagramı gösterilmektedir; bu diyagram, kullanıcıların sanal ortamda gerçekleştirdikleri işlemler ile sunucu arasındaki veri akışını ve etkileşim süreçlerini görselleştirmektedir. Bu akış diyagramı, iletişim protokolünün çalışma mantığını ve süreçlerin nasıl entegre edildiğini anlamak açısından önem taşımaktadır.

WebSocket teknolojisinin kullanımı, sanal ortamdaki makinelerle gerçekleştirilen etkileşimlerin anlık ve kesintisiz olmasını sağlamakta; böylece kullanıcıların deneyimlerini daha dinamik ve etkileyici hale getirmektedir. Bu çalışma, sanal simülasyonların eğitim ve uygulamalı alanlarda nasıl daha verimli kullanılabileceğini göstermekte ve endüstriyel süreçlerde dijital dönüşümün önemini vurgulamaktadır.



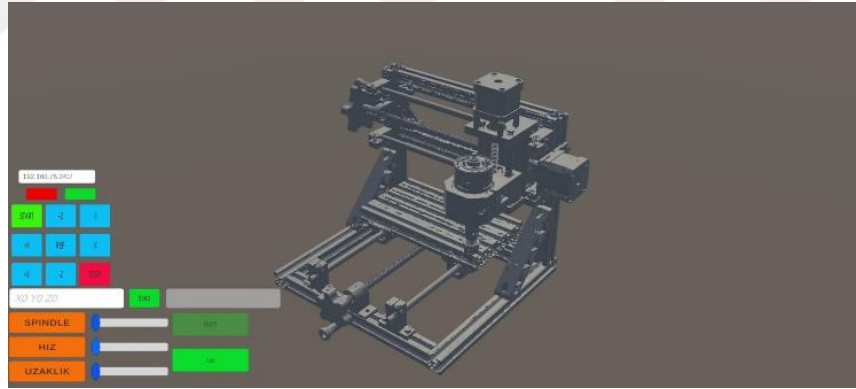
Şekil 17. Web Soket Akış Diyagramı

OpenXR standardı, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) deneyimlerinin farklı cihazlar arasında uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu standart, farklı platformlar ve cihazlar arasındaki etkileşimi kolaylaştırarak, geliştiricilere çeşitli donanım türleriyle sorunsuz bir şekilde çalışma imkânı sunmaktadır. Bu bağlamda, Unity'nin API'leriyle etkileşimde bulunmak için OpenXR kullanılması, geliştiricilere geniş bir esneklik ve uyumluluk sağlamaktadır. Böylece, Unity içerisindeki nesnelere, bileşenlere ve sistemlerin kontrolü mümkün hale gelmektedir.

OpenXR standardının entegrasyonu ile, Unity projesi, farklı VR ve AR cihazlarıyla uyumlu hale getirilmiştir. Bu uyum, kullanıcıların çeşitli donanım yapılandırmalarında benzer deneyimler yaşamalarını sağlamaktadır. Şekil 18’de, OpenXR standardı ile entegre edilmiş Unity projesinin farklı cihazlarla uyumunu gösteren bir görsel yer almaktadır. Entegrasyon sürecinde, Unity projesinde OpenXR SDK'nın kullanılması başlangıç noktası olmuştur. OpenXR SDK, Unity'ye OpenXR standardını destekleyen bir API sunarak, farklı VR ve AR

cihazlarının uyumlu bir şekilde birlikte çalışmasını sağlamaktadır. Bu SDK, cihazların izleme, giriş ve denetim sistemleri gibi temel işlevlerinin Unity projesine entegre edilmesini kolaylaştırmakta ve böylece geliştiricilerin uygulamalarını daha geniş bir cihaz yelpazesine taşıması için gerekli altyapıyı sağlamaktadır. Devamında, Unity projesi içerisinde OpenXR uyumlu VR gözlük için gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Bu ayarlamalar, cihazların izleme sistemleriyle entegrasyonunu ve kullanıcı girişlerinin doğru bir şekilde algılanmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Gözlüğün yerleşim ve hareket takibi gibi işlevleri, sanal ortamda kullanıcının etkileşimde bulunmasına olanak tanıyarak, daha akıcı ve gerçekçi bir deneyim sunmaktadır. OpenXR API'sini kullanarak gözlüğe aktarılan uygulama, kullanıcıların makineyi kontrol etmelerine olanak tanımaktadır. Bu sayede, kullanıcılar sanal ortamda makine ile etkileşimde bulunarak gerçek zamanlı işlemler gerçekleştirebilmektedirler.

OpenXR standardının entegrasyonu, sanal gerçeklik deneyimlerinin çok çeşitli cihazlarla uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlayarak kullanıcı deneyimini önemli ölçüde geliştirmektedir. Bu çalışma, sanal ve artırılmış gerçeklik alanında dijital dönüşümün sağlanmasına yönelik atılan önemli adımları göstermekte ve gelişen teknolojilerin eğitim ve endüstriyel uygulamalardaki potansiyelini vurgulamaktadır.



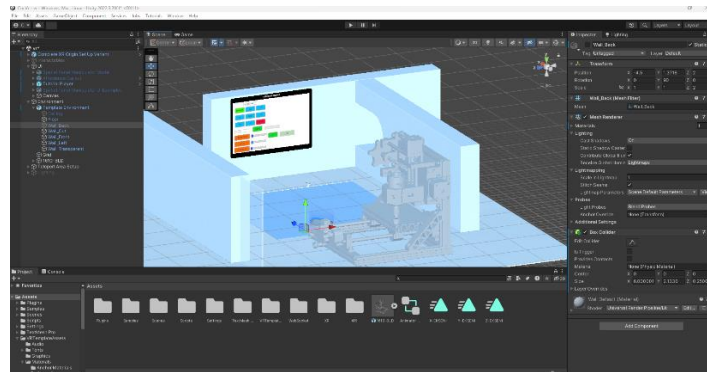
Şekil 18. Android Cihazda Kontrol Paneli Görünümü

Hazırlanan Unity projesi, VR gözlüğe aktarılmış ve Şekil 19'daki ekrandan test edilmiştir. Bu aşamada, kullanıcıların sanal ortama giriş yaparak makineyi detaylı bir şekilde incelemesi ve etkileşimde bulunması sağlanmıştır. Kullanıcıların sanal ortamda gerçekleştirdiği etkileşimler, VR gözlüğü aracılığıyla gerçek zamanlı olarak gözlemlenmiş ve bu süreçte

edinilen geri bildirimler, projenin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için önemli bir kaynak oluşturmuştur.

Testler sırasında kullanıcı deneyimleri üzerine yapılan gözlemler, sanal ortamda sağlanan etkileşimlerin etkinliği hakkında bilgi sağlamıştır. Kullanıcılar, makinenin parçalarını, işlevlerini ve çalışma mekanizmalarını inceleyerek, eğitimsel ve uygulamalı bir deneyim elde etmiştir. Elde edilen geri bildirimler, sanal ortamın kullanıcı dostu olmasını sağlamak amacıyla belirli unsurların daha da geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Örneğin, bazı kullanıcılar, etkileşimli unsurların daha belirgin hale getirilmesi ve kullanıcı arayüzünün daha sezgisel olmasını talep etmişlerdir. Bu geri bildirimler, projenin gelecekteki iterasyonlarında dikkate alınarak, kullanıcı deneyiminin daha da iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmasını sağlamıştır. Bu süreçte, makine modellemesi, Unity oyun motoru kullanımı, OpenXR entegrasyonu ve VR gözlükleriyle gerçekleştirilen testlerin birleşimi sayesinde, makinenin sanal ortama aktarılması süreci başarıyla tamamlanmıştır. Sanal ortamda gerçekleştirilen bu testler, makinenin eğitim ve simülasyon amaçlı kullanımını desteklemekte ve kullanıcıların gerçek dünya uygulamalarında karşılaşılabilecekleri durumları daha iyi anlamalarına olanak tanımaktadır.

Sanal gerçeklik teknolojisinin endüstriyel eğitim ve uygulamalarda nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermekte ve sanal simülasyonların, kullanıcıların bilgi edinme ve beceri geliştirme süreçlerine katkıda bulunma potansiyelini vurgulamaktadır. Ayrıca, projenin geliştirilmesi sürecinde kullanıcı geri bildirimlerinin entegrasyonu, daha etkili ve kullanıcı odaklı bir deneyim yaratma yönünde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, elde edilen sonuçlar, sanal gerçeklik uygulamalarının gelecekteki gelişimine ışık tutmaktadır.



Şekil 19. Meta Quest Pro da Kontrol Paneli Görünümü

Bu çalışma kapsamında, kestirimci bakım uygulamalarının gerçekleştirilmesi amacıyla uzaktan kontrol edilebilir bir dijital ikiz oluşturulmuştur. Dijital ikiz, fiziksel varlıkların sanal bir temsili olup, gerçek zamanlı verilerle beslenerek makinenin çalışma koşullarını, performansını ve potansiyel arıza durumlarını izleme imkânı sunmaktadır. Bu sayede, makinelerin durumu hakkında sürekli bilgi akışı sağlanmakta ve kullanıcılar, olası arızaları önceden tespit ederek müdahale etme yeteneğine sahip olmaktadır. Uzaktan kontrol edilebilir dijital ikiz, kullanıcıların sanal ortamdan fiziksel makine üzerinde gerçekleştirdiği işlemleri anlık olarak izlemelerine ve yönetmelerine olanak tanımakta, böylece bakım süreçlerini optimize etmektedir. Bu yaklaşım, makinelerin verimliliğini artırmanın yanı sıra arıza sürelerini azaltarak maliyetleri düşürmeyi hedeflemektedir. Dolayısıyla, dijital ikiz teknolojisinin entegrasyonu, endüstriyel otomasyon ve bakım süreçlerinde devrim niteliğinde yenilikler sunmakta ve sanal gerçeklik uygulamalarının sağladığı avantajlarla birleşerek kullanıcıların karar verme süreçlerini desteklemektedir.

Bu çalışma, dijital ikizlerin ve kestirimci bakımın sanal gerçeklik ortamlarında nasıl uygulanabileceğini ortaya koymakta ve endüstriyel süreçlerin dijital dönüşümünü teşvik etmektedir.

6. ÖNERİLER

Dijital ikiz teknolojisi, CNC takım tezgâhları ve diğer endüstriyel makinelerin arıza teşhisinde ve bakımında devrim yaratmaktadır. Dijital ikiz, fiziksel bir varlığın dijital kopyası olarak işlev görür ve bu kopya, gerçek zamanlı verilerle beslenerek, fiziksel varlığın performansını, operasyonel durumunu ve arıza durumlarını simüle eder. Bu teknoloji, arıza teşhisinde ve giderilmesinde operatörlere zaman kazandırmış, işletmelere ise maliyet tasarrufu sağlamıştır.

Dijital ikizler sayesinde CNC takım tezgahlarının performans ve arıza verileri gerçek zamanlı olarak izlenebilir. Bu, arızaların erken tespit edilmesini ve arıza nedenlerinin doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar. Örneğin, dijital ikiz, makinenin çalışma sırasında oluşan titreşimler, ısı değişiklikleri ve diğer anormallikleri izleyerek potansiyel arızaların önceden belirlenmesine yardımcı olur. Bu, beklenmeyen duruş sürelerini azaltır ve üretim kesintilerini en aza indirir.

Dijital ikizler, arıza teşhis sürecini hızlandırır ve basitleştirir. Fiziksel makinede oluşan herhangi bir sorun, dijital ikiz üzerinde simüle edilerek teşhis edilebilir. Bu, bakım personelinin fiziksel müdahaleye gerek kalmadan arızanın kaynağını belirlemesini sağlar. Ayrıca, dijital ikiz üzerinde gerçekleştirilen sanal testler ve analizler, arızaların doğru bir şekilde izole edilmesine ve en etkili onarım stratejisinin belirlenmesine yardımcı olur.

Dijital ikizler, eğitim ve bilgi paylaşımı açısından büyük avantajlar sunar. CNC sahipleri ve operatörleri, dijital ikizler aracılığıyla makinelerin nasıl çalıştığını, potansiyel arızaların nasıl tespit edileceğini ve nasıl giderileceğini öğrenebilirler. Bu, operatörlerin ve bakım personelinin bilgi ve becerilerini artırarak, arızaların daha hızlı ve etkili bir şekilde giderilmesini sağlar. (Kabaldin, Shatagin, Anosov ve Kuzmishina, 2019)

Dijital ikiz teknolojisinin bu avantajları, endüstride önemli ölçüde zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. CNC sahipleri, makinelerinin daha verimli çalışmasını sağlayarak, üretim kapasitelerini artırabilirler. Aynı zamanda, arıza teşhis ve onarım süreçlerinin hızlanması, bakım maliyetlerini azaltır ve makinelerin ömrünü uzatır. Dijital ikiz teknolojisinin sunduğu faydaların daha da artırılması için, bu teknolojinin sürekli olarak geliştirilmesi ve daha geniş bir arıza teşhis yelpazesine uyarlanması gerekmektedir. Gelişmiş veri analitiği ve yapay zekâ entegrasyonu, dijital ikizlerin daha karmaşık arızaları tespit etme yeteneğini artırabilir. Ayrıca,

dijital ikizlerin öğrenme algoritmaları sayesinde, makinelerin çalışma geçmişine dayalı olarak daha doğru ve öngörülebilir bakım stratejileri geliştirilebilir. Ayrıca, dijital ikiz teknolojisinin farklı endüstriyel uygulamalara entegrasyonu teşvik edilmelidir. Bu, daha fazla makine türünde arıza teşhisi ve giderilmesini sağlayarak, endüstriyel verimliliği genel olarak artıracaktır. Eğitim programlarının ve bilgi paylaşımının dijital ikizler üzerinden yapılması, operatörlerin ve bakım personelinin yetkinliklerini sürekli olarak artıracak ve arıza müdahale sürelerini daha da kısaltacaktır. (Rakic vd., 2021)

Sonuç olarak, dijital ikiz teknolojisinin endüstride daha geniş çapta benimsenmesi ve sürekli olarak iyileştirilmesi, arıza teşhis ve giderme süreçlerinde devrim yaratacak ve endüstriyel operasyonların genel verimliliğini artıracaktır. Dijital İkiz sayesinde makinenin bakımlarını önceden tespit edilmesi , makinenin dijital kopyası sayesinde kilometrelerce uzaktan makinenin kontrolünün ve verimliliğinin sağlanmasında, makinenin uzun kullanım sürelerinde maliyetsiz bir biçimde oluşabilecek arızaların tespitinde , makinenin uzun süreli kullanımlarda ve ani gelişen arıza durumlarında Dijital İkiz sayesinde makine kullanıcısı yanında olmadan en az maliyetli biçimde işlemi durdurmasına ve uzun süreli çalışmalarda bakım gerektiren parçaların tespit edilmesinde kullanılabilir. Makinenin kontrolü ise mobil cihazlar veya masaüstü uygulamalar istenildiği taktirde yapılan haberleşme ve kontroller sanal gerçeklik gözlüğüyle tecrübe ve hissiyat üst düzeye çıkarılarak yapılabilmektedir.

Makinelerde dijital ikiz kullanmanın amaçlarından bazıları ise makinelerin performansını optimize etmek, bakım süreçlerini iyileştirmek, operasyonel verimliliği artırmak ve karar verme süreçlerini desteklemektedir.(Park et al., 2019)

Tez, VR/AR destekli dijital ikizlerin bakım süreçlerini nasıl iyileştirdiğini göstermektedir. Bu teknolojiler, hata oranlarını azaltarak ve bakım personeline detaylı görsel yardım sağlayarak verimliliği artırmaktadır.(Augustine, 2020)

İmalat süreçlerinde dijital ikiz kullanımı, üretim hatlarının etkinliğini artırmak ve maliyetleri düşürmek için etkili bulunmuştur. VR/AR uygulamaları, üretim planlamasını ve süreç yönetimini geliştirerek üretim süreçlerinin karmaşıklığını azaltmaktadır.

Dijital ikizlerin VR/AR ile entegrasyonu, uzaktan kontrol ve izleme kapasitelerini geliştirmiştir. Bu, pandemi gibi sınırlayıcı durumlarda makinelerin etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanımıştır.

7.KAYNAKLAR

- Abeywardena, I. S. (2023). OXREF: Open XR for Education Framework. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 24(3). doi:10.19173/irrodl.v24i3.7109
- Anggraini, A. N., Fadila, J. N., Nugroho, F. (2021). Rancang Bangun Game 2D “Finding Tajwid” Dengan Metode Finite State Mechine Menggunakan Software Unity Hub. *Jurnal Teknologi Informasi*, 5(1). doi:10.36294/jurti.v5i1.1782
- Cabral, J. V. A., Gasca, E. A. R., Alvares, A. J. (2023). Digital Twin Implementation for Machining Center Based on ISO 23247 Standard. *IEEE Latin America Transactions*, 21(5). doi:10.1109/TLA.2023.10130834
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1). doi:10.1007/s11042-010-0660-6
- Cimino, C., Negri, E., Fumagalli, L. (2019). Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113, 103130. doi:10.1016/j.compind.2019.103130
- Deren, L., Wenbo, Y., Zhenfeng, S. (2021). Smart city based on digital twins. *Computational Urban Science*, 1(1). doi:10.1007/s43762-021-00005-y
- Diachenko, D., Partyshev, A., Pizzagalli, S. L., Bondarenko, Y., Otto, T., Kuts, V. (2022). INDUSTRIAL COLLABORATIVE ROBOT DIGITAL TWIN INTEGRATION AND CONTROL USING ROBOT OPERATING SYSTEM. *Journal of Machine Engineering*, 22(2). doi:10.36897/jme/148110
- Elmqaddem, N. (2019). Augmented Reality and Virtual Reality in education. Myth or reality?. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(3). doi:10.3991/ijet.v14i03.9289
- Garg, G., Kuts, V., Anbarjafari, G. (2021). Digital twin for fanuc robots: Industrial robot programming and simulation using virtual reality. *Sustainability (Switzerland)*, 13(18). doi:10.3390/su131810336
- Gomes, H. M., Bifet, A., Read, J., Barddal, J. P., Enembreck, F., Pfahringer, B., ... Abdessalem, T. (2019). Correction to: Adaptive random forests for evolving data stream classification. *Machine Learning*, 108(10). doi:10.1007/s10994-019-05793-3
- Iqbal, M., Madan, A. K. (2022). CNC Machine-Bearing Fault Detection Based on Convolutional Neural Network Using Vibration and Acoustic Signal. *Journal of Vibration Engineering and Technologies*, 10(5). doi:10.1007/s42417-022-00468-1
- Javaid, M., Haleem, A., Suman, R. (2023a). Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review. *Cognitive Robotics*. doi:10.1016/j.cogr.2023.04.003
- Javaid, M., Haleem, A., Suman, R. (2023b). Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review. *Cognitive Robotics*. doi:10.1016/j.cogr.2023.04.003

- Kabaldin, Y. G., Kolchin, P. V., Shatagin, D. A., Anosov, M. S., Chursin, A. A. (2019). Digital Twin for 3D Printing on CNC Machines. *Russian Engineering Research*, 39(10). doi:10.3103/S1068798X19100101
- Kabaldin, Y. G., Shatagin, D. A., Anosov, M. S., Kolchin, P. V., Kuz'mishina, A. M. (2019). CNC Machine Tools and Digital Twins. *Russian Engineering Research*, 39(8). doi:10.3103/S1068798X19080070
- Kabaldin, Yu. G., Shatagin, D. A., Anosov, M. S., Kuzmishina, A. M. (2019). Development of digital twin of CNC unit based on machine learning methods. *Vestnik of Don State Technical University*, 19(1). doi:10.23947/1992-5980-2019-19-1-45-55
- Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., ... Anbarjafari, G. (2023). Augmented Reality: Current and New Trends in Education. *Electronics (Switzerland)*. doi:10.3390/electronics12163531
- Kennedy, S. M., Amudhan, K., Jeen Robert, R. B., Vasanthanathan, A., Vignesh Moorthi Pandian, A. (2023). Experimental and finite element analysis on the effect of pores on bio-printed polycaprolactone bone scaffolds. *Bioprinting*, 34. doi:10.1016/j.bprint.2023.e00301
- Krisna Putra, I. W. E., Sudarma, M., Manuaba, I. B. G. (2023). Perancangan Sistem Monitoring Sun Tracker Dual Axis Berbasis Web Socket. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 22(1). doi:10.24843/mite.2023.v22i01.p10
- Kul'ga, K. S., Siluyanova, M. V., Krivosheev, I. A., Kuritsyna, V. V., Kuritsyn, D. N., Valiev, A. A. (2022). Digital Twins of CNC Machine Tools in the Reconfiguring of Aircraft Factories. *Russian Engineering Research*, 42(7). doi:10.3103/S1068798X22070188
- Li, Y. (2020). Anti-fatigue and collision avoidance systems for intelligent vehicles with ultrasonic and Li-Fi sensors. *2020 3rd IEEE International Conference on Information Communication and Signal Processing, ICICSP 2020*, 203-209. doi:10.1109/ICICSP50920.2020.9232054
- Liu, K., Song, L., Han, W., Cui, Y., Wang, Y. (2022). Time-Varying Error Prediction and Compensation for Movement Axis of CNC Machine Tool Based on Digital Twin. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(1). doi:10.1109/TII.2021.3073649
- Liu, Q., Sun, X. (2012). Research of Web Real-Time Communication Based on Web Socket. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 05(12). doi:10.4236/ijcns.2012.512083
- Lubbers, P., Greco, F. (2010). HTML5 Web Sockets: A Quantum Leap in Scalability for the Web. *SOA World Magazine*, (1).
- Luo, W., Hu, T., Zhang, C., Wei, Y. (2019). Digital twin for CNC machine tool: modeling and using strategy. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(3). doi:10.1007/s12652-018-0946-5
- Mevlüt UZUN, T. (2021). *DIGITAL-TWIN FLIGHT MODELLING THROUGH MACHINE LEARNING FOR TRAJECTORY ERROR ESTIMATION AND RECOVERY*.

- Mujtaba, G., Malik, A., Ryu, E. S. (2022). LTC-SUM: Lightweight Client-Driven Personalized Video Summarization Framework Using 2D CNN. *IEEE Access*, 10. doi:10.1109/ACCESS.2022.3209275
- Muñoz-Saavedra, L., Miró-Amarante, L., Domínguez-Morales, M. (2020). Augmented and virtual reality evolution and future tendency. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1). doi:10.3390/app10010322
- Murshed, M., Chowdhury, M. S. (2019). An IoT Based Car Accident Prevention and Detection System with Smart Brake Control., (January), 19-22.
- Oleksiak, B., Ciecínska, B., Ołów, P., Hordyńska, M. (2023). Analysis of the Possibility of Introducing the Reduction of Changeover Time of Selected CNC Machines Using the SMED Method. *Production Engineering Archives*, 29(1). doi:10.30657/pea.2023.29.10
- Pierdicca, R., Tonetto, F., Paolanti, M., Mameli, M., Rosati, R., Zingaretti, P. (2024). DeepReality: An open source framework to develop AI-based augmented reality applications. *Expert Systems with Applications*, 249. doi:10.1016/j.eswa.2024.123530
- Pintavirooj, C., Keatsamarn, T., Treebupachatsakul, T. (2021). Multi-parameter vital sign telemedicine system using web socket for covid-19 pandemics. *Healthcare (Switzerland)*, 9(3). doi:10.3390/healthcare9030285
- Prianto, M.Eng, E. (2017). PROSES PERMESINAN CNC DALAM PEMBELAJARAN SIMULASI CNC. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(1). doi:10.21831/jee.v1i1.15110
- Quek, J., Brauer, S. G., Treleaven, J., Pua, Y. H., Mentiplay, B., Clark, R. A. (2014). Validity and intra-rater reliability of an Android phone application to measure cervical range-of-motion. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1). doi:10.1186/1743-0003-11-65
- Rakic, A., Zivanovic, S., Dimic, Z., Knezevic, M. (2021). Digital Twin Control of Multi-Axis Wood CNC Machining Center Based on LinuxCNC. *BioResources*, 16(1). doi:10.15376/biores.16.1.1115-1130
- REAL-TIME INTERACTIVITY IN HYBRID APPLICATIONS WITH WEB SOCKETS. (2024). *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. doi:10.56726/irjmets48494
- Salamah, U. G. (2021). Tutorial Visual Studio Code. *Media Sains Indonesia*.
- Samala, A. D., Govender, T., Tsoy, D., Bojic, L., Samala, A. G., Samala, M. P., ... Fortuna, A. (2024). 3D Visualizations in Learning: An Evaluation of an AR+Core Application for Computer Hardware Education using the Hedonic Motivation System Adoption Model. *TEM Journal*, 13(1). doi:10.18421/TEM131-48
- Shahat, E., Hyun, C. T., Yeom, C. (2021). City digital twin potentials: A review and research agenda. *Sustainability (Switzerland)*. doi:10.3390/su13063386
- Shuguang, S., Wenjie, Z., Meng, Z., Xiyu, L., Xiaowan, M. (2020). Fault analysis of CNC equipment based on DEMATEL/ISM/ANP. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34(8). doi:10.1007/s12206-020-0709-z

- Shukla, A., Singh, T. P., Mishra, V., Goyal, G., Kanwar, I., Sharma, G., Choudhury, T. (2023). Movie Synchronization System Using Web Socket Based Protocol. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST,. doi:10.1007/978-3-031-35078-8_19
- Shweta Thakur & V. A. Gulhane. (2014). High Speed Real Time Video Access over Web Sockets. *International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research (IJCSEITR)*, 4(3).
- Suryowinoto, A., Rizaldy, A. (2019). Integrasi Kendali Jauh Elektronik Rumah Pintar Menggunakan Smartphone Android Berbasis RASPBERRY PI dan Protokol Wi-Fi Web Socket. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 1(1).
- Taghian, A., Abo-Zahhad, M., Sayed, M. S., Abd El-Malek, A. H. (2023). Virtual and augmented reality in biomedical engineering. *BioMedical Engineering Online*. doi:10.1186/s12938-023-01138-3
- Tan, R., Wijanto, M. C., Lieshiana, C. (2024). Perancangan Aplikasi Orientasi Mahasiswa Baru Berbasis Android dengan Laravel RESTful API dan Lean Touch. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 9(3). doi:10.28932/jutisi.v9i3.7945
- Tao, F., Liu, W., Liu, J., Liu, X., Liu, Q., Qu, T., ... Cheng, H. (2018). Digital twin and its potential application exploration. *Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS*, 24(1). doi:10.13196/j.cims.2018.01.001
- Tu, X., Autiosalo, J., Ala-Laurinaho, R., Yang, C., Salminen, P., Tammi, K. (2023). TwinXR: Method for using digital twin descriptions in industrial eXtended reality applications. *Frontiers in Virtual Reality*, 4. doi:10.3389/frvir.2023.1019080
- Tuhaise, V. V., Tah, J. H. M., Abanda, F. H. (2023). Technologies for digital twin applications in construction. *Automation in Construction*. doi:10.1016/j.autcon.2023.104931
- Unity oficiālā dokumentācija. (2018). Unity - Manual: Unity User Manual (2018.3). *Unity*.
- UU Republik Indonesia, Munawir, M., Nasional, B. S., Susanta, G., Jatimnet.com, MajaMojokerto.net, ... Sanyal, S. (2022). PENENTUAN ALTERNATIF LOKASI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH DI KABUPATEN SIDOARJO. *Energies*, 15(1).
- van Dinter, R., Tekinerdogan, B., Catal, C. (2022). Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. *Information and Software Technology*. doi:10.1016/j.infsof.2022.107008
- Walker, C., Luo, X., Kundu, P., Chang, W., Xie, W., Ball, P., Badakhshan, E. (2022). Digital Twin Technology for CNC Machining: A Review. nanoMan 2022 and AETS 2022 - 2022 8th International Conference on Nanomanufacturing and 4th AET Symposium on ACSM and Digital Manufacturing,. doi:10.1109/Nanoman-AETS56035.2022.10119512
- Wang, K. J., Lee, T. L., Hsu, Y. (2020). Revolution on digital twin technology—a patent research approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(11-12), 4687-4704. doi:10.1007/s00170-020-05314-w

- Wei, S., Bloemers, D., Rovira, A. (2023). A Preliminary Study of the Eye Tracker in the Meta Quest Pro. *IMX 2023 - Proceedings of the 2023 ACM International Conference on Interactive Media Experiences*,. doi:10.1145/3573381.3596467
- Won, M., Ungu, D. A. K., Matovu, H., Treagust, D. F., Tsai, C. C., Park, J., ... Tasker, R. (2023). Diverse approaches to learning with immersive Virtual Reality identified from a systematic review. *Computers and Education*, 195. doi:10.1016/j.compedu.2022.104701
- Xue, R., Zhang, P., Huang, Z., Wang, J. (2024). Digital twin-driven fault diagnosis for CNC machine tool. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 131(11), 5457-5470. doi:10.1007/s00170-022-09978-4
- Xue, R., Zhou, X., Huang, Z., Zhang, F., Tao, F., Wang, J. (2022). Digital twin-driven CNC spindle performance assessment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(3-4). doi:10.1007/s00170-021-08403-6
- Zhang, G., Shao, W., Li, C., Zhou, X. (2022). Design and Implementation of Intelligent Writing Robot. 4th International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2022 - Proceedings,. doi:10.1109/ICIRCA54612.2022.9985493
- Zhang, R., Wang, F., Cai, J., Wang, Y., Guo, H., Zheng, J. (2022). Digital twin and its applications: A survey. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 123(11-12). doi:10.1007/s00170-022-10445-3
- Zhang, Y., Guo, G., Liu, J. (2023). Fault Root Cause Tracking of the Mechanical Components of CNC Lathes Based on Information Transmission. *Sensors*, 23(9). doi:10.3390/s23094418
- Zhao, P., Sun, B. (2021). Adaptive Modification of Digital Twin Model of CNC Machine Tools Coordinately Driven by Mechanism Model and Data Model. *Journal of Physics: Conference Series*,. doi:10.1088/1742-6596/1875/1/012003
- Zhao, W., Li, R., Liu, X., Ni, J., Wang, C., Li, C., Zhao, L. (2023). Construction Method of Digital Twin System for Thin-Walled Workpiece Machining Error Control Based on Analysis of Machine Tool Dynamic Characteristics. *Machines*, 11(6). doi:10.3390/machines11060600
- Zhong, D., Xia, Z., Zhu, Y., Duan, J. (2023). Overview of predictive maintenance based on digital twin technology. *Heliyon*. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e14534

8.EKLER

Unity programında haberleşme için kullandığım kodların bir kısmı ektedir.

8.1 Web Socket Visual Studio Kodu

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO;
using System.Net.WebSockets;
using System.Runtime.CompilerServices;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;

using AOT;
using System.Runtime.InteropServices;
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class MainThreadUtil : MonoBehaviour
{
    public static MainThreadUtil Instance { get; private set; }
    public static SynchronizationContext synchronizationContext { get; private
set; }

    [RuntimeInitializeOnLoadMethod(RuntimeInitializeLoadType.BeforeSceneLoad)]
    public static void Setup()
    {
        Instance = new GameObject("MainThreadUtil")
            .AddComponent<MainThreadUtil>();
        synchronizationContext = SynchronizationContext.Current;
    }

    public static void Run(IEnumerator waitForUpdate)
    {
        synchronizationContext.Post(_ => Instance.StartCoroutine(
            waitForUpdate), null);
    }

    void Awake()
    {
        gameObject.hideFlags = HideFlags.HideAndDontSave;
        DontDestroyOnLoad(gameObject);
    }
}

public class WaitForUpdate : CustomYieldInstruction
{
    public override bool keepWaiting
    {
        get { return false; }
    }

    public MainThreadAwaiter GetAwaiter()
    {
        var awaiter = new MainThreadAwaiter();
        MainThreadUtil.Run(CoroutineWrapper(this, awaiter));
        return awaiter;
    }
}
```

```

public class MainThreadAwaiter : INotifyCompletion
{
    Action continuation;

    public bool IsCompleted { get; set; }

    public void GetResult() { }

    public void Complete()
    {
        IsCompleted = true;
        continuation?.Invoke();
    }

    void INotifyCompletion.OnCompleted(Action continuation)
    {
        this.continuation = continuation;
    }
}

public static IEnumerator CoroutineWrapper(IEnumerator theWorker,
MainThreadAwaiter awaiter)
{
    yield return theWorker;
    awaiter.Complete();
}

namespace NativeWebSocket
{
    public delegate void WebSocketOpenEventHandler();
    public delegate void WebSocketMessageEventHandler(byte[] data);
    public delegate void WebSocketErrorEventHandler(string errorMsg);
    public delegate void WebSocketCloseEventHandler(WebSocketCloseCode
closeCode);

    public enum WebSocketCloseCode
    {
        /* Do NOT use NotSet - it's only purpose is to indicate that the close
code cannot be parsed. */
        NotSet = 0,
        Normal = 1000,
        Away = 1001,
        ProtocolError = 1002,
        UnsupportedData = 1003,
        Undefined = 1004,
        NoStatus = 1005,
        Abnormal = 1006,
        InvalidData = 1007,
        PolicyViolation = 1008,
        TooBig = 1009,
        MandatoryExtension = 1010,
        ServerError = 1011,
        TlsHandshakeFailure = 1015
    }

    public enum WebSocketState
    {
        Connecting,
        Open,
        Closing,
        Closed
    }
}

```

```

public interface IWebSocket
{
    event WebSocketOpenEventHandler OnOpen;
    event WebSocketMessageEventHandler OnMessage;
    event WebSocketErrorEventHandler OnError;
    event WebSocketCloseEventHandler OnClose;

    WebSocketState State { get; }
}

public static class WebSocketHelpers
{
    public static WebSocketCloseCode ParseCloseCodeEnum(int closeCode)
    {
        if (WebSocketCloseCode.IsDefined(typeof(WebSocketCloseCode),
closeCode))
        {
            return (WebSocketCloseCode)closeCode;
        }
        else
        {
            return WebSocketCloseCode.Undefined;
        }
    }

    public static WebSocketException GetErrorMessageFromCode(int errorCode,
Exception inner)
    {
        switch (errorCode)
        {
            case -1:
                return new WebSocketUnexpectedException("WebSocket instance
not found.", inner);
            case -2:
                return new WebSocketInvalidStateException("WebSocket is
already connected or in connecting state.", inner);
            case -3:
                return new WebSocketInvalidStateException("WebSocket is not
connected.", inner);
            case -4:
                return new WebSocketInvalidStateException("WebSocket is
already closing.", inner);
            case -5:
                return new WebSocketInvalidStateException("WebSocket is
already closed.", inner);
            case -6:
                return new WebSocketInvalidStateException("WebSocket is not
in open state.", inner);
            case -7:
                return new WebSocketInvalidArgumentException("Cannot close
WebSocket. An invalid code was specified or reason is too long.", inner);
            default:
                return new WebSocketUnexpectedException("Unknown error.",
inner);
        }
    }
}

public class WebSocketException : Exception
{

```

```

    public WebSocketException() { }
    public WebSocketException(string message) : base(message) { }
    public WebSocketException(string message, Exception inner) :
base(message, inner) { }
}

public class WebSocketUnexpectedException : WebSocketException
{
    public WebSocketUnexpectedException() { }
    public WebSocketUnexpectedException(string message) : base(message) { }
    public WebSocketUnexpectedException(string message, Exception inner) :
base(message, inner) { }
}

public class WebSocketInvalidArgumentException : WebSocketException
{
    public WebSocketInvalidArgumentException() { }
    public WebSocketInvalidArgumentException(string message) : base(message)
{ }
    public WebSocketInvalidArgumentException(string message, Exception inner)
: base(message, inner) { }
}

public class WebSocketInvalidStateException : WebSocketException
{
    public WebSocketInvalidStateException() { }
    public WebSocketInvalidStateException(string message) : base(message) { }
    public WebSocketInvalidStateException(string message, Exception inner) :
base(message, inner) { }
}

public class WaitForBackgroundThread
{
    public ConfiguredTaskAwaitable.ConfiguredTaskAwaiter GetAwaiter()
    {
        return Task.Run(() => { }).ConfigureAwait(false).GetAwaiter();
    }
}

```

8.2 Animasyon Visual Studi Kodu

```
using System.Drawing.Text;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class ButtonAnimationController : MonoBehaviour
{
    public Animator animator;

    public void PlayAnimationX(float value)
    {
        if (animator != null)
        {
            animator.SetFloat("X_FLOAT", value);
        }
    }
    public void PlayAnimationY(float value)
    {
        if (animator != null)
        {
            animator.SetFloat("Y_FLOAT", value);
        }
    }
    public void PlayAnimationZ(float value)
    {
        if (animator != null)
        {
            animator.SetFloat("Z_FLOAT", value);
        }
    }
    public void PlayAnimation(float status)
    {
        if (animator != null)
        {
            animator.SetFloat("X", status);
        }
    }
    private void Awake()
    {
    }
    private void Start()
    {
    }

    private void Update()
    {
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.A))
        {
            animator.SetBool("isStart", true);
        }
        else if (Input.GetKeyUp(KeyCode.S))
        {
            animator.SetBool("isStart", false);
        }
    }
}
```