



**DOĞALTAŞ MADENCİLİĞİNDE SANAL GERÇEKLİK
TABANLI BİR CİDDİ OYUN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mustafa GÜRSOY

Danışman

Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ABD

HAZİRAN 2025

Bu tez çalışması 1059B142300585 numaralı proje ile TÜBİTAK BİDEB tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**DOĞALTAŞ MADENCİLİĞİNDE SANAL GERÇEKLİK TABANLI
BİR CİDDİ OYUN GELİŞTİRİLMESİ**

Mustafa GÜRSOY

Danışman

Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ABD

Haziran 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa GÜRSOY tarafından hazırlanan “Doğaltaş Madenciliğinde Sanal Gerçeklik Tabanlı Bir Ciddi Oyun Geliştirilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Başkan : Prof. Dr. Mahmut YAVUZ
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İrfan C. ENGİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Mustafa ERKAYAOĞLU
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Fatih ÖZDİNÇ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04 / 07 / 2025

Mustafa GÜRSOY

ÖZET

Doktora Tezi

DOĞALTAŞ MADENCİLİĞİNDE SANAL GERÇEKLIK TABANLI BİR CİDDİ OYUN GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa GÜRSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Bu araştırmada, maden mühendisliğinde ve mermer teknolojisi bölümlerinde okuyan ön lisans, lisans ve lisansüstü öğrencilerine doğal taş ocağında dikkat edilmesi gereken iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kurallarının ve kesme makinalarının çalışma prensiplerinin sanal gerçeklik teknolojileri yardımıyla öğretilmesi amaçlanmıştır. Öğrencilerin öğrenme hızlarını artırmak, öğrenilen konunun daha kalıcı olmasını sağlamak amacıyla sanal gerçeklik teknolojisi vasıtasıyla doğal taş maden ocağında İSG ve blok kesme makinelerini kullanma ciddi oyunu tasarlanmıştır. Uygulamanın içerisinde kullanıcı sanal maden şantiyesinde gerekli ve uygun Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) ekipmanı seçerek mankene giydirmektedirler. Ayrıca, ocak içerisinde İSG kuralları doğrultusunda birçok uyarı levhalarının arasından doğru yerde doğru tabelanın seçilmesi aşaması eklenmiştir. Tüm bu aşamalar bittikten sonra kazanılan puan ekrana yansıtılmaktadır. Diğer taraftan, doğaltaş ocağının üretimini sağlayan elmas tel kesme, zincirli kollu kesici ve sayalama makinalarının modelleri tasarıma eklenerek, kesme anında ilerleme ve dönüş hızlarının değiştirilmesinin, makinelerin kontrol panelindeki göstergelerinde akım, güç, ve spesifik enerji üzerindeki etkileri izlenmektedir. Bu yolla doğru hız kombinasyonlarında doğru kesim yapmak, tel aşınmasını optimuma getirerek enerji tüketimini azaltmak ve üretim kayıplarını en aza indirmek konularında uygulayıcıya sanal gerçeklik ortamında eğitim verilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü öğrencilerinden 22'si, ön lisans Mermer

Teknolojisi bölümü öğrencilerinden 13’ü ve Avustralya Queensland Üniversitesi Maden ve Makine Mühendisliği öğrencilerinin 22’si bu uygulamaya gönüllü katılarak, sonrasında uygulamaya ilişkin hazırlanan anket sorularına cevap vermişlerdir. Sonuç olarak, SG teknolojisi yardımıyla verilen uygulamalı eğitimin kullanılabilirliği demografik değişkenlerden bağımsız olarak, benzer düzeyde değerlendirilmiştir. Bu bulgu, geliştirilen eğitim yönteminin farklı cinsiyetler-uzmanlık-deneyim düzeylerinden kullanıcılar için, “eşit derecede erişilebilir ve anlaşılır” olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle, kapsayıcı bir kullanıcı deneyimi sunma hedefini başarıyla karşılamaktadır.

2025, xi + 95 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğaltaş ocağı, Sanal gerçeklik, İSG eğitimi, Ciddi oyunlar, Eğitsel yazılım.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DEVELOPMENT OF A VIRTUAL REALITY-BASED SERIOUS GAME IN NATURAL STONE MINING

Mustafa GÜRSOY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

In this study, it is aimed to teach occupational health and safety (OHS) rules that must be observed in natural stone quarries and the operating principles of cutting machines to associate, undergraduate, and graduate students studying in mining engineering and marble technology departments through the use of virtual reality (VR) technologies. A serious game has been designed using virtual reality technology to enhance students' learning speed and ensure more permanent retention of the subject matter by immersing them in a natural stone quarry environment where they learn about OHS and the operation of block cutting machines. Within the application, users dress a mannequin with the necessary and appropriate Personal Protective Equipment (PPE) in a virtual mining site. Additionally, a stage has been added where users must select the correct safety sign from among various warning signs placed throughout the quarry in accordance with OHS regulations. After completing all these stages, the score achieved is displayed on the screen. On the other hand, models of the diamond wire saw, chain arm cutter, and frame saw machines used in natural stone quarry production have been included in the design. During the cutting process, users can observe how changes in feed and rotation speeds affect current, power, and specific energy on the machine control panel indicators. This demonstrates that it is possible to provide training in a virtual reality environment on how to achieve optimal cutting speeds, reduce wire wear, minimize energy consumption, and decrease production losses. A total of 22 students from Afyon Kocatepe University's Mining Engineering Department, 13 associate degree students from the Marble

Technology Department, and 22 students from the University of Queensland's Mining and Mechanical Engineering Departments in Australia voluntarily participated in the application and subsequently answered a survey about the experience. As a result, the usability of the practical training delivered via VR technology was evaluated similarly regardless of demographic variables. This finding indicates that the developed training method is "equally accessible and comprehensible" for users of different genders, areas of expertise, and experience levels. In this respect, it successfully meets the goal of offering an inclusive user experience.

2025, xi + 95 pages

Keywords: Natural stone quarry, Virtual reality, Virtual OHS training, Serious games, Educational software.

TEŞEKKÜR

Bu gelecekçi araştırma konusunun belirlenmesinden itibaren, teorik ve uygulama çalışmalarının yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı değerli tez danışmanım Prof. Dr. İ. Sedat BÜYÜKSAĞIŞ'e teşekkürlerimi sunarım. TÜBİTAK tarafından desteklenen projemi tamamlamam için beni The University of Queensland/Avustralya'ya davet eden Doç. Dr. Mehmet KIZIL'a, tez projesi gelişim süresince öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. İrfan C. ENGİN, Doç. Dr. Mustafa ERKAYAOĞLU'na ve Doç. Dr. Fatih ÖZDİNÇ'e teşekkür ederim. Projemi yaparken kodlama konusunda desteklerinden dolayı Büşra ER'e ve Yiğit ÖZÇELİK'e teşekkür ederim. Araştırma ve yazım süresince teknik desteklerini esirgemeyen Recep KURTULUŞ'a, İbrahim ÇELİK'e ve Mehmet Ali UĞUR'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep arkamda gördüğüm kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

The University of Queensland'da "2214-a Doktora Sırası Yurt Dışı Araştırma Bursu" ile 1 yıl boyunca bu araştırmayı bitirmemi destekleyen ve finanse eden TÜBİTAK BİDEB'e teşekkür ederim.

Mustafa GÜRSOY
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Önemi	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Önceki Çalışmalar	5
1.3.1 Eğitim Alanında Yapılan Çalışmalar	6
1.3.2 Endüstriyel Alanlarda Yapılan Çalışmalar	19
2. SG TEKNOLOJİLERİ VE KULLANIMI	30
2.1 Donanımlar	30
2.1.1 Kask Teknolojileri (Head-Mounted Displays-HMD)	32
2.1.2 İzleme Sistemleri	33
2.1.3 Ses Donanımları	35
2.1.4 El Kontrol Sistemleri	36
2.2. Sanal Gerçeklik Sistemleri Sınıflandırılması	36
2.2.1 Daldırma Tipi Sanal Gerçeklik	37
3. MATERYAL ve METOT	39
3.1 SG Uygulamasında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri	39
3.2 SG Uygulamasında Kullanılan Yazılımlar	40
3.3 ADDIE Öğretim Tasarım Modeli	41

3.3.1 Analiz (Analysis)	42
3.3.2 Tasarım (Design).....	43
3.3.3 Geliştirme (Development).....	47
3.3.4 Uygulama (Implementation)	54
3.3.5 Değerlendirme (Evaluation).....	62
4. SG YARDIMIYLA DOĞALTAŞ MADENCİLİĞİ EĞİTİMİNİN PERFORMANS ANALİZİ.....	66
4.1 Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (System Usability Scale – SUS).....	66
4.2 SUS Puan Sonuçları.....	68
4.3 Verilen Cevapların Değerlendirilmesi	72
5. SONUÇLAR.....	73
7. KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	93
EKLER	95

KISALTMALAR DİZİNİ

AI	Artificial Intelligence
AG	Artırılmış Gerçeklik
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
MR	Mixed Reality
SG	Sanal Gerçeklik
YZ	Yapay Zekâ
VR	Virtual Reality



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Laboratuvar ortamında SG ekipmanları kullanarak mermer ocağı operasyonları eğitimi	3
Şekil 3.1 ADDIE öğretim tasarım modeli bileşenleri.	42
Şekil 3.2. Uygulama akış diyagramı.	44
Şekil 3.3 Doğru kişisel koruyucu donanımın (KKD) seçimi.	45
Şekil 3.4 İş sağlığı ve güvenliği (İSG) uyarı levhaları.	46
Şekil 3.5 Doğal taş ocağı yerleşim planı tasarımı.	47
Şekil 3.6 Tasarlanan ocak modeli.	48
Şekil 3.7 Elmas tel kesme makinası modeli.	49
Şekil 3.8 Zincirli kollu kesici modeli.	50
Şekil 3.9 Sayalama makinası modeli.	50
Şekil 3.10a Makine modellerinin taslak ocakta görünüşleri.	51
Şekil 3.10b Makine modellerinin taslak ocakta görünüşleri.	51
Şekil 3.11a Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.	52
Şekil 3.11b Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.	52
Şekil 3.11c Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.	53
Şekil 3.11d Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.	53
Şekil 3.12 Doğru KKD kullanımı etkileşimi.	55
Şekil 3.13 Doğru uyarı levhası seçme etkileşimi.	55
Şekil 3.14 Doğru uyarı levhası seçme etkileşimi.	56
Şekil 3.15 Doğru uyarı levhası seçme etkileşimi.	56

Şekil 3.16 Doğru tabela seçme script.	57
Şekil 3.17a Taş düşme etkileşimi.....	58
Şekil 3.17b Taş düşme etkileşimi.	58
Şekil 3.18 Taş düşme script.....	59
Şekil 3.19a Makine modelleri.	59
Şekil 3.19b Makine modelleri.	60
Şekil 3.19c Makine modelleri.	60
Şekil 3.20 Makinaların gösterge paneli.....	61
Şekil 3.21 Gruplara göre puan dağılımı ve betimsel istatistikler.	65
Şekil 4.1 Sistem kullanılabilirlik ölçeği demografik dağılımları.	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 SG kullanımı ve uygulama alanları.....	31
Çizelge 2.2 Sanal gerçeklik sistemleri sınıflamaları.	37
Çizelge 3.1 HTC Vive setinin çalışması için gerekli donanım listesi ve mevcut donanım bilgileri Kıyası.	39
Çizelge 3.2 Anket katılımcı sayıları ve cinsiyet dağılımları.	63
Çizelge 3.3 Anket katılımcı frekans ve yüzde dağılımları.	64
Çizelge 3.4 Demografik değişkenlere göre puanların ortalama ve standart sapmaları. .	64
Çizelge 4.1 Anket soruları ve kategorileri.....	68
Çizelge 4.2 Anket katılımcı sayıları ve cinsiyet dağılımları.	69
Çizelge 4.3 Anket soruları ve kategorileri.....	72

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Önemi

Günümüz dijital çağında Sanal Gerçeklik (SG) ve Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojileri ile yapılabilecek işler hesaplama ve veri işleme süreçlerinin yanı sıra, eğitimden sağlığa, savunmadan tüm mühendislik dallarına kadar birçok alanda bilgi aktarımı, karar verme ve deneyim kazandırma süreçlerinde aktif bir rol üstlenmektedir. Hayatı kolaylaştıran bu teknolojiler sayesinde bireyler karmaşık yapıları daha etkin öğrenebilmektedirler (Reiners vd. 2014) ve etkileşimli ortamlar sayesinde geleneksel öğrenme yöntemlerine ek olarak kullanıldıklarında daha kalıcı ve kullanıcı merkezli çözümler üretildiği görülmektedir (Freina ve Ott 2015).

SG teknolojisi ilk başlarda yalnızca oyunlarda kullanılacak bir reform olacağı algısına karşı, zamanla bu önyargının bilgiye, deneyimlere ve insanın günlük hayatındaki etkileşimlerine yaklaşımımızı köklü biçimde değiştiren çok yönlü bir araca dönüşmüştür. SG'nin tarihte ilk bahsedilmeye başlanması 1960'lara kadar uzansa da, "Virtual Reality (VR)" terimi ilk kez 1987 yılında Jaron Lanier tarafından kullanılmasından sonra bu kavramla teknolojinin evrilerek yayılmasında çok önemli bir dönüm noktası olmuştur (Jans vd. 2023).

SG'nin temel prensibi ve çalışma şekli; kullanıcıların üç boyutlu, etkileşimli ve sürükleyici ortamlarda çoklu duyularla deneyim yaşayabilmesine imkân tanınması olarak özetlenebilir. Bu özelliklerin yardımıyla, yalnızca görsel-işitsel deneyimle sınırlı kalmayıp, dokunsal geribildirim gibi duysal bütünlüğü sağlayan uygulamalarla gerçeklikle birebir aynı olan bir öğrenme ortamı sunmaktadır. SG'nin imkân verdiği bu potansiyelle çok kritik bir hale gelmektedir. Özellikle teknik bilgi yoğunluğu fazla olan ve oldukça yüksek riskleri bünyesinde barındıran mühendislik alanlarında, örneğin madencilikte, inşaatlarda vb. fiziksel dünyaya oldukça benzer nitelikte ve gerçekçi simülasyonlar hazırlanarak karmaşık sistemlerin öğrenimini kolaylaştırmaktadır. Üretim veya yapım aşamalarında saha erişiminin kısıtlı olduğu ortamlarda eğitimde eşitlik ve erişilebilirlik sunmaktadır. Bu sayede bireyler, yüksek tehlike içeren koşulları risksiz bir

biçimde deneyimleyerek bilgi ve becerilerini geliştirebilmektedir.

SG teknolojisinin kullanılma alanları arasında ilk sırada askeri pilotların uçuş simülatörlerindeki eğitimler gelmektedir. Bu kullanım zamanla diğer sektörlerle yayılmıştır (Hardless vd. 2015). İlk yardım eğitimi, tıbbi müdahale senaryoları, askeri taktik prosedürleri, iş gücü eğitimleri, kimya laboratuvar deney gösterimleri, madencilikte eğitimler gibi birçok çeşitli alanda aktif olarak günümüzde kullanılmaya başlanmıştır (Xie B vd. 2021). Eğitimden sağlığa, eğlence sektöründen mühendislik uygulamalarına kadar çok farklı alanda çok farklı kullanıcıya sunduğu etkileyici ve öğretici etkileşimler sayesinde vazgeçilmez bir teknoloji haline gelmiştir (Stone 2001, Man vd. 2020, Li Y vd. 2021). SG ile güvenli, düşük maliyetli ve gerçeğe çok yakın yüksek etkileşimli ortamlar hazırlayarak, gerçek dünyada yaşanan veya karşılaşımla ihtimali yüksek olan risklerin bertaraf edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede eğitim süreçlerinin verimliliği önemli ölçüde artarken daha kaliteli bir öğrenme sağlanabilir. Tüm bu gelişmeler SG teknolojisini günümüzde eğitim, araştırma ve mesleki gelişim ve ilerleme alanlarında disiplinler arası iş birliği oluşturma ve yenilikçi öğrenme ortamlarını destekleyen temel bir araç haline gelmiştir (Leung vd. 2018, Dhar vd. 2023). Teknoloji sayesinde tüm olanaklarla uygulaması zor ve tehlikeli olan birçok sektörde eğitim süreçlerine entegrasyonu neticesinde önemli kazanımlar sağlamaktadır.

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından da en tehlikeli iş kollarından olan madencilik ve inşaat sektörlerinde özellikle de yeraltı madenciliklerinde yetersiz güvenlik eğitimi ve düşük risk farkındalığı iş kazalarına sebep olmaktadır. SG ve benzeri teknolojilerle İSG eğitimleri yapılması; güvenlik, verimlilik ve öğrenme kalıcılığı açısından önemli faydalar sunmaktadır (Van Wyk E ve De Villiers 2009, Pedram vd. 2017). Gerçek dünyadaki olabilecek durumlar ve riskler göz önüne alındığında SG simülasyonları sayesinde çalışanların riskli durumlara maruziyetlerini ortadan kaldırmak mümkün olabilir. SG eğitimi, fiziksel kaynaklara ihtiyaç duyulmaksızın tekrar edilebilir olması sayesinde geleneksel yöntemlere kıyasla hem zaman hem de maliyet açısından avantaj sağlamaktadır (Kizil M S 2007). Bu uygulamalarla özellikle yeni personelin daha hızlı ve etkili bir şekilde işe adaptasyonunu mümkün kılarak genel üretkenliğe katkı sunmaktadır (Pedram vd. 2016). Güvenli bir ortamda eğitimlerini tamamlayan kullanıcılar stres

altında karar verme gibi kritik bilişsel becerilerini geliştirebilmekte ve güvenli bir ortamda tehlikeli durumlara hazırlanabilmektedir (Tichon ve Burgess-Limerick 2011). Bunun yanı sıra, SG'nin sunduğu gerçekçi ve etkileşimli ortamlar, katılımcıların öğrenme sürecine olan ilgisini artırmakta ve bilgilerin kalıcılığını güçlendirmektedir. Eğitim alanlarından alınan geri bildirimler, SG uygulamalarının hem gerçekçilik düzeyinin hem de genel etkililiğinin yüksek oranda olumlu değerlendirildiğini ortaya koymaktadır (Van Wyk E ve De Villiers 2009, Pedram vd. 2017).

SG yöntemi ile yapılan eğitimle geleneksel eğitime destekleyici nitelikte uygulamalar yapılması eğitilecek yeni personelin oryantasyon süresini de hızlandırabilir. Tamamlayıcı uygulama yöntemlerinden olan geleneksel eğitimler de es geçilmemeli, hibrit eğitim modelleri geliştirilmelidir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Laboratuvar ortamında SG ekipmanları kullanarak mermer ocağı operasyonları eğitimi (İnt. Kyn. 1).

Madencilik faaliyetleri yeterli bilgi birikimi ve teknik yeterlilik gerektiren bir alan olduğu için çalışanların eğitim konusunda yalnızca teknik bilgi aktarımıyla sınırlı kalmadan sahadaki uygulamaları da deneyimleyerek öğrenmesi çok önem arz etmektedir. Görsel ve işitsel duylara hitap eden bu ortamlar, kullanıcının üç boyutlu bir ortamda bulunuyormuş gibi hissetmesi sağlanarak, dikkatini çekerek kavramsal öğrenmeyi güçlendirmektedir. Madencilik için gerekli eğitimleri, sahada karşılaşılabilecek üretim ekipmanları, jeolojik yapıların görselleri, riskli durumlar ve güvenlik prosedürleri simülasyon ortamında

gözlemlenebilmekte ve uygulanabilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, geleneksel doğal taş madenciliği eğitiminde uyulması gereken bazı İSG kurallarının öğretilmesi ve bazı mermer blok kesim makinaların kullanımlarının SG teknolojisiyle öğretilmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında klasik bir doğal taş ocağı modellenmiş olup, mesleki yeterlik anlamında kişilerin desteklenmesi, rehberlik edilmesi öncelikli hedeflerdendir. Sektöre yeni başlayanların, maden mühendisliği veya mermer teknikerliği öğrencilerinin doğal taş ocakçılığına dair seçilmiş bazı konuları etkileşimli olarak kavramaları sağlanmak istenmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarına göre; doğrudan doğaltaş madencilik eğitimi konusunda yapılmış yerli ve yabancı literatürde herhangi bilimsel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılması planlanan çalışma ile bir açık doğal taş ocağı sanal ortamda oluşturularak kullanıcıya öncelikle sahaya gitmeden arazi hakkında ön çalışma yapıp bilgilendirme verilebilmesi mümkün olacaktır. Doğal taş ocaklarında kullanılan blok kesme makinalarının çalışma prensipleri, iş sağlığı ve güvenliği için dikkat edilmesi gereken hususların eğlenceli bir şekilde öğretilmesi planlanmıştır. Öğrencilerin halen derslerde teorik olarak aldığı veya stajlarında gördüğü temel bazı bilgilerin, SG yardımı ile ders içerisinde detaylıca ve uygulayarak öğrenmeleri hedeflenmiştir.

Sketch-up ve Unity3D gibi paket programlar kullanılarak tasarlanan örnek bir doğaltaş ocağına özgü İSG kurallarının öğretilmesi, tehlikeli durumların senaryolaştırılarak tecrübe kazandırılması ve ocak mermer blok kesim makinalarının kullanımları gibi bir SG uygulaması oluşturulmuştur. Bu uygulama literatürde “ciddi oyunlar (serious games)” sınıflamasına girmektedir. Teknoloji açısından gelişmiş ülkelerde SG destekli madencilik eğitimlerinin yaygınlaşmaya başladığı görülmektedir. Aynı zamanda sektör de yapay zeka ve otonom destekli yöntemlerle bu teknolojinin kullanımı günden güne artmaktadır.

Avustralya’da The University of Queensland öğrencilerinden gönüllü olan 22 kişiye, Türkiye’de Afyon Kocatepe Üniversitesinde 22 lisans öğrencisine ve 13 önlisans öğrencisine bu tez kapsamında oluşturulan SG içeriği uygulatılmıştır. Uygulama sonrasında değerlendirme için Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (System Usability Scale-

SUS) anketleriyle analiz edilmiş ve dijital teknolojilerin mesleki eğitimdeki etkisi ortaya konulmuştur.

Ülkemizde hem eğitim kurumlarında hem de madencilik sektöründe SG-AG teknolojileri ve uygulamalarının henüz yeni başlangıç seviyesinde olması ve bu alanda yeteri seviyede ürünler oluşmamış olması, bu çalışmanın önemini ve özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

SketchUp ve Unity3D paket programları kullanılarak özel olarak tasarlanmış bir doğal taş ocağında, kullanıcı merkezli bir tasarım anlayışıyla eğitim senaryoları, katılımcıların nasıl davranmaları gerektiğini, acil durumlarda problem çözme ve karar verme yeteneklerinin pekiştirilmesi sağlanacaktır. Mesleki eğitim müfredatına uygun bir şekilde hazırlanan bu uygulamayla sektör paydaşları yaygın olarak kullanabilecektir. Böylece iş kazalarının azaltılması, eğitim sürelerinin minimize edilmesi ve üretim süreçlerinde verimlilik artışı sağlanarak hem öğrenci eğitimine hem de personel eğitimine katkı sağlaması amaçlanmaktadır. Pedagojik ve operasyonel açıdan süreçlere değer katılması hedeflenmektedir.

Özetle, yapılan bu tez doğal taş madenciliğinde sanal gerçeklik teknolojisinin eğitim ve öğretim süreçlerine katkılar sağlayıcı uygulama geliştirmeyi, bu teknoloji sayesinde sektörde de uygulama aşamasında güvenliği artırma, üretkenliği iyileştirme ve dijital dönüşüme katkı sağlama potansiyeli oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylece SG teknolojisi yalnızca bir eğitim aracı değil aynı zamanda sürdürülebilir ve yenilikçi bir endüstriyel çözümü olarak ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

1.3 Önceki Çalışmalar

AG ve SG uygulamalarının eğitim-öğretim süreçlerinde kullanılmasının önemi her geçen gün artmaktadır. AG ve SG teknolojileri öğrenme sürecinde somut örnekler sunabildiğinden daha verimli bir öğrenme ortamı sağlamaktadır. Bu nedenden dolayı AG ve SG uygulamaları eğitimin zenginleştirilmesi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Bu teknolojilerin okullarda başarıyla kullanılabilmesi için müfredat gereksinimlerine uygun içeriklerin sağlanması gerekmektedir. Aynı zamanda, endüstrilerde de eğitim amaçlı

kullanımlar yıllardır yapılmaya başlanmıştır.

1.3.1 Eğitim Alanında Yapılan Çalışmalar

Maden mühendisliği öğrenci eğitiminde öne çıkan çalışmaların ve özellikle son on yılda yapılan güncel çalışmaların özetleri aşağıda sıralanmış olup, mühendislik eğitiminde teknoloji kullanımı ile ilgili ve sanal gerçeklik destekli program içeriğine sahip çalışmalardan bahsedilmiştir.

Kizil M S vd. (2004) çalışmalarında madencilik sektöründe güvenlik ve verimlilik artırmada eğitimin kalitesine dikkat çekerek SG teknolojisi ile bu alanda iyi eğitim verilebileceğini öne sürmüşlerdir. Gerçek saha deneyiminin yerini tam almasa da SG tabanlı eğitim uygulamalarının eğitim sürelerini kısalttığı, öğrenme etkinliğini artırdığı ve maliyetleri düşürmek açısından tercih edilmesi gerektiği önerilmiştir. Madencilik uygulamaları için; sondaj makinesi kullanımı, çeşitli kaya özelliklerinin tespit edilmesi ve havalandırma simülasyonu gibi modüller tasarlanmıştır. Queensland Üniversitesi Deneysel Maden'i için yapılan bu uygulamalar sayesinde öğrenciler sanal ortamda gerçekçi bir öğrenme deneyimi kazanmaktadırlar.

Mallett ve Unger (2007) çalışmalarında madencilik eğitiminde SG teknolojisinin potansiyeli ve uygulanabilirliğini irdelemişlerdir. Endüstri 4.0 modüllerinden birisi olan SG teknolojisinin madencilik sektöründe yaşanan ve yaşanacak dijital dönüşümünde “Geleceğin Sanal Madeni” ve “Geleceğin Sanal Kesiti” gibi projelerin önemine dikkat çekilmiş ve projelerin hayata geçirilmesi için teknolojik bir platformun oluşturulması gerekliliği vurgulanmıştır. Hindistan’da yürütülen Smart Mine ve Smart Cut projeleri örnek olarak sunulmuş ve madencilik süreçlerine SG tabanlı çözümler ve destekler getirilmesi ile daha güvenli, verimli ve etkileşimli eğitim ortamlarının oluşturulabileceği ifade edilmiştir. Madencilikte SG eğitimlerinin yalnızca teknik yeterlilik değil aynı zamanda güvenlik kültürü güçlendirmesi açısından da kritik bir araç olduğu ortaya konmuştur.

Webber-Youngman ve Van Wyk (2009) çalışmalarında Güney Afrika’daki maden

firmalarını iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelemişlerdir. Belirtilen tarihe kadar olmuş olan kazalar değerlendirilmiş ve bu olumsuz vakaların yaşanmasının temelinde eğitim eksikliği olduğu sonucuna varılmıştır. Çoğu şirketin sıfır zarar politikaları amaçlanmışken eğitim açısından çalışanların farklı yöntemlerle desteklenmesi gerektiği bu çalışma ile ortaya konmuştur. Olası kazaların meydana gelme koşulları ve yapılan hatalar önceden simüle edilerek SG teknolojisiyle verildiğinde çalışanlarda daha kalıcı bilgilendirme tespit edilmiştir. 309 kişiye çevrimiçi yapılan ankette; %87'sinin simülasyondaki objeleri kolayca tanımlayabildikleri, %93'nün sistemi kullanmanın kolay olduğu, %95'inin bu sistemi eğlenceli öğrenme kategorisinde değerlendirdikleri ve %84'ünün diğer eğitim metodlarından SG ortamında eğitimi tercih ettikleri sonuçlarına ulaşılmıştır.

Kizil M (2003) çalışmasında, SG teknolojisi ile madencilik eğitimleri ve sahadaki güvenlik konularını incelemiştir. Eğitim maliyetlerini düşürmek ve toplam eğitim sürelerini kısaltmak için bu metotla eğitim verilmesini güçlü bir araç olarak nitelendirmektedir. The University of Queensland'da bir araştırma grubu oluşturularak; veri görselleştirme, kaza senaryoları, makine ekipman kullanım eğitimleri gibi başlıklar altında bir çok uygulamaya imza atılmıştır. Çalışmada ekipman kullanımı ve havalandırma analizlerinin maden mühendisliği öğrencilerine öğretilmesi için, uzun ayak metodu gibi evrensel modellerin anlaşılması için ve blok çökmeleri gibi kaza senaryolarında neler yapılacağı ile ilgili bilgilendirmeler için bir çok sanal ortam oluşturulmuştur.

Tan B vd. (2014) madencilikte yangın önleme ile ilgili SG tabanlı eğitim simülatörü hazırlayarak karşılaşılan zorlukların aşılması konusunda uygulama geliştirmişlerdir. Farklı yangın türlerine ve bu yangınlara karşı yapılacak söndürme yöntemlerinin denetildiği bir simülasyon hazırlanmıştır. Özellikle köpüklü yangın söndürücü ekipmanları örnek alınarak sanal ekipman tasarımı ve uygulamaları detaylı olarak gösterilmiştir. SG teknolojileri sayesinde maden yangınlarına karşı güvenli bir ortamda eğitim maliyetlerini önemli oranda düşürerek uygulamalar yapılması ile hedeflere ulaşmada başarı sağlanmıştır. Geleneksel eğitim yöntemlerine alternatif veya destekleyici eğitim modülü şeklinde yorumlanmıştır.

Akkoyun ve Careddu (2015) çalışmalarında, maden mühendisliği ile ilgili derslerin öğretiminde kullanılması için görsel ve etkileşimli bir simülasyon hazırlamışlardır. Bu eğitim aracıyla gerçek bir manyezit madeni örnek olarak seçilmiş ve görsel veriler bu madenden elde edilmiştir. Programda 100 farklı değişken, 14 farklı pencere ve çok sayıda modül içeren kapsamlı bir yapıya sahiptir. Geliştirilen sistemin, üniversitelerde sondaj ve patlatma, kazı ve nakliye, boyut küçültme ve manyetik ayırma gibi çeşitli madencilik konularında temel bilgileri öğrencilere öğretmede etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu program, jeoloji ve jeofizik gibi diğer madencilikle ilişkili bölümlerde de genel madencilik bilgisi olarak aktarılabilceği önerilmektedir. Uygulamalı madencilik eğitimine katkı sağlaması amacıyla önemli bir örnek olduğu ileri sürülmektedir.

Grabowski ve Jankowski (2015) çalışmalarında, en tehlikeli işkollarından biri olan maden sektörünün özellikle genç çalışanlar için mesleki adaptasyonu kolaylaştıracak ve İSG farkındalığını artıracak yeni çözümlere ihtiyaç duyulduğuna dikkat çekmişlerdir. SG teknolojisi kullanılarak geliştirilen pilot eğitim programı yeraltı kömür madenciliğinde çalışan 21 kişinin katılımıyla çalışma gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar iki farklı hareket yakalama sistemi ile simülasyonlara katılmış; ayrıca farklı görüş alanlarına sahip başa takılan ekranlar (110° geniş ve 45° dar) karşılaştırılmıştır. Yüksek düzeyde etkileşimli SG ve geniş görüş açısına sahip sistemler, neredeyse tüm katılımcılar tarafından en etkili eğitim çözümü olarak değerlendirilmiş; eğitimden üç ay sonra bile olumlu etkilerin hissedildiği belirtilmiştir. Elde edilen bulgular, Polonya'daki bazı maden işletmeleriyle iş birliği içinde çalışan eğitim merkezlerini, SG tabanlı simülasyonları genç madenciler için temel eğitim programlarına dâhil etmeye teşvik etmiştir.

Chen Z vd. (2016) çalışmalarında günümüzde geleneksel maden mühendisliği eğitimlerinde karşılaşılan temel sorunları ele alarak bu sorunların çözümüne dair dijital madencilik teknolojisi öğretim modeli önermişlerdir. Madencilik bilgilerinin gösterimi, mesleki uzmanlık oluşturulması ve madencilik ortamının 3D dijital modelleme ile temsil edilmesi olguları geliştirilen bu modelde verilmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımla öğrencilerin hem kavramsal bilgileri hem de saha operasyonlarını daha iyi kavramaları sağlanmıştır. Örnek modelde eğitmen, öğrenci ve saha çalışanlarının 3D simülasyonlarla

ve dijital veriler sayesinde teorik bilgi ile uygulama arasında köprü kurulmuştur. Uzaktan eğitim teknolojileri kapsamında saha çalışanlarının sınıf içi eğitime katkı sumaları sağlanmış olup, öğrencilere birincil deneyim aktarımı mümkün olmuştur. Madencilik eğitiminde dijitalleşme yaklaşımı, öğrenciler üzerinde hem etkisini artırmakta hem de verimliliği artırma potansiyeli taşıdığı vurgulanmıştır.

Harrod (2016) çalışmasında açık kömür ocağında SG simülasyonu gerçekleştirerek madencilik eğitiminde kullanılabilirliği araştırmıştır. Öğrenci olarak kullanıcıların eğitim değiştirme izlemelerine ve gerçekleştirebilecek olası arızaları yerinde tespit ve değerlendirmelerine yardımcı olduğu tespit edilmiştir. 19 öğrenci grubuna uygulanan bu çalışma sonucunda öğrenme çıktılarında %32'lik bir iyileşme ortaya koyulduğu bulgusuna ulaşılmıştır. SG madencilik eğitiminde teori ve pratik eğitimler arasında kalan boşluğu kapatmada bu teknolojinin kullanımının rolünün güçlü olduğu vurgulanmaktadır.

Qi vd. (2016) çalışmalarında SG teknolojisinin uygulanmasına yönelik kömür üretim yüzeylerinde 3B mekanize madencilik sistemi geliştirmişlerdir. 3DS Max ve Quest 3D yazılımlarıyla tam sahne gezileri tasarlanmış, ekipman simülasyonlarıyla kömür kesici, hidrolik tahkimat ve zincirli konveyör gibi temel ekipmanların çalışma prensipleri etkileşimli kontrollerle gerçekleştirilmiştir. Özellikle sanal kontrol sırasında oluşabilecek çarpmaları önlemek için bazı algoritmalar kullanılmış ve yeraltı madenciliğinde gerçekçi güvenli ve etkileşimli eğitim ortamları oluşturmada önemli katkılar sağlanmıştır.

Abdelrazeq vd. (2019) maden mühendisliği eğitiminde sanal gerçeklik teknolojisinin uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla VR-Mine adına bir eğitim aracı geliştirmişlerdir. Bu sistem yardımıyla, öğrencilerin maden sahalarını sanal ortamda ziyaret etmelerine, yer altı yapılarıyla etkileşim kurmalarına ve madencilik aşamalarını/süreçlerini üç boyutlu olarak deneyimlemelerine imkan sağlamaktadır. Geleneksel eğitimlerde sınıf içerisinde 2D görsellerle kısıtlı olan anlatıma alternatif olarak, VR-Mine sistemi öğrencilere daha gerçekçi görsellerle ve etkileşimlerle bir öğrenme ortamı sunmaktadır. Ayrıca bu uygulama, karmaşık verilerin anlaşılmasını kolaylaştıran “Öğretmen 4.0” yaklaşımına katkı sağlamakta ve öğrenme kalıcılığını artırmaktadır.

Kamińska vd. (2019) SG teknolojilerinin eğitimdeki kullanımlarına yönelik bir derleme hazırlamışlardır. Öğrencilerin soyut düşünme gerektiren karmaşık kavramları veya hiç görmedikleri bir ortamı düşünmekte ve anlamakta zorlandıkları için geleneksel eğitim ortamlarının geliştirilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir. Günümüzde geleneksel eğitim yetersizlikleri hesaba katıldığında dünya çapında giderek teknolojik araçların eğitime entegre olduğu görülmektedir. Son yıllarda oyun sektörlerinin profesyonelce gelişimleri SG teknolojisinin eğitim süreçlerinde bilgi edinimini ilgi çekici ve etkileşimli hale getirerek öneminden bahsedilmiştir. Genel eğitim, mühendislik eğitimi, sağlık eğitimi gibi çok çeşitli alanlarda nasıl kullanıldığı araştırmada bahsedilirken ek olarak senaryo oluşturma, test etme ve doğrulama yaklaşımlarına dair yöntemler paylaşılmıştır. SG tabanlı eğitimlerle öğrenme deneyimleri iyileştirilmekte ve bu güncel eğilimler, bulunan eksikler sayesinde karşılaşılan zorlukların üstesinden gelineceği diğer araştırmalara yön vereceği öne sürülmektedir.

Lépez (2019) tarafından yapılan çalışmada, maden mühendisliği öğrencilerinin sanal gerçeklik, mobil uygulamalar, web platformları ve hologramlar gibi son teknolojik yeni nesil öğrenme sistemlerine yönelik ilgilerini değerlendirmek amaçlanmaktadır. Teknoloji Kabul Modeli-3 temel alınarak geliştirilen anket formlar Likert tipi anket uygulanmış ve veriler SPSS yazılımı ile analiz edilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı kullanılarak değişkenlerin aralarındaki ilişkiler ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre öğrencilerin teknolojik öğrenme sistemlerine genel olarak ilgi gösterdiklerine ancak öğrenme platformlarının kullanımında yardıma ihtiyaçları olduğu ve teknolojik deneyim eksikliği gibi zayıf alanların varlığını ortaya koymuştur. Bu ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla hem öğrencilerin hem de öğreticilerin görsel ve etkileşimli beklentilere hitap edecek bir web platformu geliştirmişlerdir.

Liang vd. (2019) çalışmalarında yeraltı madenlerinde kaya kaynaklı tehlikelere yönelik güvenlik bilgisinin eğitim ortamında daha iyi aktarılması için SG uygulamalı ciddi bir eğitim oyunu geliştirmişlerdir. Video ve slaytlar gibi geleneksel eğitim metotlarına takviye olması açısından geliştirilen bu oyun, Unity3D oyun motoru üzerinde inşa edilmiş ve HTC Vive ile desteklenerek kullanıcıya etkileşimli deneyimler verilmiştir. Geliştirilen bu uygulamadaki iki seçenekten birisi yeni başlayanlar için kazı yüzeyi temizleme

eğitimi, diğeri ise diğer madenciler için kaya kaynaklı tehlike farkındalığı eğitimidir. Kullanıcılar bu senaryolarla öncelikle yönlendirilerek etkileşim yoluyla temel bilgiler edinmektedir ve ardından pratiklerle bilgilerini pekiştirmektedirler. Uygulamalar sonucundaki karşılaştırmalarla iki modunda da verimli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu oyunun yeraltı madenlerinde güvenlik durumunu iyileştirme ve madencilerin risk farkındalığına sahip olduklarını göstermektedir.

Stothard vd. (2019) alışmalarında maden sektörünün sürdürülebilirlik sağlaması hedeflerinin gerçekleşmesi için karma gerçeklik simölasyonlarının potansiyellerini incelemiştir. Son yüzyılın madenciliğinin çok sayıda birbirine bağlı süreç ve veri kümelerinin birbirine bağlı bir şekilde yürütölmesi gerektiği vurgulanarak KG teknolojisinin mevcut veriler sayesinde maden operasyonlarını modelleme, analiz etme ve karar verme süreçlerini güçlendirebileceği ifade edilmiştir. Maliyet, teknik altyapı eksikliği ve eğitim ihtiyacı gibi birçok temel engeller ile karşılaştıldığından dolayı hala KG teknolojisinin yaygın kullanılmadığına dikkat çekilmiştir. Sektörün genelinde bütüncöl ve sürdürülebilir stratejilere ihtiyaç duyulduğu ve bu teknolojilerin her yerde kullanılması gerektiği tavsiye edilmiştir.

Suppes vd. (2019) alışmalarında, geleneksel yöntemlerle aktarılması zor olan karmaşık 3B madencilik süreçlerinin, SG teknolojisi aracılığıyla daha etkili biçimde öğretilerebileceği savunularak, RWTH Aachen Üniversitesi ve TalTech Üniversitesi iş birliğiyle geliştirilen VR-Mine adlı dijital madencilik eğitim geliştirilmiştir. Öğrencilere, laboratuvar ortamlarında tehlikeli veya yüksek maliyetli maden ortamlarına gitmeden doğrudan 3B olarak deneyimleme fırsatı sunan bu sistem, aynı zamanda sektör çalışanlarının güvenli ve kontrollöl ortamlarda özel eğitim almasına olanak sağlayarak genel sağlık ve güvenlik standartlarının yükseltilmesine katkı sunmayı hedeflemektedir. Çalışma, bir madenin tüm yaşam döngüsünü gösteren kapsamlı bir sanal ortam oluşturmaya amaçlarken dijitalleşen maden mühendisliği eğitiminin geleceğinde kilit rol oynayacağını ileri sürmektedir.

Zhang H vd. (2019) alışmalarında maden güvenliğini sağlamak için SG tabanlı bir eğitim sistemi değerlendirilmesine yönelik bulanık mantık temelli kapsamlı bir analiz

gerçekleştirmişlerdir. Mevcut çalışmaların SG uygulanmasına odaklanıldığı fakat bu sistemlerin bileşenlerinin değerlendirilmesi konusuna daha önce çok az değinildiği tespit edilmiştir. Analitik Hiyerarşi Süreci ile yapılan değerlendirmede yazılım bileşeni %49,62 ağırlıkta en kritik unsur olarak öne çıkmıştır. Her bileşenin bulanık mantık yaklaşımıyla analiz edilmesi sonucunda SG eğitim sistemlerinin genel düzeyde “orta” etkililikte olduğu sonucuna ulaşılmıştır. SG eğitimlerinin eksik yönlerinin belirlenerek geliştirilmesi gerektiği ve bu sayede maden güvenliği eğitim etkinliğinin de artacağından bahsedilmiştir.

Van Wyk E A ve De Villiers (2019) çalışmalarında, Güney Afrika madencilik sektöründe SG destekli güvenlik eğitim sistemlerinin tasarım kalitesini değerlendirmek ve geliştirmek amacıyla bir uygulama tasarlamışlardır. Madencilik şirketlerinin işçi güvenliğini sağlama ve güvenlik kayıtlarını iyileştirme amaçları doğrultusunda etkileşimli ve gerçekçi SG teknolojilerinin eğitim amaçlı kullanımıyla iş ortamını tanıma, riskleri öngörme ve güvenli davranış geliştirme konularında önemli katkılar sunduğu belirtilmiştir.

Yang ve Wang (2019) çalışmalarında, SG teknolojisinin madencilik faaliyetlerinin planlanması ve jeoteknik analiz süreçlerine katkı potansiyeli ele alınmıştır. Çin'in Henan bölgesindeki bir maden sahası örnek alınarak SG ile dijital bir maden alanı modeli oluşturulmuştur. Çalışmada, kaya tabakasının mekanik özellikleri kaya kırılma süreci analiz sistemi kullanılarak değerlendirilmiş; dairesel, dikdörtgen ve destekli yeraltı galerilerinde kaya çatlama davranışları karşılaştırılmıştır. Farklı şekillerdeki galerilerin kırılma davranışlarının farklılık gösterdiği; çatlakların rastlantısal olduğu ve bazen kapalı veya yarı kapalı halka biçiminde kırık zonlarının oluşabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, uygun yer altı destek sistemlerinin kaya tabakasındaki çatlamları azalttığı ve galeri stabilitesini artırdığı belirlenmiştir. Bu bulgular, SG teknolojisinin yalnızca görsel bir eğitim aracı değil, aynı zamanda maden sahası planlamasında bilimsel rehberlik sağlayan bir analiz aracı olarak da kullanılabileceğini göstermekte ve madencilik çalışmalarının düzenli ve güvenli bir şekilde yürütülmesine katkı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Daling vd. (2020) çalışmalarında maden mühendisliği eğitiminde git gide azalan öğrenci sayısı, mali kaynak kısıtlamaları ve pahalı saha gezileri gibi yapısal sorunlara çözüm olarak KG (karma gerçeklik) teknolojilerinin kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Avrupa çapında yürütülen nitel bir görüşme çalışmasıyla KG tabanlı teknolojik araçların madencilik eğitiminde kullanılmalarıyla ilgili fırsatlar, riskler ve teknolojiye dair beklentiler analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, erişimi zor veya tehlikeli öğrenme senaryolarının laboratuvar ortamında canlandırılabilceğı, bu sayede öğrenme deneyiminin zenginleştirilebileceğini ortaya koymuşlardır. Ek olarak KG teknolojisini etkin şekilde kullanılmasının pedagojik alt yapı, teknik uygunluk gibi gereklilikler vurgulanmıştır.

Janiszewski vd. (2020) tarafından Aalto Üniversitesinde SG tabanlı öğretim sistemi geliştirilmiş olup kaya mühendisliği, jeoloji ve madencilik eğitimi alanlarında etkili bir uygulama tasarlanmıştır. “Yeraltı Sanal Eğitim Ortamı” isimli ilk olarak dizayn ettikleri uygulama ile yapısal haritalama ve kaya kütlesi karakterizasyonu eğitimi tasarlanmıştır. Öğrenciler SG öğrenme çıktılarındaki dağılımı azalttığı ve aktif öğrenme süresinin %50’den fazla artırdığını öne sürmüştür. Yaptıkları ikinci sistemde ise fotogrametri ile dijitalleştirilen 100’den fazla kaya ve mineral örneğı, öğrencilere çevrimiçi olarak sunularak kayaç tanımlama becerilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Her iki sistemde de eğitimde SG’nin pedagojik etkisinin yanında uzaktan inceleme, görselleştirme ve çok boyutlu veri iletişimi gibi mühendislik uygulamalarında da önemli katkılar sağlayabileceğı gösterilmiştir.

Sevim-Cirak ve Yıldırım (2020) çalışmalarında simülasyon oyunlarının maden mühendisliği öğrencileri tarafından eğitim amacıyla kullanımını araştırmışlardır. Ölçüt örnekleme yöntemiyle üç oyuncu seçilerek ve oyuncu olmayan diğer üç kişiyle beraber derinlemesine görüşmeler düzenlenmiş ve odak grup çalışmaları aracılığıyla veriler toplanmıştır. Oyun temelli uygulamalarda en belirgin faydalar görselleştirme, yaparak öğrenme ve motivasyon unsurları olarak öne çıkarken bağımlılık riski, ciddiyetsiz algılanma ve zaman yönetimi gibi potansiyel dezavantajlar da tespit edilmiştir. Oyunların etkileri öğrencilerin kişisel özellikleri ve ilgi alanlarına göre değişiklik göstermiştir. Sonuç olarak madencilik eğitimlerinde oyun temelli yaklaşımlar olumlu etkilere sahip olduğu öne sürülmüştür.

Levitskaya ve Straka (2021) çalışmalarında madencilik sektörüne nitelikli iş gücü yetiştirilmesinde yüksek kaliteli eğitim içeriklerinin önemini incelemiştir. Dijital kültür kavramı analiz edilerek bu kültürün eğitimdeki yeri, işleyişi ve yapısal ilkeleri tanımlanmıştır. Kitlesele olarak açık çevrim içi derslerin toplumsal yapılar üzerindeki etkileri de değerlendirilmiştir. Dijital dönüşümün sadece teknolojik değil aynı zamanda sosyo-kültürel bir değişim olduğu tespiti yapılmıştır. Eğitim içeriklerinin sanal ortamlarda aktarılması ve dijital teknolojilerin madencilik eğitimleri süreçlerine entegrasyonu mesleki eğitim sistemine yenilikçi katkılarda bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Li L vd. (2021) çalışmalarında maden sektöründe profesyonellere duyulan ihtiyacın artması, eğitim deneyiminde derinleşmeyi gerektirmiştir. Maden mühendisliği eğitimindeki yetersizlikler, eksik uygulamalı deneyimlerle eğitilmek ve çalışma mekanlarının farkındalığının kısıtlı olmaları eğitimde farklı bir soluk bulmayı gerektirmektedir. “Çağrışımsal Gelişme” yaklaşımı ile sanal simülasyon öğretim sistemi bir platform etrafında altı modül ve altı seviye olarak tanımlanmıştır. Bu sayede hiyerarşik bir çerçevede öğrenme sağlama modeli denenmiştir. Yeni eğitim modeliyle öğrenmenin iyileştiği ve madencilik eğitimini modernize etmeyi sağlayacağı bulgularına ulaşılmıştır.

Lindblom vd. (2021) madencilik eğitimi için SG ortamı olan MireBooks VR isimli bir ortam geliştirmişlerdir. Öğrencilerin tehlikeli ortamlara veya sahaya girmeden önce güvenli ve gerçeğe yakın görsellerle oluşturulmuş bir ortamda eğitilebilme potansiyelinden yola çıkarak bu uygulama yapılmıştır. Başa takılan HMD (Head Mounted Device) üzerinde çalışan sunucusunun çoklu kullanıcı bağlantıları yönetme kapasitesi latency ölçümleriyle test edilmiştir. Eş zamanlı olarak 30 öğrenci bağlantısı yapılabilmekte fakat ağ gecikmeleri yüzünden olumsuz etkiler oluşturulabileceği tespit edilmiştir. Çoklu SG ortamı kullanıcı senaryolarında hem teknik altyapı hem de kullanıcı deneyimi açısından dikkatle planlanması gerektiği vurgulanmaktadır.

Özyurt vd. (2021) mühendisliğin yer bilimleri özelinde sanal gerçeklik teknolojisinin eğitimde kullanılması ile ilgili araştırma ve kıyaslar yapılmıştır ve mevcut literatürde

boşluklar tespit edilmiştir. Geleneksel eğitim metotlarıyla günümüzde maden mühendisliği ve yer bilimleri mühendislikleri bir takım güvenlik risklerinden ötürü öğrencilerin anlatılanları kavramasında zorluk çekmektedir. İnceleme makalesi kapsamında yapılan bu araştırmada 19 önemli yayın seçilerek analizler yapılmıştır. Anlatıların kalıcılığı artırdığını ve mekânsal anlayışın geliştirildiği, kullanıcıların üzerindeki etkileri olarak tespit edilmiştir. Her sektör ve durum için ayrı uygulamaların yapılması gerektiği sonucuna da varılmıştır.

Jalil vd. (2022) çalışmalarında Covid-19 pandemisinin eğitim üzerindeki etkileri üzerine mühendislik eğitiminde SG teknolojisi ile esnek ve etkili bir öğretim metodunun nasıl konumlandığını incelemişlerdir. Bu süreçte öğrenme, öğretme ve değerlendirme olguları hızlı bir dönüşüme uğramış öğrencilerin deneyimlerini artırmada yenilikçi çözümler getirildiğinden bahsedilmiştir. Mühendislik öğrencilerine kavramları, bilgileri, becerileri ve yetkinlikleri daha eksiksiz bir biçimde kazandırma potansiyeli yanı sıra etkileşimli çok duyulu ve inandırıcı senaryolarla ve görsellerle öğrenme sürecini daha keyifli ve kalıcı hale getirildiği vurgulanmıştır. Endüstri 4.0 ile ürün tasarımları, maliyet yönetimleri, performans değerlendirme gibi mühendislik alanlarındaki karmaşıklığın arttığı bu dönemde SG destekli uygulamaların avantajlarından bahsedilmiş ve mühendislik eğitiminde daha kaliteli öğretim sağlandığı belirtilmiştir.

Tan Y vd. (2022) SG ve AG teknolojilerinin mimarlık ve mühendislik eğitim ve öğretim alanlarındaki uygulamalarına sistematik bir biçimde incelenmiştir. Scopus ve Web of Science veri tabanlarından elde edilen 82 çalışmanın analiz edildiği bu çalışmada tüm araştırmalar VOSviewer yazılımı ile değerlendirilmiş ve nitel analiz yoluyla bu çalışmalar uygulama alanlarına göre sınıflandırılmıştır. Meta-analiz yöntemiyle 17 çalışma üzerinden AG ve SG teknolojilerinin eğitim üzerindeki somut etkileri sayısal olarak verilmiştir. Bu teknolojilerin eğitimde kullanılması potansiyel gelişim açısından oldukça verimli olduğu öne sürülmektedir.

Al-Ansi vd. (2023) çalışmalarında son 12 yılda AG ve SG teknolojilerinin eğitim alanındaki gelişimleri incelenmiştir. Scopus veri tabanından seçilen 1536 makale üzerinde yapılan analiz sonucunda, SG ve AG teknolojilerinin eğitimde kullanılma

oranları üstel bir şekilde artış göstermiştir. Özellikle giyilebilir teknolojilerle, bu cihazların yaygınlaştırılmasında belirleyici bir rol oynamıştır. Kurumlarda bu eğitimlerin verilebilmesi için ciddi altyapı ve adaptasyon boşlukları olduğu vurgulanmıştır. Araştırmacılara, bu geçişler için süreçteki eksiklikleri tespit etmeleri ve stratejiler üretmeleri gerektiği önerilmektedir.

Chen L vd. (2023) çalışmalarında ABD’de maden mühendisliği eğitiminin mevcut durumu, sektör ihtiyaçları doğrultusunda sanayi perspektiflerinden değerlendirilmiş ve yeşil enerji dönüşümünü hızlandıran kritik mineral taleplerine karşı eğitim müfredatlarının yeterliliği sorgulanmıştır. Madencilik endüstrisinin görüşlerini almak için anket değerlendirilmesi yapılmıştır. Mezun olan öğrencilerin mevcut eğitim müfredatının yeterli olmadığı sektörel beklentileri karşılamadığı görülmüştür. Geliştirilmesi önerilen başlıca alanlar; madencilik tasarım deneyimleri, fizibilite çalışmaları, teorik ve uygulama arasındaki bağın kurulması ve genel maden işletme süreçlerine bütüncül kavranması yer almaktadır. Katılımcıların ileriki beş yıl içerisinde en çok saha deneyimi ihtiyaçları olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada öne sürülen dört temel öneri; eğitim reformlarının çok paydaşlı tekrar düzenlenmesi, saha deneyimlerinin eğitimde merkez bir yere oturtulması, üniversite-sanayi iş birliklerinin artırılması ve yapay zeka-sanal gerçeklik gibi yeni teknoloji uygulamalarının pedagojik kuramlarla uyumlu bir şekilde maden mühendisliği eğitimine dâhil olması gerektiği olarak sıralanmıştır.

Çellek (2023) araştırmasında yüksekte çalışma, risk belirleme, yangın ve makine kazaları ile ilgili simülasyonlar tasarlayarak SG ortamında öğrencilere uygulanmasını sağlamıştır. Kullanıcı deneyimlerini anketlerdeki sorularla analiz ederek, İSG eğitimlerinde SG teknolojisi kullanılmasıyla oldukça faydalı sonuçlar elde edildiğini tespit etmiştir.

Gürer vd. (2023) yeraltı madenlerinden İSG eğitimi amacıyla geliştirilen kapsamlı bir SG ciddi oyunu olan “Mining-Virtual” geliştirmişlerdir. Unity3D altyapısıyla geliştirilen bu uygulamada kullanıcılar yeraltı kömür madenini sanal ortamda deneyimleyerek tehlike tespiti ve kritik İSG bilgilerini interaktif sorular ve etkileşimlerle öğretmeyi hedeflemektedir. Oyunun değerlendirme sürecinde maden mühendisi ve oyun

geliştiricilerden oluşan 30 kişilik bir grupla testler yapılmış ve sistem kullanılabilirliği anketleri ile teknoloji kabul düzeyleri ölçülmüştür. Her iki grupta bu uygulamayı yüksek düzeyde başarılı bulmuş, kullanıcı deneyimi açısından olumlu olarak değerlendirilmiştir. T-Testler ile oyun teknolojisi kullanıcı deneyimi ve oyun oynama sıklığı teknoloji kabulüne etkisi analiz edilmiştir. Mining-Virtual oyununun yeraltı madencilik eğitimlerinde özellikle İSG konusunda etkili ve yenilikçi bir araç olarak potansiyel taşıdığı öner sürülmüştür.

Hildebrandt vd. (2023) çalışmalarında SG ve AG teknolojilerinin madencilik eğitiminde kullanılabileceğini araştırılmıştır. Sanal turlar ve uygulamalar yapılması öğrencilerin hızlı bilgi edinmelerine ve pratik öğrenmelerine olanak sağladığı vurgulanmıştır. Pandemi gibi kısıtlamaların olduğu dönemde bile kesintisiz bir eğitimin bu teknoloji ile sağlanmasının mümkün kılındığı gösterilmiştir. SG eğitiminin hem öğrenciler hem de çalışanlar üzerinde güvenli ve daha az maliyetli öğrenme sağladığı sonucuna varılmıştır.

Murphy vd. (2023) çalışmalarında MiReBooks isimli 2019 yılında eğitimde karma gerçeklik kullanımı konulu başlattıkları bir proje ile geleneksel kâğıt materyalli eğitim metotlarını sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri ile çeşitlendirerek öğrenci başarısını artırmayı hedeflenmektedir. Öğretim elemanlarına da bu materyallerin nasıl kullanılacağı ile ilgili rehberler hazırlanmış böylelikle etkileşimli öğrenme, teknik beceri gelişimi gibi avantajlar oluşturulmuştur. Modern eğitime dijital materyallerin entegrasyonu ile Eğitim 4.0 çatısı altında endüstrinin de ihtiyacı olan beyin gücüne yönelik insanlar yetiştirmek kolaylaşacağını öne sürülmektedir. Maden mühendisliği öğrencilerinin uygulama sonucunda %70'i yetkinliklerinin arttığını bildirmişlerdir.

Tkachuk vd. (2023) çalışmalarında, akıllı madencilğe geçme sürecinin maden mühendisliği öğrencilerine yönelik yapılması gerektiğini savunarak dijitalleşmeye okullardan başlanması gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Bu kapsamda SG ve AG teknolojilerinin maden mühendisliği eğitimine en etkili ve güvenli yöntemler arasında yer alması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada Ukrayna'daki Kryvyi Rih Ulusal Üniversitesinde uygulamaya başlanan SG ve AG tabanlı eğitim modelleri tanıtılmış, özellikle Covid-19 pandemisi ve Rusya-Ukrayna arasındaki askeri çatışma esnasında

uzaktan eğitim süreçlerinin bu teknolojiler sayesinde yüksek etkililik gösterdiği belirtilmiştir. Daha ileri teknolojik cihazlar yardımıyla daha etkin senaryolarla öğrenci eğitimlerinin bu platformlarda yapılmasının önemi vurgulanmıştır.

Kamran-Pishhesari vd. (2024) çalışmalarında madencilik sektöründe SG tabanlı teleoperasyon sisteminde kullanılan 3B yeniden yapılandırma tekniklerinin uygulamalarını incelemişlerdir. Çoklu görüntüleme platformları madenlerde uzaktan kontrol sisteminin verimliliğini artırsa da operatörlerde dikkat dağılması ve algı daralması gibi sorunlar ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bu sorunların düzeltilmesindeki en önemli etken doğru ve gerçekçi bir 3B modelleme oluşturulması olarak öne sürüldüğünden mevcut sistemler ve görselleştirme türleri, veri toplama yöntemleri ve sensör teknolojileri bu çalışmada incelenmiştir. Yeraltı madenciliğinde derinlik temelli tekniklerin, açık ocaklarda ise nokta bulutu üretimine dayalı yöntemlerin tercih edilmesi 3B modelleme için daha uygun yöntemler olduğu öne sürülmüştür. Madencilik açısından SG tabanlı uzaktan kontrol sistemlerinin gelecekteki gelişimi için teknik bir yol haritası hazırlandığı vurgulanmıştır.

Liu vd. (2024) maden mühendisliği öğrencilerine saha gezileri düzenlemeden önce öğrenim sürecini artırmak için 360 derece videolar hazırlamışlardır. Mineral zenginleştirme işlemlerinde kullanılan köpük flotasyonu konusunda hazırlanan bu video, Batı Amerika'daki altın zenginleştirme tesislerinden toplanan görseller kullanılarak oluşturulmuştur. Sınıfta veya laboratuvarında saha gezisinden önce bu tarz sanal ortam uygulamalarının yaygınlaşması öğrencilerin öğrendiklerini somutlaştırması bakımından önem arz ettiği belirtilmiş olup geleneksel eğitim yöntemlerini tamamlayıcı nitelikte dijital içeriklerin rollerinin artırılması gerektiği öne sürülmektedir.

Sanal gerçeklik uygulamalarının eğitim alanında öğrencilere teorik bilgilerini farklı bir platformda pratik hale getirebilecekleri öğrenme süreçleri imkânı sunmaktadır. Bu teknoloji ile öğrenciler riskli ve erişimi zor olan maden sahalarının benzerlerini daha güvenli ve kontrollü bir şekilde deneyimleyebilmektedirler. Özellikle maden mühendisliği bölümü öğrencilerinin mesleki deneyimlerini artıracak, problem çözme becerilerinin geliştirileceği ve gerçek dünya risklerine karşı hazırlık süreçlerini

kolaylaştıracacağı öngörüsüyle bu uygulamalar eğitimde kullanılmalıdır. Yapılan bu literatür araştırmasıyla doğaltaş madenciliği alanında bir uygulamaya rastlanmamış olup bu tez çalışmasının da bu alana önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmüştür.

1.3.2 Endüstriyel Alanlarda Yapılan Çalışmalar

Maden sektöründe işe yeni başlayanlar için ve/veya maden çalışanlarının aralıklı yapılan eğitimlerinde sanal gerçeklik kullanılması değerlendirme çalışmaları ve özellikle son on yılda yapılan güncel çalışmaların özetleri aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

Stothard (2003) çalışmasında kömür madenciliğinde operasyonlarında kullanılan ekipmanları teknoloji ilerlemesine paralel olarak daha da karmaşık hale gelmesi ile başa çıkmak için SG teknolojisi yardımıyla bir simülatör hazırlanmıştır. Çoğu firmanın erişimine açık bileşenler hazırlanmış olup yüksek çözünürlüklü gerçek görüntülerin 3 boyutlu modelleriyle güvenlik yönetim planları pratikleri yapıldığı bildirilmiştir.

Van Wyk E ve De Villiers (2008) çalışmalarında Güney Afrika'da madencilik sektöründeki hayati önemi olan güvenlik konusunu gerçek dünyadaki çalışma koşullarını simüle ederek eğitimler sağlamak için uygulama geliştirilmişlerdir. İki büyük platin ocağında uygulanmaya başlayan bu uygulama metodunun sonuçlarının kazaları azalttığını tespit etmek için yıllar sürecektir bir program yapılarak faydalı olup olmayacağı tespit edileceği belirtilmiştir. İş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinde bir farkındalık oluşması ve güvenlik kültürünün gelişmesi gözlemlenmiştir.

Van Wyk E ve De Villiers (2009) çalışmalarında Güney Afrika'da madenlerinde en büyük sorunlardan birisi olan güvenlik kültürünün gelişmesi için doğrudan çalışma ortamında öğrenmenin yerine gerçeğin birebir aynısının sanal ortamda modellenerek eğitimler verilmesi gerektiği üzerinde durmuşlardır. SG eğitim sistemlerinin çeşitli prototip tasarımları yapılarak maden işçilerine uygulanmıştır. %80 oranında kullanıcıların geri dönüşlerinde bu uygulamalardan keyif aldıkları tespit edilmiştir. Oluşturulan modellerdeki ve ortamlardaki gerçeklik algılarının da nasıl artırılması konusuna da değinilmiştir.

Zhou ve Guo (2011) çalışmalarında yer altı madenciliği için sanal gerçeklik simülasyonu yapmışlardır. Zorlu görüş şartlarında çalışılan ortamların koşullarını değerlendirmek için ve jeolojik bozukluklardan meydana gelen koşulları da ele almak amacıyla Çin’de bir polimetalik cevher yatağı modellenerek sanal bir ortam oluşturulmuştur. Kullanıcıların zorlu ve değişen yeraltı koşullarına daha kolay adapte olmalarını sağlayacak senaryolarla madencilik eğitimi, tatbikatlar ve üretim süreçlerinin görselleştirilmesi gibi ortamlar hazırlanmıştır. Bu sayede risklerin minimize edilmesi hedeflenmiş, karmaşıklığı azaltarak güvenli ve etkin maliyetli öğrenme ortamları tasarlanmıştır. Üç boyutlu modeller oluşturmak için Windows XP, OpenSceneGraph (OSG), 3DMine ve Surpac gibi yazılımlar tercih edilmiştir. Çalışan gerçek bir ocak modellemesi yapılması avantajı ile SG uygulamasının yeraltı çalışanlarına süreçlerin anlaşılmasında ve iş yönetiminde kolaylıklar sağladığı ortaya konulmuştur.

Li H M ve Kang (2014) kömür madenciliğinde sıkça yaşanan kazalar ve can kayıplarının önemli bir nedeninin eğitim yetersizliği olduğunu belirtmişlerdir. Bu soruna en önemli çözüm olarak SG tabanlı eğitim sistemleri oluşturulması gerektiği savunulmuştur. Geliştirilen sistemle maden felaket senaryolarında kendini kurtarma ve kaçış becerileri geliştirme konularında deneyim kazandırmak amacıyla antrenmanlar hazırlanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre bu SG tabanlı eğitim sistemlerinin kömür madenciliğinde kritik güvenlik ihtiyaçlarını karşılamada oldukça anlamlı ve etkili deneyim sunduğu tespit edilmiştir. Geleneksel eğitim metotlarının ötesine geçerek dijital dönüşüme katkı sağlamaktadır.

Tibbett vd. (2014) çalışmalarında büyük hacimli, düşük tenörlü ve dik eğimli cevher yataklarının ekonomik olarak işletilmesini sağlayan blok kazı madenciliği yönteminin anlaşılmasında SG ve bilimsel görselleştirme teknolojilerinin sunduğu olanaklar ele alınmıştır. New South Wales Üniversitesi tarafından geliştirilen modelde blok kazı madenciliği yöntemi üç boyutlu ve zamanla ilişkili verilerle kapsamlı biçimde incelenmiştir. Araştırma kapsamında şirketin sahasında yürütülen analizler, jeomekaiik anlayışın artırılmasına ve zemin kontrol yönteminin iyileştirilmesine katkı sağladığı görülmektedir. Blok kazı madenciliği için bireysel parametreler yerine bütün sistemin karmaşık verilerini analiz etmede SG uygulaması kullanılmıştır.

Pedram vd. (2014) çalışmalarında SG teknoloji ile madencilik sektöründeki çalışanların yetkinliklerine olan etkilerini değerlendirmek için araştırmalar yapmışlardır. Avustralya kömür madenciliği sektöründe öncü bir eğitim sağlayıcısı olan Coal Services şirketi tarafından geliştirilen SG tabanlı eğitim programı temel alınarak, madende kaza durumunda kurtarmaya yönelik oluşturulmuş ekiplere yönelik senaryolar hazırlanmıştır. Bu ekipler büyük ölçekli olaylara ilk müdahaleyi gerçekleştiren, yüksek uzmanlık gerektiren gönüllü madencilerden oluşmaktadır ve bu uygulama neticesinde özellikle tehlikeli senaryoların tekrarlanabilir şekilde çalışabilmesine olanak sağladığı belirtilmiştir. Geliştirilen değerlendirme yöntemleri sonuçlarına göre madencilik sektöründeki eğitimlerde sanal ortam simülasyonlarının artırılması ve diğer sektörlerde uygulanabilir potansiyelde olduğu saptanmıştır.

Van Wyk E ve De Villiers (2014) çalışmalarında madencilik sektörüne yönelik SG güvenlik eğitimine yeni bir uygulama bakış açısıyla Tasarım Tabanlı Araştırma (Design Based Research-DBR) modelini çıkarması bakımından öne çıkmaktadır. Devletlerin uyguladıkları katı ve disiplinli mevzuatlara rağmen maden kazalarında azalma görülmemesi öne sürülerek madenlerde güvenlik eğitimlerinin sanal ortamda verilecek eğitimlerle desteklenmesi amaçlanarak bu çalışma yapılmıştır. Kullanıcılara uygulanan anketlerden alınan değerlendirmeler sonucunda tespit edilen geri bildirimlere göre SG güvenlik prototipleri geliştirilmiş, test edilmiş ve program iyileştirilmesi yapılmıştır. Bulgular değerlendirildiğinde SG simülasyonlarının tehlike tanımlamalarında ve iş yeri güvenliği açısından olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Van Wyk E A (2015) çalışmasında maden ocaklarında ve fabrikalarında devam eden kazaları ele alarak maden güvenliği eğitiminde SG teknolojisi kullanılması üzerine iki prototip geliştirmiştir. Birincisi genel risk tanımlaması için diğer ise jeolojik risk tanımlaması için uygulanmıştır. Güney Afrika'da faaliyette olan bir platin ocağında yürütülen bu vaka çalışması sonucunda tehlike algısının artırıldığı, durum farkındalığının oluşması sağlandığı ve geleneksel güvenlik eğitimine alternatif bir katkı eğitimi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Jacobs vd. (2016) yaptıkları çalışmada Güney Afrika'daki madencilik sektöründe

artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojisinin uygulamaları incelenmiştir. AG ve SG yöntemleriyle maliyetlerin düşürülmesi, verimliliğin artırılması, üretkenliğin yükseltilmesi ve iş güvenliği açısından iyileştirmeler yapılması gibi hedeflerin doğrultusunda sektöre katabileceği katkılar araştırılmıştır. Delme operasyonları, yön tayin etme, operatör eğitimi, bakım-onarım işleri ve gerçek zamanlı bilgi sunumu gibi alanlarda yüksek uygulanabilirliğe sahip ses getirici tasarımlar geliştirilmiştir. Yaptıkları SWOT analiziyle de AG ve SG teknolojilerinin madencilik aşamalarına önemli katkıları olabileceği ve sektördeki eğitim alanında dijital bir dönüşüme gideceğinden bahsedilmiştir.

Pedram vd. (2016) geleneksel güvenlik eğitim metotlarının yaşanabilecek olası acil durumları görselleştirmede zorlanırken SG teknolojisi sayesinde tahlisiye ekiplerinin etkinliğini değerlendirmek için bu çalışma yapılmıştır. Kurtarma ekipleri için özel olarak hazırlanan bu uygulama, Avustralya Kömür İşletmelerinden birinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kullanıcılar tarafından gerçek dünyada karşılaşılabilecekleri maruziyetleri için hazırlanmış bu sistemin anlama ve hemen aksiyon alma açılarından faydalı olduğu geri bildirimi yapılmıştır. Tüm sektör uyarlamalarının yapılması, senaryolarda ve ekipmanlarda sürekli olarak iyileştirilme yapılması önerilmiştir.

Zhang H (2017) araştırmasında sanal gerçeklik metotlarını ekranlı genel tipler, yansıtma odaklı tipler ve kask olarak giyilebilir tipler olmak üzere üç kısımdan oluştuğundan bahsetmiştir. Madencilikte giyilebilir sezgisel seçeneği kullanarak yeraltı madenlerinde delik delme uygulaması geliştirmiştir. On kişiye bu eğitim tiplerini karşılaştırma için uygulatılmış ve giyilebilir teknoloji tipiyle yapılan eğitimde diğerlerine kıyasla daha fazla kazanım elde edildiğini ve kullanımın daha kolay olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Crespo vd. (2018) çalışmalarında Endüstri 4.0'ın uygulanmaya ilk başladığı başlık olarak makine-operatör entegrasyonu doğrultusunda uzman operatörlerden yeni başlayan kullanıcılara bilgi aktarımını kolaylaştırmak amacıyla SG tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Risk içermeyen bir ortamda ve kaynak tükenmeyen tekrarlanabilir bir platformda karmaşık montaj yöntemleri öğretilmek amaçlanmıştır. SG tabanlı geliştirilen bu uygulamada lego parçalarıyla gerçekleştirilen montaj örnekleriyle gerçekçi eğitim

senaryoları sunularak uzmanlık bilgilerinin aktarılması sağlanmıştır. Karmaşık görevlerde daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir eğitimler potansiyeline sahip bu sistem başarılı sonuçlar vermiştir.

Xie J vd. (2018) çalışmalarında yeraltı kömür madenciliğinde tam mekanize kazı sistemlerinde kullanılan kesici, zincirli konveyör ve taşıyıcı makinalarının koordineli çalışmasını sağlamak amacıyla SG tabanlı bir simülatör olan FMUnitySim geliştirilmiştir. Mevcutta kullanılan otomatik kontrol programlarının basit ve durağan yapılarına karşı yeraltı madenlerinin karmaşık ve dinamik doğasına daha uyumlu olan bir model tasarlanmıştır. Unity3D ortamında geliştirilen bu uygulama; makineler arası iletişim, koordinasyon ve sensör verisi unsurlarını kapsamaktadır. Kesici ve taşıyıcı makinaların birlikte çalışmalarını sağlayacak parametreler gerçek zamanlı olarak planlanmaktadır. Bu parametreler farklı kesici taşıma hızları, ters kömür taşıma senaryoları testleri yapılarak ortalama kesici hızı, takip mesafesi ve taşıyıcı yükü gibi parametreleri elde etmek için simülasyon kullanılmıştır. Geliştirilen bu uygulama ile tam mekanize kömür madenciliğinde hızlı planlama ve güvenli otomatik üretim içi etkili bir yöntem sağladığı belirtilmiştir.

Bellanca vd. (2019) çalışmalarında, SG teknolojisindeki son gelişmelerden yararlanarak madencilik araştırmaları için tasarlanmış dinamik ve yüksek doğrulukla ölçüm yapabilen “VR Mine” ı geliştirmişlerdir. Bu uygulama ile yeraltı madenciliği ortamlarını hızlı bir şekilde oluşturarak insan davranış verilerinin toplanması, simülasyonların yürütülmesi ve kavramsal görselleştirme ve eğitim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesine imkan verilmiştir. VR Mine uygulamasıyla iki ayrı senaryoyla örnek olarak uygulamalar tamamlanmış sistemin maden yapısı oluşturma, gerçek havalandırma modellerinin gösterimi ve görselleştirilmesi gibi temel özellikler detaylandırılmıştır. Hem araştırma safhasında hem de eğitim aşamalarında SG kullanımı kapsamı genişletilerek özellikle İSG hususunda uygulamalı bir araştırma sunmaktadır.

Buddhan vd. (2019) madencilik sektöründe işçi güvenliğinin öneminden ve karmaşık maden makinalarının kullanımlarını kolaylaştırmak için çalışmışlardır. Günümüz teknolojisi sahadaki işçilerin performanslarını gerçek zamanlı olarak alma fırsatı

sunmaktadır. Ancak bu gelişim eşzamanlı görselleştirmeyi kapsamamaktadır. Komuta Kontrol Sistemi (Command and Control System) kullanarak gerçek zamanlı sensörler yardımıyla acil durumlar için tahmin mekanizmasını artırmayı hedeflemişlerdir.

Isleyen ve Duzgun (2019) çalışmalarında, yer altı madenciliğinde tavan düşmesi risklerinin değerlendirilmesi ve bu risklerin azaltılmasına yönelik karar verme süreçlerinin geliştirilmesi amacıyla SG simülasyonlarının kullanımını ele almışlardır. Çalışmada geliştirilen SG tabanlı eğitim simülasyonu, özellikle patlatma sonrası tünel yüzeyinde oluşabilecek kaya düşmesi, kama tipi zemin bozulmaları veya yeraltı su girişleri gibi risk senaryolarında kullanıcıların gerçekçi koşullarda deneyim kazanmasına olanak sağlamaktadır. Katılımcılardan, önce potansiyel tehlikeyi tanımlamaları, ardından uygun kaya bulonları ile güvenlik önlemi almaları (örneğin; bulon uzunluğu ve aralığını seçerek) ve son olarak destekleme öncesi ve sonrası tavan çevresindeki yer değiştirmeleri değerlendirerek risk analizini tamamlamaları beklenmektedir. Ayrıca, geleneksel eğitim metotlarıyla uzman çalışan yetiştirmenin oldukça zaman alıcı olduğu belirtilmiş; bu bağlamda SG teknolojisinin, hem güvenli bir eğitim ortamı sağlaması hem de karar verme yetilerini geliştirmesi açısından büyük avantaj sunduğu ortaya konmuştur.

Kim Heonmoo ve Choi (2019) çalışmalarında SG ortamında madencilik yazılımının kontrolüne yönelik farklı kullanıcı ara yüz performansları kıyaslaması yapmışlardır. 2D fare, 3D fare, SG kontrol ekipmanı, Kinect sensörü ve veri eldiveni olmak üzere 4 farklı cihazla, 3B cevher modellemesi görevi değerlendirilmiştir. Bulgulara göre 2D fare, öğrenme ve kullanım açısından kolay ve avantajlı olsa da SG ortamındaki potansiyeli tam sağlayamadığı belirtilmiştir. Kinect sensörü ve veri eldiveni yüksek etkileşim ve ortama dalma hissiyatı sağladığı için daha uygun bir deneyim sunmuştur.

Löow vd. (2019) çalışmalarında Endüstri 4.0 teknolojilerinin madencilik sektöründeki etkilerini Madencilik 4.0 perspektifinden bakarak iş gücüne olan etkilerini incelemişlerdir. Eğitimde dijitalleşmenin yalnızca üretkenliği artırmakla sınırlı kalmayıp aynı zamanda bu özellikleri güvenli ve teşvik edici çalışma ortamlarında sunma potansiyeli olduğu vurgulanmıştır. Bu dijital dönüşümün başarılı olabilmesi işçilerin teknolojik gelişmelere olan yatkınlık ve becerileri ile orantılı olduğu artan stres düzeyleri,

dijital gözlem ve mahremiyet ihlalleri ile iş-özel yaşam arasındaki dengelerin bozulmasındaki risklerin analiz edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışma, geleceğin madenciliğine yönelik iki senaryo sunmuştur: biri teknolojinin insan odaklı kullanımıyla oluşturulan ütopya, diğeri ise bu dönüşümün insan faktörünü ihmal ettiği karamsar bir distopya. Her iki senaryo aracılığıyla, madencilik sektöründe dijital dönüşümün çalışanlar üzerindeki etkilerini dengeleyecek stratejilere ihtiyaç duyulduğu ortaya konmuş ve bu doğrultuda, insan merkezli bir Madencilik (Mining) 4.0 yol haritası için dikkate alınabilecek altı temel öneri sunulmuştur.

Suh (2019) AG ve SG teknolojilerinin yer bilimleri ve madencilik alanlarındaki mevcut kullanımlarını kapsamlı bir şekilde incelemiş ve bu teknolojinin gelecekte eğitimdeki potansiyelini değerlendirmiştir. Literatürde AG teknolojisiyle genelde jeolojik haritalama, jeoturizm, yeraltı tesis yönetimi gibi alanlarda kullanıldığı, madencilik sektöründe ise bu kullanımın maden geliştirme ve maden sahalarının rehabilitasyonuna yönelik destekleyici uygulamalar olduğu belirtilmiştir. 1980 yılından itibaren maden geliştirme simülasyonları İSG eğitimleri, madencilik yazılımlarının kontrolü gibi birçok alanda uygulanmıştır ve AG-SG tabanlı eğitim uygulamaları saha stabilitesinin artırılması ve jeolojik incelemeler konularında önemli katkılar sunacağı belirtilmiştir.

Ivina vd. (2020) çalışmalarında yeraltı madencilik faaliyetlerinin modellenmesi ve bunun dinamik olarak değişiminin gösterilmesinin SG tabanlı bir ortamda görselleştirilmesini sağlamışlardır. Küresel olarak gelişen madencilik endüstrisinde üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve hacminin artırılması yönündeki ihtiyaçlar yenilikçi teknolojilerin kullanımlarını teşvik ettikleri vurgulanmıştır. Unreal Engine 4 kullanılarak geliştirilen bu uygulamayla kömür madeni oluşturulmasına olanak tanıyarak hem üretim süreçlerine hem de madencilik faaliyetlerinin bütün bir şekilde analiz edilme imkânı sağlanmaktadır. Karma gerçeklik teknolojilerinin kullanıcı ara yüzü oluşturma potansiyelinden faydalanarak yapılan benzer uygulamalar ile sektörlere ek bir eğitim imkânı oluşturulduğu öne sürülmektedir.

Li M vd. (2020) çalışmalarında kömür madenciliğinde güvenlik ve acil kurtarma eğitimlerine yönelik SG teknolojisi yaygınlaştırılması için yapay zekâ ve bulut teknolojisi

destekli bir SG uygulaması tasarlamışlardır. Sistem, çevrim içi bulut sistemi ile video akışı ile yüksek işlem gücü sağlayarak kullanıcı deneyimini artırmaktadır. Eğitim platformu, yeraltı kömür madenlerinin tüm sürecini kapsayan sekiz ayrı parçadan oluşmaktadır ve sanal karakterlerle kullanıcıya rehberlik etmektedir. Kullanıcıları olası risklere hazırlamak için de afet senaryosu eğitimleri yapılmaktadır. Rehberlik eden karakterlerden birisi temel bilgileri kullanıcıya aktarırken diğeri olası felaketlere hazırlık sağlamaktadır. Laboratuvar ortamında kullanıcılara başarıyla denetlenen bu sistem, tarayıcı tabanlı erişim, insan-makine etkileşimi ve oyun yapay zekâsı birleşimi ile yeni başlayan işçilere yapılan geleneksel SG eğitimlerine yenilikçi bir katkı sunmaktadır.

Pedram vd. (2020) Mine Rescue şirketi tarafından hazırlanan 45 farklı VR eğitim konularını deneyimleyen 284 maden kurtarma ekibinin katıldıkları maden kurtarma operasyonlarını ele almışlardır. Çalışma sonucu olarak; gerçek ve algılanan öğrenmenin, katılımcıların senaryoya bağlılığı, senaryonun aslına uygunluğuna ilişkin algıları, diğer katılımcılarla birlikte senaryo içerisinde var olma hissiyatı, sistemin kullanılabilirliği ve teknolojiye yönelik genel olumlu tutumların arttığını belirtmektedirler. Bu sonuçlara göre; VR ile eğitimin öğrenme üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu, yetenekli eğitmenlere gereksinimin azalacağını vurgulamışlardır. Gerçek maden kurtarma timleri üzerinde yapılan bu çalışmanın literatür için oldukça geçerli ve kapsamlı bir katkısı olmuştur.

Zuo (2020) çalışmasında, sanal gerçeklik ve coğrafi bilgi sistemlerinin entegrasyonu sayesinde maden sahalarında üç boyutlu stratigrafik yapı modellerinin oluşturulması hedeflenmiştir. Kömür kaynaklarının aranması ve madencilik faaliyetlerinin planlaması için önem arz etmekte ve jeolojik veri yönetimini desteklemektedir. Çalışmada sondaj verilerinin katmanlandırılması ve numaralandırılması ile veri tabanı oluşturulması ve tabaka bilgilerinin tespit edilmesi daha verimli hale getirilmiştir. Dört farklı mekânsal enterpolasyon yöntemi karşılaştırılmış; test örneği hata analizine göre, “kriging” algoritmasının göreceli ve mutlak hata değerlerinin diğer yöntemlere göre daha düşük olduğu ve göreceli hatanın %2’nin altında tutulabildiği tespit edilmiştir. Sayısal yükseklik modeli (DEM) tabanlı 3B modelleme sürecinde, düzensiz üçgen ağ (TIN) algoritması kullanılarak raster veriler eğrisel 3B tabakalara dönüştürülmüş, son aşamada ise VC++

ve DirectX yardımıyla stratigrafik uzay modeli görselleştirilmiştir. Bu yöntemle, sondaj histogram verileri kaynak alınarak, kriging ile interpolasyon yapıp raster veriler üretilmiş; TIN algoritmasıyla yüksek hassasiyetli 3B stratigrafik modeller elde edilerek maden sahasının jeolojik yapısı sanal ortamda gerçekçi şekilde temsil edilmiştir.

Fang vd. (2022) yeraltı madenlerinde insansız madencilik ortamlarında güvenliği ve verimliliği kontrol edilmesi ve artırılması amacıyla yer üstündeki operatörlerin çevresel algılarının güçlendirildiği bir AG platformu geliştirilmiştir. Yeraltına yerleştirilen kamera ve algılayıcılar sayesinde toplanan veriler, 5G teknolojisi kullanılarak yüksek hızda ve yüksek doğrulukla yer üstüne aktarılmıştır. Bu sayede yeraltı madencilik ortamı görsel olarak zenginleştirilmiş ve operatörlerin karar alma süreçlerinin desteklenmesi hedeflenmiştir. Sanshandao altın madeninde test edilmiş ve sistemin sıkıntısız çalıştığı, operatörlerin çevresel farkındalığı önemli ölçüde artırıldığı gözlemlenmiştir. İnsansız madencilik sisteminin geliştirilmesi için büyük bir adım olarak bu çalışma görülmektedir.

Pedram vd. (2022) çalışmalarında yaş ve sektörel deneyimin SG tabanlı maden kurtarma eğitimlerine katılmalarının sonucunda bireysel öğrenme deneyimleri ve sonuçları üzerine etkilerini incelemişlerdir. 24 ve 64 yaşları arasında ve 40 yıla kadar değişen kurtarma tecrübesine sahip 284 madenci üzerinde deneme yapılmıştır. Yaşa ve tecrübeye bakılmaksızın herkes tarafından SG eğitiminin fayda sağladığı bildirilmiştir. Yaşlı katılımcılar başlangıçta yüksek stres bildirimi yapsa da az olan oyun deneyimlerinden ötürü bu şekilde sonuçlandığı anlaşılmıştır. SG destekli eğitimlerin tüm yaş ve tecrübeye sahip çalışanların üzerinde pozitif etkisi gözlemlenmiş ve bu eğitim metodunun etkili bir öğrenme aracı olduğu ortaya koyulmuştur.

Vavenkov (2022) çalışmasında, madencilik sektörünün doğasında bulunan yüksek risklerden ötürü çalışanların hem teknik hem de güvenlik protokollerini eksiksiz şekilde öğrenmelerini gerektirdiğinden bu eğitimlerini SG ve AG teknolojileriyle kullanımlarının önemine değinmiştir. SG ve AG teknolojilerinin mühendislik eğitimlerine entegre edilmesi tavsiye edilen bu çalışmada üniversite-sanayi iş birliklerinin de olumlu ilerleme kat edeceği öngörülmektedir. Madencilik şirketlerinin yüksek maliyetli bu projelere destek vermeleri gerektiği vurgulanmıştır.

Pamidimukkala ve Kermanshachi (2023) kömür madenciliği işletmelerinde çalışan personelin güçle taşıma ekipmanlarıyla yaşanan kazalara karşı korunmalarını amaçlayan bir SG uygulaması geliştirmişlerdir. Sadece bu tür tehlikelerin farkındalığını artırmak değil diğer risklerden de korunma yollarının öğretilmesi amaçlanmıştır. Teksas'ta çalışmış birçok jeoloji ve maden çalışanlarına altı sorudan oluşan bilgi testi SG uygulamasından hem önce hem de sonra sorulmuştur. Sonuçlar tehlike algısında ve korunma becerileri konusunda kullanıcılarda öğrenme artışı göstermiştir. İş kazalarının önlenmesinde ve daha etkili güvenlik prosedürleri geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülen SG uygulamalarının önemli bir rehber niteliği taşıdığı belirtilmektedir.

Buthelezi vd. (2024) çalışmalarında, Güney Afrika'da madencilik sektöründe çalışan anket katılımcılarının; genişletilmiş gerçeklik, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve karma gerçeklik kavramları hakkında farkındalıklarını, bilgilerini ve sektörde kullanımları ile alakalı görüşleri değerlendirilmiştir. Çevrimiçi yapılan bu ankete, maden mühendisleri, kaya mekanikçiler, yöneticiler ve üst yöneticiler arasında yapılan bu çalışmaya 50 kişi katılmıştır. Sektörün sıfır kaza hedefini destekleme potansiyeline dikkat çekmek için bu modern teknolojinin kullanılması ve geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Singh vd. (2024) drone, LIDAR, SG ve AG gibi modern teknolojilerin açık ocak madenciliğinde dragline kazısını ve döküm alanının izlenmesi için çalışma yapmışlardır. Kazı süreçlerini optimize etmek için drone tabanlı LIDAR haritalama ve yapay zekâ ile 3B görüş teknikleri üzerine araştırma yapılmıştır. Dragline döküm alanın ve yamaç stabilizesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak SG'nin karar alma için mekânsal analizi başarıyla gerçekleştirdiği, drone'ların gerçek zamanlı olarak topoğrafyanın haritalanmasını iyileştirdiği ve yapay zeka destekli 3B modellerin otomatik arazi parametreleri hazırlamasının başarıyla sonuçlandırıldığı raporlanmıştır. Dragline konumlandırma AG uygulamaları tam başarılamadığından ileriki araştırmalarda tekrar üzerine düşüleceği bildirilmiştir. Bütün bu çalışmaların madencilik operasyonlarında güvenlik, verimlilik ve planlamayı önemli ölçüde iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Strzałkowski vd. (2024) yaptıkları incelemede literatürde bulunan maden mühendisliği ve inşaat mühendisliği alanlarında sanal gerçeklik uygulamaları çalışmalarını araştırmışlardır. Eğitim, mesleki güvenlik ve dizayn, simülasyon prosesleri ile ilgili olmak üzere üç ayrı başlıkta hangi çalışmaların yapıldığını ortaya koymuşlardır. Sanal gerçeklik teknolojisinin halen olgunlaşmadığını fakat her iki sektöründe çeşitli aşamalarında kullanılmasının faydalarının görüldüğünü vurgulamışlardır.

Sanal gerçeklik tabanlı eğitim sistemlerinin yalnızca akademik düzeyde değil, doğaltaş madencilik sektörü açısından da önemli bir potansiyel taşıdığı düşünülmektedir. Özellikle mermer üretiminin yoğun olarak gerçekleştirildiği Afyon gibi bölgelerde, bu teknoloji sayesinde sektörde çalışanların İSG kurallarını risk içermeyen sanal ortamlarda deneyimleyerek öğrenmeleri mümkün olabilecektir. Bu yöntem, hem çalışanların bilinç düzeyini artıracak hem de olası risklere karşı verilen tepkilerde etkili bir araç olarak öne çıkabilecektir. Doğaltaş ocaklarında ve üretim fabrikalarında karşılaşılan tehlikeli durumların birebir modellenbildiği bu uygulamalar sayesinde, eğitim süreçleri daha gerçekçi ve kalıcı hâle gelebilecektir. Afyon gibi mermer sanayisinin güçlü olduğu bir lokasyonda geliştirilecek sanal gerçeklik temelli eğitimlerin, sektöre örnek teşkil edebilecek nitelikte olduğu düşünülmektedir.

2. SG TEKNOLOJİLERİ VE KULLANIMI

Sanal Gerçeklik (SG) teknolojisinin temelleri ilk olarak 1960'lı yıllarda atılmıştır fakat 1987'de Jaron Lanier adında bir bilgisayar alanında bilim adamı Sanal Gerçeklik (Virtual Reality) terimini literatüre kazandırmıştır. Böylelikle tüm bilim camiasında ivmelenerek hız kazanan bu terim gelişimine başlamıştır (Ogbonna 2020). İnsan ile bilgisayarlar arasında etkileşimi sağlayarak duyuşal deneyimler kazandırma imkanına sahip bu sistemlerle kullanıcının fiziksel hareketlerine göre sanal ortam içerisindeki eylemleri gerçekleştirme deneyimleridir (Belič 2014, Nassar vd. 2021). Etkileşimli bilgisayar grafikleri ile kullanıcıya tamamen yapay bir ortamda gerçeklik algısı oluşturarak orada bulunuyormuş hissi vermeyi amaçlamakta ve fiziksel dünya ile dijital dünya arasındaki sınırları bulanıklaştırmaktadır (Hardless vd. 2015, Leung vd. 2018).

SG deneyiminin insan üzerindeki başarısı iki temel özellik ile açıklanabilir. Bunlardan ilki “daldırma” ve diğeri ise “varlık hissi” olarak tanımlanabilir. Daldırma, sistemin kullanıcı ile gerçek dünya arasındaki bağı kopartarak oluşturduğu hissiyat derecesini, varlık hissi ise kullanıcının deneyimlerken sanki o ortamda bulunuyormuş gibi hissetme algısını tanımlamaktadır (Belič 2014, Markowitz vd. 2018). Son yıllarda SG teknolojisi özellikle genç kuşak tarafından oldukça benimsenerek popülerliğini artırmıştır. Güncel etkileşim olarak metaverse kavramı ile var olan ilgi artmaya devam etmektedir (Garrido vd. 2024).

2.1 Donanımlar

Gözlük, kask gibi ekipmanlarla sanal bir ortamda bulunuyormuş hissine bürünmeyi sağlayan etkileşimle gerçekçiliği artırılan bilgisayar tabanlı simülasyon sistemleri olarak da tanımlanmaktadır. Başa takılan gözlüklerin yanı sıra izleme sistemleri, giriş aygıtları ve dokunsal geri bildirim ekipmanları gibi donanımlar da yer almaktadır. Uygulamalar, kullanıcının fiziksel ve bilişsel duyularına hitap ederek çoklu duyu ortamı hazırlarken geribildirimler üretmekte ve yüksek bir iletişimi kullanıcı ve sistem arasında oluşturmaktadır. Literatürde sanal gerçeklik teknolojisi; sanal çevre, varlık hissiyatı, duyuşal geribildirimler ve etkileşim olarak dört temel unsur etrafından tanımlanmaktadır (Sherman ve Craig 2003, Wu 2024). Donanım teknolojisinin gelişimi maliyetlerin

düşmesinin yanı sıra kullanıcının deneyimlerinin iyileşmelerini de sağlamıştır. Daha hassas sensör işlevleri uygulamada daha doğal kullanım hissiyatı sağladığı için bu teknolojinin de eş zamanlı ilerlemesi SG teknolojileri bakımından önem arz etmektedir (Nieradka 2019, Kim Hojoong vd. 2021).

Bilgisayar ortamında tasarlanan bu sanal uygulamalar, görsel ve işitsel duylara hitap ederken bunun yanı sıra dokunsal hissi de canlandırmak için nesnelerin fiziksel özelliklerini, bu nesnelere ait kuralları ve aralarındaki ilişkileri kullanıcıya yansıtmaktadır. Sanal ortamlar; kullanıcı sanal karakteri (avatarları), ara yüz bileşenleri, nesneler, karakterler ve ortam topolojisi gibi öğelerden oluşmaktadır. Görsel, işitsel ve dokunsal duylara hitap eden çeşitleriyle içerikler hazırlanmaktadır. Gerçek dünyada var olan nesnelere benzer şekil, doku, renk ve sıcaklık gibi fiziksel özellikleri içinde barındıran kullanıcılar tarafından algılanabilir şekilde modellenmektedir. Oluşturulan bu ortam SG sistemlerinin eğitimde, simülasyon ve mühendislikte gerçekçi, etkileşimli ve işlevsel tecrübelerle uygulamalar yapılmaktadır (Hale ve Stanney 2014, Mihelj vd. 2014).

Çizelge 2.1 SG kullanımı ve uygulama alanları.

Kategori	Alt Başlıklar	Açıklama
Temel Teknolojiler	Teknolojilerin Entegrasyonu	Bilgisayar grafikleri, multimedya, sensör teknolojisi ve insan-bilgisayar etkileşimi bir araya gelerek sürükleyici VR deneyimleri yaratır.
	3 Boyutlu Modelleme	Gerçekçi sanal ortamların oluşturulması için kritik öneme sahiptir. Özellikle 3D model geri çağırma ve filigranlama teknikleri VR deneyimini zenginleştirir.
Uygulama Alanları	Sağlık	Klinik ortamlarda ağrı azaltma, kaygıyı hafifletme ve rehabilitasyon süreçlerinde etkin olarak kullanılır.
	Eğitim	Etkileşimli öğrenme ve kavramsal anlamayı destekleyen simülasyonlar sağlar, öğrenme kalıcılığını artırır.
	Eğlence	Oyun sektöründe ilgi çekici ve etkileşimli oyun deneyimleri sunmak için yoğun şekilde kullanılır.

SG teknolojileri, çeşitli endüstriler ve sektörlerde sürükleyici uygulamalar sayesinde gelişmiştir. Bu alanlar; eğitim, sağlık ve eğlence konu başlıklarında birleştiği söylenebilir. Çizelge 2.1'deki tabloya göre SG teknolojileri ve uygulama alanları gösterilmiştir (Bai 2019, Li Y vd. 2021, Nascimento da Silva vd. 2024, Wu 2024).

2.1.1 Kask Teknolojileri (Head-Mounted Displays-HMD)

Başa takılan görüntü ekranları, kullanıcıların dijital olarak tasarlanmış sanal ortamlara giriş yapmalarını sağlayarak görsel şekilde etkileşime geçmelerini sağlamaktadır ve temel bileşen olarak en önemli ekipmanlardan birisidir. İki göze de ayrı ayrı stereoskopik görüntüler sunma yeteneği olan HMD'ler, sanal ortamda varlık hissini artırmaktadır (Thoma vd. 2023). İlk tasarımlarından itibaren başa takılan kasklar veya gözlükler şeklinde üretilen bu cihazlar küçük iki ekran sayesinde kapsayıcı görüntüler sunmakta ve kullanıcıların sezgisel bir biçimde sanal ortamda etkileşim kurmalarını mümkün kılmaktadır (Cheng ve Tsai 2019). HMD'lerin eller serbest kullanımına imkan sunması sayesinde elcik (joystick) yardımıyla etkileşimler sağlanması da tasarimsal bir başarı olarak değerlendirilmektedir (Gonzalez-Franco vd. 2017).

Geleneksel oyuncu ekranlarına kıyasla en büyük avantajları HMD'ler dış dünyayı izole etmektedir. Gerçek-sanal dünyalar arasındaki iletişimi geçişi sağlarken geniş görüş açısı oluşturularak üç boyutlu sanal dünyada varlık hissini oluşturmaktadır. Ayrıca, SG teknolojilerinin kullanımının en çok etkilediği bilişsel alanları hedef alan SG teknoloji kullanımları, kullanıcılarda dikkat, yürütücü işlevler ve hafıza gibi nöropsikoloji etkileri üzerine hem araştırmalar devam etmektedir hem de klinik çalışmalar sürdürülmektedir (Seesjärvi vd. 2023, Thoma vd. 2023).

HMD teknolojisinin gelişimi ve değişimi; yüksek çözünürlüklü geniş görüş açılı ve hızlı yenileme oranlarına sahip olan ekranların özelliklerinin başa takılan cihazlara entegre edilmesiyle birlikte önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Görsel doğruluğu artırarak, gecikmeleri en aza indirgeyerek kullanıcının baş dönmesi ve ağrısı hastalıkları risklerini azaltarak ve kullanıcı konforunu iyileştirmeyi hedefleyerek daha iyi deneyimler yaşatılması sağlanmaya çalışılmaktadır. Kaskın içerisindeki hareket sensörleri, kullanıcının baş ve beden hareketlerine göre hassas bir şekilde takip etmekte ve görüntüleri dinamik olarak ayarlayarak kesintisiz bir sanal deneyim sunmaktadır (Kiyokawa 2012). HMD teknoloji gelişiminde ortaya çıkan sorunların başında kullanıcı hareketliliğini artırmak, kablolu bağlantılarda veri iletimini sıkıntısız sağlamak, kablosuz bağlantı çözümleri aramak yer almaktadır ve ergonomi, bilgi sunumu, görev performansı, parlaklık ve ağırlık gibi faktörlerinin de tasarım konusunda dikkat edilecek hususlar

arasında yer almaktadır. Yakın gelecekte geleneksel monitörlerin yerini çalışanların hareketliliğini artıracakı öngörüsüyle HMD'lerin alması potansiyeli de araştırılmaktadır. (Rolland vd. 2007, Geronikolakis ve Papagiannakis 2021, Biener vd. 2022).

2.1.2 İzleme Sistemleri

Kullanıcıların HMD içerisindeki hareket sensörleri sayesinde konumu izleyen sistemler olarak izleme sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler, kullanıcı hareketlerinin sanal ortama doğru şekilde aktarılmasını sağlamak ve sanal dünyadaki eylemlerin gerçek dünyadaki hareketlerle birebir örtüşmesini temin etmektedir (Buñ vd. 2016). Konum izleme, sanal gerçeklik sistemlerinin temel bir bileşenini oluşturmaktadır; bu sistemler, kullanıcı hareketlerini izlemekte ve sanal ortamı bu hareketlere göre sürekli olarak güncellemektedir (Meyer vd. 1992). Bu süreç, kullanıcının baş ve ellerinin yanı sıra diğer vücut bölümlerinin konum ve yönelimlerinin izlenmesini içermekte; böylece sanal dünyada gerçekçi bir varlık hissi oluşturulmaktadır (Markowitz vd. 2018). Çeşitli izleme sistemleri arasında, mekanik izleme sistemleri yüksek doğruluk ve teknik sadelikleriyle öne çıkmaktadır (Kolsanov vd. 2020). Ancak, kullanıcı ile izleme sistemi arasında fiziksel bir bağlantı gerektirmesi, hareket özgürlüğünü kısıtlamakta ve etkileşim düzeyini azaltarak kapsayıcılığı olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Kim Hojoong vd. 2021).

Kameralar aracılığıyla hareketleri izleyen optik izleme sistemleri, daha fazla hareket özgürlüğü sunmakta ve hem iç hem de dış mekân uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna karşılık, ataletsel izleme sistemleri, hareketi ölçmek amacıyla ivmeölçerler ve jiroskoplardan yararlanmakta; kompakt ve bağımsız bir çözüm sunmaktadır. Modern, bağımsız çalışan SG başa takılan ekranlar, hareket ve yönelimi izleyebilmek için genellikle hem ivmeölçer hem de jiroskopları entegre olarak içermektedir (Calil vd. 2021). Hibrit izleme sistemleri, optik ve ataletsel izleme gibi farklı teknolojilerin güçlü yönlerini birleştirerek daha sağlam ve doğru bir izleme performansı elde etmeyi amaçlamaktadır. Göz izleme teknolojisi, sanal gerçeklikte etkileşimi sağlayan ileri düzey bir yaklaşım olarak öne çıkmakta; göz konumları ve hareketlerinin ölçülmesini mümkün kılmaktadır (Lee ve Hui 2018). Bu teknoloji, kullanıcı davranışlarını anlamak, öğrenme ve performansı optimize etmek ve daha sezgisel, duyarlı sanal ortamlar oluşturmak açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır (Rappa vd. 2022).

El takibi, artırılmış ve sanal gerçeklik ortamlarında doğal etkileşim ve iletişim sunabilmek için kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Zhang F vd. 2020). Görüntü tabanlı izleme, bilgisayarla görme alanında köklü bir geçmişe sahip olması nedeniyle çok sayıda hareket izleme yaklaşımına temel oluşturmaktadır (Pouw vd. 2020). Piksel tabanlı hareket izleme, kareler arasındaki parlaklık değişimlerini temel alan “optik akış” kullanılarak hareketin kestirilmesini sağlayan doğrudan bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Pouw vd. 2020). Özellik tabanlı yöntemler ise köşe ve kenar gibi belirgin görsel özellikleri tespit edip izleyerek daha yüksek doğruluk sunmaktadır (Kämäräinen vd. 2017). Çoklu nesne takibi, otonom araçlar, video gözetimi, insan-makine etkileşimi, sanal ortamlar ve biyomedikal analiz gibi çeşitli araştırma alanlarında önem kazanmaktadır (Bouraya ve Belangour 2021). Nesne takibi, otonom araçlar, video izleme sistemleri ve tıbbi tedaviler gibi birçok bilgisayarla görme uygulamasında temel bir unsur olarak yer almaktadır (Dardagan vd. 2021). Çoklu nesne takibi, özellikle kalabalık analizleri ve güvenlik uygulamaları gibi birçok alanda kritik bir işlev görmektedir (Henschel vd. 2018).

Nesne takibi, birçok görsel analiz sisteminin temel bileşenlerinden biri hâline gelmektedir (Alvar ve Bajić 2018). Bu alanda yaygın olarak kullanılan “algılama ile izleme” (tracking-by-detection) yaklaşımında, nesneler öncelikle her bir karede algılanmakta ve ardından bu nesneler iz yolları hâlinde birbirine bağlanmaktadır (Cobos vd. 2019, Wang vd. 2022). Ancak bu yöntem, nesne algılama doğruluğuna büyük ölçüde bağımlı olmakta ve özellikle engellenme (occlusion) veya ani hareketlerin görüldüğü karmaşık sahnelerde yetersiz kalabilmektedir (Han vd. 2022). Çoklu nesne takibi yöntemlerinin çoğu, nesne algılama ve veri ilişkilendirme olmak üzere iki temel adıma dayanmaktadır (Sun vd. 2019). Kalman filtresi veya iki parçalı grafik eşleştirme (bipartite graph matching) gibi klasik yöntemler kullanılmakta; ancak bu teknikler, katı metrik sistemlere dayanmaktadır (Szabó vd. 2025). İzleme problemi genellikle hareket modelleri, özellik çıkarımı ve veri ilişkilendirme gibi birbirinden ayrı bileşenlere ayrılmaktadır (Huang 2020). Bununla birlikte, görünüş temelli özelliklerin çıkarımı zaman almakta ve nesnelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesini güçleştirmektedir (Luo ve Zeng 2023). Gerçek dünya videolarında izleme, kaydedilen önemli ilerlemelere rağmen hâlâ zorluklar barındırmaktadır.

2.1.3 Ses Donanımları

Sanal gerçeklik sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olan mekânsal ses (spatial audio), sesi üç boyutlu bir uzayda sunarak gerçek dünyadaki işitme biçimini taklit etmekte ve kapsayıcılık hissini önemli ölçüde artırmaktadır. Geleneksel stereo sistemler, yalnızca iki hoparlör arasında sınırlı bir ses kaynağı algısı oluşturmakta iken; mekânsal ses sistemleri, çoklu kanallar ve gelişmiş sinyal işleme tekniklerinden yararlanarak geniş bir alanda kapsamlı bir 3B ses alanı oluşturmaktadır (Zhang H 2017).

Mekânsal ses üretiminde iki temel teknik öne çıkmaktadır: binaural kayıt/oluşturma ve ses alanı (soundfield) kaydı/yeniden üretimi. Bu yöntemler, farklı uygulama alanlarına ve teknik yaklaşımlara dayanmaktadır. Binaural oluşturma, sesin dinleyicinin kulak zarına ulaştığı hâliyle yeniden üretilmesini amaçlamakta ve sesin kafa ve gövde tarafından nasıl kırıldığı ya da yansıtıldığı gibi fiziksel etkileşimleri modellemek için kafa ile ilgili aktarım fonksiyonları (head-related transfer functions) kullanmaktadır (Zhang H 2017). Bu yöntem, özellikle kulaklık tabanlı sanal gerçeklik deneyimleri için son derece etkili olmakta ve oldukça kişiselleştirilmiş, gerçekçi bir işitsel deneyim sunmaktadır.

Diğer yöntem olan ses alanı kaydı ise mikrofon dizileri aracılığıyla bir ses alanının tamamını kaydetmekte ve bu alanı hoparlör dizileri ya da sanal hoparlör sistemleri ile yeniden üretmektedir. Bu yaklaşım, özellikle paylaşılan sanal ortamlarda mekânsal sesin daha esnek ve ölçeklenebilir bir şekilde sunulmasını mümkün kılmaktadır (Jot vd. 2021). Nesne tabanlı (object-based) kapsayıcı ses formatlarının geliştirilmesi, sesin mekânsal koordinatlarla ilişkilendirilmiş ayrı nesneler olarak işlendiği yeni bir aşamayı temsil etmektedir (Jot vd. 2021). Bu formatlar, dinleyicinin konumu ve yönelimine göre sesi dinamik biçimde oluşturarak son derece etkileşimli ve kişiselleştirilmiş bir işitsel deneyim yaratmakta, böylece VR uygulamalarındaki gerçekçilik ve kullanıcı katılımını daha da artırmaktadır (Crockett 2014). Mekânsal ses ipuçlarının doğruluğunun kullanıcı hareketine bağlı olarak korunabilmesi için baş izleme teknolojisinin entegrasyonu büyük önem taşımaktadır (Jeon ve Jo 2020).

2.1.4 El Kontrol Sistemleri

Sanal gerçeklik (SG) teknolojisi, kullanıcıların bilgisayar tarafından oluşturulan üç boyutlu ortamlarda etkileşim kurmalarını mümkün kılan ileri düzey bir insan-bilgisayar arayüzü olarak öne çıkmaktadır (Riva 2009). Bu etkileşimi sağlayan temel bileşenlerden biri, kullanıcı hareketlerini sanal ortama yüksek doğrulukla aktarmakta olan sanal gerçeklik joystick'idir (Sadasivan vd. 2006, Leung vd. 2018). Joystick'lerin geliştirilmesi, insan motor kontrolü, ergonomi, bilgisayar grafikleri ve robotik gibi çok disiplinli alanların entegrasyonunu gerektirmektedir (Santos vd. 2014, Kharoub vd. 2019). Dokunsal geri bildirim mekanizmalarının entegrasyonu sayesinde, kullanıcıların sanal nesnelere temas hissini deneyimlemeleri sağlanmakta ve gerçeklik algıları güçlendirilmektedir (Caeiro-Rodríguez vd. 2021).

Joystick tasarımlarında, kullanıcıya ait el büyüklüğü, kavrama gücü ve tepki süresi gibi bireysel özellikler dikkate alınmakta; optik izleme sistemleri ve ataletsel ölçüm birimleri ile bu hareketler sanal ortama minimum gecikmeyle aktarılmaktadır (Seo vd. 2021). Sanal ortamın gerçek dünyaya olan benzerliği (fidelity), öğrenilen becerilerin gerçek hayata transfer edilmesinde etkili rol oynamaktadır (Drew vd. 2020). Gerçek dünyaya olan benzerliğin artması kullanıcıların kendisini gerçekteymiş gibi hissetmelerine de yardımcı olabilmektedir.

2.2. Sanal Gerçeklik Sistemleri Sınıflandırılması

SG teknolojisi, kullanıcının gerçek dünyadan sıyrılma seviyelerine göre sınıflandırılmaktadır. Deneyimleyen kişi sanal dünyayla etkileşim seviyesini ve gerçeklik hissini değerlendirerek daldırma (immersive) seviyelerini belirlemektedir. Tasarlanan oyunun veya simülasyonun gerçekçilik oranını tanımlayabilmek için sistemler birbirinden ayrı özellikleri ile adlandırılmaktadır. Çizelge 2.2'de sanal gerçeklik sistemleri sınıflaması gösterilmektedir (Levy ve Biocca 1995).

Sanal gerçeklik sistemlerinin sınıflandırılması hitap edilen kullanıcılar açısından da önem arz etmektedir.

Çizelge 2.2 Sanal gerçeklik sistemleri sınıflamaları (Levy ve Biocca 1995).

Tipi	Açıklama
Pencere Sistemleri	Bilgisayar monitörleri 3 boyutlu dünyaya bir pencere veya sanal bir kapı açmaktadırlar. Masaüstü bilgisayarlar sıklıkla kullanılır ve kullanıcılar bazen 3 boyutlu stereoskopik efektler için gözlükler takmaktadırlar.
Ayna Sistemleri	Kullanıcılar bir projeksiyon ekranına bakar ve sanal bir dünyada hareket eden kendi görüntülerini görürler. Video ekipmanları, kullanıcının vücudunu kaydetmek için kullanılır. Bir bilgisayar, kullanıcının görüntüsünü keserek bir bilgisayar grafik arka planının üzerine yerleştirir. Ekrandaki bu kesilmiş kullanıcı görüntüsü, kullanıcının hareketlerini yansıtır; bu nedenle bu sistemlere “ayna sistemleri” adı verilir.
Makine Tabanlı Sistemler	Kullanıcılar, bir araç gibi görünen (örneğin, tank, uçak, araba, uzay gemisi vb.) bir yapının içine girerler ve sanal dünyada hareketi simüle eden kontrol mekanizmalarını kullanırlar. Sanal dünya genellikle ekranlara yansıtılır. Bu araçlar, fiziksel hareketi taklit etmek için hareketli platformlar da içerebilir.
Mağara Sistemleri	Kullanıcılar, büyük ekranlarla çevrili bir odaya veya kapalı bir alana girerler. Bu ekranlar, neredeyse kesintisiz bir sanal sahneyi yansıtır. Mekânsal algıyı artırmak için bazen 3 boyutlu gözlükler de kullanılır.
Daldırma Sanal Gerçeklik Sistemleri	Kullanıcılar, bilgisayar tarafından oluşturulan uyaranlarla birden fazla duyunun tamamen içine çekildiği görüntü sistemlerini takarlar. Bu tür sistemlerin ayırt edici özelliği, stereoskopik başa takılan ekranlardır (HMD - Head-Mounted Display).
Artırılmış gerçeklik sistemleri	Kullanıcılar, gerçek dünya sahnelerinin üzerine 3 boyutlu sanal nesneleri bindiren bir görsel ekran (örneğin, geçirgen HMD) takarlar.

2.2.1 Daldırma Tipi Sanal Gerçeklik

Daldırma, özellikle video oyunlarında sıklıkla karşılaşılan bir kavramdır. Sanal gerçeklik ortamında orada olma hissi veren ve tam anlamıyla gerçek dünyayı kaybetme deneyimini ifade etmektedir. Bununla birlikte kullanıcı başa takılan ekranlar sayesinde duyuşsal kaplama alanı, canlılık ve görsel kalite, etkileşim imkanı ve son olarak anlatı ve hikaye derinliği faktörleriyle bağlantılıdır (Burdea ve Coiffet 2003).

İçe dalmasız (non-immersive), yarı içe dalmalı (semi-immersive) ve tam içe dalmalı (immersive) olmak üzere bu yöntem üç ana başlıkta incelenmektedir.

İçe dalmatsız VR sistemi, aynı zamanda masaüstü VR sistemi, balık tankı veya dünyaya açılan pencere (Window on World) sistemi olarak da adlandırılır ve VR sistemleri arasında en az içe dalma sağlayan ve en ucuz olanıdır. Çünkü en az gelişmiş bileşenleri gerektirir. Kullanıcıların, stereo ekran monitörü ve gözlük aracılığıyla 3B bir ortamla etkileşime geçmesine olanak tanır. Diğer yaygın bileşenler arasında hareket topu (space ball), klavye ve veri eldivenleri bulunur. Bu sistemin uygulama alanları arasında modelleme ve CAD sistemleri yer almaktadır (Barrett 2012).

Yarı içe dalmalı VR sistemi, aynı zamanda melez sistemler (hybrid systems) veya artırılmış gerçeklik sistemleri olarak da adlandırılır ve yüksek bir içe dalma düzeyi sunarken, masaüstü VR sisteminin sadeliğini korur ya da bazı fiziksel modelleri kullanır. Bu tür sistemlere örnek olarak CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) gösterilebilir ve bir uygulama alanı da sürüş simülatörleridir (Barrett 2012).

Tam içe dalmalı VR sistemi, en pahalı olanıdır ve en yüksek düzeyde içe dalma sağlar. Bileşenleri arasında başa takılan ekranlar (HMD), izleme cihazları, veri eldivenleri ve diğer ekipmanlar bulunur. Bu sistem, kullanıcıyı bilgisayar tarafından üretilen 3B animasyonlarla çevreleyerek, kullanıcının kendini sanal ortamın bir parçası gibi hissetmesini sağlar. Bu sistemin uygulamalarından biri, binaların sanal olarak gezilebildiği "virtual walkthrough" uygulamalarıdır (Barrett 2012).

Doğaltaş maden ocağı ciddi oyun tasarımında kullanıcıların gerçekte olan ortamı bir nebze olsun fazla yaşaması için tam daldırma tipine uygun hazırlanmıştır. Başa takılan sanal gerçeklik kaskı ile kullanıcı kendisini gerçek bir doğaltaş ocağında hissetmesi ve gerçeklikten uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Sanal ortamda hareket etme yöntemlerinden birisi olarak tanımlanan "locomotion" (gezi hareketi) isimli hareketlenme uygulanmıştır. Belirli noktalara ışınlanma gibi hissettiren veya belli bir alanda sıçrayarak gidebilen diğer sistemlere kıyasla gerçeklik hissini daha da artırdığı için bu hareket yöntemi seçilmiştir. Kullanıcılar açısından bazı uygulamalarda baş dönmesi meydana getirmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, çalışmada kullanılan materyaller ile araştırmanın gerçekleştirilmesinde izlenen yöntemsel süreçler detaylı şekilde açıklanmaktadır. Bu çalışmada, doğaltaş madenciliği alanına yönelik geliştirilen sanal gerçeklik temelli ciddi oyun uygulamasının tasarım süreci, kullanılan yazılım araçları, içerik geliştirme adımları ve uygulamanın hedef kitlesi olan öğrenciler ve/veya sektör çalışanları üzerinde nasıl test edildiği ele alınmaktadır. Ayrıca, uygulamanın etkililiğini değerlendirmek amacıyla kullanılan veri toplama yöntemleri ve analiz tekniklerine de yer verilmektedir.

3.1 SG Uygulamasında Kullanılan Donanımlar ve Özellikleri

SG teknolojik uygulamalarını yapabilmek ve deneyimleyebilmek için gerekli olan donanımların çalıştırılması için bazı asgari bilgisayar özellikleri bulunmaktadır. Uygulamada kullanılan bilgisayarın özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 HTC Vive setinin çalışması için gerekli donanım listesi ve mevcut donanım bilgileri Kıyası (İnt.Kyn.2).

Bileşenler	Minimum Sistem Gereklilikleri	Kullanılan Bilgisayarın Özellikleri
İşlemci	Intel Core i5-4590/AMD FX 8350 (eşdeğeri veya daha iyisi)	i7 3.2GHz işlemci
GPU (Grafik İşlemci Birimi)	NVIDIA GeForce GTX 970, AMD Radeon R9 290 e (eşdeğeri veya daha iyisi)	GTX1080 3GB GDDR5 192BIT Ekran Kartı
Hafıza	4 GB RAM veya daha fazlası	16 GB DDR4 RAM
Video Çıkış	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 veya daha yenisi	1xHDMI 1.4, 3x DisplayPort 1.2
USB-Port	1x USB 2.0 veya daha yenisi	2xUSB 2.0, 2xUSB 3.0
Operasyon sistemi	Windows 7 SP1, Windows 8.1 or later, Windows 10	Windows 10

SG ortamında deneyimlemek için iki tane sensörü sayesinde en fazla 15 m² alan içerisinde olmak üzere kullanılabilen kablolu bir HTC Vive kask seti ekonomik olduğundan ötürü tercih edilmiştir. Joystickleri sayesinde sanal etkileşimler kurulabilen bir donanımdır.

Mevcut bilgisayar özellikleri çizelge 3.1 de verilmiştir. Kullanılan bilgisayarın, sanal ortam oluşturma ve uygulama açısından yeterli özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

3.2 SG Uygulamasında Kullanılan Yazılımlar

Uygulama hazırlama ve geliştirme aşamalarında Unity3D oyun geliştirme motoru olarak adlandırılan programın ücretsiz versiyonu kullanılmıştır. Etkileşimler için gerekli animasyonları veya hareketleri sağlamak için entegre bir şekilde çalışan Visual Studio editöründe C# programlama dili kullanılmıştır. Oyun motorlarında kullanılması için gerekli modellerin oluşturulduğu çizim programlarıdır. Bu çalışmada SketchUp ve Autocad programlarında bazı model tasarımları üç boyutlu hale getirilmiştir.

Mimarlık, mühendislik, oyun geliştiricileri ve film yapımcıları için tasarlanmış 3 boyutlu modellemelerin yapılabildiği yazılımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada ücretsiz kullanılabilen SketchUp programı makine modellemeleri için tercih edilmiştir. SketchUp warehouse adındaki geniş model kütüphanesiyle kullanıcılara çok kolaylık sağlayan bir çizim programı bu çalışmada da kolaylık sağlamıştır.

Kendi web sitelerinden ücretsiz bir şekilde indirilebilen bir program olduğu için Unity oyun motoru olarak kullanımı tercih edilmiştir. Programın 2022.3.40f1 versiyonunda çalışılmıştır. Diğer oyun motorlarına kıyasla daha fazla kodlama ve modelleme kütüphanesine sahiptir. HTC marka cihazlarla uyumlu ve sıkıntısız çalışma avantajları da bulunmaktadır.

Microsoft Visual Studio C# yazılım programı Unity ile entegre bir şekilde çalışmaktadır. Etkileşimde kullanılan tüm yazılımlar C# dili ile oluşturulmuş ve scriptler halinde programdaki assets klasörüne yüklenmiştir.

Steam VR, sanal gerçeklik uygulamalarının çalıştırılması için gerekli zemini sağlayan bir platformdur. Kaskı takıp kullanıcılara denetlenmesi istenen geniş bir alan ayarlandıktan sonra VR oda kurulumu yapılmalıdır. Neticesinde oyun motorlarında hazırlanan uygulamalar gösterilebilmektedir.

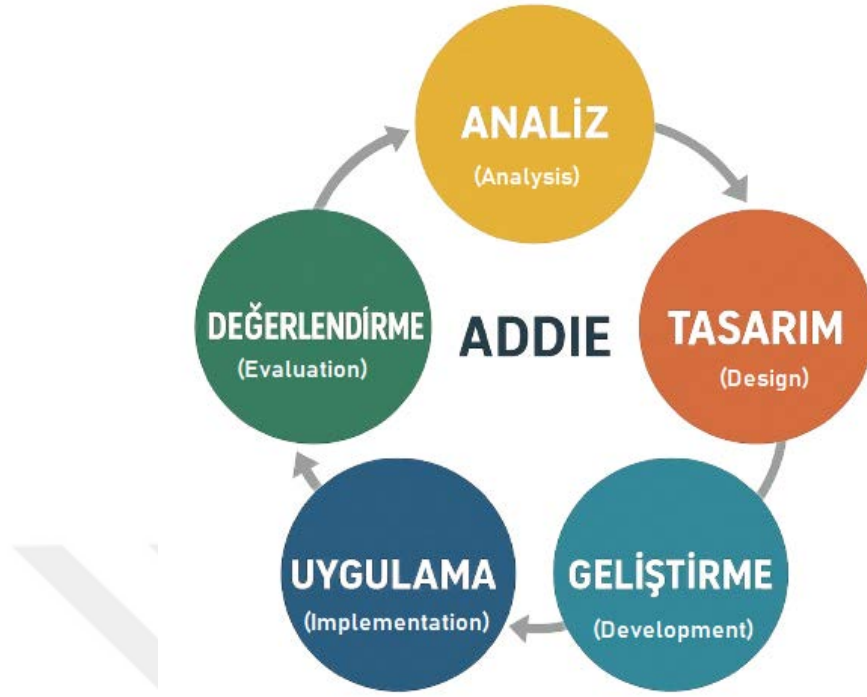
Çalışmaya ilk başladığında yapılması kararlaştırılan senaryoların kullanıcıların uygulamalarına göre düşünülüp tasarlanması gerekmektedir. Kara kalem çizimlerle bu senaryolar canlandırılmaya çalışılmıştır. Daha sonra sanal ortam için açık işletme mermer ocağı ve blok kesme makinelerinin modellemeleri yapılmıştır. Bu makineler işletmelerde kullanılan “*elmas tel kesme makineleri*”, “*sayalama makineleri*” ve “*kollu kesicileri*” olarak çalışılacaktır. Kullanıcıya verilmek istenen eğitimlerden birisi de bu makinelerin çalışma hareketlerini ve prensiplerini gösterecek etkileşimler oluşturulmuştur. Ayrıca, kullanıcıların kritik iş sağlığı ve güvenliği kurallarını hatırlamalarını sağlayarak deneyimleyerek öğrenme yoluyla farkındalık kazanmaları hedefiyle etkileşimler hazırlanmıştır.

3.3 ADDIE Öğretim Tasarım Modeli

ADDIE öğretim tasarım modeli, sistematik ve yapılandırılmış bir öğrenme süreci geliştirmek amacıyla kullanılan, beş aşamadan oluşmaktadır. Bu model, adını beş temel bileşeninden alır: Analiz (Analysis), Tasarım (Design), Geliştirme (Development), Uygulama (Implementation) ve Değerlendirme (Evaluation). Her bir aşama, bir sonraki adımın temelini oluşturur ve sürecin bütüncül ilerlemesini sağlar. Eğitim materyali hazırlama, öğrenme hedefleri belirleme ve değerlendirme stratejileri oluşturma gibi süreçlerde sıklıkla tercih edilen ADDIE modeli, özellikle öğretim tasarımı ve e-öğrenme projelerinde standart bir yaklaşım olarak benimsenmiştir. Şekil 3.1’de ADDIE modeli bileşenleri gösterilmiştir.

Modelin en önemli özelliklerinden biri, her aşamanın geri bildirimle sürekli olarak gözden geçirilebilmesi ve iyileştirilebilmesidir. Böylece öğretim tasarımcıları, öğrenenlerin ihtiyaçlarına göre esnek ve etkili içerikler geliştirebilir.

ADDIE modeli, sadece eğitim alanında değil, kurumsal eğitim, askeri simülasyonlar ve dijital öğrenme platformları gibi çeşitli disiplinlerde de yaygın biçimde kullanılmaktadır. (Molenda 2015).



Şekil 3.1 ADDIE öğretim tasarım modeli bileşenleri.

Bu bileşen başlıkları altında çalışmanın nasıl ilerlediğiyle ilgili bilgiler ve görseller verilecektir.

3.3.1 Analiz (Analysis)

Analiz aşaması, öğrenme tasarım sürecinin temelini oluşturur. Bu aşamada hedef kitlenin özellikleri, mevcut bilgi düzeyi, öğrenme ihtiyaçları ve öğrenme ortamının koşulları detaylı olarak belirlenir. Ayrıca, hangi öğrenme hedeflerinin gerçekleştirileceği ve hangi tür içeriklerin geliştirilmesi gerektiği analiz edilir. Bu veriler, öğretim sürecinin yönünü belirlemek açısından kritik öneme sahiptir. Etkili bir analiz süreci, sonraki adımlarda oluşabilecek tasarım hatalarının önüne geçer (Branch 2009).

Doğaltaş endüstrisi Afyon ilinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu konunun seçilmesindeki gayelerden birisi de bu sektöre gereken katkıyı sağlamaktır. Doğaltaş sektöründe çalışan uzmanlarla ve maden mühendisleriyle yapılan görüşmelerde iş sağlığı güvenliği konusundaki eğitim sıkıntılarından bahsedilmiştir. İşe yeni başlayanlar için makine ekipman öğretilmesi, ortamın tanıtılması ve yapılacak işlerin anlatılması için

üretimin durdurulmasına gerek olduğu vurgulanmıştır. Buna ek olarak yıllardır çalışan personelin de her gün yaptıkları rutinler esnasında başlarına bir şey gelmemesi yüzünden dikkat seviyelerinin oldukça düştüğü görülmüştür. Ocaklarda yaşanmış ve yaşanması muhtemel olabilecek tehlikeli senaryoları güvenli bir sanal ortamda kullanıcıların deneyimlemesi fikri ortaya çıkmıştır. Bu sanal ortamda tekrarlanabilir uygulamalarla alınan eğitimlerin daha kalıcı olabileceği, farkındalıkların artabileceği düşünülmüştür.

Maden mühendisliği öğrencileriyle yapılan görüşmelerde derslerin daha zevkli hale getirilmesi için teknolojinin yardımı ile yapılacak derslerin daha verimli olabileceğinden bahsedildi. Yeni neslin teknolojiye olan yatkınlığı sayesinde bazı öğretiler anaokulundan itibaren medya araçları ile çeşitli eğitici video oyunları oynatılmaları ile geçmişe kıyasla daha ilgi çekici olduğu vurgulanmıştır. Tüm bu analiz ve gözlemler nihayetinde maden mühendisliği öğrencilerine yönelik ciddi oyun tasarımı ile öğretim modeli yapılması kararlaştırılmıştır. Bir mermer ocağı tasarlanıp öğrencilerin ocağa gitmeden önce o ortamı daha yakından tanıması sağlanması, iş sağlığı güvenliği hakkında hangi donanımların kullanılmasının doğru olacağı, uygun yerlere gereken uyarı levhalarının ne olabileceği hakkında ve dağ kesme cihazlarının çalışma prensiplerinin anlaşılacağı bir doğaltaş ocağı sanal gerçeklik ortamında hazırlanmasına karar verilmiştir.

3.3.2 Tasarım (Design)

Tasarım aşaması, analiz sonuçlarına dayanarak öğretim stratejilerinin, içerik yapısının, değerlendirme yöntemlerinin ve öğrenme etkinliklerinin planlandığı kısımdır. Bu aşamada öğrenme hedefleri netleştirilir, uygun içerik türleri ve sunum yolları belirlenir. Ayrıca, kullanıcı deneyimi, etkileşim düzeyi ve pedagojik ilkeler dikkate alınarak bir tasarım planı oluşturulur. Bu aşama, öğretim materyallerinin nasıl geliştirileceğinin yol haritasını çizer (Branch 2009).

Doğaltaş ocaklarında İSG eğitimleri kapsamında tel kopmalarına karşı, delik delmede oluşan gürültülerin bertaraf edilmesi, uyarı levhaların eğitimi, KKD'lerin öğretilmesi gibi personel eğitimleri yapılmaktadır. Çok tehlikeli çalışma sınıfında yer alan doğaltaş ocaklarında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanununa göre 16 saatlik temel İSG teorik eğitimleri yapılmaktadır.

Senaryolar ve akış şemaları geliştirilmiş, ocağın modellemeleri Unity programında yapılmıştır (Şekil 3.2).

SANAL GERÇEKLİK UYGULAMASI GELİŞTİRME SÜRECİ

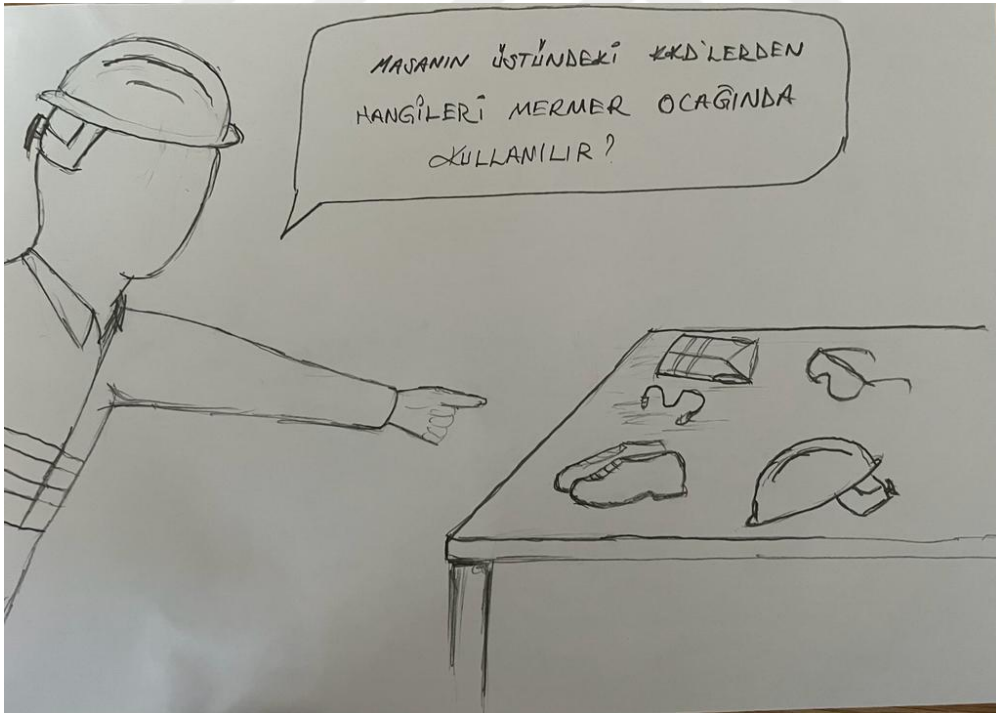


Şekil 3.2. Uygulama akış diyagramı.

Projenin ikinci adımı olarak sahada karşılaşılan temel operasyonel süreçlerin anlaşılması ve bu süreçlerin dijital ortama nasıl aktarılacağına planlanmasıdır. Bunun için, bir mermer ocağında sıklıkla kullanılan elmas tel kesme makineleri ve ray üzerinde hareket

eden kollu kesiciler detaylı biçimde analiz edilmiştir. Gerçek makine formlarının birebir benzeri olacak şekilde, ilk olarak karakalem eskizler üzerinden kaba form ve oran çalışmaları yapılmıştır. Bu çizimler yalnızca görsel değil, işlevsel düşünmeyi de destekleyerek üç boyutlu modellemenin temelini oluşturmuştur.

İlk senaryo kullanıcının, saha binasından çıkarak ocağı ziyaret etmek üzere ilerlediğinde, doğal taş ocaklarında kullanılması gereken Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) ekipmanlarını tanımlaması istenmesi şeklindedir. KKD seçenekleri arasında tam yüz maskesi, siperlikli baret, koruyucu başlık, koruyucu gözlük, oksijen maskesi, çelik burunlu iş ayakkabısı, su geçirmez lastik çizme, toz maskesi ve yüksek kesilme direncine sahip koruyucu eldivenler yer almaktadır. Kullanıcının bu seçenekler arasından doğru beş ekipmanı seçerek manken işçiye giymesi gerekmektedir. Doğru ekipmanlar seçildiğinde, ekranda **“Tebrikler, doğru bildiniz, toplam puanınız ...”** ifadesi yer alan bir bilgilendirme mesajı görüntülenecektir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Doğru kişisel koruyucu donanımın (KKD) seçimi.

İkinci uygulama olarak kullanıcıdan, doğal taş ocağının girişlerine asılması gereken uygun İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uyarı levhalarını seçmesi istenmektedir. Tablo üzerinde çeşitli levhalar bulunmaktadır ve kullanıcı, bunlar arasından doğru olanları

seçerek pano üzerine asmalıdır. Bu levhalar arasında “Kimyasallar”, “*Açık Ateş Yasaktır*”, “*Dikkat*”, “*Yüksek Gerilim Hattı*”, “*Girilmez*”, “*25 Metre Mesafe Bırakın*”, “*Kamyon Geçişi*”, “*Hız Sınırı*” ve “*Önce Güvenlik*” gibi örnekler yer almaktadır. Kullanıcı, bir joystick yardımıyla seçtiği levhaları belirlenen panoya yerleştirir. Tüm levhalar arasında doğru olanı yanda duran boş direğe üzerine asılması gerekmektedir. İşlem tamamlandığında ekranda “*Tebrikler, doğru bildiniz, toplam puanınız ...*” ifadesi görüntülenir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 İş sağlığı ve güvenliği (İSG) uyarı levhaları.

Doğal taş ocağının yerleşim planı; üretim alanı, atık depolama sahası, blok stok alanları, yollar, şantiye bölgeleri ve makine parkı gibi bölümleri kapsayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.5).

Uygulamadaki doğaltaş ocağında olması gereken en önemli özellik; tüm doğaltaş ocaklarını temsil eden bir tasarım olmasıdır. Kullanıcı ne kadar gerçeğe yakın bir çizim ve çevre görürse ciddiyet o kadar artacaktır. Doğaltaşın deseni, kırıklar, çatlaklar, gölgelendirmeler, arazi topoğrafyası, çalışma ofisleri, enerji kaynakları, makine ve ekipmanlar gibi birçok obje ve görseller detaylandırılmalıdır.



Şekil 3.5 Doğal taş ocağı yerleşim planı tasarımı.

Karakalem çizimlerle, detaylandırılmış senaryo taslaklarıyla uygulama akış şeması çıkartılmıştır. Bu akışa göre yapılması gerekenler bilgisayar ortamında modelleme ve sanal gerçekli ortamı oluşturma şeklinde geliştirme bölümünde anlatılmıştır.

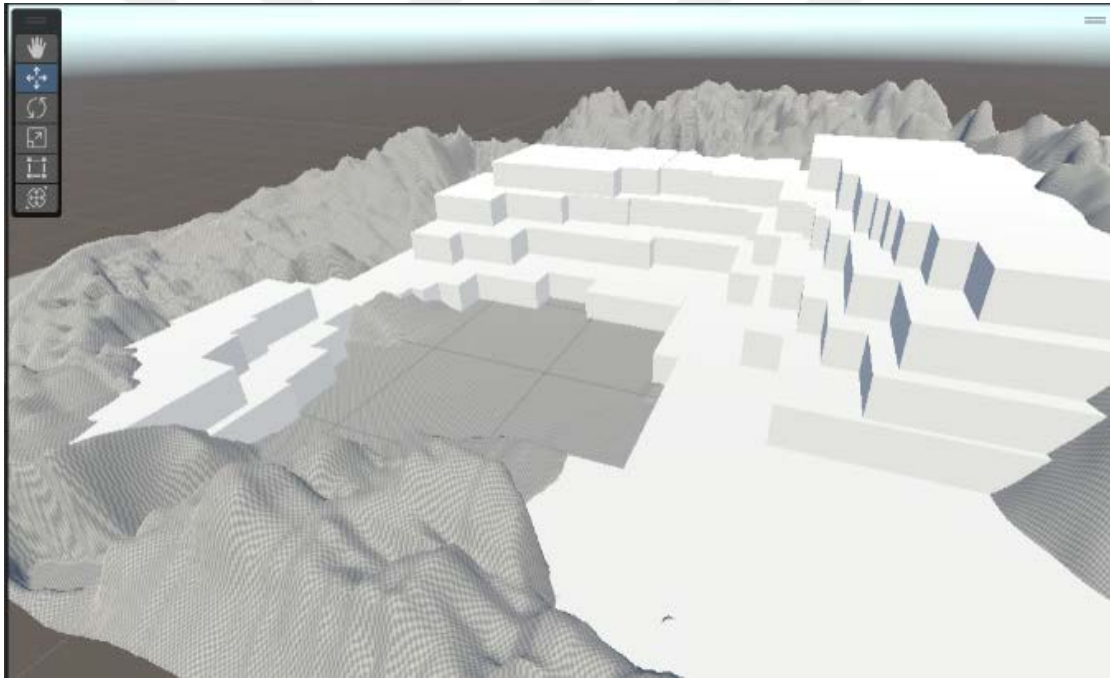
3.3.3 Geliştirme (Development)

Geliştirme aşamasında, tasarım sürecinde belirlenen plan doğrultusunda öğretim materyalleri ve içerikler somut olarak üretilir. Eğitim videoları, etkileşimli uygulamalar, slaytlar, sınavlar ve diğer dijital ya da fiziksel materyaller bu aşamada hazırlanır. Aynı zamanda, bu materyaller test edilerek teknik ya da içeriksel eksiklikler gözden geçirilir ve gerekli düzenlemeler yapılır. Geliştirilen ürünlerin kalite kontrolü, bu sürecin önemli bir parçasıdır (Branch 2009).

Gerçek bir doğaltaş maden ocağının dijital bir kopyasını oluşturmak, yalnızca teknik beceri değil, aynı zamanda süreç bilgisini, görsel gerçekçiliği ve kullanıcı deneyimini bir araya getiren çok katmanlı bir yaklaşım gerektirir. Bu proje kapsamında, mermer ocağında blok kesme işlemlerinde kullanılan temel makinelerin birebir modellenmesi,

Çalışma senaryolarının oluşturulması ve tüm bu bileşenlerin gerçek zamanlı olarak sanal gerçeklik platformunda bütünleşmesi sağlandı. Sürecin temel amacı, sektörde hem eğitim hem de planlama amacıyla kullanılabilecek gerçekçi bir sanal ortam oluşturmaktır. Unity programında örnek bir mermer ocağı tasarlanmıştır (şekil 3.6).

Modelleme sürecinde tercih edilen araç SketchUp olmuştur. Bu yazılım üzerinden, elmas tel kesme makinesi ve kollu kesici detaylı şekilde üç boyutlu hale getirilmiştir. Ray sistemleri, tahrik motorları, kasnaklar ve tel gerdirme mekanizmaları gibi yapısal unsurların hepsi fiziksel gerçekliğe sadık kalarak modellenmiştir. Modeller yalnızca dış görünüş değil, mekanik düzen açısından da işlevsel bir bütünlük taşımaktadır. Bu sayede, kesim senaryoları daha inandırıcı biçimde canlandırılabilmiştir.



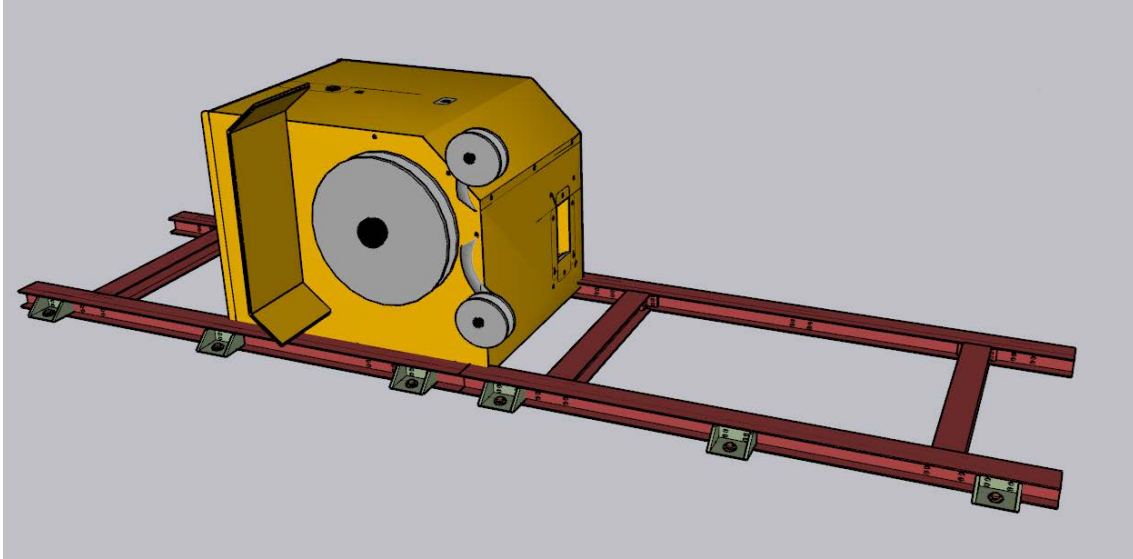
şekil 3.6 Tasarlanan ocak modeli.

Modelleme işlemlerinin ardından, Unity oyun motoru üzerinden sanal sahne oluşturulmasına geçilmiştir. Bu aşamada, mermer ocağının kendine özgü topografik yapısı dijital olarak simüle edildi. Arazinin basamaklı yapısı, blok sahalarının dizilişi ve çevresel unsurlar üç boyutlu olarak şekillendirildi. Sahaya gerçekçilik katmak amacıyla Unity'nin prefab kütüphanelerinden faydalanıldı; aynı zamanda bazı zgn nesneler manuel olarak çizilerek ortama eklendi. Elektrik direkleri, kablo hatları, makine bağlantı

kutuları, kontrol panoları gibi detaylar ortamın inandırıcılığını artıran başlıca öğeleri oluşturmaktadır.

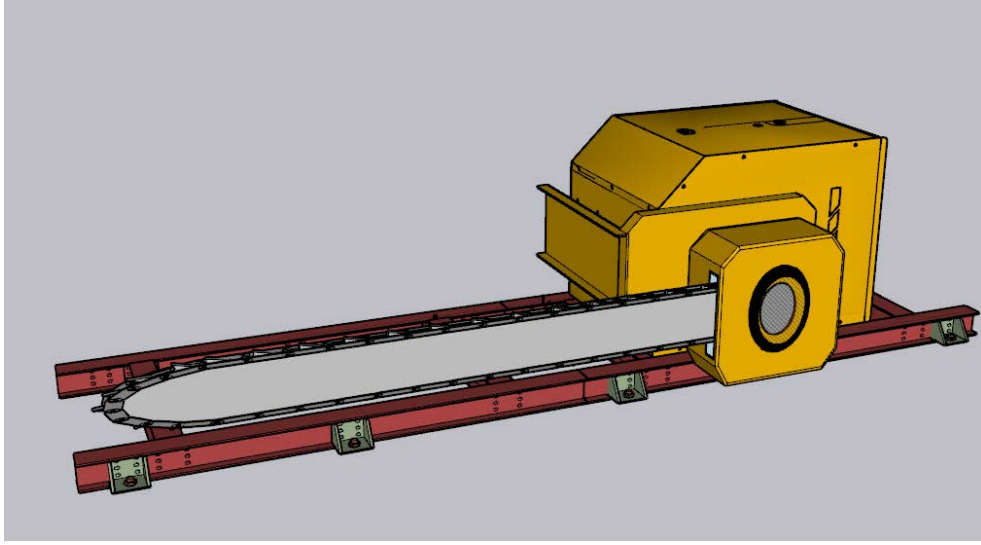
Sahnenin görsel niteliğini artırmak amacıyla, modellerin üzerine mermer yüzey dokuları giydirildi. Bu sayede yalnızca yapısal değil, materyal düzeyinde de bir gerçeklik hissi yakalanmış oldu. Mermer blokların yüzey yansımaları, kesim izleri ve doğal çatlak dokuları mümkün olduğunca ayrıntılı olarak görselleştirildi. Ayrıca, ışıklandırma ve gölgelendirme ayarlarıyla zaman geçişi simülasyonları da yapılabilir hale getirildi.

Ocaklarda blok kesme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan zincirli kollu kesme makinesi, elmas tel kesme makinesi ve sayalama makinası modellenmiştir (Şekil 3.7-3.8).



Şekil 3.7 Elmas tel kesme makinası modeli.

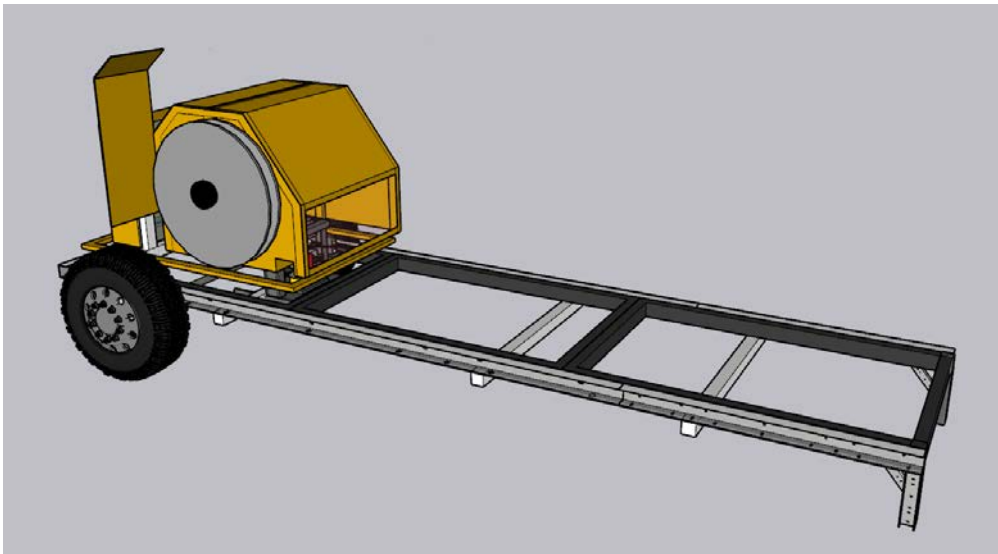
Senaryo tasarımı sürecinde, makinelerin başlangıç konumları, hareket düzenleri, kesim süreleri ve işlemler arası geçişler belirli mantık çerçevesinde organize edilmiştir. Her makinenin çalıştırılabilir olması ve sahneye müdahale edilebilirliği, interaktif kullanım senaryolarının temelini oluşturmuştur. Kullanıcının SG gözlüğü aracılığıyla ortamda dolaşabilmesi, makinelerin yanına yaklaşabilmesi, kesim işlemini başlatabilmesi gibi etkileşimler bu senaryolarla desteklenmiştir. Aynı zamanda güvenlik farkındalığını artırmaya yönelik sanal bariyerler, uyarı tabelaları ve kontrol alanları da bu yapının içerisine entegre edilmiştir.



Şekil 3.8 Zincirli kollu kesici modeli.

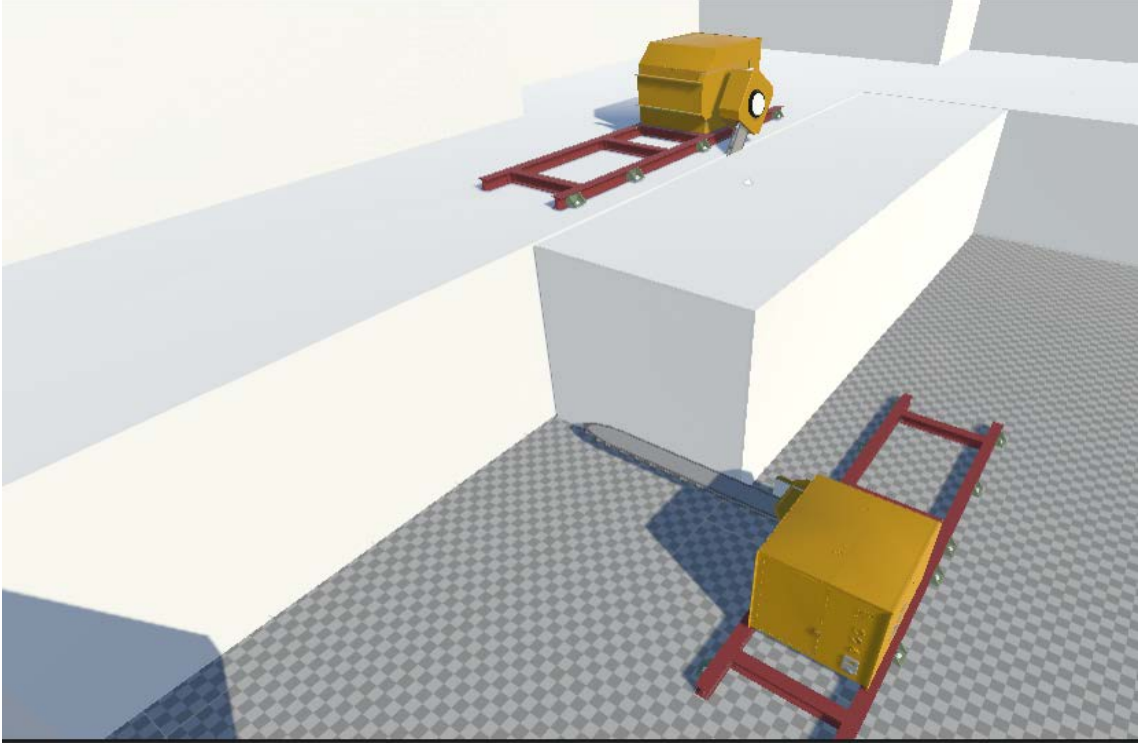
C# diliyle yazılan scriptler sayesinde, kullanıcı ile etkileşimli butonlar oluşturulmuştur. Makine motorları çalıştırılmış, kesme işlemi başlatıldı ve makinelerin ray üzerindeki hareketleri simüle edilmiştir. Performans optimizasyonu amacıyla, gereksiz poligon kullanımı sınırlandırıldı ve tüm sahne "baked lighting" yöntemi ile aydınlatıldı.

Blokların taşınabilir hâle getirilmesi ve daha küçük parçalara ayrılması için kullanılan sayalama makinesi modellenmiştir. Bu makinenin en önemli özelliği, kolay taşınabilirliğidir; bu nedenle genellikle kauçuk tekerleklerle donatılmıştır (Şekil 3.9).

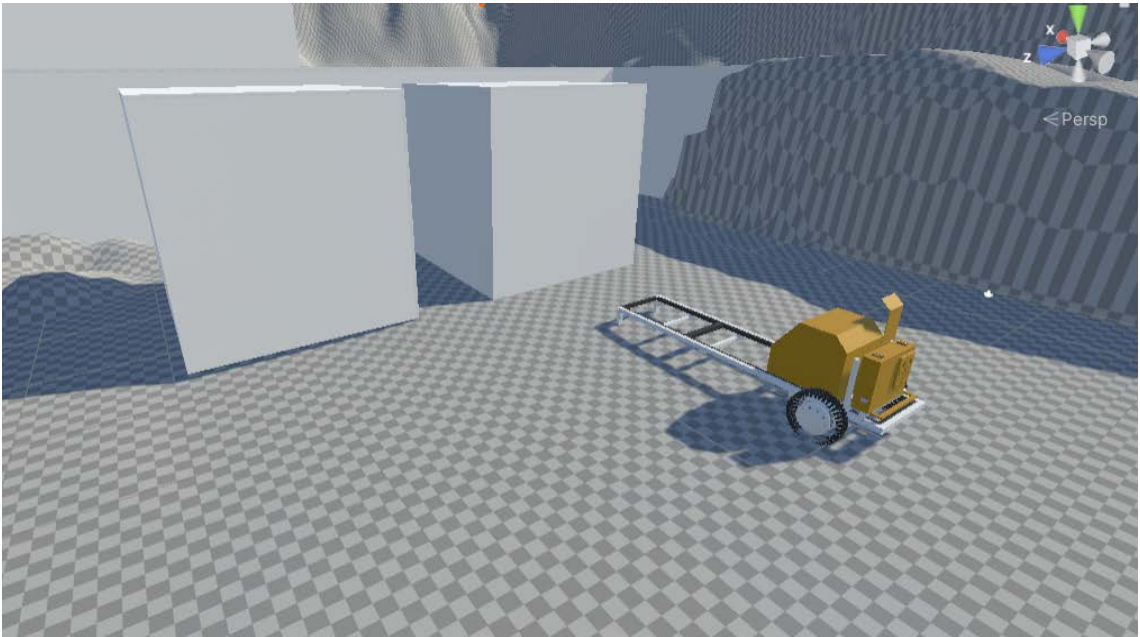


Şekil 3.9 Sayalama makinası modeli.

Bir blok yer kabuğundan kesilirken üç farklı kesim uygulanır: arka, yanlar ve taban. Bu kesim işlemlerine uygun olarak makineler, ocak modelinde kesim tasarımına göre doğru konumlandırılmıştır (Şekil 3.10a ve 3.10b).



Şekil 3.10a Makine modellerinin taslak ocakta görünüşleri.



Şekil 3.10b Makine modellerinin taslak ocakta görünüşleri.



Şekil 3.11a Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.



Şekil 3.11b Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.

Tasarlanan mermer ocağının oyun içerisindeki farklı açılardan görselleri Şekil 3.11a, 3.11b, 3.11c ve 3.11d’de verilmiştir.



Şekil 3.11c Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.



Şekil 3.11d Mermer ocak modelinin farklı açılardan görüntüsü.

Bu modellerin iyileştirilmesi yapılarak sanal ortam etkileşimleri de eklenmiştir. Proje hazırlanırken senaryoların anlatılması ve SG ortamında etkileşim ile gerçekleştirilmesi aşağıda açıklanmıştır.

Bu çalışma, sanal gerçeklik teknolojisinin yalnızca görselleştirme değil, aynı zamanda madencilik sektöründe eğitim, planlama ve güvenlik değerlendirmesi gibi çok yönlü işlevler üstlenebileceğini göstermektedir. Gerçek bir doğaltaş ocağının birebir sanal kopyasının oluşturulması, sahada yapılacak birçok testin, riskli operasyonun ya da eğitim sürecinin simülasyon ortamında gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece, operasyonel hatalar en aza indirilirken, iş güvenliği kültürü ve mesleki bilgi düzeyi de artırılabilir.

Sonuç olarak, bu sanal gerçeklik projesi, maden işletmeciliğinde dijital dönüşümün somut bir örneği olarak değerlendirilebilir. Gerçek ortamdan alınan ilhamla başlatılan bu dijital modelleme süreci, önce plan, ardından görselleştirme ve son olarak etkileşimle birleşerek, kullanıcıya hem öğretici hem de yönlendirici bir deneyim sunmaktadır.

3.3.4 Uygulama (Implementation)

Uygulama aşamasında, geliştirilen içerikler hedef kitleye sunulur ve öğretim süreci fiilen başlatılır. Bu aşama, eğitmenlerin, öğrencilerin ve diğer paydaşların sisteme dâhil olduğu uygulama sürecidir. Kullanıcıların içeriklere erişimi sağlanır, teknik destek sunulur ve sürecin sağlıklı yürütülmesi için gerekli operasyonel hazırlıklar yapılır. Bu aşama, öğrenme deneyiminin gerçek ortamda test edildiği aşamadır (Branch 2009).

Uygulamadaki etkileşimler aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmaktadır;

Etkileşim-1: Doğal taş ocağında çalışanların giymeleri gereken KKD'leri şantiye içerisinde bir model üzerinde denemesi olarak tasarlanmıştır. Masa üzerinde doğru ve yanlış koruyucu donanımlar bırakılmıştır. Kullanıcı aralarından doğru düşündüklerini seçip model üzerine yerleştirerek eğitimini tamamlamaktadır. Tamamını doğru bilirse tebrikler kazandınız şeklinde bir yorumla karşılaşmaktadırlar (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Doğru KKD kullanımı etkileşimi.

Etkileşim-2: Ocak basamaklarının başında hangi uyarı levhaları asılmalı diye soru sorulur. Birçok uyarı levhaları arasında uygun olanları panoya asar. (Örneğin kimyasal madde, ateşle yaklaşma, dikkat elektrik hattı var, kademe diplerine gitme, 25 m yaklaşma, kamyon çıkabilir, hızlı gitme, önce iş güvenliği vs. bunlar arasından doğru olanları seçip büyük levhaya yapıştırılmalıdır) (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Doğru uyarı levhası seçme etkileşimi.

Etkileşim-3: Elektrik direğine bağlı elektrik panosunda olması gereken uyarı levhasını diğer seçenekler arasından kullanıcı seçecektir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Doğru uyarı levhası seçme etkileşimi.

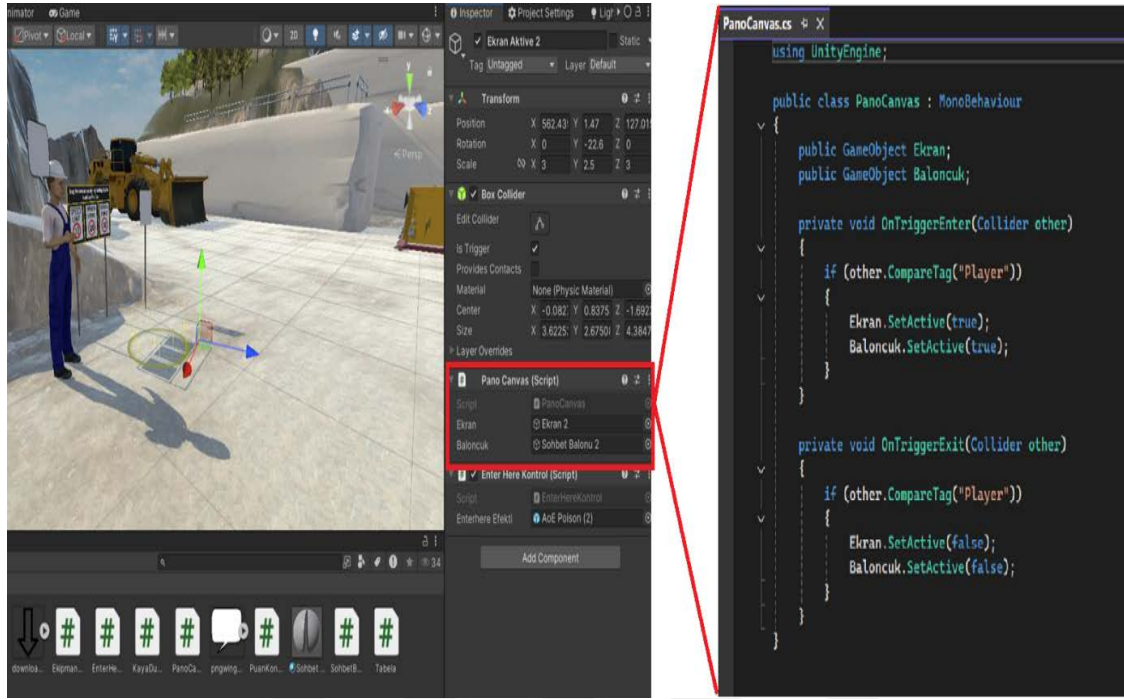
Etkileşim-4: Ocak içerisinde tüm araçların azami olarak uyması gereken hız limiti ile ilgili uyarı levhası seçimi ocak içerisinde yapılmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Doğru uyarı levhası seçme etkileşimi.

Doğru tabela seçme etkileşimi için oluşturulan script Şekil 3.16'da verilmiştir. SG gözlüğü takan kullanıcı büyük levhaların önündeki sarı noktaya girdikleri zaman soruları cevaplamaya başlayacaklardır. Doğru levha yerleştirildiğinde boş olan direkte tutunması

scriptle sağlanmıştır.



Şekil 3.16 Doğru tabela seçme script.

Doğru KKD ve uyarı levhası seçimlerinde tümünü doğru bilenler puanlama sistemiyle puanlandırılacaklardır. Tümünü doğru bilen en fazla 120 puan alabilecektir. Öğrenciler arasında rekabeti artırıp oyunlaştırarak bilginin daha kalıcı olması ve eğlenceli öğrenilmesi hedeflenmektedir.

Etkileşim-5: Doğal taş maden ocaklarında en çok yaşanan taş düşmesi, toprak kayması gibi iş kazalarını göstermek için taş düşme animasyonu tasarlanmıştır. Belirli uyarılar dikkate alınmadığı zamanlarda ve doğru KKD'ler kullanılmadığı anlarda taş düşmelerinin nasıl sonuçlanacağını gösteren bir etkileşim oluşturulmuştur. Kullanıcı uyarı levhasını görmesine rağmen o hattın arkasına geçtiğinde kayaç düşmesi yaşayabileceği ihtimalinin yüksek olabileceğini görmektedir. Bu uyarılara göre temkinli davranmaları ve daha dikkatli olmaları gerektiği vurguları yapılmaktadır. Ocağın süreksizlik ve çatlaklarının olduğu tarafında bu etkileşimi kullanıcılar bu yolla deneyimlemektedir. (Şekil 3.17a ve 3.17b).

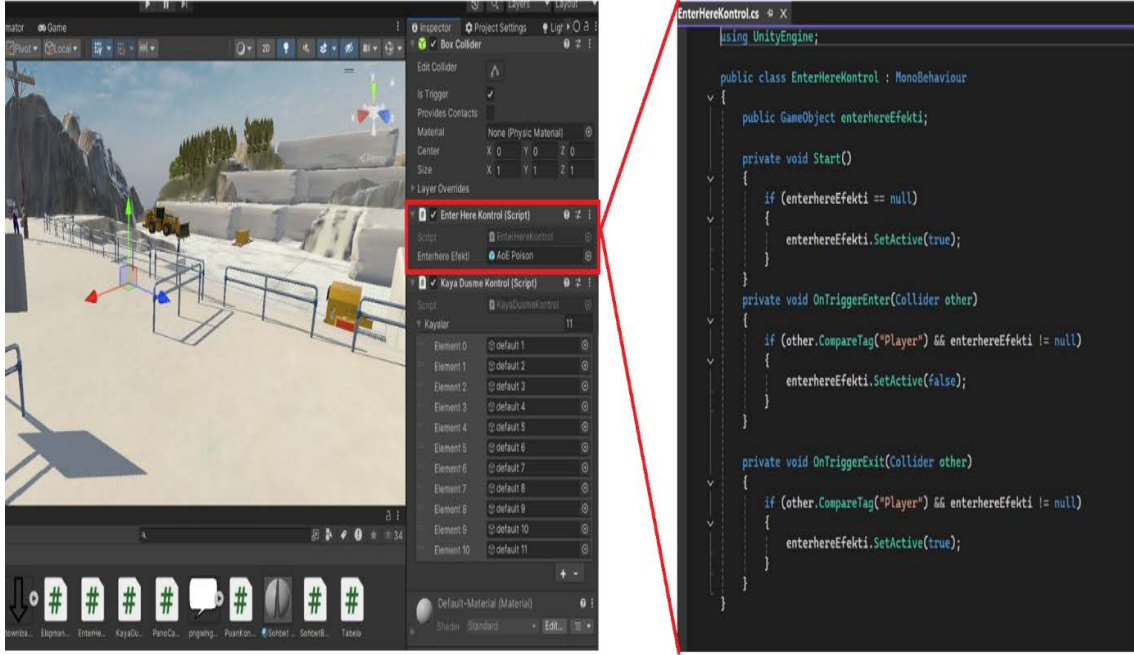


Şekil 3.17a Taş düşme etkileşimi.



Şekil 3.17b Taş düşme etkileşimi.

Bu animasyon için oluşturulan script şekil 3.18’de verilmiştir.

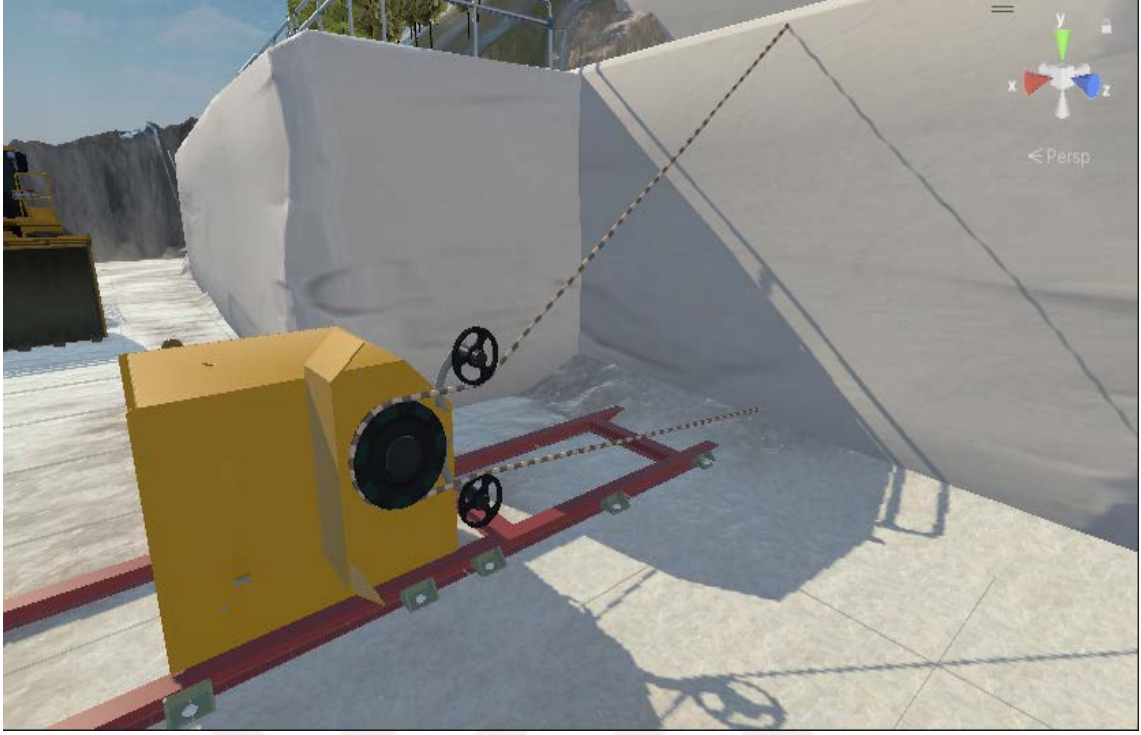


Şekil 3.18 Taş düşme script.

Etkileşim-6: Doğal taş ocaklarında kaya kesme ve ebatlama makinaları modellenmiştir. Bu makinaların kullanımları etkileşimle gösterilmiştir. Doğal taş ocaklarında kullanılan elmas tel kesme, kollu kesici ve ebatlama makinaları modellenmiştir (Şekil 3.19a-3.19c).



Şekil 3.19a Makine modelleri.



Şekil 3.19b Makine modelleri.



Şekil 3.19c Makine modelleri.

Kesme işlemi devam ederken üç aşamalı hız ayarlı gösterge paneli tasarlanmıştır. Bu değişken hızlarda makinaların hızları (m^2/h) çektikleri akımlar (A), güçler (kWh) ve spesifik enerjiler (kWh/m^3) hesaplanarak göstergeye yansıtılmaktadır (Şekil 3.20).

Şu an aktif olarak üretim yapılan örnek bir bej tipi mermer ocağında çalışan elmas tel kesme, sayalama ve zincirli kollu kesici makinalarının gerçek verileri esas alınmıştır ve hangi hızlarda hangi akımları çektikleri belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak güç ve spesifik enerji tablosu hesaplanmıştır, kullanıcı optimum kesim ayarını bu sayede bulabilmektedir. Bu sayede kesme verimliliği en fazla halde olabilmektedir. Elmas tel kesme makinasında, motorun yüksek hızda uzun süre çalıştırılması sonucunda etkileşim gereği motor durmakta ve tel kopmaktadır.

Makinaların hepsinde ayarlanabilen iki hız vardır. Birincisi tamburların, motorların dönme hızı ve diğeri de ray üzerinde hareket hızlarıdır. Bu iki hız da ayrı ayrı olarak kontrol panellerinden kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.20 Makinaların gösterge paneli.

Doğaltaşlar cinslerine göre ve içerisindeki minerallerin sertliklerine göre kesim hızları değişmektedir. Motor tambur hızını ve ray üzerindeki hareket hızlarını buna göre optimize ederek en az enerjiyle en fazla kesim yapılması üretim maliyetleri açısından önem göstermektedir.

3.3.4.1 Katılımcılar

Bu tez çalışması kapsamında; Avustralya Queensland Üniversitesinde Makine ve Maden Mühendisliği bölümü öğrencilerinden, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Lisans ve Lisansüstü öğrencilerinden ve Mermer Teknolojisi Ön lisans öğrencilerinden oluşan toplamda 57 kişilik gönüllü bir grup, geliştirilmiş sanal doğal taş ocağı üzerine gerçekleştirilen uygulama sonucunda anket çalışmasına katılmıştır. Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SUS) kapsamında hazırlanmış 15 soruluk bu anket çalışmasının 10 adeti uygulamacı profil sorularını içermektedir. Öğrencilerin uygulamayı denerken ki bazı görselleri aşağıda verilmiştir (Resim 3.1).



Resim 3.1 Kullanıcıların SG uygulaması deneyim görselleri.

3.3.5 Değerlendirme (Evaluation)

Değerlendirme aşaması, hem süreç boyunca hem de süreç sonunda yürütülen bir faaliyettir. Amaç, öğrenme hedeflerine ne ölçüde ulaşıldığını, öğretim materyallerinin ve sürecin etkililiğini belirlemektir. Bu değerlendirme hem formatif (süreç içi) hem de

summatif (sonuç odaklı) biçimde yapılabilir. Elde edilen veriler, öğretim sürecinin iyileştirilmesine yönelik geri bildirim sağlar ve gerekirse modelin önceki aşamalarına dönülerek düzenlemeler yapılır (Branch 2009).

Anketler, bilgisayar ve sanal gerçeklik versiyonları üzerinden oyunun teknoloji kabul düzeyini ve sistem kullanılabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Katılımcıları kategorize etmek amacıyla oluşturulmuş bir kodlama yöntemi Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 Anket katılımcı sayıları ve cinsiyet dağılımları.

Üniversite / Program	Erkek	Kadın	Toplam
Queensland Üniversitesi (Avustralya) (a)	14	8	22
AKÜ Maden Mühendisliği (Lisans) (b)	16	6	22
AKÜ Mermer Teknolojisi (Ön Lisans) (c)	12	1	13
Genel Toplam	42	15	57



■ Erkek ■ Kadın

Bu dağılım, çalışmanın büyük ölçüde mühendislik ve teknik programlarda öğrenim gören öğrencilerden oluştuğunu ve cinsiyet açısından erkek öğrencilerin ağırlıkta olduğunu göstermektedir (%72 erkek, %28 kadın). Bu durum, maden mühendisliği ve ilgili teknik alanların genel demografik yapısıyla da örtüşmektedir. Ayrıca ankete katılan kullanıcıların frekans ve yüzde dağılımları çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Anket katılımcı frekans ve yüzde dağılımları.

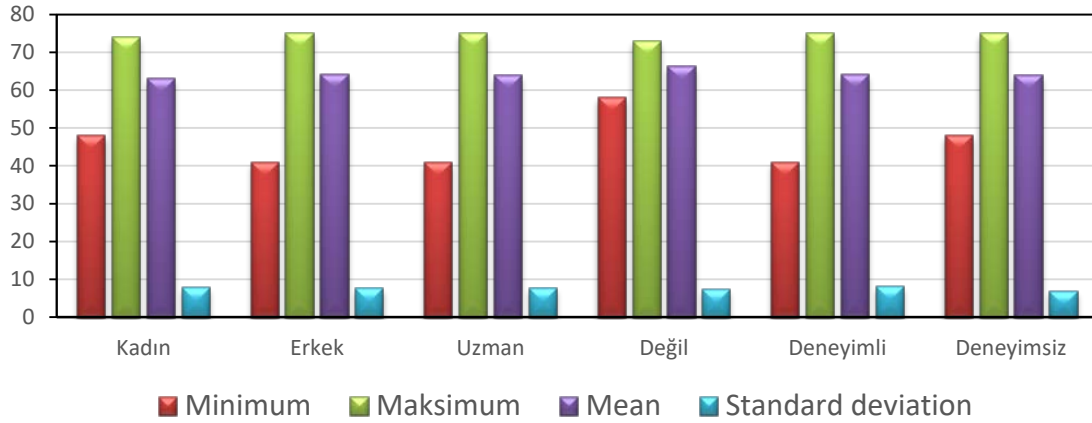
Değişken	Grup	Frekans	Yüzde
Cinsiyet	Erkek	42	73.68
	Kadın	15	26.32
Oyun Geliştirme	Uzman Değil	53	92.98
Uzmanı	Uzman	4	7.02
Deneyim	Deneyimsiz	35	61.4
	Deneyimli	22	38.6

Araştırmaya katılan bireylerin demografik özelliklerine ilişkin bulgular incelendiğinde, katılımcıların çoğunluğunu erkeklerin oluşturduğu görülmektedir. Erkek katılımcılar %73.68’lik oranla 42 kişiye karşılık gelirken, kadın katılımcıların sayısı 15 olup bu oran %26.32’dir. Bu durum, çalışmanın cinsiyet dağılımında erkeklerin belirgin şekilde fazla olduğunu göstermektedir. OG uzmanlığı açısından değerlendirildiğinde, katılımcıların büyük bir kısmı (%92.98) bu alanda uzman olmadığını belirtmiş, yalnızca %7.02’si uzman olduğunu ifade etmiştir. Bu bulgu, araştırmanın daha çok alan uzmanı olmayan normal bireylerle gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır. Deneyim değişkeni ele alındığında ise, katılımcıların %61.4’ü (35 kişi) kendini deneyimsiz olarak tanımlarken, %38.6’sı (22 kişi) deneyimli olduğunu belirtmiştir. Bu dağılım, araştırmanın katılımcı profili açısından daha çok deneyimsiz bireylerden oluştuğunu göstermektedir. Genel olarak, araştırmanın örneklem grubunun erkek, uzman olmayan ve deneyimsiz bireylerden oluştuğu söylenebilir. Çizelge 3.4’te demografik değişkenlere göre ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 Demografik değişkenlere göre puanların ortalama ve standart sapmaları.

Değişken	Grup	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standard Sapma
Cinsiyet	Kadın	15	48	74	63.13	7.81
	Erkek	42	41	75	64.31	7.65
OG Uzman	Uzman	53	41	75	63.83	7.70
	Değil	4	58	73	66.25	7.41
Deneyim	Deneyimli	35	41	75	64.11	8.16
	Deneyimsiz	22	48	75	63.82	6.91

Katılımcıların cinsiyet, OG uzmanlık durumu ve deneyim düzeylerine göre aldıkları puanların dağılımı incelendiğinde, cinsiyet değişkenine göre erkek katılımcıların puan ortalaması 64.31, kadın katılımcıların puan ortalaması ise 63.13'tür. Erkeklerin minimum puanı 41, maksimum puanı 75 iken; kadınların puanları 48 ile 74 arasında değişmektedir. Her iki grubun ortalama puanları birbirine yakın olup, erkeklerin ortalaması biraz daha yüksek olsa da bu fark sınırlıdır. OG uzmanlığına göre değerlendirildiğinde, uzman olmayan katılımcıların puan ortalaması 66.25 ile uzman olanların ortalaması olan 63.83'ten daha yüksektir. Bu fark dikkat çekici olabilir, ancak örneklem büyüklüğündeki dengesizlik (uzman: 4 kişi, uzman değil: 53 kişi) sonuçların yorumlanmasında temkinli olunmasını gerektirir. Deneyim değişkenine göre ise deneyimli katılımcıların ortalama puanı 64.11, deneyimsiz katılımcıların ortalama puanı 63.82'dir. Bu iki grup arasındaki fark oldukça düşüktür. Genel olarak, tüm grupların ortalama puanlarının birbirine oldukça yakın olduğu, ancak OG uzmanlığına göre bazı farklılıkların ortaya çıktığı görülmektedir. Bu değişimlerin grafik halinde gösterimi Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21 Gruplara göre puan dağılımı ve betimsel istatistikler.

Kullanıcı profilleri bilgilerine göre cinsiyet, oyun geliştirme uzmanlığı ve deneyimli olup olmamanın bu sistemi kullanmak açısından bir fark teşkil etmediği anlaşılmıştır. Tüm değerlerin birbirine yakın olması sonucunda sanal gerçeklik ortamında maden mühendisliği eğitimleri vermenin öğrenciler üzerinde olumlu bir intiba bıraktığı ve destekledikleri çıkarımı yapılabilmektedir.

4. SG YARDIMIYLA DOĞALTAŞ MADENCİLİĞİ EĞİTİMİNİN PERFORMANS ANALİZİ

4.1 Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (System Usability Scale – SUS)

Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (System Usability Scale – SUS), farklı sistem ve ara yüzlerinin kullanışlı olması sebebiyle yaygın olarak benimsenmiş, teknolojiye özel olmayan subjektif bir değerlendirme yöntemidir (Nuswantari vd. 2020). SUS, 1986 yılında John Brooke tarafından, bir ürünün kullanılabilirliğine ilişkin kullanıcıların öznel değerlendirmelerini standart ve hızlı bir biçimde elde edebilmek amacıyla geliştirilmiştir (Bangor vd. 2008). SUS, yalın yapısıyla öne çıkar; yalnızca on maddeden oluşmakta ve bu maddeler, katılımcıların her bir ifadeye 1 (Kesinlikle katılmıyorum) ile 5 (Kesinlikle katılıyorum) arasında puan verdikleri Likert tipi anket biçiminde sunulmaktadır (Bangor vd. 2008, Ferrara vd. 2019). Kısa ve uygulanabilir olması, özellikle zaman sınırlaması olan ya da geniş örneklem gruplarıyla çalışılan kullanılabilirlik testlerinde önemli bir avantaj sağlamaktadır (Jutai vd. 2017). Bugüne kadar SUS, algılanan kullanılabilirliği değerlendirmeye yönelik en yaygın kullanılan standartlaştırılmış anket olarak konumlanmış ve bu alandaki geçerliliğini korumuştur (Brooke 2013, Castro ve Macías 2016). Değerlendirme oturumlarında SUS'un uygulanması, kullanıcıların bir sistemin kullanılabilirliğine dair öznel algılarını yansıtan hızlı geri bildirimler elde edilmesine olanak tanımaktadır (Brooke 2013).

SUS'un temel gücü, bir sistemin genel kullanılabilirliğini temsil eden tek ve bütüncül bir puan üretme kapasitesinde yatmaktadır (Brooke 1996). Bu puan 0 ile 100 arasında değişmektedir ve soruların olumlu ve olumsuz yapılarının dengelenmesini sağlayan özel bir puanlama algoritması ile hesaplanmaktadır; bu yöntem, yanıt yanlılığını (response bias) azaltmayı hedeflemektedir. Ortaya çıkan SUS puanı, farklı sistemler, sürümler veya kullanıcı grupları arasında karşılaştırmalar yapılmasını mümkün kılan nicel bir gösterge sunmakta ve tasarım-geliştirme sürecinde veriye dayalı karar almayı kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, bu puanın yorumlanabilirliğini artırmak adına çeşitli karşılaştırma ölçütleri (benchmarklar) ve sıfat tabanlı derecelendirme sistemleri geliştirilmiş olup, sistemin kullanılabilirlik performansına ilişkin bağlamsal değerlendirmeler yapılmasına olanak

sağlamaktadır. Kullanılabilirlik uzmanları, bu tür standart anketlerin güvenilirlik, geçerlilik ve duyarlılık gibi psikometrik özellikler açısından değerlendirilmeleri nedeniyle önemini vurgulamaktadır (Assila ve Ezzedine 2016).

Bunun yanında, Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği çok çeşitli alanlarda ve bağlamlarda da kullanılabilmektedir. Geleneksel yazılım uygulamalarının ötesinde; web siteleri, mobil cihazlar, donanım ürünleri ve karmaşık sistemlere kadar farklı teknolojilere uygulanabilmektedir. Bu geniş kapsayıcılık, SUS'un kullanım kolaylığı, öğrenilebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti gibi temel kullanılabilirlik unsurlarını ölçmeye odaklanmasından kaynaklanmaktadır. Bu unsurlar, değerlendirme konusu olan teknolojiye bağımsız olarak evrensel geçerliliğe sahiptir. Mobil platformlar için geliştirilmiş olan SUSApp adlı uygulama, SUS'un erişilebilirliğini ve analiz kapasitesini artırmaya yönelik çabaların bir örneği olup, farklı yazılımlar ve uygulama kategorileri arasında kullanılabilirlik değerlendirmelerinin verimli şekilde saklanması, karşılaştırılmasını ve analiz edilmesini mümkün kılmaktadır (Castro ve Macías 2016). Bu uyarlanabilirliği sayesinde SUS, kullanılabilirlik mühendisliği, insan-bilgisayar etkileşimi ve kullanıcı deneyimi araştırmaları alanlarında vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

Likert tipi anket, sosyal bilimlerde ve davranış bilimlerinde yaygın olarak kullanılan bir psikometrik ölçektir ve bireylerin bir ifadeye katılım veya katılmama düzeyini ölçmek için tasarlanmıştır. Tipik bir Likert, bir dizi ifade ve her ifade için bir yanıt yelpazesi sunar; bu yanıtlar genellikle "*kesinlikle katılmıyorum*"dan "*kesinlikle katılıyorum*"a kadar değişen derecelendirmeleri içerir (Hassan 2021). Farklı grupların yanıtlarını karşılaştırmak için Mann-Whitney U testi veya Kruskal-Wallis testi gibi parametrik olmayan istatistiksel teknikler kullanılmaktadır. Bu çalışmada SUS ölçeğinde 5'li Likert tipi anket kullanılmıştır.

Doğaltaş ocağı simülasyonunu deneyimleyen kullanıcıların profil soruları ve anket soruları EK-1'de verilmiştir. Anket sorularının kategorileri ise Çizelge 4.1'de verilmiştir. 15 soru içerisinde dört tanesi ters soru olarak, diğerleri ise normal olarak sorulmuştur.

Çizelge 4.1 Anket soruları ve kategorileri.

Soru No	İfade	Boyut / Kategori
1	Bu sistemi daha sıklıkla kullanmam gerektiğini düşünüyorum	Kullanım Niyeti / Kabul
2	Bu uygulamayı gereksiz bir şekilde karmaşık buluyorum	Kullanılabilirlik – Karmaşıklık (ters)
3	Uygulamanın kullanımının kolay olduğunu düşünüyorum	Kullanılabilirlik – Kolaylık
4	Sistemi kullanabilmek için ekibin yardımına ihtiyaç duyuyorum	Teknik Bilgi Kalıcılığı (ters)
5	Bu metotla öğrendiğim konuların daha kalıcı olduğunu düşünüyorum	Öğrenme Kalıcılığı
6	Bu uygulamayla meslek eğitimi öğrenilmesinin zor olduğunu düşünüyorum	Mesleki Uygunluk (ters)
7	Bu metotla konuları çok daha kolay anlıyorum	Anlama Kolaylığı
8	Bu teknoloji bana gerçekçi bir deneyim yaşamayı sağladı	Gerçekçilik / Duyusal Katılım
9	Sistemi kullanırken kendimi güvende hissettim	Güvenlik
10	Bu sistemi kullanarak daha hızlı öğreneceğime inanıyorum	Öğrenme Hızı / Verimlilik
11	Bu sistemlerin çalışacağım iş yerinde de kullanılmasını isterim	Mesleki Uyum / Kabul
12	Bu uygulamaların kullanımını çalışacağım işyerinde diğer çalışanların da öğrenmesini desteklerim	Yaygınlaştırma Desteği
13	İş yerimde yeni tecrübeleri bu uygulama ile deneyimlemek isterim	Yeniliklere Açıklık
14	Ortamda yeni şeyler öğrenirken eğlendim	Öğrenme Motivasyonu / Duyusal Katılım
15	Uygulama sonrasında kendimi iyi hissetmedim (Baş dönmesi, mide bulantısı vb)	Fiziksel Rahatsızlık (ters)

4.2 SUS Puan Sonuçları

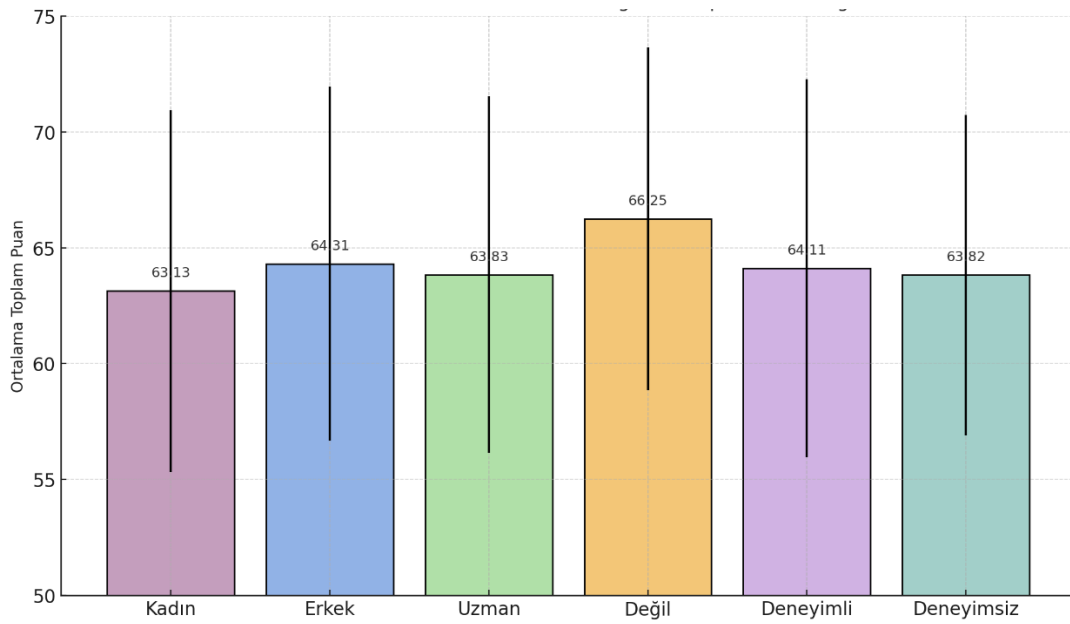
Yapılan Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SUS) hesaplamasına göre üç grup için ortalama kullanılabilirlik puanları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu grupların puanlarının yakın olmaları sistemin hiçbir fark olmaksızın kullanılabilirliğini net bir şekilde ifade etmektedir.

Çizelge 4.2 Anket katılımcı sayıları ve cinsiyet dağılımları.

Grup	Ortalama SUS Puanı
Avustralya (Makine/Maden Lisans)	74.38
Afyon (Maden Lisans)	74.27
Afyon (Mermer Ön Lisans)	72.23

Bu çalışma, sanal gerçeklik destekli mesleki eğitim uygulamasının öğrenciler tarafından nasıl algılandığını ve sistemin kullanılabilirliğine ilişkin genel memnuniyet seviyelerini ölçmek amacıyla Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SUS) temelli 15 soruluk bir anket ile değerlendirilmiştir. Anket, Avustralya'daki Queensland Üniversitesi Makine ve Maden Mühendisliği öğrencileri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği lisans öğrencileri ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Mermer Teknolojisi önlisans öğrencilerinden oluşan üç farklı gruba uygulanmıştır.

Kullanıcı profili sorularından cinsiyet, oyun geliştiricisi uzmanı ve daha önce sanal gerçeklik uygulaması deneyip denemediklerini belirten sonuçlar çıkartılmıştır. Sistem kullanılabilirlik ölçeği puanlarının kullanıcı profillerine göre dağılımı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Sistem kullanılabilirlik ölçeği demografik dağılımları.

Bu çalışmaya katılan toplam 57 katılımcının demografik özelliklerine bakıldığında, örneklemin büyük çoğunluğunu erkek katılımcılar ($n = 42$, %73.68) oluşturmaktadır. Buna karşılık, kadın katılımcı sayısı 15'tir (%26.32). Bu durum, cinsiyet dağılımının dengesiz olduğunu göstermektedir. Ancak, yapılan analizler sonucunda kadın ve erkek katılımcıların sistem kullanılabilirlik puanlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Bu da sistemin her iki cinsiyet tarafından eşit derecede kullanılabilir olduğunu ve kullanıcı ara yüzünün cinsiyetten bağımsız olarak erişilebilir olduğunu göstermektedir.

Katılımcıların uzmanlık durumları incelendiğinde, teknik olarak OG (Oyun Geliştirici) uzmanı olmayanların sayısı 53'tür (%92.98) ve yalnızca 4 katılımcı (%7.02) kendini uzman olarak tanımlamıştır. Uzman olmayan bireylerin büyük çoğunluğu sisteme yüksek kullanılabilirlik puanları vermiştir. Bu bulgu, sistemin yalnızca teknik bilgiye sahip bireyler için değil, uzman olmayan kullanıcılar tarafından da rahatlıkla kullanılabildiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda sistem, teknik bilgiye ihtiyaç duymadan kullanıcı dostu bir deneyim sunmaktadır.

Deneyim düzeyi açısından incelendiğinde, deneyimsiz kullanıcıların sayısı 35 (%61.40) iken, deneyimli kullanıcı sayısı 22'dir (%38.60). Bu dağılım, kullanıcıların çoğunluğunun benzer uygulamalarla sınırlı ya da hiç deneyimi olmadığını göstermektedir. Buna rağmen, deneyimsiz bireyler ile deneyimli bireyler arasında toplam puanlar bakımından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuç, sistemin ilk kez kullanan kişiler tarafından da kolayca öğrenilebildiğini ve kullanılabildiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, sistemin kullanılabilirliğine ilişkin değerlendirmeler, cinsiyet, uzmanlık ve deneyim fark etmeksizin oldukça tutarlıdır. Kullanıcılar, demografik farklılıklara rağmen sisteme benzer puanlar vermiştir. Bu da sistemin geniş kullanıcı kitlesi tarafından erişilebilir, anlaşılır ve kullanıcı dostu olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Sistem tasarımının kapsayıcılığı ve evrensel erişilebilirlik hedefi açısından bu durum oldukça olumlu bir göstergedir.

SUS puanlarına göre; Avustralya grubu 75.38, Afyon lisans grubu 75.27 ve önlisans grubu 72.23 puan elde etmiştir. Bu sonuçlar, tüm grupların sanal gerçeklik destekli bu

eğitim aracını genel olarak "iyi kullanılabilir" bulduğuna işaret etmektedir. Bangor vd. (2008) tarafından ortaya konulan SUS puanlama yorumlamasına göre 70 puan ve üzeri sistemler "kabul edilebilir" ve "iyi" kategorisinde yer almakta, bu çalışmadaki tüm gruplar bu sınırın üzerindedir.

Avustralya grubu, sistemin "gerçekçi bir deneyim sunduğu", "öğrenmeyi kolaylaştırdığı" ve "gelecekte mesleki eğitimde kullanılmasını destekledikleri" sorularında diğer gruplara göre daha yüksek "kesinlikle katılıyorum" yanıtı vermiştir. Bu durum, grubun daha önceden sanal gerçeklik deneyimine sahip olması ya da dijital okuryazarlık seviyesinin daha yüksek olmasıyla ilişkili olabilir.

Afyon lisans grubunda, sistemin "eğlenceli olduğu" ve "güvenli bir deneyim sunduğu" ifadelerine verilen yanıtlar dikkat çekicidir. "Kullanımın kolay olduğu" ve "mesleki kazanım sağladığı" gibi sorularda da olumlu görüşler ağırlıktadır. Bu durum, sistemin sahaya çıkmadan riskleri deneyimleme avantajını vurgulamaktadır.

Afyon ön lisans grubunun SUS puanı diğer gruplara göre biraz düşüktür (72.23), ancak bu değer yine de sistemin kabul edilebilir seviyede olduğunu ortaya koymaktadır. Bu grupta "baş dönmesi, mide bulantısı" gibi fiziksel geribildirimlerin daha yüksek olduğu, ayrıca "sistemi kullanmak için daha fazla teknik bilgiye ihtiyaç duyduğu" hissinin zaman zaman arttığı gözlemlenmiştir. Bu da bu tür teknolojilere ilk kez maruz kalmalarından kaynaklanabilir.

Tüm gruplarda ortak gözlenen bir durum, sanal gerçeklik uygulamasının geleneksel eğitim yaklaşımlarına göre daha "etkileşimli", "akılda kalıcı" ve "motivatif" bulunduğuudur. Grafik analizlerinde de görüldüğü gibi, katılımcıların çoğu sistemin mesleki kazanımları desteklediğini, gerçekçi bir deneyim sunduğunu ve eğitimin etkili olduğunu ifade etmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları sanal gerçeklik destekli eğitim uygulamalarının farklı öğrenci grupları tarafından çoğunlukla olumlu karşılandığını, kullanılabilirliğinin yeterli seviyede olduğunu ve eğitim sürecine anlamlı katkılar sağlayabileceğini ortaya

koymaktadır. Bu bulgular, benzer sistemlerin diğer meslek alanlarında da uyarlanmasına yönelik çalışmalara temel oluşturabilecek niteliktedir.

4.3 Verilen Cevapların Değerlendirilmesi

Sanal gerçeklik destekli mesleki eğitim uygulamasına yönelik yapılan anketin üç farklı öğrenci grubuna uygulatılmıştır. Kullanıcıların profilleri ve verdikleri cevaplar ele alındığında Çizelge 4.3'te en yüksek puanlar, en düşük puanlar ortalamaları ve standart sapma değerleri açısından gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 Anket soruları ve kategorileri.

Değişken	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standard Sapma
Tüm Veri	57	41	75	64	7.64

Araştırmaya katılan toplam 57 kişinin elde ettiği puanlara ilişkin betimsel istatistikler incelendiğinde, puanların minimum 41, maksimum 75 arasında değiştiği görülmektedir. Katılımcıların genel puan ortalaması 64'tür ve bu, grubun genel olarak orta-yüksek seviyede performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Standart sapma değeri ise 7.64'tür; bu değer, katılımcıların puanlarının ortalama etrafında çok büyük sapmalar göstermediğini, yani dağılımın görece homojen olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, genel örneklemin puan dağılımı hakkında temel bir özet sunmaktadır.

5. SONUÇLAR

Madenler görece görünürlüğü kısıtlı ve fiziksel erişimin zor olduğu, dolayısıyla yüksek risk barındıran çalışma alanlarıdır. Günümüzde teknolojiye uyum sağlamış ve sanal gerçeklik (SG) ekipmanları yardımıyla uygulanan ciddi oyunlar aracılığıyla eğitim süreçlerini dijitalleştiren sektörler incelendiğinde, bu alanların büyük ölçüde madencilik sektörüyle benzerlik gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu benzerlikler iki temel başlık altında toplanabilir: İlki, söz konusu alanlarda gerçekçi bir eğitim ortamının oluşturulmasının oldukça güç, imkânsız ya da ekonomik açıdan maliyetli olmasıdır. İkincisi ise, bu tarz fiziksel ortamların oluşturulması durumunda, eğitim sürecinin güvenlik riskleri içermesidir. Riskleri en aza indirmek için farklı eğitim metotlarıyla geleneksel eğitim yöntemlerinin desteklendiği görülmektedir.

Doğal taş madenciliği de, görece kaza ve ölüm risklerinin yüksek olması nedeniyle tehlikeli sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Çalışma ortamının sürekli değişkenlik göstermesi, işin doğası ve kullanılan ekipmanlar, çalışanların maruz kaldığı risk düzeyini artırmaktadır. Üstelik bu kazalar genellikle aynı anda birden fazla çalışanın hayatını tehdit etmekte olup, toplu can kayıplarına yol açan olaylar da yaşanabilmektedir. Özellikle göçükler, tel kopmaları, hatalı şev açılarından ötürü kaymalar kazaların başlıca nedenleri arasında yer almaktadır.

Türkiye’de yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile birlikte, işyerlerinde önleyici ve risk temelli yaklaşımların benimsenmesi zorunlu hâle gelmiştir. Bu bağlamda, risklerin önceden tespit edilebilmesi kritik bir önem taşımaktadır. Madencilerin sağlık ve güvenliğini korumada en etkili yöntemlerden biri ise doğru yapılandırılmış, etkili bir eğitim sürecidir. Bu nedenle, geleneksel yöntemlerin ötesine geçilerek, yeni nesil eğitim teknolojilerinin kullanılması ve daha etkili öğretim yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, mermer ve doğaltaş madenciliği üzerine eğitim alan önlisans ve lisans düzeyindeki farklı bilgi, tecrübe, kültüre ait öğrencilere yönelik iş sağlığı ve güvenliği ile blok kesme makinelerinin optimum çalıştırılmasının öğretilmesi için sanal

gerçeklik ekipmanları yardımıyla pratik eğitim verilmesi ve eğitim alan kişilerin bu eğitim hakkındaki görüşlerinin anket yoluyla alınması hedeflenmiştir.

SkecthUp ve Unity3D yazılımları yardımıyla bir doğaltaş ocağı tasarımı yapılmış ve bu mekânda eğitim alan kişiyi temsil eden bir avatarın farklı iş noktalarında ISG kişisel donanımlarının doğru şekilde seçilmesi, doğru uyarı işaret levhalarının yerleştirilmesiyle puanlama yapılarak oyun içerisinde doğru pratik bilgileri öğrenmesi-pekiştirmesi sağlanmaktadır ve bu nedenle de “ciddi oyun” sınıfındadır. Kullanıcılara oyun içerisinde rehber niteliğinde bilgi ekranları da sunulmakta; riskli durumları tanımlamaları beklenmektedir. Kullanıcının yaptığı seçimlerin sonuçları anlık olarak gösterilerek, davranışlarının olası etkileri konusunda farkındalık kazanmaları da sağlanmıştır.

Diğer taraftan, özellikle doğaltaş ocaklarında blok kesme işlemlerinde sıklıkla kullanılan elmas tel kesme-zincir kollu kesme ve sayalama makinelerinin en uygun kesme parametrelerinin pratik şekilde öğretilmesi hedeflenerek, tasarımı yapılan bu makinelerin dönüş hızı ve ilerleme hızlarının farklı parametrelere göre eğitimi alan kişi tarafından değiştirilmesinin, makinenin çektiği akım-gerilim-güç ve spesifik enerji üzerindeki etkileri görsel ve sesli olarak gözlemlenerek, kesilen birim blok hacminin en düşük enerji tüketimiyle yani en verimli kesme-çalışma koşulunda yapılması öğretilmektedir. Bu sanal gerçeklikle verilen İSG ve makine kullanma eğitimleri yardımıyla eğitim alan kişinin teoride aldığı eğitim konularının pratikte daha kısa zamanda ve daha detaylıca yaparak öğrenmeleri ve pekiştirmeleri sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında hazırlanan VR eğitim uygulaması Avustralya Queensland Üniversitesinde Makine ve Maden Mühendisliği bölümünden 22 öğrenciye, Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Lisans ve Lisansüstü düzeydeki 22 öğrenciye ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Mermer Teknolojisi Ön lisans düzeyindeki 13 öğrencinden oluşan toplamda 57 kişilik gönüllü bir gruba deneyimletilmiştir. Bu pratik eğitim deneyimi sonrası 15 sorudan oluşan bir anketi cevapları istenilmiştir. Bu çalışma kapsamında uygulanan anket, bir Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SUS) uyarlaması olup, SUS’un temel amacı, kullanıcıların bir sistemle etkileşim kurma kolaylığını ve genel deneyimini değerlendirmektir. Bu bağlamda, sistemin farklı demografik gruplar

tarafından benzer puanlarla değerlendirilmiş olması, sistemin erişilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından yüksek derecede kapsayıcı olduğunu göstermektedir.

Araştırmaya katılan bireylerin demografik özelliklerine ilişkin bulgular incelendiğinde, %73.68'lik oranda erkek katılımcılar, OG uzmanlığı açısından değerlendirildiğinde, katılımcıların %92.98'i bu alanda uzman olmadığını belirlenmiştir. Bu bulgu, araştırmanın daha çok alan uzmanı olmayan normal bireylerle gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır. Diğer taraftan ise deneyim değişkeni ele alındığında, katılımcıların %61.4'ü kendini deneyimsiz olarak tanımlamakta olup, bu dağılım araştırmanın katılımcı profili açısından daha çok deneyimsiz bireylerden oluştuğunu göstermektedir. Bu grubun kullanıcı profilleri bilgilerine göre cinsiyet, oyun geliştirme uzmanlığı ve deneyimli olup olmamanın, SG yardımıyla uygulamalı eğitim sistemini kullanmak açısından bir fark teşkil etmediğini göstermektedir. Tüm değerlerin birbirine yakın olması sonucu ise sanal gerçeklik ortamında maden mühendisliği eğitimleri vermenin öğrenciler üzerinde olumlu bir izlenim bıraktığı ve destekledikleri yorumu yapılabilir.

Özellikle cinsiyet değişkeni incelendiğinde, kadınların ortalama puanı 63.13 (SS = 7.81), erkeklerin ortalama puanı ise 64.31 (SS = 7.65) olarak hesaplanmıştır. Aradaki fark küçük ve anlamsız düzeydedir. Bu durum, sistemin her iki cinsiyet tarafından da eşit derecede kullanılabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, uzman olmayan katılımcıların ortalama puanı 66.25 (SS = 7.41) ile uzmanlardan (63.83, SS = 7.70) biraz daha yüksek olsa da, farkın güvenilirliği düşüktür. Çünkü uzman olmayan grubun örneklem sayısı ($n = 4$) oldukça küçüktür. Bu durum yine de şunu göstermektedir; sistemin yalnızca teknik uzmanlara değil, teknik bilgisi olmayan kullanıcılara da hitap edebileceğini göstermektedir.

SUS puanlarına göre; Avustralya maden mühendisliği lisans grubu 75.38, Afyon maden mühendisliği lisans ve yüksek lisans grubu 75.27 ve Afyon Mermer Teknolojisi Programı ön lisans grubu 72.23 puan elde etmiştir. Bu sonuçlar, tüm grupların sanal gerçeklik destekli bu eğitim aracını genel olarak "iyi kullanılabilir" bulduğuna işaret ettiğini göstermektedir. Bangor vd. (2008) tarafından ortaya konulan SUS puanlama yorumlamasına göre 70 puan ve üzeri sistemler "kabul edilebilir" ve "iyi" kategorisinde

yer almakta, bu çalışmadaki tüm gruplar bu sınırın üzerindedir.

Avustralya maden mühendisliği lisans grubu, sistemin "gerçekçi bir deneyim sunduğu", "öğrenmeyi kolaylaştırdığı" ve "gelecekte mesleki eğitimde kullanılmasını destekledikleri" sorularında diğer gruplara göre daha yüksek "kesinlikle katılıyorum" yanıtı vermiştir. Bu durum, grubun daha önceden sanal gerçeklik deneyimine sahip olması ya da dijital okuryazarlık seviyesinin daha yüksek olmasıyla ilişkili olabileceği varsayımı ortaya koymaktadır.

Afyon maden mühendisliği lisans ve yüksek lisans grubunda, sistemin "eğlenceli olduğu" ve "güvenli bir deneyim sunduğu" ifadelerine verilen yanıtlar dikkat çekmektedir. "Kullanımın kolay olduğu" ve "mesleki kazanım sağladığı" gibi sorularda da olumlu görüşler ağırlıktadır. Bu durum, sistemin sahaya çıkmadan riskleri deneyimleme avantajını vurgulamaktadır.

Afyon Mermer Teknolojisi Programı ön lisans grubunun SUS puanı diğer gruplara göre biraz düşüktür (72.23), ancak bu değer yine de sistemin kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir. Bu grupta "baş dönmesi, mide bulantısı" gibi fiziksel geribildirimlerin daha yüksek olduğu, ayrıca "sistemi kullanmak için daha fazla teknik bilgiye ihtiyaç duyduğu" hissinin zaman zaman arttığı gözlemlenmektedir. Bu da bu tür teknolojilere ilk kez maruz kalmalarından kaynaklandığından düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları sanal gerçeklik destekli eğitim uygulamalarının farklı öğrenci grupları tarafından çoğunlukla olumlu karşılandığını, kullanılabilirliğinin yeterli seviyede olduğunu ve eğitim sürecine anlamlı katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, benzer sistemlerin diğer meslek alanlarında da uyarlanmasına yönelik çalışmalara temel oluşturabilecek niteliktedir.

Gelecekte SG ile daha fazla maden mühendisliği alanında teknolojinin geliştirilmesi ve daha yaygın şekilde kullanılacağı anlaşılmaktadır. Bundan sonra madenciliğin farklı alanlarında ve üretim-işletme-kalite kontrol-İSG benzeri alanlarda SG-AG-MR teknolojilerin daha da yaygınlaşacağı, pratik uygulama tecrübelerinin artırılması yanı

sıra yapay zekâ destekli kontrol ve karar alma sistemlerinin sıklıkla uygulanacağı görölmektedir. Dolayısıyla madencilik sektörü kurumsal olarak bu alana eleman yetişmesini teşvik etmeleri, işletmelerinde bu alana yönelik eğitim birimleri kurmasının yararlı olacağı ön görölmektedir.



7. KAYNAKLAR

- Abdelrazeq A, Daling L, Suppes R, Feldmann Y, Hees F, 2019, A Virtual Reality Educational Tool in the Context of Mining Engineering - the Virtual Reality Mine, INTED2019 Proceedings, 8067-8073.
- Akkoyun O, Careddu N, 2015, Mine Simulation for Educational Purposes: A Case Study, Computer Applications in Engineering Education, 23, 2, 286-293.
- Al-Ansi A M, Jaboob M, Garad A, Al-Ansi A, 2023, Analyzing Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Recent Development in Education, Social Sciences & Humanities Open, 8, 1.
- Alvar S R, Bajić I V, 2018, MV-YOLO: Motion Vector-Aided Tracking by Semantic Object Detection, IEEE 20th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP), 1-5.
- Assila A, Ezzedine H, 2016, Standardized Usability Questionnaires: Features and Quality Focus, Electronic Journal of Computer Science and Information Technology, 6, 1.
- Bai Y, 2019, VR Technology: Development Status and Typical Applications in Industry, In 3rd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology (ICMEIT 2019), 130-136.
- Bangor A, Kortum P T, Miller J T, 2008, An Empirical Evaluation of the System Usability Scale, International Journal of Human-Computer Interaction, 24, 6, 574-594.
- Barrett M, 2012, Using Virtual Reality Modelling to Enhance Electrical Safety and Design in the Built Environment.
- Belič I, 2014, Neural Network Modelling and Virtual Reality, In *The Thousand Faces of Virtual Reality*.
- Bellanca J L, Orr T J, Helfrich W J, Macdonald B, Navoyski J, Demich B, 2019, Developing a Virtual Reality Environment for Mining Research, Mining, Metallurgy & Exploration, 36, 4, 597-606.
- Biener V, Gesslein T, Schneider D, Kawala F, Otte A, Kristensson P O, 2022, Povrpoint: Authoring Presentations In Mobile Virtual Reality, IEEE Transactions on

- Visualization and Computer Graphics, 28, 5, 2069-2079.
- Bouraya S, Belangour A, 2021, A WSM-based Comparative Study of Vision Tracking Methodologies, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12, 8, 87-98.
- Branch R M, 2009, *Instructional Design: The ADDIE Approach*, Springer, New York.
- Brooke J, 1996, SUS - A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*.
- Brooke J, 2013, SUS: A Retrospective, *Journal of Usability Studies*, 8, 2, 29-40.
- Buddhan A R, Eswaran S P, Buddhan D E, Sripurushottama S, 2019, Even Driven Multimodal Augmented Reality based Command and Control Systems for Mining Industry, *Procedia Computer Science*, 151, 965-970.
- Buń P K, Wichniarek R, Górski F, Grajewski D, Zawadzki P, Hamrol A, 2016, Possibilities and Determinants of Using Low-Cost Devices in Virtual Education Applications, *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13, 2.
- Burdea G C, Coiffet P, 2003, *Virtual Reality Technology*, John Wiley & Sons.
- Buthelezi S M, Maritz J, de Beer K, 2024, The Status Of Extended Reality Technology in South Africa's Mining Industry, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 124, 6, 303-310.
- Caeiro-Rodríguez M, Otero-González I, Mikic-Fonte F A, Llamas-Nistal M, 2021, A Systematic Review of Commercial Smart Gloves: Current Status and Applications, *Sensors*, 21, 8,
- Calil J, Fauville G, Queiroz A, Leo K, Mann A, Wise-West T, 2021, Using Virtual Reality in Sea Level Rise Planning and Community Engagement—An Overview, *Water*, 13, 9,
- Castro A, Macías J A, 2016, SUSApp, *Proceedings of the XVII International Conference on Human Computer Interaction*, 1-8.
- Chen L, Liu L, Urade S, Chu P, 2023, An Industry Perspective on the Current US Metal Mining Engineering Education, *Mining, Metallurgy & Exploration*, 40, 4, 1041-

1058.

- Chen Z, Liu L, Qi X, Geng J, 2016, Digital Mining Technology-Based Teaching Mode for Mining Engineering, *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 11, 10.
- Cheng K-H, Tsai C-C, 2019, A Case Study of Immersive Virtual Field Trips in an Elementary Classroom: Students' Learning Experience and Teacher-Student Interaction Behaviors, *Computers & Education*, 140.
- Cobos R, Hernandez J, Abad A G, 2019, A fast Multi-Object Tracking System Using an Object Detector Ensemble, In 2019 IEEE Colombian Conference on Applications in Computational Intelligence (ColCACI), 1-5.
- Crespo E, Roldan J J, Martín-Barrio A, del Cerro J, Barrientos A, 2018, Realidad Virtual y Minería de Procesos Aplicadas a la Formación de Operarios en Tareas de Ensamblado Complejo, IV Seminario de Innovación Docente en Automática.
- Crockett B, 2014, Progress Report on Standards and Technology–Audio, *SMPTE Motion Imaging Journal*, 123, 6, 68-70.
- Çellek S, 2023, Sanal Gerçeklik Uygulamaları ve İş Güvenliği Eğitimleri.
- Daling L, Kommetter C, Abdelrazeq A, Ebner M, Ebner M, 2020, Mixed Reality Books: Applying Augmented and Virtual Reality in Mining Engineering Education, *Augmented Reality in Education*, pp. 185-195.
- Dardagan N, Brđanin A, Džigal D, Akagic A, 2021, Multiple Object Trackers in OpenCV: A Benchmark, *IEEE 30th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 1-6.
- Dhar E, Upadhyay U, Huang Y, Uddin M, Manias G, Kyriazis D , 2023, A Scoping Review to Assess the Effects of Virtual Reality in Medical Education and Clinical Care, *Digital Health*, 9.
- Drew S A, Awad M F, Armendariz J A, Gabay B, Lachica I J, Hinkel-Lipsker J W, 2020, The Trade-Off of Virtual Reality Training for Dart Throwing: A Facilitation of Perceptual-Motor Learning With a Detriment to Performance, *Frontiers in Sports and Active Living*, 2.

- Fang J, Fan C, Wang F, Bai D, 2022, Augmented Reality Platform for the Unmanned Mining Process in Underground Mines, *Mining, Metallurgy & Exploration*, 39, 2, 385-395.
- Ferrara G, Kim J, Lin S, Hua J, Seto E, 2019, A Focused Review of Smartphone Diet-tracking Applications: Usability, Functionality, Coherence with Behavior Change Theory, and Accuracy of Nutrient Tracking, *JMIR Mhealth Uhealth*, 7, 5, 6-29.
- Freina L, Ott M, 2015, A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State of the Art and Perspectives, 11th International Conference eLearning and Software for Education, 133-141.
- Garrido G M, Nair V, Song D, 2024, Data privacy in Virtual Reality, *Human-Computer Interaction*, 21–40.
- Geronikolakis E, Papagiannakis G, 2021, An XR Rapid Prototyping Framework for Interoperability Across the Reality Spectrum,
- Gonzalez-Franco M, Pizarro R, Cermeron J, Li K, Thorn J, Hutabarat W, 2017, Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training, *Frontiers in Robotics and AI*, 4.
- Grabowski A, Jankowski J, 2015, Virtual Reality-Based Pilot Training for Underground Coal Miners, *Safety Science*, 72, 310-314.
- Gürer S, Surer E, Erkayaoğlu M, 2023, MINING-VIRTUAL: A Comprehensive Virtual Reality-Based Serious Game for Occupational Health and Safety Training in Underground Mines, *Safety Science*, 166.
- Hale K S, Stanney K M, 2014, *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation And Applications*, CRC Press.
- Han S, Huang P, Wang H, Yu E, Liu D, Pan X, 2022, MAT: Motion-Aware Multi-Object Tracking, *Neurocomputing*, 476, 75-86.
- Hardless G, Meilinger T, Mallot H A, 2015, Virtual Reality and Spatial Cognition, *International Encyclopedia of the Social Behavioral Sciences*, Amsterdam, The Netherlands, 133-137.
- Harrod J, 2016, Enhancing Mining Education Through the Use Of A Scenario-Based

Virtual Reality Simulation, The University of Queensland, The School of Mechanical and Mining Engineering.

Hassan S, 2021, Online Survey-Based Research Using Likert-Scale Questionnaire as an Educational Tool During COVID-19: From Design And Development to Validation Process And Interpretation, *International Journal of Science and Research*, 10, 5, 545-560.

Henschel R, Leal-Taixé L, Cremers D, Rosenhahn B, 2018, Fusion of Head And Full-Body Detectors for Multi-Object Tracking, *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 1428-1437.

Hildebrandt R, Marszowski R, Lubosik Z, Bordehore L J, Garcia Vela M T, 2023, Application of Virtual and Augmented Reality in Flipped Classroom–Teaching and Training in Underground Engineering: Museum Mines and Experimental Laboratories, *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization & Management/Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej. Seria Organizacji i Zarzadzanie*.

Huang P, Han S, Zhao J, Liu D, Wang H, Yu E, Kot AC, 2020, Refinements in Motion and Appearance for Online Multi-Object Tracking, *Computer Vision and Pattern Recognition*.

Isleyen E, Duzgun H S, 2019, Use of Virtual Reality in Underground Roof Fall Hazard Assessment and Risk Mitigation, *International Journal of Mining Science and Technology*, 29, 4, 603-607.

Ivina O, Belova A, Klimchuk A, Akhmetgalym T, 2020, Dynamic Construction of Underground Mining Operations with Visualization In Virtual Reality, *E3S Web of Conferences*, 01055.

Jacobs J, Webber-Youngman R C W, Van Wyk E, 2016, Potential Augmented Reality Applications in the Mining Industry, Retrieved January.

Jalil J M N, Bazua A C, Herran L C F, Castillo F I G, Katase D O, Valenzuela O A G, 2022, The Virtual Reality as a Flexible Resource To Improve Engineering Education, *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 579-585.

- Janiszewski M, Uotinen L, Merkel J, Leveinen J, Rinne M, 2020, Virtual Reality Learning Environments for Rock Engineering, Geology and Mining Education, In ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium.
- Jans C, Bogossian F, Andersen P, Levett-Jones T, 2023, Examining the Impact of Virtual Reality on Clinical Decision Making – An Integrative Review, Nurse Education Today, 125.
- Jeon J Y, Jo H I, 2020, Effects of Audio-Visual Interactions on Soundscape and Landscape Perception and their Influence on Satisfaction with the Urban Environment, Building and Environment, 169.
- Jot J M, Audfray R, Hertensteiner M, Schmidt B, 2021, Rendering Spatial Sound for Interoperable Experiences in the Audio Metaverse, In 2021 Immersive and 3D Audio: from Architecture to Automotive (I3DA), 1-15.
- Jutai J, Adebisi A, Sorrentino P, Bohlool S, Zhang C, Arditti M, 2017, Assessment of Feedback Modalities for Wearable Visual Aids in Blind Mobility, Plos One, 12, 2.
- Kämäräinen T, Siekkinen M, Ylä-Jääski A, Zhang W, Hui P, 2017, Dissecting the End-to-End Latency of Interactive Mobile Video Applications, In Proceedings of the 18th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 61-66.
- Kamińska D, Sapiński T, Wiak S, Tikk T, Haamer R, Avots E, 2019, Virtual Reality and Its Applications in Education: Survey, Information, 10, 10.
- Kamran-Pishhesari A, Moniri-Morad A, Sattarvand J, 2024, Applications of 3D Reconstruction in Virtual Reality-Based Teleoperation: A Review in the Mining Industry, Technologies, 12, 3.
- Kharoub H, Lataifeh M, Ahmed N, 2019, 3D User Interface Design and Usability for Immersive VR, Applied Sciences, 9, 22.
- Kim H, Choi Y, 2019, Performance Comparison of User Interface Devices for Controlling Mining Software in Virtual Reality Environments, Applied Sciences, 9, 13.

- Kim H, Kwon Y T, Lim H R, Kim J H, Kim Y S, Yeo W H, 2021, Recent Advances in Wearable Sensors and Integrated Functional Devices for Virtual and Augmented Reality Applications, *Advanced Functional Materials*, 31, 39, 2005692.
- Kiyokawa K, 2012, Trends and Vision of Head Mounted Display in Augmented Reality, 2012 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality, 14-17.
- Kizil M S, 2003, Virtual Reality Applications in the Australian minerals industry, *Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries*, 569-574.
- Kizil M S, 2007, Virtual Reality-A Toy or a New Way of Training, *Proceedings of the 20th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET 2007)*, Ankara, Turkey, 247-255.
- Kizil M S, Kerridge A P, Hancock M G, 2004, Use of Virtual Reality in Mining Education and Training.
- Kolsanov A, Chaplygin S, Rovnov S, Ivaschenko A, 2020, Augmented Reality Application for Hand Motor Skills Rehabilitation, *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11, 4, 51-57.
- Lee L-H, Hui P, 2018, Interaction Methods for Smart Glasses: A Survey, *IEEE Access*, 6, 28712-28732.
- López P, Rodríguez J, Acosta A, Berrios M, 2019, Analysis from the Student Perspective on the Implementation of Learning Technologies in Mining Engineering, *The International Congress on Education and Technology in Sciences (CISETC)*, 268-277.
- Leung T, Zulkernine F, Isah H, 2018, The Use of Virtual Reality in Enhancing Interdisciplinary Research and Education, *Human-Computer Interaction*.
- Levitskaya I, Straka M, 2021, Digital Modelling of Educational Content in the Professional Training for Mining Industry, *E3S Web of Conferences*.
- Levy M R, Biocca F, 1995, Virtual Reality as a Communication System, Biocca, Frank; Levy, Mark R.(Hg.): *Communication in the Age of Virtual Reality*, Hillsdale, 15-32.

- Li H M, Kang B S, 2014, A Virtual Reality Safety Training System for Coal Mining Industry, *Applied Mechanics and Materials*, 687, 2371-2374.
- Li L, Wang Y, Jiang W, 2021, Application Research of Virtual Reality Technology, *The 2020 International Conference on Machine Learning and Big Data Analytics for IoT Security and Privacy*, 791–798.
- Li M, Sun Z, Jiang Z, Tan Z, Chen J, Chen C-H, 2020, A Virtual Reality Platform for Safety Training in Coal Mines with AI and Cloud Computing, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2020, 1-7.
- Li Y, Song H, Guo R, 2021, A Study on the Causal Process of Virtual Reality Tourism and Its Attributes in Terms of Their Effects on Subjective Well-Being during COVID-19, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 3.
- Liang Z, Zhou K, Gao K, 2019, Development of Virtual Reality Serious Game for Underground Rock-Related Hazards Safety Training, *IEEE Access*, 7, 118639-118649.
- Lindblom A, Laine T H, Rossi H S, 2021, Investigating Network Performance of a Multi-user Virtual Reality Environment for Mining Education, *2021 15th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM)*, 1-8.
- Liu L, Chen L-T, Dascalu S, Yang Y, Chu P, 2024, Design and Production of 360o Instructional Video for Mining Engineering Education, *Society for Information Technology in Education (SITE)*, Las Vegas, Nevada, United States, 1175-1180.
- Löw J, Abrahamsson L, Johansson J, 2019, Mining 4.0—the Impact of New Technology from a Work Place Perspective, *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36, 4, 701-707.
- Luo H, Zeng Z, 2023, Real-time multi-object tracking based on bi-directional matching, *Computer Vision and Pattern Recognition*.
- Mallett L, Unger R, 2007, *Virtual Reality in Mine Training*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

- Man J, Guo F, Ma C, 2020, Innovative Analysis of Higher Vocational Education Model Based on Virtual Reality Technology, In Journal of Physics: Conference Series, 1533, 2.
- Markowitz D M, Laha R, Perone B P, Pea R D, Bailenson J N, 2018, Immersive Virtual Reality Field Trips Facilitate Learning About Climate Change, Frontiers in Psychology, 9.
- Meyer K, Applewhite H L, Biocca F A, 1992, A survey of position trackers, Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 1, 2, 173-200.
- Mihelj M, Novak D, Beguš S, 2014, Virtual Reality Technology and Applications,
- Molenda M, 2015, In Search of the Elusive ADDIE Model, Performance Improvement, 54, 2.
- Murphy M, Labrador Ortega M, Moser P, Feiel S, 2023, Education 4.0: MiReBooks - Development and Usage of Mixed Reality for Teaching Mining in Higher Education, 9th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'23), 1485-1492.
- Nascimento da Silva M J, de Souza Soares A M, Carlos Rosa B S, Ferreira Gomes Medeiros Braga H, da Silva Barros A C, Silva Joventino Melo E, 2024, Uso De Tecnologías Basadas En Realidad Virtual Y Aumentada En Salud Y Enfermería: Revisión Integrativa, Ciencia y Enfermería, 30.
- Nassar A K, Al-Manaseer F, Knowlton L M, Tuma F, 2021, Virtual Reality (VR) as a Simulation Modality for Technical Skills Acquisition, Annals of Medicine and Surgery, 71.
- Nieradka P, 2019, Using Virtual Reality Technologies in the Real Estate Sector, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio H – Oeconomia, 53, 2.
- Nuswantari A, Wu Y-T, Surjono H D, 2020, System Usability Scale Measurement on Synhronous Online Argumentation Learning System, International Conference on Online and Blended Learning 2019 (ICOBL 2019), 142-146.
- Ogbonna O N, 2020, Virtual Reality: A Tool for Improving the Teaching and Learning of technology education, *Virtual Reality and Its Application in Education*.

- Özyurt Ö, Ercil Cagiltay N, Özyurt H, Akgun A, 2021, A Systematic Review and Mapping of the Literature of Virtual Reality Studies in Earth Science Engineering Education, *Journal of Pedagogical Research*, 5, 2, 237-256.
- Pamidimukkala A, Kermanshachi S, 2023, Virtual Reality Training for Geological and Mining Workers to Prevent Powered Haulage Accidents, *International Conference on Transportation and Development*, 728-736.
- Pedram S, Palmisano S, Miellet S, Farrelly M, Perez P, 2022, Influence of Age and Industry Experience on Learning Experiences and Outcomes in Virtual Reality Mines Rescue Training, *Frontiers in Virtual Reality*, 3.
- Pedram S, Palmisano S, Skarbez R, Perez P, Farrelly M, 2020, Investigating the Process of Mine Rescuers' Safety Training with Immersive Virtual Reality: A structural equation modelling approach, *Computers & Education*, 153.
- Pedram S, Perez P, Palmisano S, 2014, Evaluating the Influence of Virtual Reality-Based Training on Workers' Competencies in the Mining Industry, *Faculty of Engineering and Information Sciences - Papers: Part A*.
- Pedram S, Perez P, Palmisano S, Farrelly M, 2016, A Systematic Approach to Evaluate the Role of Virtual Reality as a Safety Training Tool in the Context of the Mining Industry, *Coal Operators' Conference*, 433-442.
- Pedram S, Perez P, Palmisano S, Farrelly M, 2017, Evaluating 360-Virtual Reality for Mining Industry's Safety Training, *International Conference on Human-Computer Interaction*, 555-561.
- Pouw W, Trujillo J P, Dixon J A, 2020, The Quantification of Gesture–Speech Synchrony: A Tutorial and Validation of Multimodal Data Acquisition Using Device-Based and Video-Based Motion Tracking, *Behavior Research Methods*, 52, 2, 723-740.
- Qi A, Kang W, Wang H, Wu H, 2016, Study on Realization Technology of Virtual Reality for Coal Mining Face, In *2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, 1218-1222.
- Rappa N A, Ledger S, Teo T, Wai Wong K, Power B, Hilliard B, 2022, The Use of Eye Tracking Technology to Explore Learning and Performance Within Virtual

- Reality and Mixed Reality Settings: a Scoping Review, *Interactive Learning Environments*, 30, 7, 1338-1350.
- Reiners T, Wood L C, Bastiaens T J, 2014, New Landscapes and New Eyes: The Role of Virtual World Design for Supply Chain Education, *Ubiquitous Learning: An International Journal*, 6, 1, 37-49.
- Riva G, 2009, Virtual reality: an Experiential Tool for Clinical Psychology, *British Journal of Guidance & Counselling*, 37, 3, 337-345.
- Rolland J, Cakmakci O, Covelli J, Fidopiastis C, Fournier F, Martins R, 2007, Beyond the Desktop: Emerging Technologies for Supporting 3D Collaborative Teams, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1, 4, 239-241.
- Sadasivan S, Vembar D, Stringfellow P, Duchowski A, Gramopadhye A, 2006, Evaluation of Interaction Devices for NDI Training in VR: Gamepad vs. Joystick, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Los Angeles, 1995-1999.
- Santos B S, Dias P, Santos P, Ferreira C, 2014, Comparing Two Input Devices for Virtual Walkthroughs Using a Head Mounted Display (HMD), *The Engineering Reality of Virtual Reality 2014*, 170-179.
- Seesjärvi E, Puhakka J, Aronen E T, Hering A, Zuber S, Merzon L, 2023, EPELI: A Novel Virtual Reality Task for the Assessment of Goal-Directed Behavior in Real-Life Contexts, *Psychological Research*, 87, 6, 1899-1916.
- Seo J-W, Kim D-H, Jung J, Kim J-J, Kim H-S, 2021, Development of Immersive VR Device for Gait Training Rehabilitation with Biofeedback System-Preliminary Study, *Applied Sciences*, 11, 21.
- Sevim-Cirak N, Yıldırım Z, 2020, Educational Use and Motivational Elements of Simulation Games for Mining Engineering Students: a Phenomenological Study, *European Journal of Engineering Education*, 45, 4, 550-564.
- Sherman W R, Craig A B, 2003, Understanding Virtual Reality, *Interface, Application, Design*, 461-480.

- Singh P, Murthy V, Kumar D, Raval S, 2024, A Comprehensive Review on Application of Drone, Virtual Reality and Augmented Reality with Their Application in Dragline Excavation Monitoring in Surface Mines, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 15, 1.
- Stone R, 2001, Virtual Reality for Interactive Training: an Industrial Practitioner's Viewpoint, International Journal of Human-Computer Studies, 55, 4, 699-711.
- Stothard P, 2003, The Feasibility of Applying Virtual Reality Simulation to the Coal Mining Operations, Mining Risk Management, 311-316.
- Stothard P, Squelch A, Stone R, Van Wyk E, 2019, Towards Sustainable Mixed Reality Simulation for the Mining Industry, Mining Technology, 128, 4, 246-254.
- Strzałkowski P, Bęś P, Szóstak M, Napiórkowski M, 2024, Application of Virtual Reality (VR) Technology in Mining and Civil Engineering, Sustainability, 16, 6.
- Suh J, 2019, Utilization of Augmented and Virtual Reality Technologies in Geoscience and Mining, Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 56, 5, 468-479.
- Sun S, Akhtar N, Song H, Mian A, Shah M, 2019, Deep Affinity Network for Multiple Object Tracking, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13, 9, 104-119.
- Suppes R, Feldmann Y, Abdelrazeq A, Daling L, 2019, Virtual Reality Mine: A Vision for Digitalised Mining Engineering Education, Mining Goes Digital, 17-24.
- Szabó G, Bonaiuti P, Ciliberto A, Horváth A, 2025, Enhancing Yeast Cell Tracking with a Time-Symmetric Deep Learning Approach, npj Systems Biology and Applications, 11, 1.
- Tan B, Zhu H, Shi W, Qin X, 2014, Study and Training on Virtual Reality Technology of mine fire prevention, 9th International Conference on Computer Science & Education, 937-940.
- Tan Y, Xu W, Li S, Chen K, 2022, Augmented and Virtual Reality (AR/VR) for Education and Training in the AEC Industry: A Systematic Review of Research and Applications, Buildings, 12, 10.

- Thoma S P, Hartmann M, Christen J, Mayer B, Mast F W, Weibel D, 2023, Increasing Awareness of Climate Change with Immersive Virtual Reality, *Frontiers in Virtual Reality*, 4.
- Tibbett J, Suorineni F T, Hebblewhite B, 2014, The Application of Virtual Reality Technology and Scientific Visualisation to the Understanding of Block Cave Mining Systems, *Proceedings of the Third Australasian Ground Control in Mining Conference*, Sydney, 195-200.
- Tichon J, Burgess-Limerick R, 2011, A Review of Virtual Reality as a Medium for Safety Related Training in Mining, *Journal of Health & Safety Research & Practice*, 3, 1, 33-40.
- Tkachuk V, Yechkalo Y, Brovko D, Sobczyk W, 2023, Augmented and Virtual Reality Tools in Training Mining Engineers, *Inżynieria Mineralna*.
- Van Wyk E, De Villiers M R, 2014, Applying Design-Based Research for Developing Virtual Reality Training in the South African Mining Industry, *Proceedings of the Southern African Institute for Computer Scientist and Information Technologists Annual Conference 2014 on SAICSIT 2014 Empowered by Technology*, 70-81.
- Van Wyk E, De Villiers R, 2008, Usability Context Analysis for Virtual Reality Training in South African Mines., *Proceedings of the 2008 Annual Research Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists on IT Research in Developing Countries: Riding the Wave of Technology*, 276-285.
- Van Wyk E, De Villiers R, 2009, Virtual Reality Training Applications for the Mining Industry, *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa*, 53-63.
- Van Wyk E A, 2015, An Evaluation Framework for Virtual Reality Safety Training Systems in the South African Mining Industry, *University of South Africa*.
- Van Wyk E A, De Villiers M R, 2019, An Evaluation Framework for Virtual Reality Safety Training Systems in the South African Mining Industry, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119, 5.
- Vavenkov M V, 2022, VR/AR Technologies and Staff Training for Mining Industry,

- Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia), 7, 2, 180-187.
- Wang C, Wang Y, Yu G, 2022, Efficient Global MOT Under Minimum-Cost Circulation Framework, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 44, 4, 1888-1904.
- Webber-Youngman R C, Van Wyk E, 2009, Improving Health and Safety Related Education Through Virtual Mining Interactive Simulations, In Proceedings of the Hard Rock Safe Safety Conference 2009: a Sense of Safety Urgency.
- Wu X, 2024, A Review of Virtual Reality Technology, Applied and Computational Engineering, 38, 1, 1-6.
- Xie B, Liu H, Alghofaili R, Zhang Y, Jiang Y, Lobo F D, 2021, A Review on Virtual Reality Skill Training Applications, Frontiers in Virtual Reality, 2.
- Xie J, Yang Z, Wang X, Wang Y, 2018, A Remote VR Operation System for a Fully Mechanised Coal-Mining Face Using Real-Time Data and Collaborative Network Technology, Mining Technology, 127, 4, 230-240.
- Yang Z, Wang Y, 2019, Analysis of the Rock Stratum in a Mining Area in China with Virtual Reality Technology, Geotechnical Research, 6, 4, 288-293.
- Zhang F, Bazarevsky V, Vakunov A, Tkachenka A, Sung G, Chang C L, 2020, Mediapipe Hands: On-device Real-Time Hand Tracking, Computer Vision and Pattern Recognition.
- Zhang H, 2017, Head-Mounted Display-Based Intuitive Virtual Reality Training System for the Mining Industry, International Journal of Mining Science and Technology, 27, 4, 717-722.
- Zhang H, He X, Mitri H, 2019, Fuzzy Comprehensive Evaluation of Virtual Reality Mine Safety Training System, Safety Science, 120, 341-351.
- Zhou K, Guo M, 2011, Virtual Reality Simulation System for Underground Mining Project, Virtual Reality, 615-632.
- Zuo H, 2020, The Construction of Stratigraphic Structure Model In Mining Area Under Virtual Reality–Geographic Information System, Arabian Journal of Geosciences, 13, 17, 853.

İnternet Kaynakları

1-<https://chatgpt.com/>

2-

[https://dl4.htc.com/Web_materials/Manual/Vive/Vive_User_Guide.pdf?_ga=2.2857452](https://dl4.htc.com/Web_materials/Manual/Vive/Vive_User_Guide.pdf?_ga=2.28574524.1863870121.1594111597-1057416169.1573718098)

4.1863870121.1594111597-1057416169.1573718098, 25.05.2025.



İstanbul, 433-448.

Ceylan H R, Çiftçi H, Gürsoy M, Arsoy Z, Evcin A, Ersoy B, 2020, Effects of Various Cleaning Chemicals on the Surface Properties of Marbles, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 20, 331-339.

Çiftçi H, Gürsoy M, Arsoy Z, Ersoy B, 2018, Pre-Enrichment of Lead-Zinc Leaching Tailings by Hydrocyclone, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 320-325

Gürsoy M, Büyüksağış İ S, 2024, Virtual Reality in Underground Mining Education: Enhancing Machinery Comprehension, Mining, Metallurgy & Exploration, 3073-3081.

Sayın Z E, Çiftçi H, Gürsoy M, 2023, Doğaltaş Toz Atıklarından İnce Tane Boyutlu Kalsiyum Karbonatın Hidrosiklon ile Kazanılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 614-624.

Sayın Z E, Çiftçi H, Gürsoy M, 2024, Investigation of The Change in the Characteristic Properties of Epoxy and Silane Coated Natural Stone Surfaces, Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 85-89.

Sert M, Gürsoy M, Arsoy Z, 2017, Doğaltaşların CaO, MgO ve SiO₂ İçerikleri ile Knoop Sertlik Değerleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 162-171.

EKLER

EK 1. Anket Soruları

Mermer Ocaklarında Sanal Gerçeklik Uygulamaları

Uygulamacı Profil Soruları	
Adı ve Soyadı	
E-posta Adresi	
Meslek	
Cinsiyet	
Yaş	
Oyun geliştiricisi olarak uzmanlığınız var mı?	
SG/AG/KG ortamlarında oyuncu olarak uzmanlığınız var mı?	
Normal bir haftada, kaç gün en az 30 dakika video oyunlarına zaman harcarsınız?	
Daha önce SG cihazlarıyla oyun oynadınız mı?	
En sevdiğiniz bilgisayar oyunu nedir?	

Anket Uygulama Ölçeği						
		Hiç Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katlıyorum	Tamamen Katlıyorum
1	Bu sistemi daha sıklıkla kullanmam gerektiğini düşünüyorum					
2	Bu uygulamayı gereksiz bir şekilde karmaşık buluyorum					
3	Uygulamanın kullanımının kolay olduğunu düşünüyorum					
4	Sistemi kullanabilmek için teknik ekibin yardımına ihtiyaç duyduğumu düşünüyorum					
5	Bu metotla öğrendiğim konuların daha kalıcı olduğunu düşünüyorum					
6	Bu uygulamayla meslek eğitimi öğrenilmesinin zor olduğunu düşünüyorum					
7	Bu metotla konuları çok daha kolay anlıyorum					
8	Bu teknoloji bana gerçekçi bir deneyim yaşamayı sağladı					
9	Sistemi kullanırken kendimi güvende hissettim					
10	Bu sistemi kullanarak daha hızlı öğreneceğime inanıyorum					
11	Bu sistemlerin çalışacağım iş yerinde de kullanılmasını isterim					
12	Bu uygulamaların kullanımını çalışacağım işyerinde diğer çalışanların da öğrenmesini desteklerim					
13	İş yerimde yeni tecrübeleri bu uygulama ile deneyimlemek isterim					
14	Ortamda yeni şeyler öğrenirken eğlendim					
15	Uygulama sonrasında kendimi iyi hissetmedim (Baş dönmesi, mide bulantısı vb)					