



JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGIES

BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

Volume / Cilt **16** Number / Sayı **4** Year / Yıl **2023** Month / Ay **October / Ekim**





GAZİ ÜNİVERSİTESİ (GAZİ UNIVERSITY)
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ (INSTITUTE OF INFORMATICS)

BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ
(JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGIES)
ISSN: 1307-9697 e-ISSN: 2147-0715



Cilt (Volume): 16

Sayı (Issue): 4

Ekim (October) 2023

Sahibi (Owner)
Dr. Musa YILDIZ
Rektör (Rector)

Genel Yayın Yönetmeni & Baş Editör
(General Publication Director & Editor in Chief)
Dr. Ashhan TÜFEKÇİ
Bilişim Enstitüsü Müdürü
Director of Institute of Informatics

Yardımcı Editör
(Associate Editor)
Dr. Murat YILMAZ
Bilişim Enstitüsü Müdür Yardımcısı
Vice Director of Institute of Informatics

Yardımcı Editör
(Associate Editor)
Dr. Öner BARUT
Bilişim Enstitüsü Müdür Yardımcısı
Vice Director of Institute of Informatics

Editörler (Editors)

❖ Dr. Ahmet KARAARSLAN	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi (Ankara Yıldırım Beyazıt University)
❖ Dr. Hüseyin POLAT	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Resul DAŞ	Fırat Üniversitesi (Fırat University)
❖ Dr. Mahir DURSUN	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Mehmet ŞİMŞEK	Milli Savunma Üniversitesi (National Defence University)
❖ Dr. M. Hanefi CALP	Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi (Ankara Hacı Bayram Veli University)
❖ Dr. Mehmet Sıraç ÖZERDEM	Dicle Üniversitesi (Dicle University)
❖ Dr. Oktay YILDIZ	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Olgun DEĞİRMENCİ	TOBB ETÜ (TOBB Economics and Technology University)
❖ Dr. Recep BENZER	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Serdar KULA	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Ö. Tolga PUSATLI	Çankaya Üniversitesi (Çankaya University)
❖ Dr. Cihangir TEZCAN	Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Middle East Technical University)
❖ Dr. Uraz YAVANOĞLU	Gazi Üniversitesi (Gazi University)
❖ Dr. Muhammed Ali KOŞAN	Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi (Kahramanmaraş Istiklal University)

Yayın Danışma Kurulu (Editorial Advisory Board)

Dr. Ahmet COŞAR <i>Turkish Aeronautical Association University, Turkey</i>	Dr. Aslanbek NAZİEV <i>Ryazan State University, Russia</i>	Dr. Bogdan PATRUT <i>Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania</i>
Dr. Deepak GUPTA <i>Maharaja Agrasen Institute of Technology, India</i>	Dr. Jafar A. ALZUBİ <i>Al-Balqa Applied University, Jordan</i>	Dr. Jolanta SABAITYTĖ <i>Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania</i>
Dr. Ilya LEVİN <i>Tel Aviv University, Israel</i>	Dr. Pınar KARAGÖZ <i>Middle East Technical University, Turkey</i>	Dr. Ufuk ÇAĞLAYAN <i>Yaşar University, Turkey</i>
Dr. Veysi İŞLER <i>Hasan Kalyoncu University, Turkey</i>	Dr. Victor Hugo Costa DE ALBUQUERQUE <i>Universidade de Fortaleza, Brazil</i>	Dr. Vijender Kumar SOLANKİ <i>CMR Institute of Technology, India</i>
Dr. Ebrahim KHOSRAVI <i>Clayton State University, United States</i>		

Dil Editörü
(Language Editor)
Dr. Çağla Gizem AKKAŞ
*Bilişim Enstitüsü
Institute of Informatics*

Teknik Sorumlu
(Technical Assistant)
Candan TÜMER
*Bilişim Enstitüsü
Institute of Informatics*

Teknik Sorumlu
(Technical Assistant)
Tuana İRKEY
*Bilişim Enstitüsü
Institute of Informatics*

Teknik Sorumlu
(Technical Assistant)
Yasemin İÇTÜZER
*Bilişim Enstitüsü
Institute of Informatics*

Sekreterlik
(Secretary)
Bilişim Teknolojileri Dergisi
*Bilişim Enstitüsü
Institute of Informatics*

Bilişim Teknolojileri Dergisi uluslararası hakemli bir dergidir.
Journal of Information Technologies is an international refereed journal.

Yazışma Adresi (Contact Address)
Tunus Cad. No: 35 Kavaklıdere Çankaya/ANKARA
Telefon / Telephone: 0312 202 38 01
Faks / Fax: 0312 212 79 29

Çevrimiçi Değerlendirme Sistemi (Online Evaluation System)
<http://dergipark.gov.tr/gazibtd>
E-posta (e-mail): btd@gazi.edu.tr

Bilişim Teknolojileri Dergisi 3 ayda bir (Ocak, Nisan, Temmuz, Ekim) yayınlanmaktadır.
Journal of Information Technologies is published every 3 months (January, April, July, October).

A Yıldız ve Akın Algoritmaları ile Otonom Sürü Sistemleri için Yol Bulma

Araştırma Makalesi/Research Article

 Mehmet ALBAYRAK* ,  Ali Murat SÜMEN

Bilgisayar Teknolojileri, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye

mehmetalbayrak@isparta.edu.tr, alimrts07@gmail.com

(Geliş/Received:16.01.2023 ; Kabul/Accepted:20.06.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1236552

Özet— Savaş ve yapay yaşam temalı bilgisayar oyunlarında, yapay zekâli karakterlerin, ortak bir hedefe takım halinde yol bularak akın hareketi algoritması kurallarına göre sürü halinde hareket etme sistemleri üzerinde çalışılmıştır. Bu sistemlerin kullandığı yol bulma algoritmaları arasında Dijkstra, Best-First Search (en iyi ilk arama) ve A* (A yıldız) incelenmiştir. Sonuçlar, A* yol bulma algoritmasının en hızlı ve etkili olduğunu göstermiştir. Bu algoritma ve sürü hareketi modeli kullanarak, takım halinde hareket ederken kendi yolunu bulabilen yapay zekâ sistemi geliştirilmiştir. A* algoritmasını kullanan yapay zekâli karakterlerin oluşturduğu takımların, oyun içi durumlara karşı daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, savaş temalı bir oyun için takım tabanlı yapay zekâ modülü geliştirilmiştir. Bu modül, Unity 3D oyun motoru kullanılarak oluşturulmuştur. Bayrak kapma senaryosu modu kullanılarak, lider kullanıcı takım ile düşman takımı arasındaki karşılaşmanın sergilediği davranışlar incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, A* ve akın hareketi algoritmalarının kullanılması ile oyunların oynanabilirlik ve gerçekçilik gibi önemli özelliklerinin, dinamik oyun karakterleri aracılığıyla bir üst seviyeye taşınabileceği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler— A*, akın, sürü, takım tabanlı yapay zekâ, yol bulma algoritmaları

Pathfinding for Autonomous Swarm Systems with A Star and Flocking Algorithms

Abstract— In computer games with the theme of war and artificial life, the systems of artificial intelligence characters to move in flocks according to the rules of the raid movement algorithm by finding a way to a common goal as a team have been studied. Among the pathfinding algorithms used by these systems, Dijkstra, Best-First Search and A* have been examined. The results have shown that the A* pathfinding algorithm was the fastest and most efficient. By using this algorithm and a swarm movement model, an artificial intelligence system has been developed that can find its own way while moving as a team. It has been observed that teams formed by artificial intelligence characters using the A* algorithm achieve more successful results against in-game situations.

Within the scope of this study, a team-based artificial intelligence module was developed for a war-themed game. This module was created using the Unity 3D game engine. Using the flag grabbing scenario mode, the behavior of the leader user team and the enemy team was examined. As a result of this study, it has been revealed that important features of games such as playability and realism can be taken to the next level through dynamic game characters by using A* and raid movement algorithms.

Keywords— A*, flocking, swarm, team-based artificial intelligence, pathfinding algorithm

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karakter yapay zekâsı, bir oyunun içinde yer alan yapay zekâ tarafından yönetilen karakterlerin davranışlarını ve hareketlerini belirleyen bir sistemdir. Bu sistem, karakterlerin oyun içinde doğal ve inandırıcı bir şekilde davranmasını sağlar ve oyunun gerçekçiliğini artırır. Örneğin, bir karakter yapay zekâsı ile programlanmış bir karakter, oyun içinde bir çatışma sırasında diğer karakterlerle etkileşime girerek savunma pozisyonuna geçebilir veya kaçabilir. Ayrıca, karakter yapay zekâsı sayesinde karakterler oyun içinde doğal bir şekilde yüz ifadeleri ve mimikler kullanarak duygularını ifade edebilirler. Bu sayede oyun oynayan kişi, karakterlerle daha etkileşimli ve inandırıcı bir şekilde oyun oynayabilir. Özetle, karakter yapay zekâsı, oyunların gerçekçiliğini ve oynanış deneyimini artıran önemli bir öğedir. Bu çalışmada takım halinde hareket eden yapay zekâlı karakterler için yol bulma algoritmaları araştırılmış ve en iyi ve performanslı yol bulma algoritmalarından biri olan A* algoritmasının 3D (3 boyutlu) oyun ortamında takım tabanlı yapay zekâ sistemleri için kullanımı üzerinde çalışılmıştır.

Bilgisayar oyunlarında kullanılan yapay zekâ sistemlerinin temel amacı, oyuncu ile etkileşimde bulunan karakterlerin ve oyunun geçtiği ortamın gerçek insan, topluluk ve dünya yaşam ortamına olabildiğince benzetilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, oyun tasarımı ve yapay zekâ algoritmaları aracılığıyla oyunun gerçekçi ve doğal bir etkileşim ortamı oluşturulmaya çalışılır. Gelişmiş yapay zekâ sistemlerine sahip oyunlar, oyun içi deneyimin gerçek yaşam ortamlarına benzeyen bir ortamda yaşanmasını sağlar. [1]. Oyunlarda kullanılan yapay zekâ sistemlerinin başka bir önemli amacı, oyuncunun yeteneklerine karşılık vermek ve oyuncunun kurduğu planları veya tuzakları taklit etmektir. Bu amaç doğrultusunda, yapay zekâ algoritmaları oyuncunun yeteneklerini ve stratejilerini analiz ederek, oyuncuya karşı uygun bir tepki oluşturmaya çalışır. Aynı zamanda, yapay zekâ sistemi oyuncuyu zor duruma düşürerek oyunu kazanabilmek için gerektiğinde tuzaklar kurabilir. Bu, oyun programındaki yapay zekâ kalitesini belirleyen önemli bir faktördür [2].

Geleneksel yol bulma algoritmaları ile takım halinde hareket eden yapay zekâlı oyun karakterlerinin bir noktadan başka bir noktaya doğru hareket ederken, karınca sürüsü gibi tek bir yol izlemesi gerçeklikten uzak bir hareket örneği oluşturmaktadır. Her bir yapay zekâlı takım bireyinin kendi konumuna en uygun yolu bularak ve oyun içi dinamik engelleri aşarak ilerlemesi oyun içi gerçekçiliği arttıran bir yaklaşımdır.

Takım halinde hareket eden yapay zekâlı karakter sistemleri, savaş temalı FPS (First Person Shooter/Birinci Şahıs Nişancı) türü oyunlar için önemli bir öğedir. Bu sistemler sayesinde, oyun içinde yer alan yapay zekâ tarafından yönetilen karakterler takım halinde hareket edebilir ve birbirlerine yardımcı

olabilirler. Örneğin, takım tabanlı karakter yapay zekâsı ile programlanmış bir takım, oyun içinde bir çatışma sırasında birbirlerine yardım etmek için pozisyon değiştirebilir veya birkaç karakterin bir hedefe birlikte saldırmalarını sağlayabilir. Bu sayede oyun oynayan kişi, takımını daha etkili bir şekilde yönetebilir ve oyunun gerçekçiliğini arttıran inandırıcı bir takım deneyimi yaşayabilir. Ayrıca, takım halinde hareket eden yapay zekâlı karakterler, oyun içinde dinamik ve değişen koşullara uyum sağlama konusunda da önemli bir rol oynar.

Bu çalışmada, yol bulma problemlerinde kullanılan algoritmalar incelenerek, literatürde en iyi sonuçları verdiği görülen A* algoritması seçilmiştir. A* algoritması, yol bulma problemlerinde etkili bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Bu algoritmanın yanı sıra, sürü halinde hareket eden gruplar için de A* algoritmasına entegre olarak çalışan bir yaklaşım üzerinde durulmuştur. Bu yaklaşım, grubun bir arada tutulmasını sağlarken, bireylerin de kendi yollarını bulabilmelerine olanak tanır. Bu sayede, grup içindeki bireylerin birbirlerini takip etmeleri yerine, her bir bireyin kendi yolunu bulabilmesi hedeflenmiştir.

Geleneksel yol bulma algoritmalarından farklı olarak, A* algoritmasının 3D harita üzerine uygulanarak takım karakterlerinin takımın varış noktası amacına uygun bir şekilde en doğru ve özgün yolları bulabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede oyun yazılımının zaman ve işlem gücünden tasarruf edilirken daha gerçekçi hareket eden yapay zekâlı karakter sistemleri elde edilmiştir.

2. TEORİK METOD (THEORETICAL METHOD)

Bu bölümde kullanılan metod, yol bulma algoritmaları, sürü hareketi ve takım tabanlı yapay zekâ uygulaması hakkında bilgi verilmektedir.

2.1. Yol Bulma ve Engel Geçişi (Pathfinding and Obstacle Avoidance)

Savaş temalı bilgisayar oyunları, oyun oynayan kişinin savaş alanında yer alan bir karakteri yönetmesini ve/veya savaşın içinde yer almasını sağlar ve genellikle taktiksel ve stratejik hareketler gerektiren dinamik bir oynanış deneyimi sunar. Özellikle Battlefield ve Call of Duty gibi etkileşimli ve dinamik oyunlarda, yol bulma probleminin geliştirilmiş çözümleri sayesinde karakterler oyun içinde dinamik koşullara uyum sağlayabilir ve bu sayede oyunun zorluk seviyesi de artırılabilir.

Günümüzdeki oyunlar genellikle çok geniş oyun içi dünyaları ve oynanış sırasında değişen koşulları içerir. Bu nedenle, oyun içi karakterlerin yol bulma işlemleri farklı algoritmalar kullanarak gerçekleştirilir. Bu yeni nesil oyunlar, gerçekçi ortamlar ve karakterler içerir ve bu nedenle, gerçekçi bir yapay zekâ sistemi olmadığı takdirde boş ve düşük kaliteli görünebilirler. Bu

nedenle, oyun içi karakterlerin sürekli değişen oyun ortamına uyum sağlamak için yeni yollar bulma gibi işlemleri gerçekleştirebilmesi gerekir.

2.1.1. A* Algoritması (A* Algorithm)

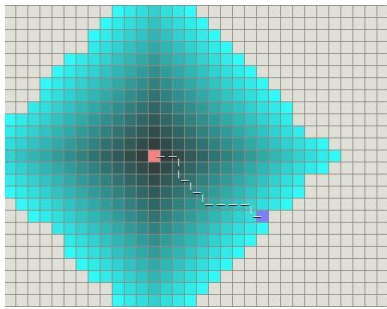
A*, bir grafik üzerinde iki nokta arasındaki en kısa ve en az maliyetli yolu bulmak için kullanılan bir yol bulma algoritmasıdır. Aramayı yönlendirmek ve en umut verici yolları seçmek için sezgisel bir işlev kullanarak hem Dijkstra hem de Breadth-First Search algoritmasının faydalarını birleştirir.

A* algoritması sezgisel fonksiyonu $f(n)$ ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

Burada, $g(n)$ başlangıç düğümünden mevcut düğümüne kadar gelme maliyetini, $h(n)$ ise mevcut düğümünden hedef düğümüne varmak için tahmin edilen mesafeyi temsil eder.

Şekil 1'de gösterildiği gibi en kısa yol bulma algoritmalarından olan Dijkstra algoritmasında başlangıç düğümünden itibaren dışarıya doğru bütün yönlerde ilerleme tekniği kullanılır. A* algoritmasının temel fikri, her yolun maliyetini göz önünde bulundurarak ve aramayı hedefe doğru yönlendirmek için sezgisel işlevi kullanarak arama sınırını yinelemeli olarak genişletmektir. Her adımda, algoritma en düşük tahmini toplam maliyete $f(n)$ sahip yolu seçer ve arama sınırına komşu düğümleri ekleyerek onu genişletir. $f(n)$, yolun o ana kadarki maliyeti olan $g(n)$ ve hedefe giden tahmini maliyet olan $h(n)$ toplamı olarak hesaplanır. $g(n)$ Değerinde olan artış hedeften uzaklaşıldığını gösterir. Algoritma daha düşük $g(n)$ değerleri ile hedefe ulaşılması sonucunda doğru yolu tespit eder [3].

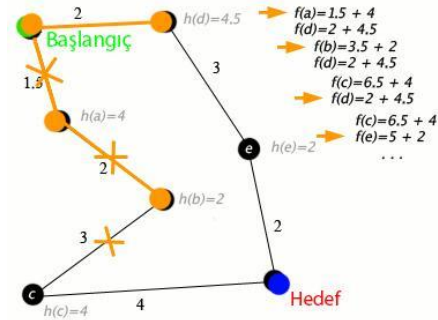


Şekil 1. Dijkstra algoritması yol bulma şeması (Dijkstra algorithm pathfinding schema) [4]

A* algoritması, bir açık liste ve bir kapalı liste kullanarak çalışır. Açık liste, A* algoritması tarafından ziyaret edilmeyi bekleyen noktaların bir listesidir. Her adımda, açık listesinden en düşük maliyetli noktayı seçer ve bu noktayı kapalı listeye taşır. Kapalı liste ise, A* algoritması tarafından ziyaret edilen noktaların bir listesidir. Bu sayede, aynı noktayı ikinci kez ziyaret etmekten kaçınılır ve algoritma daha hızlı çalışır [5].

Şekil 2'de noktalar arası bağlantılı yolların birleştirilerek hedefe ulaşma süreci görülebilir. Şekil 2'deki yeşil nokta başlangıç noktası, mavi nokta ise hedef noktasıdır. Bağlantı yolları turuncu çizgiler ile temsil edilmektedir. Her bir arası $g(n)$ (maliyet) ve $h(n)$ (mesafe) değerleri toplanıp $f(n)$ hesaplanır ve son nokta olan hedefe ulaşılır [6].

A* algoritması her işlem adımında açık listesinden en düşük maliyetli noktayı seçer. Seçilen noktanın çevresindeki noktalara gider ve çevresindeki noktaların maliyetlerini hesaplar. Çevresindeki noktaların maliyetlerini karşılaştırır ve en düşük maliyetli noktayı seçer. Seçilen en düşük maliyetli noktayı kapalı listeye taşır ve işlemi tekrar başa döndürür. Algoritma, hedef noktaya ulaşana kadar bu adımları tekrar eder ve hedef noktaya ulaştığında en kısa yolu bulmuş olur [7].



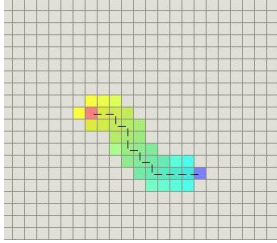
Şekil 2. A* algoritması düğüm ve yol bulma şeması (A* algorithm node and pathfinding schema) [8]

A* algoritması, sezgisel fonksiyon tarafından hesaplanan tahmini maliyetin gerçek maliyetten daha az olduğu durumlarda, en kısa yolu garanti eder. Ancak, tahmini maliyet gerçek maliyetten daha fazla olursa, bulunan yol optimal olmayabilir. Bu nedenle, A* algoritması için kullanılan sezgisel fonksiyonun doğruluğu, bulunan yolun en kısa yol olup olmadığını belirler [9].

Algoritma 1: A* Algoritması	
	Input: Başlangıç (start), Hedef (goal) noktaları
	Output: Bulunan noktalar listesi (came_from)
1	function A*(start, goal)
2	// Arama sınır başlangıcı noktasını belirle
3	frontier = başlangıç içeren öncelik sırası listesi
4	// came_from (önceki aranan) listesini belirle
5	came_from = boş liste
6	// cost_so_far (şimdiye kadar) listesini belirle
7	cost_so_far = boş liste
8	cost_so_far[start] = 0
9	// Arama listesi boşalana kadar döngü
10	while frontier boş değil
11	// Arama listesinden en düşük f-maliyetli noktayı al
12	current = frontier.get_lowest_f_cost_node()
13	// Mevcut nokta hedef ise, algoritma sonlanır
14	if current == goal
15	return came_from, cost_so_far
16	// Geçerli noktayı arama listesinden kaldır
17	frontier.remove(current)

18			// Geçerli noktanın komşularını arama listesine ekle
19			for each neighbor of current
20			// Komşuya ulaşmanın maliyetini hesapla
21			$new_cost = cost_so_far[current] + cost(current, neighbor)$
22			// Komşu ziyaret edilmemişse veya yeni maliyet önceki maliyetten düşükse, maliyeti güncelle ve komşuyu arama sınırına ekle
23			if neighbor not in cost_so_far or $new_cost < cost_so_far[neighbor]$
24			$cost_so_far[neighbor] = new_cost$
25			$priority = new_cost + heuristic(neighbor, goal)$
26			$frontier.add(neighbor, priority)$
27			$came_from[neighbor] = current$

Algoritma 1'de A* algoritmasının çalışma prensibini açıklayan kod örneği belirtilmiştir.



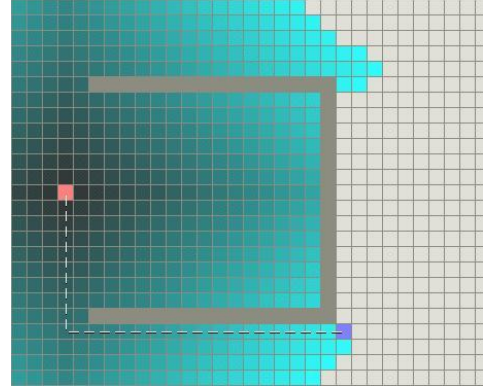
Şekil 3. A* yol bulma şeması (A* algorithm pathfinding schema) [4]

Sezgisel çalışma prensibi sayesinde, A* algoritması ile engelsiz ortam koşullarında çok daha hızlı ve başarılı yol bulma işlemi gerçekleştirilmektedir. [5].

Karakterlerin oyun içi ortamda hedeflerine gitmesi için, engel oluşturabilecek objelerin varlığına göre yol hesaplama fonksiyonları kullanılır. Bu fonksiyonlar sürekli olarak çalışarak, karakterin hedefe gitmesi için en kısa yolu hesaplar. Ayrıca kaynak noktadan hedef noktaya ve hedef noktadan kaynak noktaya olan yollar da hesaplanır ve en kısa ve hızlı olan yol seçilir.

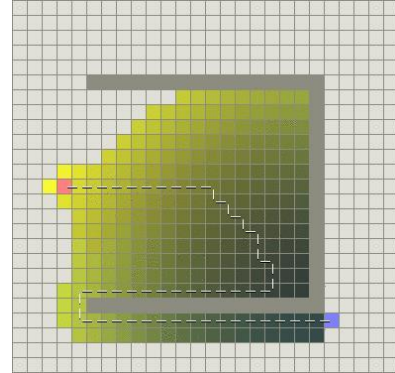
Kaynak nokta ve hedef nokta arasında engel olduğunda, yol bulma performansı için farklı algoritmalar kullanılabilir. Örneğin, Dijkstra algoritması yolun maliyetine bakarak en kısa yolu bulur, Best-First Search algoritması ise yolun hedefe olan yakınlığına bakarak en kısa yolu seçer ve A* algoritması ise hem maliyeti hem de hedefe olan yakınlığı dikkate alarak en kısa yolu hesaplar. Bu algoritmaların performansları arasında zaman ve maliyet açısından farklılıklar vardır.

Dijkstra algoritması ile engellerin olduğu ortamda yol bulma işlemi sırasında, algoritma tüm yönlerde arama yaparak doğru yolu bulmaya çalışır. Bu nedenle, zaman açısından büyük bir kayıp yaşanabilir. Örneğin, Şekil 4'de gösterildiği gibi, algoritma tüm yönleri taradıktan sonra doğru yol bulunmuş olsa da büyük bir alan taranmış ve vakit kaybedilmiştir.



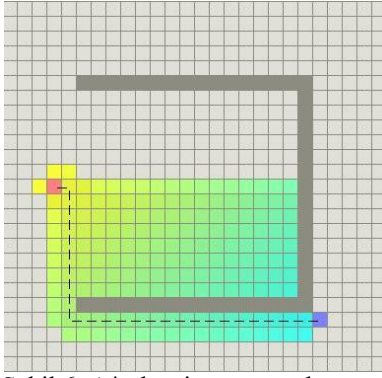
Şekil 4. Dijkstra algoritması engel ortamı (Dijkstra algorithm environment with obstacles) [4]

Best-First Search algoritması, engel durumunda tarama yapacağı alanı azaltır, bu da Dijkstra algoritmasına göre daha hızlı bir hedefe ulaşma sağlar. Ancak, Best-First Search algoritması engeli fark edene kadar sezgisel hareket etmez, bu nedenle izlediği yol daha uzun olabilir. Bu noktada, Best-First Search algoritmasının bir avantajı hedefe hızlı ulaşmak için tarama alanını azaltmasıdır, ancak dezavantajı ise engeli fark edene kadar sezgisel bir hareket sergilememesidir [4]. Aynı konumlardaki başlangıç ve hedef noktaları arasındaki en kısa mesafe Şekil 5'de görüldüğü gibi yanlış hesaplanmıştır.



Şekil 5. Best-First Search engel ortamı (Best-First Search environment with obstacles) [4]

A* algoritması, engel içeren ortam durumları karşısında sezgisel hareket sergiler. Bu sayede, diğer algoritmalarla farklı olarak, hedef yönündeki engeli önceden tayin edebilir. Sezgisel hareket etme özelliği sayesinde engel yapısına göre en az maliyetli yol hesaplanarak hem hızlı hem de az maliyetli bir şekilde en iyi yol belirlenebilir. Bu nedenle A* algoritması diğer algoritmalarla göre daha efektif bir yol bulma yöntemi olarak kabul edilmektedir. Şekil 6'da A* algoritmasının aynı engel ortamında bulduğu yol ve aradığı noktalar görülmektedir.



Şekil 6. A* algoritması engel ortamı
(A* algorithm environment with obstacles) [4]

Şekil 4 ve Şekil 5'de görülen Dijkstra ve Best-First Search algoritmalarına göre daha az nokta taranmıştır. Buna rağmen Şekil 6'da görüldüğü gibi en kısa yolun bulunduğu anlaşılmaktadır.

Farklı ihtiyaçlara göre farklı akademik alanlarda, A* algoritmasının temel özelliklerini kullanarak geliştirilen farklı algoritmalar üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

IDA* (Iterative Deepening A*, Yinelemeli Derinleşen A*), belirlenmiş bir başlangıç düğümü ile bir kümenin herhangi bir üyesi arasındaki en kısa yolu bulmak için yinelemeli derinleştirme öncelikli arama fikrini içeren A* algoritmasının bir çeşididir. A* 'ın optimallığını ve eksiksizliğini derinlemesine öncelikli aramanın düşük bellek gereksinimleriyle birleştirir. Bu, bir düğümün derinliği yerine ardışık iterasyonlarda hedefe ulaşmak için kalan maliyeti değerlendirmek için kullanılan buluşsal işleve daha büyük bir sınır koyarak yapılır [10].

SMA* (Simplified Memory-Bounded A*, Basitleştirilmiş Bellek Sınırlı A*), bir grafikteki en kısa yolu bulmak için kullanılan A* algoritmasına dayalı bir en kısa yol algoritmasıdır. SMA* ve A* arasındaki temel fark, SMA*'nın sınırlı bir bellek kullanması, A* algoritmasının ise daha fazla belleğe ihtiyaç duymasındadır. Sezgiye göre en umut verici dalları genişletmek için A* gibi benzer bir yöntem kullanır. Ancak SMA*, bellek kullanımını kontrol altında tutmak için genişletilecek açık düğümler listesinden en az umut vadeden dalları budar [11]

RBFS (Recursive Best-First Search, Özyinelemeli En İyi İlk Arama), A*'ya benzer bir algoritmadır, ancak düğümlerin genişletilmesini sıralamak için bir öncelik sırası kullanmak yerine, yinelemeyi kullanır. Bu, daha esnek bir f-değerinin uygulanmasına izin verir ve A* algoritmasının uygun olmadığı belirli durumlarda yararlı olabilir. RBFS (Recursive Best-First Search), A* aramasına benzer, ancak yinelemeli bir yaklaşım kullanır ve lineer uzay karmaşıklığına sahip bir arama algoritmasıdır. RBFS'nin arkasındaki fikir, düğümlerin genişletilme sırasını belirlemek için bir değerlendirme işlevi kullanan en iyi ilk arama algoritması olan A* aramasının çalışmasını taklit etmektir. A*'daki değerlendirme işlevi, yol maliyetini ve buluşsal yöntemi

toplar, ancak RBFS algoritması, düğümleri en iyi birinci sıraya göre sıralamak için monoton olmayan bir maliyet işlevi kullanır [12].

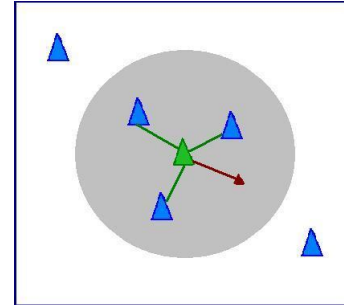
2.2 Akın Hareketi (Flocking)

Flocking, birçok nesnenin birlikte hareket ettiği bir sistemde, nesnelerin nasıl birlikte hareket ettiğini modellemenin bir yoludur. Flocking algoritması, nesnelerin izlediği üç temel kurallar üzerine inşa edilir: konsensüs, özdeşleşme ve sınırlama.

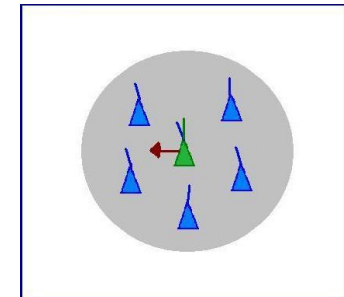
Konsensüs kuralı, nesnelerin ortalama pozisyon ve hızlarını izlemesini sağlar. Özdeşleşme kuralı, nesnelerin diğer nesnelerin yönünü izlemesini sağlar. Sınırlama kuralı, nesnelerin birbirlerine çok yaklaşmamasını sağlar [13].

Örneğin, bir kuş sürüsünün uçuş simülasyonu yapılmak istendiğinde, her bir kuşun pozisyonu ve hızı veri olarak alınır. Kuşlar, konsensüs, özdeşleşme ve sınırlama kurallarını izleyerek ortak bir düzende uçarlar. Bu yolla, sürünün bütünü hakkında bilgi elde edilebilir.

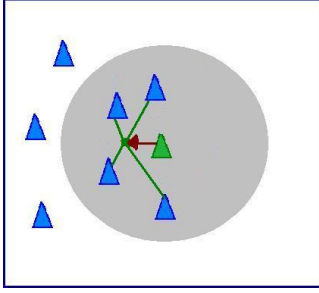
Sürüyü oluşturan nesnelere (boids) komşulara ve engellere çarpışmadan kaçınmak (Şekil 7), hız ve doğrultuyu komşularla yaklaşık aynı tutmak (Şekil 8), komşulara yakın durmaya çalışmak (Şekil 9) kurallarını uygulayarak akın hareketi (sürü hareketi) işlemini gerçekleştirir.



Şekil 7. Komşulara ve engellere çarpışmadan kaçınmak
(Avoiding collisions with neighbors and obstacles) [13]



Şekil 8. Hız ve doğrultuyu komşularla aynı tutmak
(Keeping speed and direction the same as neighbors) [13]



Şekil 9. Komşulara yakın durmaya çalışmak
(Trying to stay close to neighbors) [13]

Sürü hiyerarşisi için belirlenen kurallar sonucunda, her bir nesnenin hız vektörü hesaplanmaktadır. Bu işlem, sürünün bütün nesnelere uygulandığında, günlük hayatta gözlemediğimiz sürü hareketlerine benzer bir hareket elde edilir. Bilgisayar oyunlarındaki karakterlerin oluşturduğu kalabalık grubun hareketi benzer bir şekilde modellenmiş olur.

Takım olarak hareket eden yapay zekâlı karakterlerin bir takım kaptanını takip ederken aynı zamanda takımdan kopmadan ve diğer takım üyelerine çarpmadan hareket etmeleri gerekir. Karakterlerin birbirlerine olan mesafelerini sürekli olarak kontrol edecek ve herhangi bir karakterin takımdan aşırı derecede uzaklaştığını tespit ettiğinde onu takıma geri çeken bir algoritma geliştirilebilir. Bir cisim hareketinin son yönü v , aşağıdaki gibi akın hareketi algoritmasının kuralları uygulanarak bu kuralların sonuçlarının ağırlıklı toplamı olarak hesaplanır:

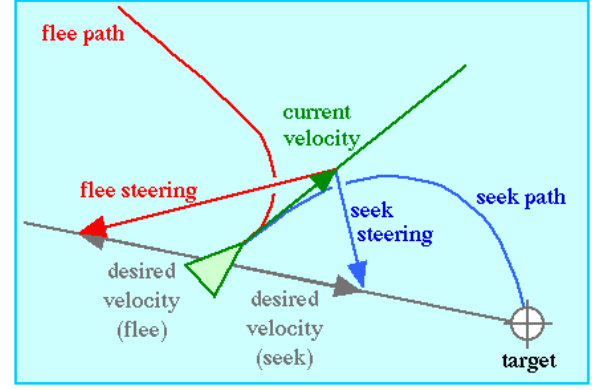
$$v = wref.vref + wcoh.vcoh + wsep.vsep \quad (2)$$

$vref$, hesaplanan sürü yolunun yönünü yansıtan referans vektördür. $vcoh = posavg - pozunit$, takım elemanlarının konumundan sürünün ortalama konumuna kadar olan vektördür. $vsep$, ayrılma vektörüdür. Karşılık gelen ağırlıklar $wref$, $wcoh$ ve $wsep$ olarak tanımlanmıştır. $|vsep|$, ayırma vektörünün uzunluğudur ve "Ayrılma Mesafesi" olarak bilinir [14].

Şekil 10'da görüldüğü gibi, Seek (aramak veya statik bir hedefin peşinden gitmek), karakteri küresel uzayda belirli bir konuma yönlendirmek için hareket eder ve hızı hedefe doğru radyal olarak hizalanacak şekilde ayarlar.

Şekil 10'da görülen kavramların açıklamaları:

- Flee path: Kaçış yolu.
- Flee steering: Kaçış manevrası.
- Current velocity: Mevcut hız vektörü.
- Desired velocity (flee): Kaçış durumundaki amaçlanan hız vektörü.
- Desired velocity (seek): Arama durumundaki amaçlanan hız vektörü.
- Seek path: Arama yolu.
- Seek steering: Arama manevrası.
- Target: Hedef.



Şekil 10. Takım üyesine etki eden sürü hareketi kuvveti
(Flocking force acting on team member) [15]

Karakterden hedefe doğru olan vektöre istenen hız denir. Belirli uygulamaya bağlı olarak "istenen hızın" uzunluğu max_speed veya karakterin mevcut hızı olabilir. Yönlendirme vektörü, bu istenen hız ile karakterin mevcut hızı arasındaki farktır.

$$desired_velocity = normalize(position - target).max_speed \quad (3)$$

$$steering = desired_velocity - velocity$$

Bir karakter aramaya devam ederse, sonunda hedefi geçecek ve sonra tekrar yaklaşmak için geri dönecek ve bir güvenin bir ampulün etrafında vızıldaması gibi hareket üretmeye devam edecektir. Kaçmak, basitçe aramanın tersidir ve karakteri yönlendirmek için hareket eder, böylece hızı hedeften radyal olarak hizalanır. İstenen hız zıt yönü işaret eder.

2.3. 3B Yüzey Analiz Haritası (3D Surface Analysis Map)

Yüzey analiz haritaları, Unity 3D oyun motorunda NavMesh (Navigation Mesh, Gezinme Ağı) adı verilen bir sistem ile oluşturulur. NavMesh, oyun içindeki nesnelere ve engellere yerleşimini analiz eder ve hareket alanlarını belirler. NavMesh, karakterlerin yol bulmasını sağlamak için bir grid (ızgara) grafik olarak görüntülenir ve oyun içinde kullanılır (Şekil 11).



Şekil 11. 3B yüzey analiz haritası
(3D surface analysis map)

Şekil 11'de görülen yüzey analiz haritası örneklerinde, mavi tonlar ile belirtilen alanlar 3D arazi üzerinde hareket edilebilecek alanları temsil etmektedir. A*

algoritmasının çalışması için gereken ızgara (grid) sistemi bu alanlar üzerindeki noktalar kullanılarak oluşturulmaktadır. A* algoritması ile ızgara üzerindeki

$$f(n) = g(n) + h(n) + m(n) \quad (5)$$

nokta (vertex) arası mesafelere göre yol bulma işlemi gerçekleştirilir.

2.4. 3B A* ve Akın Algoritmalarının Birlikte Kullanımı (Combining A* and Flocking Algorithms)

A* ve akın algoritmaları, farklı fiziksel ortamlar üzerinde konum belirleme amaçlı kullanılmaktadır. Kullanım amaçlarına göre farklılıkları aşağıdaki Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. A* ve Akın Algoritması Farklılıkları (A* and Flocking Algorithm Differences)

A*	Akın
Grafik tabanlı (düğümler ile)	Serbest biçimli (kayan koordinatlar ile)
Optimum yörünge	Fiziksel yörünge (hız, atalet)
Bireysel	Grup
Genel bilgi kullanımı	Yerel bilgi kullanımı

A* ve sürü algoritmasını birlikte kullanarak grup halinde bir noktadan başka bir noktaya ulaşma işlemi gerçekleştirmek için, bireyin (node, boid) aynı anda A* algoritması ile yol bulurken diğer bireyler ile ortak hareket etmesi gerekmektedir. Algoritmaların kullanımında uygulanan adımlar aşağıda listelenmiştir:

- Bir makro hedef ve bu hedefe giden küresel bir yol belirlenir.
- İstenen küresel yol boyunca hareket edilecek yönlendirme davranışı için yerel bir izleme hedefi belirlenir.
- Birey fiziksel dünyadaki davranışlarına göre (nokta arama ve çarpışma) hareket ettirilir.
- Bireyin mevcut konumunu temsili grafik düğümüne eşlenir.
- Birey önceki düğümünden ayrıldıysa, yolu yeniden hesaplanır ve en yakın bireye göre arama yapılır.

Grup hareketi ağırlığının hesaplanması ve kullanılması için aşağıdaki gibi bir örnek eşitlik geliştirebilir:

$$m(n) = w * (1 - d) \quad (4)$$

Burada; $m(n)$, grup hareketi ağırlığını temsil eder. Grup halindeki bireylerin birlikte hareket etme önceliğini veya etkisini gösterir.

w , bir ağırlık faktörüdür ve grup hareketine ne kadar önem verileceğini belirler. Bu faktörü isteğe bağlı olarak ayarlanabilir. d , bireyin diğer bireylerden olan uzaklığını

gösteren değerdir. Bu değer, bireyin etrafındaki diğer bireylerin yoğunluğunu temsil eder. Bu durumda geliştirilen yol bulma algoritmasının matematiksel formülü aşağıdaki gibi temsil edilebilir;

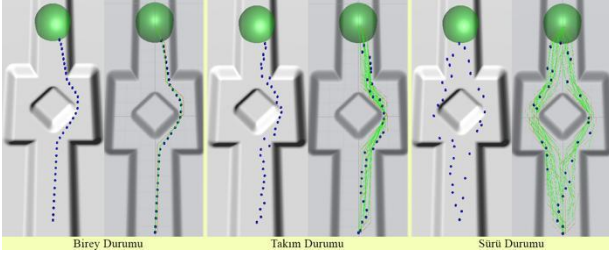
Geliştirilen yol bulma algoritmasının sözde kodu Algoritma 2'deki gibi temsil edilebilir;

Algoritma 2: Geliştirilen Yol Bulma Algoritması	
1	function findPath(startNode, goalNode, otherNodes, w)
2	let globalPath = AStar(startNode, goalNode);
3	let localTarget = getNextTarget(startNode, globalPath);
4	moveBoid(startNode, localTarget, otherNodes, w);
5	mapNodeToGraph(startNode);
6	if (hasLeftPreviousNode(startNode))
7	globalPath = AStar(startNode, findNearestBoid(startNode, otherNodes));
8	localTarget = getNextTarget(startNode, globalPath);
9	moveBoid(startNode, localTarget, otherNodes, w);
10	mapNodeToGraph(startNode);
11	function AStar(startNode, goalNode)
12	let fScore = gScore + hScore; // A* algoritması ile startNode'dan goalNode'a giden yol bulunur // ve bu yolun bir listesi olan path döndürülür.
13	function getNextTarget(currentNode, path)
14	let fScore = gScore + hScore; // İstenen küresel yol boyunca hareket edilecek yönlendirme davranışı için // currentNode'in konumuna göre path'teki bir sonraki hedef düğüm döndürülür.
15	function moveBoid(currentNode, targetNode, otherNodes, w)
16	let d = calculateDistance(currentNode, otherNodes); // Diğer bireylere olan uzaklık hesaplanır
17	let m = w * (1 - d); // Grup hareketi ağırlığı hesaplanır
18	let fScore = gScore + hScore + m; // Toplam maliyet hesaplanır // Bireyin fiziksel dünyada hareket etmesini sağlayan işlemler gerçekleştirilir, // grup hareketi ağırlığı kullanılır.
19	function mapNodeToGraph(node)
20	let fScore = gScore + hScore; // Bireyin mevcut konumunu temsili grafik düğümüne eşlemek için gerekli işlemler yapılır.
21	function hasLeftPreviousNode(node)
22	let fScore = gScore + hScore; // Bireyin önceki düğümünden ayrılıp ayrılmadığı kontrol edilir. // Örneğin, bir çarpışma sonucu birey yön değiştirdiyse true, aksi takdirde false döndürülür.
23	function findNearestBoid(currentNode, otherNodes)
24	let fScore = gScore + hScore; // currentNode'e en yakın bireyi diğer bireyler listesinden bulup döndürür.
25	function calculateDistance(currentNode, otherNodes)
26	let fScore = gScore + hScore; // currentNode ile diğer bireyler arasındaki uzaklığı hesaplar ve döndürür.

Bu güncellenmiş sözde kodda, w değeri grup hareketi ağırlık faktörünü temsil ederken, grup hareketi ağırlığını hesaplamak için d değeri kullanılır. m Değeri grup hareketi ağırlığını ifade eder ve $fScore$ hesaplamasına eklenir.

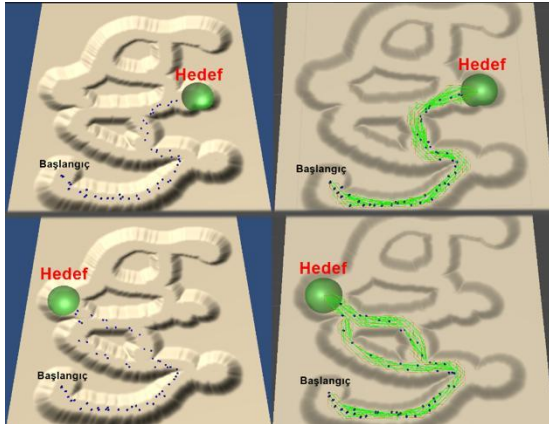
Bireylerin kalabalık gruplar halinde hareket etmesi durumunda yol üzerinde bazı sıkışma durumları gerçekleşebilmektedir. Sıkışma durumlarını engellemek için bireylerin birbirlerine olan mesafelerine kısıtlama getirilerek fazla yaklaşma durumlarında itici bir güç parametresi kullanılması gerekmektedir. Bireyler arası mesafe için kullanılan parametreye benzer olarak yürünemez bölgeler için de bir yaklaşma parametresi kullanılabilir.

Şekil 12’ de bireysel olarak hareket eden birey ile takım ve sürü halinde hareket eden bireylerin yol bulma çalışması örneği gösterilmektedir.



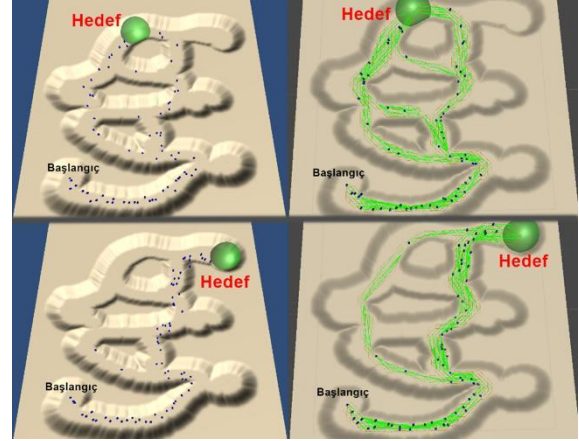
Şekil 12. A* ve sürü algoritmasının birlikte kullanımı
(Combined use of A* and flocking algorithm)

Bireylerin birbiri ile arasındaki mesafeye göre hareket ederken, engellere çarpmadan en kısa yoldan hedefe ulaşması için farklı ortamlarda hareket durumları test edilmiştir. Bireyin fiziksel özellikleri (ebat ve hareket hızı), ortamdaki pozisyonuna göre diğer bireylere göre seçtiği yolu değiştirebilmektedir. Bu şekilde her birey ortak bir hedefe giderken birebir aynı yolu kullanmak yerine farklı ama kendine göre en kısa ve hızlı yolu seçerek hareket edebilmektedir. Şekil 13’de bireylerin sürü halinde hareket ederken, yeşil çizgiler olarak belirtilen farklı yollar üzerinden istenen hedefe ulaştıkları gösterilmiştir.



Şekil 13. Sürü halinde hareket etme durumu
(The state of moving in a flock)

Bireylerin yol üzerinde karşılaştıkları engellerin etrafından dolaşarak istenen hedefe farklı yollardan ulaşabildikleri ve trafik oluşturmada karmaşık yollardan geçmeleri durumu Şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14. Sürü halinde karmaşık yol durumu
(Complex road situation in flock)

2.5. A* ve Akın Algoritması ile Takım Oyunu (Team Play with A* and Flocking Algorithm)

Takım olarak hareket eden yapay zekalı karakterlerin bir takım kaptanını takip ederken aynı zamanda takımdan kopmadan ve diğer takım üyelerine çarpmadan hareket etmeleri için birkaç farklı yöntem bir arada kullanılmaktadır. Öncelikle, A* algoritmasını kullanarak hedef noktasına ulaşan takım kaptanının diğer takım üyeleri tarafından takip edilmesini sağlayan bir yönlendirme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma, karakterlerin yönünü takım kaptanının yönüne göre ayarlayarak onları takip etmeye zorlar. Daha sonra, takımdan kopmadan hareket etmelerini sağlamak için bir takım bütünlüğü algoritması geliştirilmiştir. Akın hareketi kurallarına göre geliştirilen bu algoritma, karakterlerin birbirlerine olan mesafelerini sürekli olarak kontrol eder ve herhangi bir karakterin takımdan aşırı derecede uzaklaştığını tespit ettiğinde onu takıma geri çekmeye çalışır. Son olarak, karakterlerin diğer takım üyelerine çarpmadan hareket etmelerini sağlamak için bir çarpışma önleme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma, karakterlerin birbirleriyle olan mesafelerini sürekli olarak kontrol eder ve birbirlerine çok yaklaştıklarını tespit ettiğinde takım üyelerinin yönlerini değiştirerek çarpışmalarını önler [16].

Düşman takımının hareket etme sistemi, belirli bir takım lideri tarafından belirlenir. Her birey, karşı takımın askerlerini sürekli olarak arar ve bir karşı askeri bulduğunda, ateş etme menziline girene kadar yaklaşır ve atışa başlar. Düşman takımının ateş etme önceliği, oyunu oynayan kullanıcının kontrol ettiği karakterdir. Eğer kullanıcının kontrol ettiği karakter bulunmuyorsa, diğer takım üyelerine ateş edilir.

Tablo 2'de iki takım arasındaki mücadele sırasında kullanılan yapay zekâ sisteminin dinamikleri ve uygulama aşamaları yer almaktadır.

Tablo 2. Sistem Dinamikleri ve Aşamaları
(System Dynamics and Stages)

Dinamik Türü	Açıklaması
EnemyRespawn_team	Takım arkadaşı oluşturulması
EnemyRespawn_enemy	Düşman kuvveti oluşturulması
AIFollowUSE	Takım liderinin takip edilmesi
Seeker	Yüzey analiz haritasının çıkarılması
AstarPath	Eğim ve engellere göre yol bulunması
FunnelModifier	Bulunan yolun parabolik hale getirilmesi
SimpleSmooth	Bulunan yolun yumuşatılması

İki farklı zekâ seviyesine sahip yapay zekâ karakter takımı savaş ortamında karşılaşırlarsa, daha yüksek zekâ seviyesine sahip olan takım daha etkili ve uygun stratejiler geliştirerek daha az kayıp verirken, daha düşük zekâ seviyesine sahip olan takım daha az etkili stratejilerle daha fazla kayıp verir. Aynı zamanda daha yüksek zekâ seviyesine sahip olan takım diğer takımın hamlelerini daha kolay analiz ederek karşı hamleler geliştirebilir.

Bayrak kapma oyunun, yapay zekâ karakterleri işaretlenmiş bölgeleri ele geçirmek için, taktikler geliştirebilir ve diğer takımla mücadele etmek için çeşitli oyun mekaniklerini kullanabilirler. Örneğin:

- Karakterler, bölgenin çevresindeki bariyerleri kullanarak saldırıya karşı korunma sağlayabilir.
- Karakterler, öncü bir takım oluşturarak bölgenin önünde hareket edebilir.
- Karakterler, bölgenin çevresindeki diğer bölgelerin kontrolünü elde etmek için taktikler geliştirebilir.
- Karakterler, diğer oyuncularla birlikte bölge içindeki diğer oyunculardan ve oyun mekaniklerinden gelen bilgileri analiz edip hızlı bir şekilde kararlar alarak oyunun dinamiklerini değiştirebilir.
- Karakterler, bölgenin çevresindeki diğer oyuncularla iş birliği yaparak saldırıya karşı korunma sağlayabilir.

Bayrak kapma oyunu ortamı için belirlenen zekâ seviyelerine göre karakterlerin özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir [17]. Takımlar harita üzerinde belirlenen bölgeleri ele geçirmeye çalışmaktadırlar. Yapay zekâ karakterler, bölge ele geçirme mücadelesi sırasında oyun haritası ortamı ve yaşanan durumlara göre farklı hareket ederek galip gelmeye çalışır.

Tablo 3. Karakter Yapay Zekâ Özellikleri
(Character AI Traits)

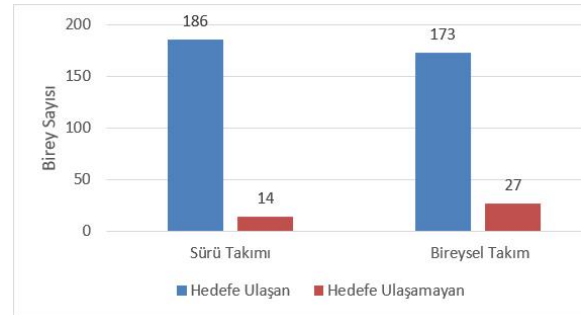
Karakter Türü	Açıklaması
OpportunisticBot (fırsatçı bot)	Karakter sürekli bölgeleri gezer. Karşı takıma ait olan bölgeye saldırır.
PossesiveBot (sahip çıkan bot)	Karakter tek bir bölgeye gider ve o bölgeyi ele geçirip savunur.
GreedyBot (aç gözlü bot)	Kaybedilen bölgeyi tekrar ele geçirmeye çalışır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH FINDINGS)

Bu bölümde çalışma sırasında geliştirilen uygulamadan elde edilen araştırma bulguları sunulmuştur.

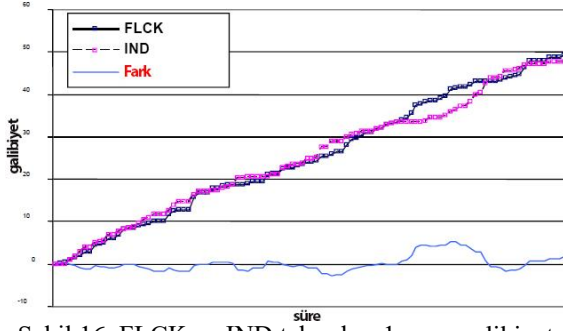
3.1. Bireysel ve Akın Takımlarının Yol Bulma Karşılaştırmaları (Pathfinding Comparisons of Individual and Flock Teams)

Bireysel ve akın halinde hareket eden takımlar olarak ikiye ayrılan takımların, 100 saniye içinde 200 adet bireyden hedefe ulaşan birey adeti karşılaştırmaları yapılmıştır. Şekil 17'de görüldüğü gibi, sürü halinde hareket eden bireyler daha yüksek oranda hedefe ulaşmıştır. Hareket edilen yol karmaşıklıklaştıkça sürü halinde hareket eden bireylerin başarı oranı artmaktadır.



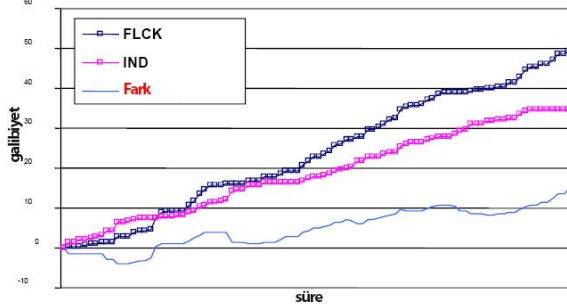
Şekil 15. Bireysel ve sürü takımlarının hedefe ulaşma durumu
(Achievement of individual and flock teams)

Şekil 18'de görülen sonuçlara göre "IND" isimli karakter takımı ile "FLCK" isimli rakip takımın her ikisi de ilk maçta bireysel olarak hedefine ulaşmaya çalışırken, kazanma oranları arasındaki fark azdır. İlk maçta her iki takım karakterleri için aynı özelliklere sahip kural tabanlı yapay zekâ sistemi kullanılmıştır. Dijkstra algoritması ile yol bulan karakterler, takım halinde hareket etmek için sadece takım liderini takip etmişlerdir.



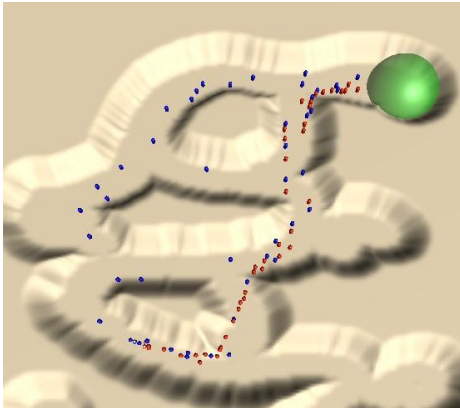
Şekil 16. FLCK ve IND takımları 1. maç galibiyet grafiği
(Game 1 win chart of FLCK and IND teams)

İlk maç sonucunda, iki takımın da dengeli bir karşılaşma sonucu benzer bir başarı oranı elde ettiği görülmüştür. İkinci maçta ise "FLCK" takımı için, A* yol bulma algoritmasını kullanan ve sürü halinde hareket eden daha gelişmiş yapay zekâ sistemi kullanılmıştır. İlk maçta görülen karakter davranışlarının ve kullanılan yolların dışında hareket eden "FLCK" takımı, daha başarılı bir sonuç elde etmiştir.



Şekil 17. FLCK ve IND takımları 2. maç galibiyet grafiği
(Game 2 win chart of FLCK and IND teams)

"FLCK" takımı, ikinci maçın başladığı andan itibaren, rakip takımın davranışlarından farklı olarak haritaya daha farklı bölgelerden yayılmış ve hedefe ulaşmada daha başarılı olmuştur. Şekil 20'de mavi renk ile simgelenen "FLCK" takımı bireyleri ile kırmızı renk ile simgelenen "IND" takımı bireylerinin harita üzerindeki yayılmaları gösterilmektedir.



Şekil 18. FLCK ve IND takımları harita yayılımı
(FLCK and IND teams map spread)

A* ve akın hareketi algoritmalarını bir arada kullanmak, takım halinde hareket eden oyun karakterleri için oldukça gerçekçi ve inandırıcı bir hareket sağlayabilmiştir. A* algoritması bir hedefe giden en uygun yolu bulmak için kullanılabilirken, akın hareketi algoritması hareket sırasında grup davranışını ve oluşumunu kontrol etmek için kullanılmıştır.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR (DISCUSSION and CONCLUSIONS)

Takım halinde hareket eden oyun karakterleri için yapay zekâ sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde kullanıcı, takım lideri olarak kabul edilir ve rakip takım ile savaşmak için kullanılır. A* algoritması, takım içinde haberleşebilen karakterlerin yol bulma becerilerini optimize etmek için kullanılmıştır. Bu sayede, oyun karakterleri daha etkili bir şekilde hareket edebilir ve rakip takım karşısında daha etkili bir şekilde savaşabilir.

A* algoritması, Dijkstra ve Best-First Search algoritmalarına kıyasla zaman ve maliyet açısından daha etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu sonuç, işlemci yükünü azaltarak hızlı ve sağlıklı çözümler sağlanmasından kaynaklanmaktadır. Bu algoritmanın zamanlama sonuçları, oyun içi rakip takımların karşılaşması ve savaşması durumunda gerçekleşen bekleme ve saldırma gibi olaylar için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, A* algoritmasının kullanılmasının olayların çok daha kısa ve etkili bir şekilde gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.

Birçok senaryoda, takım halinde hedeflere ulaşmanın önemli bir bileşeni olan yol bulma için A* ve akın hareketi algoritmalarının kombinasyonunun kullanılması, daha gelişmiş bir yapay zekâ sistemi elde edilmesini sağlamaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarımızda, standart yol bulma algoritmalarını kullanan ve bireysel hareket eden karakterlere sahip olan bir takım ile A* algoritması ve akın algoritmasını bir arada kullanan bir takımın bayrak kapma oyun tipindeki mücadelesi gözlemlenmiştir. Sonuçlar, A* ve akın algoritmalarını kullanan takımın daha başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermektedir.

Yapay zekâ karakterlerin daha gerçekçi hareket etmesi için farklı alanlarda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle, takım halinde ortak bir hedefe ulaşabilen karakterlerin yapay zekâ sistemi ne kadar iyi olursa, oyun içi kullanıcı deneyimi o kadar iyi olacaktır. Buradan hareketle gelişmiş takım tabanlı algoritma sistemleri üzerinde çalışarak, yeni nesil yol bulma ve sürü hareketi sistemleri geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kocabaş, Ş. ve Öztemel, E., “AISim: An Intelligent Agent for Distributed Interactive Simulation”. *Seventh Computer Generated Forces and Behavioral Representation*, 12-15 May 1998, Orlando, Florida, USA.
- [2] Kent, S., “The Ultimate History of Video Games”, *Prima Publishing*, USA, 608p., 2001.
- [3] Foeada, D., vd., “A Systematic Literature Review of A* Pathfinding”, *Procedia Computer Sciences*, c. 179, ss. 507-514, Oca. 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.034.
- [4] Patel, A., “Heuristics” “<http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/AStarComparison.html>”, Erişim Tarihi:10.05.2021.
- [5] Patel, A., “Heuristics” “<http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/Heuristics.html>”, Erişim Tarihi:10.05.2021.
- [6] Delling, D., Sanders, P., Schultes, D., ve Wagner, D., “Engineering Route Planning Algorithms”, *Algorithmics of Large and Complex Networks - Design, Analysis and Simulation*, 2009, ss. 117–139, doi: 10.1007/978-3-642-02094-0_7.
- [7] Zafar, Z., ve Kant, K., “Novel Optimization using Hierarchical Path Finding A* (HPA*) Algorithm for Strategic Gaming Setup”, *International Journal of Engineering & Technology*, c. 7, ss. 54-57, Mar. 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i2.6.10067.
- [8] Gunda, R., A* Search Algorithm. “<https://ramahanishagunda.medium.com/a-search-algorithm-8233683e5d60>”, Erişim Tarihi: 28.05.2021.
- [9] Rafiq, A., Kadir, T., ve Normaziah, I., “Pathfinding Algorithms in Game Development”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, ss. 769, Oca. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/769/1/012021.
- [10] Jiang, Wenrong., “Analysis of Iterative Deepening A* Algorithm”, *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 2021, Vol. 693, Iss. 1, doi: 10.1088/1755-1315/693/1/012028.
- [11] Lovinger, Justin and Xiaoqin Zhang. “Enhanced Simplified Memory-bounded A Star (SMA*+).” *GCAI* (2017).
- [12] Rodler, P., “RBF-HS: Recursive Best-First Hitting Set Search”, *Artificial Intelligence, Elsevier*, 2022, doi: 10.48550/arXiv.2010.04282.
- [13] Reynolds, C., Boids. “<http://www.red3d.com/cwr/boids/>”, Erişim Tarihi: 08.06.2021.
- [14] H. Fathy, O. A. Raouf ve H. Abdelkader, “Flocking Behaviour of Group Movement in Real Strategy Games”, **9th International Conference on Informatics and Systems**, ss. PDC-64-PDC-67, 2014, doi: 10.1109/INFOS.2014.7036679.
- [15] Reynolds, C., Steering Behaviors For Autonomous Characters. “<http://www.red3d.com/cwr/steer/gdc99/>”, Erişim Tarihi: 12.11.2022.
- [16] D. Sigurdson, V. Bulitko, W. Yeoh, C. Hernández ve S. Koenig, “Multi-Agent Pathfinding with Real-Time Heuristic Search”, **IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)**, 2018, ss. 1-8, doi: 10.1109/CIG.2018.8490436.
- [17] Lee-Urban S., Vasta, M., Munoz-Avila, H., “RETALIATE: Learning Winning Policies in First-Person Shooter Games”, *Proceedings of the Twenty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Tem. 2007.

Resampling and Ensemble Strategies for Churn Prediction

Araştırma Makalesi/Research Article

 Serra Çelik^{1*},  Seda Tolun Tayalı²

¹Department of Informatics, Istanbul University, Istanbul, Türkiye

²Department of Quantitative Methods, School of Business, Istanbul University, Istanbul, Türkiye

serra.celik@istanbul.edu.tr, stolun@istanbul.edu.tr

(Geliş/Received: 16.06.2023; Kabul/Accepted: 28.08.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1314870

Abstract— Churn analysis is a customer relationship management analytics that companies implement to predict the customers who are likely to terminate doing business with them. The success of marketing efforts to retain the existing customers is possible only if probable churners are correctly specified beforehand. Therefore, having powerful models with high prediction capabilities that lead to a profit growth is crucial. The imbalanced nature of churn datasets negatively effects the classification performance of machine learning methods. This study examines resampling –over- and under-sampling- and ensemble learning –bagging, boosting, and stacking– strategies integrated with the cross-validation procedure on imbalanced churn prediction. The experimental results, which are compared to the results of Support Vector Machines taken as the benchmark, show that ensemble methods improve the prediction performances. Also, applying over-sampling achieves a noticeable performance in comparison with the under-sampling approach.

Keywords— churn prediction; class imbalance; resampling; support vector machines; evaluation metrics; ensemble learning

Müşteri Kaybı Tahmini için Yeniden Örnekleme ve Topluluk Yöntemleri

Özet— Müşteri kayıp analizi; şirketlerin, kendileriyle çalışmayı sonlandırması muhtemel müşterileri tahmin etmek için kullandığı bir müşteri ilişkileri yönetimi analitiğidir. Mevcut müşterileri elde tutmaya yönelik pazarlama çalışmalarının başarısı, ancak olası müşteri kayıplarının önceden doğru bir şekilde belirlenmesiyle mümkündür. Bu nedenle kâr artışına yol açacak, yüksek tahmin kabiliyetli, güçlü modellere sahip olmak çok önemlidir. Kayıp analizi için kullanılan veri kümelerinin dengesiz doğası, makine öğrenimi yöntemlerinin sınıflandırma performansını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışma, dengesiz kayıp tahmini üzerinde çapraz doğrulamanın prosedürüyle entegre edilmiş yeniden örnekleme - aşırı ve az örnekleme - ve topluluk öğrenme - bagging, boosting, ve stacking - stratejilerini incelemektedir. Referans noktası olarak alınan Destek Vektör Makinelerinin sonuçlarıyla karşılaştırılan deneysel sonuçlar, topluluk yöntemlerinin tahmin performanslarını iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca aşırı örneklemenin uygulanması, az örnekleme yaklaşımına kıyasla fark edilebilir bir performans artışı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler— kayıp tahmini, sınıf dengesizliği, yeniden örnekleme, destek vektör makineleri, değerlendirme metrikleri, topluluk öğrenme

1. INTRODUCTION

Building and maintaining successful relationships with customers is an inevitable necessity to survive in today's competitive and demanding markets. The purpose of customer relationship management (CRM) is to understand customer behaviors and develop a sustainable communication with them through a personalized approach to prevent customer churn [1]. Therefore, the analytical aspect of CRM, which focuses on analyzing customer and market data, hugely benefits from data analytics by deploying the obtained analysis results to have an increased effectiveness of marketing efforts.

Customer churn, also known as customer attrition, is defined as the likelihood that a customer terminates doing business with a company [2]. It is a financially expensive problem for businesses since gaining new customers is known to be much more expensive than keeping the current ones with regards to the cost of marketing efforts. Also, the existing customers are more open to communication and spend more than the new ones. As a result, "increasing customer retention rates by 5% increases profits by 25% to 95%" [3].

Telecommunication sector is a prevalent domain for customer churn analysis. Customers switching between operators, who are by definition churners, are quite common in the sector. The annual churn rate is around 30% in average and acquiring new customers is at least 5 times more expensive than keeping the existing ones [4]. Therefore, losing a high number of customers results in high losses for the telecom companies because of the lost acquisitions as well as of certain CRM efforts such as reducing the prices to keep the highly potential churners in the company portfolio. This makes the minimization of the churn rate crucial for the telecom companies, and consequently successful churn analysis becomes an important tool.

Churn analysis is handled by data analytics approaches, especially by using predictive analytics via machine learning algorithms. However, the problem –as in other CRM cases such as fraud detection, response modeling, and credit evaluation– inherits imbalance data classes which is a factor that negatively effects the classification performance of models and turns customer classification into a more challenging task.

This study tackles the class imbalance problem both with a data-level approach of resampling and an algorithm-level approach of ensemble learning. The prediction performances of the applied methods are evaluated on an imbalanced churn dataset in the telecom sector. The study differentiates from the existing literature by providing a more comprehensive comparison of techniques as well as their hybrids. To the authors' knowledge, there is no prior research on churn prediction that provides the hybridization of the stacking ensemble with both under- and over-sampling techniques. The other point that is

missing in the churn prediction literature is how to apply resampling techniques with cross-validation. Studies in the domain either do not mention about this at all or state that they are applying cross-validation after resampling, which may cause achieving overly optimistic results. This study implements the correct integration of resampling and cross-validation to its empirical design. The prediction performances of the applied methods are compared with the benchmark results of Support Vector Machines (SVM) that is known to have high performance in binary classification problems.

Comparative analyses are carried out in order to answer the following questions within the scope of the research context:

Research Question 1 (RQ1): Do resampling methods affect the prediction performance of SVM?

Research Question 2 (RQ2): Do ensemble strategies increase the prediction performance for imbalanced telecom churn problem? Which ensemble yields the best results?

Research Question 3 (RQ3): Does the combination of resampling and ensemble strategies increase the prediction performance for the imbalanced telecom churn problem?

Research Question 4 (RQ4): Do the selected performance metrics give compatible results? Are they all appropriate measures for evaluating the imbalanced customer churn prediction?

The remainder of this paper is as follows: Section 2 gives a summary of prior research on imbalanced datasets in a churn setting. Section 3 explains the methods used and Section 4 explains the experimental framework of the study. Section 5 presents and discusses the empirical findings and Section 6 concludes with remarks and future research directions.

2. PREVIOUS WORK ON IMBALANCED CHURN PROBLEM

There is a substantial discrepancy in the sample size of each target class in a typical churn dataset, which is known as the class or data imbalance problem. Kwon and Sim [5] specify the class imbalance as one of the data set characteristics that has a negative effect on the performance of classification algorithms. There are two main approaches –data-level (external) and algorithm-level (internal) – to handle this problem. The algorithm-level approach involves modifications of the existing classifiers to favor the learning from the minority class, whereas the data-level approach is independent of classifiers and resizes the training data to decrease the imbalance ratio for to diminish the effects caused by the skewed class distribution [6].

Resampling is a pre-processing technique suggested as a data-level approach for obtaining more balanced classes. Qureshi et al. [7] use both random under- and over-sampling and keep the imbalance ratio to a certain level

prior to applying classification algorithms. Amin et al. [8] focus on over-sampling techniques and compare their effects on the classification performance of algorithms based on the rough set theory. There are studies [9], [10] that implement more sophisticated sampling methods as well as studies [11], [12] that investigate the combination of over-sampling and under-sampling techniques to compensate the drawbacks of each technique. Li et al. [13] propose one-sided sampling to balance massive churn datasets once the dataset is split into clusters by the k-means algorithm. Two cluster-based under-sampling methods are applied in [14] with Support Vector Machines and their performance for a telecom churn dataset is found adequate. Verbeke et al. [15] examine the effect of over-sampling on the performance of a telecom customer churn prediction model and conclude that the dataset structure and the classification technique can completely change the results as Haixiang et al. [16] also emphasize.

The literature on churn prediction is more focused on the algorithm-level approach, which includes the modifications of traditional classifiers that are especially developed for learning from imbalanced datasets [17], [18]. Several studies on the domain try to understand the algorithm-level effect of methods such as one-class learning [19], and cost-sensitive learning [20].

Ensemble classifiers are solution methods that can be sub-categorized under the algorithm-level approach [21], [22]. Bagging and random forests are the most popular ensembles used in churn prediction. The literature on imbalanced churn prediction that use the ensembles favors random forests as well as its modified versions [23] and states that the ensemble improves the prediction accuracy. Boosting algorithms found applications in churn prediction [24], [25]. There are studies that propose new solution approaches combining ensemble methods with cost-sensitive learning [26] and transfer learning [27] for imbalanced churn prediction and declare the results as prominent.

With the ensemble methods showing their strength in improving the classification performances, researchers also investigated the combinations of ensemble learning methods –especially bagging and random forests– with resampling methods to tackle the imbalance churn problem. The findings in [28], [29] show that random over-sampling combined with random forests yields better results than resampling with random under-sampling and SMOTE. On the other hand, Zhu et al. [30] state that bagging and random forests achieve the most promising results with respect to the profit-based measure when there is no resampling involved. The authors in [31] claim that the combination of simple under-sampling and SMOTE with cost-sensitive version of random forests give better performance than random forests.

Burez and Van del Poel [32] compared the performance of under-sampling, gradient boosting machine, and weighted random forests, whereas Liu et al. [33] made a similar comparison between under-sampling, weighted random

forests, and RUSBoost. Both studies concluded that under-sampling performs better in terms of accuracy. The literature on investigating the effects of stacking as an ensemble in churn prediction is scarce. Ahmed et al. [34] suggest to use hybrid models of boosted-stacked and bagged-stacked classification. Authors investigate the optimal number of base learners in a stacking ensemble through implementing all combinations of selected classifiers in stacking and comparing the performances. Amin et al. [35] follow a just-in-time perspective and apply stacking, using SVM as the base classifier, on the training set of a cross-company and test it on the company dataset.

This study examines the main strategies of ensemble learning –bagging, boosting, and stacking–, resampling methods and their combinations to see whether they affect the performance of imbalanced churn prediction. While testing the performances of these methods, the methodological framework of using resampling techniques with cross-validation is another focal point.

3.IMBALANCED CHURN DATA CLASSIFICATION

Classification is a supervised learning task, and customer churn analysis can be modeled as a binary classification problem. Let's define a training dataset as;

$$L = \{(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n\}. \quad (1)$$

where n refers to the number of customers and the vector $x_i \in \mathbb{R}^d$ represents the values the i th customer takes with respect to the attributes denoting the characteristics of customers. y_i is the target vector and $y_i \in \{-1, 1\}$ for a binary classification case, where -1 refers to a non-churner and 1 refers to a churner. The general assumption is that the data are independent and identically distributed (iid) realizations of a sample randomly drawn from a population (X, Y) . Therefore, the objective is to build a learning model, a function $\hat{f}: x \mapsto \hat{f}(x) \in \{-1, 1\}$, and use this model to predict the class label for the previously unseen (test) data.

Class imbalance is a skewed distribution problem of classes inherent in churn datasets. Let p be the minority class referring to churners and q be the majority class referring to non-churners. $p = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ and $q = \{y_1, y_2, \dots, y_q\}$, where P and Q refer to the number of samples in the minority and majority class, respectively. The imbalance ratio (IR), $IR = Q/P$, is greater than 1 in telecom churn datasets since the number of non-churners are more than churners [13]. The imbalanced structure of a dataset either distorts the performance of classification or causes overfitting and gives fallacious high accuracies. Hence, the skewly distributed target values turn classification into a challenging task. This study focuses on resampling methods as a data-level strategy, and ensemble learning methods as an algorithm-level strategy to tackle the imbalance problem.

3.1. Resampling methods

A dataset with balanced classes has a better chance of being classified accurately and outputting a high prediction rate without facing an overfitting issue. This study pursues resampling as a data-level approach to tackle the class imbalance problem and examines the effects of the following techniques.

Random Over-Sampling (ROS): ROS balances the representation of classes in the training set by randomly duplicating the observations in p . The regenerations in ROS can cause overfitting. [36]

Synthetic Minority Over-Sampling Technique (SMOTE): SMOTE searches k nearest neighbors for each observation x_i in class p and generates synthetic samples based on the linear interpolations between each x_i in p and their selected nearest neighbors[37].

$$x_{synthetic} = x_i + (x' - x_i) * \delta \quad (2)$$

where x' is the randomly selected neighbor, and $\delta \in [0,1]$ is a random number. The parameter k that is based on the over-sampling size, determines the number of samples to be generated for a minority sample.

Random under-sampling (RUS): RUS randomly eliminates the observations in q so that the representation of classes in the training set is balanced.

Clustering Based Under-Sampling (CLUSBUS): After splitting the dataset into training and test sets in accordance with the distribution of classes, the training set is divided into homogenous groups via clustering. Each cluster has data that belongs to both the majority and the minority class. The number of samples from the majority class ($SSize_{MA}^i$) are randomly selected from each cluster based on (1) and combined with the minority class units. Thus, a new training set is constructed [38].

$$SSize_{MA}^i = (m \times Size_{MI}) \times \frac{Size_{MA}^i / Size_{MI}^i}{\sum_{i=1}^k Size_{MA}^i / Size_{MI}^i} \quad (3)$$

$Size_{MI}^i$ refers to the sample size of the minority class in the i th cluster. m stands for the ratio of majority class ($Size_{MA}$) over minority class ($Size_{MI}$) in the training set and $m \geq 1$. This study uses Partitioning Around Medoids (PAM) as the clustering algorithm because of the mixed structure of the dataset attributes.

3.2. Ensemble Learning

Ensemble learning is a combination of base or weak supervised learning algorithms to form a stronger classification. This study investigates the three main ensemble learning –bagging, boosting, stacking– in churn classification along with their combinations with resampling methods.

Let $\hat{\varphi}_n(x)$ be a predictor from a classification model fitted to the learning random sample defined in (1).

3.2.1. Bagging

Bagging starts with drawing bootstrap samples $\{L^{(b)}\}$, where $b = 1, 2, \dots, B$ –subsets of the same size (n) as L are randomly drawn with replacement– from L . The next step is to form a learning model $\varphi_n(x) = \{\varphi(x, L^{(b)})\}$ for each $\{L^{(b)}\}$ that predicts their class labels. The bagging predictor $\hat{\varphi}_{n,B}(x)$ is then formed by aggregating the results of all $\varphi_n(x)$'s as in (4) [39].

$$\hat{\varphi}_{n,B}(x) = \text{MajorityVote}\{\varphi_n(x)\}_{b=1}^B \quad (4)$$

Bagging is a variance reduction technique for unstable machine learning procedures that are highly variant such as the tree-based algorithms due to their sensitivity to the training data. This study uses bagged CART and random forests that are both decision-tree based procedures.

Bagged CART: Bagged CART follows the bagging procedure by selecting bootstrap samples from L and creating a learning model using CART that uses a greedy algorithm to choose the feature to split on [40].

Random Forests (RF): A random forest extends the idea of bagging by realizing the splits through randomly selecting a subsample of features with replacement and choose the best split from among those features instead of choosing the best split among all predictors as is the case in bagging.

3.2.2. Boosting

The idea behind boosting is to use weak learners, whose performance is at least slightly better than random chance, several times to get a stronger learner [41]. As opposed to bagging, classifiers are created sequentially (iteratively) in boosting [42]. It starts by assigning equal weights to all examples $\alpha_i^1 = 1/n$. At each iteration b , with $b \in \{1, 2, \dots, B\}$ the weak classifier $\hat{\varphi}_{n,b+1}(x)$ updates the weights $\{\alpha_{b+1}\}_{i=1}^n$ from $\{\alpha_b\}_{i=1}^n$ by giving more concentration to the examples that are unfitted by the previous classifier $\hat{\varphi}_{n,b}(x)$. It assigns more weights to the erroneous classifications while decreasing the weights of those that are correctly classified by $\hat{\varphi}_{n,b}(x)$.

The predictions of the binary classification are then a weighted linear combination of the selected binary classifiers, $\varphi_1(x), \dots, \varphi_B(x)$;

$$\hat{\varphi}_{n,B}(x) = \text{sign}(\sum_{b=1}^B \alpha_b \varphi_b(x)) \quad (5)$$

where $\alpha \in \mathbb{R}: (0, 1]$ refers to the assigned weights. The sign function is 1 when the argument is non-negative, and -1 otherwise.

C5.0: The algorithm is a tree-based classifier and the successor of *C4.5* [43] with the boosting property. The *C5.0* classifier splits on the feature that has the maximum information gain based on the entropy measure calculated as $-\sum_{i=1}^n p_i \log p_i$, where p_i denotes the probability of a given class as the outcome for each of the classes for y . The information gain of attribute A on L is defined as the difference between the empirical entropy of set L and the empirical conditional entropy of L under the given condition A : $IG(L, A) = \hat{\phi}(L) - \hat{\phi}(L|A)$. The algorithm assigns considerable weights to the misclassified instances at each iteration, while decreasing the assigned weights of correctly classified instances in a slower rate. The final prediction is a simple average of class probabilities generated from each tree.

Stochastic Gradient Boosting (SGB): SGB is a regularized boosting algorithm through the learning rate $v \in [0,1]$, in addition to preserving the advantages of bagging. At each iteration, a decision tree as the base learner is built using the random subset $\{x_{\pi(i)}, y_{\pi(i)}\}_i^{\tilde{n}}$, where $\{\pi(i)\}_i^{\tilde{n}}$ is a random permutation of the possible values of $i \in \mathbb{Z}$ and $\tilde{n} < n$. Classification trees are constructed sequentially from the gradient of the loss function, instead of misclassification rates, of the previous tree [44].

3.2.3. Stacking

Stacking involves a two-level learning structure. When cross-validation is incorporated to this structure, the training dataset L as defined in (1) is split into K equal folds L_1, L_2, \dots, L_K , where $k = 1, 2, \dots, K$. L_k refers to the validation set and the remaining folds $(L - L_k)$ shown as $L^{(-k)}$ refer to the training set.

In the first level (Level-0), the selected classifiers –called as the base or weak classifiers– are individually trained using the training set and have predictions for the validation set. Given that $c = 1, 2, \dots, C$ denoting the selected classifiers, the c th classifier is trained on $L^{(-k)}$ to build a model $M_c^{(-k)}$ that is used to predict the output value y_i for all x_i in L_k . This process runs K times so that each fold is considered as a validation set and a prediction value is obtained for all x_i in L . The predictions for the c th classifier compose a vector $(z_1, z_2, \dots, z_n)^T$. This procedure is applied to all base classifiers and we achieve a matrix \mathbf{Z} of $n \times C$, where each column corresponds to a base classifier's prediction of Level-0. In the second-level (Level-1), a learning algorithm –called as the meta-classifier– builds a model \tilde{M} that imputes the predictions obtained from Level-0 $(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iC})$ as the input of the new training set of Level-1 and maps them to the original class label y_i . [45]

This study includes SVM, bagged CART, RF, *C5.0*, and SGB for the Level-0 trials of stacking and all algorithms act as a meta-classifier for Level-1 of different experiments

3.3. Support vector machines as a benchmark

Support vector machines (SVM) is a powerful nonparametric supervised learning method based on structural risk minimization [28] and is proven to show good performance especially for binary classification tasks. SVM searches for the optimal separating hyperplane, which is usually a nonlinear decision function $f(x) = (w^T \phi(x) + b)$, where $\phi(x)$ is a nonlinear transform function. The margin between two hyperplanes is calculated as $\|2/w\|$, therefore the solution to the minimization problem in (6) finds the optimal separating hyperplane with the maximum margin leading to a good generalization performance.

$$\hat{\phi}_{n,B}(x) = \text{sign}(\sum_{b=1}^B \alpha_b \phi_b(x)) \quad (6)$$

$$\text{subject to } y_i(w^T \phi(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i$$

where $C > 0$ is a regularization parameter called as the penalty term and $\xi_i \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, l$) are the slack parameters.

To solve the minimization problem in (6), w can be written in terms of a linear combination of $\phi(x_i)$ such that $w = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i \phi(x_i)$. Kernel functions allow the calculation of dot products in a high dimensional feature space $K(x_i, x) = \phi(x_i) \cdot \phi(x)$ and $\phi: X \subset \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^r$ is a transformation that maps x_i to the attribute space, not explicitly to the input space. Hence, the solution is calculated by the decision function $f(x) = \sum_i \alpha_i K(x_j, x) + b$. The maximization problem in (7) solves for $\alpha_i \geq 0$.

$$\max \sum_{i=1}^l \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \quad (7)$$

$$\text{subject to } 0 \leq \alpha_i \leq C \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0$$

The solution to this problem is $f(x) = \sum_j \alpha_j y_j (x_j \cdot x) + b$, where x_j 's are the support vectors. Motivated by the findings in [46] this study applies SVM with the RBF kernel function (8) as the benchmark classifier, where x_i and x_j refer to n -dimensional inputs, and σ is the shape parameter.

(RBF) kernel:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

3.4. Evaluation metrics for imbalanced data classification

Evaluation metrics are used to compare different experimental results as well as to quantify the performance of a classifier in machine learning. The choice of the evaluation metric can completely change the results of the analyses and accordingly the conclusion driven, since each metric has a different assumption of what matters the most about the problem at hand. Accuracy is a commonly used metric that calculates the correctly classification rate of an algorithm but can be misleading for imbalanced datasets since it only considers the overall prediction rate. The metric can yield high values by favoring the majority class for highly skewed class distributions which is the case in the telecom churn practices.

Evaluation results of classifier performances can vary with regards to different metrics for imbalanced classes, yet there is no commonly held metric. The decision of selecting the appropriate model and of evaluating classifiers for imbalanced churn problems should not be based on one metric but a combination of them. This study uses the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve, which depicts the true positive rate as a function of the false negative rate for all possible prediction thresholds, as the evaluation metric when training the classifiers. In addition, the metrics in (9) to (11) are used to evaluate the prediction results. The calculation of the selected metrics is based on the confusion matrix values in Table 1.

Table 1. Confusion matrix

	Classified as	
Actual	<i>Churner</i>	<i>Non-churner</i>
<i>Churner</i>	True Positive (TP)	False Negative (FN)
<i>Non-churner</i>	False Positive (FP)	True Negative (TN)

$$\text{AUC (The area under curve)} = \frac{1}{2} \left(\frac{TP}{TP+FN} + \frac{TN}{TN+FP} \right) \quad (9)$$

$$\text{Recall (Sensitivity)} = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (10)$$

$$\text{Lift} = \frac{TP}{(TP+FN)} \times \frac{1}{P/(P+N)},$$

$$P = TP + FN \text{ and } N = TN + FP \quad (11)$$

In churn prediction, the FNs referring to the misclassification of churners as non-churners is an important error that should be avoided. In such cases, the operational CRM processes do not show the necessary effort to retain these potential churners that in return has a high financial cost to the company. The AUC distinguishes churners from non-churners and measures the area under

the ROC curve (9). Sensitivity (10), and Lift (11) eliminate the drawbacks of traditional metrics for imbalanced classes and expose the correctly classification of the churner class. The minimum (the worst) score and the maximum (the best) score for the metrics formulated in (9) and (10) are 0 and 1, respectively. The lift value is between the range $[0, \infty]$ and we look for high values.

4. EMPIRICAL EVALUATION DESIGN

This study observes the effects of two different strategies, resampling and ensembles, as well as their hybridization on customer churn prediction performance to answer the research questions stated in Section 1.

After preparing the dataset for the experiments –the details are in Section 5–, the first step is dividing the dataset into training and test sets preserving the IR ratio. Training and test set proportions are specified as 70% and 30%, respectively. After the split, the test set does not interfere with any step of the model building and sets aside until we are ready to proceed with prediction in order to align the setup to practice. Preprocessing the attributes of the training set by the z standardization $[z = (x - \mu)/\sigma]$, where μ is the mean value, and σ is the standard deviation of an attribute] rescales data for to reduce the impact of degree of attribute magnitudes on classifiers.

The other steps of the empirical design change regarding the research question and hence the method used. The study pursues two strategies, resampling and ensemble learning, to handle class imbalance. Under- and over-sampling methods are incorporated to the model construction, yet their setup is different when the cross-validation procedure is applied. For under-sampling, the preprocessed training set is first resampled implementing the method of concern and then cross-validation is performed with the learning algorithm. For over-sampling on the other hand, applying the same procedure as in under-sampling –apply CV after resampling– may cause over optimism as explained in [47], [48] which is a crucial point most studies ignore. There is a probability that the resampled training folds and the test fold contain the same samples, which may lead to a significantly biased prediction. The correct way to combine over-sampling with CV is through first dividing the training dataset into k folds and then resampling each training fold and not the validation fold. Once the learning model is constructed, the validation fold is used for prediction. Hence, it is guaranteed that the classifier is not exposed to any repetitions of the validation set examples in the learning phase. This problem does not occur in under-sampling for either of the designs since CV after under-sampling and the integration of under-sampling and CV yield the same performance. Fig.1 depicts the methodology of applying CV with the resampling methods and also contains the hybridization of stacking and CV (Note that L_{Rk} refers to the resampled learning data for the k th fold, and n' is the resampled training data size).

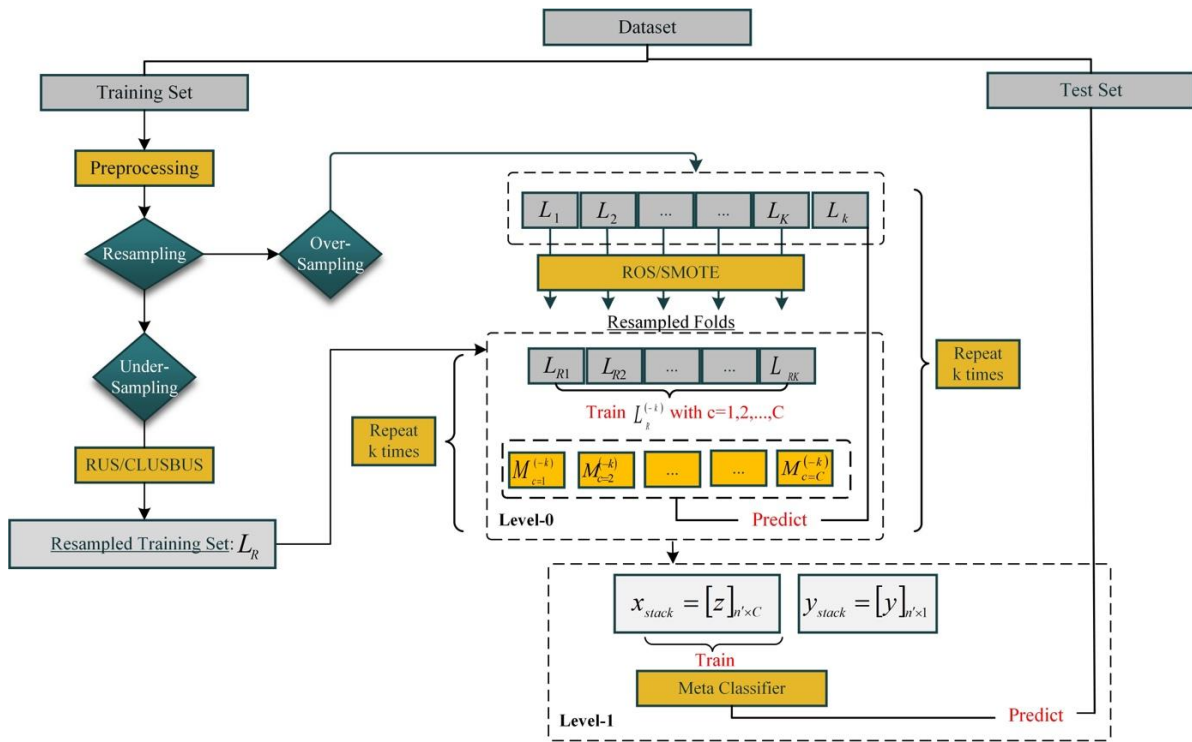


Fig. 1. Flowchart for cross-validation with resampling and stacking hybridization

Another decision to make is the imbalance ratio to target with resampling. However, as emphasized in [32], [49] the best class distribution changes with respect to each training set size and algorithm. Therefore, this study uses the default IR parameters of resampling techniques which provide a more practical approach. Hence, the majority and the minority class sizes become equal (IR=1) with the application of RUS, ROS, and CLUSBUS, whereas the IR becomes 1.33 with the application of SMOTE. According to CLUSBUS technique the dataset is divided into 3 clusters.

The parameters of the algorithms do not invoke any fine tuning to prevent a drastic altering of decision boundaries and to sustain the generalization capability of the models that can resist to minor changes in the data.

After the model building phase on the training set (L) involving the CV procedure, the test set that has no prior involvement in the learning process and kept separate is used for the final model evaluation.

5. RESULTS AND DISCUSSION

This study applies its empirical setup on a well-known churn dataset from the telecom sector. Churn: This is a dataset from the UCI Machine Learning Repository¹. There are 17 explanatory attributes in total after the elimination of the “State”, “Area.Code”, and “Phone” attributes prior to the analyses and a target feature referring

to whether a customer is a churner or not. 15 attributes take numerical values and the remaining 2 attributes take discrete values. There were no missing values, the sample size is 3333 and the IR is 5.9.

The experimental results provide the evaluations of the model performances of different strategies based on the frequently preferred metrics for imbalanced churn datasets. The benchmark values are the SVM results obtained by implementing the binary classification task to the imbalanced datasets with original imbalance ratios. All phases of the model building are coded and executed in R programming language.

Table 2. SVM prediction results: The benchmark

Metric	Performance
<i>AUC</i>	0.738
<i>Sens.</i>	0.498
<i>F1</i>	0.637
<i>Lift</i>	3.455

The results in Table 2 indicate that SVM performs poorly in predicting churners since the value of the AUC ratio is satisfactory (over 0.7), but not supported by the sensitivity measure. Therefore, SVM is affected by the imbalanced structure of the dataset and this costly problem needs improved solutions. The analyses results are informative in terms of answering our research questions presented in Section 1.

¹ The dataset no longer exists in the UCI Repository, but can be retrieved from https://www.kaggle.com/spscientist/telecom-data/data?select=telecom_churn.csv

Table 3. Prediction results for resampling methods combined with SVM

Classifier	Resampling	AUC	Sens	F1	Lift
SVM	RUS	0.738	0.498	0.637	3.455
	ROS	0.794	0.616	0.713	4.275
	SMOTE	0.801	0.629	0.722	4.363
	CLUSBUS	0.699	0.437	0.565	3.034

Answer to RQ1: Under-sampling deteriorates the results of SVM even more, whereas over-sampling has a positive effect on the SVM performance. SMOTE yields the best prediction value.

Table 4. Prediction results of ensemble methods

Ensemble type	Classifier	AUC	Sens	F1	Lift
Bagging	BaggedCART	0.928	0.894	0.824	6.204
	RF	0.950	0.974	0.679	6.757
Boosting	C5.0	0.950	0.934	0.857	6.483
	SGB	0.944	0.925	0.841	6.417
Stacking	SVM	0.935	0.905	0.844	6.277
	BaggedCART	0.929	0.887	0.852	6.155
	RF	0.941	0.913	0.856	6.337
	C5.0	0.936	0.902	0.862	6.254
	SGB	0.945	0.917	0.877	6.359

Answer to RQ2: Ensemble strategies significantly improve the results for the churn dataset in comparison to the benchmark results. Among all ensemble techniques experimented in this study, RF performs the best with respect to the AUC, Sensitivity, and Lift measures. This result is in line with the literature findings. Boosted C5.0 also shows a good performance, yet is less successful in predicting the churners than RF.

Table 5. Prediction results of resampling techniques combined with bagging ensembles

Resampling type	Classifier	AUC	Sens	F1	Lift
RUS	BaggedCART	0.794	0.604	0.726	4.188
	RF	0.797	0.606	0.734	4.206
ROS	BaggedCART	0.895	0.819	0.819	5.685
	RF	0.934	0.917	0.791	6.365
SMOTE	BaggedCART	0.844	0.710	0.781	4.927
	RF	0.883	0.792	0.819	5.496
CLUSBUS	BaggedCART	0.720	0.477	0.599	3.312
	RF	0.705	0.448	0.576	3.107

Bagging and Boosting methods achieve better results when combined with over-sampling rather than under-sampling techniques (Table 5 and Table 6). For Stacking ensembles, the only combination that does not work well is the one with CLUSBUS. The over-sampling results are neither over-optimistic nor over-fitting since these techniques are applied within cross-validation as explained in Section 4.

Under-sampling techniques, however, do not perform well in general. The possible reason for this could be the elimination of some distinctive examples in the process

Table 6. Prediction results of resampling with boosting ensembles

Resampling type	Classifier	AUC	Sens	F1	Lift
RUS	C5.0	0.752	0.520	0.663	3.605
	SGB	0.736	0.491	0.636	3.403
ROS	C5.0	0.935	0.896	0.867	6.218
	SGB	0.845	0.707	0.793	4.901
SMOTE	C5.0	0.864	0.744	0.819	5.164
	SGB	0.879	0.783	0.817	5.435
CLUSBUS	C5.0	0.730	0.496	0.614	3.439
	SGB	0.680	0.398	0.534	2.761

Answer to RQ3: The combination of under-sampling strategy with bagging and boosting techniques does not have any effect on churn prediction results. Although RUS technique combined with stacking ensemble performs well in general, CLUSBUS results are disappointing. Over-sampling techniques on the other hand, significantly increase the prediction performances compared to the benchmark results. However, there is a noticeable result overall; which is the performance of RF when there is no resampling involved.

Answer to RQ4: All selected metrics show compatible evaluations in general, except for the F1 ratio. Based on the results we can conclude that F1 is not a preferable metric for imbalanced churn prediction cases. Among all four metrics, when the values are close to each other, it is better to choose the model directed by sensitivity and lift measures. An example to this can be given for the results achieved by the combination of resampling and stacking ensembles (Table 7). The best combination according to the AUC and F1 ratios is when ROS is combined with stacking Bagged CART, while sensitivity and lift ratios indicate the best combination as SMOTE and stacked SVM. In such situations, the decision should be made in favor of the indication of the sensitivity and lift ratios. Both metrics give more importance to the minority class, which is what we are seeking in churn prediction.

Table 7. Prediction results of resampling with stacking ensembles

Re-sampling type	Meta-Classifer	AUC	Sens	F1	Lift
RUS	SVM	0.940	0.927	0.803	6.433
	BaggedCART	0.890	0.823	0.781	5.710
	RF	0.923	0.890	0.802	6.173
	C5.0	0.918	0.870	0.829	6.037
	SGB	0.938	0.911	0.843	6.322
ROS	SVM	0.950	0.929	0.871	6.446
	BaggedCART	0.953	0.931	0.887	6.461
	RF	0.949	0.924	0.880	6.408
	C5.0	0.952	0.931	0.883	6.457
	SGB	0.942	0.910	0.874	6.312
SMOTE	SVM	0.950	0.945	0.819	6.559
	BaggedCART	0.911	0.864	0.803	5.994
	RF	0.930	0.896	0.833	6.216
	C5.0	0.925	0.884	0.835	6.131
	SGB	0.924	0.887	0.821	6.154
CLUSBUS	SVM	0.730	0.496	0.614	3.439
	BaggedCART	0.709	0.455	0.584	3.158
	RF	0.719	0.475	0.598	3.298
	C5.0	0.731	0.498	0.617	3.454
	SGB	0.725	0.487	0.607	3.381

6. CONCLUSION

The binary classification of imbalanced datasets is a hot topic of data analytics in recent years and churn analysis is one of the application areas. Particularly churn in the telecommunication sector is a problem that needs a focused attention since the financial cost of misclassification is already known. The purpose of this study is to address the skewed class distribution problem in the domain, and investigate the effects of resampling and ensemble strategies on churn prediction performance.

The study handles the imbalanced dataset classification from a data-level and an algorithm-level approach. We can conclude that ensembles examined under the algorithm-level approach drastically improve the prediction performances. Form the data-level approach, over-sampling tends to yield better results than under-sampling approach in general. A further improvement to this study would be to apply feature selection in the preprocessing step and investigate the effects of feature selection on the performance of resampling and ensemble learning strategies, which could reveal the importance of the data characteristics.

REFERENCES


- [1] J. F. Tanner, M. Ahearne, T. W. Leigh, C. H. Mason, & W. C. Moncrief, "CRM in sales-intensive organizations: A review and future directions?", *Journal of Personal Selling and Sales Management*, 25(2), 169–180, 2005.
- [2] H. Singh & H. V. Samalia, "A business intelligence perspective for churn management", *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, 109, 51–56, 2014.
- [3] F. F. Reichheld & P. Schefter, "E-Loyalty: Your secret weapon on the web", *Harvard Business Review*, 78, 105–113, 2000.
- [4] J. Lu, "Predicting customer churn in the telecommunications industry — an application of survival analysis modeling using SAS", *Data Mining Techniques*, Retrieved from <http://www2.sas.com/proceedings/sugi27/p114-27.pdf>, 114–127, 2002.
- [5] O. Kwon & J. M. Sim, "Effects of data set features on the performances of classification algorithms", *Expert Systems with Applications*, 40(5), 1847–1857, 2013.
- [6] A. Ali, S. M. Shamsuddin, & A. L. Ralescu, "Classification with class imbalance problem: A review", *International Journal of Advances in Soft Computing and Its Applications*, 7(3), 176–204, 2015.
- [7] S. A. Qureshi, A. S. Rehman, A. M. Qamar, A. Kamal, & A. Rehman, "Telecommunication subscribers' churn prediction model using machine learning", **In 8th International Conference on Digital Information Management, ICDIM 2013**, 131–136, 2013.
- [8] A. Amin, S. Anwar, A. Adnan, M. Nawaz, N. Howard, J. Qadir, & A. Hussain, "Comparing oversampling techniques to handle the class imbalance problem: A customer churn prediction case study", *IEEE Access*, 4(MI), 7940–7957, 2016.
- [9] A. Aditsania, Adiwijaya, & A. L. Saonard, "Handling imbalanced data in churn prediction using ADASYN and backpropagation algorithm", **In Proceeding - 2017 3rd International Conference on Science in Information Technology: Theory and Application of IT for Education, Industry and Society in Big Data Era, ICSITech 2017**, 2018-Janua, 533–536, 2017.
- [10] H. Faris, "Neighborhood cleaning rules and particle swarm optimization for predicting customer churn behavior in telecom industry", *International Journal of Advanced Science and Technology*, 68, 11–22, 2014.
- [11] M. A. H. Farquard, V. Ravi, & S. B. Raju, "Churn prediction using comprehensible support vector machine: An analytical CRM application", *Applied Soft Computing Journal*, 19, 31–40, 2014.
- [12] U. R. Salunkhe, & S. N. Mali, "A hybrid approach for class imbalance problem in customer churn prediction: A novel extension to under-sampling", *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 10(5), 71–81, 2018.
- [13] H. Li, D. Yang, L. Yang, Y. Lu, & X. Lin, "Supervised massive data analysis for telecommunication customer churn prediction", *Proceedings - 2016 IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing, BDCLOUD 2016, Social Computing and Networking, SocialCom 2016 and Sustainable Computing and Communications, SustainCom 2016*, 163–169, 2016.

- [14] P. Li, X. Yu, B. Sun, & J. Huang, "Telecom customer churn prediction based on imbalanced data re-sampling method", *Proceedings of 2013 2nd International Conference on Measurement, Information and Control, ICMIC 2013*, 1, 229–233, 2013.
- [15] W. Verbeke, K. Dejaeger, D. Martens, J. Hur, & B. Baesens, "New insights into churn prediction in the telecommunication sector: A profit driven data mining approach", *European Journal of Operational Research*, 218(1), 211–229, 2012.
- [16] G. Haixiang, L. Yijing, J. Shang, G. Mingyun, H. Yuanyue, & G. Bing, "Learning from class-imbalanced data: Review of methods and applications", *Expert Systems with Applications*, 73, 220–239, 2017.
- [17] X. Yu, S. Guo, J. Guo, & X. Huang, "An extended support vector machine forecasting framework for customer churn in e-commerce", *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1425–1430, 2011.
- [18] Y. J. Dong, X. H. Wang, & J. Zhou, "CostBP algorithm and its application in customer churn prediction", **In 5th International Joint Conference on INC, IMS, and IDC - NCM 2009**, 794–797, 2009.
- [19] Y. Xu, "Predicting customer churn with extended one-class support vector machine", **in Proceedings - International Conference on Natural Computation**, 97–100, 2012.
- [20] C. Wang, R. Li, P. Wang, and Z. Chen, "Partition cost-sensitive CART based on customer value for Telecom customer churn prediction", **in 36th Chinese Control Conference (CCC)**, 5680–5684, 2017.
- [21] K. W. De Bock, & D. Van Den Poel, "An empirical evaluation of rotation-based ensemble classifiers for customer churn prediction", *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12293–12301, 2011.
- [22] M. C. Mozer, R. Wolniewicz, D. B. Grimes, E. Johnson, & H. Kaushansky, "Predicting subscriber dissatisfaction and improving retention in the wireless telecommunications industry", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3), 690–696, 2000.
- [23] Y. Xie, X. Li, E. W. T. Ngai, & W. Ying, "Customer churn prediction using improved balanced random forests", *Expert Systems with Applications*, 36(3) PART 1, 5445–5449, 2009.
- [24] Y. Xie, & X. Li, "Churn prediction with linear discriminant boosting algorithm", **In Proceedings of the 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics- ICMLC**, 1, 228–233, 2008.
- [25] A. Idris, A. Iftikhar, & Z. ur Rehman, "Intelligent churn prediction for telecom using GP-AdaBoost learning and PSO undersampling", *Cluster Computing*, 22(s3), 7241–7255, 2019.
- [26] J. Xiao, C. He, B. Zhu, & G. Teng, "One-step classifier ensemble model for customer churn prediction with imbalanced class", **In J. Xu, S. Nickel, V. C. Machado, & A. Hajiyev (Eds.), Proc. of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management**, 281, 843–854, 2014.
- [27] Y. Wang, & J. Xiao, "Transfer ensemble model for customer churn prediction with imbalanced class distribution", **In 2011 International Conference of Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences- ICM 2011**, 3, 177–181, 2011.
- [28] A. Hanif, & N. Azhar, "Resolving class imbalance and feature selection in customer churn dataset", **In 2017 International Conference on Frontiers of Information Technology - FIT 2017**, (2017-Janua), 82–86, 2018.
- [29] C. Gui, "Analysis of imbalanced data set problem: The case of churn prediction for telecommunication", *Artificial Intelligence Research*, 6(2), 93–99, 2017.
- [30] B. Zhu, B. Baesens, & S. K. L. M. vanden Broucke, "An empirical comparison of techniques for the class imbalance problem in churn prediction", *Information Sciences*, 408, 84–99, 2017.
- [31] V. Effendy, K. Adiwijaya, & A. Baizal, "Handling imbalanced data in customer churn prediction using combined sampling and weighted random forest", **In 2nd International Conference on Information and Communication Technology - ICoICT 2014**, 325–330, 2014.
- [32] J. Burez, & D. Van den Poel, "Handling class imbalance in customer churn prediction", *Expert Systems with Applications*, 36(3 PART 1), 4626–4636, 2009.
- [33] N. Liu, W. L. Woon, Z. Aung, & A. Afshari, "Handling class imbalance in customer behavior prediction", **In International Conference on Collaboration Technologies and Systems - CTS 2014**, 100–103, 2014.
- [34] M. Ahmed, H. Afzal, I. Siddiqi, M. F. Amjad, & K. Khurshid, "Exploring nested ensemble learners using overproduction and choose approach for churn prediction in telecom industry", *Neural Computing and Applications*, 32(8), 3237–3251, 2020.
- [35] A. Amin, F. Al-Obeidat, B. Shah, M. Al Tae, C. Khan, H. Ur Rehman Durrani, & S. Anwar, "Just-in-time customer churn prediction in the telecommunication sector", *Journal of Supercomputing*, 1–25, 2017.
- [36] Y. P. Zhang, L. N. Zhang, & Y. C. Wang, "Cluster-based majority under-sampling approaches for class imbalance learning", **In IEEE International Conference on Information and Financial Engineering -ICIFE 2010**, 400–404, 2010.
- [37] Z. Zheng, Y. Cai, & Y. Li, "Oversampling method for imbalanced classification", *Computing and Informatics*, 34(5), 1017–1037, 2015.
- [38] S. J. Yen, & Y. S. Lee, "Cluster-based under-sampling approaches for imbalanced data distributions", *Expert Systems with Applications*, 36, 5718–5727, 2009.
- [39] L. Breiman, "Bagging Predictors", *Machine Learning*, 24(421), 123–140, 1996.
- [40] C. D. Sutton, "Classification and regression trees, bagging, and boosting", *Handbook of Statistics*, 24, 303–329, 2005.
- [41] N. S. Yanofsky, "Probably approximately correct: nature's algorithms for learning and prospering in a complex world", *Common Knowledge*, 21(2), 340–340, 2015.
- [42] Y. Freund, & R. E. Schapire, "Experiments with a new boosting algorithm", **In Proceedings of the 13th International Conference on Machine Learning**, 1–9, 1996.
- [43] S. L. Salzberg, "C4.5: Programs for machine learning by J. Ross Quinlan. Morgan Kaufmann Publishers inc. 1993", *Machine Learning*, 16, 235–240, 1994.

- [44] J. H. Friedman, "Stochastic gradient boosting", *Computational Statistics and Data Analysis*, 38(4), 367–378, 2002.
- [45] K. M. Ting, & I. H. Witten, "Issues in stacked generalization", *Journal of Artificial Intelligence Research*, 10, 271–289, 1999.
- [46] B. Zhu, B. Baesens, A. Backiel, & S. K. L. M. Vanden Broucke, "Benchmarking sampling techniques for imbalance learning in churn prediction", *Journal of the Operational Research Society*, 69(1), 49–65, 2018.
- [47] R. Blagus, & L. Lusa, "Joint use of over-and under-sampling techniques and cross-validation for the development and assessment of prediction models", *BMC Bioinformatics*, 16(1), 1–10, 2015.
- [48] M. S. Santos, J. P. Soares, P. H. Abreu, H. Araujo, & J. Santos, "Cross-validation for imbalanced datasets: Avoiding overoptimistic and overfitting approaches [Research Frontier]", *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 13(4), 59–76, 2018.
- [49] G. M. Weiss, & F. Provost, "Learning when training data are costly: The effect of class distribution on tree induction", *Journal of Artificial Intelligence Research*, 19, 315–354, 2003.

Analysis of Text-to-Image Artificial Intelligence Systems in Terms of Contribution to Interior Coloring

Araştırma Makalesi/Research Article

 Muhterem HOŞER*,  Erdem KÖYMEN

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, S. Zaim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

muhteremhoser@gmail.com, erdem.koymen@izu.edu.tr

(Geliş/Received: 19.02.2023; Kabul/Accepted: 03.09.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1252993

Abstract— In this article, based on its potential contribution to architectural design processes, research has been made on the “text-to-image” systems of artificial intelligence. In the research, the four most common systems Craiyon, Dall-E, Midjourney, and Stable Diffusion were selected, and these systems were tested for coloring a pre-school education space. First of all, the “kindergarten” text was presented to the systems and according to this text, four alternative images were produced from each system. Afterward, the dominant color coding of the images was analyzed in the computer environment. The 3D model of preschool space was colored with the obtained color codes. The 16 images that emerged because of coloring were presented to 62 expert participants, consisting of preschool teaching and architecture/interior architecture department members, accompanied by a survey. In the survey, the experts were asked to evaluate the colored images in “entertainment” and “academic” contexts. As a result of the statistical analysis of the survey data showed that the Craiyon system used colors more successfully than other systems in terms of coloring a preschool education space. This study measured the ability of artificial intelligence systems from text-to-image to interpret the text in terms of the production of color codes suitable for the type of space. However, it has been tried to articulate such systems to architectural design areas and to open the door from a unique perspective.

Keywords— artificial Intelligence, text-to-image, coloring, interior space

İç Mekân Renklendirmesine Katkı Açısından Metinden Görüntüye Yapay Zekâ Sistemlerinin İncelenmesi

Özet— Bu makalede mimari tasarım süreçlerine potansiyel katkısından hareketle yapay zekânın “metinden görüntüye” sistemleri üzerine bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada en yaygın dört sistem olan Craiyon, Dall-E, Midjourney ve Stable Diffusion seçilmiş ve bu sistemler bir okul öncesi eğitim mekânının renklendirmesi için denenmiştir. Öncelikle sistemlere “kindergarten” (anaokulu) metni sunulmuş ve bu metne göre her bir sistemden dörder alternatif görsel üretilmiştir. Sonrasında görsellerin baskın renk kodlamaları bilgisayar ortamında çözümlenmiştir. Elde edilen renk kodları ile bir okul öncesi mekânın 3B modeli renklendirilmiştir. Renklendirme sonucu ortaya çıkan 16 görsel, okul öncesi öğretmenliği ve mimarlık/iç mimarlık bölüm mensuplarından oluşan 62 uzman katılımcıya bir anket eşliğinde sunulmuştur. Ankette uzmanlardan renklendirilmiş görselleri “eğlence” ve “akademik” bağlamlarda değerlendirmeleri istenmiştir. Anket verilerinin istatistiksel analizleri sonucu Craiyon sisteminin bir okul öncesi eğitim mekânının renklendirmesi açısından renkleri diğer sistemlere göre daha başarılı kullandığı izlenmiştir. Bu çalışma ile metinden görüntüye yapay zekâ sistemlerinin metni, mekânın türüne uygun renk kodlarının üretimi açısından yorumlama becerisi ölçülmüştür. Bununla birlikte bu gibi sistemlerin mimari tasarım alanlarına eklenmesine, özgün bir açıdan kapı açılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler— yapay zekâ, metinden görüntüye, mekân tasarımı, mimari tasarım

1. INTRODUCTION

Artificial intelligence, an interdisciplinary concept, involves modeling living and human behavior systems [1]. It can also be defined as a method that mimics human thinking ability and the functioning of the brain through computer simulation, generating solutions by utilizing the necessary information when confronted with a specific situation or problem [30]. For centuries after the Industrial Revolution, humans focused on machine production. With increasing mechanization, artificial intelligence has become one of the leading mottos of the digitized world [2]. Artificial intelligence is a cognitive science that enables the exploration of many “intelligent” ways to model human perception and thought processes. Data sets containing various types of text, image, and audio data are analyzed using artificial intelligence, which achieves its effectiveness through learning and training with algorithms. As the data is analyzed, the algorithms are also trained to produce more accurate content [3].

Artificial intelligence has entered almost all areas of life, such as automotive, healthcare, gaming, entertainment, aviation, e-commerce, and computer-aided translation. Moreover, the use of artificial intelligence in architecture, interior design, and various branches of art is increasing day by day. Today, 2D and 3D digital design tools are complemented by systems such as energy and acoustics calculation programs with artificial intelligence, cost estimation, and environmental simulation [4]. The opening of these AI-powered services to shared virtual worlds, nourished by a multitude of technologies through metadata, is defined as a more advanced objective by experts [31].

This article highlights text-to-image data processing systems, which are a current application area of artificial intelligence, and questions the success of using color in the production of imagery in providing output for architectural design. “The inability of architectural and interior design sciences to keep up with the rapid advancements in various domains of artificial intelligence and assistive systems” has been considered as a problem in this study. Fueled by the concerns stemming from this problem, the hypothesis that “artificial intelligence-supported data processing systems, transitioning from text to image, can contribute to interior spatial coloring in a scientifically accurate manner, thereby enriching the fields of architecture and interior design” has been formulated. Underlying this main hypothesis, subsidiary hypotheses have been articulated as follows: “A method for evaluating the efficiency of prominent systems can be developed, and based on these evaluations, designers can be directed towards suitable systems.” At the outset, the term “kindergarten” was entered into four distinct artificial intelligence models, facilitating the generation of four corresponding images to elucidate its interpretation by each system. Following this, RGB color codes were extracted from the cumulative 16 images obtained, and these 16 distinct images were employed to colorize the interior of a 3D model representing a preschool space. Consequently, the same set of 16 images, pertaining

to the identical spatial context, was presented to a group of 62 experts consisting of specialized architects/interior architects, and preschool educators. Through a survey employing Likert-type questions, these experts were prompted to assess the volumes in terms of “academic instruction” and “entertainment”. The resulting data were then subjected to statistical methods for subsequent analysis and interpretation.

1.1. Data Visualization with Text-to-Image AI Systems

Text to Image can be defined as a “machine learning model” [5]. It refers to computer approaches that can convert human-written text descriptions, such as keywords or sentences, into visually depicted concepts that have the same semantic meaning as the text. [6]. The development of such models began in the mid-2010s as a result of scientific studies in the field of deep neural networks [7]. These models also offer variations of the concept of text-to-image conversion by drawing on various artificial intelligence techniques. These technologies, instead of requiring programmers to make every decision, create their own models by utilizing training data. This allows programmers to set goals and provide data to artificial intelligence for problem-solving, often establishing connections in ways that humans may not envision [33]. In general, in text-to-image models, artificial intelligence interprets the text provided to the system, producing images as close to the description as possible. Yıldırım states that text-image conversion systems have the revolutionary potential for interior design. Thanks to this system capability, faster architectural visualizations, and more effective client communication can be achieved. Moreover, with the accessible and intuitive methods provided by the system, the design process can become more accessible to people who do not have technical skills or expertise [8]. These tools have quickly given rise to various content creation communities, thereby connecting amateur and professional users across different platforms and contributing to the advancement of systems [32].

Today, there are many examples of these systems, such as Craiyon, DALL-E, MidJourney, Stable Diffusion, Motionleap, and DifusionBee [9]. In the context of this article, four of the most well-known text-to-image artificial intelligence systems are examined below.

Dall-E

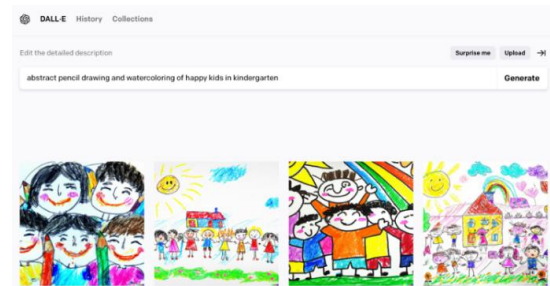


Figure 1. A view from Dall-E results screen [10].

The name of the software is a combination of the names of Wall-E, a Pixar character, and Salvador Dalí, a surrealist artist [11]. Dall-E, announced by OpenAI in January 2021, uses an updated version of GPT-3 for rendering [12]. In April 2022, OpenAI announced Dall-E 2, which can combine concepts, attributes, and styles to produce more realistic images with higher resolution (Figure 1). The company claimed to have trained a neural network that generates images from text titles for a variety of concepts that can be expressed in natural language [13]. The system has also attracted attention from the publishing world, and the cover of Cosmopolitan magazine was designed with an image generated by Dall-E [14]. Dall-E's system uses a process called "diffusion", which starts with a pattern of dots and gradually changes that pattern toward an image as it recognizes certain aspects of the image [15].

Stable Diffusion

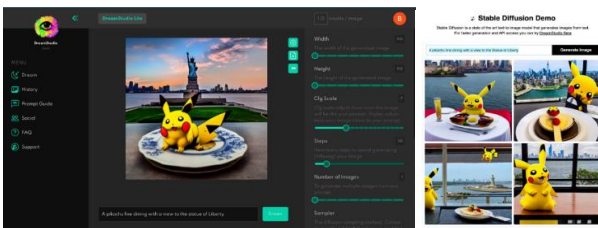


Figure 2. Result views from two beta versions of Stable Diffusion [16].

In the words of Stable Diffusion's developers, it is a text-to-image AI model that will "get billions of people to create stunning works of art in seconds" (Figure 2). Model: AI developer Katherine Crowson builds on the CompVis and Runway teams' work on the widely used latent diffusion model with insights from the conditional diffusion models of Dall-E 2 from Open AI and Imagen from Google Brain. Stable Diffusion is currently being tested at scale with more than 10,000 beta testers generating 1.7 million daily views [17].

Two beta versions are available on the Stable Diffusion website. One can be accessed without membership, while the other is accessible through a detailed interface that is active after membership. Since this is a beta version, only the words that the system predicts should be selected. In this context, it is necessary to use terms such as object, place, space, and color, which are accepted by all but do not encompass everything that is desired.

Craiyon (Dall-E Mini)

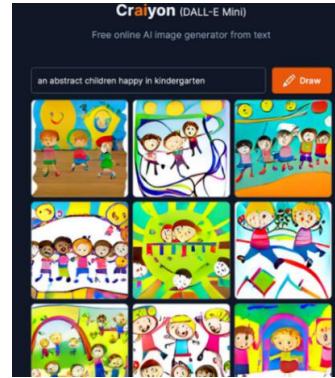


Figure 3. A view from the results screen of Craiyon. [18]

Craiyon, formerly "Dall-E Mini", is an artificial intelligence model that can draw images from any text input [18]. According to OpenAI's explanation of Dall-E Mini, this system was developed to replicate Dall-E's results with a smaller architecture. With this in mind, Craiyon's architecture and memory requirements were simplified and reduced to 27 times the size of Dall-E. The system demonstrates that impressive results can be obtained, albeit of lower quality, when constrained by much smaller hardware resources. Craiyon, which uses the same algorithm as Dall-E, differs only in its interface (Figure 3). After the text is input, it can be printed in about 1 minute [19].

Midjourney



Figure 4. Views from Midjourney's Discord [20].

In the words of Midjourney's developers, it's an independent research lab that "explores new worlds of thought and expands the productive powers of the human species." It was founded in 2021 as a small, self-funded team focused on design, human infrastructure, and artificial intelligence [21]. Midjourney is distinctive in that its artificial intelligence bot is accessible over the Internet through Discord, a social platform for voice protocols and instant messaging, rather than through its web application. The same types of industry terms are used, such as "common models" and "colloquial pre-education (CLIP)" [22].

The system displays four alternative images on the screen after the text is entered through a channel opened in Discord. After this stage, the alternatives are detailed using additional commands (Figure 4).

2. FURTHER WORKS

In his study, Ali Borji quantitatively compares Stable Diffusion, Midjourney and Dall-E 2 in terms of their ability to create photorealistic faces and finds Stable Diffusion more successful than others [23].

In their article, Ploennigs and Berger examined the applicability of diffusion-based models for the early stages of architectural design, which includes the sketching and modeling phase. Comparing Midjourney, Dall-E 2 and Stable Diffusion platforms in this respect, the team analyzed a dataset consisting of 40 million Midjourney queries with NLP methods to extract common usage patterns and revealed how they are currently used [24].

In Dudani's study, metaphors were used in the discovery of artificial intelligence, which are complex systems, and in terms of providing a fun experiment, creating a specific descriptive language in the use of artificial intelligence programs such as Dall-E and Midjourney, exploring the relationship between the participants and how alternative metaphorical visualizations between words and visual representations, multiple and has analyzed how they can affect design designs as prompts to imagine versatile [25].

In his research, Vermillion tested various diffusion model platforms, including Dall-E, Midjourney, and Stable Diffusion, which leverage artificial intelligence to generate architectural concepts, ideas, and images, to iterate conceptual design ideas and question their generative capacity [26].

Abduljawad and Alsalmani discussed the Dall-E 2, Stable Diffusion and Midjourney artificial intelligence models in their article, and they found that the images produced by these models differ due to the difference in software architectures and the data they train. In their study, they found the overall performance of their model positive, but they stated that Dall-E 2 offered the best performance in the tests, followed by Stable Diffusion and finally Midjourney. [27].

3. INVESTIGATION OF TEXT-TO-IMAGE ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN TERMS OF INTERIOR COLORING

In the study, Dall-E, Craiyon, Midjourney and Stable Diffusion, selected from text-to-image artificial intelligence systems, were compared in terms of their success in interpreting colors according to text. Pre-school education space was preferred as the plot area in the research. The colors used by the systems in terms of compliance with the "entertainment" and "academic education" actions taking place in this space were questioned with a survey directed to the users. The methods and steps used in the research are listed below.

Preparation of 3D Model



Figure 5. Pre-school education volume modeled in Max.

The 3D model used within the scope of the research was modeled in the 3dsMax to appeal to the 3-6 age group. In the literature, it is recommended that pre-school education spaces should be at least 2.7 meters high and a minimum of 1.5 square meters should be allocated for each child [28]. Adhering to these limitations in the modeling, the floor height of the space is 3.6 m and the dimensions 7.8x6 m. In the design, there are reading, working and painting spaces, libraries and children's playgrounds used in the academic education of children. In order to expand the space and provide a vertical perspective, a ceiling in the light sky model was designed and suspended objects in the form of cloud/planet were added to this ceiling. The environment is enriched with various pillows, toys and paintings (Figure 5).

Identifying the Texts

Text-to-image artificial intelligence systems, as explained above, work on the basis of sentences and words. Therefore, in order for the systems to present visuals related to the pre-school space, a search for compatible concepts has been made. As a result of the trials, the word "kindergarten" was entered into the systems for getting the ideal visuals.

Resolution of Color Codes

According to the word "kindergarten", 4 alternative images were obtained in each system. Then, another study was started to obtain the RGB codes for the dominant colors preferred by the artificial intelligence in these images. Each image was analyzed using CorelDraw software, and the RGB color codes were listed according to the dominance ratio of the colors. This list is limited to the 5 most dominant colors, matching the number of model types to be overlaid in the 3D model. Below are the images produced with 4 different systems and the dominant RGB color codes (Figure 6).

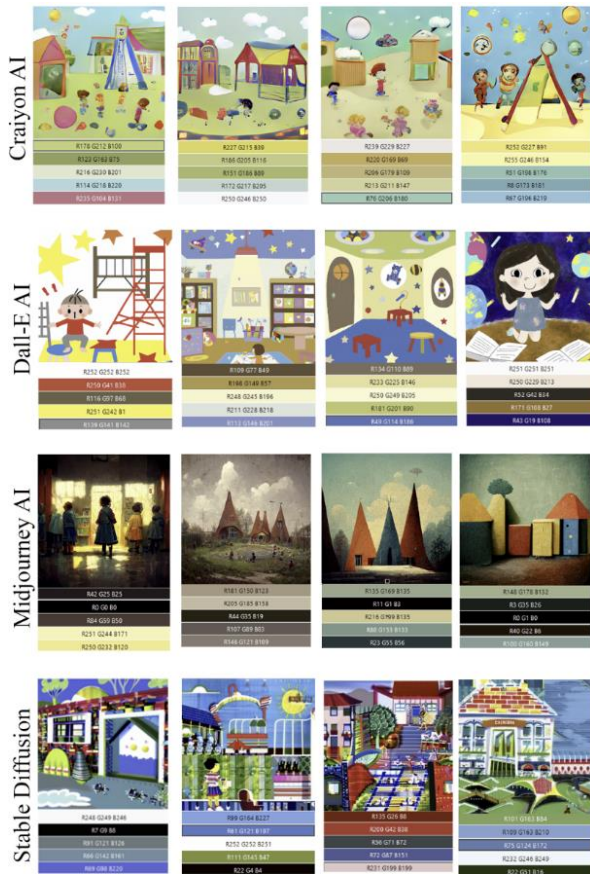


Figure 6. Images and dominant RGB color codes produced by four different artificial intelligence systems.

3D Scene Coloring

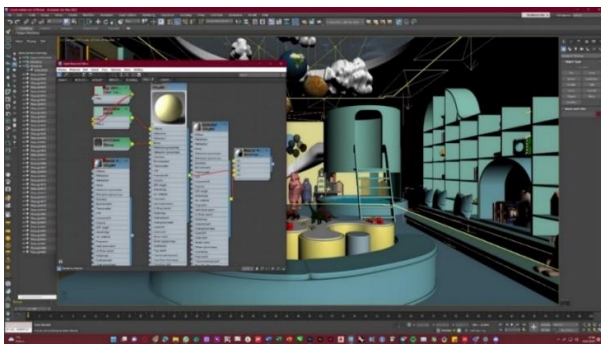


Figure 7. Coloring stage of 3D model in 3ds Max environment

Afterward, the colors obtained from the visuals were transferred to the 3D model as a material color (Figure 7). Thus, a total of 16 views of the same space were obtained from 4 different systems. These views are listed below (Figure 8).



Figure 8. Images and dominant RGB color codes produced by four different artificial intelligence systems.

Survey Study

A survey was organized to evaluate the images obtained after the above preparation steps. The next section will explain the scope, method, evaluation, and interpretation phases of the study.

3.1. Statistical Analysis Study

Scope and Method

The survey study includes a mixed group of graduates and academics in the fields of pre-school teaching and architecture/interior architecture. The appropriateness of the color schemes in the images in the contexts of “education” and “entertainment” for a pre-school educational space was measured using the “relational screening model”. For this purpose, an attitude scale was applied to the participants of the study group. 50.8% of the study group are pre-school teachers, and 49.2% are members of the architectural and interior design department. To measure the attitudes of the participants, a total of 32 questions were asked, which consisted of 2 items in 10 Likert-type items associated with each of the 16 images. The result of Cronbach’s Alpha reliability analysis of the survey was found to be 0.918. The data obtained in the research were analyzed with the “t-test for independent groups” using SPSS 26 software. Depending on the variables, “arithmetic mean”, “standard deviation”, and “kurtosis-skewness” data were used in the study in addition to the “t-test for independent samples”. Whether the data were suitable for normal distribution was tested with the normality test on the $p < 0.05$ plane and based on the hypothesis that the group variances were “homogeneous” with 95% confidence. Thus, parametric tests were performed.

In this context, the attitudes of the participants regarding the suitability of the spaces in the visuals were determined according to their departments. In addition, as sub-dimensions of the scale, the sub-contexts “entertainment” and “academic” were examined to determine which artificial intelligence system the participants considered

more successful in creating the color code. It was also calculated for which artificial intelligence system the departments adopted parallel settings.

3.2. Findings

In Table 1, sample size (N), lowest-highest attitude score (Min-Max), arithmetic mean (Mean), median mean (Median), standard deviation (SD) and skewness-kurtosis values are given.

Table 1. General attitude levels of participants towards visuals.

	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Median</i>	<i>ss</i>	<i>Skewness</i>	<i>Kurtosis</i>
Participants' attitude scale towards visuals	62	3.38	10	6.7298	6.6250	1.51126	0.119	-0.614

In Table 1, the “normality” distributions of the data obtained from the normality test were examined, and the values for skewness and kurtosis were presented. According to the results, the skewness value of the data ranged from 0.119 to 0.304, and the kurtosis value ranged from -0.614 to 0.599. According to Tabachnick and Fidell, the data can be considered normally distributed when these values range from -1.5 to +1.5 [29]. In addition, the lowest score that the participants achieved on the attitude scale was 3.38, and the highest score was 10. The mean score of

the participants was 6.7298, and the median mean score was 6.6250. According to this value, it can be said that the participants generally have a “close to positive” attitude about the visuals. Afterwards, the “independent sample t-test” was conducted to determine whether there was a significant difference regarding the “department” variable in the attitudes of the participants, whose data were observed to be normally distributed, and the analysis results were shared in Table 2.

Table 2. Results of participants' assessment of attitudes toward visual media in the context of “entertainment” and “academic”, determined by independent samples t-test by department.

<i>Variables</i>	<i>Departments</i>	<i>N</i>	<i>X</i>	<i>ss</i>	<i>T Test</i>		
					<i>t</i>	<i>sd</i>	<i>p</i>
Craiyon (Entertainment)	Arch./int. Arch	30	6.7333	1.36920	-1.923	62	.049
	Pre-school Teaching	32	7.4609	1.59271			
Dall-E (Entertainment)	Arch./int. Arch	30	5.3250	1.64939	-2.194	62	.032
	Pre-school Teaching	32	6.2656	1.72147			
Midjourney (Entertainment)	Arch./int. Arch	30	3.1500	1.61031	-1.206	62	.232
	Pre-school Teaching	32	3.7578	2.27671			
Stable D. (Entertainment)	Arch./int. Arch	30	5.7333	1.48547	-3.019	62	.004
	Pre-school Teaching	32	7.0391	1.88169			
Craiyon (Academic edu.)	Arch./int. Arch	30	5.4583	1.81003	-3.646	62	.001
	Pre-school Teaching	32	7.1875	1.91766			
DallE (Academic edu.)	Arch./int. Arch	30	4.6917	1.34818	-3.308	62	.002
	Pre-school Teaching	32	6.1484	2.02789			
Midjourney (Academic edu.)	Arch./int. Arch	30	3.9333	1.69041	-.171	62	.865
	Pre-school Teaching	32	4.0234	2.37031			
Stable D. (Academic edu.)	Arch./int. Arch	30	5.4583	1.74825	-3.387	62	.001
	Pre-school Teaching	32	7.0859	2.01567			

When Table 2 is examined, it is seen that 30 of the 62 participants who participated in the study were from architecture/interior architecture and 32 of them were individuals from the department of pre-school teaching. According to the table, **Craiyon-Entertainment** ($t[62]=-1.923$; $p<.05$), **DallE-Entertainment** ($t[62]=-2.194$; $p<.05$), **Stable Diffusion-Entertainment** ($t[62]=-3.019$; $p<.05$), **Craiyon-Academic education** ($t[62]=-3.646$; $p<.05$), **Dall-E-Academic education** ($t[62]=-3.646$; $p<.05$) and **Stable Diffusion-Academic education** ($t[62]=-3.387$; $p<.05$) significant differences were observed in their attitudes since the p value was less than

0.05. Attitude differences can be followed by looking at the mean (X). In addition, the p values of the participants' attitudes towards **Midjourney-Entertainment** ($t[62]=-1.206$; $p>.05$) and **Midjourney-Academic education** ($t[62]=-0.171$; $p>.05$) are greater than 0.05. No significant differences were observed in the images under these contexts. From here, it was seen that the participants from both disciplines showed a common attitude toward the results of the **Midjourney** system.

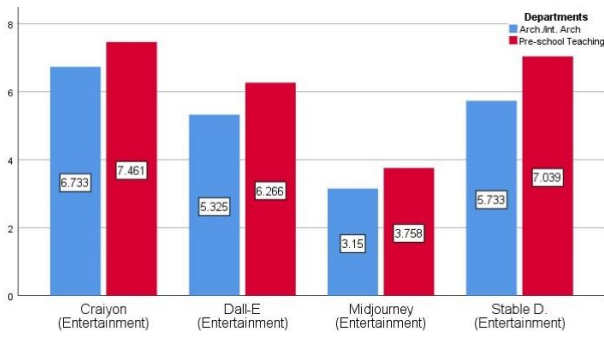


Figure 9. Comparison of results by departments in the context of “entertainment”.

Table 2 shows the average and overall average data scores resulting from the ratings of 16 different visual displays in the “entertainment” and “science” sections by members of each department. From the values, it can be seen that the members of the Architecture/Interior Design department found **Craiyon’s** color interpretation in the “Entertainment” context more successful than the others, with an average value of 6.7333 (Figure 9). Members of the pre-school education department answered the same context question by finding **Craiyon** successful with an average value of 7.4609.

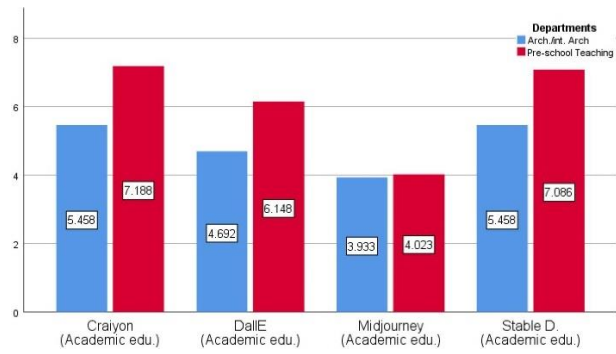


Figure 10. Comparison of results by departments in the context of “academic education”.

In the “academic” context query, the members of the architecture/interior architecture department gave their preferences equally weighted to **Craiyon** and **Stable** systems, with an average of 5.4583. In the same context, the attitude of the pre-school teaching department was again the **Craiyon** system with an average of 7.1875 (Figure 10).

Table 3. Average totals of all participants in relation to attitudes toward visual aids by department.

	<i>Craiyon (entertainment)</i>	<i>Dalle (entertainment)</i>	<i>Midjourney (entertainment)</i>	<i>Stable D. (entertainment)</i>	<i>Craiyon (academic edu.)</i>	<i>Dalle (academic edu.)</i>	<i>Midjourney (academic edu.)</i>	<i>Stable D. (academic edu.)</i>
Average totals of the departments	7.1089	5.8105	3.4637	6.4073	6.3508	5.4435	3.9798	6.2984

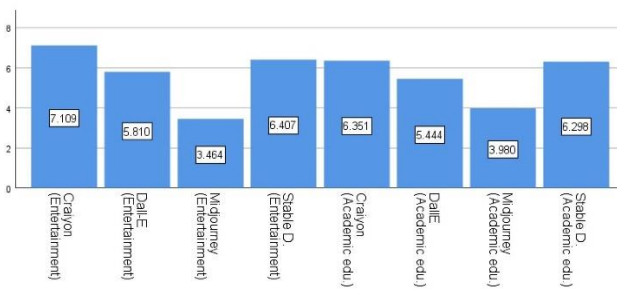


Figure 11. The average of the responses of all participants.

Table 3 presents the response averages of all participants for the four AI systems, regardless of the departments. According to the values, in both contexts, **Craiyon** system seems to be ahead of the others with 7.1089 and 6.3508 averages (Figure 11).

4. CONCLUSION

Artificial intelligence (AI), which has been on the agenda since the 1950s, makes its presence felt even more today. Due to the advancement of machine learning and the availability of data, the interest in artificial intelligence has

increased considerably today. Today, artificial intelligence has been used in a wide variety of fields and applications, and has begun to have a significant impact on different industries and branches of science. Simple image variations could be produced with machines that “understand” the language developed by researchers in the 50s and early 60s. Thus, with the contributions of many researchers in the following years, detailed and realistic images began to be obtained with various synthesis methods by using today's deep learning techniques. The developments in artificial intelligence techniques have also attracted the attention of the field of architecture and led researchers to use artificial intelligence in architecture. Thus, artificial intelligence-oriented ways to support the design process by creating design alternatives, analysis/optimization or visualization have been opened.

In the study, four selected models of text-to-image artificial intelligence systems were compared in terms of their success in interior coloring. In the research, the pre-school education space was preferred as the plot area. First, 3D modeling of an experimental training space was performed. Afterwards, 4 images were produced from artificial intelligence systems according to the texts related to pre-school education. After that, the dominant color codes used in the formation of these images were obtained.

Then, the 3D model was colored with these color codes by relating the percentage of intensity of the colors in the images and the space occupied by the reinforcing elements and furnishings in the 3D space. With this approach, 4 views of a preschool education space were obtained with the color interpretation of 4 different systems. The images were presented to experts in the departments of pre-school and architecture/interior architecture, accompanied by a survey, and scored in terms of “entertainment” and “academic education”. In both contexts, the images created with the Craiyon system color codes were rated by the participants as more successful than the other systems.

As it is known, “thinking with alternatives” is a very important approach in terms of design. This approach has a great impact on the emergence of richness and diversity in design. In this context, it is predicted that text-to-image artificial intelligence systems will make an important contribution to architectural practice in order to produce new design ideas or concept alternatives.

Today, these systems can be easily accessed from online platforms. Although complex mathematical calculations are performed in the background, the systems welcome users with very simple interfaces. With this access and ease of use, it is thought that every designer can easily use these systems and expand their imagination in this way.

Ploennigs and Berger state that in the future, the capabilities of these models and platforms will evolve, and as suitable interaction paradigms are established, the workflows between tools will converge [24]. In this regard, it is believed that the development of artificial intelligence models will lead to a better understanding of architectural structure and the relational network within contexts such as interior design, color, texture, and construction materials will be more effectively established in the future. It is also anticipated that these models will yield more refined outcomes in the field of architecture and interior design. The data and results obtained through the approach adopted within the scope of the article are thought to have the potential to influence the establishment of this network in a more sophisticated manner.

The systems update the data within the concept of “learning” with artificial intelligence bases. In this sense, text-to-image systems can offer the designer alternative ideas that are enriched day by day. In addition, by interpreting current scientific trends in a sociological framework, it can enrich design alternatives within this framework. In this sense, artistic approaches such as architecture or interior architecture, where intuitiveness comes to the fore, should be followed more closely.

The research conducted by Ali Borji has identified the need for further work in order for artificial intelligence-supported text-to-image translation models to be able to evaluate in detail according to various sub-categories [23]. Considering the diversity of spatial configurations in architecture and potential variations in spatial physiology

based on psychic effects, it is envisaged that more sophisticated studies should be carried out for the advancement of AI-supported systems in the context of spatial and spatial psychological development. Furthermore, it is anticipated that the findings of this article will be re-evaluated from this perspective in the future.

Following a pursuit akin to that of this article, various research studies employing comparative methodologies have been examined in the literature, focusing on artificial intelligence systems for text-to-image conversion within the domain of architecture/interior architecture. In these investigations, it has been observed that certain models yield more successful outcomes compared to others [23], [26], [27]. The potential for such comparisons, along with similar ones, to contribute significantly to the advancement of models within their respective contexts is evident. Moreover, the collective evaluation of these studies on a unified platform by system developers is deemed essential. In alignment with this trend, it is considered important to both foster the development of these models and to monitor their implications for the field of architecture.

As mentioned above, this study focuses on the interpretation of colors by artificial intelligence systems from text-to-image. With similar scientific research approaches, it can also contribute to the more qualified development of systems on the axis of architecture.



REFERENCES

- [1] Sucu, İ. & Ataman, E., “Dijital Evrenin Yeni Dünyası Olarak Yapay Zeka ve Her Filmi Üzerine Bir Çalışma”, *Yeni Medya Elektronik Dergisi*, 4 (1), 40-52, 2020.
- [2] Bayrak, E., **Yapay Zekâ ve Mekân Tasarımı Etkileşiminin Günümüz Tasarım Eğitiminde Değerlendirilmesi**. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, 2020.
- [3] Deveci, M., “Yapay Zekâ Uygulamalarının Sanat ve Tasarım Alanlarına Yansımaları”, *Vankulu Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9, 119-140, 2022.
- [4] Yıldırım, B., & Demirarslan, D., “İç Mimarlıkta Yapay Zekâ Uygulamalarının Tasarım Sürecine Faydalarının Değerlendirilmesi”, *Humanities Sciences*, 15(2), 62-80, 2020.
- [5] Reviriego, P., & Merino-Gómez, E., “Text to Image Generation: Leaving no Language Behind”, *ArXiv Preprint ArXiv*, 2208.09333, 2022.
- [6] He, X., & Deng, L., “Deep Learning for Image-to-Text Generation: A Technical Overview”, *IEEE Signal Processing Magazine*, 34(6), 109–116, 2017.
- [7] Internet: The Economist Newspaper. (n.d.), How a Computer Designed This Week’s Cover, <https://www.economist.com/news/2022/06/11/how-a-computer-designed-this-weeks-cover>, 02.18.2023.
- [8] Yıldırım, B. ve Emirarslan, S., **İç Mimarlıkta Yapay Zekâ: İnsana Öykünen Makineler Çağında Yapay Zekânın Mesleki Paydaşlığı, Yapay Zekâ ve Dijital Teknoloji**, İksad Publishing House, Ankara, s.101, 2021.

- [9] Internet: Wikipedia, Text-to-image model, https://en.wikipedia.org/wiki/Text-to-image_model, 02.18.2023.
- [10] Internet: Dall-E, Dall-E results screen, <https://openai.com/dall-e-2/>, 02.18.2023.
- [11] Şen, E., “GPT3: DALL-E ve JL2P Ekseninde Veri Görselleştirme ve Hareketlendirme Üzerine Bir İnceleme”, *USBAD Uluslararası Sosyal Bilimler Akademi Dergisi*, 3(5), 253-280, 2021.
- [12] Internet: K. Johnson, OpenAI and Stanford researchers call for urgent action to address harms of large language models like GPT-3, <https://venturebeat.com/ai/openai-and-stanford-researchers-call-for-urgent-action-to-address-harms-of-large-language-models-like-gpt-3/>, 02.18.2023.
- [13] Internet: OpenAI, Dall-E 2, <https://openai.com/dall-e-2>, 02.18.2023.
- [14] Internet: G. Lui, Dall-E 2 made its first magazine cover. <https://www.cosmopolitan.com/lifestyle/a40314356/dall-e-2-artificial-intelligence-cover>, 02.18.2023.
- [15] Internet: Y. Wu, How AI creates photorealistic images from text, <https://blog.google/technology/research/how-ai-creates-photorealistic-images-from-text/>, 02.18.2023.
- [16] Internet: Stable Diffusion, Result views from two beta versions of Stable Diffusion, <https://stablediffusionweb.com/>, 02.18.2023.
- [17] Internet: E. Mostaque, Stable diffusion launch announcement. Stability AI, <https://stability.ai/blog/stable-diffusion-announcement>, 02.18.2023.
- [18] Internet: Craiyon, Results Screen of Craiyon, <https://www.craiyon.com>, 02.18.2023.
- [19] Internet: B. Dayma et. al, Dalle-mini-hugging face, <https://huggingface.co/dalle-mini/dalle-mini>, 02.18.2023.
- [20] Internet: Midjourney, Midjourney’s Discord. <https://discord.gg/midjourney>, 02.18.2023.
- [21] Internet: D. Holz, About. Midjourney, <https://midjourney.com/home/?callbackUrl=%2Fapp%2F#about>, 02.18.2023.
- [22] Internet: S. Krishna, S.. Midjourney founder says ‘the world needs more imagination’, <https://venturebeat.com/ai/midjourney-founder-says-the-world-needs-more-imagination/>, 02.18.2023.
- [23] Borji, A., “Generated faces in the wild: Quantitative Comparison Of Stable Diffusion, Midjourney And Dall-E 2”, *ArXiv Preprint ArXiv*, 2210.00586, 2022.
- [24] Ploennigs, J., & Berger, M., “AI Art in Architecture”. *ArXiv Preprint ArXiv*, 2212.09399, 2022.
- [25] Internet: P. Dudani, Wordings and Worldings: DALL-E wordplays to visualise alternative metaphors for complex systems, <https://rsdsymposium.org/wordings-and-worldings/>, 02.18.2023.
- [26] Internet: Vermillion, J., Iterating the Design Process Using AI Diffusion Models, https://digitalscholarship.unlv.edu/cfa_collaborate/9/, 02.18.2023.
- [27] Abduljawad, M., & Alsalmi, A., “Towards Creating Exotic Remote Sensing Datasets using Image Generating AI”, **In 2022 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)** (pp. 84-88). IEEE, 2022.
- [28] Baran, M., Yılmaz, A., & Yıldırım, M., “Okul Öncesi Eğitimin Önemi ve Okul Öncesi Eğitim Yapılarındaki Kullanıcı Gereksinimleri Diyarbakır Huzurevleri Anaokulu Örneği”, *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, (8), 27-44, 2007.
- [29] Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S., **Using Multivariate Statistics**. Pearson, 2013.
- [30] Partigöç, N. S., “Afet Risk Yönetiminde Yapay Zekâ Kullanımının Rolü”, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 15 (4), 401-411, 2022.
- [31] Huynh-The, T., Pham, Q. V., Pham, X. Q., Nguyen, T. T., Han, Z., & Kim, D. S., “Artificial intelligence for the metaverse: A survey”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 117, 105581, 2023.
- [32] Vartiainen, H., & Tedre, M., “Using artificial intelligence in craft education: crafting with text-to-image generative models”, *Digital Creativity*, 34(1), 1-21, 2023.
- [33] Fernandez, P., “Technology Behind Text to Image Generators”, *Library Hi Tech News*, 39(10), 1-4, 2022.

Teknoloji Kabul Modeli Çerçevesinde Metaverse ve Tüketiciler

Literatür Makalesi/Literature Article

 Nuray ESER *¹,  Aslıhan YAVUZALP MARANGOZ ²

¹İşletme, Toros Üniversitesi, Mersin, Türkiye

²İşletme, Toros Üniversitesi, Mersin, Türkiye

219060006@toros.edu.tr, aslihan.marangoz@toros.edu.tr

(Geliş/Received:27.03.2023; Kabul/Accepted:04.09.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1271769

Özet—Pazarlamada tüketicilerle etkileşim sorunu işletmelerin her zaman en başta çözmesi gereken konulardan biridir. Bu noktada tarihe baktığımızda kullanılan iletişim kanallarının değişim hızının teknoloji değişim hızına paralel bir şekilde ilerlediğini görmek mümkündür. Geçmişte internet, gelişen sosyal medya ağı gibi dönüm noktalarının bir benzeri bugün Metaverse teknolojisi ile yaşanmaktadır. Kimilerine göre internetin üç boyutlu hali kimilerine göre sanal ile gerçeğin birleştiği melez bir dünya olarak görülen bu teknoloji tüketicilere kişiselleşmiş, sürükleyici alışveriş deneyimleri yaşatmaktadır. Literatürde Metaverse teknolojisi ile ilgili olarak yapılan az sayıda araştırmalarda tüketicilerin Metaverse teknolojisi ile ilgili yaklaşımını ortaya çıkarmak için Yeniliklerin Yayılması, Planlanmış Davranış Teorisi, Teknoloji Kabul Modelinin farklı versiyonları ve Teknoloji Kabul ve Kullanım Birleştirilmiş Modeli gibi bazı teorilerin kullanıldığı görülmektedir. Teknoloji Kabul Modelinin yaygın bir şekilde kullanılmasının en önemli sebeplerinden biri ise basit, kolay ve anlaşılır olmasıdır. Bu çalışmada Teknoloji Kabul Modeli teorik çerçevesinde Metaverse ve tüketicilerin değişen davranışları ele alınarak tüketicilerin satın alma niyetleri üzerindeki yansımaları yorumlanmak istenmiştir. Bu sayede pazarlamacılar ve içerik üreticiler için bir çerçeve oluşturmak ve Metaverse teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte gelecekte bu konuda yapılacak ampirik çalışmalara zemin oluşturmak istenmiştir.

Anahtar Kelimeler— tüketiciler, pazarlama, teknoloji kabul modeli, metaverse, tüketici davranışı

Metaverse and Consumers in the Context of the Technology Acceptance Model

Abstract—The problem of interaction with consumers in marketing is one of the issues that businesses should always solve in the first place. At this point, when we look at the history, it is possible to see that the rate of change of the communication channels used progresses in parallel with the rate of change in technology. A similar turning point such as the internet and the developing social media network in the past is experienced today with Metaverse technology. According to some, this technology, which is seen as the three-dimensional state of the internet and a hybrid world where virtual and reality meet, provides consumers with personalized, immersive experiences. In the few studies on Metaverse technology in the literature, it is seen that some theories such as The Diffusion of Innovations, The Theory of Planned Behavior, different versions of The Technology Acceptance Model and The Unified Theory Acceptance and Use of Technology Model are used to reveal the consumers' approach to Metaverse technology. One of the most important reasons for the widespread use of the Technology Acceptance Model is that it is simple, easy and understandable. In this study, within the theoretical framework of The Technology Acceptance Model, Metaverse and changing behaviors of consumers are discussed and the reflections on consumers' purchasing intentions are interpreted. In this way, it was aimed to create a framework for marketers and content producers and to lay the groundwork for future empirical studies on this subject with the spread of Metaverse technology.

Keywords— consumers, marketing, technology acceptance model, metaverse, consumer behavior

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojik gelişmelerin hızını kesmeden devam ettiği günümüzde bu duruma bağlı olarak pazarlama alanında da önemli değişimler yaşanmaktadır [1]. Bu değişimler ışığında pazarlama dünyasında her zaman tüketiciler odak noktası olmuştur. Hedef kitleye en etkili, en hızlı şekilde ve en az maliyetle ulaşmanın yollarını bulmak şirketlerin temel amaçlarından biridir. Çünkü bu sayede sektörel açıdan rekabet edebilmekte ve varlıklarını devam ettirmektedirler.

Bu güne kadar teknoloji alanında yaşanan büyük gelişmeler insanoğlunun hayatını bir seviye daha kolaylaştırmıştır. Bu teknolojik atılımları son kullanıcı üzerindeki etkileri açısından incelendiğimizde ise temelde dört dönüm noktası görülmektedir. Birincisi kişisel bilgisayarlar, ikincisi internet ve üçüncüsü mobil telefonlardır. Bugün dördüncü dönüm noktası sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik gibi teknolojilerle desteklenen ve gerçek hayatın sanal yansımaları sunan Metaverse olarak düşünülmektedir.

Ancak Metaverse zengin içeriği ve karmaşıklığı yüzünden anlaşılması zor bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. 1980'li yıllarda internetin girişiyle onu günlük hayatta nereye konumlandırılacağı bilinemediği gibi bugün Metaverse teknolojisinin de nasıl kullanılacağı tam anlamıyla netleştirilememektedir. Aslında hayatı kolaylaştırdığı görülen bu tür teknolojileri kullanmanın faydalarından yararlanılırken, diğer taraftan bu hızlı gelişmelere ayak uyduramamanın endişesi yaşanmaktadır. Çünkü teknoloji her geçen gün üst seviye bir hızla gelişmektedir ve pazarlamada birçok firma bu hızla ayak uydurmakta zorlanmaktadır [2]. Ancak büyük işletmeler bir teknolojiden yeni bir teknolojiye geçişte hızlı davranmakta ve ileride arka saflarda kalmamak için bu yeni teknolojileri bünyelerine hızlı bir şekilde entegre etmek istemektedir.

Bu çalışmada Teknoloji Kabul Modeli çerçevesinde Metaverse, tüketici beklentilerinde yaşanan farklılaşmalar ve yeni pazarlama anlayışı ele alınmaktadır. Bu sebeple Teknoloji Kabul Modeli ve Metaverse konularında kavramsal bilgiler verilerek Metaverse ile ilgili tüketici deneyimleri ele alınmakta, farklılaşan tüketici gereksinimleri ve bu gereksinimlere karşılık pazarlama alanında geliştirilen çözümler yorumlanarak Metaverse'ün tüketici niyetlerini nasıl şekillendireceği konusu literatürde yapılan çalışmalar kapsamında incelenmektedir. Bu sayede içerik hazırlayıcılar ve pazarlamacılar için bir çerçeve oluşturularak gelecekte yapılacak ampirik çalışmalara zemin hazırlanacaktır.

2. TEKNOLOJİ KABUL MODELİ ÇERÇEVESİNDE METAVERSE VE TÜKETİCİLER (METAVERSE AND CONSUMERS IN THE FRAMEWORK OF THE TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL)

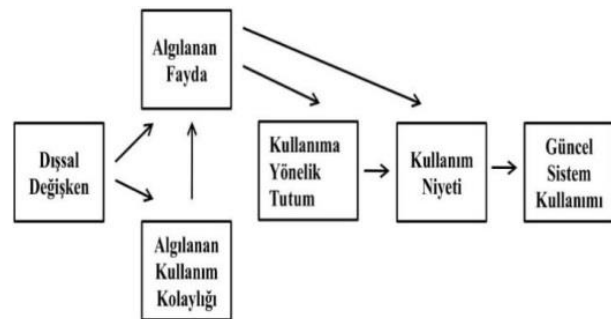
2.1. Teknoloji Kabul Modeli ve Satın Alma Niyeti (Technology Acceptance Model and Purchase Intent)

Tarih boyunca insanoğlunun ortaya çıkan yeni teknolojilere karşı tutumu, tepkisi ve kabul süreci merak konusu olmuştur [3]. Bu kapsamda yapılan araştırmalar genellikle sosyolojik ve psikolojik teorilere dayandırılmıştır. Bu araştırma kapsamında ele alınacak olan Teknoloji Kabul Modeli 1975 yılında Fishbein ve Ajzen [4] tarafından ortaya atılan gerekçeli eylem teorisine kadar uzanmaktadır [5]. Gerekçeli eylem modeli insan davranışı her zaman belirli sebeplerle ortaya çıktığını ve çevrelerinden alacakları dönüte göre şekillendiğini savunmaktadır. Modele göre insan eylemlerinin kendi davranış ve niyetini etkilediği varsayımına dayanan algılanan davranış kontrol değişkeni söz konusu davranışa etki etmektedir [6].

Teknolojik gelişmelerin özellikle bilgi ve iletişim teknolojilerinin kabulü üzerine kurgulanan araştırmalarda insan davranışlarının büyük ölçüde etkilendiği inanç, tutum, niyet gibi faktörleri barındırması ayrıca basit ve anlaşılır olması sebebiyle Teknoloji Kabul Modeli en sık kullanılan teorik altyapı olarak karşımıza çıkmaktadır [7-12]. Diğer taraftan Teknoloji Kabul Modeli teorik ve ampirik bir çok çalışma ile desteklenmektedir [13].

Teknoloji Kabul Modeline göre, algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda bir teknolojinin kabul edilirliliğinin ortaya çıkartılmasında kullanılan ana değişkenlerdir. Ayrıca algılanan kullanım kolaylığı değişkeninin algılanan fayda üzerinde etkili olduğu ifade edilmektedir. Bu iki ana değişkenin de birlikte geliştirilen tutum üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Tutum ve algılanan fayda ise davranış niyetine etki etmektedir. Son olarak niyet aktif kullanıma etki etmektedir [14]. Ancak daha sonra yapılan çalışmalarla tutumun aracılık etkisinin sınırlı kaldığı anlaşılmış ve modelden çıkarılmıştır [15].

Literatüre baktığımızda Teknoloji Kabul Modelinin genişletilmiş versiyonları Teknoloji Kabul Modeli 2 [15] ve Teknoloji Kabul Modeli 3 [16] ortaya atılmıştır ve iki modelde de tutum değişkeni kullanılmamıştır. Bu sebeple modelin temel alındığı çalışmaların bazılarında tutum değişkeninin kullanıldığı bazılarında kullanılmadığı göze çarpmaktadır. Bu araştırma boyunca da tutum değişkenine değinilmeyecektir.



Şekil 1. Davis (1986)

Aynı zamanda Davis (1989) [14] tarafından geliştirilen temel Teknoloji Kabul Modelini farklı değişkenler açısından ele alan ancak Tam2 ve Tam3 modellerinde olduğu gibi teori haline getirilmeyen ve “Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeli” olarak ifade edilen farklı modellerde vardır [17-22]. Bu çalışmada da teorik çerçevede Teknoloji Kabul Modeli ele alınarak farklı bazı değişkenler incelenmek istenmiştir. Temel olarak Davis’in geliştirdiği Teknoloji Kabul Modeli değişkenleri; algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, kullanmaya niyet ve aktif kullanım şeklinde kategorize edilmektedir.

Aktif kullanım; eylemin içeriğine ve amacına göre değişmekle birlikte tekrarı olan ve zamana göre değişim gösteren eylem anlamında kullanılmaktadır [23]. Davis (1986) [23] yılında yaptığı çalışmada algılanan fayda değişkeninin aktif kullanım üzerinde doğrudan ve dolaylı etkisi olduğunu ifade etmektedir.

Algılanan kullanım kolaylığı; kullanıcının verilen teknolojiye karşı olan tutumu ve o teknolojinin kullanım kolaylığı hakkındaki algısını ifade etmektedir [24-26]. Teknoloji Kabul Modelinde algılanan kullanım kolaylığı aynı zamanda algılanan faydayı yordamak için kullanılmaktadır [27]. Kullanım kolaylığı ile ilgili pozitif bir algı gelişmesi için kullanıcının belirtilen teknolojiye gereğinden fazla zihinsel ya da fiziksel performans göstermemesi gerekmektedir. Ayrıca kullanıcının teknoloji ile etkileşim kurabilmeyi kolay öğrenmesi ve onu kullanırken herhangi bir istenmeyen durum ile karşılaşmaması beklenmektedir [28].

Pazarlama alanında ise Teknoloji Kabul Modelinin teorik çerçeve olarak kullanıldığı çalışmalarda algılanan kullanım kolaylığının tüketicilerin alışveriş niyetleri üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak pozitif etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir [29-32]. Teknoloji Kabul Modelinin temel değişkenlerinden biri olan algılanan kullanım kolaylığı tüketici davranışları çerçevesinde, tüketicilerin alışveriş süresince çok çaba sarf etmeyeceğine olan inancı ile ilgilidir. Diğer bir ifade ile algılanan kullanım kolaylığı tüketicinin satın alma deneyiminden daha çok satın alma davranışının gerçekleştiği süreçle ilgili algılarını kapsamaktadır [33].

Algılanan fayda; kullanılması beklenen teknolojinin kullanıcının gerçekleştirmek istediği eylem yönünde performansını arttıracığına olan inancı ve ona karşı algısı ile ilgilidir [34]. Davis (1986) [23] yaptığı çalışmalar sonucunda, algılanan faydanın aktif kullanıma doğrudan ve tutum aracılığıyla dolaylı olarak etkisi olduğunu tespit etmiştir. Tüketiciler açısından ise özellikle çevrimiçi teknolojiler düşünüldüğünde algılanan fayda satın alma niyeti üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir [35]. Diğer bir ifade ile önerilen teknolojinin bir işin daha iyi yapılmasına yardımcı olduğu gerçeği, insanları o teknolojiyi kullanmaya yönelteceği düşünülmektedir [36]. Dolayısıyla tüketicilerin özellikle çevrimiçi platformlarda satın alma davranışını gerçekleştiren kullanılması beklenen teknoloji veya sistem ile ilgili algıladıkları

fayda, onların satın alma niyetlerine pozitif yönde etki etmektedir [37]. Diğer taraftan tüketicinin satın alma niyeti üzerinde algılanan faydanın etkisi birçok deneysel çalışma ile desteklenmektedir [38-40].

Algılanan kullanım kolaylığı değişkeni ile algılanan fayda değişkeni arasındaki ilişkinin incelendiği birçok çalışmada ise pozitif yönlü bir ilişki tespit edildiği görülmektedir [41-48]. Algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığı değişkenleri arasındaki pozitif yönlü ilişki Teknoloji Kabul Modelinin babası olarak kabul edilen Davis (1986) [23] yaptığı çalışmalara kadar dayanmaktadır. Burada temel görüş kullanıcı için önerilen teknolojinin kullanımı ne kadar basit ve kolay ise kullanım sonrası elde edilen fayda o kadar fazladır [46].

Son on yılda yapılan çalışmalara baktığımızda algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda değişkenlerinin kullanıcı niyetine doğrudan veya dolaylı olarak etkisi olduğu gözlemlenmektedir. Bir teknolojiye karşı oluşturulan tutum ve bu tutum sonucunda geliştirilen davranışsal niyet o teknolojinin kullanılması veya reddedilmesini sağlamaktadır. Davranışsal niyet kişinin o teknolojiyi kullanmaya ne kadar istekli olduğu ile ilgilidir [54]. Bu durumda bir teknolojinin kullanım kolaylığı ve o teknolojinin sunduğu fayda, kullanıcının teknolojiye karşı pozitif bir tutum geliştirmesine ve o teknolojiyi kullanma niyetine pozitif yönde etki etmesine sebep olmaktadır.

Bu perspektiften bakıldığında Metaverse teknolojisini kullanıcılar onu keşfetme yönünde sunduğu merak duygusu ve elde edilen haz, algılanan kullanım kolaylığını ve algılanan fayda üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Sonuç olarak Teknoloji Kabul Modelinin algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda gibi iki önemli değişkeni Metaverse teknolojiye olumlu bir tutum geliştirmeyi sağlamaktadır. Böylece kullanıcıların Metaverse teknolojisini kullanma niyeti artmaktadır [28]. Bu amaçla yürütülen çalışmalar özellikle algılanan fayda açısından kullanıcıların Metaverse teknolojisini kullanmaya devam edeceğini göstermektedir [28].

Metaverse barındırdığı teknolojiler sayesinde tüketicilere alışık olduğu gerçeklik algısından uzaklaştırmadan alışveriş deneyimi sağlamakta ve bu süreci kolaylaştırmaktadır. Diğer bir ifade ile Metaverse tüketicilerin daha fazla bilgiye ulaşma (kişisel alışveriş asistanı aracılığıyla), alternatifleri arasından karşılaştırma yapma, diğer tüketicilerle etkileşime girme, onların deneyimlerinden yararlanma ve işletmelerle eşzamanlı etkileşime geçme vb. satın alma niyetlerini belirleyen süreçlerini çok daha kolay hale getirmektedir [48]. Ayrıca çevrimiçi alışveriş deneyimini daha eğlenceli daha sürükleyici ve mümkün olduğu kadar kişisel hale getirerek tüketicilerin satın alma niyetleri üzerinde devrim niteliğinde etkiler yaratabilmektedir. Çünkü tüketicilere konfor alanından çıkmadan dünyanın öbür ucundaki başka bir yerde gerçek bir alışveriş deneyimi yaşatma fırsatı sunmaktadır.

Metaverse teknolojisi ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda tüketicilerin bu teknolojiye olan yaklaşımını anlamak için Yeniliklerin Yayılması, Planlanmış Davranış Teorisi, Teknoloji Kabul Modelinin farklı versiyonları ve Teknoloji Kabul ve Kullanım Birleştirilmiş Modeli gibi bazı teorilerin kullanıldığı görülmektedir. Teknoloji Kabul Modelinin yaygın bir şekilde kullanılmasının en önemli sebeplerinden biri ise basit ve kolay anlaşılır olmasıdır [48].

2.2. Metaverse Kavramı (Metaverse Concept)

Bugün Metaverse hızla gelişen teknolojinin en önemli yansımalarından biridir. Zaman içinde teknoloji akıl almaz bir şekilde genişleyerek, insanların sürükleyici sanal ortam uygulamalarıyla uzun zamanlar geçirmesini ve gerçek dünyanın yansması hatta alternatifi olan paralel bir dünya ile etkileşim içinde olmasını sağlayan bir sınıra ulaşmıştır [49]. Diğer bir ifade ile Metaverse, fiziki gerçeklikle dijitalleşmenin sunduğu sanallık arasındaki köprüyü inşa eden birden fazla kullanıcının etkileşim içinde olduğu alternatif bir evren haline gelmiştir.

Genel olarak Metaverse kavramının ilk olarak Neal Stephenson (1992) yılında insanların üç boyutlu sanal bir çevrede kendilerini yansıtan bir avatar yardımıyla çevrimiçi olduğunu anlatan “Snow Crash” isimli bilim kurgu romanında ifade edildiği söylenmektedir [50-51]. Bir asır sonra Roblox’un halka arz olması, meta veri deposu oluşturması [52] ve daha sonra Mark Zuckerberg tarafından Facebook’un kendisini meta olarak tanımlaması kavramın popülaritesini arttırmıştır. Bugün Metaverse heyecanını destekleyen iki sebep olduğu düşünülmektedir. Birincisi, pandemi ile birlikte sosyal etkileşimin temassız bir ortamda sürdürülebilirliği, ikincisi ise altyapı teknolojilerinin önemli derecede gelişmesiyle bu 3D ortama olanak sağlaması olarak ifade edilmektedir [53]. Bir bilim kurgu romanın ütopyası olarak ortaya çıkan Metaverse, gelişen teknolojik altyapı ve blokzinciri ile kullanıcılara gerçek yaşam yansması sunmaktadır.

Metaverse, ultra hızlı internet ortamı sağlanmadan tam olarak amacına ulaşamayacaktır. Örneğin; otuz yıl kadar öncesinde “Snow Crash” romanından esinlenen yazılımcılar çizim avatarlar sayesinde başka kullanıcılarla etkileşime geçilebilen çevrimiçi “Second Life” platformunu yaratmıştır. Ancak bu teknoloji, o zaman interneti cebimize kadar indiren akıllı telefonlar yaygın olmadığı için zaman ve mekân sınırlamasından sıyrılamamış daha sonra ilgiyi kaybetmiştir. İnternetin somutlaştırılmış hali olarak tanımlanan Metaverse teknolojisinde, kullanıcılar yansma bir üç boyutlu dünyaya yerleştirilerek, internetin tamda ortasında diğer bir deyişle kendi içinde var olmaktadır [47].

“Meta” ve “Verse” kelimesinin birleşiminde oluşan bu kelime evren ötesi anlamıyla insanlara fiziki yaşamın ötesinde alternatif bir dünyayı ifade etmektedir. Üç

boyutlu çevrimiçi bu dünyada, insanlar kendileri için seçtikleri dijital avatarları aracılığıyla birbirleri ile iletişime geçerek, interaktif bir şekilde etkileşimde bulunabilmektedir. Oyundan eğitime, ticaretten sanata farklı alanlarda faaliyetlerde bulunabildikleri bu dünyada insanlar alışveriş yapabilmekte, arkadaşlarıyla konsere gidebilmekte, iş toplantıları düzenleyebilmekte, konferanslara katılabilmekte, sergi gezebilmekte veya moda defilesi izleyebilmektedir [54].

Metaverse Roadmap 2007 yılında Metaverse kavramını tanımlamak için ilk adımı atarak onu ayna dünya, sanal dünya, artırılmış gerçeklik gibi terimlerle sınıflandırmış ve akademik zemini hazırlamıştır [53-55].



Şekil 2: Metaverse gelişim evreleri (Duan, Li, Fan, Lin, Wu ve Cai, 2021) [56]

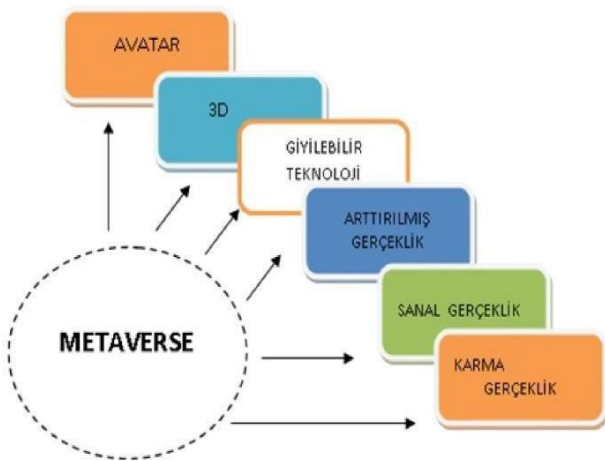
Literatüre baktığımızda Metaverse kavramı ile ilgili olarak -çıkış noktası haricinde- kullanım alanları, fonksiyonları ve katkıları ile ilgili hala ortak bir düşünce oluşmamıştır. Metaverse teknolojisine karşı eleştirel bazı bakış açılarına göre bu teknoloji “heyecan verici” vaadiyle insanların hayatlarını kontrol altına alarak onları tüketimin kara deliğine sürükleyecek sanal bir dünya olarak görülmektedir [53]. Ancak diğer bazı araştırmacılara göre ise bu teknoloji internetin yerini alacak ve hayatımızın önemli bir parçası haline gelecek alternatif bir dünya olarak ifade edilmektedir [57].

Arttırılmış gerçeklik ve internetin bir araya getirilmesi sayesinde sanal dünyalar oluşturulduğu bilinmektedir [58]. Metaverse teknolojisi de kalıcı, etkileşimli, çoklu kullanıcı özelliği olan ve birçok sanal dünyanın sentezlenmesiyle oluşan kullanıcıların rahatlıkla geçiş yapabildiği paralel bir gerçeklik olarak ifade edilmektedir. Metaverse temelde arttırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik teknolojilerini içeriyor olsa da blokzinciri, yapay zekâ, 5G, B5G gibi üst seviye teknolojilerle desteklenerek gerçek dünya ile sanal dünya arasındaki sınırı ortadan kaldırmaktadır [53]. Metaverse dünyasını oluşturan meta veri deposu, dijital avatarların sanal dünyadaki diğer

kullanıcılarla paylaşılabilirliği, senkronize hareket edebildiği, iletişim kurabildiği, eş zamanlı ve aktif bir şekilde etkileşime geçebildiği bir ağ alt yapısıdır [53]. Bu ağ alt yapısı ile Metaverse, kullanıcılara sanal dünyalarında içerik üretmelerine ve bunu diğer dünyalara dağıtmasına izin vermektedir [55]. Ultra hızlı internet, yapay zekâ, artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojileri meta veri deposunu oluşturan önemli unsurlardır. Sanal gerçeklikle karıştırılan Metaverse ise her yönüyle çok daha ileridir. Kullanıcılara gerçeklik hissi veren sosyal ve kültürel aktiviteleri gerçekleştirme imkânı sunan evirilmiş bir teknolojidir [59]. Ancak, meta veri deposu henüz kaydettiği ilerlemenin en başında olduğu için onun gelişmiş görsel yapısı özellikleri veya etkileşimi hakkında ayrıntılı araştırma yoktur [60].

Metaverse teknolojisinin istenilen seviyeye ulaşması için bazı aşamalardan geçmesi gerektiği düşünülmektedir. İlk olarak sanal dünyanın gerçek dünyaya ayna olabilmesi için çok sayıda dijital kopyaların oluşturulması gerekmektedir [61]. Sonraki aşamada kullanıcılar avaturları aracılığıyla sanal dünya düzenini oluşturmak için dijital yerliler olarak görev almalıdır. Son ve en önemli aşamada ise dijital-gerçek bağlantısının kurulması gerekmektedir. Böylece sanal dünya ile gerçek dünya arasında köprü görevini üstlenecek teknoloji olarak Metaverse oluşacaktır [57].

Artırılmış gerçeklik, yaşam günlüğü, ayna dünyalar ve sanal dünyalar Metaverse ekosisteminin dört temel senaryosunu oluşturmaktadır [55]. Bu gün Metaverse kullanıcıları gerçek yaşam hissi veren deneyimleri artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, karma gerçeklik ve genişletilmiş gerçeklik gibi çeşitli kavram ve teknolojiler sayesinde hayata geçirmektedir [62-65].



Şekil 3. Metaverse Bileşenleri

Ayna Dünyalar ve Sanal Gerçeklik: Kullanıcıları gerçek dünyadan ayırarak onları sürükleyici sanal ortamlarda etkileşim kurmasını sağlayan sanal gerçeklik, Metaverse teknolojisinin en önemli yapı taşıdır [66]. Karmaşık ve sürükleyici olmasının yanında sanal gerçeklik teknolojileri kullanıcılar için gerçek zamanlı etkileşim

fırsatları sunmaktadır. Bu teknolojiler aynı zamanda firmalar için markalarına yönelik tüketici davranışlarını yönlendirme ve hedef kitle ile yakından etkileşim kurma imkânı sağlamaktadır [67]. Eğitimden siyasete, politikadan sanata, spordan sağlığa ve pazarlamaya kadar birçok sektörde kullanılan sanal gerçeklik kullanıcıların gerçek hayatta olduğu var olması varsayımına dayanmaktadır [43]. Gerçek dünyadaki yaşamı gerçekliğini yitirmeden sanal dünyaya yansıtma, sanal gerçeklik kavramının ayna dünyalar kavramına karşılık gelen bir özelliğidir [68].

Artırılmış gerçeklik; gerçek fiziksel dünya ile etkileşim kurmayı sağlayan bir arenadır. Bu teknoloji kullanıcıların fiziksel çevresinin konumlama sistemi ve arayüzler aracılığıyla zenginleştirilmesini sağlamaktadır Artırılmış gerçeklik pazarlama, oyun, ev dekorasyonu, reklam gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Sanal gerçeklikte olduğu gibi gerçeklikle yer değiştirmenin aksine onu tamamlamaktadır.

Avatar; sanal dünyaların gerçek dünyanın yansıtması ve giderek büyümesi ile birlikte kullanıcıların kendilerinin özelliklerini taşıyan ve onları temsil eden bu yönüyle kişiselleştirilen karakterlere sahip olması gerekmektedir [50]. Kullanıcılar tarafından tasarlanan avaturlar sanal dünyada diğer kullanıcılar açısından önemli bir etkiye sahip olmaktadır [69]. Kullanıcıların fiziksel gerçekliğiyle avaturlarını karşılaştırdığında avaturlarının sosyal ve ekonomik yeteneklerinin çok daha hızlı geliştiği söylenmektedir [70]. Bugün dijital platformlarda sıklıkla karşılaştığımız avatar teknolojileri, özellikle Metaverse, video oyunları, eğitim, tıp ve eğlence alanlarında var olan uygulamalar olarak görülmektedir

Yaşam günlüğü; yaşam günlüklerinde kullanıcıların durumlarını, hayat hikâyelerini, günlük yaşam deneyimlerini gözleme, depolama ve paylaşma imkânı sunulmaktadır. Samsung Health gibi teknolojiler, uygulama örneklerindedir.

Giyilebilen teknolojiler sayesinde insanlara gerçek yaşam hissi veren üç boyutlu bu platformların Metaverse ile sunulan faaliyet (sosyal, kültürel, ekonomik, politik) çeşitliliğini arttırdığı söylenmektedir [68]. Farklı teknolojileri (5G, bulut teknolojileri, kriptoloji, yapay zekâ) bir araya getirerek kullanıcılara kendine özel deneyimler yaşamasını sağlayan Metaverse teknolojisinin oldukça sürükleyici bir özelliğe de sahip olduğu düşünülmektedir [63].

Bazı kaynaklarda Metaverse “internetin ortaya çıktığı günden beri pazarlama dünyası için büyük bir fırsat” olarak ifade edilmektedir. Metaverse teknolojisinin dijital evrenle gerçek evreni kusursuz bir şekilde harmanlayarak günlük yaşama nüfuz ettiği ve bu sebeple gerçek ve sanal deneyim arasındaki ikiliği belirsizleştirdiği ifade edilmektedir [71]. Bazılarına göre alternatif gerçeklik bazılarına göre sanal dünya olarak tanımlanan Metaverse fiziksel ve dijital dünyanın kombine edildiği yeni bir dünya olarak düşünülmektedir [72].

Metaverse bizlere sosyal medya veya internetin yerini almayı vadetmemektedir. Onun yerine gerçek dünyanın yansması üç boyutlu bir alan oluşturarak kullanıcılarına ileri seviye internet ve sosyal medya deneyimleri sağlamaktadır. Bugün “Roblox” ve “Fortnite” gibi çevrimiçi oyunlar belirli bir demografik grup için Metaverse’ü yaygınlaştırmıştır. Bu kapsamda gerçek dünya işletmeleri için Metaverse özellikle Z ve Alfa kuşağı ile doğrudan bağlantı kurmaya yönelik önemli bir ekosistem olarak düşünülebilir. Operasyonel yeteneklerini geliştirmek isteyen ve Metaverse ile ilgilenen şirketler bu fikrin kullanıcı deneyimini zenginleştirilmesi açısından doğru bir strateji uygulamaktadır. Çünkü Metaverse kullanıcıları dinamik olarak diğer kullanıcılarla ve nesnelere etkileşime geçebilmektedir.

Şirketler dijital avatarlar yardımıyla etkileşimli toplantılar düzenleyen operasyonel faaliyetleri dışında pazarlama alanında da bu teknolojinin avantajlarından faydalanmak istemektedirler. Sektörlerinde rekabet üstünlüğü sağlamak isteyen dünyaca ünlü markalar ve işletmeler şimdiden Metaverse için planlarını ilan etmekte ve bu durumun sıklığı her geçen gün artmaktadır.

Bugün şirketlerin ve markaların her yönüyle homojen hale gelen tüketicilere bir ürün sağlaması veya hizmet sunması onları memnun etmek için tek başına yeterli faaliyetler değildir. Ayrıca, yerel ve küresel pazarlamada rekabetin üst seviyeye çıktığı bilinmektedir [2]. Bu durumun farkında olan bazı büyük organizasyonlar tüketicilerine Metaverse dünyalarını tanıtmakta ve ortalama bir tüketicinin kendi özelliklerini yansıtan avatarları aracılığıyla başkaları ile etkileşim kurmalarını ve sanal topluluklar oluşturmalarını sağlamaktadır. Bu tüketiciler dijital para birimleriyle (NFT) markalardan alışveriş yapabilmektedir. Tüm bunlar kulağa bilim kurgu gibi geliyor olsa da derine baktığımızda bunu sağlayacak teknolojilere ve daha fazlasına sahip olduğumuzu görmekteyiz

Dünyaca ünlü bazı markalar (Gucci, Luisvation) Metaverse dünyasında marka tanıtımlarının yanında doğrudan ürün satımı bile yapmaktadır [73]. Gucci artırılmış Metaverse hizmeti sunan Zepeto’yu kullanılarak, yeni nesil kuşağı hedef kitle olarak belirlemiş, onları çekmek için Metaverse platformu ile uyumlu ürünler sunmuş ve hizmetler geliştirmiştir [74]. Balenciaga ve Burberry markası spor ayakkabı ve sırt çantaları için Fortnite ile anlaşma yapmış ve ürünlerini Fortnite evreninde müşterileri tarafından denenebilir hale getirmiştir. Nike ve Adidas markası artırılmış gerçeklik teknolojisi ile tüketicilerinin bazı ayakkabı modellerini denemelerine olanak vermiştir. Teknolojik atılımlar bu hızla artmaya devam ettikçe Metaverse uygulamalarının sektörde daha etkili olması beklenmektedir. Özellikle bu teknolojinin pazarlamayı, müşteri memnuniyetini, etkileşimi, müşteri karar verme süreçlerini ve müşteri deneyimlerini geliştirmesinin muhtemel olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Metaverse teknolojisinin içerdiği sürükleyici teknolojiler sayesinde müşterilerine

kendi konfor alanında ürün deneyimleme imkânı sunmak konusunda giderek daha etkin olacağı düşünülmektedir.

Metaverse dünyasının gerçek dünya ile karşılaştırıldığında en çarpıcı avantajının, tek engelin tüketicilerin kendi hayal dünyası olduğu sınırsız bir çevre ortaya koyması şeklinde ifade edilmektedir [74]. Bazı araştırmacılara göre 2026 yılında bireylerin %25 i günde en az bir saatini Metaverse dünyasında çalışmak, öğrenmek, eğlenmek ve alışveriş yapmak için zaman geçireceklerdir [74].

2.3. Tüketiciler ve Metaverse (Consumers and the Metaverse)

Bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler ve küreselleşmenin etkileri ile birlikte tüketimde anlayış değişmiş ve deneyimleme kavramı önemli bir hale gelmiştir. Modern pazarlama dünyasında tüketicilerin bireysel ilgi, ihtiyaç ve arzuları odak noktası olmuştur. Bu ilgi ve ihtiyaçları karşılamak için ise yeni pazarlama stratejilerine ihtiyaç duyulmuştur. İşletmeler tüketici nazarında farkını ortaya koyabilmek için ürün ve hizmetlerini deneyimlemelerle zenginleştirmeye başlamışlardır [76].

Bu anlamda Metaverse tüketicilere, gerçek ile sanal arasında sorunsuz geçişler sağlayarak haz verici sanal deneyimler yaşatmaktadır. Çünkü teknolojinin geldiği nokta sayesinde kullanıcılar buldukları an oldukları çevre ile ilgili bir yanılsama halindedirler ve bu durumda deneyimlerin gerçeğini sanalından ayırmak çok güçtür. Sanal dünyanın kontrolünün kullanıcı yani tüketicinin elinde olması kişiye özel, kendi ihtiyaçlarını yansıtan ve bağlama duyarlı deneyimler oluşturmalarını desteklemektedir. Böylece tüketiciler kolay erişilebilir, kişiselleşmiş ve sürükleyici sanal ortamlar sayesinde memnuniyetlerini arttırabilmektedir. Diğer taraftan Metaverse zaman ve mekân kısıtlamasını azaltarak daha fazla kişiselleşmeyi, aktif katılımı ve özelleşmeyi arttırmakta ve böylece tüketiciler ve sağlayıcılar arasındaki ilişkiyi geliştirmektedir [77]. Ayrıca Metaverse teknolojisinin canlılık özelliği müşterilerine gelecekte bir ürünle olacak etkileşimlerini öngörmeyi sağlamaktadır.

Tüketicilerin etkileşimde bulunduğu alanda çeşitli uyarılar tarafından bilişsel, duygusal ve davranışsal tepkilerinin yönlendirilmesi ve bu tepkilerin zamanla genelleşerek tutuma dönüşmesi tüketici deneyimini ifade etmektedir. Geleneksel tüketici deneyimi yüz yüze etkileşimle desteklenen en temel tüketici deneyimi şeklindedir. Teknoloji destekli tüketici deneyimi ise Web 1.0 teknolojilerinin yaygın kullanımıyla ortaya çıkan, genellikle teknolojinin yardımcı rolünde olduğu bir deneyim alanını kapsamaktadır. Örneğin; işletme web siteleri, temel otomasyon programları gibi. Teknoloji ile geliştirilmiş tüketici deneyimleri ise sosyal medya, dinamik web siteleri, Android destekli cihazlar, içerik üreticilerin kullanıcı olduğu sistemler gibi Web 2.0 teknolojilerin tüketici faaliyetlerinin karar verme ve gerçekleştirilme aşamasında sahnede olduğu, tüketicinin

aktif katılım gösterdiği deneyim türü olarak ifade edilmektedir [78].

Metaverse ve içerdiği teknolojilerin (sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, karma gerçeklik) daha fazla gelişip, yaygınlaşarak insanların günlük hayatına nüfuz etmesiyle tüketiciler alışveriş süreçlerini üç boyutlu çevrimiçi ortamlarda farklı bir deneyim ile gerçekleştirebilecektir. Bunun sebebi Metaverse teknolojisinin tüketicilere sürdürülebilir ve sürükleyici bir sosyal bağlamda ürünleri deneme fırsatı sunmasıdır [68].

Metaverse’te artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik teknolojilerin pazarlama alanında kullanılmasıyla birlikte gerçeklik hissi veren sanal ortamlar yaratılmıştır [50]. Karma gerçeklik teknolojisi ise artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik teknolojilerinin entegre edildiği gerçek ile sanal arasındaki ayrımı silikleştiren bir 3D teknolojisidir [79]. Aslında sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik teknolojilerinden her biri Metaverse dünyasını oluşturan teknolojileri değil, onu deneyimlemenin farklı yollarını temsil etmektedir [71]. Karma gerçeklik teknolojisi gerçek ve sanal arasında köprü oluşturarak melez bir alan ortaya çıkarmaktadır [80]. Karma gerçeklik teknolojisinin kullanıldığı Metaverse’ün ortaya çıkardığı sanal âlemden kullanıcılar çalışma, sosyalleşme, eğlence, eğitim gibi bir dizi faaliyetlerini gerçekleştirebilmektedir [78]. Fiziksel tüketici deneyimlerinin bu tür gelişmiş teknolojilerle desteklenmesi onların duygusal, bilişsel ve davranışsal tepkilerini geliştirdiği ifade edilmektedir [81]. Tüm bu tanımlamalardan yola çıkarak anlıyoruz ki Metaverse, fiziksel ve dijital ortamı geliştirilmiş teknolojiler ile eşzamanlı birbirine bağlayarak, tüketiciler için birlikte faaliyet gösterilebilir bir ortam sunmaktadır.

Son otuz yılda tüketici deneyimleri hakkında çok fazla araştırma yapılmıştır. Ancak deneyim kelimesi ifade ettiğinden çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Holbrook ve Hirschman (1982) [82] yılında tüketimin duygusal, dürtüsel ve hıza dayalı yönünü vurgularken, Getz (2007) [83] ise tüketimin bilişsel, göreve dayalı ve farkındalığı yüksek yönünü ortaya çıkarmıştır. Tüketici deneyimi tüketici-ürün, tüketici-tüketici, tüketici-firma olmak üzere bir dizi etkileşimin sonucu olarak oluşmaktadır [81]. Metaverse teknolojisi sayesinde işletmeler tüketicilerin ürün veya hizmetten beklentilerini ve diğerleriyle olan etkileşimlerini karşılamaktadır. Üstelik tüketiciler bu yolculuğa duygusal, bilişsel ve fiziksel olarak çeşitli seviyelerde katılmakta ve kendi öznel deneyimlerini oluşturmaktadırlar.

Teknolojik yenilikleri ilk benimseyenler Metaverse dünyasının tanıtılmasının sanal gerçeklik deneyimini daha da geliştireceğine inanmaktadır. Şüpheli bakan bazı araştırmacılara göre ise tüketiciler için Metaverse deneyimlerinin biyolojik ve fiziksel sınırlamalar sebebiyle gerçek dünya deneyimleriyle aynı olamamaktadır.

Ancak tüketici deneyimi ile tüketici memnuniyeti karıştırılmamalıdır. Çünkü deneyim bilişsel duygusal ve

davranışsal faktörlerin toplamından oluşmaktadır. Biyolojik ve fiziksel sınırlamalar bu olguların hepsinin aynı anda oluşmasına engel olabilmektedir [2]. Buna rağmen Metaverse sayesinde kendi öznel deneyimlerini oluşturabilen müşterilerin memnuniyet seviyelerinin yükseldiği ifade edilmektedir [83].

Metaverse teknolojinin doğası gereği her tüketicinin Metaverse dünyasındaki deneyimi kendine özel olarak farklılaşmaktadır. Bu özellik tüketici deneyimini arttırmak için hayati önem taşımaktadır. Çünkü tüketici portföyünün çok çeşitli olması tüketicinin memnuniyetini ve sadakatini arttırmaktadır. Ayrıca Metaverse dünyasında şimdiden var olmak markalar için kendi tüketicileri tarafından farklı bir kimliğe sahip olduğu hissi uyandırmaktadır [2].

Rekabetin üst seviyede olduğu pazarlama dünyasında, firmaların avantaj elde edebilmesi için her zaman tüketicilerle etkileşim kurması ve bağlantı halinde olması gerekmektedir. Bu bağlantının gücü ise marka performansı, ürünün veya hizmetin kalitesi, tüketicinin memnuniyeti gibi çeşitli etmenlere göre değişiklik göstermektedir. Bu kapsamda her şeyin bir tık uzakta olduğu, bilgiye erişmenin müthiş hızlandığı günümüzde markalar için geleneksel yollarla tüketicileri kendine çekmenin çok zor olduğu ifade edilmektedir [84].

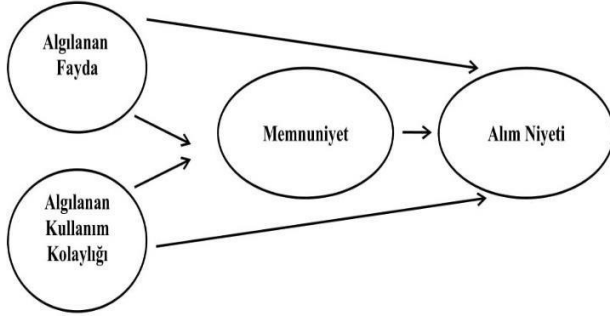
Markaların, marka bilinirliğini sağlamak, tüketicileri memnun etmek ve kendine bağlayarak onları müşterileri haline getirmek için alternatif yollar keşfetmesi gerekmektedir. Çünkü günümüzde müşterilerin istek ve ihtiyaçları çok değişken bir hal almıştır [2]. Metaverse teknolojisi ise genel kullanım için henüz hazır değildir. Ancak teknolojiyi erken benimseyenler için bu kişiselleştirilmiş pazarlama deneyimi memnuniyet açısından bulunmaz bir fırsattır.

2.4. Metaverse Dünyasında Tüketici Memnuniyeti ve Satın Alma Niyeti (Consumer Satisfaction and Purchasing Intent in the Metaverse World)

Pazarlama alanında tüketici memnuniyeti kişinin alışveriş deneyimlerinden ortaya çıkan haz duygusu olarak tanımlanmaktadır [85-87]. Günümüzde pazarlamanın temel amacı tüketicilerin istek ve arzularını tatmin etmektir. Müşteriyi elinde tutmak ve yeni müşteriler kazanmak şüphesiz ki onlara değer vermektir. Bu açıdan bakıldığında algılanan kullanım kolaylığı tüketicinin Metaverse teknolojisi ile gerçekleştirdiği alışveriş deneyiminden aldığı haz üzerinde önemli bir etkisi vardır [88]. Dünyanın herhangi bir yerinden evinin rahatlığında gerçek bir alışveriş deneyimi yaşayabilmek tüketici memnuniyeti açısından anahtar bir etkidir. Metaverse’ün içerdiği teknolojiler sayesinde tüketici arzu ettiği hizmet ve ürün ile kolayca etkileşime geçerek eğlenceli bir alışveriş deneyimi yaşamakta ve memnuniyet derecesi artarak alım kararı kolaylaşmaktadır [89-90]. Tüketici memnuniyeti, harekete geçme veya olasılıklara yanıt verme eğilimi olarak tanımlanmaktadır [91]. Bu bağlamda Metaverse

dünyasında tüketici memnuniyeti de kullanıcının kullanmaya devam etme veya başkalarına tavsiye etme isteği ile ölçülmektedir.

Pazarlama alanında memnuniyet değişkeninin dahil edildiği Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modelinin kullanıldığı ampirik çalışmalarda da algılanan fayda ve algılanan kullanım kolaylığı değişkenlerinin memnuniyeti ve dolayısıyla alım niyetini pozitif etkilediği desteklenmektedir [92].



Şekil 4. Genişletilmiş Teknoloji Kabul Modeli

Tüketicilerin sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik teknolojileri ile yaşadıkları alışveriş deneyimi onların memnuniyet derecesini yükseltmektedir. Kullanıcılar Metaverse dünyasına tüketici olarak dâhil olduklarında almak istedikleri ürün veya hizmetle ilgili zaman ve mekândan bağımsız olarak daha çok bilgi edinebilme şansı yakalamakta ve gerçek hayattaki gibi onu deneyimleyebilme şansı elde ederek tüketici memnuniyeti derecesi artmaktadır. Bugün çevrimiçi alışveriş deneyiminin iki boyutlu özelliğiyle sınırlı doğallık sunmasına rağmen çok tercih edildiği bilinmektedir. Ancak Metaverse'ün içerdiği teknolojiler kullanıcı arayüzlerini tamamlayan anlamlı teknolojiler olarak görülmektedir [93].

Tüketici memnuniyeti tüketicinin nihaiyi kararı için bir gösterge olarak kabul edilmekte ve bugün pazarlamanın en önemli konularından biri olduğu ifade edilmektedir. Memnuniyet derecesi yüksek müşterilerin alım niyetleri pozitif etkilenmekle kalmaz alışverişin tekrar edilmesi ihtimalini de arttırmaktadır [94]. Sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik teknolojilerinin kullanıldığı alışveriş deneyimlerinde tüketicinin alışverişini daha sürükleyici, eğlenceli ve memnun edici olarak gördüğü ve alım niyetlerinin pozitif yönde değiştiği ifade edilmektedir [95]. Tüketiciler herhangi bir ürün veya hizmet ile ilgili olarak daha fazla bilgilendirildiklerinde ürüne karşı pozitif yönde tutum geliştirmektedirler [96]. Dolayısıyla tüketicileri ürünle etkileşimini, diğer kullanıcılarla tüketici deneyimleri açısından paylaşımını arttırmak ve tüm bunları yaparken gerçeklikten uzaklaştırmamak tüketici memnuniyetini arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda Metaverse teknolojisi bileşenlerinden artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve karma gerçeklik uygulamalarının müşterilerin satın alma

davranışlarını olumlu etkilediği sonucuna ulaşılmıştır [97].

Önceki araştırmaların gösterdiği gibi yüksek etkileşimli tüketici deneyimi karar verme süreçlerini desteklemekte ve bu anlamda pazarlama stratejileri geliştirilmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan zengin içerikli üç boyutlu gerçeklik algısı yüksek alışveriş çevresi tüketiciler için eğlenceli, sürükleyici bir deneyim sağlamak ve memnuniyeti arttırmaktadır.

Metaverse gibi yeni teknolojilerle müşteri deneyimlerini zenginleştirmek marka yöneticilerinin önceliği haline geldiği ifade edilmektedir [98]. Tüketici şartları açısından yaratıcı düşüncenin geliştiği koşullar, son zamanlarda yapılan yaratıcı düşünme analizi çalışmaları tarafından kategorize edilmiştir. Bu koşullar yaratıcılığı destekleyen psikolojik, duygusal ve durumsal özellikler içermektedir. Ayrıca bu koşullar müşterinin ürün veya hizmetin sunulduğu işletmelerle etkileşimde bulunmak tüketiciyi istekli ve katılımcı hale getirmektedir [99]. İleri teknoloji aktiviteleri sayesinde tüketici dikkati sürekli canlı tutularak sürükleyici ve haz dolu bir deneyim sağlanmaktadır. Ayrıca, tüketiciler açısından bir hizmet veya ürünle yakından etkileşime geçmek o ürün veya hizmeti sağlayan marka hakkında olumlu bir izlenim bıraktığı ifade edilmektedir. Metaverse dünyasında alışveriş deneyimleyen tüketiciler için memnuniyet duygusu bu dünyada var olmayı başaran markalar hakkında olumlu bir tutum geliştirmekte ve markaya olan bağlılığı arttırmaktadır.

Metaverse tüketicilere sunduğu özelleştirme ve bu özelleştirilmiş içeriklere kolay erişim deneyimi sayesinde memnuniyet seviyesini arttırmaktadır. Tüketiciler Metaverse dünyasının kişiselleşmiş, haz veren, sürükleyici çevresinde zaman ve mekân sınırı olmadan işletmelerle karşılıklı samimi ilişkiler geliştirebilmekte ve bu sayede kendine özgü yaratıcı bir alışveriş fırsatı yakalayabilmektedir. Ayrıca, yapılan araştırmalar tüketicilerin ürün veya hizmet sağlayıcılarıyla doğrudan bağ kurmasının memnuniyeti arttırdığını göstermektedir.

Metaverse dünyası markalara tüketici algılarını yönetmek için önemli bir fırsat sunmaktadır. Tüketicilerle kurulan yakın etkileşim sayesinde onların ilgilerini çekmek ve memnuniyet derecelerini yükseltmek kolaylaşmaktadır. Tüketicilerin eğlenceli ve sürükleyici olarak algıladıkları platformlara karşı olumlu duygular besledikleri ifade edilmektedir [100]. Metaverse dünyasında özelleştirilmiş eğlenceli ve haz veren çevresiyle tüketicilerin satın alma niyetinin güçlenmesine olanak sağlamaktadır. Kullanıcıların Metaverse dünyasında kendilerini yansıtan avaturları ile otantik ve gerçekçi ürün/ hizmet sunumuyla karşılaşmaktadırlar. Sonuç olarak tüketiciler için eğlenceli ve memnun edici simüle edilmiş bir deneyim alım niyetini pozitif yönde etkilemektedir [101].

3. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER (CONCLUSION, DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS)

Yeni bir pazarlama dünyasını temsil eden Metaverse, internet ve sosyal medya ağının yerini almak yerine ona üç boyutlu bir gerçeklik kazandırarak sürekli değişen ve dönüşen müşteri deneyimi sağlayan etkileyici bir dünya olarak ifade edilmektedir [43]. Metaverse dünyasının gelecek zamanda birçok endüstri dalında özellikle de pazarlama alanında büyük bir etkiye sahip olacağı tahmin edilmektedir. Bu sebeple fiziksel gerçekliği ve dijital sanallığı bir araya getiren bu yeni sanal gerçekliği anlamak ve ona göre aksiyonlar almak pazarlama için çok önemlidir. Ayrıca, işletmeler için Metaverse hedef kitle özelliklerinde genç nesil (Z ve Alfa kuşakları) ile doğrudan bağlantı kurmak için eşsiz fırsatlar sunmaktadır. Çünkü genç hedef kitlenin teknoloji ile daha ilgili olduğu ve bu karmaşık dünyada sayılarının daha çok olduğu varsayılmaktadır [61].

Ancak bazı eleştirilere göre Metaverse bu büyümlü özelliklerinin yanında bulanık bir fikirdir ve süslü istek uyandıran artırılmış gerçeklik dışında bir şey ifade etmemektedir [53]. Metaverse bir sürü belirsizlik barındırdığı için şüphe çekmektedir. Ancak bu noktada ulaşılması gereken gerçek bir ürün hizmet veya birbirine bağlı bir evren yoktur. Vadedilen bütün faydalarıyla ve fırsatlarıyla Metaverse'ü gelecek teknolojiler için teoriler ve prototipler olarak görmek gerekmektedir.

Metaverse'ün tüketici etkileşimini, tüm ticaret unsurlarını ve süreçlerini tek bir deneyimde birbirine bağlayan, tüketicinin olumlu bir deneyim yaşayıp yaşamadığını belirleyen tamamen çekici bir güç olduğu ifade edilmektedir [58]. Metaverse teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte sanal gerçeklik teknolojisinin yanında kullanıcılarını gerçek dünyanın rahatlığında hissettirecek daha birçok ileri teknolojinin geliştirilmesine ve kullanıcıların hizmetine sunmasına olanak sağlayacaktır [68].

Bu çalışma temelde Metaverse teknolojisinin ortaya çıkması ve gelişmesi ile birlikte Teknoloji Kabul Modeli bağlamında tüketicilerin onu kabul etmesini ve satın alma niyetlerini etkileyen faktörleri incelemekte ve her bir faktör arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir. Bu bağlamda yapılan literatür taraması sonucu elde edilen değerlendirmelerden bazı çıkarımlarda bulunulmuştur.

Son zamanlarda dikkatleri üzerine çeken Metaverse teknolojisinde tüketici (kullanıcı) teknik özellikleri ne kadar çok anlar, inanır ve iyi kullanılırsa, meta veri deposunu kullanma çabası o kadar artmaktadır. Metaverse teknolojisine kullanıcılar sunduğu merak duygusu, elde edilen haz, algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir ve bu durum Metaverse teknolojisine olumlu bir tutum geliştirmeyi sağlamaktadır [28].

İnsanların ev konforunda gerçek bir alışveriş deneyimi yaşamasının tüketici memnuniyeti açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Metaverse'ün içerdiği

teknolojiler sayesinde tüketici eğlenceli bir alışveriş deneyimi yaşamakta ve memnuniyet derecesi artarak alım kararı kolaylaşmaktadır [89-90]. Tüketicilerin sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik teknolojileri ile yaşadıkları alışveriş deneyimi onların memnuniyet derecesini yükseltmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, kullanıcılara kullanışlılık bilincini aşlamak ve yeni teknolojileri benimsemeye kolaylık sağlamak için gerekli olan önceki çalışmalarla uyumlu olacaktır. Çalışmanın teorik sonuçları; ilk olarak, Metaverse teknolojisinin büyüme aşamasında teknolojiyi kabul etme niyetini etkileyen faktörler, erken kullanıcılar olarak adlandırılacak mevcut Metaverse kullanıcıları için teknik karakteristik faktörler ve kullanıcıların kişisel özellikleri olarak alt bölümlere ayrılmış ve doğrulanmıştır. Metaverse araştırması şu anda emekleme aşamasında olduğundan, yürütülen araştırmaların çoğu Metaverse kavramının ne olduğu hakkında bir tanım çalışması olarak görülmektedir. Ayrıca, mevcut araştırmalarla tüketiciler arasında Metaverse teknolojisine benimsemesini en fazla etkileyen faktörlerin, başkalarıyla ilişkileri ve aktif etkileşim, eğlence, sürükleyicilik ile ilgili faktörler olduğu doğrulanmaktadır.

Ancak, bu çalışmada ilk olarak, Teknoloji Kabul Modeli değişkenlerinin her birinin ve memnuniyet faktörünün tüketici niyetleri üzerindeki etkisi değerlendirildiği için bu konuda yapılacak ampirik Metaverse araştırmalarına bir temel sağlayabileceği düşünülmektedir. İkinci olarak, bu çalışmanın sonuçları, meta veri tabanının tüketici odaklı taraflarının (teknik yönlerinin) kurumsal düzeyde daha da güçlendirilmesi gereken bir yön önermektedir.

Gelecekte Metaverse dünyasının geliştirilmesi ve devam ettirilmesi için bazı önerilerde bulunmaktadır. İlk olarak, Metaverse teknolojisi ile ilgili olarak multidisipliner çalışmalar yapılmalı ve bu çalışmalar ampirik olarak desteklenmelidir. Yapılan bu ampirik çalışmalar sonucunda kullanıcıların (tüketicilerin) Metaverse dünyası ve bu dünyada gerçekleştirdiği faaliyetlerle ilgili olarak tutumları, memnuniyetleri ve ihtiyaçları ortaya çıkartılarak bu teknolojinin her geçen gün daha da iyileştirilmesine yönelik kullanılmalıdır.

İkinci olarak, Metaverse'i 3D tasarımlı oyun veya 3D dünya gibi dar kalıplardan uzak, gerçek dünya ile bağlantılı melez bir alan olarak anlaşılması ve bu şekilde kabul edilmesi gerekmektedir. Bunun için sanal varlıkların mülkiyeti, gizlilik, sanal evren bağımlılığı ve avatar cinsel tacizi gibi multidisipliner birçok konunun tartışılması araştırılması ve kurallar konulması gerekmektedir.

Son olarak, kullanıcıların dikkatini çekmek için gelişen bu yeni durumun sürekli izlenmesi önceliklidir. Bu çalışmanın ise sanal ve gerçek dünyanın bir arada yaşatıldığı bu yeni melez evrenin pazarlama dünyasına getirdiği yeniliklerin Teknoloji Kabul Modeli çerçevesinde tüketici satın alma niyetine etkilerinin anlaşılması için fikir sağlaması beklenmektedir [102].

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. D. Monica & G.S. Darma, "Digital Marketing Strategy for Balinese Handicrafts Facing the Metaverse Era. CHANNEL", *Jurnal Komunikasi*, 10(1), 73-84, 2022.
- [2] K. Israfilzade, "Marketing in the Metaverse: A Sceptical Viewpoint of Opportunities and Future Research Directions", *The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences*, 24, 53-60, 2022.
- [3] M. Yorulmaz & S. Alnıpak, "Yönetici düzeyindeki gemi adamlarının elektronik seyir teknolojileri kullanımının teknoloji kabul modeli ile incelenmesi", *OPUS International Journal of Society Researches*, 16(29), 1928-1954, 2020.
- [4] M. Fishbein & I. Ajzen, "Misconceptions about the Fishbein model: Reflections on a study by Songer-Nocks", *Journal of Experimental Social Psychology*, 12(6), 579-584, 1976.
- [5] F.D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology", *MIS quarterly*, 319-340, 1989.
- [6] I. Ajzen, "The theory of planned behavior", *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211, 1991.
- [7] H. Van der Heijden, T. Verhagen & M. Creemers, "Understanding online purchase intentions: contributions from technology and trust perspectives", *European journal of information systems*, 12(1), 41-48, 2003.
- [8] J. H. Sharp, "Development, extension, and application: a review of the technology acceptance model", *Director*, 7(9), 2006.
- [9] A.H. Turan & F.B. Özgen, "Türkiye'de E-Beyanname Sisteminin Benimsenmesi: Geliştirilmiş Teknoloji Kabul Modeli ile Ampirik Bir Çalışma", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 134-147, 2009.
- [10] M.T. Amini, M. Ahmadijad & M.J. Azizi, "Adoption of Internet banking by Iranian customer: An empirical investigation. The International", *Journal of Management Science and Information Technology (IJMSIT)*, (1-Jul-Sep), 27-44, 2011.
- [11] S. C. Chen, L. Shing-Han & L. Chien-Yi, "Recent related research in technology acceptance model: A literature review", *Australian journal of business and management research*, 1(9), 124, 2011.
- [12] P. Surendran, "Technology acceptance model: A survey of literature", *International Journal of Business and Social Research*, 2(4), 175-178, 2012.
- [13] V. Venkatesh & F.D. Davis, "A model of the antecedents of perceived ease of use: Development and test", *Decision sciences*, 27(3), 451-481, 1996.
- [14] F.D. Davis, R. P. Bagozzi & P.R. Warshaw, "User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models", *Management science*, 35(8), 982-1003, 1989.
- [15] F.D. Davis & V. Venkatesh, "A critical assessment of potential measurement biases in the technology acceptance model: three experiments", *International journal of human-computer studies*, 45(1), 19-45, 1996.
- [16] V. Venkatesh & H. Bala, "Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions", *Decision sciences*, 39(2), 273-315, 2008.
- [17] D. Lee, J. Moon & Y. Kim, "The effect of simplicity and perceived control on perceived ease of use", 2007.
- [18] H. P. Shih, "Extended technology acceptance model of Internet utilization behavior", *Information & management*, 41(6), 719-729, 2004.
- [19] S. Agrebi & J. Jallais, "Explain the intention to use smart phones for mobile shopping", *Journal of retailing and consumer services*, 22, 16-23, 2015.
- [20] C. Yılmaz & A. Tümtürk, "İnternet üzerinden alışveriş niyetini etkileyen faktörlerin genişletilmiş teknoloji kabul modeli kullanılarak incelenmesi ve bir model önerisi", *Yönetim ve Ekonomi*, 22(2), 355-384, 2015.
- [21] F. Abdullah & R. Ward, "Developing a General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL) by analysing commonly used external factors", *Computers in human behavior*, 56, 238-256, 2016.
- [22] T. Natarajan, S. A. Balasubramanian & D. L. Kasilingam, "Understanding the intention to use mobile shopping application and its influence on price sensitivity", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 37, 8-22, 2017.
- [23] S.G. Davis, **Parades and power: Street theatre in nineteenth-century Philadelphia**, Philadelphia: Temple University Press, 1986.
- [24] Y. He, Q. Chen, & S. Kitkukul, "Regulatory focus and technology acceptance: Perceived ease of use and usefulness as eff", 2018.
- [25] F. Huang, T. Teo & R. Scherer, "Investigating the antecedents of university students' perceived ease of using the Internet for learning", *Interactive learning environments*, 30(6), 1060-1076, 2022.
- [26] M. AL-Oudat & A. Altamimi, "Factors influencing behavior intentions to use virtual reality in education", *International Journal of Data and Network Science*, 6(3), 733-742, 2022.
- [27] L. Mostafa, "Measuring Technology Acceptance Model to use Metaverse Technology in Egypt", *مجلة البحوث المالى والتجارية*, 23(3), 118-142, 2022.
- [28] A. M. Aburbeian, A. Y. Owda & M. Owda, "A Technology Acceptance Model Survey of the Metaverse Prospects", *AI*, 3(2), 285-302, 2022.
- [29] G. Choi & H. Chung, "Applying the technology acceptance model to social networking sites (SNS): Impact of subjective norm and social capital on the acceptance of SNS", *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(10), 619-628, 2013.
- [30] S. Torki Biucky, N. Abdolvand & S. Rajae Harandi, "The effects of perceived risk on social commerce adoption based on tam model", *International Journal of Electronic Commerce Studies*, 2017.
- [31] D. Suleman & I. Zuniarti, "Consumer decisions toward fashion product shopping in Indonesia: The effects of attitude, perception of ease of use, usefulness, and trust", *Management Dynamics in the Knowledge Economy*, 7(2), 133-146, 2019.
- [32] X. Li, X. Zhao, & W. Pu, "Measuring ease of use of mobile applications in e-commerce retailing from the perspective of consumer online shopping behavior patterns", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 55, 102093. [1], 2020.






- [33] Y.C. Cho & E. Sagynov, "Exploring factors that affect usefulness, ease of use, trust, and purchase intention in the online environment", *International journal of management & informationsystems*, 19(1), 21- 36, 2015.
- [34] Y. H. Chen & S. Barnes, "Initial trust and online buyer behaviour", *Industrial management & data systems*, 2007.
- [35] N. Mohamed, R. Hussein, N. H. A. Zamzuri & H. Haghshenas, "Insights into individual's online shopping continuance intention", *Industrial Management & Data Systems*, 114(9), 1453-1476, 2014.
- [36] M. Muslichah, "The effect of self efficacy and information quality on behavioral intention with perceived usefulness as intervening variable", *Journal of Accounting, Business and Management (JABM)*, 25(1), 21-34, 2018.
- [37] S. H. Hsu & B. E. Bayarsaikhan, "Factors influencing on online shopping attitude and intention of Mongolian consumers", *The Journal of International management studies*, 7(2), 167-176, 2012.
- [38] J. Wang, S. Wang, Y. Wang, J. Li & D. Zhao, "Extending the theory of planned behavior to understand consumers' intentions to visit green hotels in the Chinese context", *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 2018.
- [39] Y. Y. Mun & Y. Hwang, "Predicting the use of web-based information systems: Self-efficacy, enjoyment, learning goal orientation, and the technology acceptance model", *International Journal of Human- Computer Studies* 59(4), 431-44, 2004.
- [40] D. H. Tien, A. A. A. Rivas & Y. K. Liao, "Examining the influence of customer-to-customer electronic word-of-mouth on purchase intention in social networking sites", *Asia Pacific Management Review*, 24(3), 238-249, 2019.
- [41] C.E. Porter & N. Donthu, "Using the technology acceptance model to explain how attitudes determine Internet usage: The role of perceived access barriers and demographics", *Journal of business research*, 59(9), 999-1007, 2006.
- [42] J. Schepers & M. Wetzels, "A meta-analysis of the technology acceptance model: Investigating subjective norm and moderation effects", *Information & Management*, 44(1), 90-103, 2007.
- [43] A. Göçer & C. A. Vural, "Sosyal Pazarlamada Teknoloji Kabulü: Hayirseverlik Davranislari Üzerine Bir İnceleme", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1-23, 2017.
- [44] S. Hollensen, P. Kotler & M. O. Opresnik, "Metaverse—the new marketing universe", *Journal of Business Strategy*, 2022.
- [45] M. Moslehpour, V. K. Pham, W. K. Wong & İ. Bilgiçli, "E- purchase intention of Taiwanese consumers: Sustainable mediation of perceived usefulness and perceived ease of use", *Sustainability*, 10(1), 234, 2018.
- [46] K. T. Manis & D. Choi, "The virtualreality hardware acceptance model (VR-HAM): Extendingand individuating the technology acceptance model (TAM) forvirtualreality hardware", *Journal of Business Research*, 100, 503-513, 2019.
- [47] J. Cheon, S. Lee, S.M. Crooks & J. Song, "An investigation of mobile learning readiness in higher education based on the theory of planned behavior", *Computers & education*, 59(3), 1054-1064, 2012.
- [48] F.D. Orel & A. R. I. K Abdil, "Sosyal medya pazarlamasının tüketici satın alma niyetine etkisinin teknoloji kabul modeli aracılığıyla incelenmesi", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (57), 205-232.
- [49] Y. Han, D.Niyato, C. Leung, C. Miao & D. I. Kim, "A dynamic resource allocation framework for synchronizing metaverse whiot service and dat", **In ICC 2022-IEEE International Conference on Communications, IEEE**, 1196-1201, May 2022.
- [50] S. Mystakidis, "Metaverse", *Encyclopedia*, 2(1), 486-497, 2022.
- [51] Internet: C. Brian, What Is the Metaverse ?, <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/08/10/what-is-the-metaverse/>, 10.10.2021.
- [52] Internet: E. Shapiro, Artificial Intelligence Will Change World, <https://time.com/5955412/artificial-intelligence-nvidia-jensen-huang/>, 18.04.2021.
- [53] [53 J. Kim, "Advertising in the Metaverse: Research agenda", *Journal of Interactive Advertising*, 21(3), 141-144, 2021.
- [54] H. Lee & Y. Hwang, "Technology-Enhanced Education through VR-Making and Metaverse-Linking to Foster Teacher Readiness and Sustainable Learning", *Sustainability*, 14(8), 4786, 2022.
- [55] S. G. Lee, S. Trimi, W. K. Byun & M. Kang, "Innovation and imitation effects in Metaverse service adoption", *Service Business*, 5(2), 155-172, 2011.
- [56] H. Duan, J. Li, S. Fan, Z. Lin, X. Wu & W. Cai, "Metaverse for social good: A university campus prototype", **In Proceedings of the 29 th ACM International Conference on Multimedia**, 153-161, October 2021.
- [57] L. H. Lee, T. Braud, P. Zhou, L. Wang, D. Xu, Z. Lin & P. Hui, "Allone need stok now about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda", *arXivpreprint arXiv:2110.05352*, 2021.
- [58] J. E. Jeon, "TheEffects of User Experience-Based Design Innovativeness on User-Metaverse Platform Channel Relationships in South Korea", *Journal of Distribution Science*, 19(11), 81-90, 2021.
- [59] H. Ning, H. Wang, Y. Lin, W. Wang, S. Dhelim, F. Farha & M. Daneshmand, "A Survey on Metaverse: the State-of-the-art, Technologies, Applications, and Challenges", *Ar Xivpreprint arXiv:2111.09673*, 2021.
- [60] Y. Zhao, J. Jiang, Y. Chen, R. Liu, Y. Yang, X. Xue & S. Chen, "Metaverse: Perspectives from graphics, interactions and visualization", *Visual Informatics*, 2022.
- [61] J. Han, J. Heo & E. You, "Analysis of metaverse platform as a new play culture: Focusing on roblox and zepeto", **In Proceedings of the 2nd International Conference on Human-centered Artificial Intelligence**, 2021.
- [62] S.Dhelim, H. Ning, F. Farha, L. Chen, L. Atzori & Daneshmand, "IoT-enabled social relationships meet artificial social intelligence", *IEEE Internet of Things Journal*, 8(24), 17817-17828, 2021.
- [63] T. R. Gadekallu, T.Huynh-The, W. Wang, G.Yenduri, P. Ranaweera, Q. V. Pham, ... & M. Liyanage, "Blockchain for the Metaverse: A Review", *ar Xivpreprint arXiv:220309738*, 2022.
- [64] Internet: A. Sherman, Execs seemed confuse dabout the metaverse on Q3 earnings calls, <https://www.cnbc.com/2021/11/20/executives-wax-poetic-on-the-metaverse-during-q3-earnings-calls.html>, 20.11.2021.
- [65] Internet: J. Radoff, <https://medium.com/building-the-metaverse/9-megatrends-shaping-the-metaverse-93b91c159375>, 01.10.2021.

- [66] K. Valaskova, V. Machova & E. Lewis, "Virtual Marketplace Dynamics Data, Spatial Analytics, and Customer Engagement Tools in a Real-Time Interoperable Decentralized Metaverse", *Linguistic and Philosophical Investigations*, 21, 105-120, 2022.
- [67] A. De Regt, K. Plangger & S. J. Barnes, "Virtual reality marketing and customer advocacy: Transforming experiences from story-telling to story-doing", *Journal of Business Research*, 136, 513-522, 2021.
- [68] S.M. Park & Y. G. Kim, (2022), "A Metaverse: Taxonomy, components, applications, and open challenges", *Ieee Access*, 10, 4209- 425, 2022.
- [69] T. Lemenager, M. Neissner, T. Sabo, K. Mann & F. Kiefer, "Who am i" and "how should i be": a systematic review on self-concept and avatar identification in gaming disorder", *Current Addiction Reports*, 7(2), 166-193, 2020.
- [70] C.-P. Hsu & C.-W. Chang, "Does the social platform established by MMORPGs build social and psychological capital?", *Computers in Human Behavior*, 129 (1), 107139, 2022.
- [71] M. Ball, "The metaverse: and how it will revolutionize everything", *Live right Publishing*, 2022.
- [72] M. Sparkes, "What is a metaverse," *New Scientist*, 251(3348), 2021.
- [73] G. S. Park, "A study on the virtual fashion industry case study of fashion brands through convergence with metaverse", *Korea Soc. Sci. Art Converg*, 39, 161-178, 2021.
- [74] Internet: G. Mileva, How to Invest in Virtual Real Estate (Metaverse Real Estate Guide), <https://influencer marketing hub.com/metaverse-real-estate/>, 2022.
- [75] J. Lee & K. H. Kwon, "Novel path way regarding good cosmetics brands by NFT in the metaverse World", *Journal of Cosmetic Dermatology*, 2022.
- [76] S. Çavuşoğlu & Y. Durmaz, "Deneyimsel Pazarlama ve Yeşil Davranış" *Hiper yayın*, 2020.
- [77] D. Buhalis, M.S. Lin & D. Leung, "Metaverse as a driver for customer experience -creation: implications for hospitality and marketing" *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, (ahead-of-print), 2022.
- [78] D. Buhalis, E.P. López & J. A. Martinez-Gonzalez, "Influence of young consumers' on their e-loyalty", *Journal of Destination Marketing & Management*, 15, 100409, 2020.
- [79] P. A., Rauschnabel, B. J. Babin, M. C. Tom Dieck, N. Krey & T. Jung, "What is augmented reality marketing? Its definition, complexity, and future", *Journal of Business Research*, 142, 1140-1150, 2022.
- [80] P. A. Rauschnabel, R. Felix, C. Hinsch, H. Shahab & F. Alt, "What is XR? Towards a framework for augmented and virtual reality", *Computers in Human Behavior*, 133, 107289, 2022.
- [81] K. N. Lemon & P. Verhoef, "Understanding customer experience throughout the customer journey", *Journal of marketing*, 80(6), 69-96.
- [82] E. C. Hirschman & M. B. Holbrook, "Hedonic consumption: emerging concepts, methods and propositions", *Journal of marketing*, 46(3), 92-101, 1982.
- [83] X. L., Pei, J. N. Guo, T. J. Wu, W. X. Zhou & S. P. Yeh, "Does the effect of customer experience on customer satisfaction create a sustainable competitive advantage? A comparative study of different shopping situations", *Sustainability*, 12(18), 7436, 2020.
- [84] K. Israfilzade & N. Babayev, "Millennial Versus Non-Millennial Users: Context Of Customer Engagement Levels On Instagram Stories (Extended Version)", *Journal of Life Economics*, 7(2), 135-150, 2020.
- [85] F.M. Tseng & H.Y. Lo, "Antecedents of consumers' intentions to upgrade their mobile phones", *Telecommunications Policy*, 35(1), 74-86, 2011.
- [86] G. Prayag, S. Hassibi & R. Nunkoo, "A systematic review of consumer satisfaction studies in hospitality journals: Conceptual development, research approaches and future prospects", *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 28(1), 51-80, 2019.
- [87] D. G. Taylor, J. E. Lewin, & D. Strutton, "Friends, fans, and followers: do adwork on social networks?: how gender and ages hapereceptivity", *Journal of advertising research*, 51(1), 258-275, 2011.
- [88] T. E. Yoon & J. F. George, "Why aren't organizations adopting virtual worlds?", *Computers in Human Behavior*, 29(3), 772-790, 2013.
- [89] D. Y. Kim, X. Y., Lehto & A. M. Morrison, "Gender differences in online travel information search: Implications for marketing communications on the internet", *Tourism management*, 28(2), 423-433, 2007.
- [90] S.A. Sina & H.Y. Kim, "Enhancing consumer satisfaction and retail patronage through brand experience, cognitive pleasure, and shopping enjoyment: A comparison between lifestyle and product-centric displays", *Journal of Global Fashion Marketing*, 10(2), 129-144, 2019.
- [91] X. Chen, X. Su, Z. Li, J. Wu, M. Zheng & A. Xu, "The impact of omni-channel collaborative marketing on customer loyalty to fresh retailers: the mediating effect of the omni-channel shopping experience", *Operations Management Research*, 1-15, 2022.
- [92] A. Y. M. A. Islam, "Viability of the extended technology acceptance model: An empirical study", *Journal of Information and Communication Technology*, 10, 85-98, 2011.
- [93] J. Wann & M. Mon-Williams, "What does virtual reality NEED?: human factors issues in the design of three-dimensional computer environments", *International Journal of Human-Computer Studies*, 44(6), 829-847, 1996.
- [94] D. M. Szymanski, & R. T. Hise, "E-satisfaction: an initial examination", *Journal of retailing*, 76(3), 309-322, 2000.
- [95] S. Papagiannidis, E. Pantano, E. W. See-To & M. Bourlakis, "Modelling the determinants of a simulated experience in a virtual retail store and users' product purchasing intentions", *Journal of Marketing Management*, 29(13-14), 1462-1492, 2013.
- [96] A. Mollen & H. Wilson, "Engagement, telepresence and interactivity in online consumer experience: Reconciling scholastic and managerial perspectives", *Journal of business research*, 63(9-10), 919-925, 2010.
- [97] F. Rabby, R. Chimhundu & R. Hassan, "Artificial intelligence in digital marketing influences consumer behaviour: A review and theoretical foundation for future research", *Academy of Marketing Studies Journal*, 25(5), 1-7, 2021.

- [98] Internet: Metamandrill, Top 12 Metaverse Brands Selling Their Products Digitally, <https://metamandrill.com/metaversebrands/#nike>, 06.2022.
- [99] L. D. Hollebeck, R. K. Srivastava, & T Chen, "SD logic-informed customer engagement: integrative framework, revised fundamental propositions, and application to CRM", *Journal of the Academy of Marketing Science*, 47(1), 161-185, 2019.
- [100] B.A. Al-alak & I. A. M. Alnawas, "Evaluating the effect of marketing activities on relationship quality in the banking sector: The case of private commercial banks in Jordan", *International Journal of Marketing Studies*, 2(1), 78-91, 2010.
- [101] Y. K. Dwivedi, L. Hughes, A. M. Baabdullah, S. Ribeiro-Navarrete, M. Giannakis, Al-Debei, M. M., ... & S. F. Wamba, "Metaverse beyond the hype: Multi disciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy", *International Journal of Information Management*, 66, 102542, 2022.
- [102] J. Y. Lee, "A study on metaverse hype for sustainable growth", *International journal of advanced smart convergence*, 10(3), 72-80, 2021.

Selection of the Most Effective Augmented Reality Application for English Education

Araştırma Makalesi/Research Article

 Mehmet Bilge Kağan ÖNAÇAN^{1*},  Vildan ATEŞ²,  Tunç D. MEDENİ³,
 Demet SOYLU⁴,  Sadık KULAKOĞLU⁵

¹Faculty of Applied Sciences, Department of Information Systems and Technology, Okan University, Istanbul, Türkiye

²Faculty of Business, Management Information Systems, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

³Faculty of Business, Management Information Systems, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

⁴Faculty of Humanities and Social Sciences, Management of Information and Documents, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

⁵Turkish Naval Forces, Istanbul, Türkiye

kagan.onacan@okan.edu.tr, vgirginates@gmail.com, tuncmedeni@gmail.com, bunchnoble@gmail.com, sadikkulakoglu@gmail.com

(Geliş/Received:01.04.2023; Kabul/Accepted:07.09.2023)

DOI: 10.17671/gazibtd.1275280

Abstract— Efforts to take advantage of the opportunities offered by advancing information technologies to make the process of learning and teaching English more effective are increasing every day. One of the information technologies that has begun to be used in different fields of education and whose popularity is increasing day by day is Augmented Reality (AR) technology. This study aims to provide information about the general concept of AR technologies, to identify the application areas and examples of AR technology in education and English education, to identify and classify the difficulties encountered in teaching English, to make recommendations for AR technology applications that can solve the difficulties identified in English teaching, to present the priority rankings and importance levels of the identified difficulties, and to decide on the most effective AR technology application that can solve the identified difficulties. In the scope of the study, the difficulties encountered in teaching English are divided into four different classes: difficulties arising from students, difficulties arising from the education system, difficulties arising from materials, and difficulties arising from teachers. It has been determined that the difficulties arising from students have the most impact on teaching English. Among the nine solution proposals that could solve the problems in teaching English, the "virtual character wandering in the classroom" application has been identified as the most effective solution proposal. Since there are a limited number of studies on the use of AR in English education in the literature, it is expected that this study will fill the gap in the literature and will contribute to academicians and application developers, and be a source of inspiration for future research.

Keywords— augmented reality, information system, english education, focus group interview, analytic hierarchy process.

İngilizce Eğitimi için En Etkili Artırılmış Gerçeklik Uygulamasının Seçimi

Özet— İngilizce öğrenme-öğretme sürecini daha etkili hale getirebilmek için, gelişen bilgi teknolojilerinin sunduğu fırsatlardan yararlanma çabaları her geçen gün artmaktadır. Eğitimin farklı alanlarında kullanılmaya başlanan ve popülaritesi her geçen gün artan bilişim teknolojilerinden biri de Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojisidir. Bu çalışmada; AG teknolojilerinin genel kavramı hakkında bilgi vermek, eğitim ve İngilizce eğitiminde uygulama alanlarını ve uygulama örneklerini ortaya koymak, İngilizce öğretilen konularla karşılaşılan güçlükleri belirlemek ve sınıflandırmak, İngilizce öğretilen konularla karşılaşılan zorlukları çözebilecek AG teknolojisi uygulamalarına yönelik önerilerde bulunmak, belirlenen zorlukların öncelik sıralamalarını ve önem derecelerini sunmak, belirlenen zorluklara çözüm olabilecek en etkili AG teknolojisi uygulamasına karar vermek amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında İngilizce öğretilen konularla karşılaşılan güçlükler; öğrenciden kaynaklanan zorluklar, eğitim sisteminden kaynaklanan zorluklar, materyallerden kaynaklanan zorluklar ve öğretmenlerden kaynaklanan zorluklar olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılmıştır. Bunlardan İngilizce öğretmeye en fazla etki edenin, öğrenciden kaynaklanan zorluklar olduğu belirlenmiştir. İngilizce öğretilen konularla karşılaşılan zorluklara dokuz çözüm önerisinden "sınıfta dolaşan sanal karakter" uygulamasının en etkili çözüm önerisi olduğu tespit edilmiştir. Literatürde AG'in İngilizce eğitiminde kullanımına ilişkin sınırlı sayıda çalışma olduğundan, bu çalışmanın literatürdeki boşluğu doldurması beklenmekte ve çalışmanın akademisyenlere ve uygulama geliştiricilere katkı sağlayacağı ve gelecekteki araştırmalar için ilham kaynağı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler— artırılmış gerçeklik, bilgi sistemi, İngilizce eğitimi, odak grup görüşmesi, analitik hiyerarşi süreci

1. INTRODUCTION

Today, rapid advances in science and technology affect and change our lifestyles [1]. With the increasing use of computer and internet technologies in daily life in recent years, the education process and educational environments are also affected by this change [2]. Thanks to the development of computer, internet and mobile technologies, many new applications that increase communication and interaction in educational environments have emerged. Especially, the use of AR technologies in education, which has emerged with advancing technology and allows the real world to feel like augmented by adding objects such as pictures, text and sound to real-life images simultaneously, is becoming widespread. Providing the educational process by using AR technologies in English language teaching is one of the AR application areas in education. Since the learning features of the new generation, known as the generation Z, are more information technology-oriented than the previous generations, it is important for the recognition and effective use of AR technologies, which are thought to contribute to a more effective learning process in the English learning environment [3] [4] [5].

In the literature, there are a limited number of academic studies on the use of AR in English learning and to what extent AR technologies can be a solution to the difficulties in English learning. With this study that has the aim of putting forward suggestions for AR technology applications that may solve the difficulties encountered in English learning, it is expected to fill the gap in the literature and it is estimated that it will contribute to academicians, application developers, teachers and the process of identifying educational assistants at the university and guide future research aimed at identifying AR technologies that can solve these challenges by identifying challenges encountered in English learning.

This study provides solutions with AR technology for the difficulties encountered in learning English in the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, which is one of the multi-purpose decision-making methods. It is believed that this method has a unique quality in terms of being used for the first time on this subject. That is, the AHP method, which is known and used in many fields before, has been applied to the difficulties encountered in learning English in a different field. Another original characteristic of the study is that the criteria and sub-criteria related to the difficulties faced in English education were specified within the frame of the focus group study.

In the following parts of the study, the general concept of AR and the difference between Virtual Reality (VR), the use of AR in education and English education, the difficulties encountered in English education and the suggested AR applications for the difficulties encountered

in English education are revealed, the method of the study is explained, the findings obtained within the scope of the research are discussed and the study was concluded by presenting an evaluation of the study and making suggestions for future research.

1.1. General Concept of Augmented Reality

In general, it is possible to divide reality applications into two as AR and VR. VR is the imitation of real-life environments through computers. It is a technology that gives its participants the feeling of being real and allows mutual communication in a dynamic environment created by computers [6]. VR environments are usually created with a helmet or glasses worn on the head. In some cases, there may be accessories to support VR glasses. The main goal in VR is to adapt to the environment in the helmet or glasses when the VR helmet is worn and forget the real environment.

AR is a technology that aims to integrate the physical world with virtual objects in real-time and to be in the same frame. This technology can be defined as the enrichment of the real-world environment with virtual objects during the visualization process with various technological devices [7]. In other words, it is the change and augmentation of reality by the computer. AR applications can be evaluated in two different groups as optical-based technologies and video-based technologies, considering the technology used [8]. The main difference between these two technologies is the tool in which the scene formed by the integration of the real and virtual worlds is seen. In optical-based reality systems, the integrated scene is seen in the real world through glasses, while in video-based reality systems, the integrated scene is seen on computers, tablets and mobile devices [9].

Among the main differences between AR and VR, the following can be listed. While VR offers an experience that is isolated from real life, AR is built on top of real life and makes it more interactive. Although the environment experienced in VR is a completely simulated environment that does not exist in reality, the virtual environment that created in AR completes the real environment. While there is a need for glasses that will cover the whole field of vision and control what is heard during VR applications, there is no such need during AR applications. In VR, the system works in a virtual environment, but in AR, the real and virtual images are combined and the system works according to real-time [10].

Today these two technologies, VR and AR, are preparing to put the Metaverse, which is considered one of the technologies with the greatest potential, to the service of humanity [11]. Designed as a simulation of the natural world, Metaverse aims to be the most advanced form of human-computer interaction, enabling individuals to move, communicate, and exist in digitally and digitally-enhanced physical environments through two-way interactions between virtual and physical worlds [12]. In

the future, the metaverse will fully model the world in a virtual environment, allowing us to live in this modeled world using a digitally chosen avatar and will be built upon VR and AR Technologies [13]. In this study, VR applications are excluded from the scope and only AR applications are focused on. Therefore, in the following parts, AR is explained in detail.

AR applications were first used in the military field history [14]. Transparent screens placed on fighter pilots' helmets and used at eye level are designed. These screens instantly show the flight data that pilots must see. Thanks to the transparent structure of the equipment, it is aimed for pilots to see the real image and the data screen image at the same time. In the following periods, AR applications started to be widely used in education as well as in areas such as engineering, health, sports, tourism, advertising [15] and the manufacturing industry [16] [17].

This technology, which started with the application area in fighter pilots, shows itself in many areas today [18]. AR technology is intensely used in games, in applications that serve as a compass and in GPS, in providing information about historical artifacts, in learning the product prices in markets, in design studies for determining the interior design of a place, in obtain, share and store information about its construction and it also has many more application areas. In the use of AR technology for mobile devices; a mobile phone with a camera and the hardware to run the necessary applications is sufficient. By downloading the appropriate applications, AR can be experienced only with a mobile phone. In order to experience fully AR on mobile phones, it is of great benefit if the phone has a digital compass, navigation and accelerometer.

1.2. Use of Augmented Reality in Education

According to the model developed by Dale [19] in order to assist students, teachers and educators in the learning-teaching process by making use of the relationships between experiences and the formation of concepts, people remember; 10% of what they read, 20% of what they heard, 30% of what they saw, 50% of what they saw and heard, 70% of what they said and wrote, and 90% of what they did. In this respect, AR applications in the field of education support the development of students' imagination and creativity and provide an enjoyable learning style at the learning level by increasing students' perceptions of the real world and their interaction with the real world. Using 3D visual objects in AR applications attracts the attention of students, increases their participation in learning and lessons and motivates them. It also supports them to gain different perspectives on issues [20]. In addition to these, AR applications have advantages such as making lessons interesting in education, increasing the quality of education, facilitating learning because it is based on visuality and providing easy access to materials that are difficult to obtain. AR applications are effective learning materials in education, highly interactive, contribute to the learning process and are easy to use [21].

There are various studies in the literature on the applications of AR technologies in the field of education. Freitas and Campos [22] designed and implemented an education system using AR in three different primary school classes in their research. As a result of the study, it was observed that the learning experiences of students with poor learning skills improved. Cuendet et al. [23] focused on the usability of AR technology in the classroom and it was shown that AR technology can be realized not only in the laboratory environment but also in the classroom environment. Within the scope of the study, AR applications were tested in the classroom environment by making arrangements in the classrooms of a high school-level school providing vocational education in Switzerland. It has been revealed that AR technology can be used in the classroom without interfering with the teaching of other lessons. In another study conducted by Abdüsselam and Karal [24], 11th-grade Physics course students were divided into the experimental group that carried out their activities with AR technologies while the subject of magnetism was taught, and the control group, which continued its effectiveness with classical methods, and the success of the experimental group was controlled. It was observed that it increased compared to the group. In the study conducted by Di Serio et al. [25] in Spain, it was found that the attention, interest, trust and satisfaction of the students at the secondary school level increased when using the AR technology.

In a study conducted by Demirer and Erbaş [16] and fully supported by the manufacturer company, Google Glass was used for the purposes of gaining experience, especially in practice-based courses, making virtual field trips, preparing evaluation images on field trips, or giving lectures simultaneously with faculty members at different universities. It has been concluded that it can be used in higher education institutions. Rezende et al. [26] designed a mobile education tool for children using the Jigsaw methodology. AR technology, which aims to improve the teaching experience, was used in the designed educational tool. In the study, 3D book content was presented and a fun environment was created. As a result, it was observed that the interest and motivation of the students increased. In the study of Albayrak and Altıntaş [17], 50 students were given lesson preparation notes supported with AR for the connection with the database for the visual programming course, and the other students were given lesson preparation notes prepared in plain text. It was found that the difference between the two groups differed significantly. In Durak and Yılmaz's [27] study, it was aimed to evaluate the effect of AR applications from the perspective of students, and as a result of the analysis of the opinions of 43 participants, who were 7th and 8th-grade students in the Technology and Design course, it was revealed that the most frequently stated codes regarding AR are "providing a fun learning environment" and "making the learning process remarkable and effective" and it was revealed that they think that it's use in the next lessons will contribute to the success of the lesson. In addition, in the study, the course that students think will be most useful for using AR applications is identified as

“science”, while the difficulties experienced when using AR applications include the lack of smartphone ownership/access. Kırıkkaya and Şentürk [28], who investigated the effect of using AR applications on students' academic success and their views on these applications in the unit of Solar System and Beyond in the Science course, revealed that AR applications positively affect academic achievement in line with the analysis of the findings they obtained within the scope of the research.

On the other hand, Topraklıkoğlu [29] discussed the AR activities designed and developed with three-dimensional modeling software in the teaching of the subject of "views of objects from different sides" in the seventh-grade mathematics lesson in middle school. The researcher aimed to reveal whether the AR activities had an effect on the development of students' spatial abilities, geometry design and change of their attitudes towards AR applications and also tried to reveal students' views on AR activities. As a result of the interviews conducted in the study group consisting of 53 students and the analysis of the data, there was no statistically significant difference in the students' attitudes towards geometry with AR activities, but they revealed that the students' mathematics lesson with AR activities was productive and fun, also their interest and motivation increased with AR. Çetin [30] designed an AR application that includes the "Projection and Appearance Extraction" units in the Information Technical Drawing course given to the 10th-grade students of the Information Technologies Department of Vocational and Technical Anatolian High Schools. They found that this AR application did not have a significant effect on students' achievement, spatial skills and attitudes, but it increased students' excitement, curiosity and motivation for the lesson.

Kurtoğlu [31] investigated the effects of the learning material, which includes the subjects of the unit "Computer Systems" developed with AR technology, on the learning environment in the teaching of information technologies and software lessons. As a result of the research, it was seen that the learning material prepared using AR technology significantly increased the motivation of the students. By participating more actively in the lesson, the students found the lesson more understandable and fun. Özbek and Ak [32] investigated in their studies whether the AR application used in teaching punctuation marks in primary school 4th-grade Turkish lessons had an effect on the students' success in using punctuation marks and their motivation. Timur et al. [33] investigated the effect of AR applications on the academic achievement of sixth-grade students on the subject of "Cell" in the Science course curriculum. In their study, they found a statistically significant difference between the pre-test and the post-test as a result of the analysis of the data they obtained from the Cell Success Test they applied to a sample group of 76 class students determined by random sampling technique. It was observed that the scores obtained in the study increased in favor of the post-test due to the important role of the AR applications, and it was concluded that the AR applications positively affected the success of the student.

Finally, in another study, it is aimed to design a simulation type Mobile-AG teaching software that can be used in the teaching of the data sub-learning area, which includes basic statistical concepts at high school level, by using the Design and Development Research (DDR) method and to examine its effect on the sample determined in the study. It was seen that the application developed in the study was at a usable level according to the software evaluation scales and positively affected the academic achievements and attitudes of the students towards technology [34].

1.3. Use of Augmented Reality in English Education

Among the studies in the literature regarding the applications of AR technologies in the field of English education, Çınar and Akgün [35] targeted the unit "At The Fair" in the 6th grade English course content and enriched the content on this subject visually and aurally. In order to display the text, visuals and AR-supported hybrid textbook section within the scope of their research, it is included to evaluate this section with expert opinions. In another study; Çakır, Solak and Tan [36] examined the application of AR technology developed to enrich and activate education and training environments in the classroom and the effect of this technology on students' academic achievements and motivations. For this purpose, a quasi-experimental study was conducted at the university level. In the study, in which 60 university students participated, English words were presented to the experimental group in an environment developed with AR technology, while the control group was taught with traditional methods. As a result of the study, it was observed that the success of the experimental group of students who taught the lesson with AR technology was statistically significantly higher than the control group of students who taught the lesson with traditional methods. Küçük et al. [37] investigated students' perceptions in the process of learning English with AR. The study was carried out with students from five different secondary schools. As a result of the study, it was revealed that secondary school students were satisfied with learning English with the help of AR technologies, their anxiety levels were low and they wanted such applications to be used in their lessons. Ramya [38] used Computer Assisted Language Learning (CALL) for teaching and learning English in her study. One of the developing technologies in CALL is AR technology. In his study, he examined the advantages of adopting AR in English language teaching. As a result, he found that AR technology provides a better understanding and higher motivation among students while learning English. Vate-U-Lan [39] created a 3D pop-up book for 3rd-grade students in the curriculum, he prepared with AR technology in English education. In the book prepared within the scope of the research, the dialogues were processed audibly and visually and it was observed that participation in the lesson was higher. With this study, it was revealed that AR technology increases students' desire to learn.

Rayene [40] investigated the effect of AR as a teaching tool on students' learning with her experiment on third-year English students. The results obtained as a result of the

study show that the use of AR technology gets positive feedback from students and teachers. Koç, Altun and Yüksel [41] investigated whether the use of AR-based materials could contribute to high school students in the process of producing English texts and their perceptions of AR-based materials. The findings showed that the use of AR-based materials had a moderate effect on students' selected writing skills, and students' perceptions of the AR-based writing experience were positive. Pugoy et al. [42] present the development of learning material enhanced with AR technology to help improve nursing education in English in their work. Most of the participants in the study group, which consisted of 39 nursing students in total, stated that the talking comic was useful, easy to use and learn, and they were happy to use it. Tsai [43] aimed to compare the effect of traditional teaching methods and AR methods on the English word learning performance of primary school students and as a result of the study, it was revealed that the English word learning performance and motivation of the students who are taught with the learning materials created by using AR technologies are superior to those who are taught using traditional teaching methods. Wang and Khambari [44] investigated how the AR-based gamified learning environment affects students' learning motivation and collaborative learning in English lessons, and the results of the research revealed that the learning motivation of the students was improved by the change of the teacher's role and the use of virtual content of the AR technology. In addition, they stated in their studies that the AR-based gamified learning environment can effectively improve collaborative learning by strengthening the desire for discussion and providing a comfortable learning environment with more opportunities. In the research that has provided a basis for this work [45], focus group method was applied to a group that consisted of six English teachers, and consequently, problems in front of English teaching were brought up and suggestions with respect to use and benefits of AR for English-teaching were provided. The related problems identified and interlinked were categorized into four main titles.

1.4. Difficulties Encountered in English Education

Among the reasons for not being successful enough in English education and the difficulties encountered are many reasons. Some of these reasons are traditional language teaching habits, errors in foreign language education planning, inadequacies in the methods, materials, deficiencies and mistakes in assessment-evaluation and activities [46], academic and administrative deficiencies of senior managers [47], reasons associated with the profiles of current teachers [48], the motivation problem experienced by foreign language learners [49], problems with the training process of foreign language teachers, trying to determine the competencies of foreign language teachers through multiple-choice exams that are not suitable for the nature of the field, problems related to physical conditions such as crowded classrooms and lack of equipment, not adopting a common teaching method and philosophy related to foreign language teaching, not controlling the foreign language teaching process and

quality problems of educational materials [50]. Şahin [51] categorizes the reasons for the failure in English education under three main headings: 1. student, 2. system, and 3. teacher.

2. METHOD

The main purpose of using technology in education is to provide more effective education by solving the problems encountered in education. This study aims to suggest solutions to the difficulties encountered in teaching English with AR technology and to determine the perception of the effects of these suggestions on solving the difficulties. The main question of this research determined as "What could be the most effective AR applications that can be used in English education in order to solve the difficulties encountered in English education?" and the first sub-research question is "What are the difficulties encountered in English education?", the second sub-research question is "What are the AR applications that can be used in English education?". In order to find the answer to the sub-research questions, a focus group interview was held in November 2018 with a group of 32 English teachers and a moderator and a reporter (they are informatics experts). English teachers had MS degrees from different universities in Turkey and had an average of nine years of experience. In the continuation of the study, for answering the research question, the AHP application, one of the multi-criteria decision-making methods, was carried out to determine the most effective AR application that can be a solution to the difficulties in teaching English. In this context, questionnaires were sent to 32 teachers who participated in the focus group interview and feedback was received from 18 teachers. The obtained data were transferred to the computer, and all the calculations required for the implementation of the AHP method were performed using a code written in MS Excel, and the results were evaluated.

Focus group interviews carried out within the scope of the research can be defined as a technique of using the effect of group dynamics in the unstructured interview and discussion between a small group and the moderator, obtaining in-depth information and generating ideas. The purpose of focus group interviews is to obtain in-depth, detailed and multidimensional qualitative information about the participants' perspectives, lives, interests, experiences, tendencies, thoughts, perceptions, feelings, attitudes and habits on a specified topic. It is important for the participants to express their opinions freely during the focus group discussions. The most important advantage of focus group discussions is that new and different ideas emerge as a result of in-group interaction and group dynamics. This technique is widely used in social sciences as preliminary research. Detailed data from focus group interviews provide a solid basis for one-on-one interviews and surveys [52].

Multi-Criteria Decision Making, on the other hand, is a sub-branch of Decision Sciences and relies on modeling and analyzing the decision process according to criteria [53]. Allows the decision maker to choose by evaluating

based on at least two criteria within a set of countable finite or uncountable numbers of options. For this reason, multi-criteria decision-making methods help the decision-maker evaluate the options to achieve the research objectives according to various criteria by ensuring a good analysis of the findings helping the decision-maker to determine the most appropriate option. AHP, one of the multi-criteria decision-making methods, is an approach where knowledge, experience, individual thoughts and intuitions are combined in a logical way [54]. It is based on determining weight, importance, or superiority in order to be able to choose among various alternatives by considering multiple criteria. In AHP, both subjective and objective opinions of decision makers can be included in the decision process. Therefore, AHP is a mathematical method that takes into account the priorities of the group and the individual and evaluates qualitative and quantitative variables together in decision-making. This situation makes AHP stronger than other decision-making methods. This method is used to evaluate the factors that are independent from each other at each level in their hierarchical structure [55]. It transforms significant differences in decision points in the hierarchy into percentage distributions with binary comparisons using a predefined comparison scale. Thus, in a systematic approach, numerical performance measurements are combined with subjective evaluations, and results are obtained [56].

3. RESULTS

In this part, firstly the results of the focus group study, in which the answers to the sub-research questions were found, and then the results of the AHP study, in which the answer to the research question was found, will be presented.

3.1. Findings of Focus Group Meeting

In this study, for the answer to the first sub-question, the difficulties encountered in English education were divided into four different categories: difficulties caused by the student, difficulties caused by the education system, difficulties caused by materials and difficulties caused by teachers. Among the difficulties caused by the students; inability to learn the word in context, fear of making mistakes while speaking in a foreign language, lack of motivation, insufficient practice in English, different grammar, word and alphabet structure between English and his/her native language, inability to have a command of the grammar of his/her native language, not allocating enough time for foreign language lessons, low cultural awareness, and status of not knowing how to learn. Among the difficulties caused by the education system; lack of in-service training, not starting language learning at an early age, providing only exam-focused education in schools, deficiencies caused by the curriculum, lack of sufficient quantitative and qualitative teachers, difficulties arising from measurement (multiple choice exam), and the fact that knowledge level of students are different. Lack of correct and high-quality materials, difficulties in learning

in crowded classrooms, and deficient use of technology are among the difficulties caused by the material. Finally, lack of practice in English speaking, using the native language mainly in foreign language teaching and restricting active speaking, deficiencies in teaching ability, lack of knowledge in teacher's English level, and inability in self-improvement are among the difficulties caused by the teacher. In this focus group interview, while the same categories were determined as the main categories in Önaçan and Kulakoğlu [45], it was decided to make some changes in the sub-categories.

In line with the answers given by the participants to the second sub-question, some suggestions were made regarding the use of AR in English education and solving the difficulties encountered in English education. Among these suggestions, first of all, it is necessary to use the dictionary for unknown words while reading an English book. This situation is both tiring, boring and difficult to focus. By using AR technology, it may be useful to learn the equivalent of the pointed word by using eyeglasses or mobile phone. As another suggestion, it is considered that developing a mobile application and seeing the English equivalents of the material in the environment on a phone, tablet or glasses may be beneficial in terms of learning the words. With the developed mobile application, translation can be provided by placing the phone on the text. In addition, displaying all parts of any material in 3D and ensuring that they are seen in detail during the lecture can also be beneficial in terms of retention in English learning. It is among the evaluations that a halogen 3-dimensional character can also be used as a teaching aid in English education. For example, as the teacher speaks and gives commands, the 3-dimensional teaching aid (be it an animal or a comic character) can execute the given commands. It is considered that English teaching/learning can be facilitated by gamification in the form of giving English commands to the player in the game and getting points if the player performs them. Animating the shape in an English storybook and making it 3D, reading the story by a native English speaker can be both interesting and easy to learn for a student. Different functions can be evaluated, such as vocalizing the written conversations in English. The suggestions regarding the use of AR in English education were provided below in detail.

3.2. Findings of AHP

In this study, AHP method has been used. In all the analyses within the scope of the study, implementation phases of AHP method have been realized as given below:

- The problem was identified.
- Required criteria for the decision has been determined, criteria priorities were specified. As a result of the focus group study that was carried out with English teachers within the frame of this study, criteria and sub-criteria were determined and the difficulties encountered in teaching English were grouped in terms of four criteria: student-related,

educational system-related, material-related and teacher-related.

- Hierarchical structure was established. In the upper part, there are fundamental target to be achieved. Below it is the criteria of the study and sub-criteria. While the criteria were being set, it was acknowledged that the options in the same level were independent of each other. Nine student-related, seven educational system-related, three material-related and five teacher-related sub-criteria were identified.
- Binary comparisons matrix was created. By using a severity scale that has values between 1 and 9, first the criteria, and then the sub-criteria and finally all the criteria have been taken into account, matrixes in which solution proposals were compared and contrasted according to the criteria were created. Solution proposals were compared according to each criterion separately. Decision matrixes are constructed using the 1-9 comparison scale proposed by Saaty [57], presented in Table 1.
- Binary comparison matrixes have been normalized. Then the priority vector has been calculated. The average of each row sum of the normalized matrix was divided by the size of the matrix, and these values were the criterion weights that were calculated for each criterion. These weights form the priority vector. Then, the fact that whether the criterion weights would be used in the model or not has been investigated.
- The sum of each row of the normalized matrix was multiplied by the criterion weights of that row. The lambda max (λ_{max}) value was obtained by summing the product results and dividing by the matrix size.

Table 1. Saaty scale of comparison

Significance	Description	Statement
1	Equally Significant	Two factors are equally significant
3	Little More Significant	One is little more significant than the other one.
5	Quite More Significant	One is quite more significant than the other one.
7	Much More Significant	One is much more significant than the other one
9	Absolutely More Significant	One is absolutely more significant than the other one

2, 4, 6, 8	Intermediate Values	Used when the preference values are close to each
------------	---------------------	---

- After performing binary comparisons and determining their priorities the consistency of the comparison matrixes has been calculated. With the purpose of finding out whether a matrix created as a result of binary comparison judgment is consistent or not, the coefficient called "Consistency Index-CI", which is one of the various efficient methos, was calculated. In order to evaluate the consistency of the CI coefficient, the "Random Index (RI)" value should be known. The RI values which were defined for the n-dimensional comparison matrixes are indicated in Table 2. The consistency index of the comparative matrix was calculated with Consistency Index $CI = \lambda_{max} - n / n - 1$. After the CI and RI values were specified, the consistency ratio (Consistency Ratio- $CR=CI/RI$) of the comparison matrixes was calculated. Since the consistency ratio was less than 0.10, the comparison matrix was found out to be consistent.

By forming a binary comparison matrix for the criteria, the priority vector of the solution proposals is calculated and this priority vector was also defined as the weight vector for the criteria. Finally, the solution proposals were listed and the priority vectors which were collected for the sub-criteria were combined to obtain the entire priority matrix. The result vector is obtained by multiplying all the priorities matrix and the priority vector of the solution proposals. The solution proposal with the highest weight in this vector has been determined as the solution proposal which will contribute to the solution of the problem and should be preferred first.

Table 2. RI values which were defined for the n-dimensional comparison matrixes

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
n	9	10	11	12	13	14	15	-
RI	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59	-

A focus group study was held out to find out the criteria and sub-criteria for selecting the solutions to the difficulties faced in teaching English through using AR technology, and the suggestions which might be possible solutions for these difficulties among the technological products currently available in the market. As a result of this study, four criteria were specified; the difficulties caused by the student, the education system, the material and the teacher. Nine sub-criteria for student-related difficulties, seven for

educational system-related difficulties, three for material-related difficulties, and five sub-criteria for teacher-related difficulties were determined. Within the scope of the study, the following nine solution proposals (decision options) were offered:

S1: Seeing the corresponding word in a written text using AR technology with glasses or a cell phone.

S2: Defining the material in the environment using image processing techniques and displaying its English equivalent on a phone/tablet/glasses.

S3: Displaying the translated version with the original text by placing the phone on the text.

S4: Displaying all parts of any material in three dimensions and ensuring that their details are seen in English during the lecture.

S5: The use of a virtual character as a teaching aid in English education, and this virtual character wandering around the classroom randomly and the teacher occasionally asking the students about where this character is and what it is doing.

S6: Teaching/learning English through gamification in the form of giving English commands to the player in the game and getting points if the player performs them.

S7: Animating the shape in an English storybook by making it 3D and shaping and moving it according to the given commands.

S8: Asking questions in English while a character is being taught and responding in English to these questions by the character as well.

S9: Recognizing the picture in the book with image processing technique and watching the video on that subject on a phone/tablet/glasses.

3.3. Analysis Results of Binary Comparative Matrixes

One of the important evaluation criteria is the difficulties caused by the students. There are nine sub-criteria related to this. These are as follows: 1: inability to learn the word in context, 2: fear of making mistakes while speaking in a foreign language, 3: lack of motivation, 4: insufficient practice in English, 5: different grammar, word and alphabet structure between English and his/her native language, 6: inability to have a command of the grammar of his/her native language, 7: not allocating enough time for foreign language lessons, 8: low cultural awareness and 9: status of not knowing how to learn. While creating the binary comparison matrix table for difficulties stem from

students, the sub-criteria were numbered as 1,2...9, respectively. Binary Comparative Matrix of the student-related difficulties is presented in Table 3.

Table 3. Binary comparative matrix of the student-related difficulties

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,00	2,00	0,20	2,00	7,00	3,00	0,33	7,00	1,00
2	0,50	1,00	1,00	1,00	9,00	3,00	0,50	5,00	0,33
3	5,00	1,00	1,00	1,00	7,00	1,00	0,50	7,00	1,00
4	0,50	1,00	1,00	1,00	7,00	2,00	1,00	7,00	0,50
5	0,14	0,11	0,14	0,14	1,00	0,20	0,14	1,00	0,11
6	0,33	0,33	1,00	0,50	5,00	1,00	0,33	6,00	0,33
7	3,00	2,00	2,00	1,00	7,00	3,00	1,00	9,00	1,00
8	0,14	0,20	0,14	0,14	1,00	0,17	0,11	1,00	0,11
9	1,00	3,00	1,00	2,00	9,00	3,00	1,00	9,00	1,00

As a result of the AHP analysis applied to the binary comparison matrix of the student-related difficulties ($\lambda_{max}=9.800$; $CI=0.100$; $CR=0.069$), it was decided to be consistent since the CR value was less than 0.10.

Another important evaluation criterion is the difficulties stemming from the education system. The sub-criteria of this criterion are; 1: lack of in-service training, 2: not starting language learning at an early age, 3: providing only exam-focused education in schools, 4: deficiencies caused by the curriculum, 5: lack of sufficient quantitative and qualitative teachers, 6: difficulties arising from measurement (multiple choice exam) and 7: the fact that knowledge level of students are different.

As a result of the AHP method analysis ($\lambda_{max}=8.090$; $CI=0.182$; $CR=0.138$), the consistency value was determined to be 0.138 and it was decided that model estimation can't be performed because it was bigger than 0.10. As a result, the difficulties stem from the education system were excluded because the binary comparison matrix was not consistent.

Material-related difficulties are another evaluation criterion, and it has three sub-criteria: 1: lack of correct and high-quality materials, 2: difficulties in learning in crowded classrooms and 3: deficient use of technology. As a result of the AHP analysis, the binary comparison matrix values of the difficulties arising from the material were $\lambda_{max}=3.029$; $CI=0.015$; $CR=0.025$. Likewise, as the CR value is lower than 0.10, it is consistent and model estimation can be made with these criterion weights.

Binary Comparative Matrix of the difficulties stem from the material is presented in Table 4.

Table 4. Binary comparative matrix of the difficulties stem from the material

	Lack of correct and high-quality material	Learning difficulties in crowded classrooms	Insufficient Use of Technology
Lack of correct and high-quality material	1,00	1,00	3,00
Learning Difficulties in crowded classrooms	1,00	1,00	5,00
Insufficient Use of Technology	0,33	0,20	1,00

The sub-criteria of teacher-related difficulties are 1: lack of practice in English speaking, 2: using the native language mainly in foreign language teaching and restricting active speaking, 3: deficiencies in teaching ability, 4: lack of knowledge in teacher's English level and 5: inability in self-improvement.

According to the results of the AHP analysis applied for the sub-criteria of this criterion ($\lambda_{max}=5.228$; $CI=0.057$; $CR=0.051$), it was acknowledged that the binary comparison matrix of difficulties stemming from the teacher is consistent. Binary Comparative Matrix of teacher-related difficulties is presented in Table 5.

While the most significant criterion for the difficulties encountered in teaching English is student-related as indicated with the rate of 71%, it is seen that the second is material-related (19%) and the third is teacher-related difficulties (10%). The most important sub-criterion of the student-related criterion of the difficulties faced in teaching English is that students do not (can not) spend enough time on foreign language lessons as indicated by the rate of 18.9%. When Table 6 is examined, it is seen that having no knowledge of how to learn (18.3%) and lack of motivation (15.4%) are other student-related problems. The least effective student-related difficulties are the sub-criteria of different native language grammar, vocabulary and alphabet structure and weak cultural awareness (1.8%). When the sub-criteria of material-related difficulties are examined, it has been observed that the most significant sub-criterion is the learning difficulties seen in crowded classrooms with 57.4%.

While the lack of correct and high-quality materials is in the second rank with the rate of 28.6%, the least effective sub-criteria (14%) is the students' insufficient use of technology. In Table 6, the most important sub-criterion (54.3%) of the student-related difficulties criterion is the inability to self-improvement. In the second rank (24%) comes the teacher's lack of knowledge in English linguistic level. The least effective sub-criterion (5.8%) is seen to be deficiencies in teaching ability.

The values of the solution proposals (decision options) presented by using AR in English teaching were calculated by using the priority matrix value and importance levels of the sub-criteria of each criterion. These values are shown in Table 7. When Table 7 is examined, it is seen that the solution offers are as follows from the top to the low: S5 (%20.5), S7 (%16.6), S4 (%13.4), S3 (%12), S8 (%11.3), S6 (%11), S1 (%6), S2(%4.9) and S9(%4.5). As a result of the research, the best three solution suggestions would be "the use of a virtual character as a teaching aid in English education and this virtual character wandering around the classroom randomly and the teacher occasionally asking the students about where this character is and what it is doing", "animating the shape in an English storybook by making it 3D and shaping and moving it according to the given commands" and "displaying all parts of any material in three dimensions and ensuring that their details are seen in English during the lecture". Detailed result of AHP model is presented on Table 6.

Table 5. Binary comparative matrix of teacher-related difficulties

	Lack of practice in speaking English	Using the native language mainly in foreign language teaching and restricting active speaking	Deficiencies in teaching abilities	Lack of knowledge in teacher's English level	Inability in self-improvement
Lack of practice in speaking English	1,00	1,00	2,00	0,33	0,20
Using the native language mainly in foreign language teaching and restricting active speaking	1,00	1,00	1,00	0,20	0,14
Deficiencies in teaching abilities	0,50	1,00	1,00	0,20	0,14
Lack of knowledge in teacher's English level	3,00	5,00	5,00	1,00	0,20
Inability in self-improvement	5,00	7,00	7,00	5,00	1,00

Table 6. Detailed result of AHP model

Choosing The Best Solution For Teaching English	Value of Comparison
Sub-Criteria of Difficulties Caused by the Student	
Inability to learn the word in context	0,137
Fear of making mistakes while speaking in a foreign language	0,111
Lack of motivation	0,154
Insufficient practice in English	0,119
Different grammar, words and alphabet structures between English and his/her native language	0,018
Student's inability to have a command of the grammar of his/her native language	0,072
Not allocating enough time for foreign language lessons	0,189
Low cultural awareness	0,018
No knowledge of how to learn	0,183
Sub-Criteria of Difficulties Caused by the Material	
Lack of correct and high-quality material	0,286
Learning difficulties in crowded classes	0,574
Insufficient use of technology	0,140
Sub-Criteria of Difficulties Caused by the Teacher	
Lack of practice in speaking English	0,091
Using the native language mainly in foreign language teaching and restricting active speaking	0,068
Deficiencies in teaching abilities	0,058
Lack of knowledge in teacher's English level	0,240
Inability in self-improvement	0,543
Criterion	
Difficulties caused by the student	0,710
Difficulties caused by the material	0,190
Difficulties caused by the teacher	0,100

Table 7. Values of solution suggestions

Code of the Offered Solution	The Solution Offered by Using Augmented Reality in English Teaching	Values
S1	Seeing the corresponding word in a written text using Augmented Reality technology with glasses or a cell phone	0,060
S2	Defining the material in the environment using image processing technique and displaying it's English equivalent on a phone/tablet/glasses	0,049
S3	Displaying the translated version with the original text by placing the phone on the text	0,120
S4	Displaying all parts of any material in three dimensions and ensuring that their details are seen in English during the lecture	0,134
S5	The use of a virtual character as a teaching aid in English education and this virtual character wanders around the classroom randomly and the teacher occasionally asks students about where this character is and what it is doing	0,205
S6	Teaching/learning English through gamification in the form of giving English commands to the player in the game and getting points if the player performs them.	0,110
S7	Animating the shape in an English storybook by making it 3D and shaping and moving it according to the given commands	0,166
S8	Asking questions in English while a character is being taught and responding in English to these questions by the character as well	0,113
S9	Recognizing the picture in the book with image processing technique and watching the video on that subject on a phone/tablet/glasses	0,045

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Accordingly, this work has aimed to give information about the general concept of AR technologies and reveal their application areas with examples in English education in order to provide suggestions for AR technology applications that can solve the problems and difficulties encountered in English learning. To do so, a focus group interview technique has been applied to a group of English teachers and accordingly priority rankings and importance ratings of encountered difficulties and their categorization in a comparative way have been presented by using AHP Rating Scale. After that, it has been suggested AR technology applications that can solve the problems and difficulties encountered in English education and they have been listed according to their priority rankings.

Similar to Şahin [51]'s study, but with one addition, the difficulties encountered in English education were divided into four groups as student-related difficulties, education system-related difficulties, material-related difficulties, and teacher-related difficulties. In this study, similar reasons were identified as in [46], [47], [48], [49], [50] and these reasons were grouped under four main categories to create a hierarchical structure. It is evaluated that this hierarchy will provide a systematic infrastructure for future studies and implementations.

The teaching materials used in English language education play a crucial role in the effectiveness of the teaching process. Written, auditory, and visual materials used in education appeal to students' different sensory organs, making learning more effective and also reducing the likelihood of forgetting what has been learned.

In parallel with the developments in technology, it is necessary to develop new materials and to benefit from AR technology like many new developing technologies. In education, AR assists students in better learning through visualization and full immersion in the subject. Although new applications will continue to emerge as AR technology develops, this study has identified nine AR applications that can be used in English education, and determined which one would contribute the most to addressing the issues in English education.

Of the nine proposed technologies, three of the most effective are “the use of a virtual character as a teaching aid in English education and this virtual character wandering around the classroom randomly and the teacher occasionally asking the students about where this character is and what it is doing”, “animating the shape in an English storybook by making it 3D and shaping and moving it according to the given commands” and “displaying all parts of any material in three dimensions and ensuring that

their details are seen in English during the lecture”. It is considered that the proposed technologies will develop more and more effectively as they are used in English education and will also shed light on the development of other innovative applications.

As a result, it is evaluated that lots of AR applications can be developed and will increase the effectiveness in learning and teaching English, and in parallel with the developments in technology and the increase in awareness regarding the use of technology in education, the AR can be used intensively and effectively in English education over time. It is hoped that the resulting work is useful for other relevant work in academia and practice.

5. RECOMMENDATIONS

In the future studies, the AR applications mentioned in this study can be implemented and actually can be used in English education, the effectiveness of the AR applications mentioned here can be determined, the benefits of AR applications in English education can be investigated, the results of a similar study conducted with students can be compared with the results of this study, and new applications can be developed by using the AR applications mentioned in this study.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to express our sincere thanks to Merve ÖNCÜL, who generously provided her assistance in our work, and to the English teachers who participated in our study and provided us with valuable data.

The focus group study conducted with 32 English teachers in this research is an improved version of [45] that is previously conducted with six English teachers.

REFERENCES

- [1] B. Akkoyunlu, "Bilgisayar ve eğitimde kullanılması." *Çağdaş Eğitimde Yeni Teknolojiler*, 3(4), 5, 1998.
- [2] M. Bulun, B. Gülnar, & M. Güran, "Eğitimde Mobil Teknolojiler". *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 3(2), 165-169, 2004.
- [3] D. Oblinger & J. Oblinger, "Is It Age Or IT: "First Steps Toward Understanding The Net Generation." *Educating The Net Generation*, 2 (1-2), 20, 2005.
- [4] J.C. Gonzato, T. Arcila & B. Crespín, "Virtual objects on real oceans. In GRAPHICON'2008, 49-54, 2008.
- [5] B. Akkoyunlu, "Educational Technology In Turkey: Past, Present And Future." *Educational Media International*, 39 (2), 165-174, 2002.
- [6] K. Pimental ve K. Teixeira, *Virtual Reality: Through the New Looking Glass*. 2nd Ed., McGraw-Hill, 1995.
- [7] V. Demirel & Ç. Erbaş, "Mobil Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının İncelenmesi ve Eğitimsel Açıdan Değerlendirilmesi." *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11 (3), 802-813, 2015.
- [8] R.T. Azuma, *A Survey Of Augmented Reality*. Teleoperators and Virtual Environments, 6, 355-385, 1997.
- [9] S. Somyürek, "Öğrenme Sürecinde Z Kuşağının Dikkatini Çekmek" *Artırılmış Gerçeklik. Eğitim Teknolojisi*, 4(1), 63-80, 2014.
- [10] B4MIND, "Sanal Gerçeklik ile Artırılmış Gerçeklik Arasındaki 5 Kritik Fark: <https://b4mind.com/dijital-pazarlama/sanal-gerceklik-ile-artirilmis-gerceklik-arasindaki-5kritik-fark-2>, 2014.
- [11] M.H. Mete, "Metaverse Teknolojileri ve Etki Alanları", *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14 (2), 155-171, 2022.
- [12] G. Riva, D. Di Lernia, and E. Sajno, **Virtual reality therapy in the metaverse: Merging VR for the outside with VR for the inside**. Annual Review of Cybertherapy & Telemedicine, 19, 3-8, 2021.
- [13] O. Güler and S. Savaş, "All Aspects of Metaverse Studies, Technologies and Future", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, 8(2), 292-319, 2022.
- [14] M. A. Livingston, Z. Ai, K. Karsch & G. O. Gibson, **User Interface Design For Military AR Applications**. Virtual Reality, 15, 175-184, 2011.
- [15] D. V. Krevelen & R. Poelman, "Augmented Reality: Technologies, Applications, and Limitations." *The International Journal of Virtual Reality*, 9 (2), 1-20, 2010.
- [16] V. Demirel & Ç. Erbaş, "Eğitimde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları" *Google Glass Örneği. Journal of Instructional Technologies & Teacher Education*, 3 (2), 8-16, 2014.
- [17] M. Albayrak & V. Altıntaş, "Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Veritabanı Dersinde Kullanımı." *Istanbul Journal of Innovation in Education*, 3 (1), 13-23, 2017.
- [18] T. İçten & G. Bal, "Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi" *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 401-415, 2017.
- [19] E. Dale, **Audiovisual Methods in Teaching**. Dryden Press, 1969.
- [20] L. Kerawalla, "Making It Real: Exploring the Potential of Augmented Reality for Teaching Primary School Science" *Virtual Reality*, 10(12), 163-174, 2006.
- [21] A. Taşkıran, E. Koral. & A. Bozkurt, "Artırılmış Gerçeklik Uygulamasının Yabancı Dil Öğretiminde Kullanılması" *Akademik Bilişim, Anadolu Üniversitesi*, 462-467, 2015.
- [22] R. Freitas & P. Campos, SMART: A System of Augmented Reality for Teaching 2nd grade students. In Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction-Volume 2, British Computer Society, 27-30, 2008.
- [23] S. Cuendet, Q. Bonnard, S. Do-Lenh & P. Dillenbourg, **Designing Augmented Reality For The Classroom. Computers & Education**, 68, 557-569, 2013.
- [24] M. S. Abdüsselam & H. Karal, "Fizik Öğretiminde Artırılmış Gerçeklik Ortamlarının Öğrenci Akademik Başarısı Üzerine Etkisi: 11. Sınıf Manyetizma Konusu Örneği" *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 1 (4), 170-181, 2012.
- [25] A. Di Serio, M. B. Ibáñez & C. D. Kloos, "Impact of an Augmented Reality system on students' motivation for a visual art course. Computers & Education, 68, 586-596, 2013.
- [26] W. Rezende, E. Albuquerque & A. Ambrosio, "Use of Augmented Reality to Support Education - Creating a Mobile E-learning Tool and using it with an Inquiry-based Approach. In Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education, 1, 100-107, 2017.
- [27] A. Durak & F. G. K. Yılmaz, "Artırılmış Gerçekliğin Eğitsel Uygulamaları Üzerine Ortaokul Öğrencilerinin Görüşleri" *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 19 (2), 468 – 481, 2019.
- [28] E. B. Kırıkkaya & M. Şentürk, "Güneş Sistemi ve Ötesi Ünitesinde Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Kullanılmasının Öğrenci Akademik Başarısına Etkisi" *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 26 (1), 181–189, 2018.
- [29] K. Topraklıoğlu, **Üç Boyutlu Modellemenin Kullanıldığı Artırılmış Gerçeklik Etkinlikleri İle Geometri Öğretimi** (Publication No. 529702) [Master dissertation, Balıkesir University]. Yök Ulusal Tez Merkezi, 2018.
- [30] S. Çetin, **Artırılmış gerçeklik uygulamalarının teknik resim dersinde ortaöğretim öğrencilerinin akademik başarıları, tutumları ve uzamsal görselleştirme becerilerine etkisi** (Publication No. 542420) [Master dissertation, Bursa Uludağ University]. Yök Ulusal Tez Merkezi, 2019.
- [31] Y. B. Kurtoğlu, **Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Bilişim Teknolojileri ve Yazılım Derslerinde Öğrenme Süreçlerine Etkisi** (Publication No. 558923) [Master dissertation, Trabzon University]. Yök Ulusal Tez Merkezi, 2019.
- [32] F. Özbek & Ş. Ak, "İlkokul 4. Sınıf Türkçe Dersinde Artırılmış Gerçeklik Uygulaması: Başarı ve Motivasyona Etkisi" *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 28(4), 1668 – 1679, 2020.
- [33] S. Timur, F. Doğan, N. İ. Çetin, B. Timur & R. Işık, "Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının 6. sınıf Öğrencilerinin Hücre Konusundaki Akademik Başarılarına Etkisi" *Akdeniz Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 13(30), 126 – 138, 2019.

- [34] E. A. Bilgin & S. Hızarcı, "Artırılmış Gerçeklik Destekli Mobil Öğretimin Lise Öğrencilerinin İstatistiğe Yönelik Başarılarına ve Teknolojiye Yönelik Tutumlarına Etkisinin İncelenmesi" *Turkish Studies-Educational Sciences*, 17 (1), 23-47, 2022.
- [35] D. Çınar & Ö. E. Akgün, Ders Kitabı Tasarımında Artırılmış Gerçeklik Kullanımı: Bir İngilizce Ders Kitabı Bölümü Örneği. T. C. Sakarya Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, VII. Ulusal Lisansüstü Eğitim Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 98-103, 2015.
- [36] R. Çakır, E. Solak & S. S. Tan, "Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi ile İngilizce Kelime Öğretiminin Öğrenci Performansına Etkisi" *Gazi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 45-58, 2015.
- [37] S. Küçük, R. M. Yılmaz & Y. Göktaş, **Augmented Reality for Learning English: Achievement, Attitude and Cognitive Load Levels of Students.** *Education and Science*, 39 (176), 393-404, 2014.
- [38] G. Ramya, Adopting Augmented Reality for English Language Teaching and Learning. *Language in India*, 17 (7), 352-360, 2017.
- [39] P. Vate-U-Lan, "An Augmented Reality 3D Pop-Up Book: The Development of a Multimedia Project for English Language Teaching" *2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 890-895, 2012.
- [40] B. A. Rayene, The Use of Augmented Reality to Enhance Learners' Comprehension and Retention: A Case Study of Third Year English Students at Biskra's University [Master dissertation, Biskra University], 2019.
- [41] Ö. Koç, E. Altun & H. G. Yüksel, "Writing an expository text using Augmented Reality: Students' performance and perceptions" *Education and Information Technologies*, 27 (1), 845-866, 2021.
- [42] R. A. Pugoy, R. Ramos, R. Figueroa, B. Siritarungsri, A. Cheevakasemsook, P. Noimuenwai & P. Kaewsarn, The Talking Comic Strip: Technology-Enhanced Learning for English Communication. In: Li K.C., Tsang E.Y.M., Wong B.T.M. (eds) *Innovating Education in Technology-Supported Environments.* Education Innovation Series. Springer, 2020.
- [43] C. C. Tsai, "The Effects of Augmented Reality to Motivation and Performance in EFL Vocabulary Learning" *International Journal of Instruction*, 13(4), 987-1000, 2020.
- [44] D. Wang & M. N. Khambari, "An AR-based Gamified English Course in Vocational College through Interest-driven Approach" *Universal Journal of Educational Research*, 8(1A), 132-137, 2020.
- [45] M. B. K. Önaçan & S. Kulakoğlu, **Artırılmış Gerçeklik Teknolojilerinin İngilizce Eğitiminde Kullanılmasına Yönelik Öneriler**, Fatih Projesi Bildiri Kitabı, 558- 567, 2018.
- [46] A. Işık, "Yabancı Dil Eğitimimizdeki Yanlışlar Nereden Kaynaklanıyor" *Journal of Language and Linguistic Studies*, 4 (2), 15-26, 2008.
- [47] S. Bayraktaroğlu, Neden yabancı dil eğitiminde başarılı olamıyoruz? Türkiye'de yabancı dil eğitiminde eğilim ne olmalı? Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi İngiliz Dili Eğitimi Anabilim Dalı 1. Yabancı Dil Eğitimi Çalıştayı Bildirileri, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 2012.
- [48] P. T. Cephe, İngilizce Öğretmeni Eğitiminde Yaklaşımlar ve Uygulamalar. II. Ulusal Yabancı Dil Eğitimi Çalıştayı Bildirileri (8-9 Kasım 2013), Hedef Kopyalama, 59-64, 2014.
- [49] M. B. Acat & S. Demiral, Türkiye'de Yabancı Dil Öğreniminde Motivasyon Kaynakları ve Sorunları. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 31 (31), 312-329, 2002.
- [50] B.C. Demirpolat, Türkiye'nin Yabancı Dil Öğretimiyle İmtihanı: Sorunlar ve Çözüm Önerileri. SETA, 131, 8-19, 2015.
- [51] K.Şahin, Türkiye'de Yabancı Dil Öğretimi, Sorunlar ve Çözüm Yolları, X. Ulusal Öğretmenim Sempozyumu (1 Aralık 2018), İstanbul, 58-64,2018.
- [52] Ö. Çokluk, K. Yılmaz & E. Oğuz, Nitel Bir Görüşme Yöntemi: Odak Grup Görüşmesi. *Kuramsal Eğitimbilim*, 4 (1), 95-107, 2011.
- [53] E. Kocamustafaoğulları, Çok Amaçlı Karar Verme [PowerPoint slides]. Tepav: http://www.tepav.org.tr/tur/admin/dosyabul/upload/Cok_Amacli_Karar_Verme.pdf, 2007.
- [54] K. S. Chin, S. Chiu & V. M. R. Tummala, "An Evaluation of Success Factors Using the AHP to Implement ISO 14001-Based EMS" *The International Journal of Quality and Reliability Management*, 16 (4), 341-361, 1999.
- [55] H. Min, "Location Analysis of International Consolidation Terminal Using the AHP" *Journal of Business Logistics*, 15(2), 25-44, 1994.
- [56] A. Tektaş & A. Hortaçsu, "Karar Vermede Etkinliği Artıran Yöntem: Analitik Hiyerarşi Süreci ve Mağaza Seçimine Uygulanması" *İktisat İşletme ve Finans Dergisi*, (18), 52-61, 2003.
- [57] T. L. Saaty, **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory.** RWS Publications, 1994.