



INOTECH

Inspiring **Technologies**
and
Innovations



December

2024

E-ISSN : 2822-6062

Volume : 3 Issue : 2



INOTECH

Inspiring Technologies and Innovations Journal

E-ISSN: 2822-6062

Volume 3 Issue 2
December 2024

Preface

The publication process of the ‘Inspiring Technologies and Innovations (INOTECH)’ journal is continuing with the decision numbered 261 taken at the session of the Senate of Kastamonu University dated 2.12.2021 and numbered 26, and with the coordination of Kastamonu University Technology Transfer Office.

Our journal named ‘Inspiring Technologies and Innovations (INOTECH), which is a pioneer because it prioritizes R&D and innovation issues in multidisciplinary fields, is a peer-reviewed, open access, free publication policy and periodical research journal by Kastamonu University twice a year.

Aiming to develop in the way of presenting qualified works to national and international readers with the principle of scientific publishing, this first issue of our journal includes 5 original research and 1 review research articles from different disciplines and research fields.

We would like to thank all the academicians who contributed by sending their works, and all the referees who contributed in the evaluation process of these works;

We hope that the interest and support for our journal from the national and international community will increase.

Regards.

Prof. Dr. Alperen KAYMAKÇI
Chief Editor

Inspiring Technologies and Innovations**Volume 3 / Issue 2 / 2024****Owner**

Prof. Dr. Ahmet Hamdi TOPAL - Kastamonu University, Rector

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Alperen KAYMAKÇI - Kastamonu University

Associate Editors

Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI - Kastamonu University

Prof. Dr. Tolga ULUSOY - Kastamonu University

Asst. Prof. Erman ZURNACI - Kastamonu University

Language Editors

Lecturer Mehmet BOLLUK - Kastamonu University

Writing Editors

Lecturer Zuhar Arife KÜÇÜK - Kastamonu University

Gizem ÖREK - Kastamonu University

Editorial Office

Gizem ÖREK - Kastamonu University

Mail Adress:

Kastamonu University Rectorate
Kuzeykent Neig. General Atilla Ateş Paşa Street No: 19
Kuzeykent/KASTAMONU

Postal Code: 37150 KASTAMONU/TÜRKİYE

inotech@kastamonu.edu.tr

Content

Volume 3 / Issue 2 / 2024

Süt Taşımacılığında İnsan Sağlığını Koruma Odaklı Çoklu Ajanlı Yol Planlaması: Bulanık Mantık ve Hibrit Yaklaşımların Entegrasyonu Cem ÖZKURT	01-18
Virtual Reality and Metaverse in the Treatment of Post Traumatic Stress Disorder Sena Akbay SAFİ	19-24
Hologram Teknolojilerinin Yapay Zekâ İle Desteklenmesine Yönelik Öğretmen Görüşlerinin İncelenmesi Aslıhan KARATAŞ	25-34
Production of Ni-GNP/AlSi12 Composite Foams and Investigation of Their Properties Kilani A. Mohamed HASSAN, Arif UZUN	35-41

Inspiring Technologies and Innovations

December 2024, Volume: 3 Issue: 2

Araştırma Makalesi Süt Taşımacılığında İnsan Sağlığını Koruma Odaklı Çoklu Ajanlı Yol Planlaması: Bulanık Mantık ve Hibrit Yaklaşımların Entegrasyonu

Cem ÖZKURT^{a,b}

^aSakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Türkiye.

^bSakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Yapay Zeka ve Veri Bilimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Türkiye.

ORCID^a: 0000-0002-1251-7715

Sorumlu Yazar e-mail: cemozkurt@subu.edu.tr

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14541791>

Gönderilme : 26.06.2024 Kabul : 19.11.2024 Sayfalar : 01-18

ÖZET: Genellikle taşıma süreçlerinde yaşanan gecikmeler veya keyfi kararlar, özellikle gıda ve tarım sektörlerinde sıkça karşılaşılan bir sorundur. Mevcut navigasyon sistemlerinin genellikle sadece hız veya yakıt tasarrufu odaklı olması, kısa ömürlü ve özel ürünlerin korunmasını ihmal etmesine neden olmaktadır. Bu çalışma, özellikle süt taşıma süreçlerinde ortaya çıkan bu sorunlara çözüm getirmeyi hedeflemektedir. Süt taşımacılığında, verim, sıcaklık ve kütle kullanımı gibi belirli standartlar belirlenerek, dinamik bir yapı kullanılarak karar alınması önerilmektedir. Çalışma, genetik algoritmalar, bulanık mantık ve hibrit yaklaşımların çoklu ajan sistemleri ve otonom robot yol planlamasında kullanımına dair önemli perspektiflere dayanmaktadır. Literatürde, koordinasyon davranışları, bulanık kurallı yol planlaması, dil değişkenleri ve işbirliğine dayalı öğrenme yöntemleri gibi çeşitli alanlar incelenmektedir. Bu çalışmanın odaklandığı konu, "A*" algoritması ile çoklu hedefli ajanları kullanarak bulanık mantık" üzerine yoğunlaşarak, bu temelleri daha da geliştirmeyi ve çoklu ajanlı yol planlama senaryoları için güçlü çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Mobil Yol Planlaması, A* algoritması ile Yol Bulma, Çok Hedefli Ajanlar Yol Planlaması, Bulanık Mantık

ABSTRACT: In transportation processes, delays and arbitrary decisions are often encountered, especially in the food and agriculture sectors. The prevailing focus of current navigation systems on speed or fuel efficiency often neglects the preservation of perishable and specialty products. This study aims to address these issues, particularly in milk transportation processes. It proposes decision-making through the use of specific standards such as efficiency, temperature, and mass, employing a dynamic framework. The study draws insights from the utilization of genetic algorithms, fuzzy logic, and hybrid approaches in multi-agent systems and autonomous robot path planning. Various aspects are explored in the literature, including coordination behaviors, fuzzy rule-based path planning, linguistic variables, and collaboration-based learning methods. The focus of this study lies in enhancing these fundamentals, particularly emphasizing on utilizing the A* algorithm with multi-target agents using fuzzy logic, aiming to provide robust solutions for multi-agent path planning scenarios.

KEYWORDS: Mobile Path Planning, Pathfinding with A* algorithms, Multi-Target Agents Path Planning, Fuzzy Logic

1. GİRİŞ

Günümüzde, ham madde ve yan ürünlerin işlenmesi veya taşınması süreçlerinde, insan sağlığını koruma girişimleri henüz tam olarak sonuç vermemiştir. Bu zorluklar, taşıma süreçlerinde yaşanan gecikmelerden veya taşıma yöntemlerinin keyfi olarak belirlenmesinden kaynaklanmaktadır [15]. Özellikle gıda, tarım ve benzeri endüstrilerde bu tür sorunlar sıkça karşılaşılmaktadır. Geleneksel navigasyon sistemleri, araçların belirlenen hedefe en hızlı veya en az yakıt tüketerek ulaşmasını sağlamaya odaklanmıştır. Ancak bu yaklaşım, taşınan kısa süreli ve hassas ürünlerin korunmasını çoğunlukla göz ardı eder [15]. Sağlık, maliyet ve kalite gibi kritik parametreleri göz önünde bulundururken, kullanılan taşıma araçlarının verimliliğinin beklenen düzeyde olmayabileceğini vurgulamaktadır. Bu çalışma, özellikle süt taşıma sürecinde karşılaşılan bu sorunlara çözüm getirmeyi amaçlamaktadır. Süt taşıma süreçlerinde, verimlilik, sıcaklık kontrolü ve ürün kalitesinin korunması temel unsurlardır. Dinamik bir karar alma yapısı kullanarak, daha yüksek doğruluk ve daha az hata ile sonuçlar elde etmek mümkündür. Buradaki temel amaç sadece yakıt ve taşınan yük miktarını optimize etmek değil, aynı zamanda hangi rotanın ve taşıma yönteminin kullanılacağına karar vermektir. Çoklu karar alma sistemlerinin kullanımı, belirli koşulların daha net bir şekilde tanımlanmasına ve ölçülmesine katkıda bulunur.

Bu çalışma, genetik algoritmalar, bulanık mantık ve hibrit yaklaşımların çoklu ajan sistemlerinde ve otonom robot yol planlamasında kullanımına ilişkin önemli bulgular ve analizler sunmaktadır. İlgili literatür, koordinasyon davranışları, bulanık kural tabanlı yol planlaması, dil değişkenleri ve işbirliğine dayalı öğrenme yöntemleri gibi çeşitli alanları kapsamaktadır.

Shibata ve diğerleri tarafından yapılan çalışmalar, çoklu ajan sistemlerinde koordinasyon davranışları, genetik algoritmalar ve bulanık mantığa odaklanmaktadır [11]. Walker ve meslektaşları, dil değişkenleri ve bulanık mantık kullanarak yol planlama stratejilerini optimize etmeyi incelemektedir [12]. Fayad ve ekibi, bulanık ve kesin mantığı entegre ederek otonom mobil robotlar için hibrit bir mantık önermektedir [5].

Gireesh ve diğerleri, çoklu ajanların optimal yol planlamasını çarpışma önleme sensörleri kullanarak bulanık mantık yöntemiyle gerçekleştirmektedir [3]. Castillo ve diğerleri, otonom mobil robotlar için genetik algoritmaları çevrimdışı yol planlaması için kullanmaktadır [1]. Sabo ve ekibi, bulanık mantığın, hareketli engeller içeren senaryolarda yangın söndürme uçaklarının yol planlamasında nasıl kullanılabileceğini araştırmaktadır [10].

Lamini ve meslektaşları, bulanık mantık tarafından desteklenen Holonik Çoklu Ajan Sistemi içinde iş birliği Q-öğrenme yöntemini tanıtmaktadır [7]. Luviano ve arkadaşları, sürekli zamanlı yol planlamasına katkıda bulunmak için bulanık takviye öğrenme algoritmalarını kullanmaktadır [8].

Bulanık kümeler ve bulanık mantık teorileri üzerine kapsamlı bir inceleme yaparak, bu alanların matematiksel temellerini ve uygulama alanlarını derinlemesine ele almışlardır [14]. Çalışmalarında, bulanık mantığın belirsizlik içeren problemlerin çözümünde nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceğine dair önemli bilgiler sunmakta ve bu alanda kullanılan yaklaşımların teorik zeminini oluşturmaktadırlar. Ancak mevcut literatür incelendiğinde, bulanık mantığın belirsiz verilerle çalışabilme yeteneğine rağmen bu tür yöntemlerin karar verme süreçlerinde daha etkin bir yapı sunabilmesi için belirli sınırlamaları olduğu görülmektedir. Örneğin, karar süreçlerinde karmaşıklığın arttığı durumlarda bulanık mantığın adaptasyon yeteneği zayıflayabilir ve mevcut yöntemler bazı belirsizlik düzeylerinde yetersiz kalabilir. Bu eksiklikler, literatürdeki bulanık mantık uygulamalarının geniş bir yelpazede kullanılıyor olmasına rağmen daha esnek ve optimize edilmiş modellere ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda çalışmamız, literatürdeki bu sınırlılıkları gidermek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut teorik çerçevenin üzerine inşa edilen bu çalışma, bulanık mantık teorilerini daha dinamik ve geniş bir yelpazede uygulanabilir hale getirerek belirsizliklerin daha etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Özellikle, mevcut literatürde eksikliği hissedilen adaptif bulanık mantık modelleri geliştirilerek, belirsizliğin yüksek olduğu karar alma süreçlerinde daha güvenilir ve esnek sonuçlar elde etmeye yönelik katkılar sunmaktadır. Bu yaklaşım hem teorik hem de uygulamalı alanlarda önemli bir boşluğu doldurmakta olup, belirsizlikle başa çıkmak zorunda kalınan çeşitli problem alanlarında yenilikçi çözümler üretilmesini hedeflemektedir.

Bu çalışma, "A* algoritması ile çoklu hedefli ajanları kullanarak bulanık mantık" üzerinde odaklanarak, bu temelleri daha da geliştirmeyi hedeflemektedir. A* algoritmasının bulanık mantık ile entegrasyonu, dinamik ortamlarda karar verme yeteneğini artırarak, çoklu ajanlı yol planlama senaryoları için güçlü çözümler sunmayı amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

Bulanık mantık teorisinin temel prensiplerini ve mühendislik ile bilgi işlem alanlarındaki uygulamalarını detaylandırmıştır [13]. Bu çalışma, klasik mantığın belirsizliği ele alma konusundaki yetersizliklerine alternatif bir yaklaşım sunmaktadır [13].

Karar verme sürecinin karmaşıklığı ve belirsizliklerin yönetilmesi gerekliliği, kesin olmayan ve eksik bilgilerle çalışma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [14]. Bu bağlamda bulanık mantığın karar verme modellerine entegrasyonu, belirsizlik ve eksiklikleri ele almak için önemli bir gelişme olarak öne çıkmaktadır. Bulanık mantık, ikili mantık yerine doğruluk derecelerini işleme kapasitesiyle karar verme süreçlerine incelikli bir yaklaşım sunar, bu da verimliliği ve tutarlılığı artırır [17].

Carlsson'un hiyerarşik çok düzeyli sistemlerde çok ve ultra kararlı durumları anlamak için yaptığı çalışma, çok amaçlı karar verme ortamlarının karmaşık dinamiklerine dair önemli içgörüler sunmuştur. Bu çalışma, özellikle değişken derecelerde belirsizlik ve eksik bilgiyle karakterize edilen durumlarda, karar verme modellerinde çok düzeyli ve çok amaçlı perspektiflerin benimsenme potansiyelini vurgular.

Satyadas ve diğerleri tarafından geliştirilen Bulanık Karar Destek Uzman Sistemi, kesin olmayan ve eksik bilgilerle dolu ortamlarda daha verimli ve tutarlı karar alma süreçlerine işaret etmektedir. Bu sistem, çeşitli problem alanlarını ele alabilme yeteneği ile çok amaçlı ortamlarda bulanık mantığın çok yönlülüğünü ve uygulanabilirliğini vurgular.

Suzuki'nin araştırması, yapı/kontrol tasarımı sentezi için çok amaçlı programlamayı araştırırken bulanık hedeflerin karar verme modellerine entegrasyonunu inceler [16]. Suzuki'nin önerdiği sıralı doğrusal yaklaşım yöntemi, rüzgarın neden olduğu stres gibi çeşitli parametreler için bulanık hedeflerin tanıtılmasını içerir ve doğrusal olmayan çok amaçlı problemler için etkili bir çözüm sunar [16].

Bulanık mantığın karar verme modellerine entegrasyonu, geleneksel ikili mantığın karmaşıklık ve belirsizliği ele alma yeteneklerinin sınırlı olduğu senaryolarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu evrim, belirsizlik ve eksik bilgiyle başa çıkmada bir paradigma değişikliğini yansıtmakta ve karar verme süreçlerinde güçlü bir çerçeve sağlamaktadır.

Bu çalışma, süt taşımacılığı gibi hassas ve kısa ömürlü ürünlerin lojistik süreçlerinde karar verme mekanizmalarının geliştirilmesini hedeflemektedir. Taşıma sürecinin her aşamasında kaliteyi korumak ve insan sağlığını ön planda tutmak amacıyla bir mobil uygulama, sunucu altyapısı ve bulanık mantık sistemleri bir araya getirilmiştir.

Mobil uygulama, kullanıcıların taşıma rotalarını belirlemesi, kargo bilgilerini kaydetmesi ve taşıma araçlarını yönetmesi için özel olarak geliştirilmiştir. Kullanıcılar, taşıma yapılacak hedef adresleri ve kargo bilgilerini Firebase Firestore veritabanına yükleyerek rotaları oluşturabilir. Rota oluşturma sürecinde, kullanıcı başlangıç ve varış noktalarını, taşınacak süt miktarını ve taşıma sıcaklığını girerek en uygun güzergahı belirleyebilir. Kullanıcı dostu bir arayüze sahip olan uygulama, ana sayfa üzerinden rota oluşturma, kargo bilgisi girme ve araç bilgilerini kaydetme gibi işlemleri kolayca gerçekleştirmeye olanak tanır.

Sunucu uygulaması, mobil uygulama ile entegre çalışarak veritabanı ile sürekli iletişim halindedir ve karar alma süreçlerini destekleyen bir yapı sunmaktadır. Python ile geliştirilen sunucu, Firebase veritabanında bulunan verileri analiz ederek, bulanık mantık algoritmalarını kullanarak karar vermektedir. Veriler işlenerek her bir parametreye göre standartlara uygun puanlar atanır. Sunucu ayrıca, A* Multigoal Path Planning algoritmasını kullanarak birden fazla hedefi dikkate alarak en kısa ve uygun rotayı belirlemektedir. Bu algoritma, taşıma sürecinde zaman tasarrufu sağlamanın yanı sıra ürünlerin güvenliğini koruyarak verimlilik sağlar.

Bulanık mantık sistemi, özellikle süt gibi hassas ürünlerin taşınması sırasında belirsizlikleri yönetmek ve karar verme süreçlerini optimize etmek için geliştirilmiştir. MATLAB ortamında modellenen bu sistem, sıcaklık ve yük gibi kritik parametreleri analiz ederek taşıma sürecinde alınacak kararları destekler. Sistem, sıcaklık ve yük değerlerine göre belirlenen 25 farklı kural seti ile çalışır. Bu kurallar, taşıma sırasında hangi kargonun öncelikli olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Ek olarak, sıcaklık ve yük puanlarına dayalı yakıt maliyetleri hesaplanarak hangi güzergahın daha uygun olduğu kararlaştırılır. Bu sayede taşıma sürecinde verimlilik sağlanır ve yakıt maliyetleri optimize edilir.

Sonuç olarak, bu sistem, süt taşımacılığı gibi hassas lojistik süreçlerde karar verme süreçlerini geliştirerek operasyonel verimliliği artırmayı amaçlar. Mobil uygulama, sunucu ve bulanık mantık sistemi arasındaki entegrasyon, taşıma süreçlerinde hem maliyet hem de kalite avantajı sağlayarak insan sağlığını koruma hedefini desteklemektedir.

Son olarak, A* algoritması ve benzeri sezgisel arama yöntemleri, buluşsal mesafelerin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler, zaman ve hafıza kısıtlamaları olan problemlerde özellikle önemlidir ve çeşitli iyileştirme stratejileriyle birlikte kullanılmaktadır.

2.1. Mobil Uygulama

Mobil uygulama, taşımacılık sürecinde rota belirleme, kargo yönetimi ve araç bilgilerini kaydetme işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır. Taşıma sürecinde kullanılan araçların rotalarının dinamik olarak belirlenmesi, kargo bilgileriyle uyumlu bir şekilde yönetilmesi ve bu verilerin düzenli olarak kaydedilmesi için mobil uygulama kritik bir rol oynamaktadır. Bu sistem, özellikle süt gibi hassas ürünlerin taşınmasında kaliteyi korumayı ve taşıma sürecinde meydana gelebilecek aksaklıkları en aza indirmeyi amaçlar. Mobil uygulama, kullanıcı dostu bir arayüze sahip olup, kullanıcının işlem adımlarını hızlı ve doğru bir şekilde tamamlamasına olanak tanır.

Mobil uygulamanın temel bileşenlerinden biri olan rota planlaması, taşıma sürecinin her aşamasında verimliliği artırmayı hedefler. Bu planlama sayesinde, belirli kargo ve hedef bilgilerine dayalı olarak en uygun güzergah seçilir ve süreç optimize edilir. Rota planlaması sırasında, taşınacak yükün hedef adresleri mobil uygulama aracılığıyla toplanır. Kullanıcılar, hedef noktaların adres bilgilerini mahalle, sokak/cadde, bina numarası veya adı biçiminde mobil uygulamaya girer. Bu adres bilgileri Firebase Firestore veritabanına güvenilir bir şekilde yüklenir. Veritabanında toplanan bilgiler, güzergah belirleme ve optimize etme aşamalarında sunucu tarafından kullanılır.

Mobil uygulama, yalnızca adres bilgilerini değil, aynı zamanda taşınacak kargo ve kullanılacak araç bilgilerini de kaydederek taşıma sürecinde önemli bir referans noktası oluşturur. Araç bilgilerinin (örneğin araç modeli, kilometre başına yakıt tüketimi gibi) ve kargo sıcaklığı veya ağırlık gibi özelliklerin girilmesi, rota planlamasında kullanılacak temel parametreleri sağlar. Böylece güzergah oluşturulurken taşıma sürecinde dikkat edilmesi gereken faktörler göz önünde bulundurularak en düşük maliyetli ve en güvenli rota oluşturulabilir.

Bu süreç, taşıma işlemlerinde zaman tasarrufu sağlamak, maliyetleri azaltmak ve ürün kalitesini korumak adına büyük önem taşır. Mobil uygulama aracılığıyla gerçekleştirilen rota planlaması, taşıma operasyonlarının verimliliğini artırarak taşımacılık sektöründe rekabet avantajı elde edilmesini sağlamaktadır.

Mobil uygulama, veritabanına erişerek kullanılacak aracın bilgilerini ve oluşturulmak istenen rota bilgilerini toplamak için arka planda çalışmaktadır. Program içerisinde 3 ana sayfa bulunmaktadır: Main_page, RotaOluşturma, ArabaBilgisiOluşturma. Main_page içerisinde, işlev sayfalarına yönlendiren 3 adet buton bulunmakta ve bu butonlar, sayfalarla iletişim sağlamaktadır.

RotaOluşturma sayfası içerisinde, 4 adet uyarı iletişim kutusu ve 5 adet buton bulunmaktadır. Adres girişi için kullanılan uyarı iletişim kutuları aracılığıyla adreslerin koordinatları alınarak veri tabanına aktarılmaktadır. Kargo girişi butonu içerisinde iki adet seçim menüsü bulunmaktadır. Bu seçim menüleri aracılığıyla kargo olarak taşınacak ham maddelerin sıcaklıkları ve ağırlıkları seçilir ve veri tabanı yüklenmektedir.

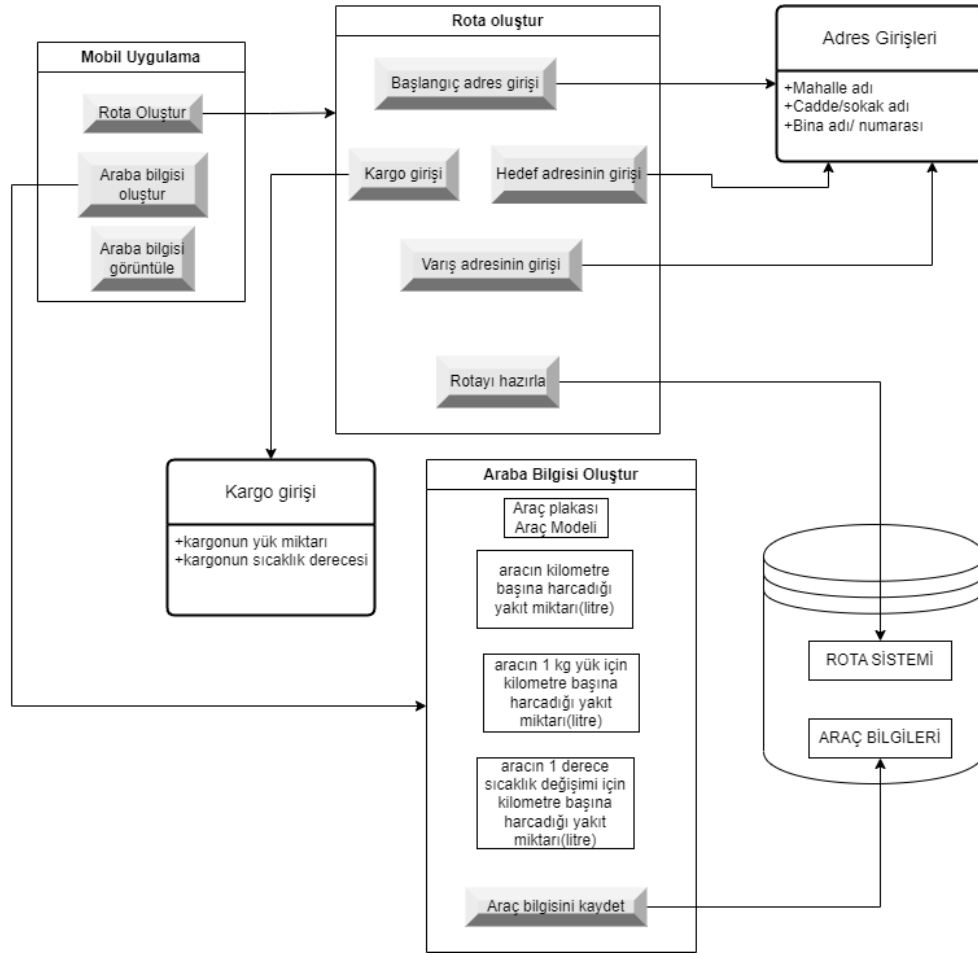
Tablo 1. Mobil Uygulamanın Algoritması

1. Başla
2. Anasayfaya gir
3. Eğer araç girişi yapılmamışsa araç girişi yap
4. Eğer araç girişi varsa rota oluşturmaya başla
5. Başlangıç noktasının adresini gir butonuna basılır
6. Sırasıyla mahalle, cadde/sokak adı, bina adı/numarası giriniz.
7. Gidilecek hedefin adresini giriniz.
8. Hedef için toplanacak kargonun özelliklerini giriniz.
9. Gidilmesi gereken bütün hedefler bu Şekilde girilir.
10. Varış noktasının adresini gir butonuna basılır.
11. Sırasıyla mahalle, cadde/sokak adı, bina adı/numarası giriniz.
12. Rota oluştur tuşuna basılır.
13. Serveri çalıştıran tetikleyici parametre aktif hale gelir.
14. Bitiş

2.2. UML Haritası

Unified Modeling Language (Birleşik Modelleme Dili (UML)), yazılım ve sistemlerin görsel olarak modellenmesi için standartlaştırılmış bir dildir [2]. UML, karmaşık sistemleri anlamlandırmak, tasarlamak, dokümantasyonunu yapmak ve bunları geliştirmek için kullanılan bir araçtır. Yazılım mühendisliği ve sistem analizinde yaygın olarak kullanılan UML, farklı paydaşlar arasında iletişimi kolaylaştırır ve anlaşılabilirlik sağlar.

UML'in temel amacı karmaşık sistemlerin tasarımını ve analizini kolaylaştırmak ve yazılım geliştirme sürecinin her aşamasında kullanılabilmesini sağlamaktır. Bu nedenle, UML standartları, yazılım mühendisliğinde ortak bir anlayış ve yöntem sağlar, böylece ekipler arası iletişimde netlik ve tutarlılık sağlanabilir.



Şekil 1. Mobil uygulamanın Unified Modeling Language (UML) haritası

2.3. Server Uygulaması

Server Sistemi, Python dilinde kodlanarak veri tabanı ile haberleşme içerisinde bulunarak çalışmaktadır. Server içerisinde, verilerin kullanılacak alanlar için çekilmesi, bulanık mantık kullanılarak kararın alınması, verilerin işlenmesi, koordinat verilerinin oluşturulması ve A* Multigoal Path Planning yapacak olan fonksiyonun çalıştırılması gibi işlemler gerçekleştirilir.

A* Multigoal Path Planning, yapay zeka ve robotik alanlarında kullanılan bir planlama algoritmasıdır. Bu algoritma, bir robot veya ajanın belirli hedeflere veya hedef bölgelere en etkin şekilde nasıl ulaşabileceğini hesaplamak için geliştirilmiştir. En kısa yol bulma problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir bilgisayar bilimi algoritması olan A*'ın genişletilmiş bir versiyonudur. Multigoal Path Planning, birden fazla hedef veya hedef bölge belirlenmesi durumunda kullanılır. Algoritma, ajanın başlangıç noktasından itibaren her bir hedef veya hedef bölgenin konumunu ve bu noktalara olan maliyetleri (mesafe veya zaman olarak ifade edilir) dikkate alarak çalışır [18].

A* algoritmasının matematiksel temsili şu şekildedir: Her bir düğüm n için, (n) fonksiyonu, o düğüme ulaşmanın toplam tahmini maliyetini ifade eder ve şu şekilde hesaplanır:

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

Burada:

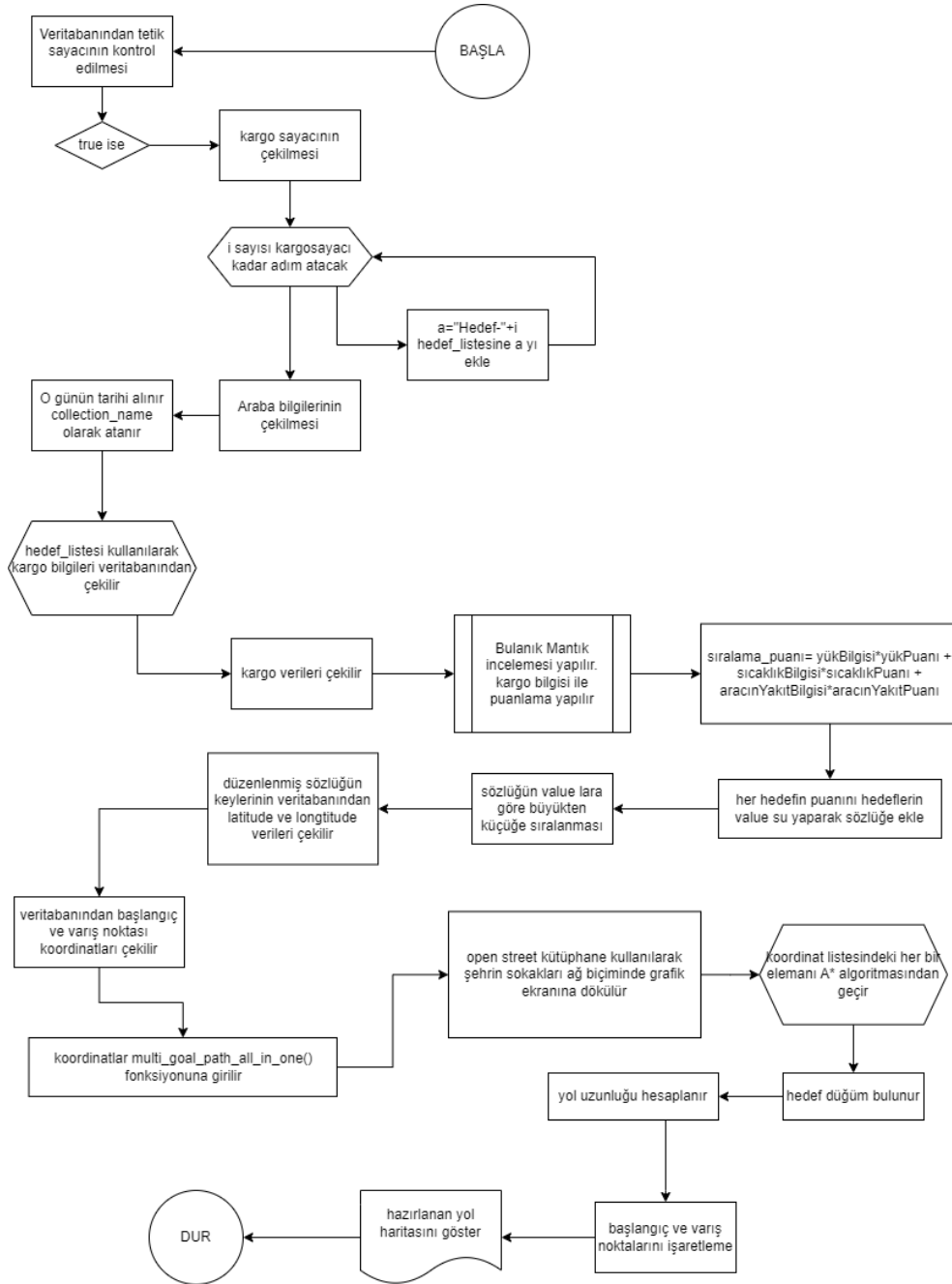
- $g(n)$, başlangıç düğümünden n düğümüne kadar olan yolun maliyetini temsil eder. Bu değer, algoritmanın başlangıçtan n düğümüne kadar olan gerçek maliyetini ölçer.
- $h(n)$, n düğümünden hedef düğüme ulaşmanın tahmini maliyetini ifade eder. Bu tahmini maliyet, çoğunlukla bir heuristik fonksiyon kullanılarak belirlenir ve gerçek maliyetin alt sınırını tahmin etmeye çalışır [18].

A* algoritması, $f(n)$ değerlerini her adımda hesaplayarak öncelikli kuyruk kullanarak genişleme stratejisi uygular. Bu şekilde, her adımda en düşük $f(n)$ değerine sahip düğümü seçerek başlangıçtan hedefe olan en verimli yolu bulmayı amaçlar. A* algoritması, doğru bir heuristik fonksiyon seçimiyle optimal yol bulma problemlerinde etkili bir şekilde çalışır [18].

Server uygulaması çalıştırıldığında, veri tabanından kargo verilerinin taşınmasını sağlamanın yanı sıra arka planda kayıt işlemleri de gerçekleştirilir. Bu kayıt işlemleri, daha sonra bulanık mantık algoritmasını çalıştırıp karar alınmasını sağlayacaktır.

Tablo 2. Server Algoritması

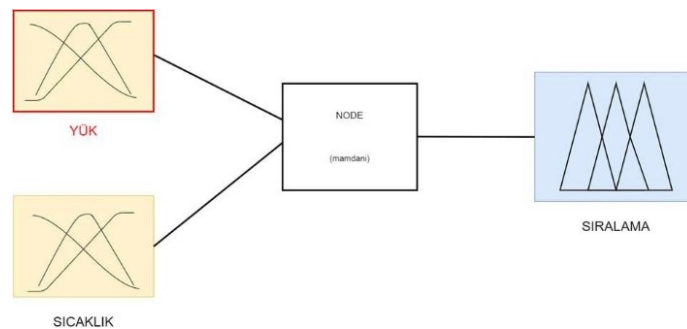
1. Başla
2. Veri tabanındaki tetikleyicilerin kontrol edilmesi
3. Tetikleyici aktif olduğunda Tetikleme collection içerisinde kargo_sayacını kullan.
4. Hedef+i olacak biçimde bir hedef_listesi oluştur.
5. Oluşturulan hedef listesi ile ROTA SİSTEMİ içerisinde hedef_listesi içerisinde kargo verileri kullanılmak üzere değişkenlere atanır.
6. Atanan değişkenler üzerinden bulanık mantık algoritması kullanılır.
7. Bulanık mantık algoritması ile her bir parametre için belirlenen standart çerçevesinde bir kriter puanı atanır.
8. Atanan puanlar ile bir çıkış yakıt puanı oluşturulur.
9. Puanlar ile “sıcaklık_puanı*sıcaklık için harcanan yakıt miktarı+ yük_puanı*yük için harcanan yakıt miktarı+ çıkış_puanı*hareket edebilmek için harcanan yakıt miktarı” hesaplaması yapılır.
10. Yapılan hesaplar birer listeye aktarılır
11. Aktarılan liste ile hedef listesi, value-key biçiminde sözlük yapısına aktarılır.
12. Sözlük değerleri büyükten küçüğe olacak biçimde sıralanır.
13. Sözlük değerleri büyükten küçüğe olacak biçimde sıralanır.
14. Atanan listedeki sıraya göre veri tabanından hedef adresleri çekilir
15. Çekilen adresler koordinat oluşturma işlevinden geçerek latitude ve longitude olmak üzere koordinata dönüştürülür
16. Bu dönüşümden sonra tüple olarak koordinatlar kaydedilir ve tuplelar listeye eklenerek bitiş noktası oluşturulur.
17. Başlangıç ve bitiş noktalarının adresleri de birleştirilerek bir başlangıcı ve sonu olan koordinat listesi elde edilir.
18. Bu listedeki parametreler multi_goal_path_all_in_one() işlevinden geçirilerek rota oluşturulur.
19. Bitiş



Şekil 2. Serverin Çalışma Algoritması

2.4. Bulanık Mantık ile Süt Taşımalarının Standartlarını Oluşturma

Bulanık mantık uygulamalarında genellikle giriş, kural ağı ve çıkış olmak üzere en az üç adet olan bir ağ yapısı kullanılır [13]. Ancak bu çalışmada 2 girişli ve 1 çıkışlı bir bulanık mantık ağı kullanılarak 5 parametrelili ve 25 adet kural içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 3. MATLAB Bulanık Mantık uygulaması

Bulanık mantık algoritmasında temel olarak iki parametre üzerinde odaklanılmıştır. Bu parametreler, kargo olarak taşınan sütün hedef noktasından alındığı andaki sıcaklık ve taşınan kargonun yüküdür. Aşağıda, bu parametrelerin puanlandırıldığı giriş ve çıkış değer aralıkları verilmiştir. Tablo-3'de ise her bir durum için kazanılacak olan puanların tablosu sunulmaktadır.

Tablo 3. MATLAB Bulanık Mantık yazılımı kodları

1.	[Input1]
2.	Name='YUK'
3.	Range=[0 10]
4.	NumMFs=5
5.	MF1='KOVA':trimf,[0 0 2.5]
6.	MF2='BIDON':trimf,[0 2.5 5]
7.	MF3='VARIL':trimf,[2.5 5 7.5]
8.	MF4='TANK':trimf,[5 7.5 10]
9.	MF5='TANKER':trimf,[7.5 10 10]
10.	[Input2]
11.	Name='SICAKLIK'
12.	Range=[0 10]
13.	NumMFs=5
14.	MF1='KOY EVI':trimf,[0 0 2.5]
15.	MF2='SUTEVI':trimf,[0 2.5 5]
16.	MF3='SUTHANE':trimf,[2.5 5 7.5]
17.	MF4='CIFTLIK':trimf,[5 7.5 10]
18.	MF5='MANDIRA':trimf,[7.5 10 10]
19.	[Output1]
20.	Name='SIRALAMA'
21.	Range=[0 10]
22.	NumMFs=5
23.	MF1='ÇOK KISA SÜRELİ':trimf,[0 0 2.5]
24.	MF2='KISA SÜRELİ':trimf,[0 2.5 5]
25.	MF3='NORMAL SÜRELİ':trimf,[2.5 5 7.5]
26.	MF4='UZUN SÜRELİ':trimf,[5 7.5 10]
27.	MF5='ÇOK UZUN SÜRELİ':trimf,[7.5 10 10]

2.5. Uygulamanın MATLAB yazılım programında oluşturulması

MATLAB yazılımı, taşıma sürecinde kullanılan bulanık mantık sisteminin modellenmesi ve simülasyonun gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. Bu kapsamda, kullanılan girdi ve çıktı parametrelerinin değer aralıkları belirlenmiş ve her bir parametreye karşılık gelen üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır.

Uygulamanın MATLAB ortamında modellenmesi sırasında iki ana giriş parametresi (sıcaklık ve yük) ve bir çıkış parametresi (sıralama) kullanılmıştır. Her bir parametre için belirlenen değer aralıkları, taşıma sürecinde ortaya çıkan belirsizlikleri daha iyi yönetmeyi sağlamak amacıyla titizlikle düzenlenmiştir. Bu aralıklar, bulanık mantık sisteminin taşıma sırasında en uygun sıcaklık ve yük koşullarına göre karar vermesine yardımcı olur.

Ayrıca, tablo ve şekillerde gösterilen değerler, sistemin çalışma prensiplerini daha iyi anlamak amacıyla detaylandırılmıştır. Örneğin, giriş parametrelerinden "yük" ve "sıcaklık" için tanımlanan üyelik fonksiyonları, kargo özelliklerini daha hassas bir şekilde sınıflandırmayı sağlar. Yük için belirlenen değerler "Kova", "Bidon", "Varil", "Tank" ve "Tanker" gibi taşıma kapasitelerine göre farklı sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflar, yük miktarına bağlı olarak her bir taşıma seçeneğinin uygunluğunu değerlendirir. Benzer şekilde, sıcaklık parametresi de "Koy Evi", "Süt Evi", "Süthane", "Çiftlik" ve "Mandıra" gibi sıcaklık aralıklarına göre sınıflandırılmıştır.

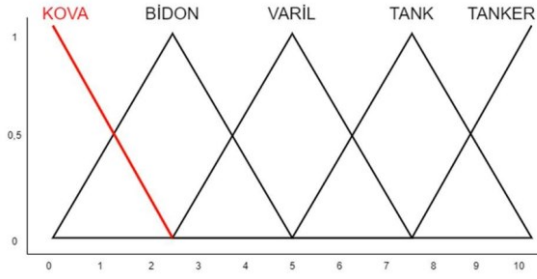
Tablo 4. "Yük" girdi değişkeni için üyelik fonksiyon değerleri

Kova	0	0	2,5
Bidon	0	2,5	5
Varil	2,5	5	7,5
Tank	5	7,5	10
Tanker	7,5	10	10

MATLAB ortamında kullanılan şekil ve tablolarda her bir üyelik fonksiyonunun nasıl belirlendiği, bu değerlerin taşıma sürecinde nasıl bir rol oynadığı açıklanmıştır. Örneğin, Şekil 4'te "Yük" üyelik fonksiyonları, farklı taşıma seçenekleri için belirlenen aralıkları görsel olarak sunmaktadır. Bu üyelik fonksiyonları sayesinde, taşıma sürecinde hangi yüklerin taşınacağı ve hangi sıcaklık koşullarının uygun olduğu daha iyi anlaşılır.

Tablo 4'deki değerler Şekil 4 'de MATLAB Bulanık Mantık uygulaması içerisinde gösterilmiştir.

Sonuç olarak, bu bölümde MATLAB ortamında yapılan modelleme çalışmaları, taşıma sürecinde belirsizliklerin yönetilmesi ve karar verme sürecinin optimize edilmesi açısından önemli bir temel sağlamaktadır. Tablolar ve şekiller aracılığıyla gösterilen bu veriler, sistemin işleyişini daha şeffaf hale getirirken, karar süreçlerinde daha hassas ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine katkıda bulunmaktadır.

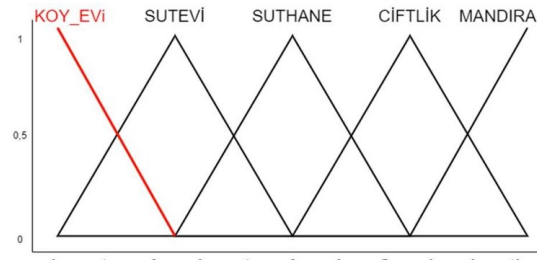


Şekil 4. "Yük" için üyelik fonksiyon değerleri

Tablo 5. "Sıcaklık" girdi değişkeni için üyelik fonksiyonu değerleri

Koy Evi	0	0	2,5
Süt Evi	0	2,5	5
SütHane	2,5	5	7,5
Çiftlik	5	7,5	10
Mandıra	7,5	10	10

Tablo 5'deki değerler şekil 5'te MATLAB Bulanık Mantık uygulaması içerisinde gösterilmiştir.

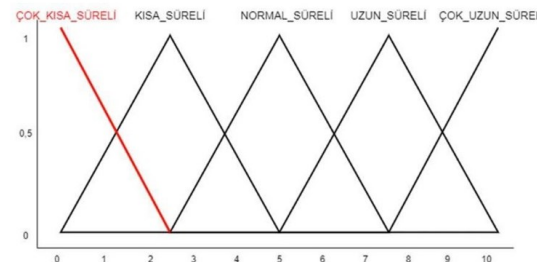


Şekil 5. "Sıcaklık" için üyelik fonksiyon değerleri

Tablo 6. "Sıralama" çıkış değeri için üyelik fonksiyonu değerleri

Çok Kısa Süreli	0	0	2,5
Kısa Süreli	0	2,5	5
Normal Süreli	2,5	5	7,5
Uzun Süreli	5	7,5	10
Çok Uzun Süreli	7,5	10	10

Tablo 6'daki değerler Şekil 6'daki MATLAB Bulanık Mantık uygulaması içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 6. "Sıralama" için üyelik fonksiyon değerleri

Tablo 7. Bulanık Mantık Koşul Tablosu

Kural	Yük	Sıcaklık	Sıralama
1	1	1	1
2	1	2	1
3	1	3	2
4	1	4	3
5	1	5	4
6	2	1	1
7	2	2	2
8	2	3	3
9	2	4	4
10	2	5	4
11	3	1	2
12	3	3	4
13	3	4	4
14	3	5	5
15	4	1	1
16	4	2	3
17	4	3	4
18	4	4	5
19	4	5	5
20	5	1	2
21	5	2	3
22	5	3	4
23	5	4	5
24	5	5	5

Tablo 8. de belirtilen Bulanık Mantık koşullarının oluşturulmasında kullanılan ölçüt tablosu

1	Çok Düşük
2	Düşük
3	Orta
4	Yüksek
5	Çok Yüksek

Tablo 8 da belirtilen ölçütlere bağlı olarak kuralların nasıl oluşturulduğuna birkaç örnek vermek gerekirse:

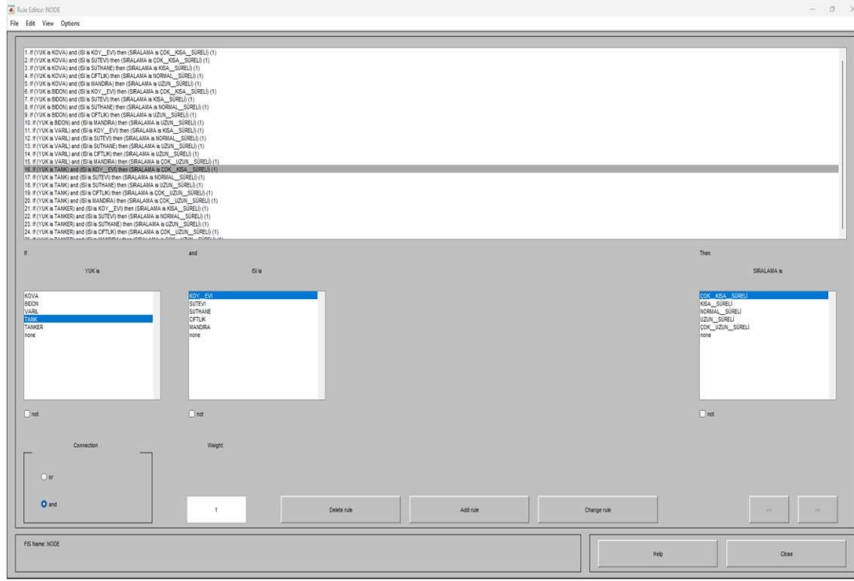
Kural 4: Eğer “Yük Çok Düşük” ve “Sıcaklık Yüksek” ise “Sıralama Orta” olur.

Kural 7: Eğer “Yük Düşük” ve “Sıcaklık Düşük” ise “Sıralama Düşük” olur.

Kural 9: Eğer “Yük Düşük” ve “Sıcaklık Yüksek” ise “Sıralama Yüksek” olur.

Kural 17: Eğer “Yük Yüksek” ve “Sıcaklık Orta” ise “Sıralama Yüksek” olur.

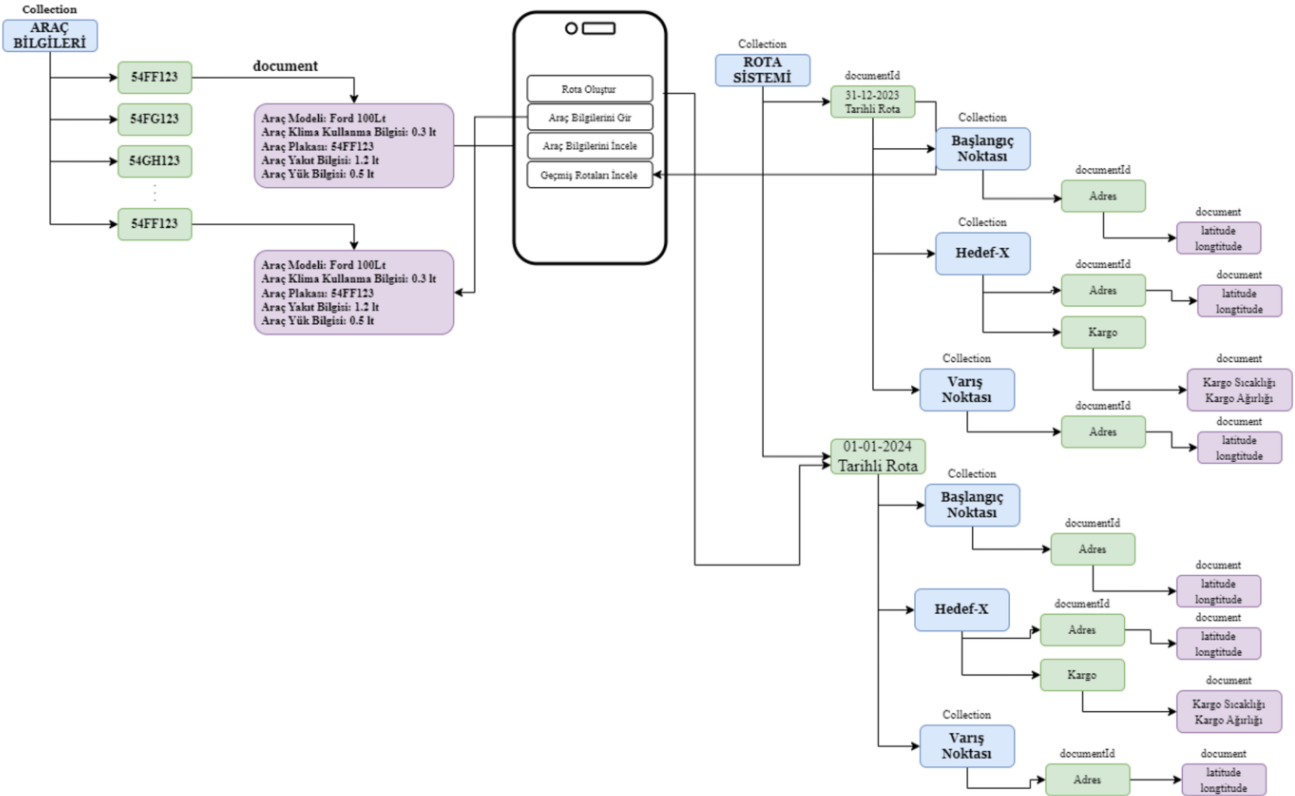
Kural 23: Eğer “Yük Çok Yüksek” ve “Sıcaklık Yüksek” ise “Sıralama Çok Yüksek” olur. Tüm koşulların MATLAB ortamında girişi şekil 7 de gösterilmiştir.



Şekil 7. MATLAB Bulanık Mantık uygulamasında koşulların gösterimi

2.6. Android Java Kodları ve Mobil Ekran Görüntüleri

Aşağıda bu proje için hazırlanan uygulamaların arayüz tasarımları verilmektedir.

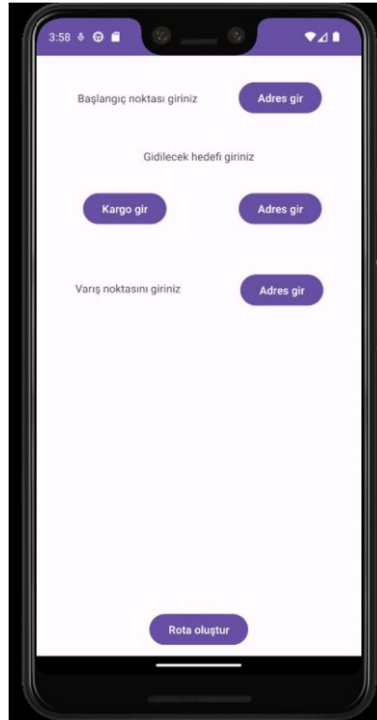


Şekil 8. Mobil Uygulama Anasayfası UML'si



Şekil 9. Mobil Uygulama Anasayfası

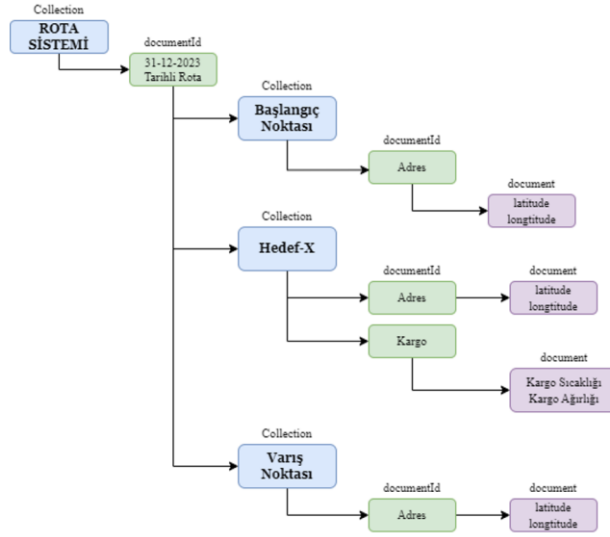
Uygulamanın ana sayfasında 4 adet buton bulunmaktadır. Bu ana sayfadan görüldüğü üzere 4 farklı işlem yapılabilmektedir. Şekil 8’de görüldüğü gibi rota oluşturabilir, geçmişteki rotaları inceleyebilir, araç bilgileri girip önceden girdiğimiz araçların bilgilerini incelenebilmektedir.



Şekil 10. Rota Oluşturma Ekran

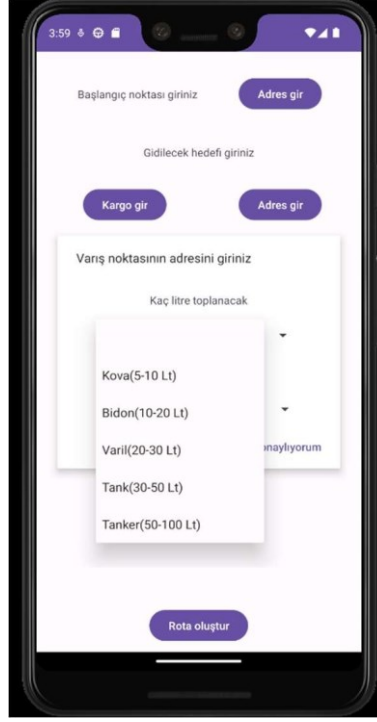


Şekil 11. Adres Girişini kaydeden Alert Diyaloğu

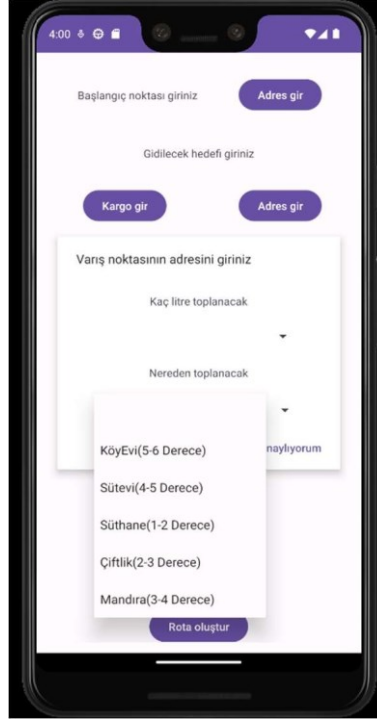


Şekil 12. Adreslerin ROTA SİSTEMİ'ne kaydedilmesi

Şekil 9'da "Rota oluştur" butonuna tıklandığında, Şekil 10'da gösterilen ekrana yönlendirilirsiniz. Bu ekranda, başlangıç konumu, gidilecek hedef, o hedefe taşınacak süt miktarı ve hedefin adresi gibi bilgiler girilir. Ayrıca, hedefe taşınacak sütün kaç derece sıcaklıkta taşınacağı da belirtilir. Son olarak varış noktasının adresi de girilir. Tüm bu bilgiler girildiğinde, uygulama en uygun rotayı çizerek en düşük maliyetli güzergahı bulur.



Şekil 13. Kargonun yük bilgisinin girilmesi



Şekil 14. Kargonun Sıcaklık derecesinin girilmesi

araç plakası

aracın modeli

aracın kilometre başına harcadığı yakıt miktar(litre)

aracın 1 kg yük için kilometre başına harcadığı yakıt miktar(litre)

aracın 1 derece sıcaklık değişimi için kilometre başına harcadığı yakıt miktar(litre)

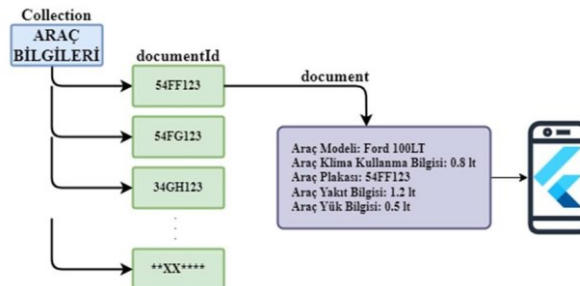
araç bilgisini kaydet

Şekil 15. Araç Bilgilerinin kaydedilmesi görseli

4:01

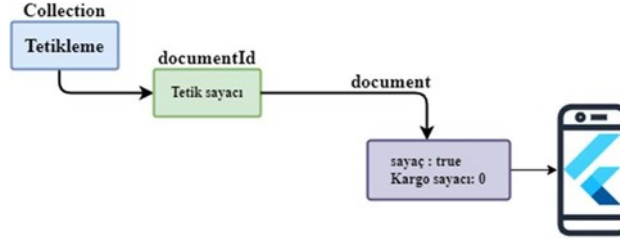
Araç Modeli: Ford 100lt
Araç plakası: 54FF123
Araç klima kullanma bilgisi: 0.8
Araç yakıt bilgisi: 1.2
Araç yük bilgisi: 0.5

Şekil 16. Araç Bilgilerinin gösterilmesi

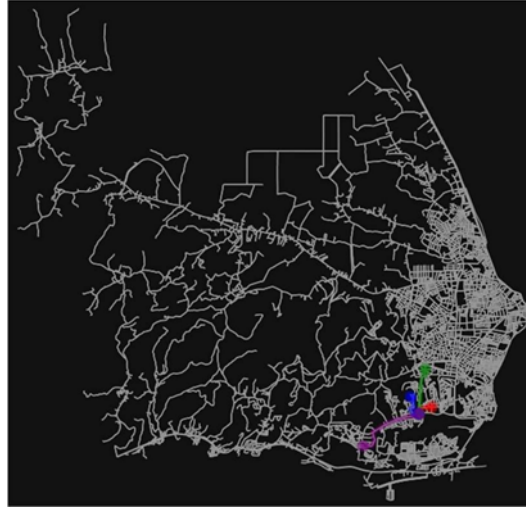


Şekil 17. Araç bilgilerinin FireBase'e kaydedilmesi

Şekil 8'de "Araç bilgileri gir" butonuna tıklandığında, şekil 15'teki ekran açılır. Bu ekranda, araç plakası, modeli, kilometre başına harcadığı yakıt, 1 kg yük için kilometre başına yaktığı yakıt ve 1 derece sıcaklık değişimi için kilometre başına harcadığı yakıt miktarları girilerek araç bilgisi kaydedilir. Araç bilgileri, şekil 17'de gösterildiği gibi kaydedilir. "Araç bilgilerini incele" butonuna tıklandığında, şekil 16'daki ekran açılır ve bu ekranda önceden girilen araçların tüm bilgileri görüntülenebilir.



Şekil 18. Tetikleme ve sayaçların kaydedilmesi



Şekil 19. Rotanın Harita üzerinde gösterilmesi

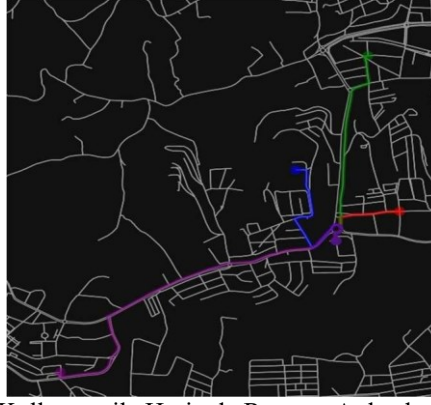
Şekil 10'da oluşturulan rota, şekil 19'da uzaktan bir görünümde gösterilmektedir. Bu ekranda, başlangıç noktası ve gidilecek noktaların güzergahları harita üzerinde görülebilir.

```

[ 'Hedef-1', 'Hedef-2', 'Hedef-3' ]
0.8
1.2
4.699999999999999
11.5
9.0
[ 'Varil(20-30 Lt)', 'Varil(20-30 Lt)', 'Bidon(10-20 Lt)' ]
[ 'KöyEvi(5-6 Derece)', 'Mandıra(3-4 Derece)', 'Çiftlik(2-3 Derece)' ]
[ 2, 5, 4 ]
[ 4.699999999999999, 11.5, 9.0 ]
{ 'Hedef-1': 4.699999999999999, 'Hedef-2': 11.5, 'Hedef-3': 9.0 }
{ 'Hedef-2': 11.5, 'Hedef-3': 9.0, 'Hedef-1': 4.699999999999999 }
[ 'Hedef-2', 'Hedef-3', 'Hedef-1' ]
[[ (40.749075, 30.35603), (40.758203, 30.354435), (40.75121, 30.349622) ]
(40.746782, 30.352549)
[[ (40.749075, 30.35603), (40.758203, 30.354435), (40.75121, 30.349622), (40.739633, 30.334243) ]
PS C:\Users\bilal\OneDrive\Masaüstü\Genel Klaser\4.sınıf\OTONOM SİSTEMLER VE UYGULAMALARI\A pathfinding>
  
```

Şekil 20. Uygulamada elde edilen koordinatın ve puan verilerinin gösterimi

Oluşturulan rotanın hangi araçla gidileceği seçildikten sonra, hangi hedefe ilk olarak gidileceği, daha sonra diğer hedeflere hangi güzergahlarla gidileceği ve hangi tanker seçileceği gibi soruların cevapları, şekil 20'deki programın çıktısında görülmektedir.



Şekil 21. Renk Kullanımı ile Haritada Rotanın Anlaşılır biçimde işlenmesi

Şekil 21, Şekil 19'un daha yakınlaştırılmış ve netleştirilmiş bir görüntüsünü göstermektedir. Bu çıktı ile güzergahlar daha net bir şekilde görülmektedir.

Kargoları hedeflere taşıyacak olan aracın 1 kilometrede harcadığı yakıtı litre cinsinde gösterilerek araç özellikleri incelenmiştir. Sonrasında hedef-1'den sonuncu hedefe kadar kaydedilen her bir hedef için harcanacak yakıt puanı hesaplanmış ve bu puanlar kullanılarak hedeflerin sıralaması yapılmıştır. Ayrıca, yakıt puanları hesaplanırken kullanılan kargo bilgileri gösterilmiş ve bulanık mantık karar yapısından geçirilerek elde edilen yakıt puanı ile hedefler sıralanmıştır. Sıralanmış hedef listesi, Firebase Firestore'dan hedeflerin koordinatları ile eşleştirilerek sistem geliştirilmiş ve harita elde edilmiştir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, süt gibi karmaşık bir hammadde için karar verme süreçlerinde daha yüksek doğruluk ve etkinlik sağlama amacıyla çoklu ajanlı yol planlaması yaklaşımının önemini vurgulamaktadır. Süt taşımacılığı gibi hassas ve kısa ömürlü ürünlerin lojistik yönetiminde, doğru ve optimize edilmiş bir taşıma planının benimsenmesi, ürün kalitesinin korunması ve maliyetlerin minimize edilmesi açısından hayati öneme sahiptir.

Bu araştırmanın ilerlemesi, karar verme yöntemlerinde geniş bir yelpazenin benimsenmesine yol açmaktadır. Bulanık mantık, genetik algoritmalar ve hibrit yaklaşımlar gibi çeşitli tekniklerin entegrasyonu, karar verme süreçlerinin karmaşıklığına ve belirsizliğine daha etkili bir şekilde cevap verebilir. Bu yöntemlerin kullanımıyla, süt taşımacılığı endüstrisinde ve benzeri lojistik süreçlerde verimliliği artırmak ve operasyonel maliyetleri düşürmek mümkün olabilir.

Buna ek olarak, bu çalışma Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm kavramlarına da ışık tutmaktadır. Taşımacılık alanında yapay zeka ve otomasyon teknolojilerinin kullanımı, lojistik süreçlerin daha verimli ve akıllı bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Bu da süt taşımacılığı gibi sektörlerde rekabet avantajı elde etme ve tüketici memnuniyetini artırma potansiyeline sahiptir.

Sonuç olarak, bu çalışma, Desteklemeli Öğrenme ve çoklu ajanlı sistemler gibi ileri teknolojilerin süt taşımacılığı gibi endüstrilerdeki karar verme süreçlerini nasıl iyileştirebileceğini göstermektedir. Sağlıklı kararlar için çeşitli faktörlerin dengeli bir şekilde dikkate alınması, operasyonel etkinliği artırmak ve kaynakları daha etkili bir şekilde kullanmak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmanın bulguları, süt taşımacılığı endüstrisinde karar verme süreçlerinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi için bir temel sağlamaktadır. Gelecekteki araştırmalarda, bu çalışmanın sonuçlarının daha geniş bir endüstriyel kontekste test edilmesi ve uygulanabilirliği üzerine daha fazla odaklanılması önemlidir. Ayrıca, yapay zeka ve lojistik yönetimi alanındaki yeni gelişmelerin entegrasyonu ile ilgili daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkileyebilecek bilinen hiçbir rekabet eden mali çıkarlarının veya kişisel ilişkilerinin olmadığını beyan etmektedir.

VERİ KULLANILABİLİRLİĞİ BEYANI

Çalışma sırasında üretilen veya kullanılan tüm veriler, modeller ve kodlar gönderilen makalede yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Castillo, O., Soria, J., Arias, H., Morales, J. B., & Inzunza, M. 2007. Intelligent control and planning of autonomous mobile robots using fuzzy logic and multiple objective genetic algorithms. In *Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques* (pp. 799-807). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [2] Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2005). *The Unified Modeling Language User Guide* (2nd ed.). Addison-Wesley Professional.
- [3] Gireesh Kumar, T., Poornaselvan, K. J., & Sethumadhavan, M. (2010). Fuzzy Support Vector Machine-based Multi-agent Optimal Path Planning Approach to Robotics Environment. *Defence Science Journal*, 60(4).
- [4] Cerami, C., Rapp, T., Lin, F. C., Tompkins, K., Basham, C., Muller, M. S., ... & Smith, J. 2021. High household transmission of SARS-CoV-2 in the United States: living density, viral load, and disproportionate impact on communities of color. medRxiv. Published online. DOI, 10(2021.03), 10-21253173.
- [5] Fayad, C., & Webb, P. 2006. Development of a hybrid crisp-fuzzy logic algorithm optimised by genetic algorithms for path-planning of an autonomous mobile robot. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 17(1), 15-26.
- [6] Kumar, G., & Vijayan, V. P. 2007. A multi-agent optimal path planning approach to robotics environment. In *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA 2007)* (Vol. 1, pp. 400-404). IEEE.
- [7] Lamini, C., Fathi, Y., & Benhlima, S. 2017. H-MAS architecture and reinforcement learning method for autonomous robot path planning. In *2017 Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)* (pp. 1-7). IEEE.
- [8] Luviano, D., & Yu, W. (2017). Continuous-time path planning for multi-agents with fuzzy reinforcement learning. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 33(1), 491-501.
- [9] Makita, Y., Hagiwara, M., & Nakagawa, M. 1994. A simple path planning system using fuzzy rules and a potential field. In *Proceedings of 1994 IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference* (pp. 994-999). IEEE.
- [10] Sabo, C., Cohen, K., Kumar, M., & Abdallah, S. (2009, June). Path Planning for a Fire-Fighting Aircraft using Fuzzy Logic. In *47th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition* (p. 1353).
- [11] Shibata, T., & Fukuda, T. 1993. Coordinative behavior by genetic algorithm and fuzzy in evolutionary multi-agent system. In *Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 760-765). IEEE.
- [12] Walker, K., & Esterline, A. C. 2000. Fuzzy motion planning using the Takagi-Sugeno method. In *Proceedings of the IEEE SoutheastCon 2000. 'Preparing for The New Millennium'* (Cat. No. 00CH37105) (pp. 56-59). IEEE.
- [13] Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93.
- [14] Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic* (Vol. 4, pp. 1-12). New Jersey: Prentice hall.
- [15] Rao, M., Bast, A., & De Boer, A. (2021). Valorized food processing by-products in the EU: Finding the balance between safety, nutrition, and sustainability. *Sustainability*, 13(8), 4428.
- [16] Arenas-Parra, M., Bilbao-Terol, A., & Jiménez, M. (2016). Standard goal programming with fuzzy hierarchies: a sequential approach. *Soft Computing*, 20, 2341-2352.
- [17] Kahraman, C. (Ed.). (2008). *Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments* (Vol. 16). Springer Science & Business Media.
- [18] Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd ed.). Prentice Hall

Inspiring Technologies and Innovations

December 2024, Volume: 3 Issue: 2

Review Virtual Reality and Metaverse in the Treatment of Post Traumatic Stress Disorder

Sena Akbay-Safi^a^aUskudar University, Psychology Department, Türkiye.ORCID^a: 0000-0002-3526-1222

Corresponding Author e-mail: senakbay@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14541831>

Received : 28.08.2024 Accepted : 13.11.2024 Pages : 19-24

ABSTRACT: The rapidly increasing technological advancements such as virtual reality tools, which are becoming a part of our daily lives, provide opportunities to receive better services in many fields, including the field of mental health. Studies have investigated how virtual reality and the metaverse can be integrated into the treatment of mental health issues, particularly in the treatment of post traumatic stress disorder (PTSD). However, as this is an emerging field that is still under research, there is a need for more studies to focus on different ways to integrate those tools to minimize the potential disadvantages. Especially, few applications currently exist for metaverse usage in mental health. This review aims to present studies on the usage of virtual reality tools in the treatment of PTSD, provide suggestions on how metaverse can be integrated in the treatment protocols and finally put a light on the possible disadvantages that could come with it.

KEYWORDS: Virtual Reality, Metaverse, Post traumatic stress disorder, Trauma, Psychological treatment

ÖZET: Hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler, özellikle sanal gerçeklik araçları gibi yenilikler, günlük hayatımızın bir parçası haline gelirken, ruh sağlığı alanı da dahil olmak üzere birçok alanda bizlere daha kaliteli bir hizmete ulaşabilme imkanı sağlamaktadır. Birçok araştırma, sanal gerçeklik ve metaverse teknolojilerinin psikolojik bozuklukların tedavi protokollerine, özellikle de travma sonrası stres bozukluğunun tedavisine nasıl entegre edilebileceğini incelemiştir. Bununla birlikte, bu alan henüz gelişmekte ve araştırma aşamasında olduğu için, bu teknolojilerin entegrasyonunu daha verimli hale getirecek ve olası olumsuz etkileri en aza indirecek yeni yöntemlere odaklanan daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle, şu anda metaverse teknolojisinin ruh sağlığı alanında kullanımına yönelik çok az uygulama bulunmaktadır. Bu derleme, sanal gerçeklik araçlarının travma sonrası stres bozukluğunun (TSSB) tedavisindeki kullanımına dair yapılan çalışmalarını sunmayı, metaverse teknolojisinin tedavi protokollerine nasıl entegre edilebileceğine dair önerilerde bulunmayı ve son olarak bu teknolojinin beraberinde getirebileceği olası dezavantajları tartışmayı amaçlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Sanal Gerçeklik, Metaverse, Travma Sonrası Stres Bozukluğu, Travma, Psikolojik Tedavi

1. INTRODUCTION

Technology has advanced in recent years at a rate that has never been seen before, ushering in a new era in which virtual reality and the digital world are becoming more and more entwined with our everyday lives. This phenomenon began with the initial integration of the digital world into our lives, through platforms such as online shops, virtual classrooms, and games, eventually evolving into what we now refer to as the metaverse. The term metaverse refers to a multiuser environment where physical reality merges with a digital environment, creating a shared virtual space, in which people are using avatars to interact with each other and other virtual objects [1].

The concept is not a new one. It was introduced for the first time in a science fiction novel titled “Snow Crash” by Neal Stephensen, envisioning a virtual world where people are interacting with each other through “*customizable avatars that is integrated with the real-world economy.*” Since then we have seen the idea presented in fiction books such as *Otherland*, *Rainbow Ends*, *Daemon* and movies such as *Matrix* and *Avatar* over and over again. Until recently, however, this remained purely fictional. With recent technological advancements and the emergence of virtual reality tools, this fiction started to become part of our reality today. Vast majority of the service providing industries has already adopted virtual reality and augmented reality tools and began to conduct researches for possible integration of the metaverse to this already enhanced technology based service providing culture. Some of the examples for those industries include healthcare [2], hospitality and tourism [3], education [4], games [1]. Recently the mental health industry has also joined the list of the industries integrating the new technologies into the treatment protocols [5], [6].

Although the use of metaverse as it is in the treatment of psychological and psychiatric disorders is not common today, the effectiveness of technologies like VR and AR has been demonstrated in many scientific studies [7], [8]. Studies on attention

deficit hyperactivity disorder (ADHD), found that it increases patient compliance in the diagnosis and treatment process and helps patients learn new coping behaviors in performance tests, manage their symptoms better and increase productivity in their daily lives [9]. In eating disorders, it has become a tool that makes it easier to determine which stimulus increases the desire to eat more by exposing the client to different stimuli [10]. Similarly, in the treatment processes of anxiety disorders, it has been observed that the level of anxiety can be reduced and the person's coping skills can be increased with controlled exposure to anxiety-provoking stimuli [11]. In the therapy process for the Autism patients, cognitive therapies using VR simulations creating environments where patients can learn how to deal with stimuli in a safe and controlled environment and improve their life skills, have shown positive results of improvements in concentration, cognition and memory [12]. Although the results are less significant in the Alzheimer's patients compared to the improvement of patients suffering from other disorders, an improvement in their life skill was observed. It has also been found to help treat paranoia in patients with positive symptoms of psychosis, depression, and schizophrenia [13].

In addition, it is predicted that there will be less need for psychologists in the long run, as there is less need for therapists in psychological intervention applications where technologies such as VR and AR are used. Which is in line with the recent approach of task shifting that World Health Organization (WHO) has adopted with MhGap project, which aims to develop treatments that require less need for trained psychologists due to the lack of mental health professionals required to meet the need for psychological support [14].

Research has provided practical examples on the latest technologies that can be used in many clinical cases and the ways to improve the quality of treatment. It offers an alternative for the therapy process, especially in cases where it may be dangerous for the client to encounter the situation he is having difficulty with in real life or when it is not possible to re-create that situation [7]. The treatment of post-traumatic stress disorder (PTSD) is considered one of the top ranked treatments that faces these difficulties in the therapy process. For this reason, many trauma therapists have started to use VR and AR technologies in their daily clinical experiences [8].

2. TRAUMA, SYMPTOMS AND EXISTING TREATMENT OPTIONS

Human history is full of natural disasters, combats, pandemics, individual attacks and many other disastrous events. According to the fifth edition of the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorder (DSM-5), those events are called traumatic events when they include unexpected incidents that has actual or threatened death, serious injury, or sexual violence and causes physical or emotional harm [15]. There are many types of traumatic events a person may experience; such as health problems (cancer, heart attacks, brain injuries, limb loss, etc) [16], [17], transportation accidents (car accidents, plane crashes, etc.), natural disasters (hurricanes, floods, earthquakes) [18] or interpersonal experiences (rape, sexual assaults, combat, child abuse, etc.) [19]. One common point among all those traumas is that the incident is highly challenging for the survivor's cognition to make sense of it within their existing cognitive structures and world vision. The normal reaction a person is programmed to present at the time of a danger is to either fight, flight or freeze to protect their survival. However, when the situation is so overwhelming, the normal human system of self-defense becomes disorganized, *"producing profound and lasting changes in physiological arousal, emotion, cognition and the memory"* of the survivor [20].

There is a common misconception that only the moment of the traumatic event is what determines how the survivor would get affected afterwards. However, in reality, the whole process from the moment of the first traumatic event and afterwards is crucial to determine the long-term impact of the experience. And to be able to comprehend the mechanisms of the interventions required afterwards, it is important to understand the concept of trauma, the change it creates in the survivor's cognition and its reflection on the individual's life [21].

The life of a trauma survivor changes radically after the traumatic experience. Nightmares and flashbacks related to the traumatic event become part of the survivor's daily life. Accompanied with hyper-arousal symptoms such as being alert all the time, giving extreme reactions not compatible with the situation, outbursts of anger. Anything that is reminding the traumatic event becomes a trigger, causing the person to avoid all the reminders and even isolate him/herself from his surroundings. Trauma itself becomes the center of the person's life, leaving nothing positive in his/her life alive [20].

According to DSM-5, there are six trauma related disorders triggered by a stressor, where PTSD and acute stress disorder come at the top of the list. Additionally, there is a high comorbidity between trauma related disorders and mood disorders such as depression and anxiety related disorders, such as generalized anxiety disorder [22].

Although most of the survivors who are struggling with depression and PTSD shows a reduction in the symptom over a time, specifically for the ones who are living in conditions where the stressors are lower than others, others may keep experiencing PTSD symptoms for many years [23], [24] and a necessity for an intervention arises.

There are many possible intervention and treatment options that are effective in the treatment of PTSD and related disorders, where some are more effective than others. Research has demonstrated that trauma survivors who receive treatment such as Cognitive Behavioural Therapy (CBT), Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) or trauma focused treatments

show lower levels of Post-traumatic stress symptoms (PTSS) and higher levels of Post traumatic Growth (PTG) compared to other treatments [25], suggesting that especially the intervention the person receives has a crucial role in the process. However, even today's most effective PTSD treatments have their limitations. Therefore, there is and should always be a search for improvement and ways to compensate for those limitations and utilize the new developments and the new technologies to improve the results and the experience in the process. One of the most recent technologies that is being integrated into the mental health field is metaverse. Although it is a very novel technology, there is a growing literature examining its effectiveness in the mental health field, its working mechanism in the treatment process, its integration into the already existing treatments and its limitations [7], [8].

3. VIRTUAL REALITY AND METAVERSE IN THE TREATMENT OF PTSD

There are many approaches for the treatment of PTSD and exposure which is part of cognitive behavioral therapies is considered to be one of the most common one. The traumatic experience is too much and frightening for the client to cope with, so after the trauma, when the survivor encounters stimuli that may remind him/her of the experience or trigger that memory, he/she gets stuck with the same emotions he/she had at the moment of the incident as if he/she is reliving it. Sometimes this emotion is terror and fear, but sometimes it is just numbness. In reality, the danger has passed, and he/she is physically safe at that moment but in the individual's mind, those stimuli are associated with trauma and therefore every time the person is exposed to that stimulus, his/ mind signals danger and his body reacts. For this reason, he/she starts showing symptoms of avoidance. This avoidance may be in the form of physically avoiding a stimulus related to the traumatic experience seen in daily life, or it may be an effort to mentally avoid the memory [20].

The aim of exposure therapy is to support the client in confronting the traumatic experience without endangering his/her safety, to gradually eliminate the triggering effect of these stimuli by gradually exposing him/her to the stimuli that he/she avoids, and to gradually reduce unrealistic anxiety. Basically, it is an approach built on the principle that the overwhelming effect of the stimulus will decrease as she/he gets exposed to it in a controlled environment. There are two types of exposures; imaginal exposure and in vivo exposure. In imaginal exposure, the person is asked to visualize the situation he/she is avoiding and is mentally exposed to that triggering stimulus in his/her imagination. In experiential exposure (in vivo), the client is asked to gradually experience the events and situations she/he avoids in her/his real life [26].

However, for many clients, it is difficult to remember and imagine the traumatic event and its details [20]. Also it is important to consider that since it is a traumatic event, there may be a real danger, or even when there is not, the client may avoid it because it is too challenging for her/him [27]. For this reason, it is quite difficult to provide the necessary conditions for experiential exposure, which is an alternative to imaginary exposure. In this sense, VR offers an additional option to both the therapist and the client. In a controlled and safe environment, the client can confront triggers and develop the skills necessary to overcome them. This new type of exposure is called in virtual exposure (VRET). In virtual reality exposure therapy, the client is confronted with the traumatic event or its triggers in a virtually prepared environment. It is very important that the prepared environment is realistic. Thus, in this process, the client feels as if she/he is really in that situation and feels the anxiety she/he feels in real-life stimuli and shows physiological symptoms. By this process, the patient would have an opportunity to develop appropriate reactions and coping mechanisms [26].

Studies have found that virtual reality exposure therapy is as effective as other alternative therapy options when compared to checklist and waitlist [7], [8]. Hospitals, army bases and university centers affiliated with the US Department of Veterans Affairs have begun treating soldiers with PTSD using a VR exposure therapy system called 'Bravemind'. They have achieved promising results in relieving trauma symptoms and reducing suicidal ideation, depression, and anger [28], [29]. However, meta-analysis results do not provide any evidence that it is more effective than other therapies [7], [8].

Although it has not provided significantly better results than other therapies in terms of treatment outcome, it offers certain advantages in terms of ease of application and preference by the client. VRET increases the therapist's control by reducing the client's avoidance behavior and facilitates the emotional participation of patients with PTSD with the multi-sensory stimuli made possible by the virtual environment [30], [31]. It facilitates the emotional processing of trauma-related memories with the sense of reality and "being there" provided by a virtual environment rich in sensory stimuli [32]. Additionally, virtual reality exposure preserves privacy better than experiential exposure and may therefore be more preferred by clients. If a person who is exposed to a triggering stimulus in real life is triggered, he/she will have to experience PTSD symptoms in front of everyone, and this is a situation that the client wants to avoid [26].

Some of the traumatic situations that need to be addressed during the therapy process are uncommon, e.g. boarding a plane, flood, storm. In these cases, waiting for the actual event to occur may prolong the therapy process or be very costly, so the client is usually expected to visualize it with imaginary exposure. Some clients have difficulty in imagining those situations. Although VRET technology was not preferred due to its high cost when it was first introduced, its cost has decreased significantly today, and they have become a useful tool for therapists in such situations [33]. With the usage of VRET, the desired situation can be achieved in a more economical and controllable manner, at the desired frequency and intensity, which makes this method more preferable [34], [35].

In addition to the use of VR in the field of mental health, studies have begun on the integration of metaverse, which is a further step of virtual reality technologies and has become widespread recently, in the field of mental health. Metaverse offers people the opportunity to interact with different individuals in a virtual environment through avatars. The envisioned system is that it will be an upgraded version of existing experiences in VR, with more real and lifelike encounters. It will offer individuals a new virtual world where they can make new friends, socialize and maintain their relationships [3].

Usmani, Sharath, and Mehendale [36] have suggested that the metaverse can contribute to the field of mental health and improve currently available treatment techniques in many ways. Metaverse provides many opportunities for the patients. Through metaverse, patients can consult mental health professionals in simulated environments through avatars. Due to the endless possibilities of virtual simulation, different virtual environments personalized for each individual can be created for trauma treatment and can provide a platform that allows individuals to come together for group therapy sessions led by mental health professionals or support groups without professionals. The necessary infrastructure and virtual safe meeting areas have been built for this. Additionally, areas where individuals can practice mindfulness, meditation or yoga have also been added to the metaverse. We also see that many companies have already begun to develop virtual mental health clinics with mental health professionals serving patients simultaneously. Some governments have also initiated the establishment of VR counseling and therapy associations that will provide cryptocurrency-paid services in the metaverse. These virtual clinics will be especially useful for those who have limited access to mental health services due to disability or are unable to reach them geographically or cannot attend therapy to avoid exposure to stigmatization.

4. PREDICTED NEGATIVE EFFECTS OF VIRTUAL REALITY ON MENTAL HEALTH

These technological tools, which are rapidly becoming a part of our daily lives, have offered us the opportunity to receive better psychological support and good opportunities for a more effective treatment process. These advantages should be used for the good of the patients. However, in this process, it is important to calculate the negative effects it may bring along with these advantages carefully. Any technology to be integrated into the field of mental health should be thoroughly researched and tested by scientific studies. Otherwise, it may cause serious negative side effects. If virtual reality is not used correctly, the possible exacerbation of the patient's psychological disorder is one of the main problems that we may encounter.

Misuse of virtual realities may cause additional symptoms such as addiction, anxiety, or sadness. There are studies of numerous cases in Japan where people known as Hikikomori become reluctant to leave their homes because they become addicted to virtual games, increasing the likelihood of developing mood disorders such as depression and anxiety [37]. Compared to other individuals in society, trauma victims are a more sensitive group and want to escape from their own reality because the traumatic experience they have experienced is extremely challenging [38]. For this reason, if an alternative world is presented, there is a high probability that they will prefer the virtual environment and develop addiction.

Time spent in the virtual environment is also important. Prolonged and frequent exposure to virtual profiles can unknowingly foster one's habit of comparing oneself with others, which in return affects psychological well-being. For example, Instagram, Snapchat, and similar social media applications are full of filters that distort reality, which encourages a person to present himself/herself not as he/she is, but with a view intended to meet social expectations [39]. Especially victims of sexual trauma have negative thoughts about their appearance [40]. When presented with an avatar option in a virtual environment, this option can make the person feel more comfortable and use this option as an avoidance. A similar situation may be valid for trauma victims whose physical integrity has been damaged.

Some points should be especially taken into consideration during the trauma treatment process. One of these is the therapeutic relationship. The therapeutic relationship is very important for every psychological treatment process, but when it comes to trauma, the importance of the therapeutic relationship doubles because the sense of trust of the traumatized individual is damaged and therefore it is of great importance to establish the relationship correctly [20]. When the therapist and the client interact through an avatar in the virtual reality environment, it should be questioned to what extent the principle of honesty, which is fundamental for this therapeutic relationship, can be preserved and necessary precautions should be taken.

4. CONCLUSION

In conclusion, the integration of virtual reality (VR) and the rapidly emerging metaverse technologies offers revolutionary opportunities for treating mental health disorders, especially for individuals suffering from trauma-related disorders such as PTSD. These innovations enable the development of engaging, controlled environments in which patients can confront and process their traumatic memories in ways that were previously unimaginable. Virtual reality exposure therapy (VRET) has proven to be effective in addressing PTSD and associated issues by enabling patients to gradually face stimuli related to trauma, decreasing avoiding behaviors, and offering a secure environment for individuals to interact with and reinterpret their experiences. By providing a more dynamic, multi-sensory environment where patients can interact with both virtual stimuli and

other people through avatars, the metaverse's development of virtual reality opens up even more possibilities and improves patients' emotional engagement and sense of presence during therapy.

Although the preliminary findings are encouraging, it's crucial to acknowledge that VR and the metaverse are still relatively new in the field of mental health treatment. More study is required to determine the long-term efficacy and safety of VR therapy, even though studies have indicated that it can be just as successful as more conventional treatments like Cognitive Behavioral Therapy (CBT) or Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR). With its enormous potential for customization and virtual communication, the metaverse has the ability to completely transform the therapeutic field by providing new avenues for peer support, group therapy, and individual treatment that are not possible with conventional in-person therapy. The potential for offering mental health services via online clinics is also quite promising, particularly for those who are unable to get therapy in person because of social, physical, or geographic constraints.

However, as with any new technology, the integration of VR and the metaverse into mental health care raises important ethical and practical concerns. One of the main risks is the potential for over-reliance on virtual environments as means of avoidance. Trauma survivors may become overly used to these digital environment and choose to interact with their trauma in virtual rather than real-world settings, which could eventually hinder their recovery.

Furthermore, the therapeutic relationship—a fundamental component of successful trauma treatment—may be harmed by the anonymity and distance offered by avatars in virtual environments. It is crucial for mental health practitioners to adjust and figure out how to maintain the depth of the therapeutic relationship in virtual spaces because avatar mediation may jeopardize the sense of trust and rapport between therapist and client. Additionally, although virtual reality and metaverse platforms might provide privacy and anonymity benefits, they also raise issues with data security, user privacy, and possible abuse.

In conclusion, although virtual reality and the metaverse are promising new avenues for treating PTSD and trauma, their incorporation into traditional mental health services needs to be handled cautiously and optimistically. It is essential to make sure that these technologies work in patients' best interests by giving them safe, accessible, and effective therapeutic options as more research is done and new applications are created. The successful integration of these virtual tools may very well be the key to the future of mental health treatment, but only if the risks they pose are adequately managed and the benefits they provide are realized in a way that complements rather than replaces the human aspects of healing.

REFERENCES

- [1] P. Mirza-Babaei, R. Robinson, R. Mandryk, J. Pirker, C. Kang, and A. Fletcher, "Games and the Metaverse," in *Extended Abstracts of the 2022 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 2022, pp. 318-319.
- [2] C. W. Lee, "Application of Metaverse Service to Healthcare Industry: A Strategic Perspective," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 20, p. 13038, 2022.
- [3] D. Gursoy, S. Malodia, and A. Dhir, "The metaverse in the hospitality and tourism industry: An overview of current trends and future research directions," *Journal of Hospitality Marketing & Management*, vol. 31, no. 5, pp. 527-534, 2022.
- [4] J. Singh, M. Malhotra, and N. Sharma, "Metaverse in education: An overview," in *Applying Metalytics to Measure Customer Experience in the Metaverse*, 2022, pp. 135-142.
- [5] I. H. Bell, J. Nicholas, M. Alvarez-Jimenez, A. Thompson, and L. Valmaggia, "Virtual reality as a clinical tool in mental health research and practice," *Dialogues in Clinical Neuroscience*, vol. 22, no. 2, pp. 169-177, 2022.
- [6] P. M. Emmelkamp and K. Meyerbröker, "Virtual reality therapy in mental health," *Annual Review of Clinical Psychology*, vol. 17, pp. 495-519, 2021.
- [7] S. Heo and J. H. Park, "Effects of virtual reality-based graded exposure therapy on PTSD symptoms: a systematic review and meta-analysis," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 23, p. 15911, 2022.
- [8] O. D. Kothgassner, A. Goreis, J. X. Kafka, R. L. Van Eickels, P. L. Plener, and A. Felnhofer, "Virtual reality exposure therapy for posttraumatic stress disorder (PTSD): a meta-analysis," *European Journal of Psychotraumatology*, vol. 10, no. 1, p. 1654782, 2019.
- [9] S. Goharinejad, S. Goharinejad, S. Hajesmaeel-Gohari, and K. Bahaadinbeigy, "The usefulness of virtual, augmented, and mixed reality technologies in the diagnosis and treatment of attention deficit hyperactivity disorder in children: an overview of relevant studies," *BMC Psychiatry*, vol. 22, no. 1, p. 4, 2022.
- [10] D. Freeman, S. Reeve, A. Robinson, A. Ehlers, D. Clark, B. Spanlang, and M. Slater, "Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders," *Psychological Medicine*, vol. 47, no. 14, pp. 2393-2400, 2017.
- [11] E. Üzümcü, B. Akin, H. Nergiz, M. İnözü, and U. Çelikcan, "Anksiyete bozukluklarında sanal gerçeklik," *Psikiyatride Guncel Yaklasimlar-Current Approaches in Psychiatry*, vol. 10, 2018.
- [12] M. Simões, M. Bernardes, F. Barros, and M. Castelo-Branco, "Virtual travel training for autism spectrum disorder: proof-of-concept interventional study," *JMIR Serious Games*, vol. 6, no. 1, p. e8428, 2018.

- [13] O. P. Du Sert, S. Potvin, O. Lipp, L. Dellazizzo, M. Laurelli, R. Breton, et al., "Virtual reality therapy for refractory auditory verbal hallucinations in schizophrenia: a pilot clinical trial," *Schizophrenia Research*, vol. 197, pp. 176-181, 2018.
- [14] R. C. Keynejad, T. Dua, C. Barbui, and G. Thornicroft, "WHO Mental Health Gap Action Programme (mhGAP) Intervention Guide: a systematic review of evidence from low and middle-income countries," *BMJ Ment Health*, vol. 21, no. 1, pp. 30-34, 2018.
- [15] American Psychiatric Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.), 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- [16] Y. W. Leung, D. A. Alter, P. L. Prior, D. E. Stewart, J. Irvine, and S. L. Grace, "Posttraumatic growth in coronary artery disease outpatients: Relationship to degree of trauma and health service use," *Journal of Psychosomatic Research*, vol. 72, no. 4, pp. 293-299, 2012.
- [17] L. Bostock, A. I. Sheikh, and S. Barton, "Posttraumatic growth and optimism in health-related trauma: A systematic review," *Journal of Clinical Psychology in Medical Settings*, vol. 16, no. 4, pp. 281-296, 2009.
- [18] M. Bernstein and B. Pfefferbaum, "Posttraumatic growth as a response to natural disasters in children and adolescents," *Current Psychiatry Reports*, vol. 20, no. 5, pp. 1-10, 2018.
- [19] M. R. Barlow and M. D. Hetzel-Riggin, "Predicting posttraumatic growth in survivors of interpersonal trauma: Gender role adherence is more important than gender," *Psychology of Men & Masculinity*, vol. 19, no. 3, pp. 446, 2018.
- [20] J. L. Herman, *Trauma and recovery: The aftermath of violence--from domestic abuse to political terror*, Hachette UK, 2015.
- [21] B. A. Van der Kolk, *The Body Keeps the Score: Brain, Mind, and Body in the Healing of Trauma*, Viking, 2014.
- [22] P. Spinhoven, B. W. Penninx, A. M. Van Hemert, M. De Rooij, and B. M. Elzinga, "Comorbidity of PTSD in anxiety and depressive disorders: Prevalence and shared risk factors," *Child Abuse & Neglect*, vol. 38, no. 8, pp. 1320-1330, 2014.
- [23] M. Beiser and K. A. S. Wickrama, "Trauma, time and mental health: A study of temporal reintegration and depressive disorder among Southeast Asian refugees," *Psychological Medicine*, vol. 34, no. 5, pp. 899-910, 2004.
- [24] T. Betancourt, I. Borisova, T. Williams, S. Meyers-Ohki, J. RubinSmith, J. Annan, and B. Kohrt, "Psychosocial adjustment and mental health in former child soldiers: Systematic review of the literature and recommendations for future research," *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 54, pp. 17-36, 2013.
- [25] A. Martin, M. Naunton, S. Kosari, G. Peterson, J. Thomas, and J. K. Christenson, "Treatment guidelines for PTSD: a systematic review," *Journal of Clinical Medicine*, vol. 10, no. 18, p. 4175, 2021.
- [26] B. Vardarlı, "Teknolojik Bir Yaklaşım: Sanal Gerçeklik Maruz Bırakma Terapisi," *Ege Eğitim Dergisi*, vol. 22, no. 1, pp. 40-56, 2021.
- [27] E. B. Foa, E. A. Hembree, and B. O. Rothbaum, *Prolonged exposure therapy for PTSD: Emotional processing of traumatic experiences* (Treatments that Work), Oxford University Press, 2007.
- [28] L. Dellazizzo, S. Potvin, M. Luigi, and A. Dumais, "Evidence on virtual reality-based therapies for psychiatric disorders: meta-review of meta-analyses," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 22, no. 8, p. e20889, 2020
- [29] M. J. Park, D. J. Kim, U. Lee, E. J. Na, and H. J. Jeon, "A literature overview of virtual reality (VR) in treatment of psychiatric disorders: recent advances and limitations," *Frontiers in Psychiatry*, vol. 10, p. 505, 2019.
- [30] J. Difede, H. Hoffman, and N. Jaysinghe, "Multimedia Reviews: Innovative Use of Virtual Reality Technology in the Treatment of PTSD in the Aftermath of September 11," *Psychiatric Services*, vol. 53, no. 9, pp. 1083-1085, 2002.
- [31] D. J. Ready, S. Pollack, B. O. Rothbaum, and R. D. Alarcon, "Virtual reality exposure for veterans with posttraumatic stress disorder," *J. Aggression, Maltreatment, & Trauma*, vol. 12, pp. 199-220, 2006.
- [32] B. O. Rothbaum, L. Hodges, D. Ready, K. Graap, and R. Alarcon, "Virtual reality exposure therapy for Vietnam veterans with posttraumatic stress disorder," *J. Clin. Psychiatr.*, 2001 vol. 62, pp. 617-622
- [33] A. S. Rizzo and R. Shilling, "Clinical virtual reality tools to advance the prevention, assessment, and treatment of PTSD," *European Journal of Psychotraumatology*, vol. 8, p. 1414560, 2018.
- [34] P. M. Emmelkamp, "Technological innovations in clinical assessment and psychotherapy," *Psychotherapy and Psychosomatics*, vol. 74, no. 6, pp. 336-343, 2005. doi: 10.1159/000087780
- [35] D. M. Romano, "Virtual reality therapy," *Developmental Medicine and Child Neurology*, vol. 47, p. 580, 2005.
- [36] S. S. Usmani, M. Sharath, and M. Mehendale, "Future of mental health in the metaverse," *General Psychiatry*, vol. 35, no. 4, p. e100825, 2022.
- [37] M. Kim, "The good and the bad of escaping to virtual reality," *The Atlantic*, 2015.
- [38] C. S. Widom, S. J. Czaja, and M. A. Dutton, "Childhood victimization and lifetime revictimization," *Child Abuse & Neglect*, vol. 32, no. 8, pp. 749-758, 2008.
- [39] L. Abbas and H. Dodeen, "Body dysmorphic features among Snapchat users of 'Beauty-Retouching of Selfies' and its relationship with quality of life," *Media Asia*, vol. 49, no. 3, pp. 196-212, 2022.
- [40] I. Kremer, I. Orbach, and T. Rosenbloom, "Body image among victims of sexual and physical abuse," *Violence and Victims*, vol. 28, no. 2, pp. 259-273, 2013.

Inspiring Technologies and Innovations

December 2024, Volume: 3 Issue: 2

Araştırma Makalesi **Hologram Teknolojilerinin Yapay Zekâ ile Desteklenmesine Yönelik Öğretmen Görüşlerinin İncelenmesi****Ashhan KARATAŞ^a**^aİstanbul Arel Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, TÜRKİYE.ORCID^a: 0000-0002-4567-7088

Sorumlu Yazar e-mail: aslihankaratas@arel.edu.tr

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14541850>

Gönderilme : 05.09.2024 Kabul : 10.11.2024 Sayfalar : 25-34

ÖZET: Eğitimde dijital dönüşüm, yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu ile birlikte öğrenci öğrenme deneyimlerini yeniden şekillendirmekte ve daha etkileşimli bir öğrenme ortamı sağlamaktadır. Bu bağlamda, hologram teknolojisi, öğrencilerin soyut kavramları daha iyi anlamalarına yardımcı olan ve öğrenme süreçlerine görselleştirme ile etkileşim katma potansiyeli taşıyan önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Hologram teknolojilerinin yapay zekâ ile desteklenmesinin eğitim alanına entegrasyonunun, geleneksel öğretim yöntemlerini dönüştürerek öğrenme süreçlerinde kişiselleştirilmiş bir deneyim sunması beklenmektedir. Bu çalışmada, hologram teknolojilerinin yapay zekâ ile desteklenmesine yönelik öğretmen görüşlerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Araştırma nitel araştırma yöntemlerinden fenomenoloji yöntemi ile desenlenmiştir. Katılımcılar, farklı eğitim seviyelerinde, branşlarda, okullarda görev yapan ve ilgili alanda yüksek lisans eğitimine devam eden öğretmenlerden oluşmaktadır. Hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formunda yer alan sorular aracılığıyla öğretmenlerin hologram teknolojilerinin yapay zekâ ile desteklenmesi hakkındaki görüşleri tematik analiz yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu çalışmanın öğretmenlerin bu iki yenilikçi teknolojinin bir arada kullanımına ilişkin görüşlerini değerlendirerek, eğitimde geleceğin sınıflarına dair yeni perspektifler sunması beklenmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Hologram teknolojileri, yapay zekâ, XR teknolojileri, eğitimde yapay zekâ, karma gerçeklik uygulamaları

ABSTRACT: The digital transformation in education, together with the integration of innovative technologies, is reshaping students' learning experiences and providing a more interactive learning environment. In this context, hologram technology stands out as an important tool that helps students better understand abstract concepts and has the potential to add interaction to the learning process through visualization. It is expected that the integration of hologram technologies supported by artificial intelligence in the field of education will transform traditional teaching methods and provide a personalized experience in learning processes. This research aims to investigate teachers' views on the support of hologram technologies with artificial intelligence. The research was designed using the phenomenology method, which is a qualitative research method. The participants consist of teachers working in different levels of education, branches, schools, and continuing their master's degree in the relevant field. The views of the teachers on the support of hologram technologies with artificial intelligence were analyzed with the method of thematic analysis through the questions in the prepared semi-structured interview form. It is expected that this research will evaluate teachers' views on the combined use of these two innovative technologies and provide new perspectives on the future classrooms in education.

KEYWORDS: Hologram technologies, artificial intelligence, XR technologies, artificial intelligence in education, mixed reality applications

1. GİRİŞ

Son yıllarda eğitimde dijitalleşme ve yenilikçi teknolojilerin kullanımı, eğitim süreçlerini dönüştürme potansiyeli taşımakta ve öğrencilere daha etkileşimli öğrenme deneyimleri sunmaktadır [1]. Bu dönüşüm içerisinde yer alan hologram teknolojileri, özellikle öğrencilerin öğrenme süreçlerinde görselleştirme ve etkileşim kapasitesiyle dikkat çeken araçlardır. Hologramlar, üç boyutlu görüntü sunumları aracılığıyla soyut bilgilerin daha anlaşılır hale gelmesine katkıda bulunmakta; sınıf ortamında öğrencilere farklı perspektifler sunarak öğrenme motivasyonunu artırmaktadır [2].

Eğitimde görsel teknolojilerin, özellikle de üç boyutlu içerik sunabilen araçların kullanımı, bilgiye dayalı kavramları ve soyut içerikleri daha somut hale getirmekte önemli bir rol oynamaktadır [3]. Bununla birlikte, eğitimcilerin hologram teknolojileri, yapay zekâ (YZ) gibi güncel teknolojileri sınıf ortamında etkili bir şekilde uygulamaları için gerekli yetkinliklere sahip olmaları önemlidir. Öğretmenlerin hologram teknolojisine yönelik deneyimleri ve algıları, bu teknolojinin eğitim süreçlerine entegre edilmesinde belirleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. YZ'nin hologramlarla desteklenmesi öğrencilere kişiselleştirilmiş geri bildirim sağlama, bireyselleştirilmiş öğretim ve dinamik içerikler sunma gibi imkânlar sunarak öğrenme sürecini daha esnek hale getirmektedir. Literatürde hologram ve YZ teknolojilerinin eğitimde nasıl algılandığına dair yeterli

araştırma bulunmamaktadır [5,6]. Bu durum, öğretmenlerin teknolojiyi ne ölçüde benimseyip uygulayabildikleri konusunda belirsizlikler yaratmakta ve mevcut durumu anlamayı zorlaştırmaktadır.

Literatürdeki mevcut araştırmalar bu teknolojilerin öğrenci motivasyonu, bilgiye erişim ve öğrenme kalıcılığı üzerinde olumlu etkiler sağladığını vurgulamaktadır [7]. Ancak, öğretmenlerin bu teknolojilere yönelik tutumları, sınıf ortamında karşılaştıkları zorluklar ve ihtiyaç duydukları destekler gibi konular yeterince ele alınmamaktadır [8]. Öğretmenlerin bu yeni teknolojiyi etkili bir şekilde kullanabilmesi için gerekli olan eğitim ve destek mekanizmaları konusundaki eksiklikler, eğitimdeki yeniliklerin benimsenmesi ve uygulanmasında ciddi bir engel oluşturmaktadır [9]. Özellikle öğretmenlerin bu yeni teknolojiyi etkili bir şekilde kullanabilmeleri için gerekli olan desteklerin ve eğitim mekanizmalarının eksikliği, eğitimdeki dönüşüm sürecinin yavaşlamasına ve öğrencilerin potansiyel faydalardan tam olarak yararlanamamasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, hologram teknolojisinin YZ ile desteklenmesine yönelik öğretmen görüşlerinin incelenmesi ile öğretmenlerin bu teknolojiyi nasıl algıladıkları, sınıf ortamında karşılaştıkları zorluklar ve ihtiyaç duydukları destek türleri belirlenerek, literatüre katkı sunulmaya çalışılacaktır.

1.1. Yapay Zekâ

Alan Turing, 1950 yılında yayımladığı "Computing Machinery and Intelligence" (Bilgi İşlem Makineleri ve Zekâ) makalesinde "Makineler düşünebilir mi?" sorusunu derinlemesine incelemiş ve YZ'nin düşünsel temellerini "makine" ve "düşünmek" kavramlarının bileşiminden hareketle açıklamıştır [10]. YZ'nin kurucusu olarak tanınan Turing'in yanı sıra McCarthy, Minsky, Rochester ve Shannon gibi öncü bilim insanlarının 1956 Dortmund Konferansı'nda sundukları öneri mektubu, bu alandaki akademik çalışmaların başlangıcını temsil etmektedir. Bu konferansta YZ kavramı ilk kez resmi olarak dile getirilmiş ve bilimsel bir disiplin olarak tanıtılmıştır. Bu tarihten itibaren YZ, bilgisayar biliminin önemli bir alt dalı olarak hızla gelişmiş ve çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaya başlanmıştır [11].

YZ, bilgisayarların akıl yürütme, problem çözme, anlam çıkarma ve bu bilgileri genelleme gibi insana özgü bilişsel yetenekleri sergilemesi ve üst düzey bilişsel becerileri kullanabilmesi olarak tanımlanabilir [12]. Bu bağlamda YZ, doğal zekânın bir taklidini oluşturmayı amaçlayan bir kuram olarak öne çıkmaktadır [13]. YZ teknolojilerinin en önemli özellikleri, büyük miktarda veriyi işleyip analiz edebilme, desenleri tanımlayabilme ve bilinçli kararlar alabilme yeteneğidir. YZ, makine öğrenmesi, doğal dil işleme ve robotik gibi geniş çalışma alanlarında kullanılmaktadır [14]. Eğitim bağlamında ise YZ'nin sunduğu olanaklar arasında öğrenci davranışlarının sistematik izlenmesi ve analizi ile akademik başarı ve zekâ düzeylerinin objektif değerlendirilmesi yer almaktadır. Ayrıca sınıfta sanal asistanların sağladığı destek ve uzaktan eğitim için esnek ders programlarının hazırlanması, öğrenmenin bireyselleştirilmesi için akıllı öğrenme sistemlerinin uygulanmasına olanak tanımaktadır [15]. Bu imkânlar, öğrencilerin hazır bulunuşluk düzeylerini güçlendirmeyi ve eğitim kalitesini artırmayı hedeflemektedir [16].

Günümüzde YZ uygulamaları, kişiselleştirilmiş eğitim programlarının oluşturulması, bireysel performansların sürekli izlenmesi, ders içeriği geliştirme ve öğretim modellerinin belirlenmesi gibi işlemlerle eğitim kalitesini önemli ölçüde artırmaktadır [17]. Özellikle eğitim süreçlerine entegre edilen hologram teknolojileri, YZ ile desteklendiğinde; öğrenci katılımını artırma, soyut kavramları görselleştirme ve öğrenme deneyimlerini zenginleştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu tür yenilikçi uygulamaların, eğitimde teknolojinin entegrasyonunu sağlamanın yanı sıra öğrenci öğrenme deneyimlerini daha etkili hale getireceği düşünülmektedir.

1.2. Hologram Teknolojileri

Hologram, genellikle ışık demetleriyle kaydedilen girişim desenlerinden yeniden üretilen iki boyutlu bir yüzeyde üç boyutlu (3D) görüntülerin görüntülenmesini sağlayan bir tekniktir [18,19]. Bu teknoloji, soyut kavramların eğitimde daha somut ve erişilebilir hale getirilmesi açısından önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Hologramların sağladığı gerçekçi üç boyutlu temsiller, öğrenme deneyimini derinleştirirken, öğrencilerin kavramsal anlayışlarını pekiştirip öğrenme motivasyonlarını artırmaktadır [20]. Hologram teknolojisi, üç boyutlu nesnelerin gerçek zamanlı olarak yaratılmasına olanak tanıyarak eğitim ortamlarında yenilikçi bir boyut kazandırmaktadır.

Hologram teknolojileri, hem görsel hem de görsel olmayan içeriklerin üç boyutlu sunumunu mümkün kılmakta ve bu sayede gerçek dünyayı taklit eden hologramlar oluşturularak kullanıcılara gerçeküstü deneyimler yaşatmaktadır. Hologram teknolojileri, eğitim, iletişim, pazarlama ve müzik gibi çeşitli sektörlerde giderek artan bir etki alanı bulmaktadır. Tıp eğitiminde, öğrencilere gerçekçi hologramlar aracılığıyla detaylı anatomik yapılar üzerinde pratik yapma imkânı sunulması, kavramsal anlayışlarının pekişmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Eğitim süreçlerinde hologramların sunduğu üç boyutlu görseller, soyut kavramların daha somut biçimlerde deneyimlenmesine olanak tanımakta ve bu durum, öğrenme motivasyonunu artırarak görsel ve etkileşimli öğrenme deneyimlerini zenginleştirmektedir.

Hologramların YZ ile birleşimi, bu deneyimlerin daha da geliştirilmesi ve etkileşimli hale gelmesini sağlamaktadır. YZ uygulamaları, derin öğrenme yöntemleri ve veri analizi gibi alanlarla, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre daha kişiselleştirilmiş ve gerçek zamanlı içeriklerin ortaya konmasına imkân tanımaktadır [21]. Bu etkileşim, öğrenme süreçlerinin daha dinamik ve etkili hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Eğitimcilerin, bu yeni araçları etkili bir şekilde kullanabilmeleri için belirli bir bilgi

ve pedagojik yeterliliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu bağlamda, eğitimcilerin hologram teknolojisini benimseme düzeyi, eğitimdeki yeniliklerin etkili bir biçimde uygulanmasında belirleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Araştırmanın temel amacı, hologram teknolojisinin YZ ile desteklemesine yönelik öğretmenlerinin görüşlerini derinlemesine incelemektir. Bu çalışmada “Hologram teknolojisinin YZ ile desteklenmesine yönelik öğretmen görüşleri nelerdir?” sorusuna yanıt aranmaktadır. Araştırmanın alt problemleri ise şu şekildedir;

1. Öğretmenlerin eğitimde hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde eğitim aktörlerinin rolüne yönelik görüşleri nelerdir?
2. Öğretmenlerin eğitimde hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde mali kaynaklara yönelik görüşleri nelerdir?
3. Öğretmenlerin hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde eğitim ve öğretim süreçlerine yönelik görüşleri nelerdir?

2. MATERYAL VE METOD

Araştırma amacının yapısı gereği bu çalışma nitel araştırma olarak tasarlanmıştır. Araştırmanın bu bölümünde araştırmanın modeline, çalışma grubuna, verilerin toplanmasına, veri toplama araçlarına ve verilerin analizine yer verilmiştir.

2.1. Araştırma Modeli

Araştırma, nitel araştırma yöntemleri çerçevesinde desenlenmiştir. Nitel araştırma, "olayların, gerçekleştiği doğal ortamında gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ele alındığı ve gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı bir araştırma yöntemi" olarak tanımlanmaktadır. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden “fenomenoloji modeli” kullanılmıştır. Fenomenoloji, yabancı olmayan fakat tam olarak kavranamayan olguları derinlemesine bir şekilde araştırır [22]. Fenomenolojinin amacı, bireylerin yaşadıkları deneyimlere dair kişisel algılarını ve bu deneyimlerin ardındaki anlamları daha geniş bir düzlemde anlamlandırmaktır. Bu yöntem, araştırmanın amacına bağlı olarak katılımcıların öznel deneyimlerini analiz ederek, daha derinlemesine ve zengin bir veri sunmayı mümkün kılmaktadır. Durum çalışması, belirli bir olguyu, durumu veya bağlamı derinlemesine inceleyen araştırma desendir [23]. Durumlar, zaman ve eylemlerle sınırlı olduğundan fenomenoloji yönteminin araştırmasının doğasına uygun olduğu düşünülmüştür. Bu bağlamda, fenomenolojik yaklaşım, araştırmanın problem sorusuna yanıt bulma sürecinde daha nitelikli ve anlamlı veriler elde etmeye olanak sağlayacaktır.

2.2. Çalışma Grubu

Katılımcıların belirlenmesinde örnekleme yöntemlerinden kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemi araştırmacının hedefi olan evrenden örneklemini oluştururken ulaşabileceği en kolay öğelere yönelmesi olarak tanımlanabilir [24]. Kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemi diğer örnekleme yöntemlerinin birçoğuna göre evreni temsil etme noktasında zayıf olsa da araştırmaya hız ve pratiklik kazandırılarak, araştırmacının kendisine yakın olan ve erişimi kolay olan bir durumu seçmesi söz konusudur. Kolay ulaşılabilir örneklemler genelde daha az maliyetlidir ve tanıdık bir örnekleme araştırmacılar için daha pratiktir [22]. Araştırmaya dâhil edilme kriteri olarak İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa’da yer alan üç boyutlu sanal teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacıyla kurulan ve hologram teknolojilerini de yerinde birebir deneyimleme fırsatı sunan YETAM teknoloji merkezini deneyimlemiş öğretmenlerin araştırmaya daha fazla katkı sunacağı düşünülmüştür. Araştırmanın çalışma grubunu İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi bölümünde yüksek lisans yapan sekiz öğretmen oluşturmaktadır. Çalışma grubundaki öğretmenler yüksek lisans ders döneminde sanal, artırılmış ve karma gerçeklik dersini almış ve araştırmaya gönüllü katılım sağlamak istediklerini beyan etmişlerdir.

Tablo 1. Çalışma grubu ile ilgili bilgiler

Katılımcı Kodu	Cinsiyet	Görev Yaptığı Okul Türü	Branş
A1	Kadın	Özel	Bilişim Teknolojileri
A2	Kadın	Özel	Bilişim Teknolojileri
A3	Erkek	Devlet	Bilişim Teknolojileri
A4	Kadın	Devlet	İngilizce
A5	Erkek	Özel	Bilişim Teknolojileri
A6	Kadın	Devlet	Bilişim Teknolojileri
A7	Erkek	Devlet	Bilişim Teknolojileri
A8	Kadın	Devlet	İngilizce

Tablo 1’de görüldüğü gibi katılımcıların beşi kadın, üçü erkektir. Katılımcıların dördü devlet okullarında, dördü ise özel okullarda görev yapmaktadır. Katılımcıların altısı Bilişim Teknolojileri ve Yazılım branşında, ikisi ise İngilizce branşında görev yapmaktadır. Katılımcılara ait görüşlere yer verilirken A harfinden başlamak üzere katılımcı kodları verilmiştir.

2.3. Veri Toplama Araçları

Fenomenoloji desenine göre yürütülen bu araştırmanın verilerini toplamak için yarı yapılandırılmış görüşme kullanılmıştır. Bireyin algı ve yorumları en doğru şekilde kendi açıklamalarıyla ortaya çıkar. Görüşme sırasında sorulan soruların katı sınırlamalar olmaksızın, görüşme sırasında ortaya çıkan yeni bilgilere göre esnek bir şekilde şekillendirilebilmesi; bu sayede görüşülen kişinin kendini daha rahat hissetmesi ve duygu, düşünce ve deneyimlerini daha ayrıntılı bir şekilde ifade etme fırsatı bulması göz önüne alınarak, yarı yapılandırılmış görüşme tekniğinin araştırmanın amacına daha uygun olacağı düşünülmüştür [25]. Verilerin toplanmasında kullanılan yarı yapılandırılmış görüşme formu gerekli alan yazın taramasının ardından araştırmacı tarafından geliştirilmiş, geçerliği saptanmak üzere bilgisayar ve öğretim teknolojileri alanında çalışan iki ve eğitim bilimleri alanında çalışan bir öğretim elemanının uzman görüşüne sunulmuştur. Araştırmanın amacına uygun hazırlanan sorulara dair üç alan uzmanından alınan görüşler doğrultusunda sorular düzenlenmiştir. Uzman görüşleri ışığında formda gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra dokuz sorudan oluşan yarı yapılandırılmış forma son hali verilmiştir. Görüşmeler çevrimiçi görüntülü görüşme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Görüşmelerin gün ve saati katılımcıların uygunluğuna göre bir hafta önceden randevu alınarak ayarlanmıştır. Çevrim içi görüşmelerin, ses kaydına alınması katılımcıların rızası ile gerçekleştirilmiştir. Sekiz katılımcıdan bir katılımcı ile pilot uygulama yapılmıştır. Pilot uygulama sırasında sorularda herhangi bir değişiklik yapılması gerekmediğine karar verildiğinden pilot uygulama da bulgulara dâhil edilmiştir. Ayrıca görüşmeler sırasında araştırmacı notları alınmış bunlar da analize dâhil edilmiştir.

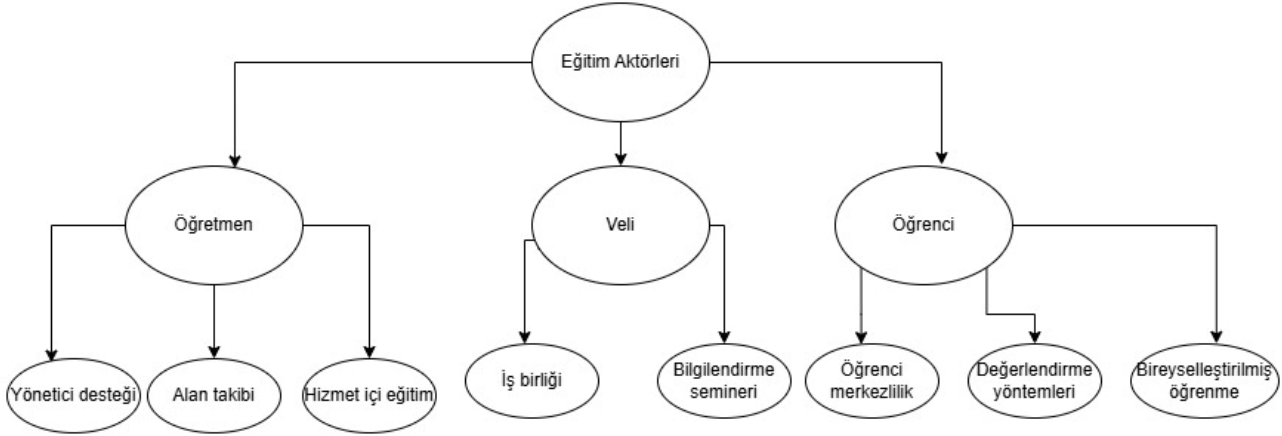
Araştırmanın, inanılabilirliğini sağlamak amacıyla inandırıcılık ve aktarılabirlik kriterleri değerlendirilmiştir. İnandırıcılık için katılımcı teyidi ve uzun süreli etkileşim sağlanmıştır. Sürekli aynı ortamda bulunma aynı zamanda karşılıklı güvene dayalı ve dostça bir ilişkinin kurulmasını, doğru ve eksiksiz yanıtlar alınmasını sağlar [26]. Araştırmacı sanal, artırılmış ve karma gerçeklik dersini katılımcılar ile birlikte almış ve grupla YETAM’ı deneyimlemiştir. Araştırmacının sahip olabileceği bazı öznel varsayımları önlemek için görüşme sonunda talep eden katılımcılara görüşme bulguları iletilmiş ve dönüt istenmiştir. Aktarılabirlik için örneklem büyüklüğünün belirlenmesine dikkat edilmiştir. Çalışma grubundaki katılımcıların belirlenmesinde veri doygunluğu esas alınmıştır. Veri doygunluğuna ulaşmada benzer yanıtların sorular için tekrar edilmesine dikkat edilmiştir [27].

2.4. Verilerin Toplanması ve Analizi

Tematik analiz, metinsel verileri belirli kodlar ve temalar çerçevesinde inceleyerek, bu verilerden anlamlı örüntüler çıkarmaya olanak sağlar. Amaç, katılımcıların deneyimlerinde öne çıkan ortak temaları belirlemek ve bu deneyimlerin ardındaki temel anlamları keşfetmektir. Bu analiz, katılımcıların görüşlerinde sıklıkla tekrar eden temaları ortaya çıkararak, bu deneyimlerin hangi açılardan benzerlik gösterdiğini ya da farklılaştığını anlamayı sağlar [28]. Bu çalışmada hem düşünceler hem de altında yatan derin anlamları keşfetmek amaçlandığından esnek bir yapıya sahip olan tematik analiz kullanılmıştır. Görüşmelerin tamamlanmasının ardından görüşme formunda yer alan sorular doğrultusunda verilerin analizine verilerden elde edilen transkripsiyonlar baştan sona okunması ile başlanmıştır. Tekrar tekrar okumalar yapılmış ve üzerine notlar alınarak ön kodlama yapılmıştır. En az iki katılımcının bahsettiği kod listesine eklenmiştir. Ön kodlamadan elde edilen bulgular alt alta sıralanarak listelenmiştir. Doküman üzerinde elemeler yapılmış ve tekrar eden kodlar silinmiştir. Ardından ana kodlama aşamasına geçilerek elde edilen bulgular tema, alt tema ve kod olacak şekilde gruplanmış ve tablolaştırılmıştır. Aynı tema altından ortaya çıkan benzer kodlar birbiri ile ilişkilendirilmiştir. Elde edilen tablo zihin haritası yöntemiyle dijital ortamda çizilmiştir. Öğretmenlerin görüşme sorularına verdikleri yanıtlar haritaya işlenmiş ve bu işlem bütün görüşmeler için tekrarlanmıştır. Veriler bulgu olarak sunulmaya hazır hale getirilmiştir. Bulgulara ait alıntılar araştırmaya eklenmiştir.

3. SONUÇLAR

Araştırmadan elde edilen verilerin analizi sonucunda çalışmaya katılan öğretmenlerin görüşleri temel alınarak hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesine yönelik aşağıdaki bulgular elde edilmiştir. Öğretmenlerin eğitimde hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde eğitim aktörlerinin rolüne yönelik görüşleri sorulmuş ve Şekil 1’de görüldüğü üzere “eğitim aktörleri” teması elde edilmiştir.



Şekil 1. Eğitim aktörleri teması

Şekil 1’de görüldüğü üzere “eğitim aktörleri” teması “öğretmen”, “veli” ve öğrenci” alt temalarından oluşmaktadır. Bu konudaki öğretmenlerden bazılarının görüşleri aşağıdaki şekildedir:

A1: “Veli seminerleri de düzenlenmeli. Veliler bilmek istiyorlar çocuklarının eğitim açısından neler yaptığını. Özellikle özel okul velileri.”

A8: “Yapay zekâ konusunda öğretmen eğitimlerine geç kaldık ve bu, öğrencilere de yansıyor. Hologram teknolojisi için de benzer bir durum olabilir. Eğitim eksikliği nedeniyle teknolojinin avantajlarından tam olarak yararlanamayabiliriz. Ancak eğitimler verildiği ve her branş için entegrasyon çözümleri üretildiği takdirde bu alanda ilerleme kaydedilebilir. Ayrıca süreç hakkında mutlaka velilerin de bilgilendirilmesi gerekiyor.”

A4: “Bu teknolojiler için yeterli sayıda öğretmen var mı? Öncelikle bu işi yönetecek kişilerin eğitilmesi gerekiyor. Ayrıca öğretmenlerin bu teknolojilere istekli olup olmamaları da önemli. Her öğrenciye bu fırsatı tanıyabilmek için sınıf mevcutlarını azaltmak ve gerekli teknolojik donanımı sağlamak gerekiyor. İstanbul gibi yerlerde, elli beş kişilik sınıflarda bunun kısa zamanda gerçekleşebileceğini düşünmüyorum. Birçok okulun bilgisayar laboratuvarı yok ya da olanlar çok eski ve internet ciddi bir problem.”

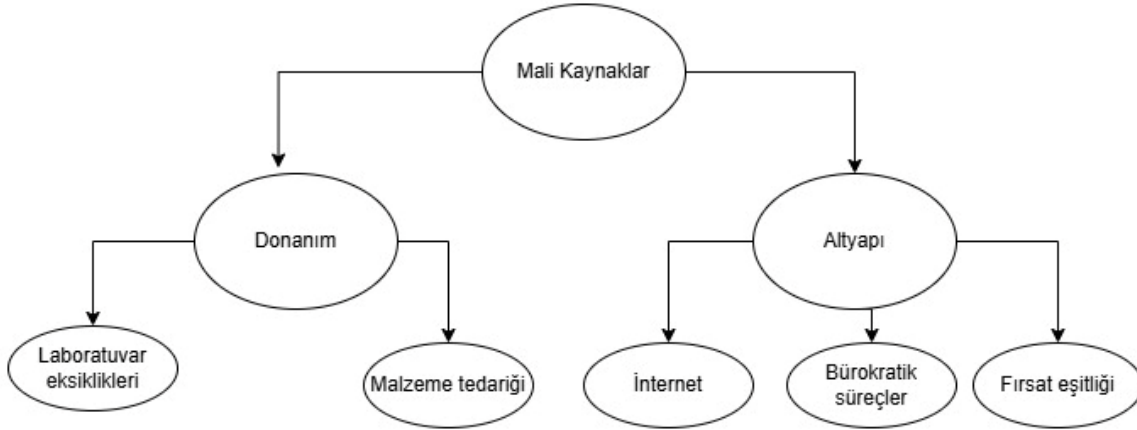
A5: “Öğretmen eğitimleri çok önemli. Özellikle akademik alanda bu kritik. Birçok öğretmen güncel teknolojileri kullanmadıkları ya da kullanmak istemedikleri için öğrenmek yerine reddetmeyi tercih ediyorlar. Temelde öncelikle sanırım öğretmen ve yöneticileri bu teknolojileri kullanmaya ikna etmemiz gerekiyor.”

Hologram teknolojileri ve YZ destekli uygulamaların eğitim sistemine entegrasyonu, öğretmenler için yeni ve etkili bir öğretim yöntemi sunmaktadır. Aydoğan’ın [29] araştırması, hologram teknolojisinin eğitimde kolektif aktiviteyi ve bütünlüğü nasıl desteklediğini ortaya koyarak, bu teknolojinin öğretmenlerin sınıf içi etkileşimlerini zenginleştirme potansiyelini göstermektedir. Orcos ve arkadaşları [30] YZ destekli hologramların öğretmenlerin sınıf içerisindeki otoritelerini korurken aynı zamanda derslerde yaratıcılığı teşvik ettiğini ve öğrencilerin dikkatini çektiğini ifade etmektedir. Bu bulgular, öğretmenlerin yeni teknolojilerle donatılmış sınıf ortamlarında hem bilgi aktarımında hem de yaratıcı etkinliklerde daha fazla esneklik ve derinlik kazandığını göstermektedir.

YZ ve hologram teknolojilerinin eğitimde kullanımı, sadece öğretmenleri değil, aynı zamanda velilerin eğitim sürecine dâhil olma biçimlerini de etkilemektedir. Veliler, bu tür teknolojilerin kullanımı sayesinde çocuklarının eğitim süreçlerine daha yakın olabilmekte ve akademik gelişimlerini daha somut bir şekilde gözlemleyebilmektedir. Bu sayede veliler, öğrencilerin eğitim süreçlerine daha bilinçli ve aktif bir şekilde katılmaktadır.

Öğrenciler açısından hologram ve YZ teknolojilerinin kullanımı, öğrenme süreçlerini daha cazip hale getirmekte ve motivasyonu artırmaktadır. Adıgüzel’in [31] araştırmasında, hologram teknolojisinin kullanımı öğrencilerin akademik performanslarını ve derslere olan tutumlarını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Rehman ve arkadaşları ve Elmarash ve arkadaşları [32,33] ise bu teknolojinin öğrencilerin anlamalarını derinleştirdiğini ve soyut kavramları görselleştirerek öğrenme sürecine katkı sağladığını belirtmektedir. Bu bulgular, öğrencilerin teknoloji aracılığıyla daha etkili ve anlamlı öğrenme deneyimleri yaşadığını göstermektedir.

Öğretmenlerin eğitimde hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde mali kaynaklara yönelik görüşleri sorulmuş ve Şekil 2'de görüldüğü üzere “mali kaynaklar” teması elde edilmiştir.



Şekil 2. Mali kaynaklar teması

Şekil 2’de görüldüğü üzere “mali kaynaklar” teması “donanım” ve altyapı” alt temalarından oluşmaktadır. Bu konudaki öğretmenlerden bazılarının görüşleri aşağıdaki şekildedir:

A3: “Çeşitli teknolojik imkânsızlıklar nedeniyle bu tür yeniliklerin kullanılabilmesi için bireysel çaba ya da ek araçlar gerekiyor. Örneğin, özel gözlükler lazım ya da ortamın uygun hale getirilmesi gerekiyor. Eğitim kurumlarında, özellikle devlet okullarında, bu tür imkânların sağlanması nispeten zor.”

A5: “Bu teknoloji, İstanbul'daki ve Ankara'daki öğrencilerle aynı zamanda Şırnak'taki çocuklara da fırsat eşitliği sunabilirse, işte o zaman ülkemize gerçek bir fayda sağlar.”

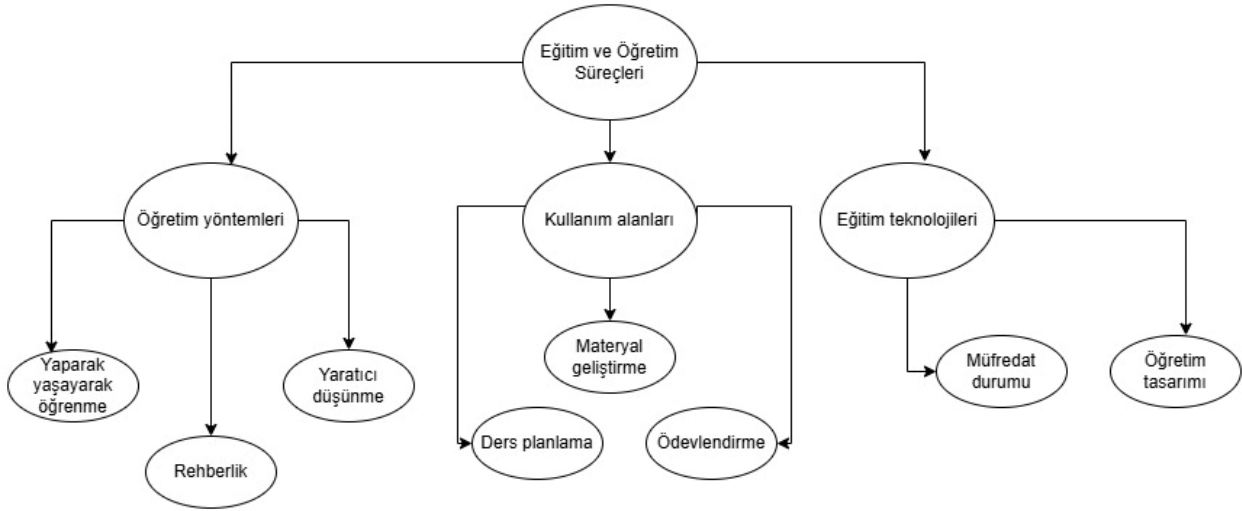
A3: “Çok güzel uygulamalar var; bireyselleştirilebiliyor, fakat kaç okulda bu teknolojileri uygulayabiliyoruz? Kaç öğrenciye ulaşabiliyoruz? Buradaki yetersizlikler ve sınırlamalar aşamadığı sürece bu teknolojilerin etkisini uzun vadede görebileceğimizi düşünmüyorum. Yapay zekâ ile bir dönüşüm yaşanıyor ve biz bunu kaçırıyoruz. Okullarda klasik bilgisayar laboratuvarları yerine bu teknolojilerin kullanılabilmesi için sanal ortamlar tasarlanabilir. Eski tip bilgisayar sınıflarını geride bırakmalıyız ki hala bu imkâna sahip olmayan okullar var. Bu hazırlıklar yapılmadığı takdirde, gelişmeleri yakalayamıyoruz ve sürekli geride kalıyoruz. Her gün yeni bir teknoloji ortaya çıkıyor ve inanılmaz bir hızla değişim yaşanıyor. Bu durum, ilgilenenleri de ilgilennemeyenleri de etkileyecek. Maalesef bu konuda bir hazırlık göremiyorum.”

A8: “Türkiye olarak yapay zekâyâ hazır değiliz. Web 2.0 araçlarını bile zor kabul ettik; çoğu aracı sınıflarımızda yasaklardan dolayı hala kullanamıyoruz. Yüksek hızlı internet bağlantımız yok. Şu görüşmeyi yaparken bile donmalar yaşıyoruz. Bence en yüksek parayı verip en kalitesiz interneti kullanıyoruz.”

Hologram ve YZ teknolojilerinin eğitimde yaygınlaşması, gerekli donanımların sağlanması ile doğrudan ilişkilidir. Kalansooriya ve arkadaşları [34] çalışmasında, üç boyutlu hologram teknolojisinin başarılı bir şekilde kullanılabilmesi için altyapı ve teknik bilgi eksikliğinin yanı sıra yüksek maliyetlerin önemli bir engel teşkil ettiğini belirtmiştir. Özellikle devlet okulları gibi kısıtlı bütçeye sahip kurumlarda bu tür donanımların sağlanması zorlaşmakta ve teknolojik imkânların eksikliği nedeniyle öğrenciler arasında fırsat eşitsizliği meydana gelebilmektedir.

Altyapı eksiklikleri, özellikle internet bağlantısının yetersiz olması, hologram ve YZ teknolojilerinin desteklenmesinde bir diğer büyük engel olarak görülmektedir. Sabuncuoğlu [35] araştırmasında, sosyoekonomik farklılıkların eğitim kurumlarının dijital araçlara erişimini sınırladığını ve bu durumun eğitimde fırsat eşitliğini olumsuz etkilediğini ifade etmektedir. İnternet altyapısının güçlendirilmesi, teknolojinin eğitimde etkili ve eşit bir şekilde kullanılabilmesi için temel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Öğretmenlerin hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde eğitim ve öğretim süreçlerine yönelik görüşleri sorulmuş ve Şekil 3’de görüldüğü üzere “eğitim öğretim süreçleri” teması elde edilmiştir.



Şekil 3. Eğitim öğretim süreçleri teması

Şekil 3’de görüldüğü üzere “eğitim ve öğretim süreçleri” teması “kullanım alanları”, “öğretim yöntemleri” ve “eğitim teknolojileri” alt temalarından oluşmaktadır. Bu konudaki öğretmenlerden bazılarının görüşleri aşağıdaki şekildedir:

A8: “Öğrencilere materyal hazırlarken yapay zekâyı kullanıyorum. Geçen gün onlardan bir çalışma yapmalarını istedim ve verdiğim ödevde bir ‘close effect’ paragrafı yazmalarını talep ettim. Bu ödevle amaçladığım şey, öğrencilerin sadece paragraf yazmayı değil, aynı zamanda yapay zekâyı prompt vermeyi ve yapay zekâyı eleştirel bir gözle değerlendirmeyi öğrenmeleriydi. Mesela okulda telefonları güvenlik nedeniyle dolaplara koydurduk, ancak bir taraftan da yabancı dil derslerinde kullandığımız yapay zekâ uygulamalarını yasakladık. Bizim için bu uygulamalar aslında bir sözlük gibi işlev görüyordu.”

A2: “Yapay zekânın öğrencilerde yaratıcılığı azaltma ihtimalini dezavantaj olarak görüyorum. Gelişime açık bir alan olmasına rağmen yapay zekâlar henüz bizim onlara aktardığımız kadar bilgiye sahip. Evet, öğreniyorlar ancak bir insan kadar öğrenebildiklerini düşünmüyorum. Biz ne veriyorsak onu biliyorlar.”

A5: “Hologram teknolojisinin öğretmen rolünü değiştireceğini ve öğretmenin kişisel deneyim alanını oluşturan bir kişiye dönüşebileceğini düşünüyorum. İleride diğer teknolojilerle de entegre olursa öğrencilerin tüm eğitim süreçlerini takip eden, onlara eğitim veren, öğrenme stillerine göre uyarlanan ve öğrenme seviyelerini ölçerek genel uygulamaları çeşitlendirebilen birçok yenilik yapılabilir.”

A4: “Şu anki derslerde her şey çok iki boyutlu kalıyor. Örneğin bir restoranda geçen bir konuşmada hologram kullanılabilir. Kitaplardan okuduğumuz rol yapma aktiviteleri çok sınırlı kalıyor, hologramlarla bu geliştirilebilir. Teknolojiyi, ayrıca çeviri konusunda da sıkça kullanıyoruz.”

A1: “Çocukların dikkatini daha fazla çekecek ve daha etkili bir eğitim öğretim sağlayacaktır. Hem öğretim süreci açısından hem de öğrenci açısından iyi olacağını düşünüyorum.”

A7: “Yapay zekânın her ne kadar kendine ait bir dünya kuracağı konuşulsa da, kendi başına var olamayacağını düşünüyorum. Belki bu kadar çok öğretmen olmayacak, ama rehberlik edecek ve süreci başlatacak kişi yine bir insan olacaktır. Eğitimi daha da kısaltacak, ulaşılabilir ve somut hale getirecek diye düşünüyorum. Çünkü anlattığımız şeyler genelde teorik kalıyor.”

A8: “Yeni yeni yapay zekâyı başlıyoruz. Bu konuda ekstra ders olsa çok daha iyi olurdu, ancak maalesef böyle bir ders yok ya da erişilebilir değil. Okulumuzda bir bilişimci de yok. Her okulda teknik sıkıntılara karşı sorumlu bir kişinin olması gerektiğini düşünüyorum.”

Hologram ve YZ teknolojilerinin eğitim süreçlerindeki kullanımı, özellikle materyal hazırlama ve bilgi sunumunda öğretmenlere yeni olanaklar sağlamaktadır. Öğretmenler, YZ’yi materyal hazırlamada kullanarak öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerini geliştirebilmektedir. Paredes ve Vazquez [36], bu teknolojilerin öğrencilerin öğrenme süreçlerini kişiselleştirme ve daha görünür hale getirme kapasitesine sahip olduğunu belirtmektedir. Bu sayede öğrenciler, öğrenme sürecine daha aktif katılma fırsatı bulmaktadır.

Hologram teknolojileri, öğrenmeyi daha ilgi çekici ve etkili hale getirmek için öğretim yöntemlerinde yenilikler sunmaktadır. Aslan ve Erdoğan’ın [37] araştırmasında, teknolojinin birden fazla duyuyu harekete geçirerek kalıcı öğrenmeyi desteklediği ve öğrencilerin öğrenme sürecine olan ilgisini artırdığı ifade edilmektedir. Özellikle hologramların dil derslerinde ve rol yapma

aktivitelerinde kullanımı, öğrencilerin katılımını ve motivasyonunu artırmaktadır. Bu yöntemler, öğrencilere daha zengin ve kalıcı öğrenmeler gerçekleştirmektedir.

Hologram teknolojilerinin eğitimdeki rolü, geleneksel öğretim araçlarından farklı olarak, soyut kavramların somut hale getirilmesine olanak tanınmaktadır. Ramlie ve arkadaşları [38] çalışmasında, hologramların geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla daha yenilikçi ve etkili bir bilgi aktarımı sunduğu belirtilmektedir. Elmarash ve arkadaşları [34] ise hologram teknolojilerinin öğrencilerin ilgisini çektiğini, soyut nesnelere görselleştirme becerisini geliştirdiğini ve hayal gücünü beslediğini ifade etmektedir. Bu teknolojiler, öğrencilerin öğrenme süreçlerini zenginleştirmektedir.

4. TARTIŞMA

Hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde eğitim aktörleri önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. Öğretmenler, yenilikçi öğretim yöntemlerini benimserken sınıf içi uygulamalarda yetersiz donanım ve kaynak eksikliği nedeniyle etkili sonuçlar elde etmekte zorlanmaktadır. Veliler, çocuklarının eğitim süreçlerine daha aktif katılmayı isterken, teknolojiye erişim imkânlarının sınırlı olması ve gelişimi etkin bir şekilde desteklemelerini zorlaştırmaktadır. Öğrenciler ise hologram ve YZ teknolojileri ile tanışmalarına rağmen yaşanan eksiklikler nedeniyle teknolojinin imkânlarından yararlanma fırsatını bulamamaktadır.

Mali kaynakların yetersizliği, hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesini sürdürülebilir bir hale getirmek açısından engel teşkil etmektedir. Donanım ve altyapı eksiklikleri, eğitim süreçlerinin verimliliğini azaltmakta ve öğretmenlerin bu teknolojileri kullanarak öğrenciler üzerinde olumlu etkiler yaratmalarını güçleştirmektedir. Eğitim kurumlarının bütçeleri, ihtiyaç duyulan teknolojik donanım ve altyapıyı karşılamada yetersiz kalmaktadır.

Eğitim ve öğretim süreçleri açısından hologram teknolojilerinin ve YZ ile desteklenmesinde çeşitli sorunlar gözlemlenmektedir. Altyapı eksiklikleri, bu teknolojilerin sınıf ortamına etkili bir şekilde dâhil edilmesini engellemekte ve eğitim teknolojilerinin sunduğu potansiyeli tam anlamıyla ortaya çıkarmada yetersiz kalmaktadır. Bu durum, öğretmenlerin pedagojik becerilerini geliştirme ve öğrencilerin öğrenme ve öğretme deneyimlerini derinleştirme çabalarını zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda eğitimde istenen yenilikçi ve kalıcı öğrenme deneyimlerinin elde edilmesini güçleştirmektedir.

Hologram teknolojilerinin YZ ile desteklenmesinde çağa yetişebilmek için öğretmenlerin bu teknolojilere yönelik eğitimlerinin artırılması ve farkındalıklarının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, öğretmen eğitim programlarına hologram ve YZ teknolojileri hakkında kapsamlı modüller eklenebilir ve hizmet içi eğitimler artırılabilir. Altyapı sorunlarının giderilmesi, özellikle internet erişimi ve donanım eksikliklerinin tamamlanması önemlidir. Eğitim kurumları ve yöneticiler, bu ihtiyaçları karşılamak için gerekli finansal kaynakları sağlamalı ve yerel yönetimler bu süreçte destek olmalıdır. Ekonomik zorlukların aşılması için devlet desteği ve özel sektör iş birliği ile finansal kaynaklar sağlanmalıdır. Son olarak bu teknolojilerin benimsenmesi sürecinde toplumsal kabullerin artırılması için öğrenci, öğretmen ve velilere yönelik bilgilendirici ve teşvik edici seminerler düzenlenmelidir.

TEŞEKKÜR

Araştırmaya yönelik teşvik ve katkılarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. İrfan ŞİMŞEK'e teşekkür ederim.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu araştırmada çıkar çatışması bulunmamaktadır.

VERİ KULLANILABİLİRLİĞİ BEYANI

Araştırma sırasında üretilen veya kullanılan tüm veriler, modeller ve kodlar gönderilen makalede yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Kirkwood ve L. Price, "Technology-Enhanced Learning and Teaching in Higher Education: What Is 'Enhanced' and How Do We Know? A Critical Literature Review," *Learning, Media and Technology*, vol. 39, no. 1, pp. 6-36, 2014.
- [2] Y. Tang, L. Yin, ve X. Yang, "Design and Implementation of Holographic Projections in Education," *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, vol. 13, no. 1, pp. 67-81, 2020.
- [3] S. Saçan, K. T. Yaralı, ve S. Z. Kavruk, "Çocukların 'yapay zekâ' kavramına ilişkin metaforik algılarının incelenmesi," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, no. 64, pp. 274-296, 2022, doi: 10.21764/maeuefd.1074024.
- [4] G. Meço ve F. Coştu, "Eğitimde yapay zekânın kullanılması: Betimsel içerik analizi çalışması," *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 12, no. 23, pp. 171-193, 2022.
- [5] R. Williams, H. W. Park, L. Oh, ve C. Breazeal, "Popbots: Designing an artificial intelligence curriculum for early childhood education," *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2019, doi: 10.1609/aaai.v33i01.33019729.

- [6] S. Wang, F. Wang, Z. Zhu, J. Wang, T. Tran, ve Z. Du, "Artificial intelligence in education: A systematic literature review," *Expert Systems with Applications*, vol. 252, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2024.124167.
- [7] K. Alhumaid, "Four Ways Technology Has Negatively Changed Education," *Journal of Educational and Social Research*, vol. 9, no. 4, pp. 10-20, 2019.
- [8] W. Holmes, M. Bialik, ve C. Fadel, *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*, Center for Curriculum Redesign, 2019.
- [9] M. Chassignol, A. Khoroshavin, A. Klimova, ve A. Bilyatdinova, "Artificial intelligence trends in education: A narrative overview," *Procedia Computer Science*, vol. 136, pp. 16-24, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.08.233.
- [10] A. M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence," *Mind*, vol. 59, no. 236, pp. 433-460, 1950.
- [11] E. Alpaydın, *Yapay Öğrenme*, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2013.
- [12] J. McCarthy, "From here to human-level AI," *Artificial Intelligence*, vol. 171, no. 18, pp. 1174-1182, 2007.
- [13] N. Nilsson, *The Mathematical Foundations of Learning Machines*, San Mateo: Morgan Kaufmann, 1990.
- [14] J. Aggarwal ve S. Kumar, "A survey on artificial intelligence," *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, vol. 1, no. 12, pp. 244-245, 2018, doi: 10.31224/osf.io/47a85.
- [15] B. Çukurbaşı, "Yapay zekâ," in *Senaryolarla Desteklenmiş Fen ve Teknoloji Uygulamaları*, G. Yıldırım ve A. N. Önder, Eds. Ankara: Anı Yayıncılık, 2020.
- [16] V. Nabiyev ve A. K. Erümit, "Eğitimde Yapay Zekâ Kuramdan Uygulamaya," in *Yapay Zekânın Temelleri*, 3rd ed., V. Nabiyev ve A. K. Erümit, Eds. Ankara: Pegem Akademi, 2022.
- [17] B. Karaca ve G. Telli, "Yapay zekânın çeşitli süreçlerdeki rolü ve tahminleme fonksiyonu," in *Yapay Zekâ ve Gelecek*, G. Telli, Ed. İstanbul: Doğu Kitapevi, pp. 172-185, 2019.
- [18] A. Ratan ve R. Gatiyala, "Holography-Working Principle and Applications," 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.2688.4649.
- [19] A. Elmorshidy, "Holographic Projection Technology: The World is Changing," *Journal of Telecommunications*, vol. 2, no. 2, 2023.
- [20] R. A. Walker, "Holograms as Teaching Agents," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 415, no. 012076, pp. 4-5, 2013, doi: 10.1088/1742-6596/415/1/012076.
- [21] E. E. I. Barcellos ve G. B. Junior, "The interactive holography as metaphor and innovation in optical representation in design," *Procedia Manufacturing*, vol. 3, pp. 754-761, 2015.
- [22] A. Yıldırım ve H. Şimşek, *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*, Ankara: Seçkin Yayıncılık, 2016.
- [23] J. W. Creswell, *Nitel Araştırma Yöntemleri: Beş Yaklaşımına Göre Nitel Araştırma ve Araştırma Deseni*, M. Bütün ve Ş. B. Demir, Çev., Ankara: Siyasal Kitabevi, 2013.
- [24] M. Q. Patton, *Qualitative Research*, New York: John Wiley and Sons, Ltd, 2005.
- [25] S. B. Merriam, *Nitel Araştırma: Desen ve Uygulama için Bir Rehber*, S. Turan, Çev. Ed., Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2013.
- [26] H. J. Streubert ve D. R. Carpenter, *Qualitative Research in Nursing*, 5th ed., Philadelphia: Lippincott Williams ve Wilkins, 2011.
- [27] M. Mason, "Sample size and saturation in PhD studies using qualitative interviews," *Qualitative Social Research*, vol. 11, no. 1, pp. 1-12, 2010.
- [28] V. Braun ve V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology," *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2, pp. 77-101, 2006, doi: 10.1191/1478088706qp063oa.
- [29] İ. Aydoğan, "Kuantum fiziğinin eğitim bilimlerine etkisi: Hologram ve morfik alanlar," *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 2, no. 31, pp. 189-198, 2011.
- [30] L. Orcos, N. Arís, C. E. Fernández ve Á. A. Magreñán, "Holographic tools for science learning," in *Learning Technology for Education Challenges*, L. Uden, D. Liberona ve Y. Liu, Eds. Springer, 2017, pp. 36-45, doi: 10.1007/978-3-319-62743-4_4.
- [31] S. Adıgüzel, "Dijital hologram kullanımının 4. sınıf fen öğretiminde akademik başarı ve tutuma etkisi," Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2022.
- [32] M. Rehman, M. Shahbaz, R. Amir, H. Raza, ve K. Ayesha, "Stakeholders' perceptions regarding the use of hologram for educational purposes in District Toba Tek Singh, Pakistan," *Journal of Social Sciences Advancement*, vol. 2, no. 3, pp. 92-96, 2021, doi: 10.52223/JSSA21-020304-20.
- [33] G. Elmarash, M. Adrah, ve E. Eljadi, "3D hologram technology in Libyan educational institutions in future: Review," *Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 20, no. 3, pp. 6-10, 2021, doi: 10.51984/jopas.v20i3.1000.

- [34] P. Kalansooriya, A. Marasinghe, ve K. M. D. N. Bandara, "Assessing the applicability of 3D holographic technology as an enhanced technology for distance learning," *The IAFOR Journal of Education*, vol. 1, no. 16, pp. 43-57, 2015.
- [35] A. Sabuncuoğlu, "Designing one year curriculum to teach artificial intelligence for middle school," in *Proceedings of the 2020 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, pp. 96-102, 2020.
- [36] S. G. Paredes ve N. R. Vazquez, "Is holographic teaching an educational innovation?," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 14, no. 4, pp. 1321-1336, 2020, doi: 10.1007/s12008-020-00700-w.
- [37] R. Aslan ve S. Erdođan, "21. yūzyılda hekimlik eđitimi: Sanal geręeklik, artırılmıř geręeklik, hologram," *Kocatepe Veteriner Dergisi*, vol. 3, no. 10, pp. 204-212, 2017, doi: 10.5578/kvj.57308.
- [38] M. Ramlie, A. Ali, ve A. Rokeman, "Design approach of hologram tutor: A conceptual framework," *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 37-41, 2020, doi: 10.18178/ijiet.2020.10.1.1336

Inspiring Technologies and Innovations

December 2024, Volume: 3 Issue: 2

Research
Article

Production of Ni-GNP/AlSi12 Composite Foams and Investigation of Their Properties

Kilani A. Mohamed HASSAN^a, Arif UZUN^b,^aKastamonu University, Department of Materials Science and Engineering, Institute of Science, Kastamonu, Türkiye.^bKastamonu University, Department of Mechanical Engineering, Kastamonu, Türkiye.ORCID^a: 0000-0002-5456-7155ORCID^b: 0000-0002-8120-4114

Corresponding Author e-mail: auzun@kastamonu.edu.tr

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14541862>

Received

: 29.10.2024

Accepted

: 27.11.2024

Pages

: 35-41

ABSTRACT: In this study, Ni-GNP/AlSi12 composite foams were produced by using powder metallurgy process using aluminum powder as matrix material, silicon (12%) for alloying, titanium hydride (1%-TiH₂) as foaming agent and graphene nanoplatelets (0%, 0.4%, 0.8% and 1.2%-GNP) as reinforcement. The powders were mixed at specified ratios, cold compressed and extruded at different ratios to produce precursor samples with diameters of 6 mm and 12 mm. Foaming experiments were carried out at 750 °C in open atmosphere by measuring the expansion rates volumetrically. After foaming, the samples were analyzed in terms of their cellular structure, relative density and cell wall hardness. The results showed that the addition of Ni-GNP decreased the expansion rates but increased the relative density and stability, and the optimum reinforcement effects were observed at 0.4% Ni-GNP concentration. Therefore, the addition of Ni-GNP provides improved stability and hardness, albeit at the expense of reduced expansion, for applications requiring structural strength.

Keywords: AlSi12 foam, Ni-GNP, Powder metallurgy, Expansion

ÖZET: Bu çalışmada, matris malzemesi olarak alüminyum tozu, alaşımlama için silikon (12%), köpürtme maddesi olarak titanyum hidrit (1%-TiH₂) ve takviye maddesi olarak grafen nanoplateletleri (%0, %0.4, %0.8 ve %1.2-GNP) kullanılarak toz metalurjisi işlemi kullanılarak Ni-GNP/AlSi12 kompozit köpükler üretilmiştir. Tozlar belirtilen oranlarda karıştırılmış, soğukta sıkıştırılmış ve farklı oranlarda ekstrüde edilerek 6 mm ve 12 mm çaplarında öncül numuneler üretilmiştir. Köpürtme deneyleri, genleşme oranları hacimsel olarak ölçülerek açık atmosferde 750°C'de gerçekleştirilmiştir. Köpürtme sonrasında numuneler hücresel yapıları, bağıl yoğunlukları ve hücre duvarı sertlikleri açısından analiz edilmiştir. Sonuçlar, Ni-GNP ilavesinin genleşme oranlarını azalttığını ancak bağıl yoğunluğu ve kararlılığı artırdığını, optimum takviye etkilerinin %0,4 Ni-GNP konsantrasyonunda gözlemlendiğini göstermiştir. Bu nedenle, Ni-GNP ilavesi, yapısal dayanıklılık gerektiren uygulamalar için, genleşmenin azalması pahasına da olsa, gelişmiş kararlılık ve sertlik sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: AlSi12 köpük, Ni-GNP, Toz metalurjisi, Genleşme

1. INTRODUCTION

Metal foams are applied in structural and functional areas thanks to their lightweight structure and unique properties. Production processes for metal foams need to be reliable, repeatable and cost-effective to ensure market competitiveness [1]. However, as the applications of aluminum foams continue to advance, higher requirements for their mechanical properties are emerging. Adding a reinforcement phase to aluminum foams is an excellent method to improve performance [2]. For example, oxide network particles in metal powder compacts help stabilize the foam structure by forming a spherical network, acting as a mechanical barrier and stabilizing separation pressure strongly [3].

On the other hand, adding TiB₂ reduced the cell wall thickness in aluminum foams, preventing cell coarsening and leading to smaller pore sizes. Therefore, the composite foams showed higher yield stress and energy absorption than pure Al foams [4]. Submicron-sized MgAl₂O₄ particles play an important role in developing foamable aluminum alloy composites. The MgAl₂O₄ particles in the composite were produced through the reaction between the aluminum-magnesium alloy melt and silica particles, and a stable foam structure was obtained [5]. On the other hand, short copper-coated carbon fibers stabilize the aluminum foam by preventing cell wall rupture and reducing coalescence [6]. As can be seen from the studies, there has been a growing interest in the fabrication of aluminum matrix composite foams (AMCFs) with nanoscale reinforcements such as ceramic nanoparticles and carbon nanomaterials. In particular, Al-Si foams as matrix are widely preferred due to their superior fluidity, adequate pore structure and ideal mechanical properties [7-9]. Oversized and irregular eutectic silicon (Si) can lead to the formation of cracks. These cracks adversely affect the toughness and strength of aluminum foams. However, recent research has proven to be a highly effective solution to improve the mechanical properties of Al-Si foams, as the addition of nano-reinforcements can refine Si precipitates or pore morphology [10-14]. The intragranular and grain boundary distributions of nanoparticles in TiCNp/Al-11Si

composites by the addition of TiCN nanoparticles to molten Al-11Si alloy by ultrasonic vibrations helped to restrict the growth of α -Al and eutectic Si. The 2% volume TiCNp/Al-11Si composite showed significant increases in hardness, tensile strength and yield strength compared to the matrix alloy, while elongation improved by 108% [15]. In the study by Du et al. [16], 1% SiC nanoparticle reinforcement by volume reduced the average cell size of aluminum composite foams by 50.4%. It reduced the pore diameters to a micrometer scale.

Furthermore, the addition of nanoparticles increased the yield stress by 194.5% and energy absorption by 69.4% compared to pure aluminum foams. The research shows that nanoparticles significantly improve foam structure and mechanical properties. In CNT-reinforced aluminum alloy composite foams using in-situ chemical vapor deposition and powder metallurgy, CNTs increase the uniformity of the pores, reducing their size and thus improving the compressive behavior. This improvement is due to CNTs increasing the nucleation sites for hydrogen and limiting bubble movement during foaming [13]. Graphene nanosheets (GNSs), a member of the graphene family of materials, have become a promising reinforcement for metal matrix composites (MMCs) due to their high tensile strength and Young's modulus, significantly enhancing the toughening effect. For example, in uniaxial compression tests on micro-columns of nanolaminate graphene (RGO)-Al composites, aligning the RGO layers in the load direction or increasing the RGO concentration strengthens the material [17].

On the other hand, in graphene nanoflakes (GNFs) reinforced Al-20Si composites produced by pressure infiltration, GNFs formed a strong bond with the Al-20Si matrix without Al₄C₃ formation, thereby increasing the stiffness and elastic modulus. Researchers have shown that GNFs effectively strengthen Al composites [18]. Recent studies reveal the role of GNSs in strengthening, toughening and improving the structure of not only dense Al composites, but also Al composite foams. For example, in aluminum composite foams reinforced using GNSs coated with copper nanoparticles, 0.75% GNSs@Cu content increased the yield stress, plateau stress and energy absorption capacity by more than 100% compared to pure aluminum foams. This is due to the effectiveness of load transfer and dispersion reinforcement mechanisms [19]. GNFs contribute to the improvement of the pore morphology of aluminum foams and unlike other brittle foams, they can exhibit a smooth stress-strain curve. The addition of 0.10% GNFs slightly improved plateau stress, energy absorption and specific energy absorption [20].

This study provides a first attempt at evaluating the impact of Ni-coated GNPs on aluminum foams' stability and durability properties. The main challenges in producing nanocomposites are the high surface-to-volume ratio and the low wettability of ceramic particles by aluminum. Small particles tend to aggregate and lose their ability to inhibit dislocation motion. In this study, the graphene used was chemically coated with Ni and Ni-GNPs/Al-Si composites were fabricated by powder metallurgy. The effects of Ni-GNPs on expansion behavior, macro structures and the cell wall hardness of Al-Si alloy composite foams were systematically investigated. To the best of our knowledge, no previous study in the literature has explored the use of Ni-coated graphene nanoplatelets in Al-Si composite foams, highlighting the novelty of this research.

2. MATERIAL AND METHOD

In the experimental studies, the materials given in Table 1 were used as starting materials. Scanning electron microscope images of the powders used are shown in Figure 1. In addition, the chemical procedure was followed for the coating of GNP particles. The materials and procedure given in Ref. 21 were followed for this process. After the coating process, the materials shown in Table 1 were mixed in the specified ratios, cold compressed and subjected to extrusion at two different extrusion ratios (1:5 and 1:20) to produce foamable precursor samples with 6 mm and 12 mm diameters. To evaluate the foaming properties of the precursor materials produced by the hot extrusion process, the samples were cut into small pieces 10 mm in length. Subsequently, a series of foaming experiments were carried out at an oven temperature of 750°C without using a protective atmosphere (Fig. 2). The foaming experiments were observed and video recorded through a high-temperature tempered glass mounted on the oven door.

Table 1. Starting powders and their properties

Material	Function	Purity	Particle Size	Ratio (wt.%)
Aluminum powder	Matrix material	99.8%	< 44 μ m	Remain
Silicon powder	Alloying element	-	< 44 μ m	12
Titanium hydride (TiH ₂) powder	Foaming agent	-	< 44 μ m	1
Graphene nanoplatelets (GNPs)	Reinforcement element	99.9%	Thickness: 3 nm	0.4, 0.8, 1.2

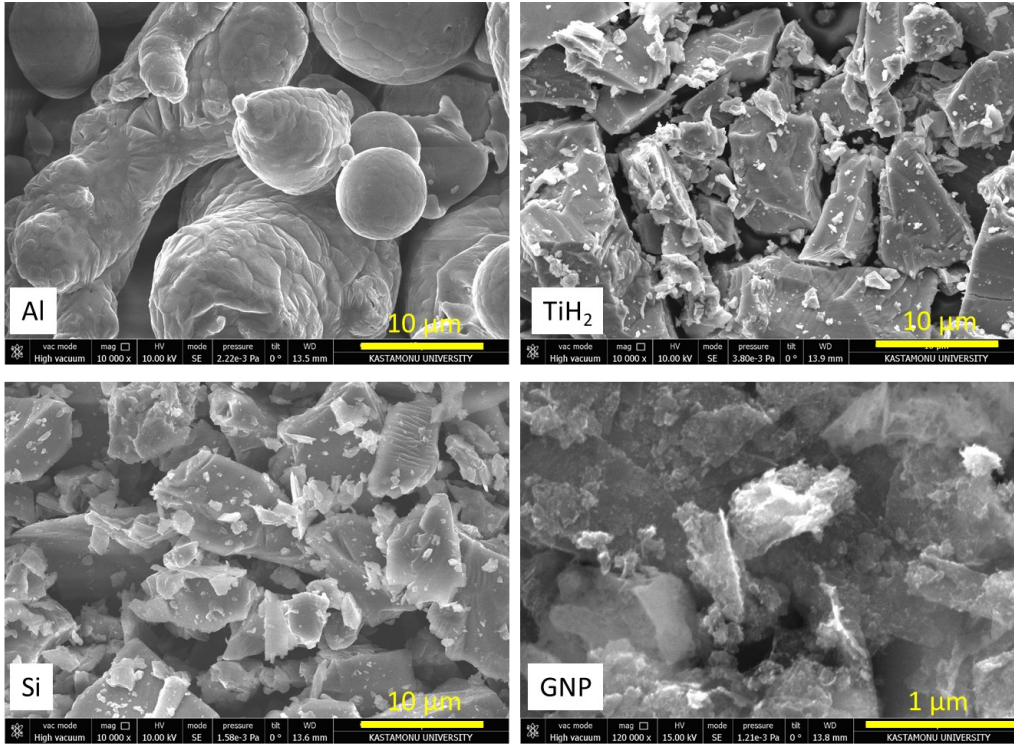


Figure 1. SEM images of the powders



Figure 2. Schematic representation of the fabrication process of Ni-GNP/AlSi12 composite foam

After the foaming process, Ni-GNP/AlSi12 composite foams were cut in half vertically along the expansion direction, and the cut surface was polished using conventional metallography processes. Thus, it was made ready for macro examinations. The Vickers microhardness testing machine (Schimadzu (HMV-G)) was used under a 100 g load to determine the cell wall hardness of the prepared foam samples. Five measurements were made from the prepared cell wall cross-sectional surface and their averages were evaluated. Relative density (ρ^*) values were obtained as the ratio of the experimental density to the theoretical density (Equation 1).

$$\rho^* = \rho_s / \rho_t \times 100\% \quad (1)$$

The expansion rates of Ni-GNP/AlSi12 precursor materials after foaming were calculated using Equation 2 below.

$$\text{Expansion rate (\%)} = \left(\frac{V_{foam}}{V_{precursor}} \right) - 1 \times 100 \quad (1)$$

V_{foam} is the volume of the foam, and $V_{precursor}$ is the volume of the precursor material.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Expansion Behavior

The most important feature of metallic foams is their lightweight due to their porous structure. When Ni-GNP/AlSi12 precursors obtained by powder metallurgy are subjected to foaming in the free state, the shape of the foams is irregular, which makes it challenging to evaluate the density of metal foams by the standard method. In this respect, the densities of the foams were determined using a density kit integrated into a balance with a precision of 0.0001 g. The expansion rates of the foams were determined volumetrically. Figure 3 shows the expansion ratios obtained by subjecting the foamable Ni-GNP/AlSi12 precursor materials with 6 and 12 mm diameters to free-state foaming at 750°C. As can be seen in Figure 3a, there are significant differences in the expansion behavior of the samples containing different ratios of Ni-GNP. It is noteworthy that the increase in the amount of Ni-GNP negatively affects the expansion behavior of the precursor samples.

The maximum expansion occurred in the 0 % Ni-GNP/AlSi12 precursor samples at 325%. The minimum expansion occurred in 1.2% Ni-GNP/AlSi12 precursor samples at 221%. There was a ~100% difference between both samples. Maximum expansion occurred in approximately 45 seconds in all of the samples. In Figure 3b, the expansion curves of the Ni-GNP/AlSi12 precursor materials with a diameter of 12 mm are pretty different from the precursor samples with a diameter of 6 mm. A clear relationship between specimen size and expansion behavior can be established. This situation is not only limited to the sample size but also reveals the effect of the extrusion rates applied during the preparation of the precursor samples. The extrusion ratio of 6 mm diameter specimens is 1:20, while the extrusion ratio of 12 mm diameter specimens is 1:5. In this case, the precursor specimens with a diameter of 6 mm are subjected to more plastic deformation during production and possible structural defects may occur. The fact that the hydrogen gas released by the decomposition of the foaming agent (TiH_2) during expansion is not sufficiently retained in the structure indicates that the expansion rates will be relatively low. In Ni-GNP/AlSi12 foamable precursor materials with a diameter of 12 mm, the maximum expansion was 450% in 0% Ni-GNP/AlSi12 precursor samples. The minimum expansion was 171% in 1.2% Ni-GNP/AlSi12 precursor samples. With the increase in expansion, the time to reach the maximum level also increased. Maximum expansion occurred in approximately 70 seconds in all samples. As with the 6 mm diameter precursor specimens, the increase in Ni-GNP amount negatively affected the expansion behavior of the 12 mm diameter precursor specimens.

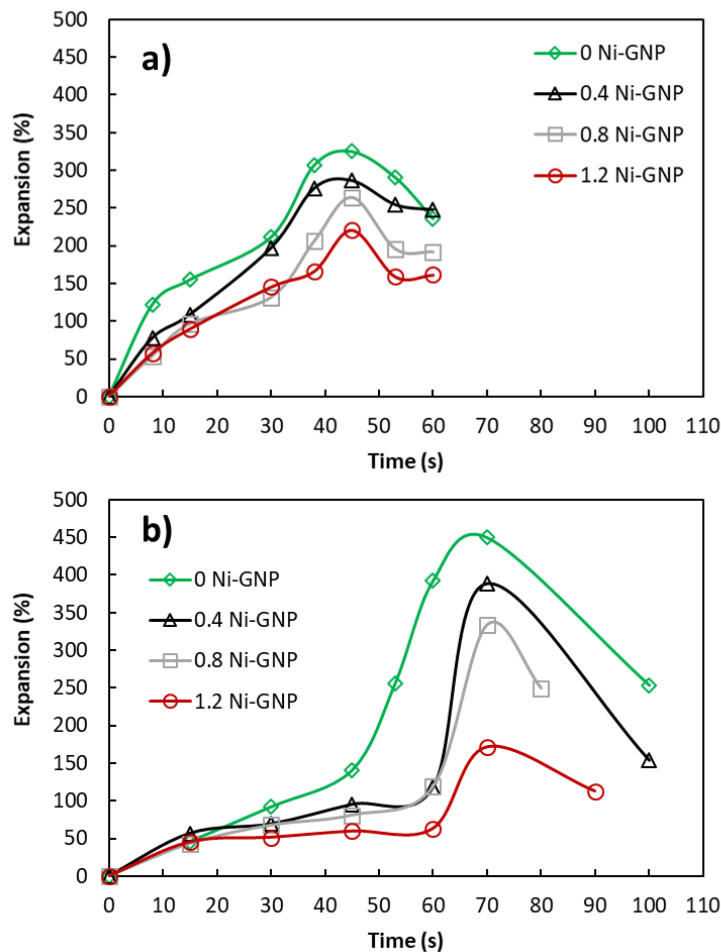


Figure 3. Expansion curves of Ni-GNP/AlSi12 precursor materials, a) 6 mm, b) 12 mm

3.2. Relative Density

Aluminum foams are materials containing a large number of pores randomly distributed within the structure. Structural properties such as pore morphology and relative density variations directly affect the mechanical properties and energy absorption capacity of aluminum foams. In fact, relative density variation is more effective than pore morphology [22, 23].

It is tough to produce products with predetermined microstructures in foams. The fact that irregularities and internal defects are always present in the structure, the cell walls are not flat, some cell walls are missing, and thickness differences occur are the factors that cause the relative densities to change [22, 24]. Table 2 shows the density variations of Ni-GNP/AlSi12 precursor samples that exhibited maximum expansion. For both 6 mm and 12 mm diameter precursor samples, the relative density values increased with the addition of Ni-GNP. However, up to 0.8% Ni-GNP addition, the relative density values of Ni-GNP/AlSi12 foams produced with 6 mm diameter precursor samples are higher than those of Ni-GNP/AlSi12 foams produced with 12 mm diameter precursor samples. The situation is different when the Ni-GNP ratio reaches 1.2%.

Table 2. Density changes of Ni-GNP/AlSi12 foams exhibiting maximum expansion

Ni-GNP ratio (%)	Experimental Density (g.cm ⁻³)		Relative density	
	6 mm	12 mm	6 mm	12 mm
0	0.621	0.476	0.235	0.182
0.4	0.683	0.534	0.259	0.204
0.8	0.715	0.594	0.274	0.230
1.2	0.806	0.953	0.311	0.368

3.3. Macrostructure

Process optimization during the foaming process is not only limited to time and temperature but also includes methods that are very difficult to control, such as taking the foaming sample out of the furnace, placing it in the cooling environment, and the effect of the environment on the solidification of the foam. Therefore, the porous structure of the final product is not controllable. The macrostructures of all Ni-GNP/AlSi12 foams produced in this study are shown in Figure 4. The structural analysis and density data for Ni-GNP/AlSi12 foams are based on the sample exhibiting maximum expansion.

The structural and physical properties of the foams, such as pore sizes (Figure 4) and expansion (Figure 3), varied significantly. The stability of AlSi12 foams can be attributed to the presence of added Ni-GNP particles. Ni-GNP particles increase the viscosity of the molten metal during expansion. For these reasons, drainage in the cell walls is reduced and the foam is stabilized [25-27]. During foaming, the walls separating the two cells rupture, resulting in the coarsening of smaller cells and the formation of large cells. The presence of large cells in foams without Ni-GNP is indicative of their poor stability. Although AlSi12 foams with the addition of Ni-GNP exhibited poorer expansion, the presence of better cell structure indicates higher stability in these foams. The stability of foams is affected by the size and distribution of particles and wetting behavior [25, 28].

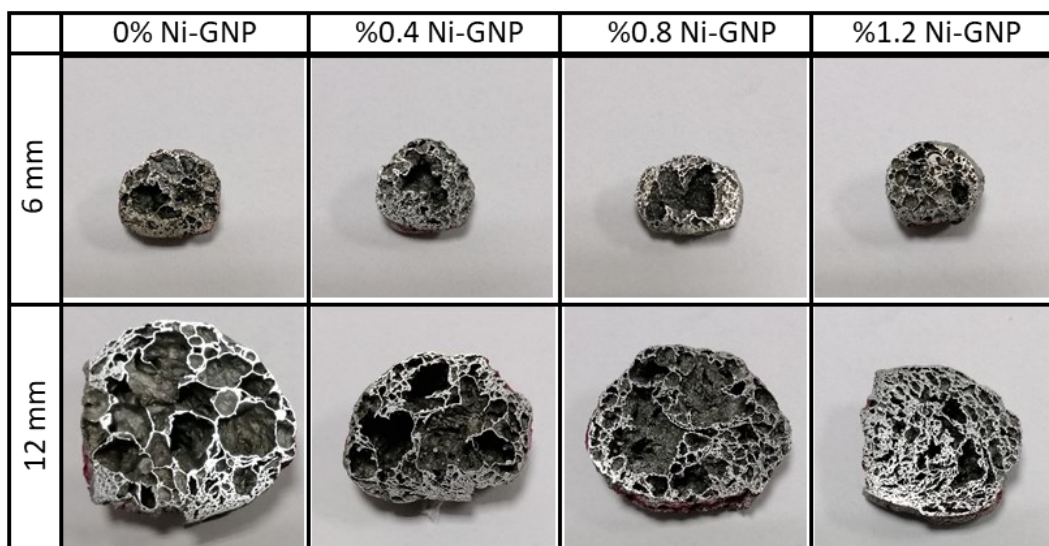


Figure 4. Macrostructures of Ni-GNP/AlSi12 foams exhibiting maximum expansion

3.4. Cell Wall Hardness

Figure 5 shows the changing trend of the microhardness of the cell walls. It is noted that Ni-GNP particles have a significant effect on the microhardness of cell walls. In general, Ni-GNP particles increased the cell wall microhardness up to 0.4%. After that, the microhardness decreased with increasing Ni-GNP content. As a result, the relationship between microhardness and Ni-GNP content is not linear.

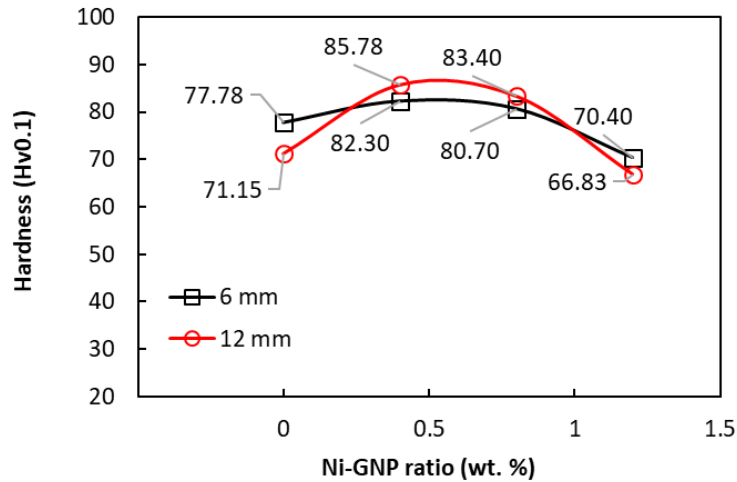


Figure 5. Cell wall hardness of Ni-GNP/AlSi12 foams

4. CONCLUSION

According to the experimental studies, the results show that the incorporation of Ni-GNP particles into AlSi12 foams significantly affects the expansion behavior, relative density, macrostructure and cell wall hardness of the obtained foams. The addition of Ni-GNP negatively affected the expansion of the foams. While the foams without Ni-GNP reached a maximum expansion ratio of 450%, the foams containing 1.2% Ni-GNP expanded only 171%. This reduction in expansion is attributed to the structural reinforcement provided by the Ni-GNP particles, which prevents the overall expansion of the material during the foaming process. The relative density of the foams increased, especially in the samples with higher Ni-GNP content. This increase in density is related to the ability of the particles to limit expansion, resulting in denser cell walls. In particular, the 12 mm diameter samples containing 1.2% Ni-GNP had the highest relative density of 0.368. The addition of Ni-GNP reduced the expansion while increasing the foam stability. Foams containing Ni-GNP exhibited more uniform pore structures, indicating improved cell wall stability. This stability is due to the increase in viscosity induced by Ni-GNP, which reduces drainage from the cell walls and maintains foam integrity. In conclusion, Ni-GNP particles appear to be useful for creating stable structures in metal foams. These findings highlight the potential engineering applications of Ni-GNP-reinforced AlSi12 foams, particularly in energy-absorbing structures such as crash absorbers or impact-resistant materials, where high stability and uniformity are essential.

REFERENCES

- [1] García-Moreno, F. (2016). Commercial applications of metal foams: Their properties and production. *Materials*, 9(2), 85.
- [2] Uzun, A. (2019). Production of aluminium foams reinforced with silicon carbide and carbon nanotubes prepared by powder metallurgy method. *Composites Part B: Engineering*, 172, 206-217.
- [3] Körner, C., Arnold, M., & Singer, R. F. (2005). Metal foam stabilization by oxide network particles. *Materials Science and Engineering: A*, 396(1-2), 28-40.
- [4] Kennedy, A. R., & Asavavisitchai, S. (2004). Effects of TiB₂ particle addition on the expansion, structure and mechanical properties of PM Al foams. *Scripta Materialia*, 50(1), 115-119.
- [5] Vinod Kumar, G. S., Chakraborty, M., Garcia-Moreno, F., & Banhart, J. (2011). Foamability of MgAl₂O₄ (Spinel)-reinforced aluminum alloy composites. *Metallurgical and materials transactions A*, 42, 2898-2908.
- [6] Cao, Z. K., Li, B., Yao, G. C., & Wang, Y. (2008). Fabrication of aluminum foam stabilized by copper-coated carbon fibers. *Materials Science and Engineering: A*, 486(1-2), 350-356.
- [7] Lehmus, D., Hünert, D., Mosler, U., Martin, U., & Weise, J. (2019). Effects of eutectic modification and grain refinement on microstructure and properties of PM AlSi7 metallic foams. *Metals*, 9(12), 1241.
- [8] Khabushan, J. K., Bonabi, S. B., Aghbagh, F. M., & Khabushan, A. K. (2014). A study of fabricating and compressive properties of cellular Al-Si (355.0) foam using TiH₂. *Materials & Design*, 55, 792-797.
- [9] Sarajan, Z., Soltani, M., & Kahani Khabushan, J. (2011). Foaming of Al-Si by TiH₂. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(10), 1293-1298.

- [10] Hosseini, S. M., Habibolahzadeh, A., Králík, V., Petráňová, V., & Němeček, J. (2017). Nano-SiCp effects on the production, microstructural evolution and compressive properties of highly porous Al/CaCO₃ foam fabricated via continual annealing and roll-bonding process. *Materials Science and Engineering: A*, 680, 157-167.
- [11] Li, W., Yang, X., Yang, K., He, C., Sha, J., Shi, C., ... & Zhao, N. (2022). Simultaneously optimizing pore morphology and enhancing mechanical properties of Al-Si alloy composite foams by graphene nanosheets. *Journal of Materials Science & Technology*, 101, 60-70.
- [12] Yang, K., Yang, X., He, C., Liu, E., Shi, C., Ma, L., ... & Zhao, N. (2017). Damping characteristics of Al matrix composite foams reinforced by in-situ grown carbon nanotubes. *Materials Letters*, 209, 68-70.
- [13] Ma, Y., Yang, X., He, C., Yang, K., Xu, J., Sha, J., & Zhao, N. (2018). Fabrication of in-situ grown carbon nanotubes reinforced aluminum alloy matrix composite foams based on powder metallurgy method. *Materials Letters*, 233, 351-354.
- [14] Duarte, I., & Ferreira, J. M. (2016). Composite and nanocomposite metal foams. *Materials*, 9(2), 79.
- [15] Wang, K., Jiang, H. Y., Wang, Y. X., Wang, Q. D., Ye, B., & Ding, W. J. (2016). Microstructure and mechanical properties of hypoeutectic Al-Si composite reinforced with TiCN nanoparticles. *Materials & Design*, 95, 545-554.
- [16] Du, Y., Li, A. B., Zhang, X. X., Tan, Z. B., Su, R. Z., Pu, F., & Geng, L. (2015). Enhancement of the mechanical strength of aluminum foams by SiC nanoparticles. *Materials Letters*, 148, 79-81
- [17] Feng, S., Guo, Q., Li, Z., Fan, G., Li, Z., Xiong, D. B., ... & Zhang, D. (2017). Strengthening and toughening mechanisms in graphene-Al nanolaminate composite micro-pillars. *Acta Materialia*, 125, 98-108.
- [18] Yang, W., Chen, G., Qiao, J., Liu, S., Xiao, R., Dong, R., ... & Wu, G. (2017). Graphene nanoflakes reinforced Al-20Si matrix composites prepared by pressure infiltration method. *Materials Science and Engineering: A*, 700, 351-357.
- [19] Li, W., Yang, X., He, C., Sha, J., Shi, C., Li, J., & Zhao, N. (2019). Compressive responses and strengthening mechanisms of aluminum composite foams reinforced with graphene nanosheets. *Carbon*, 153, 396-406.
- [20] An, Y., Yang, S., Wu, H., Zhao, E., & Wang, Z. (2017). Investigating the internal structure and mechanical properties of graphene nanoflakes enhanced aluminum foam. *Materials & Design*, 134, 44-53.
- [21] Guan, R., Wang, Y., Zheng, S., Su, N., Ji, Z., Liu, Z., ... & Chen, B. (2019). Fabrication of aluminum matrix composites reinforced with Ni-coated graphene nanosheets. *Materials Science and Engineering: A*, 754, 437-446.
- [22] Prados Martín, E. (2021). Microstructural parameters affecting the compressive response of closed-cell aluminum foams. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 1-20.
- [23] Degischer, H. P., & Kriszt, B. (2002). Handbook of cellular metals (Vol. 71). Wiley-VCH, Weinheim.
- [24] Idris, M. I., Vodenitcharova, T., & Hoffman, M. (2009). Mechanical behaviour and energy absorption of closed-cell aluminium foam panels in uniaxial compression. *Materials Science and Engineering: A*, 517(1-2), 37-45.
- [25] Bhogi, S., Pamidi, V., Nampoothiri, J., Ravi, K. R., & Mukherjee, M. (2022). Influence of ultrasonic treatment on the structure and properties of MgAl₂O₄ particle-stabilized aluminum foams. *Materials Science and Engineering: A*, 858, 144187.
- [26] Leitmeier, D., Degischer, H. P., & Flankl, H. J. (2002). Development of a foaming process for particulate-reinforced aluminum melts. *Advanced Engineering Materials*, 4(10), 735-740.
- [27] Chakraborty, M., Garcia-Moreno, F., & Banhart, J. (2011). Foamability of MgAl₂O₄ (spinel)-reinforced aluminum alloy composites. *Metallurgical and materials transactions A*, 42(9), 2898-2908.
- [28] Haibel, A., Rack, A., & Banhart, J. (2006). Why are metal foams stable? *Applied Physics Letters*, 89(15), 154102.