



Journal of Turkish Operations Management

Sanal gerçeklik uygulamalarında bulanık mantık yaklaşımı: sistematik derleme

Azize Sudan Aran^{1*}, Ergün Eraslan²

¹Sağlık Bilimleri Fakültesi İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi, Bingöl
asudan@bingol.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-9592-2937>

²Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara
eraslan@ybu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5667-0391>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 10.10.2023
Revize: 18.03.2024
Kabul: 07.04.2024

Anahtar Kelimeler:

Bulanık mantık,
Sanal Gerçeklik,
Artırılmış Gerçeklik

Özet

Sanal Gerçeklik teknolojisi son yıllarda hayatın her alanında kullanılmaya başlanan yeni bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeni bir teknolojinin getirdiği belirsiz alanlar ve potansiyelinin henüz tam olarak bilinmeyişi bu alandaki araştırmaların artmasına zemin hazırlamıştır. Sanal Gerçeklikte Bulanık Mantık Yaklaşımının kullanılması da bu araştırma alanlarından biri olmuştur. Bulanık mantığın belirsizlik içeren kontrol ve karar verme süreçlerindeki başarısı, sanal gerçeklik teknolojisine entegrasyonunda etkili olmuştur. Sanal ortam, araç ve eğitim ortamlarının tasarlanma süreçlerindeki kontrol ve karar verme süreçleri bu yöntemin kullanılması için çok elverişlidir. Çalışmada son yirmi yıllık süreçte bulanık mantık yaklaşımına dayanan sanal gerçeklik alanındaki çalışmalar incelenerek, ilgili yazın taraması hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Fuzzy Logic Approach in Virtual Reality Applications: Systematic Review

Article Info

Article History:

Received: 10.10.2023
Revised: 18.03.2024
Accepted: 07.04.2024

Keywords:

Fuzzy Logic,
Virtual Reality,
Augmented Reality

Abstract

Virtual Reality technology has emerged as a new technology that has been used in all areas of life in recent years. The uncertain areas brought by a new technology and the fact that its potential is not yet fully known has paved the way for an increase in research in this field. The use of Fuzzy Logic Approach in Virtual Reality has also been one of these research areas. The success of fuzzy logic in control and decision-making processes involving uncertainty has been effective in its integration into virtual reality technology. Control and decision-making processes in the design processes of virtual environments, tools and educational environments are very convenient for using this method. In our study, the studies in the field of virtual reality based on fuzzy logic approach in the last twenty years have been examined and evaluations have been made about the relevant literature review.

1. Giriş

Sanal Gerçeklik (SG), bilgisayar ortamında oluşturulmuş, gerçeklik hissi oluşturan ve yapay zekâ ile bilgi araçlarının birleştirildiği ortamlarda, kullanıcı etkileşimlerini içeren bir teknoloji olarak tanımlanmıştır (Emre, Selçuk, Budak, Bütün ve Şimşek, 2019). SG simülasyonları, 19. Yüzyılın başlarında, ilk olarak savaş ve havacılık gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır (Issenberg, Gordon, Gordon, Safford, & Hart, 2001). Savaş oyunu fikri ile ortaya çıkan ilk simülasyonlar, bu oyunların ordu ve donanma stratejilerinin gelişimini sağlamak amacıyla kullanılması ile geliştirilmiştir. Simülasyon tarihindeki ikinci gelişme 1920'lerde Edward Albert Link'in ilk uçak simülasyonunu geliştirmesi ile olmuştur (Yıldırım, Özer, Kocaağalar, & Bölüktaş, 2019). Uçuş simülasyonlarının geliştirilmesi ile bu simülasyonlar pilotları zorlu hava koşulları ve acil durumlar ile başa çıkma konusunda hazırlamak, savaş esnasında birliklerin etkin yönetimini sağlamak gibi amaçlarla kullanılmıştır (Issenberg vd. 2001). 1950'li yıllarda ise ilk tıbbi simülasyonlar modellenmiştir (Yıldırım vd. 2019). 1960'lı yılların sonlarına doğru, başa takılan ekranları geliştirilmesi ve uygulanması ile günümüzdeki SG sistemlerinin şekillenmesinde önemli bir ilerleme sağlanmıştır. Başa takılan ekranların kullanılmaya başlanması ile bu teknolojilerinin kullanımının başta tıp eğitimi olmak üzere çeşitli eğitim süreçlerinde kullanımının faydalı olduğu bulunmuştur (Issenberg vd. 2001). Sektörelere özgü uygulama alanlarında karşılaşılan zorluklarla baş etmede sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamaları iyi çözümler sunmaktadır. Örneğin; askeri alanda savunma stratejilerinin oluşturulmasında, planlama ve koordinasyon faaliyetlerinde bu teknolojilerin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Yine sağlık alanında, zorlu ve hata toleransı olmayan müdahalelerde, sanal ortamlar aracılığı ile deneyim kazanılmasının katkısı büyüktür. Sanal gerçeklik teknolojisi deneyim kazanma konusunda motivasyon sağlayarak, kaygı ve endişeden uzak bir eğitim ortamı oluşturmaktadır. Bu yönü ile havacılık sektöründe verilen eğitimlerde de sanal gerçeklik başarılı sonuçlar vermektedir (Demir, Yılmaz & Paksoy, 2020; Polat ve Yılmaz, 2023).

Günümüze gelindiğinde düşük maliyetli donanımların piyasaya sürülmesi ile birlikte, bu teknoloji daha geniş bir kitle için erişilebilir hale gelmiştir. SG teknolojileri eğitimden sağlığa, lojistikten mimariye, turizmden eğlenceye kadar birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Şekerci, 2017). Son on yılda SG teknolojilerinin kullanımında sektörel çeşitliliğin artması, sanal ortam ürün çeşitliliğinin ve yeni araştırmaların artışı da beraberinde getirmiştir. Yeni bir teknolojinin getirdiği belirsiz alanlar, tasarım ve geliştirmede karşılaşılan karmaşık problemler göz önüne alındığında; bulanık mantık yaklaşımının sanal gerçekliğe entegrasyonu kaçınılmazdır. Bulanık mantık, insanların tecrübelerinden elde ettiği bilgiyi işleyerek, belirli matematiksel fonksiyonların yardımı ile sonuç çıkarımları yapmaktadır ve daha çok belirsizlik içeren kontrol ve karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır (Keskenler ve Keskenler, 2017).

Bulanık mantığın temelde sağladığı avantajlar; insan düşünce sistemine ve tarzına yakın olması, uygulamasında mutlaka matematiksel bir modele gereksinim duymaması, yazılımın basit olması nedeniyle, sistemin daha ekonomik olarak kurulabilmesine imkân sağlaması, anlaşılabilir olması, üyelik değerlerinin kullanımı sayesinde, diğer kontrol tekniklerine göre daha esnek olması, kesinlik arz etmeyen bilgilerin kullanımına imkân sağlaması, doğrusal olmayan fonksiyonların modellenmesine imkân sağlaması, sadece uzman kişilerin tecrübelerinden faydalanılarak, kolaylıkla bulanık mantığa dayalı bir modelleme ya da sistem tasarlanabilmesi, geleneksel kontrol teknikleriyle uyum halinde olması, insanların iletişimde kullandıkları sözel ifadelerin bulanık mantıkta kullanımı ile daha olumlu sonuçlar ortaya koyması olarak sıralanabilir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003). Bulanık mantık yönteminin bu avantajları sayesinde, son zamanlarda sanal gerçeklik alanında bulanık yaklaşım ile ilgili araştırmaların arttığı ve konuya olan ilginin artarak devam ettiği söylenebilir.

1.1. Bulanık Mantık Kavramı

Günlük hayatta kullandığımız dilde sıklıkla belirsiz yapılar yer veririz. Bir şey anlatırken, bir şey isterken kullandığımız bu belirsiz yapılar bulanık ifade olarak açıklanır. Sıcak, soğuk, ılık, yaşlı, genç, hızlı, yavaş, çok, az, biraz gibi birçok terim bulanık ifadelerle örnek olarak gösterilebilir. Sayısal ve sözel değerleri ifade edebildiğimiz bulanık terimler kesinlik belirtmeyen ifadelerdir (Altaş, 1999). Havanın durumunu anlatırken, birinin yaşını tayin ederken veyahut aracın hızını ifade ederken kesinlik içermeyen bu terimleri sıklıkla kullanırız. Hava sıcaklığına göre gerekli önlemleri alırken, aracın hızına göre fren gaz idaresini sağlarken, ortamın fiziksel koşullarına göre gerekli ayarlamaları sağlarken bulanık mantıktan yardım alırız. Bunun gibi belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda insan beyninin davranış şekli ve olayları değerlendirip karar verme süreci bulanık mantığa temel olmuştur (Altaş, 1999).

Bulanık mantık düşüncesini ilk olarak 1965 yılında Zadeh önermiştir. Zadeh'in "bulanık küme" kavramı, klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemde, özellikle de işin içine insanları

alan, kısmen karmaşık sistemlerde yetersiz kalmasından ortaya çıkmıştır (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003). Bulanık mantık standart sayısal sistemlerde kullanılan sıfır ve bir seviyeleri yerine, üyelik fonksiyonlarını kullanarak daha hassas çıktı verisi sunabilmektedir. Bu kuramın mühendislik veya diğer alanlarda uygulanmasındaki birincil amaç, kesin olmayan giriş verileri ışığında tutarlı sonuçlar elde edebilmektir (Işık, Kehya ve Kayabaşı, 2023).

Bulanık sistemler, bir karar verme süreci içerisinde birbiriyle ilişkili birden fazla faktörün katkılarının ağırlık faktörlerine göre kapsamlı bir şekilde ele alınması ve üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklığın azaltılması ile güzel sonuçlar vermektedir. Son dönemlerde bulanık sistemin mevcut doğrusal yöntemlerle birleşimini içeren çalışmalar yapılmaktadır. Bu sayede, çok kriterli yöntemler gibi sayısal yöntemler ile bulanık mantık gibi esnek çözüm sistemlerinin başarılı yönleri birleştirilebilecektir (Yılmaz ve Polat, 2023; Yıldızbaşı, Öztürk, Yılmaz & Arıöz, 2021; Yılmaz, 2023).

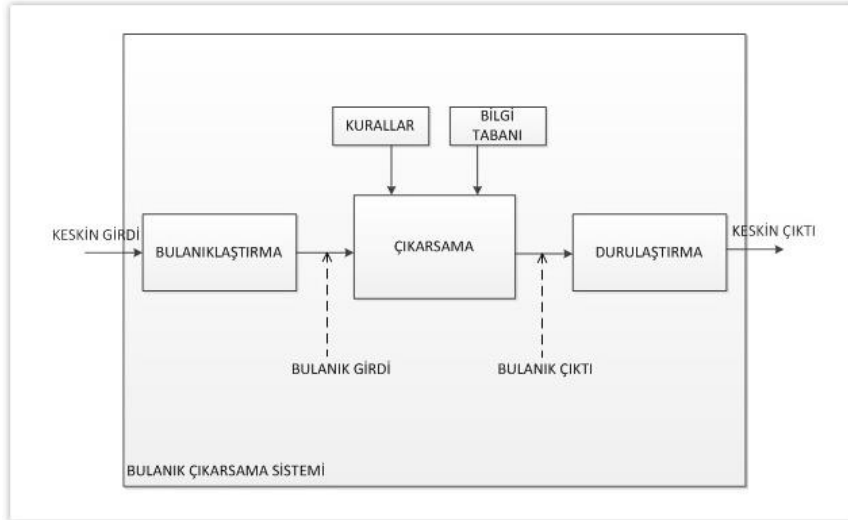
Çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV), bir konuyu sağlıklı bir sonuca ulaştırmanın ve süreci hızlandıran etkili sayısal yöntemlerdir. ÇKKV yöntemlerinden analitik hiyerarşik proses (AHP), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity) ve VIKOR yöntemi bulanık mantık yaklaşımı ile birlikte ele alınan başlıca yöntemlerdir. AHP yöntemi, zorlukları farklı boyutlara göre ağırlıklandırarak önceliklendirmek için kullanılır. TOPSIS yöntemi, alternatiflerin (karar seçeneklerinin) değerlendirilmesi pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktaya dayanır. VIKOR yöntemi, çok kriterli karmaşık sistemlerin optimizasyonunda kullanılır. Bu yöntemde uzlaşık sıralama listesine veya uzlaşık çözüme karar verilir. Böylelikle, birbirleri ile çelişen kriterler arasında seçim veya sıralama yapmak daha kolay olur (Bircan, Demir, & Güvendi, 2020). AHP, TOPSIS, VIKOR gibi birçok klasik karar verme yönteminin karar setlerinde ya (1) mantığı vardır ya da yoktur (0). Ancak bulanık kümelerde 0-1 aralığında bir üyelik derecesinden bahsedilmektedir. Bu yöntemlerin, bulanık mantık yaklaşımı ile birlikte ele alınması, belirsiz durumların karar verme süreçlerinde başarılı sonuçlar vermektedir (Yıldızbaşı, Öztürk, Yılmaz & Arıöz, 2021; Yılmaz, 2023; Yılmaz ve Polat, 2023).

Yukarıda bahsedildiği gibi bulanık mantık yöntemi, birbiriyle ilişkili birden fazla faktörün katkılarının ağırlık faktörlerine göre kapsamlı bir şekilde ele alınması ve üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklığın azaltılması fikrine dayanmaktadır. Bulanık kapsamlı değerlendirme yöntemini kullanarak karar verme, birbirini takip eden üç aşamadan oluşur: ilk aşama, değerlendirme göstergeleri setini ve nesnenin derecelendirme seviyesi setini oluşturmaktır; ikinci aşama, her değerlendirme faktörünün ağırlık faktörünü ve üyelik vektörünü belirledikten sonra bulanık değerlendirme matrisini hesaplamaktır; son aşama, bulanık değerlendirme matrisi ve faktörlerin ağırlık vektörü üzerinde bulanık aritmetik esas alınarak nesne sınıfının belirlenmesidir (Öztürk & Paksoy, 2016).

1.2.Klasik Küme ve Bulanık Küme Kavramları

Gerçek hayattaki sistemlerin çoğu doğrusal olmayan sistemlerdir. Bulanık mantık, doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde kullanılan yöntemlerden biri olarak literatürde yerini almıştır. Bulanık yaklaşım, doğrusal olmayan denetim yöntemleri içerisinde gerçek hayata daha yakın olan, daha doğal bir kural tabanı kullanarak çıktı sunduğu için diğer yöntemlerden sıyrılmaktadır (Işık, Kehya ve Kayabaşı, 2023). Bu sayede endüstride kullanımı sistem performansını iyileştirip verimliliği arttırmaktadır (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003).

Bulanık bir süreç (bulanıklaştırma işlemi), genelde, üç ayrı birimden oluşmaktadır. Bu birimler; sırası ile bulanıklaştırıcı birim, kural işleme (çıkarsama) birimi, durulaştırıcı birim ve çıktı bilgileridir. Şekil 1'de genel bir bulanık sistem yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1. Bulanık Sistem Yapısının Genel Gösterimi (Öztürk & Paksoy, 2016).

1.3.Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bulanık yöntem, bulanık matematiğin üyelik derecesi teorisine göre nitel değerlendirmeyi niceliksel değerlendirmeye dönüştürmeye olanak sağlar. Bu sayede bulanık ve ölçülmesi zor olan problemleri çözülmesini sağlar (Zhang, He ve Mitri, 2019). SG Teknolojisi 20. Yüzyılın sonlarında ortaya çıkan ve son 20 yıllık süreçte gelişen yeni bir teknolojisidir. Araştırmacılar sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımı, geliştirilmesi, etkileri üzerine çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Yeni bir teknoloji olması yönüyle SG teknolojisi hala birçok belirsiz alan barındırmaktadır. Belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilmesine olanak sağlayan bulanık mantık yönteminin SG teknolojisi çalışmalarında kullanılmasına imkân sağlamıştır. Son yıllarda yürütülen çalışmalar, bulanık mantık sistemleri gibi akıllı kontrol tekniklerinin, sanal gerçeklik uygulamalarının kontrol süreçlerinde kullanımının uygunluğunu araştırmaktadır. Birçok araştırmacı bulanık kontrol, bulanık değerlendirme yöntemlerini kullanarak sanal ürün, sanal ortam, sanal araç, sanal eğitim gibi konularda araştırmalar yürütmektedir. Ancak, literatürde yer alan bu çalışmaların analizini içeren çalışma sayısı sınırlıdır. Literatürdeki yer alan eksiklikler, bu çalışmanın çıkış noktasını oluşturmuştur. Son yirmi yıl içerisinde yayınlanmış bulanık mantığa dayalı sanal gerçeklik uygulamalarını içeren çalışmalar analiz edilmiş, sistematik derlemeye uygun şekilde sunulmuştur. Literatürdeki bulanık mantığa dayalı sanal gerçeklik çalışmalarının genel bir çerçevesinin sunulması, literatürdeki eksikliklerin ortaya konması yönüyle önemlidir. Bu sayede; yakın gelecekte eğitimden sağlığa her alanda yaygın şekilde kullanılacağı düşünülen bu teknolojinin, tüm yönleri ile incelenmesine olanak sağlanmaktadır. Bu derleme çalışmasının bu alanda gelecekte çalışacak araştırmacılar için bir yol haritası sunması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın 2. Bölümünde çalışmanın yöntemi açıklanmış ve taranan indeksler bazında, ulaşılan çalışma sayıları verilmiştir. Prizma kontrol listesi çerçevesinde çalışmaya dahil edilen kaynaklar 3. Bölümde detaylı olarak açıklanmıştır. Bulanık mantığa dayalı SG çalışmalarının hangi alanlarda yoğunlaştığı 4 Bölümde tartışılmıştır. Son olarak tartışma sonuçları ve öneriler ile çalışma tamamlanmıştır.

2. Yöntem

2.1.Araştırmanın Tasarımı

Çalışma sistematik derleme olarak tasarlanmıştır. 'Bulanık Mantık Yaklaşımına Dayanan Sanal Gerçeklik Çalışmaları' alanında yayınlanan araştırmalar incelenmiştir.

2.2. Veri Kaynağı ve Arama Kriterleri

Bu çalışma PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses) kriterlerine uygun olarak yapılmıştır. Bu doğrultuda; ERIC, IEEE Xplore, Scopus, Web of Science, Science Direct, Google Scholar ve TR Dizin veri tabanlarında, arama tarihinden itibaren son 20 yıl içinde Türkçe ve İngilizce dillerinde tarama yapılmıştır. Aramada "Sanal Gerçeklik ve Bulanık Mantık", "Virtual Reality and Fuzzy Logic" anahtar kelimeleri

kullanılmıştır. Çalışma 01.01.2003- 01.01.2023 yılları arasında yayınlanan araştırmaları kapsamaktadır. SG sistemlerinin son 20 yılda yaygınlaşmaya başlaması, SG ile ilgili kapsamlı çalışmaların 2000’li yıllarda yayınlanmaya başlaması, güncel araştırmaların SG sistemleri hakkında daha fazla bilgi içermesi ve daha eski çalışmalara ilişkin atıflara yer verilmesi nedeni ile kapsam son 20 yıl olarak sınırlandırılmıştır. Bulanık mantık yaklaşımı bağlamında SG ile ilgili yayınlar analize dâhil edilmiş, ilgili olmayanlar kapsam dışı bırakılmıştır. Özgün araştırma, derleme (sistemik veya kapsam belirleme), kitap bölümü, lisansüstü tez gibi akademik değeri olan yayınlar analize dâhil edilmiş, hakemli olmayan yayınlar kapsam dışında tutulmuştur. Tablo 1’de bu çalışmanın dâhil edilme ve hariç tutulma kriterleri özetlenmektedir (Abbas, O’Connor, Ganapathy, Isba, Payton, McGrath & Bruce, 2023).

Tablo 1. Ekleme ve hariç tutma ölçütleri

Dâhil etme	Hariç Tutma
İngilizce ve Türkçe dilinde yayınlanan makaleler	İngilizce ve Türkçe dilleri dışında yayınlanan makaleler
Son 20 yılda yayınlanan makaleler	20 yıldan daha eski makaleler.
Özgün araştırma, derleme (sistemik veya kapsam belirleme), kitap bölümü, lisansüstü tez, rapor içeren hakemli yayınlar	Hakemli olmayan yayın, görüş makalesi, konferans katkısı özeti veya mektubu dâhil olmak üzere önemli olmayan katkı.
Tam metne erişim: evet	Tam metne erişim: hayır
Başlık, özet, anahtar kelimelerde bulanık mantık ve sanal gerçeklik sözcüklerini içermesi	Başlık, özet, anahtar kelimelerde bulanık mantık ve sanal gerçeklik sözcüklerini içermemesi
Bulanık mantık yaklaşımı bağlamında SG ile ilgili makale.	Bulanık mantık yaklaşımı bağlamında SG ile ilgili olmayan makale.

2.3. Veri Toplama Araçları ve Verilerin Değerlendirilmesi

2003-2023 tarihleri arasında yayınlanan ERIC (n=17), IEEE Xplore (n=114), Scopus (n=387), Web of Science (n=120), Scopus Science Direct (387), Google Scholar (n=46), Tr Dizin (n=0) adet çalışmaya ulaşılmıştır. Tekrarlayan çalışmalar filtrelendiğinde; yayınlanmış olan 684 çalışma incelenmiş ve araştırmanın amacına uygun olmayan çalışmalar dâhil edilmemiştir. Çalışmalar dışlama kriterleri çerçevesinde analiz edilerek konu ile ilgili araştırmalara ulaşılmaya çalışılmıştır. Dışlama kriterleri kapsamında adım adım dışlanan çalışmalara ilişkin veriler Tablo 2’de verilmiştir.

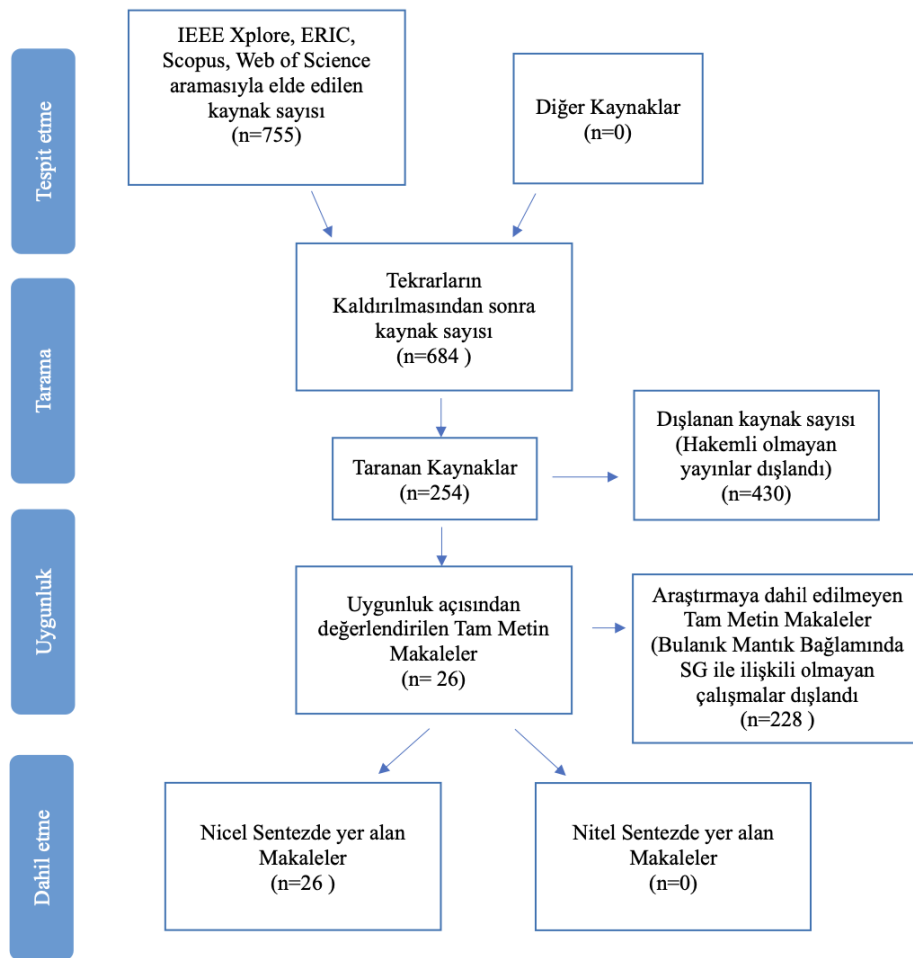
Tablo 2. Dışlama Kriterleri kapsamında Veri Tabanı Tarama

	ERIC	Web Of Science	Scopus & Science Direct	IEEE Xplore	Google Scholar	Tr Dizin	Toplam
1. Adım: Fuzzy Logic (Bulanık Mantık) ve Virtual Reality (Sanal Gerçeklik) anahtar kelimeleri ile 2003-2023 yılları arasında yapılan aramada ulaşılan kaynak sayısı	17	120	387	114	46	0	684
2. Adım: Özgün Araştırma- Derleme-Kitap Bölümü- Lisansüstü Tez içeren Hakemli yayınlar	9	54	134	11	46	0	254

3. Adım: Başlık, Özet, Anahtar Kelimelerde Bulanık Mantık ve Sanal Gerçeklik Sözcüklerinin bulunması, Bulanık Mantık Bağlamında Sanal Gerçeklik ile ilgili çalışmalar	3	10	6	7	0	0	26
--	---	----	---	---	---	---	----

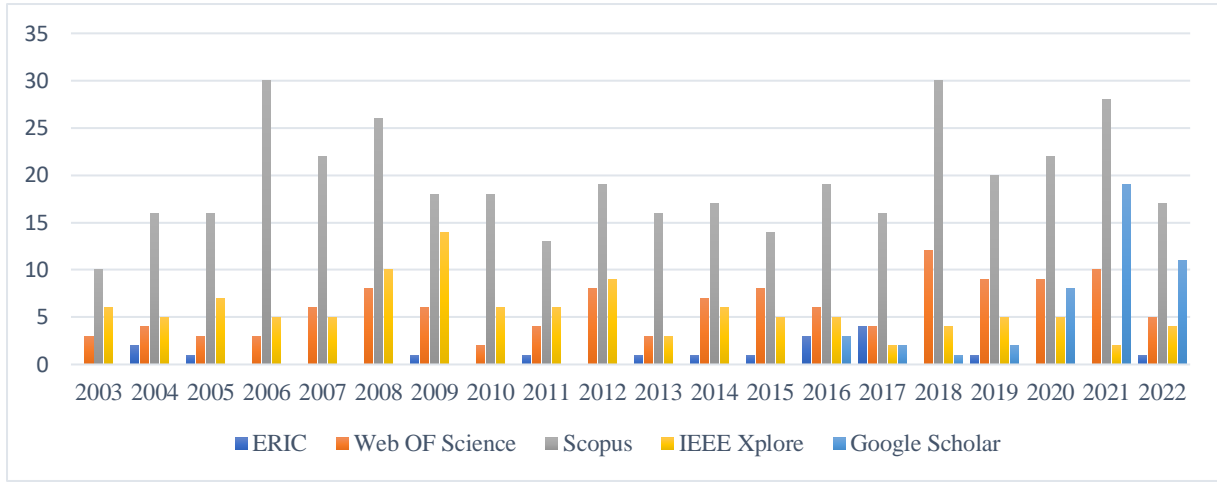
Elde edilen çalışmalar incelendiğinde; ilgili anahtar kelimeler kullanılarak yapılan yazın taramasında 684 çalışmaya ulaşıldığı görülmektedir. Çalışmalar Tablo 2’ de belirtilen dışlama kriterleri bağlamında dışlandığında ilgili çalışma sayısı 26 olarak bulunmuştur. Kaynak taramasına ilişkin prizma akış diyagramı Şekil 2 de gösterilmiştir.

Tarama sonucunda ulaşılan makaleler araştırmacılar tarafından dâhil edilme kriterleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Araştırmacılar değerlendirme sonuçlarını makale özet formuna işleyerek karşılaştırılmış ve konu ile uyumlu olanlar alınmıştır (Tablo 3). Makaleler değerlendirilirken araştırmacılar arasında fikir uyumsuzluğu yaşanmamıştır.



Şekil 2. Prizma Akış Diyagramı

Mükerrer çalışmaların kaldırılmasından sonra ulaşılan 684 çalışmanın yıllara göre analizi yapılmıştır. Bulanık mantık yaklaşımını kullanan sanal gerçeklik konulu yayınların veri tabanı bazında yıllara göre dağılımı Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Bulanık Mantık Yaklaşımını Kullanan Sanal Gerçeklik Konulu Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

Şekil 3 incelendiğinde; Sanal Gerçeklikte bulanık yaklaşımı kullanan araştırmaların sayısının son beş yıl içerisinde arttığı ve bu araştırmaların, çalışmaya konu olan tüm veri tabanlarında taranmaya başladığı görülmektedir. SG teknolojisi alanındaki yeni gelişmelerin ve bu teknolojilerin son beş yıllık süreçte daha erişilebilir oluşunun araştırmacıların bu alanlara olan ilgisini arttırdığı söylenebilir.

2.4. Çalışmaların Uygunluğunun Değerlendirilmesi ve Analizlerin Geçerliliği

Çalışmada; makalelerin raporlama özelliklerini belirlemek ve sistematik incelemelerde şeffaflığı artırmak için geliştirilmiş, 27 maddelik PRISMA Bildirgesi Formu kullanılmıştır. Bu formda yer alan değerlendirme soruları sistematik derlemede olması gereken bölümlere göre sıralanmıştır: Başlık, Özet, Giriş, Yöntemler, Sonuçlar, Tartışma ve Fonlama Kaynakları (PRISMA, 2020; UNC Library, 2023). Bu değerlendirmeye göre incelenen 26 ilgili çalışma (başlık, özet, giriş, yöntem, sonuç ve tartışma yönünden) puanlanmıştır. Puanlama süreci iki yazar tarafından önce bağımsız sonra birlikte yapılmıştır. Her bir maddenin, değerlendirilen makaledeki bilgiyi karşılama durumu incelenerek tam uyumlu ise "1 puan", uyumlu değilse "0 puan" olarak değerlendirilmiştir. PRISMA Bildirgesinden alınan toplam puan 26'dır. Çalışmaya uygun olmadığı için, 25. Madde 'finansman' değerlendirilme dışı tutulmuştur. Seçilen makalelerin Tablo 1'de belirtilen ve önceden tanımlanan seçim kriterlerine göre geçerliliğini sağlamak için tüm sonuçlar, çalışmadaki veri tabanlarını sıklıkla kullanan yetkin iki bağımsız hakem tarafından incelenmiştir.

Tablo 3. Sanal Gerçeklik ve Bulanık Mantık Yöntemi ile İlgili Çalışmalar

Sıra No	Çalışma Başlığı	Yıl	Yazar(lar)	Çalışmanın Amacı	Yöntem/ Ölçüm Araçları	Türü	Sonuçlar
1	Using Fuzzy Logic to Involve Individual Differences for Predicting Cybersickness during VR Navigation	2021	Wang Y, Chardonnet J, Merienne F, Ovtcharova J.	Bireysel Özelliklerin SG'in İnsan Üzerindeki Etkisinin Tahmininde Bulanık Mantık Yaklaşımının kullanılması	1-Mandami Çıkarım Sistemi, 2-Sugeno Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi	Sanal Gerçeklik Hastalığı	Sanal Gerçeklik Hastalığına olan yatkınlığın bireysel özelliklere göre (yaş, oyun tecrübesi, etnik köken değiştiğini bulmuşlardır.
2	A New Mixed-Reality-Based Teleoperation System for Telepresence and Maneuverability Enhancement	2020	Sun D, Kiselev, A, Liao Q, Stoyanov T, Loutfi A.	Yeni bir teleoperasyon sistemi geliştirmek için gerçek ve sanal dünyaları birleştiren karma gerçeklik sistemi ve kontrol algoritmalarının tasarımı	1-Bulanık Mantık Tabanlı Kontrol, 2-Lyapunov fonksiyonu yöntemi	SG Tabanlı Araç/ Robot Tasarımı	Bulanık Kontrollü denetim kullanan karma gerçeklik destekli uzaktan kontrol sistemlerinin geleneksel sistemden daha başarılı sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.
3	Fuzzy comprehensive evaluation of virtual reality mine safety training system	2019	Zhang H, He X, Mitri H.	Sanal Gerçeklik Temelli Maden Güvenliği Eğitimlerinin Bulanık Yaklaşım ile Değerlendirilmesi	1-Bulanık Küme Teorisi, 2-Analitik Hiyerarşi Süreci	SG Temelli Eğitimler	SG temelli maden güvenliği eğitiminde, göstergelerin eğitim üzerindeki ağırlıklarını ve nicel verilerle desteklenmesi gerektiğini bulmuşlardır.
4	The role of EEG and EMG combined virtual reality gaming system in facial palsy rehabilitation - A case report	2019	Qidwai U, Ajimsha MS, Shakir M.	Yüz felcinin rehabilitasyonunda Elektrosefalogram (EEG) ve Elektromiyografi (EMG) kombine Sanal Gerçeklik (VR) oyun sistemi olan 'Oculus Rift' cihazının kullanımının uygulanabilirliğinin analizi	1-Bulanık Mantık, 2-Veri Madenciliği	Rehabilitasyon Süreçlerinde SG Teknolojisinin Kullanımı	SG temelli rehabilitasyon sistemlerinin iyileşme süreçlerinde olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.
5	Virtual Prototyping Technologies Enabling Resource-Efficient and Human-Centered Product Development	2018	Allmacher C, Dudczig M, Klimant P, Putz M.	Sanal gerçeklik tabanlı prototipler kullanılarak kullanıcıyı takip eden ve onunla etkileşime giren iç lojistik amaçlı bir otomatik yönlendirmeli araç geliştirme	Bulanık Kontrol	SG Tabanlı Araç/ Robot Tasarımı	Sanal prototiplerin ürün geliştirme süreçlerinde zaman ve maliyet olarak olumlu katkısı olduğunu söylemişlerdir.
6	Collaborative design of a telerehabilitation system enabling virtual second opinion based on fuzzy logic	2018	Capecchi M, Ciabattini L, Ferracuti F, Monteriù A, Romeo L, Verdini F.	Bulanık Mantığa Dayalı Tele-Rehabilitasyon Sistemi Tasarımı	Takagi-Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi	Rehabilitasyon Süreçlerinde SG Teknolojisinin Kullanımı	Katılımcıların %85'i sistemin faydalı olduğunu, %95'i evde rehabilitasyon aşamasında ve fiziksel durumlarını iyileştirmede de faydalı olduğunu söylemiştir.
7	The Effect of Learning-Based Adaptivity on Students' Performance in 3D-Virtual Learning Environments	2018	Alam A, Ullah S, Ali N.	Çalışmada SG temelli eğitim ortamlarının, öğrenme üzerindeki etkisinin, öğrenme karar fonksiyonu aracılığıyla ölçülmesi ve bulanık mantık kullanılarak değerlendirilmesi	Bulanık Mantık	SG Temelli Eğitimler	G1 grubundaki öğrencilerin %74'ü, G2 grubundaki öğrencilerin %37'si önerilen sistemdeki eğitimle geleneksel sistemdeki notlarına kıyasla daha fazla puan almıştır.

8	Personalization of Learning Activities within a Virtual Environment for Training Based on Fuzzy Logic Theory	2017	Mohamed, F, Abdeslam J, Lahcen, EB.	Sanal eğitim ve öğrenme süreçlerinde bulanık mantık ilkelerinden yararlanılarak öğrenen profili oluşturmak ve her öğrenene kendi profiline göre uygun öğrenme etkinlikleri sunmak.	Bulanık Mantık	SG Temelli Eğitimler	Öğrenme süresi, cinsiyet, zorluk seviyesi, istenilen dil, mevcut bilgi düzeyi, yaş gibi tanımlama öğeleri kullanarak bir sistem tasarımı yapmışlardır
9	Auto-adaptative Robot-aided Therapy based in 3D Virtual Tasks controlled by a Supervised and Dynamic Neuro-Fuzzy	2015	Lledo LD, Bertomeu D, Badesa FJ, Morales R, Sabater JM, Garcia-Aracil N.	Felçli hastalar için Bulanık Mantığa Dayalı Robot Destekli Terapi Sistem Tasarımı	1- ART Sinir ağı mimarisi 2- Nöro-bulanık Çıkarım Sistemi	Rehabilitasyon Süreçlerinde SG Teknolojisinin Kullanımı	Önerilen uygulama hastanın ihtiyaçlarına göre fizyolojik reaksiyonlarını sınıflandırırken, %92,38 oranında başarılı sonuç vermiştir.
10	Virtual Reality Simulation of Fuzzy-Logic Control during	2015	Thekkedan MD, Chin CS, Woo, W.	Bulanık Mantığa Dayalı Su Altı Araçların Konumlandırma Simülasyonu	Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi	SG Tabanlı Araç/ Robot Tasarımı	Bulanık Kontrolle dayalı denetleyicinin, geleneksel denetleyicilerden üstün yönleri bulunmuştur.
11	Employing Type-2 Fuzzy Logic Systems in the Efforts to Realize Ambient Intelligent Environments	2015	Hagras, H, Alghazzawi, D, Aldabbagh, G.	Akıllı ortamların bulanık mantıkla denetimi	Tip-2 Bulanık Mantık Sistemi	SG Ortam Tasarımı	Sonuçlar, akıllı ortamların bulanık mantıklı kontrol süreçlerinin faydalı olduğunu göstermektedir.
12	Modeling and simulation of overtaking behavior involving environment	2014	Yu Y, El Kamel A, Gong G.	Yol geometrisi ve rüzgâr gibi çevresel bilgileri içeren SG trafik simülasyon sisteminde sollama davranışının modellenmesi ve simülasyonu	Bulanık kontrol	SG Tabanlı Araç/ Robot Tasarımı	Sonuçlar, bu makalede tasarlanan sollama davranışı modelinin uygun ve makul olduğunu göstermektedir.
13	Can artificial intelligence and fuzzy logic be integrated into virtual reality applications in mining?	2014	Mitra R, Saydam S.	Bulanık Mantık Tabanlı Sanal Ortam (AVIE) Tasarımı	Bulanık Mantık	SG Ortam Tasarımı/ Modelleme	Bulanık kontrol süreçlerinin sanal ortam entegrasyonunun faydalı olduğunu söylemişlerdir.
14	A study of detecting and combating cybersickness with fuzzy control for the elderly within 3D virtual stores	2014	Liu CL.	SG Ortamındaki Değişkenlerin SG Hastalığı Üzerindeki Etkisi	Bulanık Mantık	Sanal Gerçeklik Hastalığı	SG ortamlarında; sahne açısı, dönüş Hızı ve maruziyet süresi arttıkça SG hastalığı görülme sıklığı artmaktadır.
15	A Quality of Experience Model for Haptic Virtual Environments	2014	Hamam A, El Saddik A, Alja'Am J.	Bulanık Mantığa Dayalı SG Deneyim Kalitesi Tasarımı	Bulanık Mantık	SG Ortam Tasarımı/ Modelleme	SG ortamlarındaki dokunsal deneyim kalitesi gerçek hayat deneyimi ile yakın sonuçlar göstermiştir ($p<0.05$).
16	Embedding Mixed-Reality Laboratories into E-Learning Systems for	2013	Al-Tikriti MN, Al-Aubidy KM	Karma Gerçeklik Laboratuvarlarının Mühendislik Eğitimi için E-Öğrenim Sistemlerine entegre edilmesi	Bulanık Mantık	SG Temelli Eğitimler	Önerilen Sistemin, yükseköğretim kurumlarında faydalı bir model olacağı sonucuna varılmıştır.

	Engineering Education						
17	Modelling and Simulating of Risk Behaviours in Virtual Environments Based on Multi-Agent and Fuzzy Logic	2013	Cai LQ, Yang Z, Yang SX, Qu HC.	Bulanık Mantığa Dayalı Sanal Ortamlarda Risk Davranışı Simülasyonu	Bulanık Mantık	SG Ortam Tasarımı/ Modelleme	Sonuçlar, önerilen modellerin sanal kömür madeni ortamlarında daha gerçekçi davranışlar oluşturabileceğini, bunun da madencilerin risk farkındalığını geliştirebileceğini göstermektedir.
18	An approach to optimise an avatar trajectory in a virtual workplace	2011	Shahrokhi M, Bernard A, Fadel G.	Bulanık Mantığa Dayalı Optimal Operatör Yürüme Yörüngesinin Tespiti	Bulanık Mantık	SG Tabanlı Araç/ Robot Tasarımı	Dinamik programlama kullanılarak, tehlikeli bir işyerinde bir operatör için en uygun yörüngeyi belirleyen bir yaklaşım geliştirilmiştir.
10	The Virtual Marathon: Parallel Computing Supports Crowd Simulations	2009	Yılmaz E, İşler V, Çetin YY.	Sanal Maraton modelleme	Mandami Bulanık Çıkarım Sistemi	SG Ortam Tasarımı/ Modelleme	Gerçeğe yakın yarışmacı ve seyirci içeren sanal maratonun modellenmesine olanak sağlamıştır.
20	A neuro-fuzzy warning system for combating cybersickness in the elderly caused by the virtual environment on a TFT-LCD	2009	Liu CL	Sanal ortamın neden olduğu SG hastalığı ile mücadelede yönelik nöro-bulanık uyarı sistemi	Bulanık Mantık	Sanal Gerçeklik Hastalığı	Deneysel sonuçlara göre, maruz kalma süresi ve navigasyon dönüş hızının siber hastalık üzerindeki etkileri anlamlıdır.
21	Vehicle Simulation System: Controls and Virtual-reality-based Dynamics Simulation	2008	Kljuno E, Williams RL, Robert L.	Bulanık Mantığa Dayalı Araç Simülasyon Sistemi Tasarımı	Bulanık Mantık	SG Tabanlı Araç/ Robot Tasarımı	Bulanık çıkarım ilkeleri ile sürücüler için araç simülasyon robotu tasarlanmıştır.
22	A finite element method (FEM)-Fuzzy logic (Soft Computing)-virtual reality model approach in a coalface longwall mining simulation	2008	Torano J, Diego I, Menendez M, Gent M.	Kömür Madenciliği Tesisinin Davranışının Modellenmesi	Bulanık Mantık	SG Ortam Tasarımı/ Modelleme	Önerilen model, kömür madenciliği ve kazı makinelerinin çalışma parametrelerinin yanı sıra doğrudan ölçülmesi veya gözlemlenmesi imkânsız olan parametrelerin de etkileşimli bir şekilde grafiksel temsiline olanak tanımaktadır.
23	The Red and Black Semantics: A Fuzzy Language	2007	Mura	Kavramsal dili yeni sanal ortamın yaratılmasında uygulamaya çalışmak	Bulanık Mantık	SG Ortam Tasarımı/ Modelleme	Sonuçlar, önerilen kavramsal dilin SG ile uyumlu olduğunu söylemektedir.
24	Fuzzy approach to the intelligent management of virtual spaces	2006	Martinez JI, Skarmeta AFG, Gimeno JB.	Mevcut sanal ortamların akıllı sistemler yaklaşımıyla iyileştirilmesine yönelik yürütülen araştırmaları sunmak	Bulanık Mantık	SG Ortam Tasarımı/ Modelleme	Çalışmanın sonuçları, önerilen mimarinin hedefleri bulma konusunda daha güçlü ve sezgisel olduğunu göstermektedir.

25	Applying Fuzzy Logic for Learner Modeling and Decision Support in Online Learning Systems	2005	Al-Aubidy KM.	Bulanık Kontrol ilkeleri ile SG tabanlı eğitim /çevrimiçi eğitim modülü tasarlamak	Bulanık Mantık	SG Temelli Eğitimler	Sonuçlar, böyle bir sistemin sürekli öğrenme açısından hem öğrenciler hem de mezunlar için etkili olduğunu göstermektedir.
26	A fuzzy controller with supervised learning assisted reinforcement learning algorithm for obstacle avoidance	2003	Ye C, Yung NH, Wang D.	Engellerden kaçınmak için karma öğrenme algoritmasına sahip bulanık denetleyici tabanlı mobil robot modelleme	Bulanık Denetleyici	SG Ortam veya Araç Geliştirme	Simülasyon sonuçları önerilen yöntemin mevcut yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.

3. Bulgular

Wang, Chardonnet, Merienne ve Ovtcharova (2021) çalışmalarında bireysel farklılıkların, kullanıcılarda siber hastalık görülmesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma 227 Avrupalı, 82 Asyalı birey ile yapılmıştır. Üç bireysel farklılığa (yaş, oyun deneyimi ve etnik köken) dayalı olarak sanal ortamdan kaynaklanan siber hastalığa duyarlılığı tahmin etmek için bulanık çıkarım sistemi ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi dahil olmak üzere bulanık modeller geliştirmeye çalışmışlardır. Bireylerin hastalığa yatkınlığının bulunmasında uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi sonuçlarının, bulanık çıkarım sistemi sonuçlarından daha iyi olduğunu söylemişlerdir.

Wang vd. (2021) siber hastalığın 2-12 yaş arası çocuklarda arttığını, yaşlıların siber hastalığa daha az eğilimli olduğunu bulmuşlardır. Yine oyun ve teknoloji konusunda deneyimli kişiler sanal hastalığa daha dirençli bulunmuştur. Etnik köken bakımından ise, Asyalı bireylerin Avrupalı bireylere göre sanal hastalığa daha eğilimli olduğunu bulmuşlardır.

Sun, Kiselev, Liao, Stoyanov ve Loutfi (2020) çalışmalarında karma gerçeklik tabanlı bir teleoperasyon sistemi geliştirmişlerdir. Baş ve el hareketi takibi ile bir başa takılı ekran (HMD) tabanlı arayüz oluşturmuşlardır. Karma gerçeklik arayüzünün içinde, robotu uzaktan çalıştırmak için doğal insan-çevre etkileşimlerine olanak tanıyan bir etkileşim ağı tasarlamışlardır. SG sistemleri kullanılarak robotun hız ve hareket kabiliyeti parametrelerini incelemişlerdir. Önerdikleri sistemde, kaba hareket modu (CMM) ve hassas hareket modu (FMM) olarak iki hareket modu bulunmaktadır. Önerdikleri karma gerçeklik tabanlı uzaktan kontrol sisteminde; başarı oranı (15/16), geleneksel sistemden (4/16) daha iyi bulunmuştur. Yine sistemin manevra kabiliyetini geliştirmek amacıyla robotun yönünü, konumunu, hızını ve kuvvetini düzenlemek için bir dizi bulanık tabanlı algoritma kullanmışlardır.

Zhang vd. (2019) çalışmalarında analitik hiyerarşi süreci ve bulanık mantık teknolojisi ile SG maden güvenliği eğitim sisteminin kapsamlı bir değerlendirmesini sunmaktadır. Çalışmada SG teknolojisine dayalı maden güvenliği eğitiminin değerlendirilmesinde bulanık yaklaşım ve analitik hiyerarşi sürecini kullanmışlardır. Deney sürecinde; iki farklı SG ortamı tasarlamışlardır. İlk sistemde cep telefonu tabanlı SG gözlüğü, ikinci sistemde daha gelişmiş SG gözlüğü kullanılmıştır. Her iki sistemde de aynı eğitim içeriği kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde, SG teknolojisi, giriş/çıkış cihazları, yazılım, kullanıcı özellikleri, görev ana göstergelerini kullanmışlardır. Analitik hiyerarşik süreç ve bulanık değerlendirme sonucunda; beş gösterge, SG teknolojisi – Mükemmel, Giriş/Çıkış cihazları – iyi, Yazılım – orta, Görev – iyi, Kullanıcı – mükemmel olarak bulunmuştur. Bu göstergelerin değerlendirme sürecindeki etkisine yönelik ağırlıkları; yazılım (%49,62), giriş/çıkış cihazları (%26,77), Görev (%12,42), Kullanıcı özellikleri (%7,13) SG teknolojisi (%4,07) olarak bulunmuştur. Maksimum üyelik ilkesine göre mevcut sistem üçüncü seviyeye (Orta) ait bulunmuştur. Beş bileşenin ayrı ayrı değerlendirilmesinde mevcut sistem ikinci seviyeye (mükemmel) ait bulunmuştur. Tüm sistemin nihai değerlendirme sonucu ise orta düzeydedir.

Qidwai, Ajimsha ve Shakir (2019) çalışmalarında yüz felcinin rehabilite süreçlerinde SG teknolojisinin etkisini incelemişlerdir. Yüz felci geçirmiş tek bir birey ile test edici bir düzen içerisinde beyaz topları rastgele fırlatan bir sanal oyun ile 10 günlük bir uygulama yapmışlardır. Katılımcının beyin elektriksel aktivite bulguları (Elektroensefalogram) ve kas elektriksel aktivite bulguları (Elektromiyografi) ölçülmüştür. Elektroensefalogram

(EEG) ve Elektromiyografi (EMG) verileri bulanık kontrol yöntemleri ile analiz edilmiştir. Katılımcının ilk ve son test sonuçları karşılaştırıldığında; EMG sinyallerinde ortalama %65'lik bir artış gözlemlenmiştir. EEG desenleri için, yüz ifadelerini kontrol eden kontralateral alanda olumlu değişimler izlenmiştir.

Allmacher, Dudczig, Klimant ve Putz (2018) çalışmalarında sanal gerçeklik tabanlı prototipler kullanılarak kullanıcıyı takip eden ve onunla etkileşime giren iç lojistik amaçlı bir otomatik yönlendirmeli araç geliştirmişlerdir. Geliştirilen araç; yönlendirme, engellerden kaçınma, yol izleme gibi fonksiyonlar için bulanık mantık denetleyicisini kullanmaktadır. Sanal gerçeklik uygulamaları ile araç tasarımı, ön proje aşamalarında daha fazla parametrenin ve kombinasyonlarının değerlendirilmesine olanak tanır.

Capecci, Ciabattone, Ferracuti, Monteriù, Romeo ve Verdini (2018) çalışmalarında kamera ve web tabanlı bir platformdan oluşan düşük maliyetli bir tele-rehabilitasyon sistemi kurmayı amaçlamışlardır. Sistem; bir fizyoterapistin varlığı olmadan, evde kabul edilebilir ve kullanılabilir uzaktan rehabilitasyon hizmetleri sağlayarak hasta hareketini izlemeye ve değerlendirmeye olanak sağlayacaktır. Çalışmaya 4 fizyoterapist, 20 bel ağrısı çeken deney grubu, 20 sağlıklı birey katılım sağlamıştır. Katılımcılarda 5 egzersizi 5 tekrar şeklinde yapmaları istenmiş ve puanlar kaydedilmiştir. Sistemi değerlendirmek için ise Takaçi Sugeno bulanık çıkarım sistemini (FIS) önermişlerdir. Önerilen sistemde, fizyoterapist kriterleri tarafından belirlenen puanları sağlayarak denek performanslarını otomatik olarak değerlendirilmektedir. Uygulama sonuçlarında gerçek ve sanal fizyoterapist çıktıları birbirine çok yakın, bazen de aynı bulunmuştur. Katılımcıların %85'i sistemin faydalı olduğunu, %95'i evde rehabilitasyon aşamasında ve fiziksel durumlarını iyileştirmede de faydalı olduğunu söylemiştir. Sistemin kullanım kolaylığı orta düzeyde (%60) olarak algılanmıştır. Katılımcıların %65'i sistemi zor bulmuş olsa da sistemin zevkli ve eğlenceli olarak algılama oranı %100'dür.

Alam, Ullah ve Ali (2018) SG teknolojisi tabanlı eğitimlerin performansını incelemişlerdir. Çalışmada; SG temelli eğitimlerde, öğrenme becerisini bulanık mantık tabanlı bir yaklaşımla ölçmüşlerdir. 10. Sınıf düzeyinde 70 kız ve erkek öğrenci ile yürütülen çalışma da öğrencilerin hata sayıları ve test puanları sistemin girdilerini oluşturmaktadır. Başarı seviyesine G1 (başarı seviyesi: 80 ve üzeri) ve G2 (başarı seviyesi: 80 altı) olarak iki gruba ayrılan öğrencilere; geleneksel yöntem ve SG tabanlı yöntemle eğitim verilerek başarı durumlarındaki değişim izlenmiştir. G1 grubundaki öğrencilerin %74'ü, G2 grubundaki öğrencilerin %37'si önerilen sistemdeki eğitimle geleneksel sistemdeki notlarına kıyasla daha fazla puan almıştır.

Mohamed, Abdeslam ve Lahcen (2017) bulanık kontrol yöntemini kullanarak kişiye göre kişiselleştirilebilen bir sanal eğitim modülü sistemini önermişlerdir. Öğrenme süresi, cinsiyet, zorluk seviyesi, istenilen dil, mevcut bilgi düzeyi, yaş gibi tanımlama öğeleri kullanarak bir sistem tasarımı yapmışlardır. Önerdikleri sistemde; bu öğelerde uygun seçimler yapıldığında sistem kişiyi otomatik olarak ilgili seviyedeki eğitim modülüne yönlendirmektedir.

LLedo, Bertomeu, Badesa, Morales, Sabater ve Garcia-Aracil (2015)'in çalışmalarında; robot destekli rehabilitasyon süreçlerinin, dinamik olarak hasta ihtiyaçlarına göre uyarlanması amacıyla fizyolojik reaksiyonların sınıflandırılması için ART (uyarlanabilir rezonans teorisi) sinir ağı mimarisi ve bulanık küme teorisini temel alınarak oluşturulan bir sınıflandırma yöntemi ile oluşturulan bir uygulama yapmışlardır. Önerilen uygulama hastanın ihtiyaçlarına göre fizyolojik reaksiyonlarını sınıflandırırken, %92,38 oranında başarılı sonuç vermiştir.

Thekkedan, Chin ve Woo (2015) çalışmalarında uzaktan çalıştırılan bir su altı aracının simülasyonu ve bulanık mantık kontrolü için grafik kullanıcı ara yüzü yazılımı önermektedir. Su altı araçlarının kontrol süreçleri belirsizlikler içermektedir. Ayrıca su akıntısı gibi dış etkenlerde bu belirsizliği arttırmaktadır. Bu bağlamda; SG teknolojisi farklı koşullara göre modelleme yapma imkânı sağlamaktadır. Çalışmada; önerilen bulanık kontrole dayalı tasarımın geleneksel kontrol yöntemlerinden üstün yönleri bulunmuştur.

Hagras, Alghazzawi ve Aldabbagh (2015) çalışmalarında, bulanık kontrolü akıllı ortam süreçlerine entegre etmişlerdir. Akıllı ortamda karşılaşılan sensör etkileşimlerini etkileyen çevresel gürültü, çevresel faktörlerin kısa ve uzun vadelerdeki değişimleri ve sensörlerdeki aşınma ve yıpranma gibi belirsiz durumların denetiminde bulanık mantığın kullanılmasını önermişlerdir. Birden fazla kullanıcı tarafından kullanılan akıllı ortam alanlarındaki görsel bağlam bilgilerini otomatik olarak algılayabilen, özetleyebilen ve bunlar arasında kolayca arama yapabilen bir bulanık sistem geliştirmişlerdir.

Yu, El Kamel ve Gong (2014) çalışmalarında; yol geometrisi ve rüzgâr etkisini dikkate alarak akıllı araç sollama davranışı modeli oluşturmuşlardır. Çoklu denetleyici tabanlı akıllı aracın geliştirilmesinde merkezi olmayan bir tasarım paradigması kullanılmış, bu sayede sollama davranışı çoklu denetleyicinin koordinasyonu ile gerçekleştirilmiş, yol ve rüzgârı içeren araç dinamiği modelleri analiz edilmiştir. Şerit değiştirme davranışı modeli ve araba takip modeli de analiz edilmiştir. Sollama davranışının simülasyonunu gerçekleştirmek için sanal

gerçeklik trafik simülasyon sistemi tasarlanmış ve gerçekçi yol geometrisi özellikleri sağlamak için coğrafi bilgi sistemleri kullanılmıştır. Sanal gerçeklik trafik simülasyon sistemi ile sollama davranışı modeli doğrulanıp analiz edilebilmektedir. Sonuçlar, bu makalede tasarlanan sollama davranışı modelinin uygun ve makul olduğunu göstermektedir.

Mitra ve Saydam (2014) bulanık mantık ve yapay zekanın SG teknolojisine entegrasyonunu içeren bir çalışma yürütmüşlerdir. Maden Mühendisliği eğitiminde kullanılan bir simülatöre, bulanık mantık kontrol süreçlerinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır.

Liu (2014) 3 boyutlu bir sanal mağaza kullanarak, yaşlı bireylerin SG hastalığı semptomlarına neden olan faktörleri araştırmıştır. Bu bağlamda, sahne dönüş hızı ve maruziyet süresinin SG hastalığındaki etkisini araştırmıştır. Ölçme aracı olarak simülatör hastalık anketi (SSQ) kullanılmıştır. Çalışmada; SG maruziyetinden önceki ve sonraki puanlar arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($t(31)=12.705, p=.000$). 16 semptom (Bulantı, yorgunluk, odaklanma güçlüğü vb.) için maruziyet sonrası SSQ puanlarının, deneklerin yüzde 50'sinden fazlasında artış gösterdiğini bulmuştur. SG hastalığının görülme sıklığının maruz kalma süresi ve sahne dönüş hızı ile orantılı olarak arttığını bulmuştur.

Hamam, El Saddik ve Alja'Am (2014) çalışmalarında; dokunsal sanal ortamların kullanıcı deneyim kalitesini niceliksel olarak ölçmek için bulanık mantık çıkarım sistemini (FIS) kullanmışlardır. Dokunsal cihazlar kullanarak bir tahta üzerindeki sanal topun dengesini korumak için iki kullanıcının iş birliğini içeren bir oyunla uygulama yapmışlardır. Uygulamaya 30 mühendislik öğrencisi (12 kadın-18 erkek) katılım sağlamıştır. Skor, görevin tamamlanma süresinden ve topun tahtanın ortasından itibaren pozisyonundaki değişikliklerden oluşmaktadır. Sonuçlar, önerilen bulanık modelin, kullanıcının uygulama kalitesine ilişkin tahminini düşük hatayla önemli ölçüde yansıttığını ve dolayısıyla kullanıcı deneyim kalitesi değerlendirmesi için uygun olduğunu göstermektedir. Bulanık sistem değerleri, gerçek kullanıcı değerlerine (%4,6) makul bir hata değeri dahilinde yakın bulunmuştur. İki değer arasındaki korelasyon anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$).

Al-Tikriti ve Al-Aubidy (2013) çalışmalarında; SG ortamında oluşturulmuş bir laboratuvarın eğitim etkinliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Simüle laboratuvarlar öğrencilere hedefleri, teknoloji kurulumunu, prosedürleri anlamak ve elde edilen sonuçları tartışmak için simüle edilmiş bileşenlerle ilgilenme şansı sunmaktadır. Sistem, gerçek zamanlı modda, otomatik performans değerlendirici ve geri bildirim aracı olarak kullanılabileceği sunmaktadır.

Cai, Yang, Yang ve Qu (2013) çalışmalarında; maden işçilerinin risk davranışlarını ortaya çıkarmak için, yeraltı madencilerinin potansiyel tehlikeli olaylara tepki verme davranışlarını simüle etmek amacıyla bilişsel değerlendirme teorileri ve bulanık mantık tekniklerine dayanan bulanık bir duygusal davranış modeli önermişlerdir. Deneysel sonuçlar, önerilen modellerin sanal kömür madeni ortamlarında daha gerçekçi ve makul davranışlar oluşturabileceğini, bunun da madencilerin risk farkındalığını geliştirebileceğini ve madencilerin beklenmedik yer altı durumlarıyla karşı karşıya kaldıklarında acil karar verme becerilerini daha da geliştirebileceğini göstermektedir.

Shahrokhi, Bernard ve Fadel (2011) çalışmalarında; dinamik programlama ve bulanık mantık ilkelerini kullanarak, tehlikeli bir işyerinde bir operatör için en uygun yörüngeyi belirleyen için bir model geliştirmişlerdir. İşyeri alanı kare hücrelere ayrılmıştır ve operatörün yörüngesi, sıralı hücre merkezlerini birleştiren çokgenlerle yaklaştırılmıştır. Tehlikeler ve bariyerlerin etkisi bulanık alanlar kullanılarak modellenmiştir. Yörüngeler için risk-maliyet endeksleri; yer değiştirme uzunluğu ve operatör yolu ile bulanık tehlike bölgelerinin kesişimi tarafından sağlanan alan dikkate alınarak hesaplanmıştır. Karmaşık yörüngelerin tepki alanını geliştirmek için geriye dönük bir kontrol yöntemi kullanılmıştır. Önerilen model, tehlike bölgelerinin bilgisayarlı 3D platformlarda gösterildiği 2D yörüngeleri haritalamak için kullanılabilir.

Yılmaz, İslar ve Çetin (2009) bulanık mantığa dayalı bir maraton koşusu simülasyonu yapmışlardır. Bulanık mantık yarışçıların ve seyircilerin hareketlerini gerçeğe en yakı hale getirmeye olanak sağlar. Seyirciler kenarda bekleyip tezahürat yapabilmekte, yarışçılar ise hızlarını arttırıp azaltabilmektedir.

Liu (2009) yaşlılarda farklı navigasyon dönüş hızlarında, sahnenin eğim açılarında ve maruz kalma süresinde bir SG deneyimi sırasında ve sonrasında artan SG hastalık düzeylerine neden olan etkileri araştırdığı çalışmada; bu hastalığa neden olan etkenleri belirleyerek, SG hastalığı ile mücadele için nöro-bulanık algoritmali bir uyarı sisteminin tasarlanması yönünde model geliştirmeyi hedeflemiştir. 66-73 yaş arasındaki 40 katılımcı ile yürütülen çalışmada 4 seviyeli eğim açısı, maruz kalma süresi ve dönüş hızı ile uygulama yapılmıştır. Maruziyet öncesi 2, 8050 olan SG hastalığı testi sonuçları, maruziyet sonrası 28,2588 olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde simülatör

hastalık anketi kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, maruz kalma süresi ve navigasyon dönüş hızının siber hastalık üzerindeki etkileri anlamlıdır.

Kljuno, Williams ve Robert (2009) çalışmalarında; pilot ve sürücü eğitimi için tasarlanan bir araç simülasyon sistemi modeli önermişlerdir. Çalışmada, SG ve bir hareket platformu kullanarak araç hareketinin gerçekçi simülasyonlarını sağlayacak bir sistem yapmayı amaçlamışlardır. Simülasyon robotunun dinamik kısıtlamalarının ayrıntılı bir açıklamasını, sayısal bir çözümle birlikte sunmuşlardır. Robot hareketi, bir bulanık mantık denetleyicisi ile kademeli kontrol şeklinde dört kontrol sistemi aracılığıyla sağlanmaktadır. Sistem dokuz bilinmeyen kablo gerilimi ve altı dinamik denklem ile kısıtlı olduğundan, bir optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Kontrol karmaşıklığı, kablolu robotlara özgü pozitif kablo gerilimlerinin korunması gerekliliği ile artmaktadır. Sistem simülasyonları bir sanal gerçeklik ortamı kullanılarak yapılmıştır.

Torano, Diego, Menendez ve Gent (2008) çalışmalarında; kömür madenciliği tesisinin davranışını bulanık tabanlı yaklaşımla modellemişlerdir. Madencilik operasyonları, işlerin doğası gereği belirsizlikler içermektedir. Önerilen yöntem tesisin öngörülebilir performansını tahmin edebildiğinden, gelecekteki kömür panellerinin kullanımını planlamak için kullanışlı bir araç sağlamaktadır.

Mura (2007) literatürdeki çalışmalardan farklı olarak; SG ortam dili alanında çalışmıştır. Sanat ve teknoloji arasındaki boşluğa, kırmızı ve siyah anlamsal kodlamayı kullanan bulanık mantık yaklaşımını entegre etmiştir. Bu meta-dili sanal bir sanat eseri deneyine uygulamıştır. Bu çalışmada geliştirilen bulanık tabanlı SG modeli tüm etkileşim süreçlerinde 'diyalog sitemi' olarak kullanılabilir. Bu çalışmada geliştirilen bulanık tabanlı SG modeli tüm etkileşim süreçlerinde 'diyalog sitemi' olarak kullanılabilir.

Martinez, Skarmeta ve Gimeno (2006) kullanıcıların sanal ortamlarda sorgulama yapmasına olanak tanıyan bulanık mantık tabanlı bir uygulama tasarlamışlardır. Bu arayüz, kullanıcıların hem bulanık sorgu çözücüyü hem de anahtar kelime sorgu çözücüyü kullanarak sanal dünyaları sorgulamasına olanak tanımaktadır. Önerilen bulanık sorgulayıcı 29 katılımcının katılımı ile değerlendirilmiştir. Katılımcılara önce bulmaları gereken bir hedef (3 boyutlu sahne) gösterilmiş, daha sonra belirli bir arama yöntemi (gezinme, anahtar kelime sorgulama, bulanık sorgu) kullanarak bu sahneyi sanal ortamda bulmaları istenmiştir. Katılımcılar bulanık sorgu çözücüyü daha doğal ve kolay bulmuşlardır ($z=4,391$, $P<0,001$). Bulanık sorgu çözücü ile sanal ortamda bulunmak istenen nesneyi bulmak için harcanan süre oldukça kısalmıştır.

Al-Aubidy (2005) çevrimiçi bir eğitim modülünün tasarımında bulanık küme teorisini kullanmıştır. Sistem, öğrencinin bilgi düzeyine göre uygun öğretim materyallerini sunabilmektedir. Önerilen sistemin etkinliği, öğrenciler ve mezunlar tarafından anket yolu ile değerlendirilmiştir. Anket sonuçları, böyle bir sistemin sürekli öğrenme açısından hem öğrenciler hem de mezunlar için etkili olduğunu göstermektedir.

Ye, Yung ve Wang (2003) çalışmasında bulanık denetleyici kullanarak, engellerden kaçınma görevi için karma öğrenme destekli bir mobil robot geliştirmişlerdir. Pekiştirmeli ve denetimli öğrenme metotları kullanılarak, bulanık denetleyici tabanlı bir robot tasarlamışlardır. Robot öğrenme eylemi sonrasında engele geldiğinde kaçınmayı öğrenmiştir. Uygulama alanının dar olması öğrenme sürecindeki engellerden biri olarak bulunmuştur. Simülasyon sonuçları önerilen yöntemin mevcut yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.

4. Tartışma

Bu makale SG uygulamalarında bulanık mantığın kullanılmasının sistematik derlemesine odaklanmaktadır. Bulanık mantığa dayalı modelleme ve karar verme, problemlerle başa çıkmada etkili çözümler sunabilmektedir. SG teknolojisinin geliştirilmesinde, bulanık mantık yöntemi olumlu sonuçlar vermektedir. Bulanık mantık temelli SG çalışmalarının daha çok sanal ortam modelleme ve sanal araç geliştirme konularında yoğunlaştığı görülmektedir (Sun vd. 2020; Allmacher vd. 2018; Thekkedan vd. 2015; Hagraş vd. 2015; Shahrokhi vd. 2011).

SG teknolojisi ürün, ortam, araç geliştirme süreçlerinde zaman ve kaynak tasarrufu sağlamaktadır. SG temelli prototipler erken proje aşamalarında geliştirme süresinin kısaltılması, ürün ve süreç davranışının daha hızlı simüle edilmesi ve fiziksel prototiplerin azaltılması sağlamaktadır. Allmacher vd (2018) çalışmasında sanal gerçeklik teknolojilerine dayalı sanal prototiplerin önemini vurgulamaktadır. SG temelli prototiplerde bulanık mantık yaklaşımının entegre edilmesi, bulanık çıkarımın kontrol süreçlerindeki başarısı yönüyle kıymetlidir. Bulanık mantık temelli SG ortam/araç geliştirme çalışmaları; uzaktan kontrol sistemi tasarımı, bulanık kontrollü robot geliştirme gibi bulanık sanal prototiplerin geliştirilmesini içermektedir. Geliştirilen prototipler bulanık sistemin SG temelli prototiplerdeki başarısını ortaya koymaktadır. Sun vd. (2020) karma gerçeklik sistemine dayalı uzaktan kontrol sistemi tasarımı ile ilgili yaptıkları çalışmada; sistemin (15/16) geleneksel uzaktan kontrol sistemlerinden (4/16) daha başarılı bulunması bu hipotezi desteklemektedir. Geleneksel sistemi kullanan operatörlerin, uzaktan

kontrol sistemlerinde, robotun hem konumunu hem de yönünü aynı anda kontrol etmesi gerekmektedir. Bunun için operatörün hata riski çok az olmalı ve sistem büyük beceri istemektedir. Sun vd. (2020) geliştirilen sistemde operatörler, bulanık çıkarım yöntemleri ile robotun pozunu düzenlemek için kontrol modlarını değiştirebilir ve görevin durumunu kontrol etmek için kontrol döngüsünden serbestçe ayrılabilirler. Bu durum bulanık yaklaşıma dayanan SG prototiplerinin esnekliğine kanıt olarak gösterilebilir. Bulanık mantık; SG prototiplerinin geliştirilmesinin yanında, günlük hayatta kullanılan simülasyonların tasarım süreçlerine de entegre edilmektedir. Uçak, denizaltı vb. araçların sürüş simülasyonlarının tasarımında bulanık mantık sıklıkla kullanılmaktadır. Kijuna vd. (2009), Thekkedan cd. (2015), Shahrokhi vd. (2011) çalışmalarında sürüş simülasyonlarına bulanık mantığı başarıyla entegre etmişlerdir. Bulanık Yöntem sürüş simülasyonlarında; sürücünün bir başlangıç noktasından bir hedef noktaya giderken, engeller ve tehlikeli nesnelere etrafında nasıl bir yörünge oluşturabileceğini gösterebilmektedir. Bulanık mantık SG sürüş simülasyonlarında, optimum sürüş yolunu bulmak için uyarlanabilir, bunun yanında, acil durum güvenlik prosedürlerini ve işyerindeki güvenliği değerlendirmek için kullanılabilir. Ayrıca farklı düzenleri ve konfigürasyonları değerlendirerek ve bariyerlerin insan güvenliği ve performansı üzerindeki etkisini ölçerek, tasarım aşamalarında üretim sistemlerinin düzenini ve konfigürasyonunu iyileştirmeye yardımcı olabilir. Yu vd. (2014)'de bulanık mantık denetleyicileri ile yol ve rüzgâr faktörlerini dikkate alarak insan davranışını taklit edecek bir sistem tasarlamışlardır. Model SG ile simüle edilerek incelenmiştir. Sallama davranışı tehlikeli ve karmaşık olduğu için gerçek hayatta test etmek zordur. Bu nedenle SG teknolojisi trafik ve sürüş simülörlerinde giderek yaygınlaşmaktadır.

Sanal gerçeklik teknolojisi, bireylerin gerçek hayatta tehlikeli olabilecek ortamları deneyimlemelerini, güvenli ve kontrol edilebilir bir ortamda eğitim alabilmelerini sağlamaktadır. SG teknolojisi bu yönüyle olası kazaların ve zararların önlenmesi açısından çok önemlidir. Zhang vd. (2019) bu alanda çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında; SG teknolojisinin çok tehlikeli iş yerlerinden biri olan madencilik sektöründe sanal gerçeklik tabanlı güvenlik eğitimlerinin etkinliğini araştırmışlardır. Değerlendirme yöntemi olarak; sanal gerçekliğe dayalı maden güvenliği eğitiminin gösterge sayısı ve göstergelerin değerlendirme sonuçlarının belirsizliğini dikkate alarak bulanık yaklaşımı kullanmışlardır. Bulanık kapsamlı analiz yöntemi, SG eğitimleri için kapsamlı bir değerlendirme sonucu sunabilse de sonuç, düşük ağırlıktaki herhangi bir göstergenin sistem üzerindeki etkisini tek başına yansıtamamaktadır. Örneğin bir eğitim sisteminde, düşük ağırlıklı bir göstergenin değerlendirme sonucu özellikle düşükse, sistemin genel değerlendirme sonucuna çok fazla etkisi olmayacaktır ancak özellikle düşük değerlendirme sonucu olan gösterge, deneyimi ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Cai vd. (2013)'de madencilik eğitim simülörlerinde insan risk davranışının modellenmesi alanında çalışmıştır. Sanal ortamlarda insan davranışının modellenmesi ve simülasyonu en zorlu araştırma konularından biridir. Çalışmalarındaki eylem seçim modeli, sanal insanın inançlarını, arzularını, niyetlerini ve olayların yoğunluk düzeyini hesaba katmaktadır. Her iki çalışmanın subjektif veri içermesi, sistemin gerçek sonuçları ile değerlendirmeye bağlı sonuçlar arasında sapmaya neden olabilmektedir. SG ortamlarının değerlendirme süreçlerinde kalp atış hızı, solunum, cilt statüsü, göz hareketi ve diğer birçok fizyolojik göstergenin kullanılmasının daha objektif sonuçlara ulaşılmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Öğrenme-öğretme sürecinde ileri teknolojik sistemlerin uygulanması, güçlü ve yenilikçi bir eğitim paradigmasının geliştirilmesinin önünü açmaktadır. Al-Aubidy (2005)'de bulanık mantığın sanal eğitim ortamı tasarımında kullanımının etkinliğini araştırmıştır. Bulanık mantığın sanal eğitim tasarım süreçlerinde; bilgi edinme, temsil etme ve karar verme süreçlerindeki belirsizliklerle başa çıkabileceğini savunmuştur. Yine, öğrenci modelinin oluşturulmasında ve öğrenme düzeyine göre uygun öğretim materyalinin sağlanmasında bulanık mantık ilkeleri başarılı sonuçlar sunmaktadır. Al-Tikriti ve Al-Aubidy (2013) çalışmalarında benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Karma gerçeklik ortamları ile e-öğrenme modellerinin, yükseköğretim kurumlarında tercih edilen bir eğitim aracı olduğunu söylemişlerdir. Bu alandaki ilerici araştırma ve geliştirmeler, SG öğrenme araçlarının, sistem uygun materyal seviyesini ve öğrencinin tercih ettiği uygun hızı sağladığı için öğrenciler arasında popüler olduğunu kanıtladığını göstermektedir. Öğrenme ortamlarının yanında bir diğer konu bireylerin öğrenme süreçleridir. Bireylerin 'öğrenme becerisi' doğrudan ölçülmesi zor olan niteliksel bir değişkendir. Alam vd. (2018) bunun için öğrenme karar fonksiyonunu önermişlerdir. Önerilen çerçevede bir öğrencinin öğrenme yeteneği, öğrenme karar fonksiyonunu (LDF) aracılığıyla ölçülmekte ve bulanık mantık kullanılarak değerlendirilmektedir. Öğrencilerin performansına bağlı olarak sistem, zayıf, ortalama ve iyi öğrenciler için öğretim materyallerini kişiselleştirmektedir. Sistem; zayıf öğrencilere verilen kavramla ilgili detaylı bilgi vermektedir. Böylece öğrenciler öğrenme fırsatı veren öğrenme düzeyinde daha fazla kalmaktadır. Her bireyin öğrenme yeteneği, yaş, cinsiyet vb. gibi çeşitli faktörlere bağlı olabilir. Öğrenme aktivitelerinin kişiselleştirilmesi; her bireyin öğrenme yeteneğinin yaş, cinsiyet, eğitim süresi, kişisel tercihler, materyalin içeriği vb. gibi çeşitli faktörlere bağlı olup belirsizlik içeren bir konudur. Mohamed vd. (2017) bu belirsizlikleri bulanık mantık ile açıklamaya çalışmışlardır. Önerdikleri sistem ile kişinin bireysel özellikleri ve öğrenme tercihleri tanımlandığında, sistem; uygun eğitim seviyesini ve sanal içeriği belirlemektedir.

SG terapi ve rehabilitasyon süreçlerinin birçok alanında umut verici bir araç olarak kullanılmaktadır. Düşük maliyetli SG araçlarının ortaya çıkması, işlevsel ve erişilebilir SG sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Qidwai vd. (2019)'de SG teknolojisini rehabilitasyona entegre eden bir araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında, yüz felci olan hastalarda duygusal ifadenin yönetimini geliştirmek için, rehabilitasyon hedeflerini hasta merkezli sonuçlarla ilişkilendiren daha geniş bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışma ile SG temelli rehabilitasyon sistemlerinin iyileşme süreçlerinde olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Capecci vd. (2018) de bulanık çıkarım sistemi kullanan sanal bir tele-rehabilitasyon sistemi tasarlamışlardır. Çalışmada bireylerin evde, kabul edilebilir ve kullanılabilir bir uzaktan rehabilitasyon sistemi ile izlenmelerini ve değerlendirmelerini sağlamak amaçlanmıştır. Bu sayede; uygulamayı kullanan hastalara ve fizyoterapistlere tam zamanlı ve ücretsiz ikinci bir görüş sağlayan, her zaman erişilebilen sanal bir fizyoterapist imkânı sağlanmaktadır. Çalışma bulguları Qidwai vd. (2019)'nin bulgularını destekler niteliktedir. Katılımcıların büyük bir kısmı (%95) sistemin rehabilitasyon süreçlerine faydası olduğunu söylemiştir. LLedo vd. (2015) de bulanık mantığı, SG temelli rehabilitasyon sistemi tasarımında kullanmıştır. Önerdiği sistemle hasta ihtiyaçlarına göre uygun rehabilitasyon sürecinin ayarlanabildiği bir sistem önermişlerdir.

SG teknolojisinin rehabilitasyon süreçlerindeki başarısı, literatürdeki çalışmalarda sıkça ifade edilmiştir. Hasta ve dezavantajlı bireylere yönelik olan bu gelişmelerde bu teknolojinin fiziksel etkilerinin incelenmesi de elzemdir. SG uygulamaları kullanım esnasında, kişilerde sanal ortam-gerçek ortam uyumsuzluğu kaynaklı bazı semptomlar gelişebilmektedir. Allmacher vd (2018) sanal prototipleminin fiziksel prototiplemeye geçerli bir alternatif olsa da bazı dezavantajlara sahip olduğunu söylemişlerdir. Bazı kullanıcıların yorgunluk yaşayabildiğini, alışmak için daha fazla zamana ihtiyaç duyabildiğini ve hatta bazı rahatsızlıklar yaşayabildiklerini ifade etmişlerdir. Liu (2009) ve Liu (2014) çalışmalarında SG kullanımı esnasında ortaya çıkan bu semptomları araştırmıştır. Literatürde siber hastalık olarak adlandırılan bu durum henüz yeni bir konudur. Liu (2009;2014) çalışmasında, SG ortamlarına maruz kalma süresi ve navigasyon dönüş hızının siber hastalık üzerindeki etkisini anlamlı bulmuştur. Bu iki faktörün değerleri mekanik-elektronik bir sistem aracılığıyla tespit edilebildiği için objektif ölçüm değişkenleridir. Bu nedenle, siber hastalıkları azaltacak bir uyarı sistemi geliştirmek için kullanılmasının doğru sonuçlar vereceğini düşünülmüşlerdir. Wang vd. (2021) Bireysel faktörlerin sanal hastalık üzerindeki etkisine bakmak için bulanık yöntemi önermiş ve bireysel özellikler ile hastalık arasında korelasyon olduğunu bulmuştur. Çalışmada yalnızca 3 bireysel etken bazında hastalığa yatkınlık araştırılmış, diğer bireysel özellikler bakımından kapsamın genişletilmesinin faydalı olacağını söylemişlerdir. Bunun yanında SG ortamlarının neden olduğu etkilerin değerlendirilmesinde ağırlıklı nitel yöntemler (simülasyon hastalık anketi) kullanılmaktadır. Fiziksel uyarılarında değerlendirildiği çalışmaların yapılması SG teknolojisinin insan üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında faydalı olacaktır.

5. Sonuç ve Öneriler

SG teknolojisi; müzeler, tarihi alanlar, kısıtlı binalar gibi kısıtlı erişim alanlarına veya tehlikeli durumlar nedeniyle gerçek hayatta çoğaltılması zor ortamlarda ve diğer örneklerde kullanıcıları konumlandırmak için güçlü bir araçtır. SG uygulamaları sektörlere özgü uygulamalarda karşılaşılan güç durumlarda baş etmede iyi çözümler sunmaktadır. Bu tür simülasyonlar, kullanıcıların kontrollü bir ortamda gerçek hayattaki durumları deneyimlemelerine izin vermek için kullanılabilir ve kullanıcının katılımı gibi ilginç olayların incelenmesini sağlar. Ayrıca, hata yapma endişesi olmayan ortamlar sunduğu için güçlü bir eğitim aracı olarak kullanılabilir.

Sanal ortam süreçlerinin kullanım amaçlarındaki geniş olanaklar sayesinde, sanal gerçekliğin kullanıldığı alanlar hızla artmaktadır. SG teknolojisinin yeni bir teknoloji oluşu ve hızla yayılması nedeniyle ile bir takım denetleme ve kontrol süreçlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bulanık Mantığın, denetim ve kontrol süreçlerindeki başarısı, araştırmacıların sanal gerçeklik uygulamalarında bulanık denetim konularına yoğunlaşmalarını sağlamıştır. SG teknolojisinin son yıllarda gelişen bir teknoloji olması nedeniyle teknolojinin kullanımında hala bazı belirsiz alanlar vardır. Bulanık mantığın, daha çok belirsizlik içeren kontrol ve karar verme süreçlerinde kullanılması nedeniyle, SG alanındaki çalışmalarda kullanımının arttığı görülmüştür. Yürütülen çalışmalar, bulanık mantık sistemleri gibi akıllı kontrol tekniklerinin, SG uygulamalarının kontrol süreçlerinde kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Bulanık sistemler, bir karar verme süreci içerisinde birbiriyle ilişkili birden fazla faktörün katkılarının ağırlık faktörlerine göre kapsamlı bir şekilde ele alınması ve üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklığın azaltılması ile güzel sonuçlar vermektedir. Bulanık yöntem; 'değerlendirme göstergeleri ve nesnelerin derecelendirme seviyelerini oluşturmak, her değerlendirme faktörünün ağırlık faktörünü ve üyelik vektörünü belirledikten sonra bulanık değerlendirme matrisini hesaplamak ve bulanık değerlendirme matrisi ve faktörlerin ağırlık vektörü üzerinde bulanık aritmetik esas alarak nesne sınıfını belirlemek' aşamalarından oluşmaktadır (Öztürk & Paksoy, 2016:172). Son dönemlerde bulanık mantığın sayısal yöntemlerle birlikte kullanılması, bulanık mantığın

belirsizlik içeren kontrol ve karar verme süreçlerindeki başarısını arttırmıştır (Yılmaz, 2023). Bulanık mantığın belirsizlik içeren kontrol ve karar verme süreçlerindeki başarısı dikkate alındığında, SG alanında bulanık mantık temelli yöntemlerin kullanılması önemlidir.

Sağlık, eğitim, ürün geliştirme gibi birçok süreçte bulanık mantık denetiminin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada ‘bulanık mantık yaklaşımına dayanan sanal gerçeklik araştırmaları’ analiz edilerek mevcut durum belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde bulanık mantık yaklaşımına dayanan sanal gerçeklik alanındaki çalışmaların ‘kullanıcı deneyimi içeren sanal gerçeklik simülasyon ile ortam modelleme, sanal gerçeklik ürün veya araç geliştirme, sanal gerçeklik ortam dili modelleme, otonom robot kontrol tasarımı, sanal gerçeklik temelli eğitimler ve sanal gerçeklik hastalığı’ konularında yoğunlaştığı görülmektedir.

SG alanında yapılan araştırmalar çok geniş bir alana sahiptir. Bulanık mantık yaklaşımı çerçevesinde spesifik olarak incelenen bu alanda; bulanık mantığın sanal gerçeklik çalışmalarında daha çok ortam ve ürün geliştirme süreçlerindeki belirsiz durumlarda etkin bir süreç izlenmesi ve en iyi tasarımın yapılması için kullanıldığı görülmektedir (Cai vd. 2013; Hamam vd. 2014; Sun vd. 2020). Yapılan araştırmalarda; bulanık mantık temelli SG ürün ve ortam prototiplerinin daha esnek olduğu bulunmuştur.

Eğitim, sanal gerçeklik alanında bulanık mantığın kullanıldığı diğer bir alandır. Sanal eğitim ortamlarına yönelik çalışmalar çok yenidir. Sanal eğitimlerde bulanık mantık denetiminin kullanımı, literatüre sunacağı katkı bakımından çok önemlidir. Sanal gerçeklik teknolojisi görselleştirme ve duylara hitap edebilme özellikleri ile eğitim yöntemlerine farklı bir bakış açısı getirmiştir. Eğitimde, artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımı, geleneksel sınıf eğitimi ile gerçek dünya deneyimi arasındaki boşluğu doldurabileceği ve öğrencilerin mesleki gelişimi için somut faydalar sağlayabileceği görülmüştür (Al-Aubidy, 2005; Al-Tikriti vd. 2013; Mohamed, vd. 2017). Bulanık mantık yaklaşımı; sanal eğitim süreçlerinin tasarımı, sanal eğitim araçlarının değerlendirilmesi ve sanal eğitimin öğrenme üzerindeki etkisi gibi konularda yöntem olarak kullanılmaya başlanmıştır (Al-Aubidy, 2005; Al-Tikriti vd. 2013; Mohamed, vd. 2017). Ayrıca, mesleki eğitimlerde, zorlu çalışma koşullarının simüle edilebilmesinde, bulanık mantık yaklaşımından faydalanılmaktadır (Zhang vd. 2019).

Tıp, sağlık ve rehabilitasyon süreçleri SG teknolojisinin yoğun bir şekilde kullanıldığı diğer bir alandır. SG terapi ve rehabilitasyon süreçlerinin birçok alanında umut verici bir araç olarak kullanılmaktadır. Zorlu cerrahi işlemler öncesinde, sanal ameliyatlara ile deneyim kazanılabilmektedir. Tıp ve sağlık eğitimlerinde, SG uygulamalarından faydalanılmaktadır (Qidwai vd. 2019; Capecci vd. 2018). Bulanık mantık temelli SG araştırmalarında, bulanık çıkarım sistemi kullanan rehabilitasyon sistemlerinin başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca, bulanık mantık temelli sağlık hizmeti uygulamalarının evde tedavi süreçlerini iyileştirdiği ulaşılan diğer bir sonuçtur (Qidwai vd. 2019; Capecci vd. 2018; Ledo, 2015).

SG teknolojilerinin kullanıldığı alanlar değerlendirildiğinde, tüm bu süreçlerin ortak öznesi ‘insan’dır. Sanal uygulamaların birinci öznesinin insan oluşu, bu sanal ortamların insanlar üzerindeki etkisinin araştırılmasını gerekli kılmıştır. Literatürde sanal ortamın kişi üzerindeki etkilerini inceleyen çeşitli araştırmalar bulunmaktadır (Liu, 2009; Liu, 2014, Wang 2021). Bu çalışmalarda, sanal ortam deneyiminin bazı kullanıcılarda oluşturduğu olumsuz etkiler ifade edilmektedir. Bu olumsuz durumlar ‘sanal gerçeklik hastalığı, simülasyon hastalığı ve siber hastalık’ olarak belirtilmiştir. SG teknolojisinin insan üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde de bulanık çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Bulanık çıkarım yöntemi ile bu olumsuz durumun ortaya çıkma nedenleri ve kişiler üzerindeki etkileri saptanmaya çalışılmıştır. Eğitim süreçlerinde sanal ortamların kullanılmasının yaygınlaşması, hemen hemen her sektörde sanal ortam ve sanal araç kullanılmaya başlanması göz önüne alındığında; sanal ortamların insan üzerindeki etkilerine yönelik çalışmaların artırılması önem arz etmektedir. SG ortamlarının insan üzerindeki etkilerine ilişkin bulanık temelli çalışmalar oldukça kısıtlı olup, bu alanda araştırmaların artırılması, literatüre sunacağı katkı bakımından önemlidir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Azize SUDAN ARAN, araştırma sürecinin tasarlanması, literatürün taranması, verilerin toplanması, verilerin analizi, bulguların değerlendirilmesi ve makale yazımında; Ergün ERASLAN, araştırma sürecinin tasarlanması, geliştirilmesi, kontrolü, sonuçların yorumlanması ve metnin revizyonu konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abbas, J. R., O'Connor, A., Ganapathy, E., Isba, R., Payton, T., MgGrath, B., ... & Bruce, I. (2023). What is Virtual Reality? A healthcare-focused systematic review of definitions. *Health Policy and Technology*, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2023.100741>.
- Alam, A., Ullah, S., & Ali, N. (2017). The effect of learning-based adaptivity on students' performance in 3D virtual learning environments. *IEEE Access*, 6, 3400-3407. Doi: 10.1109/Access.2017.2783951.
- Al-Aubidy, K. M. (2005). Applying Fuzzy Logic for Learner Modeling and Decision Support in Online Learning Systems. *Journal of Educational Technology*, 2(3), 76-85. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1068843.pdf>
- Allmacher, C., Dudczig, M., Klimant, P., & Putz, M. (2018). Virtual prototyping technologies enabling resource-efficient and human-centered product development. *Procedia Manufacturing*, 21, 749-756. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.180>
- Altaş, İ. H. (1999). Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80-85. <http://www.ihaltas.com/downloads/publications.pdf>
- Al-Tikriti, M. N., & Al-Aubidy, K. M. (2013). Embedding Mixed-Reality Laboratories into E-Learning Systems for Engineering Education. *Journal of Educational Technology*, 9(4), 25-35. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1101724.pdf>
- Bayram, Z., & Temiz, G. (2021). Covid-19 Pandemisinde kanser hastalarında tedavi ve bakım yönetimi: sistematik derleme. *Sakarya Üniversitesi Holistik Sağlık Dergisi*, 4(2), 92-103. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1741638>.
- Bircan, H., Demir, G., & Güvendi, F. (2020). TOPSİS ve Vikor yöntemleri ile ikinci dil seçimi. *Ulakbilge*, 46, 313-324. Doi: 10.7816/ulakbilge-08-46-08
- Cai, L., Yang, Z., Yang, S. X., & Qu, H. (2013). Modelling and simulating of risk behaviours in virtual environments based on multi-agent and fuzzy logic. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 10(11), 387. Doi: <https://doi.org/10.5772/5683>
- Capecchi, M., Ciabattini, L., Ferracuti, F., Monteriù, A., Romeo, L., & Verdini, F. (2018). Collaborative design of a telerehabilitation system enabling virtual second opinion based on fuzzy logic. *IET Computer Vision*, 12(4), 502-512. Doi: <https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2017.0114>
- Demir, S., Yılmaz, İ., Paksoy, T. (2020) Augmented reality in supply chain management. In *Logistics 4.0*, pp. 136-145. CRC Press, 2020. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit>
- Emre, İ.E., Selçuk, M., Bıdık, V.Ö., Bütün, M., Şimşek, İ (2019). Eğitim Amaçlı Sanal Gerçeklik Uygulamalarında Kullanılan Cihazların Daldırma Açısından İncelenmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 12(2), 119-129. Doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.453381>
- Hagras, H., Alghazzawi, D., & Aldabbagh, G. (2015). Employing type-2 fuzzy logic systems in the efforts to realize ambient intelligent environments [application notes]. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 10(1), 44-51. Doi: 10.1109/MCI.2014.2350952
- Hamam, A., Saddik, A. E., & Alja'Am, J. (2014). A quality of experience model for haptic virtual environments. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 10(3), 1-23. Doi: <https://doi.org/10.1145/2540991>
- Issenberg, B., Gordon, M. S., Gordon, D. L., Safford, R. E., & Hart, I. R. (2001). Simulation and new learning technologies. *Medical teacher*, 23(1), 16-23. Doi: <https://doi.org/10.1080/01421590020007324>
- Işık, Y., Kehya, M., & Kayabaşı, A (2023). Araç Sınıflandırma Trafik Hız Sınırı Ceza Sisteminin Bulanık Mantık Temelli Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 115-126. Doi: <https://doi.org/10.46387/bjesr.1258924>

- Keskenler, M. F., & Keskenler, E. F. (2017). Bulanık mantığın tarihi gelişimi. *Takvim-i Vekayi*, 5(1), 1-10. Doi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article>
- Kıyak, E., & Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2), (63-72). <https://jast.hho.msu.edu.tr>
- Kljuno, E., & Williams, R. L. (2008). Vehicle simulation system: controls and virtual-reality-based dynamics simulation. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 52, 79-99. Doi: 10.1007/s10846-008-9204-y
- Liu, C. L. (2014). A study of detecting and combating cybersickness with fuzzy control for the elderly within 3D virtual stores. *International journal of human-computer studies*, 72 (12), 796-804. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.07.002>
- Liu, C. L. (2009). A neuro-fuzzy warning system for combating cybersickness in the elderly caused by the virtual environment on a TFT-LCD. *Applied Ergonomics*, 40(3), 316-324. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.12.001>
- LLedo, L. D., Bertomeu, A., Díez, J., Badesa, F. J., Morales, R., Sabater, J. M., & Garcia- Aracil, N. (2015). Auto-adaptative robot-aided therapy based in 3d virtual tasks controlled by a supervised and dynamic neuro-fuzzy system. *International Journal of Artificial Intelligence and Interactive Multimedia*, 3(2), 63-56. Doi: 10.9781/ijimai.2015.328
- Martínez, J. I., Skarmeta, A. F. G., & Gimeno, J. B. (2006). Fuzzy approach to the intelligent management of virtual spaces. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 36(3), 494-508. Doi: 10.1109/Tsmcb.2005.862494
- Mitra, R., & Saydam, S. (2014). Can artificial intelligence and fuzzy logic be integrated into virtual reality applications in mining? *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114(12), 1009-1016.
- Mohamed, F., Abdeslam, J., & Lahcen, E. B. (2017). Personalization of Learning Activities within a Virtual Environment for Training Based on Fuzzy Logic Theory. International association for development of the information society. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED579380.pdf>
- Mura, G. (2007). The red and black semantics: a fuzzy language. *The Visual Computer*, 23, 359-368. Doi: 10.1109/cw.2006.38
- Öztürk, M., & Paksoy, T. (2016). Otoyollardaki Trafik Işıkları Kontrol Sistemi Modellemesi Bulanık Karar Tabanlı Görsel Uygulaması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 170-183. <http://jes.ksu.edu.tr/tr/download/article-file/264185>.
- Polat, M. M., & Yılmaz, İ. (2023). Havacılık Sektöründe Yer Hizmetleri İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinde Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. *Ergonomi*, 6(2), 117-131. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2904613>.
- PRISMA Kontrol Listesi (2020). <http://www.prisma-statement.org/documents/PRISMA>
- Qidwai, U., Ajimsha, M. S., & Shakir, M. (2019). The role of EEG and EMG combined virtual reality gaming system in facial palsy rehabilitation A case report. *Journal of bodywork and movement therapies*, 23(2), 425-431. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2019.02.012>
- Shahrokhi, M., Bernard, A., & Fadel, G. (2011). An approach to optimise an avatar trajectory in a virtual workplace. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(2), 95-105. Doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2010.531290>
- Sun, D., Kiselev, A., Liao, Q., Stoyanov, T., & Loutfi, A. (2020). A new mixed-reality-based teleoperation system for telepresence and maneuverability enhancement. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 50(1), 55-67.

- Şekerci C. (2017) Sanal Gerçeklik Kavramının Tarihçesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(54). 1126-1133. Doi: 10.1109/thms.2019.2960676
- Thekkedan, M. D., Chin, C. S., & Woo, W. L. (2015). Virtual reality simulation of fuzzy-logic control during underwater dynamic positioning. *Journal of Marine Science and Application*, 14, 14-24. DOI: 10.1007/s11804-015-1297-7
- Torano, J., Diego, I., Menendez, M., & Gent, M. (2008). A finite element method (FEM) - Fuzzy Logic (Soft Computing): virtual reality model approach in a coalface longwall mining simulation. *Automation in construction*, 17(4), 413-424. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.07.001>
- Wang, Y., Chardonnet, J. R., Merienne, F., & Ovtcharova, J. (2021, March). Using fuzzy logic to involve individual differences for predicting cybersickness during vr navigation. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* pp. 373-38. Doi: 0.1109/vr50410.2021.00060
- Ye, C., Yung, N. H., & Wang, D. (2003). A fuzzy controller with supervised learning assisted reinforcement learning algorithm for obstacle avoidance. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 33(1), 17-27. Doi: 10.1109/tsmcb.2003.808179
- Yıldırım, D., Özer, Z., Kocaağalar, E., & Bölüktaş, R. P. (2019). Eğitimde İnovasyon: Sağlık Eğitiminde Simülasyon Kullanımı. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 14(1), 33-41. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/745611>
- Yıldızbaşı, A., Öztürk, C., Yılmaz, İ., & Arıöz, Y. (2021, August). Key challenges of lithium-ion battery recycling process in circular economy environment: Pythagorean fuzzy AHP approach. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 561-568). Cham: Springer International Publishing. <https://www.researchgate.net/publication/357159886>
- Yılmaz, E., Isler, V., & Çetin, Y. Y. (2009). The virtual marathon: Parallel computing supports crowd simulations. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 29(4), 26-33. Doi: 10.1109/mcg.2009.77
- Yılmaz, I., & Polat, L. (2023). Celiac disease multi-purpose diet plan through integrated goal programming and Interval Type 2 Fuzzy TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 218, 119618. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119618>
- Yılmaz, I. (2023). A hybrid DEA–fuzzy COPRAS approach to the evaluation of renewable energy: A case of wind farms in Turkey. *Sustainability*, 15(14), 11267. Doi: <https://doi.org/10.3390/su151411267>
- Yu, Y., El Kamel, A., & Gong, G. (2014). Modeling and simulation of overtaking behavior involving environment. *Advances in Engineering Software*, 67, 10-21. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.07.00>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zhang, H., He, X., & Mitri, H. (2019). Fuzzy comprehensive evaluation of virtual reality mine safety training system. *Safety Science*, 120, 341-351. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.009>
- UNC Library (2023). <https://guides.lib.unc.edu/systematic-reviews>