



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Artırılmış gerçeklik ve holografi yakınsaması: kavramsal ve teknik bir taksonomi çalışması *Convergence of augmented reality and holography: a conceptual and technical taxonomy study*

Yazar(lar) (Author(s)): Oğuz BALAS¹

ORCID¹: 0000-0003-2072-7488

To cite to this article: Balas O., “Artırılmış Gerçeklik ve Holografi Yakınsaması: Kavramsal ve Teknik Bir Taksonomi Çalışması”, *Journal of Polytechnic*, *(*) : *, (*).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Balas O., “Artırılmış Gerçeklik ve Holografi Yakınsaması: Kavramsal ve Teknik Bir Taksonomi Çalışması”, *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1686504

Artırılmış Gerçeklik ve Holografi Yakınsaması: Kavramsal ve Teknik Bir Taksonomi Çalışması

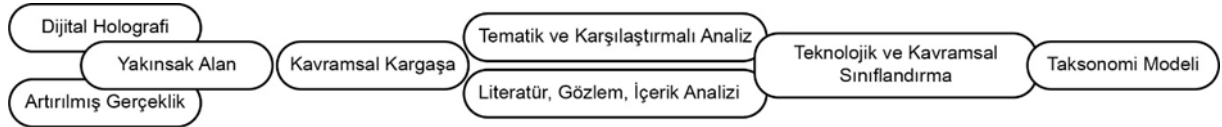
Convergence of Augmented Reality and Holography: A Conceptual and Technical Taxonomy Study

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Holografi ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinde kavramsal belirsizliklerin analizi / Analysis of conceptual ambiguities in holography and augmented reality technologies
- ❖ Nitel veri toplama ve tematik-analiz yöntemleri ile sınıflandırma verisi oluşturulması / Data collection for classification through qualitative and thematic analysis methods
- ❖ Holografi ve artırılmış gerçeklik kesişiminde özgün taksonomi modeli geliştirilmesi / Development of an original taxonomy model at the intersection of holography and augmented reality

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Artırılmış gerçeklik ve holografi teknolojilerindeki kavramsal belirsizlikler, nitel analiz yöntemleriyle değerlendirilerek özgün bir taksonomi modeli geliştirilmiştir. / Conceptual ambiguities in augmented reality and holography technologies were evaluated with qualitative analysis methods and a unique taxonomy model was developed.



Şekil. Taksonomi geliştirme süreci /Figure. Taxonomy development process

Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı, holografi ve artırılmış gerçeklik alanlarında yaşanan kavramsal karmaşayı özgün bir sistematik sınıflandırma (taksonomi) modeli geliştirilerek açıklığa kavuşturmadır. / The aim of this study is to clarify the conceptual confusion in the fields of holography and augmented reality by developing a unique systematic classification (taxonomy) model.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Araştırmada, nitel araştırma paradigması çerçevesinde içerik analizi yöntemleri kullanılmış; son yirmi yılda yayımlanmış kaynaklar taranarak literatür incelemesi yapılmıştır. / In the research, content analysis methods were used within the framework of qualitative research paradigm; literature review was conducted by scanning the sources published in the last twenty years.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada, holografi ve artırılmış gerçeklik alanlarında kavram karmaşasını gidermek amacıyla terminoloji ve teknoloji temelli özgün bir taksonomi modeli önerilmiştir. / In this study, a unique taxonomy model based on terminology and technology is proposed to eliminate the concept confusion in the fields of holography and augmented reality.

Bulgular (Findings)

Holografi ve artırılmış gerçeklik teknolojileri arasındaki sınırlar, görsel algısal boyutta değerlendirilerek sistematik olarak belirlenmiş; kavramsal karışıklığın azaltılabileceği gösterilmiştir. / The boundaries between holography and augmented reality technologies were systematically determined by evaluating the visual perceptual dimension; it was shown that conceptual confusion can be reduced.

Sonuç (Conclusion)

Geliştirilen özgün sınıflandırma modeli, terminolojik ve teknolojik çerçevenin netleştirilmesine katkı sağlayarak gelecekteki çalışmalara referans oluşturabilecektir. / The original classification model developed will contribute to the clarification of the terminological and technological framework and may serve as a reference for future studies.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Artırılmış Gerçeklik ve Holografi Yakınsaması: Kavramsal ve Teknik Bir Taksonomi Çalışması

Bu makale, Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Grafik Anasanat Dalı'nda, Prof. Namık Kemal SARIKAVAK danışmanlığında hazırlanmakta olan "Hologramlar, Holografik Optik Düzenekler ve Bir Artırılmış Gerçeklik Uygulaması" başlıklı yayınlanmamış sanatta yeterlik tez çalışmasındaki araştırmalardan hareketle yazılmıştır.

Araştırma Makalesi / Research Article

Oğuz BALAS^{1*}

¹Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Grafik Tasarımı Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 29.04.2025 ; Kabul/Accepted : 01.06.2025 ; Erken Görünüm/Early View : 08.06.2025)

ÖZ

Son yıllarda hızla çoğalan teknolojik yenilikler, birçok kavramın yeniden tanımlanmasını ve sınıflandırılmasını gerektirmektedir. Bu durum, bazı kavramsal karmaşaları beraberinde getirmiştir. Özellikle bu çalışmanın odağını oluşturan holografi ve artırılmış gerçeklik gibi yakınsak medya alanlarında; pazarlama amaçlı isimlendirmeler, popüler kültürün etkisi ve akademik yayınlardaki terminolojik tutarsızlıklar nedeniyle kavramlar birbirine karışmakta ya da hatalı şekilde kullanılmaktadır. Bu araştırmanın amacı, artırılmış gerçekliğin holografi ile kavramsal ve teknolojik bağlantılarını inceleyerek, kavramsal belirsizlikleri ortadan kaldıracak bir sınıflandırma modeli geliştirmektir. Araştırma, nitel araştırma paradigması çerçevesinde yürütülerek içerik analizi ve tematik çözümleme yöntemleri kullanılmıştır. Son yirmi beş yılda yayımlanmış bilimsel makaleler, raporlar, kitap ve kitap bölümlerinden oluşan literatür taranarak, holografi ve artırılmış gerçeklik türleri ile teknolojileri ve mevcut sınıflandırma yaklaşımları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, bu iki alan arasındaki ayrımın görsel algı temelli bir yaklaşımla sistematik biçimde çözümlenebileceğini göstermektedir. Bu yolla, kavramsal belirsizlikleri ortadan kaldıracak; terminolojik ve teknolojik temellere dayanan özgün bir taksonomi modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, özellikle tasarım, eğitim, sergileme, sahne sanatları ve sinema gibi multidisipliner çalışmalarda, alan yazındaki kavram karmaşasının azaltılmasına ve gelecekteki araştırmalara daha net bir terminolojik ve teknolojik çerçeve sunulmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Görsel İletişim, Artırılmış Gerçeklik, Holografi, Yakınsama, Taksonomi.

Convergence of Augmented Reality and Holography: A Conceptual and Technical Taxonomy Study

ABSTRACT

The rapid proliferation of technological innovations in recent years has necessitated the redefinition and reclassification of many concepts. This situation has brought along some conceptual confusion. Especially in convergent media fields such as holography and augmented reality, which are the focus of this study, concepts are confused or misused due to marketing-oriented nomenclature, the influence of popular culture and terminological inconsistencies in academic publications. The aim of this research is to develop a classification model that will eliminate conceptual ambiguities by examining the conceptual and technological connections of augmented reality with holography. The research was conducted within the framework of qualitative research paradigm and content analysis and thematic analysis methods were used. The literature consisting of scientific articles, reports, books and book chapters published in the last twenty-five years was reviewed, and holography and augmented reality types and technologies and existing classification approaches were analysed. The findings show that the distinction between these two fields can be systematically analysed with a visual perception-based approach. In this way, a unique taxonomy model based on terminological and technological foundations has been developed to eliminate conceptual ambiguities. The developed model aims to contribute to the reduction of conceptual confusion in the literature and to provide a clearer terminological and technological framework for future research, especially in multidisciplinary studies such as design, education, exhibition, performing arts and cinema.

Keywords: Visual Communication, Augmented Reality, Holography, Convergence, Taxonomy.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Etkili bir iletişim için kavramların doğru konumlandırılması kritik bir öneme sahiptir. Özellikle teknik veya akademik alanda, kavramların doğru tanımlanması ve doğru bağlamda kullanılması, iletişimin güvenilirliğini ve anlaşılabilirliğini artıracak açıktır. Son yıllarda hızla çoğalarak çeşitlenen teknolojik iletişim araçları ve günlük hayatın bir parçası haline gelen yapay gerçeklik ortamları, birçok kavramın yeniden

tanımlanmasını, sınıflandırılmasını ve adlandırılmasını gerektirmektedir.

Ancak, bu araştırmanın odağını oluşturan artırılmış gerçeklik (augmented reality) ve dijital holografi (digital holography) gibi yakınsak teknoloji alanlarında; pazarlama amaçlı isimlendirmeler, popüler kültürün etkisiyle hologram kavramının geniş bir yelpazede hatalı kullanımı ve akademik yayınlardaki bazı terminolojik tutarsızlıklar kavramsal belirsizliklere yol açmaktadır. Pek çok artırılmış gerçeklik uygulaması, holografik

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : oguzbalas@karatekin.edu.tr

teknolojiler içermemesine rağmen “hologram” olarak nitelenmekte, kavramlar birbirleriyle karışmakta veya birbirinin yerine kullanılmaktadır.

Örneğin, teknoloji üreticisi firmalar tarafından bilinçsizce ya da ilgi uyandırma amacıyla kullanılan “hologram fan teknolojisi”, “hologram ekran”, “hologram sahne şovu”, “hologram piramit” veya “hologram vitrin” gibi teknik açıdan yanıltıcı ürün isimlendirmelerine rastlanmaktadır. Diğer yandan “Yıldız Savaşları” veya “Star Trek” gibi bilimkurgu filmlerinde hologramlar, gerçek zamanlı iletişim sağlayan, etkileşimli, hareketli ve volumetrik görüntüler şeklinde tasvir edilmiştir. Bu tarz içerikler, iletişim araçlarının geleceğine dair imajinatif öngörüler sunarak, insanların zihninde teknolojinin geleceğine ilişkin yönlendirmeler yapmaktadır. Ancak bu tasvirler, günümüzdeki holografik teknolojilerle bağlantısı olmayan, hayal ürünü kurgulardan ibarettir.

Kavramsal karmaşaya dair somut bir örnek olarak, Pera Müzesi tarafından 2023 yılında, Isabel Muñoz’un “Yeni Bir Hikâye” isimli fotoğraf sergisi kapsamında, çocuklara yönelik düzenlenen “Geçmişten Geleceğe Yansımalar: Hologram” isimli atölye çalışması gösterilebilir. Etkinliğin ilanında, atölyeye katılmak isteyen çocukların tablet veya akıllı telefonlarını yanlarında getirmeleri tavsiye edilmektedir. Ancak söz konusu atölye çalışması, “hologram” şeklinde adlandırılmasına karşın, dijital ekranlar kullanılarak şeffaf yüzeylere yansıtılan görsel efektlerle sınırlı kalmaktadır [1].

Söz konusu kavram karmaşasına akademik literatürde de rastlanmaktadır. Örneğin; Aslan ve Erdoğan’ın [2] “21. Yüzyılda Hekimlik Eğitimi: Sanal Gerçeklik, Artırılmış Gerçeklik, Hologram” başlıklı çalışmasında, “...hologram teknikleriyle de gündeme oturan sanal gerçeklik (SG) ve artırılmış gerçeklik (AG) kavramı, her alandaki hekimlik eğitim ve uygulamaları için de olmazsa olmaz bir araç...” ifadelerine yer verilmektedir. Benzer şekilde, Bingöl [3] artırılmış gerçekliği; “...bilgisayar tarafında üretilen ses, görüntü, animasyon, hologram gibi dijital elemanları akıllı telefon, tablet ve sanal gerçeklik gözlükleri...” gibi cihazlar aracılığıyla fiziksel ortama yerleştirilmesi olarak tanımlamaktadır. Başka bir örnekte; Bakırcı, Gök ve Artun’un [4] “Fen Öğretiminde Kullanılan Hologram Uygulamalarına Yönelik Fen Bilimleri Öğretmenlerinin Görüşleri” başlıklı çalışmasında “hologram” kavramı, içerik olarak artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla ilişkilendirilmiştir. Örnekleri çoğaltmak mümkün olmakla beraber, bu çalışmalarda bahsi geçen teknolojiler, video projeksiyon eşlemesi (video projection mapping) veya şeffaf ekranlar gibi, holografiden bağımsız teknolojilere dayanmaktadır. Alanla ilişkili literatür incelendiğinde, dijital holografi (DH) ve artırılmış gerçeklik (AG) alanlarında, genellikle cihaz ve donanımların kullanım şekilleri ile sunum biçimleri üzerinden bir sınıflandırma yaklaşımının benimsendiği gözlemlenmektedir. Ancak, AG’nin DH ile teknik ve teknolojik bağlarına odaklanan çalışmalar sınırlıdır ve genellikle ayırt edici bir sınıflandırma

önermemektedir. Holografi ve dalga cephesi optiği (wavefront optics) üzerine uzmanlaşmış fizikçiler ve mühendisler gibi araştırmacıların bu ayrımı yapabileceği öngörülebilir. Ancak, bu teknolojilerin son kullanıcıya hitap eden ürünlerini kullanarak AG içerikleri üreten; konuyu tasarım, eğitim, sergileme, sahne sanatları ve sinema gibi multidisipliner alanlarda farklı bağlamsal önceliklerle ele alan araştırmacıların çalışmalarında kavramsal ayrımların zaman zaman belirsizleştiği gözlemlenmektedir. Bu nedenle, söz konusu araştırmacıların çalışmalarına terminolojik netlik kazandıracak bir taksonomi çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, AG uygulamalarının holografik teknolojilerle bağlantısını, holografik kriterler temelinde; kavramsal ve teknolojik bir perspektiften inceleyerek, “AG sunuları ‘hologram’ olarak adlandırılabilir mi?” araştırma sorusuna yanıt aramaktır. Bu bağlamda, terminolojik belirsizlikler, nitel araştırma paradigması çerçevesinde; içerik analizi ve tematik çözümleme yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Böylece, mevcut teknolojiler temel alınarak DH ve AG arasındaki teknolojik bağlantılar ortaya konmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, sınıflandırmayı kolaylaştıran ve farklı disiplinlerden araştırmacılar tarafından kullanılabilir, görsel-algısal değerlendirmeyi temel alan özgün bir taksonomik metodoloji önerilmiştir. Geliştirilen sınıflandırma önerisi, gelecekteki çalışmalara daha net bir terminolojik ve teknolojik çerçeve sunarak, alan yazındaki kavram karmaşasının azaltılmasına yönelik katkı sağlamayı hedeflemektedir.

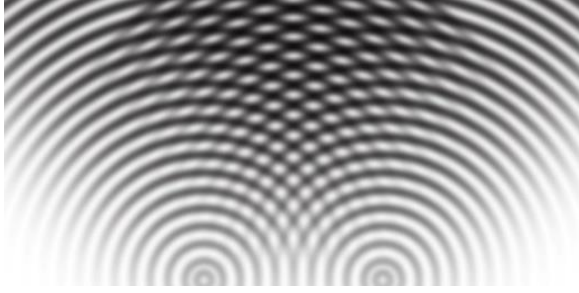
2. KURAMSAL TEMELLER (THEORETICAL FOUNDATIONS)

Bu bölümde, çalışmanın dayandığı temel kavramsal ve kuramsal çerçeve açıklanmaktadır. Holografi ve artırılmış gerçeklikle ilgili tanımlar, prensipler ve temel teorik yaklaşımlar ele alınarak, çalışmanın teorik çerçevesi oluşturulmuştur.

2.1. Holografi (Holography)

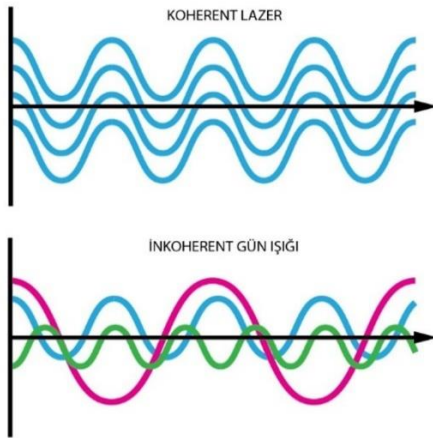
Işığın davranışlarını ve etkileşimlerini inceleyen optik prensipler, holografik üretim süreçlerinin temelini oluşturmaktadır. Tıpkı doğada sıklıkla karşılaşılan mekanik dalgalar (su, ses, deprem) gibi ışık da dalgalar halinde yayılmakta ve davranışları dalga kuramı çerçevesinde incelenmektedir. Dalgalar, dengeli fiziksel bir ortamda rahatsızlık (disturbance) meydana geldiğinde oluşurlar [5] ve bulundukları ortamın fiziksel özellikleri veya birbirleriyle etkileşimleri davranışlarını etkilemektedir [6]. Örneğin, aynı anda aynı noktada buluşan dalgalar birbirlerini, zayıflatmakta veya güçlendirmektedir. Bu duruma fizikte girişim (interference) denir. Benzer şekilde, ışık dahil bütün dalga türleri, karşılaştıkları yüzeyler ve fiziksel ortamlarla etkileşime girerek yansıma (reflection), kırılma (refraction), kırınım (diffraction) ve saçılma (Scattering) gibi farklı davranışlar sergilemektedir.

Holografi, nesneye ait üç boyutlu bilgiyi kaydetmek ve derinlik hissi uyandıran görüntüler oluşturmak için ışığın dalga özelliklerini kullanan bir tekniktir [7]. Hologram üretim sürecinde kayıt altına alınan ve holografının temelini oluşturan, aydınlık ve karanlık çizgi dizilerinden oluşan girişim deseni (interference pattern) yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir [8].



Şekil 1. Girişim deseni (Interference pattern)

Işık dalgalarının tutarlı ve gözlemlenebilir girişim deseni oluşturabilmesi için koherent (coherent), yani frekans, periyot, genlik ve dalga boyu gibi tüm parametrelerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. Doğal ışık tamamen rastlantısal faz ilişkisine sahip olduğu için gözlemlenebilir girişim desenleri oluşturmamaktadır. Dolayısıyla holografi uygulamalarında, yapay koherent ışık kaynağı olan lazer teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. Lazer teknolojisi, 1960 yılında Theodore H. Maiman tarafından geliştirilerek holografının pratik alanda uygulanabilir olması sağlanmıştır [6]. Lazerler; koherent, monokromatik, hizalanmış ışık huzmesi olarak, holografi üretim sürecinde tek olamamakla beraber en yaygın ışık kaynaklarıdır. Şekil 2.'de koherent ve inkoherent ışık dalga tasvirleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Koherent ışık dalgaları ve inkoherent ışık dalgaları. (Coherent light waves ve incoherent light waves.)

1948 yılında, elektron mikroskopları üzerine yaptığı çalışmalar sırasında Dennis Gabor tarafından keşfedilen ve isimlendirilen hologram terimi, Yunanca "tam, bütün" anlamındaki "Holos" ve "yazı, mesaj" anlamına gelen "Gram" sözcüklerinden türetilmiştir [9]. Holografi, hologram üretim yöntemleri ve süreçlerinin teknik adıdır.

Hologram ise bu süreçler sonucunda elde edilen son üründür [10].

Fotoğrafçılık (photography), ışığın yalnızca yoğunluğunu (genlik temelli ışık şiddetini) düzlemsel bir yüzey üzerine kaydederken; holografi (holography), ışık dalgalarının hem genlik hem de faz bilgilerini kullanarak, nesneye ait ışık yoğunluğu ile birlikte uzamsal bilginin de kaydedilmesini, iletilmesini ve yeniden oluşturulmasını sağlayan optik bir tekniktir. Graham Saxby [11], hologramı, "...lazer ışınları ile üç boyutlu görüntü oluşturacak şekilde işlenmiş bir fotoğraf filmidir" şeklinde tanımlamaktadır.

Tam kayıt (holos) ifadesi, holografi için kilit bir kavramdır ve üç şekilde anlaşılmalıdır; (1) holografi, fotoğraftan farklı olarak yalnızca ışık yoğunluğunu değil, dalga cephesi (faz ve genlik bilgisi) ile nesneye ait uzamsal veriyi de kaydetmektedir ve gözlem esnasında yeniden oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu anlamda "tam" dır [12]. (2) Üç boyutlu bilginin bir alt boyutta -iki boyutlu bir yüzeyde- eksiksiz biçimde kayıt altına alır [13]. (3) Çıplak gözle algılanabilen bir paralaks etkisine sahiptir; farklı bakış açılarından ve birden fazla izleyici tarafından eşzamanlı olarak gözlemlenebilir [14]. (4) Holografik bir kayıt yüzeyinin her bir parçası, aynı zamanda bütününe tamamına ait bilgiyi barındırmaktadır. Bu da bir hologram plakasının parçalara ayrılması durumunda bile veri kaybı oluşmadığını göstermektedir [15].

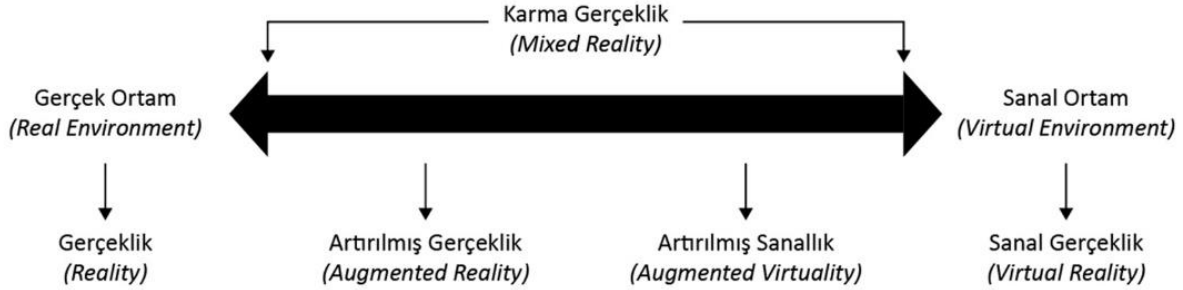
Temel holografik kayıt süreci, bir ışık kaynağından çıkan koherent ışık huzmesinin bir ışın ayırıcı (beam splitter) ile ikiye ayrılmasıyla başlar. Bu ışınlardan biri, referans dalgası olarak doğrudan kayıt düzlemine yönlendirilir. Diğer ışık huzmesi ise nesneye yönlendirilerek yüzeyden yansıyan nesne dalgası olarak kayıt düzleminde referans dalgasıyla buluşturulur. Bu iki dalganın kayıt yüzeyi üzerinde birleşmesi sonucunda, nesneye ait faz ve genlik bilgilerini içeren holografik girişim desenleri kayıt altına alınır. Dijital holografide ise, dijital fotoğrafçılığa benzer şekilde sahneye ait dalga cephesi, CCD (charge-coupled device) kamera gibi bir kayıt cihazı kullanılarak kaydedilir ve sayısal olarak işlenerek yeniden yapılandırılır.

2.2. Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)

AG'nin anlaşılabilmesi için, sanal gerçeklik (virtual reality) ve karma gerçeklik (mixed reality) kavramlarıyla birlikte ele alınması gerekir. Çünkü bu kavramlar birbiriyle iç içe geçmiş ve birbirini tamamlayan yapılardır. Sanal gerçeklik (SG), izleyiciyi tamamen dijital olarak oluşturulmuş, gerçekliği taklit eden sarmalayıcı (immersive) bir ortama daldırmaktadır. AG ise fiziksel dünyayı dijital katmanlarla zenginleştirerek, bireyin bağlamına -anlık konumu ve amacına-, tercihlerine ve ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilebilen; metin, görüntü, ses ve grafikler gibi çoklu ortam katmanlarının, izleyicinin görüş alanı referans alınarak gerçek dünya üzerine eşlendiği bir deneyim sunar [16]. Bu anlamda artırılmış AG ortamı değiştirmek yerine onu tamamlamaktadır [17].

Sanallık ve gerçekliğin tanımlanmasında en çok kabul gören kaynaklardan biri, Milgram ve Kishino'nun [18] "A taxonomy of mixed reality visual displays" başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada gerçeklik ve sanallık arasındaki ilişki, sanallık sürekliliği (virtuality continuum), adıyla gerçek ile sanal arasında geçişli bir

Bu yöntemle, "dijital holografı" alanındaki 374 döküman arasından 15'i ve artırılmış gerçeklik alanındaki 4672 döküman arasından 15'i seçilerek toplam 30 kaynak araştırmaya dahil edilmiştir. Bu yöntem, aynı örneklem çerçevesinde yeniden uygulanabilir olduğu gibi, benzer nitelikte farklı kaynak kümeleriyle de tekrar edilerek



Şekil 3. Sanallık sürekliliği (virtuality continuum).

süreç olarak tasvir edilmiştir. Şekil 3'te gösterildiği gibi [19] sürekliliğin bir ucu sanal, diğer ucu ise gerçek ortamı temsil eder. Bu iki uç arasında kalan alan, karma gerçeklik (mixed reality) olarak adlandırılmıştır. Karma gerçeklik alanı ise dijital unsurların baskınlık düzeyine göre artırılmış gerçeklik (augmented reality) veya artırılmış sanallık (augmented virtuality) şeklinde sınıflandırılmıştır.

3. YÖNTEM (METHOD)

Bu araştırma, nitel araştırma paradigması çerçevesinde yürütülmüş olup, veri toplama süreci doküman analizi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İncelenen dokümanlar, nitel içerik analizi çerçevesinde; tematik çözümleme yoluyla işlenmek üzere birer veri kaynağı ve analiz birimi olarak değerlendirilmiştir. Bu yolla elde edilen veri setleri, tematik eşleme (thematic mapping) yöntemi kullanılarak ortaklıklar ve farklılıklar açısından incelenmiştir.

Bu kapsamda, üç düzeyde bilgi elde edilmesi amaçlanmıştır; (1) AG ve DH alanında kullanılan ortak teknolojilerin (teknoloji, cihaz, yöntem) tespit edilmesi; bu bağlamda üretici firmalara ait teknik dokümanlar, cihaz ve uygulamalara ilişkin tanıtım materyalleri ve görsel kayıtlar üzerinden dolaylı gözlem yöntemiyle değerlendirme yaparak, AG'nin hologram ile ilişkili yönlerinin belirlenmesi ve önerilen taksonomiye nitel veri zemini hazırlanması, (2) tematik eşleme yoluyla DH ve AG'nin hangi teknolojileri ortak olarak paylaştığının ortaya konulması, (3) ilgili literatür üzerinden her iki alanın mevcut sınıflandırma eğilimlerinin ve açıklıklarının tespit edilmesidir.

Araştırma kapsamında dökümanlar, WorldCat [20] veri tabanı üzerinden taranmıştır. Tarama, İngilizce dilinde, son 25 yıl içinde yayımlanmış; raporlar, teknik belge, konferans bildirileri, bilimsel makaleler, kitap ve kitap bölümlerini kapsayacak şekilde yürütülmüştür. Dökümanlar, alan içi çeşitliliği ve teknik temsiliyeti gözeterik amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir.

bulguların güvenilirliği ve transfer edilebilirliği test edilebilir.

4. BULGULAR (FINDINGS)

Bu bölümde elde edilen veri setleri kullanılarak tematik eşleme yöntemiyle, AG ve DH alanlarına ilişkin; (1) sınıflandırma yaklaşımları, (2) temel kullanım amaçları ve pratik uygulama alanları, (3) her iki alandaki paylaşılan mevcut teknolojiler, tablolastırılarak sunulmuştur. Bu doğrultuda, önerilen sınıflandırma modelinin özgünlüğü ile her iki alanın odak noktaları ve aralarındaki teknolojik yakınsama ilişkisi somutlaştırılmaya çalışılmıştır.

Tematik eşleme sonucunda, alandaki sınıflandırma yaklaşımları incelendiğinde; AG üzerine yapılan araştırmaların, genellikle cihaz ve teknolojilerin kullanım biçimlerine, görüntüleme yöntemlerine ve donanımsal özellikleri üzerinden şekillendiği gözlemlenmektedir. DH teknolojilerindeki sınıflandırma yaklaşımları ise, genellikle holografik prensipler ve teknolojik altyapılar çerçevesinde ele alınmaktadır. Mevcut sınıflandırma yaklaşımları Tablo 1'de sunulmuştur.

Kullanım amaçları bakımından incelendiğinde, DH faz ve genlik bilgisi aracılığıyla veri kaydına odaklanırken; artırılmış gerçeklik (AG) ise dijital öğelerle gerçek ortamı zenginleştirmeyi hedeflemektedir. Uygulama alanları açısından incelendiğinde, AG genellikle eğitim, eğlence, oyun, pazarlama ve ulaşım gibi alanlara odaklanırken; DH ise endüstriyel ölçüm, mikroskopi, bilimsel veri görselleştirme, güvenlik, yapısal testler ve veri kaydı gibi alanlarda uygulama örnekleri görülmektedir. AG ve DH'nin uygulama alanları ve kullanım amaçları, Tablo 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Analiz sonuçlarına göre, günümüzde AG uygulamalarında kullanılan düzenekler, DH ile bazı temel teknolojileri paylaşmaktadır. Ancak benzer teknolojik ve optik prensiplere dayanan bu bileşenler, her

iki alanın kendine özgü ihtiyaçları doğrultusunda farklı amaçlarla kullanıldığı görülmektedir. AG ve DH’de kullanılan ortak teknolojiler ve bu teknolojilerin kullanım farklılıkları, Tablo 3’te açıklamalarıyla birlikte sunulmuştur.

Tablo 1. AR ve DH’deki mevcut sınıflandırma yaklaşımları (Current classification approaches in AR and DH.)

Kriter	Dijital Holografi	Artırılmış Gerçeklik
Sınıflama ölçütü	Kullanım alanı, holografik prensip ve Teknoloji.	Kullanım biçimi, Görüntüleme yöntemi ve donanım tipi. (Başa takılan, Gözlük, Elde Taşınan, Şeffaf Ekran, Mobil, Uzamsal vb.)
Alt sınıflar	Hesaplamalı holografi	Optik Geçirgen AR (Optical see-through)
	Gerçek zamanlı holografi	Video Geçirgen AR (Video see-through)
	Yeniden yazılabilir holografi	Başa Takılan Projektörler (Head-Mounted Projection)
	Optik Tarama ve Görüntüleme	Retinal Ekranlar (Retinal Displays)
	Plazma Tabanlı (Plasma-Based)	Yakın Göz Ekranlar (Near-Eye Display)
	MEMS Tabanlı (MEMS-Based)	Video Projeksiyon (Projection-Based)
	SLM Tabanlı (SLM-Based)	Sanal Vitrin (Virtual Showcases)
	Otostereoskopik (Autostereoscopic)	Şeffaf Ekranlar (Transparent Displays)
	Uyarlanabilir (Adaptive)	Işık Alanı Ekranları (Light Field Displays)
Temel fark	Fiziksel ışık davranışları üzerinden sınıflama	Kullanım biçimi ve cihaz mimarisi üzerinden sınıflama

Not. Tablo AG ve HD alanlarını sınıflandırma yaklaşımları, açısından karşılaştırmaktadır. Bu tablo “Hologramlar, Holografik Optik Düzenekler ve Bir Artırılmış Gerçeklik Uygulaması” başlıklı sanatta yeterlik tezindeki tarama bulgularına dayalı olarak yeniden yapılandırılmıştır [21]

Tablo 2. AR ve DH’nin kullanım amaçları ve uygulama alanları (Purposes and application areas of AR and DH)

Özellik	Dijital Holografi (DH)	Artırılmış Gerçeklik (AG)
Amaç	Nesnelerin 3B yapısal bilgisini faz ve genlik ile kaydedip yeniden oluşturmak.	Gerçek dünyayı dijital öğelerle zenginleştirmek.
Kullanım	Görüntüleme, ölçüm, analiz, veri depolama (biyomedikal, endüstri, güvenlik)	Eğitim, eğlence, oyun, rehberlik, sahne sanatları, sergileme, bakım-onarım, pazarlama, mimarlık, ulaşım
Bilgi türü	Fiziksel olarak kaydedilmiş ışık dalgası.	Gerçek zamanlı hareketli görüntüler.

Not. Tablo AG ve DH’yi temel kullanım amaçları ve pratik uygulama alanları açısından karşılaştırmaktadır. Bu tablo “Hologramlar, Holografik Optik Düzenekler ve Bir Artırılmış Gerçeklik Uygulaması” başlıklı sanatta yeterlik tezindeki tarama bulgularına dayalı olarak yeniden yapılandırılmıştır [21]

Tablo 3. AG ve DH alanlarında kullanılan ortak teknolojiler (Common technologies used in AR and DH fields)

Ortak Teknoloji	AG’deki Kullanımı	DH’deki Kullanımı
Waveguide Optics	Optical see-through (HoloLens, Magic Leap) sistemlerde görüntü eşlenmesi.	Görüntünün belirli bir alana yönlendirilmesi için optik katman olarak.
Spatial Light Modulator (SLM)	Görüntü yüzeyine faz tabanlı modülasyonla holografik görüntü üretmek için kullanılır (prototip).	Dalga cephesi sentezi ile dijital faz ve genlik kontrolü.
Light Field Displays	Gözlük veya ekran tabanlı sistemlerde, çok açılı algısal derinlik oluşturmak.	Çok açılı gözlem sağlayan görüntü üretiminde temel teknoloji.
Laser Projection (LBS)	Görüntünün doğrudan retinaya veya optik yüzeye projeksiyonu.	Dalga cephesi oluşturma için temel ışık kaynağı olarak.
Beam Combiner / Optical Combiner	Optical see-through sistemlerde görüntü eşleyen yarı yansıtıcı aynalar.	Hologram kaydı sırasında referans ışını ve nesne ışınının girişim oluşturacak şekilde çakıştırılması.

Tablo 3. (Devam) AG ve DH alanlarında kullanılan ortak teknolojiler (Common technologies used in AR and DH fields)

Ortak Teknoloji	AG'deki Kullanımı	DH'deki Kullanımı
Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)	Laser Beam Scanning sistemlerinde lazerin yönlendirilmesi.	Faz modülasyonunda dalga cephesi üretimi.
Laser Beam Scanning (LBS)	Görüş alanında doğrudan lazerle görüntü oluşturma.	Işık demetinin belirli düzlemlerde taranması yoluyla hacimsel görüntü oluşturma.
Diffraction Optical Elements (DOE)	Görüntüyü kullanıcının görüş alanına yönlendirme (HUD, HMD).	Işık dalgalarının difraksiyona uğratılması. Holografik görüntü üretiminde adaptif ışık kontrolü.

Not. Tabloda yer alan teknolojiler, benzer donanımlar ve ortak fiziksel prensiplere dayanmaktadır. Ancak AG ve DH sistemlerinde; uygulama şekli, işlevi ve amaçları bakımından farklılık göstermektedir. Bu tablo "Hologramlar, Holografik Optik Düzenekler ve Bir Artırılmış Gerçeklik Uygulaması" başlıklı sanatta yeterlik tezindeki tarama bulgularına dayalı olarak yeniden yapılandırılmıştır [21]

5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Analiz sonuçlarından anlaşılmıştır ki, günümüzde AG uygulamalarında kullanılan cihazlar, donanımlar ve görüntüleme sistemleri; DH alanında kullanılan teknolojik altyapıları doğrudan ya da dolaylı yollarla, bütüncül bir sistemin parçası veya alt bileşen olarak kullanılmaktadır. Ancak, aynı teknoloji ve optik prensiplere dayanan bu donanımlar, AG'nin kendine özgü amaçlarına uygun şekilde yeniden yapılandırılarak farklı işlevler için kullanılmaktadır.

Örneğin, dalga kılavuzu optiği (waveguide optics) teknolojisi her iki alanda da mevcuttur. Temel işlevi, ışığın belirli bir alana yönlendirilmesi olan bu donanım, AR teknolojilerinde, görüntünün izleyicinin görüş alanına belirli bir açıyla yerleştirilmesini sağlayan geçirgen bir plaka şeklindedir (ör. HoloLens, Magic Leap). Buna karşılık, DH'de, ışığın fazını kontrol etmek veya ışık alanını yönlendirmek gibi farklı amaçlara hizmet etmektedir [22]. Benzer şekilde, mikro elektro mekanik sistemler (Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS), AG ortamlarında lazer ışınlarının yönlendirilmesinde kullanılırken; DH'de bu sistemler, dalga cephesi oluşturma işlevi görmektedir [23]. Ortak teknolojiler arasında yer alan uzamsal ışık modülatörleri (Spatial Light Modulators, SLM), ışığın fazını, genliğini veya polarizasyonunu piksel düzeyinde kontrol edebilen optik bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu sistemler, maliyetli ve yüksek enerji ihtiyacı olan

donanımlar oldukları için bazı prototipler dışında yaygın ticari kullanımları bulunmamaktadır [24].

Bütün bu bilgiler ışığında, tek başına iki alan arasında teknoloji paylaşımının varlığı, AG uygulamalarının hologram olduğu anlamına gelmediğini söylemek yanlış olmayacaktır. Bu ilişki, yakınsamanın doğasında bulunan, iki bağımsız teknolojinin birleşerek yeni bir sonuç doğurması durumudur [25].

Analiz sonuçlarına göre AG alandaki mevcut sınıflandırma yaklaşımları incelendiğinde; başa takılan ekranlar, elde taşınan sistemler, gözlük formundaki yapılar gibi cihaz ve teknolojilerin kullanım biçimlerine; optik ve video geçirgen sistemler ve retinal ekranlar gibi görüntüleme yöntemlerine; veya sanal vitrinler, şeffaf ekranlar ve ışık alanı ekranları gibi donanımsal özelliklere dayalı olarak şekillendiği görülmektedir.

Literatürde en çok karşılaşılan ve kabul gören çalışmalardan; Milgram ve Kishino'nun [18] taksonomi yaklaşımı, AG'yi sanallık ve gerçeklik ekseninde, sayısal verilerin baskınlık durumu üzerinden ele almaktadır. Bir diğeri, Azuma'nın [17] "A Survey of Augmented Reality" başlıklı çalışması ise AG'nin tanımlanabilmesi için üç temel kriter belirlemektedir. Bunlar sırasıyla: (1) AG'nin gerçek ve sanal birleştirmesi, (2) gerçek zamanlı etkileşim sağlaması ve (3) üç boyutlu olarak kaydedilmiş -sanal varlıkların gerçek dünya üzerine doğru şekilde hizalanmış- olmasıdır. Bu kriterlerle Azuma, AG'yi belirli donanımlarla sınırlamadan kavramsal bir çerçeve oluşturarak optik algı, kullanıcı deneyimi ve çoklu duyuşal uyaranlar üzerinden incelemiştir.

Zhou vd. [26], AG alanındaki araştırma eğilimlerini incelediği çalışmada, 10 yıllık ISMAR, ISMR, ISAR ve IWAR konferans literatürünü tarayarak, en çok araştırılan konuların sırasıyla (1) hareket takibi teknikleri (%20,1) ve (2) etkileşim ile görüntüleme sistemleri (%14,7) olduğunu belirlemiştir. Görüntüleme teknikleri ise %11,8 oranıyla beşinci sırada yer almaktadır. Çalışmaya göre, araştırmaların odaklandığı başlıca sınıflandırma başlıkları; giyilebilir ekran teknolojileri, video projeksiyon yöntemleri ve elde taşınabilen sistemlerdir.

AG alanında, genellikle sahne sanatları, sergileme, eğitim, oyun, bakım-onarım, pazarlama, mimarlık ve ulaşım gibi multidisipliner alanlarda uygulama örnekleri gözlemlenmektedir. Bu bağlamda; yazılım, sanat ve medya prodüksiyonu, eğitsel içerik tasarımı, görsel ve etkileşim tasarımı, pazarlama ve reklamcılık gibi disiplinlerde faaliyet gösteren araştırmacıların çalışmalarına terminolojik netlik kazandırmak amacıyla, multidisipliner düzeyde herkesçe anlaşılabilir bir görsel-algısal sınıflama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak konuyu AG ve DH'nin arasındaki teknolojik bağlantılar ve holografik kriterler üzerinden ele alarak kavramsal belirsizlikleri gidermeye yönelik sınıflandırma yaklaşımlarının eksikliği dikkat çekmektedir.

6. TAKSONOMİ MODELİ (TAXONOMY MODEL)

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, yalnızca kullanılan ortak teknolojiler ve donanımlar üzerinden

AG'nin holografik bağlarının anlaşılması yeterli görünmemektedir. Ayrıca alanda kullanılan cihaz, donanım, yazılım ve teknolojiler çok geniş bir yelpazede çeşitlenmekte ve araştırma-geliştirme faaliyetleriyle sürekli artmakta ve dönüşmektedir. Dolayısıyla, teknoloji temelli bütüncül bir sınıflama yapmak neredeyse imkansızdır ve zamanla güncelliğini yitireceği söylenebilir. Bu anlamda, teknolojileri de göz ardı etmeden; ancak multidisipliner alanda anlaşılabilir ve uygulanabilir holografik kriterler çerçevesinde oluşturulmuş görsel-algısal bir taksonomi yaklaşımı benimsenmiştir.

Kuramsal Temeller bölümünde, bahsi geçen holografının "tam kayıt" özelliği esas alınarak, AG uygulamalarının holografik olup olmadığını ayırt etmek amacıyla şu kriterler belirlenmiştir; Hologramların, (1) faz ve genlik bilgisini içermesi, (2) dalga cephesinin yeniden üretmesi, (3) kayıtlı olduğu ortamdan (kayıt plakası) bağımsız

olması, (4) çıplak gözle izlenebilir olması ve (5) çoklu bakış açılarından gözlemlenebilir olması, AG uygulamalarının holografik açıdan değerlendirilmesinde, genel geçer biçimde uygulanabilir ve standartlaştırılabilir temel ayırt edici kriterlerdir.

Bu kriterler şu anlama gelir; Hologramlar, fiziksel bir düzlem (kayıt plakası veya uzamsal ışık modülatörü, SLM) üzerinde üretilir. Bu düzlem, ışığın faz ve genlik bilgilerini taşıyan bir dalga cephesi kodlama alanıdır. Gözlem sırasında, bu düzlemde kayıtlı bilgiler aracılığıyla nesnenin dalga cephesi yeniden oluşturulur. Böylece gözlemci, görüntüyü kayıt düzleminde bağımsız şekilde, uzamsal olarak boşlukta ve çıplak gözle algılar. Ayrıca bu görüntüler farklı bakış açılarından gözlemlenebilir paralaks etkiye sahiptir. Hazırlanan "Görsel Algısal Değerlendirme Modeli", artırılmış gerçeklik uygulamalarının görüntüleme türlerini Holografik, Hibrit ve Grafik olmak üzere üç ana

Tablo 4. Holografik kriterlere dayalı görsel-algısal değerlendirme modeli (Visual perceptual evaluation model based on holographic criteria)

Sınıf	Algı	Görsel Kod	Temsili Görsel	1 Faz ve Genlik?	2 Dalga Cephesi?	3 Ortam Bağımsız?	4 Çıplak Göz?	5 Çoklu Bakış?
Grafik	Düzlemsel	Grafik		×	×	×	✓	×
	Optik Derinlik	Saydam		×	×	×	✓	×
		Çok Katmanlı		×	×	×	✓	×
Hibrit	Algısal Derinlik	Stereo		×	×	×	×	!
		Dalga Kılavuzu		×	×	×	×	!
		Işık Alanı		×	×	×	✓	×
	Gerçek Derinlik	Hacimsel		×	×	✓	✓	!
		Plazma		×	×	✓	✓	!
Holografik	Holografik Derinlik	Elektro-Optik		✓	✓	✓	✓	✓
		Akusto-Optik		✓	✓	✓	✓	✓

Not. Bu tablo, artırılmış gerçeklik uygulamalarını holografik kriterlerle şu sorular üzerinden değerlendirmektedir. (1) Faz ve genlik bilgisini içeriyor mu? (2) Dalga cephesinin yeniden üretilmesi mi? (3) Kayıt ortamından bağımsız mı? (4) Çıplak gözle izlenebilir mi? (5) Çoklu bakış açılarından gözlemlenebilir mi? Sembollerin anlamları; (✓) Evet, (×) Hayır, (!) Bazen.

kategoriye ayırmaktadır. Alt kategoriler, algısal derinlik bağlamında; düzlemsel, optik derinlik, algısal derinlik, gerçek derinlik ve holografik derinlik olmak üzere beş alt gruba ayrılmıştır. Uygulama türleri ise, görüntü oluşturma prensipleri temel alınarak; grafik, saydam, çok katmanlı, stereo, dalga kılavuzu, ışık alanı, hacimsel, plazma, elektro-optik ve akusto-optik şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu listede yer almayan uygulama türleri de, aynı kriterler temel alınarak tablodaki uygun kategorilere yerleştirilebilir ve gelecekteki çalışmalarda modele eklenebilir. Taksonomi modeli Tablo 4’te detaylı şekilde sunulmuştur.

6.1. Modelin Cihaz ve Teknik Belgeler Üzerinden Test Edilmesi (Testing the Model Based on Devices and Technical Documents)

Bu bölümde, geliştirilen modelin tutarlılığı; farklı kategorilere ait örnek cihazlar, uygulama alanları ve bunlara ilişkin tanıtım materyalleri, teknik dökümanlar ve görsel içerikler üzerinden incelenmiştir.

6.1.1. Düzlemsel (Planar)

Mobil telefonlar ve tabletler gibi cihazlar aracılığıyla, gerçek zamanlı video görüntüler üzerine dijital grafikler eşlenmesiyle oluşturulan artırılmış gerçeklik uygulamaları ve opak yüzeyler üzerinde görüntü eşlemesi yapan video projeksiyon tekniklerine dayalı uzamsal artırılmış gerçeklik uygulamaları, grafik içerikler kategorisinde değerlendirilmektedir. Görsel algısal kriterler üzerinden, bu tür AG uygulamalarının hologram olarak nitelendirilemeyeceği söylenebilir.

6.1.2. Optik derinlik (Optical depth)

Şekil 4’deki HoloCube gibi sanal vitrinler veya transparan ekran teknolojileri optik derinliğe sahip, grafik tabanlı saydam ekranlar kategorisinde girmektedir [27]. HoloCube, belli bir açıyla yerleştirilmiş geçirgen yansıtım yüzeyi üzerine projeksiyon veya aktif görüntü birimi (LED ekran) ile oluşturulan grafik görüntülerin gerçek ortam ile eşlenmesini sağlayan bir düzendir.

Şekil 5’te gösterilen transparan ekranlar ise, OLED ekran teknolojisinin şeffaf paneller üzerine entegre edilmiş halidir [28]. Görsel algısal kriterler çerçevesinde, bu kategoriye giren AG uygulamalarının hologram olmadıkları net bir şekilde söylenebilir.

Çok katmanlı ekranlar kategorisi, fiziksel olarak birden fazla saydam veya yarı saydam ekran plakasının üst üste yer aldığı ve her katmanın farklı odak düzlemleri oluşturarak derinlik hissi uyandırdığı ekran teknolojileridir.



Şekil 4. HoloCube sanal vitrin, 2010 (HoloCube virtual showcase, 2010)



Şekil 5. Şekil 5. LG transparan OLED ekran teknolojisi, 2014. (LG transparent OLED display technology, 2014)

Bu yaklaşımın çok fazla örnekleri bulunmamasına rağmen, MIT Media Lab Tensor Display ve SeeReal Multi-plane Display gibi geliştirme aşamasındaki prototipler örnek gösterilebilir [29]. Bu kategorideki bazı uygulamalar sınırlı düzeyde paralaks etkisine sahip olsa da, hologram olmadıkları açıktır.

6.1.3. Algısal derinlik (Perceptual depth)

İnsan gözleri, birer kamera gibi etrafındaki ortamı gözlemlemektedir. Herhangi bir cisme odaklanıldığında, gözler arasındaki mesafeden dolayı her iki gözün yakaladığı görüntü arasında ufak bir açısal fark oluşmaktadır. Bu iki görüntü beyinde yorumlandığında, açısal fark nedeniyle derinlik algısı oluşur. Şekil 6’daki [30] başa takılan ekranlar veya gözlük konseptindeki stereoskopik artırılmış gerçeklik cihazları, insan fizyolojisindeki bu özelliği taklit ederek her iki gözün görüş alanına yerleştirilmiş iki farklı ekranda, açısal farklılığa sahip iki ayrı görüntü gösterir. Böylelikle stereoskopik derinlik hissi yaratırlar [31].

Bu anlamda, stereogramlar derinlikli bir algıya sahip olmalarına rağmen binoküler görüşe dayalı tamamen farklı bir prensiple çalışmaktadır ve bu presibe dayanan AG uygulamalarının hologram yerine “*stereoskopik artırılmış gerçeklik*” şeklinde isimlendirilmeleri daha doğru olacaktır.



Şekil 6. Meta Quest 3 video see-through karma gerçeklik gözlüğü, 2023. (Meta Quest 3 video see-through mixed reality glasses, 2023)

Ekran formatındaki stereoskopik görüntü birimleri (autostereoscopic visualisation systems), gözlük gibi bir ekipman gerektirmeden stereoskopik görüntü oluşturan sistemlerdir. Bu anlamda, çıplak gözle gözlemlenebilir bir derinlik algısına sahiptirler.

Şekil 7’de gösterilen [32] Sony ELF-SR2 ve Leia Lume Pad gibi daha gelişmiş ekran teknolojilerine sahip sürümler, göz takibi ve ışık alanı yönlendirme gibi nanoteknolojiler kullanarak belirli ölçüde paralaks etkisine sahip görüntüler oluşturabilmektedir. Ancak, bu cihazlar dalga cephesi üretmezler ve ekran bağımsız çalışmazlar. Bu nedenle hologram niteliği taşımaları da, holografik özellikler gösteren hibrit sistemler olarak tanımlanabilirler.



Şekil 7. Sony ELF-SR2 uzamsal gerçeklik ekranı, 2023. (Sony ELF-SR2 spatial reality display, 2023)

Dalga kılavuzu (waveguide) teknolojisi, genellikle Şekil 8’de [33] gösterilen Magic Leap 2 başa takılan optik geçirgen ekran cihazlarında kullanılan bir sistemdir. Bu teknoloji, dalga kılavuzu adı verilen yarı saydam yansıtıcı bir plaka yüzeyinden, projektör veya aktif görüntü birimi (LED ekran) tarafından üretilen görüntüyü gözlemcinin gözlerine yönlendirme prensibine dayanmaktadır [13]. Günümüzde yaygın olarak kullanılan LED veya LCD tabanlı dalga kılavuzlarını hologram olarak değerlendirmek güçtür. VividQ [34] ve Dispelix [35] gibi teknoloji firmaları tarafından geliştirilmekte olan bazı gelişmiş dalga kılavuzları, koherent ışık kaynakları kullanarak ışığın faz ve genlik bilgisini kodlayabilmekte, faz modülasyonu (phase modulation) ile girişim desenlerini manipüle ederek holografik görüntüler oluşturabilmektedir. Ancak bu sistemler, yüksek hesaplama gücü ve enerji gereksinimi duyar ve yalnızca bazı prototiplerle sınırlıdır.



Şekil 8. Magic Leap 2 artırılmış gerçeklik gözlüğü, 2022. (Magic Leap 2 augmented reality glasses, 2022)

Işık alanı ekranları (light field displays), geleneksel iki boyutlu görüntüleme birimlerinden farklı olarak, bilgisayar algoritmaları ile ışığın yönünü ve yoğunluğunu ayarlayarak üç boyutlu derinlik hissi uyandıran bir teknolojiye sahiptir. Bu yönüyle, ışık alanı

ekranları holografik görüntüleri taklit eden ama gerçek anlamda hologram olmayan teknolojilerdir. Bu görüntüleme sistemleri, koherent olmayan ışık kullanır. Hacimsel ekranlar (volumetric displays), çoklu projeksiyonalar (multi-projector arrays) ve mikro mercekler (microlenses) kullanan yakın-göz ekranları (near-eye displays) gibi pek çok sistem, ışık alanı görüntü oluşturma teknolojilerinden yararlanmaktadır [36].

Şekil 9’da [37] Looking Glass Factory firması tarafından üretilen Looking Glass teknolojili ekranlar ışık alanı ve çok katmanlı ekran teknolojilerini kullanmaktadır. Bu ekranlar, kullanıcının bakış açısını anlık olarak takip ederek sahnenin yüzlerce farklı perspektiften görüntüsünü üretir ve ışık alanı yönlendirme teknolojisi ile doğru perspektifteki görüntüleri kullanıcının görüş alanına getirir.



Şekil 9. Looking Glass uzamsal ekran, 2018. (Looking Glass spatial display, 2018)

6.1.4. Gerçek derinlik (Real depth)

Volümetrik ekranlar (volumetric displays), bilgisayar destekli dönen helisel ekran (helical display), titreşen kavisli aynalar (vibrating mirror), kızılötesi lazer ışınlarının kesişim noktaları ile ışık üreten çift ışınlı görüntü sistemleri (double-beam display) gibi teknolojileri kullanarak, ortamda bulunan yüksek yoğunluklu özel gazlar, toz partikülleri, sis veya çok katmanlı yüzeyler gibi yansıtım ortamlarında gerçek üç boyutlu görüntüler oluşturabilen bir görüntüleme teknolojisi [15].

Hem algısal hem de gerçek anlamda farklı açılardan gözlemlenebilir hacimsel görüntüler oluşturabilen bu sistemler, çıplak gözle derinlik algısı oluşturabilme gibi kısmen holografik özellikler gösterebilir de herhangi bir girişimsel faz verisi içermemektedir. Bu tür uygulamaları “volümetrik artırılmış gerçeklik” şeklinde isimlendirmek daha isabetli olacaktır.

Örneğin, Şekil 10’da gösterilen [38], Fransız sanatçı Joanie Lemercier tarafından geliştirilmiş No-logram, hareket sensörleri ve projeksiyon sistemi ile izleyicinin konumsal verisini sürekli takip ederek, ortamdaki havada asılı partiküller üzerine görüntü yansıtımı prensibiyle çalışan bir sistemdir. Lemercier [38], “hologram kelimesinin yanıltıcı kullanımından kaçınmak için No-logram ismini kullandığını” belirterek No-logramların hologram olmadığı düşüncesini desteklemektedir.



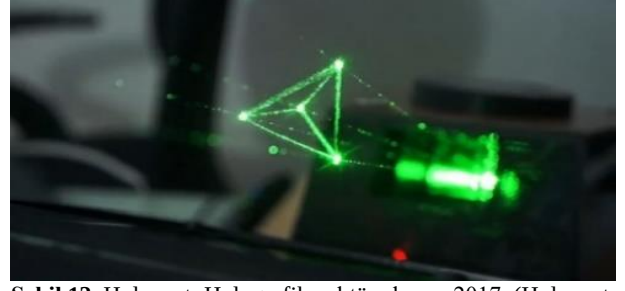
Şekil 10. Joanie Lemerrier'in atölyesinden No-logram, 2017. (No-logram from Joanie Lemerrier's workshop, 2017)

IO2 Teknoloji firması tarafından geliştirilen Heliodisplay'ler, volümetrik görüntüler oluşturmak için ortamda bulunan hava içindeki atomize parçacıkları kullanır. Nehmetallah ve diğerleri [14], "IO2 Technology bu teknolojiyi "holografik" olarak tanıtsa da ve kamuoyu tarafından yaygın olarak bu şekilde algılansa da, holografi prensipleri içermez" ifadeleriyle Şekil 11'deki [39] Heliodisplay'lerin hologram olmadığını belirterek çalışma bulgularını desteklemektedir.



Şekil 11. IO2 firması tarafından geliştirilen 3D Heliodisplay, 2001. (3D Heliodisplay developed by IO2 company, 2001)

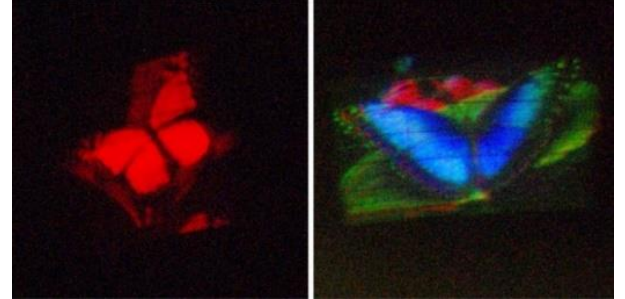
Şekil 12'deki [40] HoloVect, Jaime Ruiz-Avila tarafından 2017'de bir Kickstarter projesi olarak başlatılan, masaüstü uygulamaları ve laboratuvar ortamlarında kullanılabilen, lazer tabanlı bir hacimsel ekran teknolojisidir. Bu cihaz, modifiye edilmiş hava içindeki kırılma (refraction) ve yansıma (reflection) prensipleriyle havada asılı duran üç boyutlu vektör görüntüler oluşturabilen bir teknolojiye sahiptir. Ruiz-Avila [40], "Holovect görüntüler hologram değildir, bunun yerine modifiye edilmiş hava üzerine yansıtılan hacimsel vektör görüntülerdir" ifadeleriyle bu teknolojinin hologram olmadığını belirtmiş, ancak "...üç boyutlu bilgi içerdiğinden ve havada serbestçe yüzen nesneler olduklarından..." holografik bir teknoloji olduğunu vurgulamıştır.



Şekil 12. Holovect: Holografik vektör ekranı, 2017. (Holovect: Holographic vector display, 2017)

6.1.5. Holografik derinlik (Holographic depth)

Tabloda holografik kodlaması ile yer alan görüntüleme türleri, lazer girişimi kullanarak faz ve genlik bilgisini kaydedebilen ve dalga cephesini gerçek zamanlı olarak tekrar oluşturabilen dijital holografi teknolojileridir. Gerçek zamanlı dijital holografide, uzamsal ışık modülatörleri (spatial light modulator) kullanılarak holografik görüntüler oluşturulabilmesine rağmen, bu hesaplamalar çok büyük işlemci gücü gerektirdiğinden, deneysel uygulamalarda oluşturulan kısa süreli hareketli görüntüler dışında, akıcı ve gerçek zamanlı sunumlar henüz üretilmemektedir. Bu nedenle, teknoloji henüz yaygın olarak kullanılamamakta ve ticari bir ürüne dönüşmüş örnekleri bulunmamaktadır. Örneğin, Şekil 13'teki [41], MIT Media Lab tarafından üretilen ve hala geliştirme aşamasında olan Mark-I (1990) ve Mark-II (1994) prototipleri gerçek holografik görüntüleme teknolojisi örnekleri arasında sayılabilir [42].



Şekil 13. MIT Media Lab holografik video prototipleri. (MIT Media Lab holographic video prototypes)

SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma, artırılmış gerçeklik uygulamaları ve holografi teknolojileri alanında süregelen kavramsal ve terminolojik karmaşaları gidermek amacıyla yürütülmüştür. Bu çerçevede, "Artırılmış gerçeklik sunumları 'hologram' olarak adlandırılabilir mi?" sorusuna yanıt aranmıştır. Söz konusu teknolojiler sistematik bir biçimde analiz edilerek artırılmış gerçeklik ile dijital holografi arasındaki teknolojik bağlantılar ve ayrım noktaları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Nitel araştırma paradigması çerçevesinde yürütülen çalışmada, içerik analizi ve tematik kodlama yöntemleri kullanılmıştır. Taranan dokümanlar; raporlar, teknik belgeler, bilimsel makaleler, kitaplar, kitap bölümleri, tanıtım materyalleri ve görsel kayıtlardan oluşmaktadır. Bu süreçte, artırılmış gerçeklik ve dijital holografi alanlarında kullanılan teknolojik ortaklıklar ile

literatürde yer alan mevcut sınıflandırma yaklaşımları araştırılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, artırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanılan bazı teknolojik altyapılar holografik sistemlerle benzerlik göstermektedir. Ancak bu altyapılar, farklı kullanım amaçları doğrultusunda çeşitlenmekte ve ayrılmaktadır.

Ayrıca, literatürdeki mevcut sınıflandırmaların genellikle cihazların kullanım biçimlerine, görüntüleme yöntemlerine ve donanımsal özelliklerine dayalı olarak şekillendiği görülmektedir. Ancak artırılmış gerçekliği holografik teknolojiler perspektifinden ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, artırılmış gerçeklik ile dijital holografi arasındaki teknolojik bağları bütüncül biçimde değerlendirebilecek alternatif bir sınıflandırma yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu ihtiyaçtan hareketle, yalnızca teknolojik sınıflamayla sınırlı kalmayan; aynı zamanda holografik kriterleri ve görsel algı temelli değerlendirmeleri de içeren bir model önerilmiştir. Önerilen model bu yönüyle, yalnızca güncel teknolojik gelişmelere değil, gelecekteki çalışmalara da uyarlanabilir ve zamana dirençli bir çerçeve sunmaktadır. Ayrıca bu yaklaşım, özellikle tasarım, eğitim, sergileme, sahne sanatları ve sinema gibi multidisipliner alanlarda konuyu yalnızca teknolojik değil, alana özgü farklı bağlamsal önceliklerle ele alan araştırmacılar için yol gösterici olması bakımından önem taşımaktadır. Böylece, alan yazındaki kavram karmaşasının azaltılmasına yönelik katkı sağlanması hedeflenmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Oğuz BALAS: Çalışmanın tamamına %100 katkı yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] "Geçmişten Geleceğe Yansımalar: Hologram", Pera Müzesi [Çevrimiçi]. Erişim: 21 Aralık 2024. Adres: <https://www.peramuzesi.org.tr/pera-ogrenme/atolye/gecmisten-gelecege-yansimalar-hologram/4506>
- [2] Aslan, R. ve Erdoğan, S., "21. Yüzyılda hekimlik eğitimi: Sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, hologram", *Kocatepe Veteriner Dergisi*, 10: 204–212, (2017).
- [3] Bingöl, B., "Yeni bir yaşam biçimi: Artırılmış gerçeklik (AG)", *Etkileşim*, 1: 44–55, (2018).
- [4] Bakırcı, H., Gök, N., ve Artun, H., "Fen öğretiminde kullanılan hologram uygulamalarına yönelik Fen Bilimleri öğretmenlerinin görüşleri", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23: 1334–1348, (2021).
- [5] Young, H. D. ve Freedman, R. A., "*Sears and Zemansky's university physics: With modern physics*", 13, Addison-Wesley, (2012).
- [6] Hecht, E., "*Optics: Global edition*", 5, Pearson, (2016)
- [7] Ackermann, G. K. ve Eichler, J., "Holography: A practical approach", Wiley, (2007).
- [8] Falk, D., Brill, D., ve Stork, D., "*Seeing the light: Optics in nature, photography, color, vision, and holography*", Echo Point Books, (2019).
- [9] Poissant, L., "Part IV: Holography", *Leonardo*, 34: 370–380, (2001).
- [10] Hariharan, P., "*Optical holography: Principles, techniques and applications*", 2, Cambridge University Press, (1996).
- [11] Saxby, G., "*Practical holography*", Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, (2004).
- [12] Poon, T.-C. ve Liu, J.-P., "*Introduction to modern digital holography with Matlab*", Cambridge University Press, (2014).
- [13] Li, J., Hong, J., Zhang, Y., Li, X., Liu, Z., Liu, Y., ve Chu, D., "*Cameras and display systems towards photorealistic 3D holography*", Springer, (2023).
- [14] Nehmetallah, G. T., Aylo, R., ve Williams, L. A., "*Analog and digital holography with Matlab*", Spie Press, (2019).
- [15] Vacca, J. R., "*Holograms & holography: Design, techniques & commercial applications*", Charles River Media, (2001).
- [16] Papagiannis, H., "*Augmented human: How technology is shaping the new reality*", O'Reilly Media, Sebastopol, (2017).
- [17] Azuma, R. T., "A survey of augmented reality", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6: 355–385, (1997).
- [18] Milgram, P. ve Kishino, F., "A taxonomy of mixed reality visual displays", *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D: 1–15, (1994).
- [19] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., and Kishino, F., "Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum," *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351: 282–292, (1995).
- [20] "WorldCat"[Çevrimiçi]. Erişim: 11Ağustos2024. Adres: <https://search.worldcat.org/>
- [21] Balas, O., "Hologramlar, holografik optik düzenekler ve bir artırılmış gerçeklik uygulaması", Yayınlanmamış Sanatta Yeterlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, (2025).
- [22] Arnaldi, B., Guitton, P., ve Moreau, G., "*Virtual reality and augmented reality: Myths and realities*", John Wiley & Sons., (2019).
- [23] Asundi, A., "*Digital holography for MEMS and microsystem metrology*", Wiley, (2011).
- [24] He, Z., Sui, X., Jin, G., ve Cao, L., "*Progress in virtual reality and augmented reality based on holographic display*", *Applied Optics*, 58: A74, (2019).
- [25] Park, S. E., "Technological convergence: Regulatory, digital privacy, and data security issues," *Congress.gov, Library of Congress*, (2019).
- [26] Zhou, F., Dun, H. B. L., ve Billingham, M., "Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR", *Proceedings - 7th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008*, ISMAR 2008, 193–202, (2008).
- [27] "Holocube: products: HOLOCUBE HC10" [Çevrimiçi]. Erişim: 17Mart2025. Adres: <https://www.holocube.eu/products/holocube-hc10/photo/>

- [28] "LG Display Unveils Latest Transparent OLED Solutions for Mobility at 'InnoTrans 2022' - LG Display Newsroom" [Çevrimiçi]. Erişim: 17 Mart 2025. Adres: <https://news.lgdisplay.com/en/2022/09/lg-display-unveils-latest-transparent-oled-solutions-for-mobility-at-innotrans-2022/>
- [29] MIT Medya Laboratuvarı, "Tensor Displays: High-Quality Glasses-Free 3D TV", MIT Medya [Çevrimiçi]. Erişim: 25 Nisan 2025. Adres: <https://www.media.mit.edu/projects/tensor-displays-high-quality-glasses-free-3d-tv/overview/>
- [30] "Meta Quest 3: Mixed Reality VR Headset - Shop Now | Meta Store" [Çevrimiçi]. Erişim: 17Mart2025. Adres: <https://www.meta.com/quest/quest-3/?srsltid=AfmBOOoaWwdm6VIJ21RghzCkinjqh1eY68kjYbZ3HWxxiXQ0a6DlLLs>
- [31] Stidwill, D. ve Fletcher, R., "*Normal binocular vision: Theory, investigation and practical aspects*", Wiley-Blackwell, (2014).
- [32] "ELF-SR2 spatial reality display", Sony Pro [Çevrimiçi]. Erişim: 22Kasım2024. Adres: https://pro.sony/en_IN/products/spatial-reality-displays/elf-sr2
- [33] "Magic Leap 2 Arrives In September With A Hefty Price Hike" [Çevrimiçi]. Erişim: 18Mart2025. Adres: <https://www.slashgear.com/925745/magic-leap-2-arrives-in-september-with-a-hefty-price-hike/>
- [34] Vividq, "Cobalt AR", Vividq [Çevrimiçi]. Erişim: 25 Mart 2025. Adres: <https://www.vividq.com/products/cobalt-ar>
- [35] Dispelix, "Augmented and mixed reality waveguide combiners", Dispelix [Çevrimiçi]. Erişim: 25Mart2025. Adres: <https://dispelix.com/technology/>
- [36] Schmalstieg, D. ve Höllerer, T., "*Augmented reality: Principles and practice*", Addison-Wesley, (2016).
- [37] "Looking Glass 16" Spatial Displays" [Çevrimiçi]. Erişim: 18 Mart 2025. Adres: <https://lookingglassfactory.com/16-spatial-oled>
- [38] Lemercier, J., "No-logram", Studio Lemercier, 2017 [Çevrimiçi]. Erişim: 20 Aralık 2024. Adres: <https://joanielemercier.com/no-logram/>
- [39] Farkas, K. ve de Lara, E., *IO2 Technology's 3D Heliodyisplay. [Fotoğraf], New Products, IEEE Pervasive Computing*, 4: 4–7, (2005).
- [40] Ruiz-Avila, J., "Holovect: Holographic vector display", Kickstarter, 2017 [Çevrimiçi]. Erişim: 02Aralık2024. Adres: https://www.kickstarter.com/projects/2029950924/holovect-holographic-vector-display?ref=discovery&term=Holovect%3A%20Holographic%20Vector%20Display&total_hits=1&category_id=16
- [41] Smalley, D., "A hologram of a butterfly" [Çevrimiçi]. Erişim: 15Aralık2024. Adres: <https://news.mit.edu/2013/cheap-color-holographic-video-0619>
- [42] "Holo video", MIT Media Lab[Çevrimiçi]. Erişim: 12Aralık2024. Adres: <https://www.media.mit.edu/spi/holoVideoAll.htm>