

## Displaying three-dimensional medical visualization studies on volumetric screen<sup>1</sup>

Eda Erkan<sup>2</sup>, Banu Bulduk Türkmen<sup>3</sup>

<sup>2</sup> TOBB ETÜ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Görsel İletişim Tasarımı Bölümü, Ankara, Türkiye; <sup>3</sup> Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Grafik Bölümü, Ankara, Türkiye.

### ABSTRACT

It has been proven in many scientific studies that vision is the most important perceptual mechanism for humans. Methods in visualizations focus on visual perception cues and data exchange based on the interaction between humans and technological devices. Medical animations are becoming increasingly important with the development of technology, and new methods in the field of three-dimensional imaging and display technologies are developing rapidly. Medical professionals must be informed about these developments. These technological innovations have emerged as pivotal instruments within the broader domain of medical communication, which encompasses a diverse array of methods tailored to cater to the evolving needs of this expanding field. Three-dimensional animations, in particular, have garnered significant attention from researchers within the medical community due to their remarkable efficacy in conveying complex information. These animations have the remarkable capacity to transcend physical boundaries, reaching viewers through a variety of devices, including smartphones, tablets, television sets, and computers. Volumetric display technology, a significant innovation in medical animation, is predicated on image and depth perception. This technology is poised to play a substantial role in medical science. The investigative approach employed in this article is a descriptive analysis that leverages qualitative research techniques. Through an examination of three-dimensional visualization applications in the medical field from a descriptive analytical perspective, the study highlights the necessity of volumetric displays capable of producing lifelike images. The objective is to introduce volumetric display technology to this domain and to understand the effect of volumetric display technology for comfortable and effective presentation of images obtained with medical visualizations to medical specialists, patients and their relatives, medical students, and healthcare professionals.

### KEYWORDS

Hologram, volumetric display, 3d animation, medical visualization, holographic display.

## Introduction

Recent advancements in the medical field have been observed to be increasingly prevalent on a global scale. Visual communication plays a pivotal role in the transfer of information within the medical domain. It has been noted that the dissemination of information in crucial domains such as education, patient communication, and surgical planning necessitates the utilization of visual communication. Contemporary medical specialists have demonstrated a preference for elucidating theoretical concepts through the medium of visualization. In the context of modern medical education and practice, there is an increasing demand for more realistic and interactive visualization solutions. In this context, medical professionals require visualization techniques to inform decision-making processes in addressing specific medical challenges and to facilitate

<sup>1</sup> This study was produced from the art proficiency thesis titled "Display of Three-Dimensional Animations on Holographic Screens (Volumetric Displays) in Medicine".

data analysis. Among these techniques, three-dimensional animations have gained prominence as a prevalent form of visualization.

The presentation of three-dimensional visualizations is as crucial as their content. Traditional displays, including televisions, mobile phones, and computers, are deeply integrated into daily life. With technological advancements, various three-dimensional display technologies have emerged, and researchers continuously explore new methods to enhance visual realism and effectiveness. Modern three-dimensional display technologies provide significant benefits to users, with augmented reality and virtual reality gaining increasing popularity. Among these, volumetric displays, which generate holographic images with lifelike quality, are becoming more widespread globally, despite still being relatively unfamiliar to the general public.

The objective of this study is threefold: first, to underscore the significance of three-dimensional visualizations in the medical field; second, to emphasize the utility of three-dimensional animations as a pivotal visual communication medium in medical contexts; and third, to highlight the efficacy of volumetric display technology in providing a more effective and realistic depiction of these animations. In the article, the issue of depth perception is initially addressed, followed by a comparative analysis of various display types.

This research explores the most effective display technology for presenting three-dimensional animations, with the aim of facilitating collaboration between medical professionals and visualization researchers.

The problem of the study is to use volumetric display technology to present three-dimensional animations more effectively and realistically to inform an audience, such as medical sector employees, medical students, patients, and their relatives, to introduce this technology to the target audience and to provide it to the literature.

In addition, the subject examined is limited to the importance of three-dimensional medical visualizations in the medical field and the advantages of their presentation on volumetric screens, which is a three-dimensional screen technology. In this axis, many books, scientific studies, articles, and e-sources were researched in the process of writing the article, and a qualitative research method was used.

In the context of the research topic, the significance of employing three-dimensional display technology in the presentation of medical visualizations has been examined. Initially, the discussion centers on three-dimensional depth cues, with numerous researchers asserting the imperative of comprehending these cues to ensure the efficacy of the display. An examination of the domains where medical animation is utilized underscores the necessity for such animations. Thereafter, the interplay between three-dimensional visualizations and volumetric display technology is investigated. Following this, a discussion of other three-dimensional display technologies is provided, with an emphasis on the relationship between volumetric displays and medical animations. The examination of two-dimensional and three-dimensional display technologies aims to elucidate the distinctions and advantages between them. The study concludes with a discussion of the necessity of volumetric displays in the medical field and the relevance of such a field to medical professionals. The examination of depth cues and usage areas in three-dimensional perception realistically incorporates guidelines for perceiving images.

## Study aim

The objective of this study is to evaluate the benefits of this visualization technique for healthcare professionals, patients, patient relatives, and medical students. This evaluation will consider the ability of medical animations to convey complex information effectively. The study will also examine the use of three-dimensional animation, a visualization technique, in the medical field. This research will investigate how depth perception and realistic imaging

possibilities can transform medical communication. Finally, the study will reveal the importance of disseminating volumetric display technology in medical science.

## Method

### Research design

The investigative approach employed in this article was developed as a descriptive analysis using qualitative research techniques. By examining the purposes for which three-dimensional visualization is used in the medical field with the descriptive analysis method, an attempt was made to understand the need for volumetric displays that offer lifelike images. In this sense, the basic function of depth perception in obtaining lifelike images is emphasized. Then, the use of animations in the medical field is examined, and its importance is underscored. The article further explains the most effective method of presenting three-dimensional medical visualizations on volumetric displays that offer lifelike images by providing basic information about imaging technologies, using comparative explanations, and providing examples.

### Depth cues in three-dimensional perception

Three-dimensional display technologies are created by addressing the consequences of a series of psychological and physical cues. These technologies enable the human brain to perceive two-dimensional images in a three-dimensional world in a lifelike way. Depth cues are visual signals that facilitate understanding of how these images are perceived. Geng explains that physical cues are used to recognize objects, and psychological cues are used to create associations (Figure 1).

“Computer graphics enhances our sense of three dimensions when viewing three-dimensional objects. While an enhanced three-dimensional image may appear to have depth or volume, it is still only two-dimensional due to the nature of two-dimensional viewing on a flat screen. The human visual system needs both physical and psychological depth cues to recognize the third dimension. Physical depth cues can only be introduced by actual three-dimensional objects; two-dimensional images can evoke psychological cues” (Geng, 2013, p. 461).

Images reflected in two dimensions to the human eye create a three-dimensional perception with some interpretations of the object seen. Zúñiga and Orero express the association made by the objects collected from the visual system to the brain as follows:

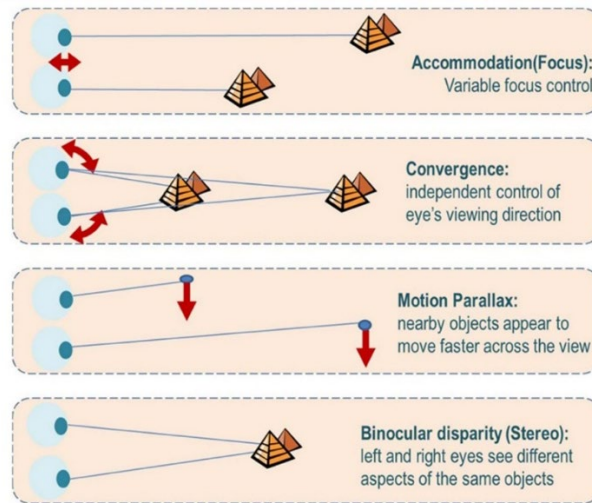
“The images formed on our retina are two-dimensional. All information about distance is extracted from the image and the visual system. This information is collected and reconstructed in the brain and allows the location of objects to be determined in the same way that the auditory system can map the source of a sound” (Zúñiga, Orero, 2013, p. 17).

In their study, Blundell and Schwartz state that people working on imaging technologies should have a good command of depth cues:

“Techniques that study three-dimensional imaging should explicitly incorporate knowledge of depth cues, the visually based mechanisms by which we acquire depth information about the surrounding environment. Understanding depth cues and the human visual system should form a fundamental starting point for anyone working on and developing imaging system technologies.” (Blundell and Schwarz, 2013, p.7).

Depth perception allows us to understand the position, distance, and interrelation of objects in our environment. This process requires certain cues, called depth cues because the information provided by our eyes alone is often not enough. Holliman underlines the importance of depth cues in creating a quality system by stating that “defining the requirements for three-dimensional imaging hardware and the images displayed on it is an important first step towards creating a high-quality three-dimensional imaging system” (Holliman, 2017, p. 292).

Depth cues provide an understanding of exactly where objects in the environment are located. Figure 1 shows the classification of depth cues in terms of physiological cues.



**Figure 1** Classification of depth cues in terms of physiological cues (Geng, 2013, s. 462).

For example, trying to hold an object can confuse a person without depth perception. Interacting with moving objects requires depth perception. For example, when a soccer player kicks a moving ball, it is thanks to depth perception.

Physical Depth Cues Accommodation: Depth Cue is a cue that occurs when the eye changes the curvature of the lens of the eye to focus on what it is looking at. When the eye tries to see a nearby object, the lens muscles become rounded. When trying to see an object farther away, the lens becomes flatter.

"Accommodation is the mechanism by which the human eye alters its optical power to hold objects at different distances, creating a clear focus on the retina" (Reichelt & Haeusler, 2010, p.2).

As these words imply, these contractions help the brain to estimate the distance of objects from the person, allowing the perception of three-dimensional depth.

Convergence Depth Cue refers to the degree to which both eyes move toward each other when looking at a particular object. The eyes rotate toward each other when focusing on a nearby object; the closer the object, the greater the rotation of the eyes toward each other.

"When we look at a particular point of an object with both eyes, the angle made by the two axes of vision is called the convergence angle. Obviously, the muscle tension to turn the pupils inward a little to look at a point gives a cue for depth perception. This cue seen with both eyes is called convergence" (Okoshi, 1976, p.49).

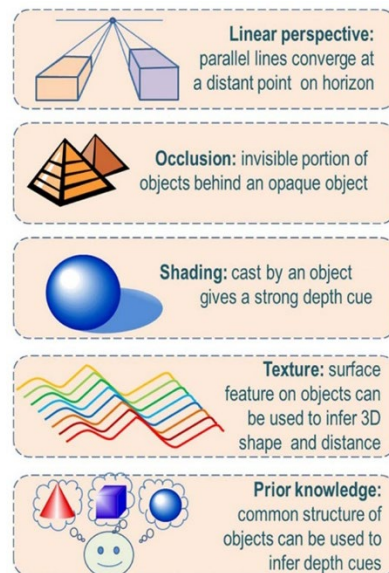
As a result, the brain perceives this movement of the eyes and interprets the distance of the object based on this information.

Another clue, motion parallax, is when a moving person perceives objects as moving at different speeds. Motion parallax plays a crucial role in depth perception. When we simultaneously observe objects at varying distances, the perception that these objects move at different speeds enables the brain to construct a sense of depth and distance. "The relative motion of images on the retina caused by the movement of the observer or the translation of objects across the field of view. For example, if an observer moves his head left and right while fixating on a distant object, there is an inverse relationship between the distance of any closer (stationary) object and the speed at which its image moves on the retina. In a more complex situation with many objects in the field of view at different distances from the observer, a gradient of relative image motion is produced on the retina during each movement of the head" (Rogers, 1979, p. 125).

Binocular Parallax is a condition in which two eyes look at an object, and each eye perceives a different image. This phenomenon allows the brain to perceive images from both eyes and create a three-dimensional depth perception. "It is well known that the visual system can infer the third dimension, depth, from various visual cues in retinal images. One of these cues is binocular mismatch, which is the positional difference between two retinal projections of a given point in space. This positional difference results from the fact that the two eyes are laterally separated and therefore see the world from two slightly different perspectives" (Quian, 1997, p. 359).

Okoshi explains binocular parallax as follows;

"When an observer looks at a point on an object, the light rays originating from that point focus on the centers of the retina in both eyes. Therefore, we can say that the two fovea centralis in the eye pair give "corresponding positions" on the retina, and convergence is determined according to these positions. However, light rays from points other than the point of gaze (fixation point) are not always focused at the corresponding positions on the retina. This effect is called binocular disparity or binocular parallax" (Okoshi, 1976, p. 51). With his words, he gives the scientific definition of binocular parallax.



**Figure 2** Psychological depth cues from 2D monocular images. (Geng, 2013, s. 463).

Linear perspective, a hallmark of psychological depth, involves the creation of a three-dimensional illusion on a two-dimensional surface through the consideration of distance, size, and placement of objects in relation to one another. In essence, the visual perception of distant objects in perspective is characterized by their diminutive size, while nearby objects are perceived as substantial, converging towards a single point of escape. Geng elucidated this phenomenon through the use of a train track illustration, which exemplifies the underlying principle. "Linear perspective is the appearance of relative distance between three-dimensional objects, such as the illusion of railroad tracks converging at a distant point on the horizon" (Geng, 2013, p. 462).

Occlusion, a psychological depth cue, plays a significant role in the process of depth perception. This phenomenon occurs when one object partially obscures another, creating the perception that the obstructing object is closer. Known as "occlusion," this effect plays a fundamental role in shaping the perception of a three-dimensional world. Blundell and Schwarz elucidate this concept, stating, "An opaque object positioned between the observer and a second object obscures at least a portion of the second object, rendering it invisible. This phenomenon enables



the brain to interpret the partially obscured objects as being farther away than the intervening ones (Blundell and Schwarz, 2013, p. 13).

**Shading:** Light falling on a surface is distributed according to the shape of that surface. Surfaces where light is reflected appear brighter, while surfaces in the dark appear darker. This difference helps us understand that an object is three-dimensional by observing its surface curves, ovality, flatness, and other physical details. Geng: "The shading of one object on another provides strong three-dimensional spatial relationship clues. Changes in intensity help the human brain infer the surface shape and orientation of an object" (Geng, 2013, p. 462), drawing attention to the three-dimensional perception created by shading on the human brain.

**Texture depth cues** are clues to how realistic an object looks. It helps to give a surface three dimensions. Holliman: "The texture of objects of fixed size, such as pebbles or grass, will change in size on the retina depending on the distance" (Holliman, 2017, p. 5), referring to the perception that objects with texture will change size at the right distance.

### Three-dimensional medical visualization and application areas

Many researchers cite the work of Leonardo Da Vinci as an example of medical visualizations. However, it was only in the 1980s that it began to be treated as scientific research. Preim and Bartz point out that scientific visualizations are a special field as follows:

"Medical visualization, or medical visualization for short, is a special field of scientific visualization that established itself as a research area in the late 1980s. The roots of scientific visualization are multifaceted; on the one hand, the long tradition of scientists displaying their work in carefully crafted graphics laid the foundation for scientific visualization" (Preim and Bartz, 2007, p. 1).

Medical visualization is the analysis, visualization, and examination of acquired image data to address diagnostic and intervention planning issues. Three-dimensional images are created by three-dimensional artists using specialized software, while scientists develop the technology necessary for effective image presentation. In this context, the images viewed on modern technological devices are considered a multidisciplinary process. As Pandey and Singh's (2019) study notes, "Multimedia and three-dimensional animation is an emerging field in medical education to enhance deeper understanding and spatial knowledge. This interesting technology can be used in both horizontal and vertical integration of medical education" (Pandey & Singh, 2019, p. 481).



**Figure 3** Thumb Sprain Surgery. Access: 20.11.2024, Web: <https://trinityanimation.com/animation-medical>

In this process, Preim and Bartz addressed the application areas of medical visualization in four different types: education, diagnosis, treatment planning, and support during surgery.

#### Use of medical visualization concept in education

Medical visualization in education offers medical students, healthcare professionals, and researchers a powerful learning tool to understand better complex anatomical structures,

biological processes, and disease mechanisms. Unlike two-dimensional drawings in traditional textbooks, three-dimensional medical visualization technologies allow students to study the human body in a more detailed and interactive way. "In particular, minimally invasive surgical procedures require extensive training and interactive three-dimensional visualization plays an important role in this training. Often, non-clinical data are used for educational purposes" (Preim and Bartz, 2007, p. 3).



**Figure 4** Use of medical visualization and holograms in education (Elmarash, Adrah ve Eljadi, 2021, s. 8)

As in Figure 4, Holoscope-i creates an image of the patient's anatomy based on CT and ultrasound scans and allows the surgeon to examine this image with bare hands.

### **Diagnosis in medical visualization**

Medical visualization and diagnosis refers to a medical field that uses medical imaging techniques to examine structures inside the body and detect diseases. This process helps doctors and radiologists diagnose diseases and plan treatment. Three-dimensional visualizations make this process more effective and understandable. Zhou, Fan, and colleagues explain the importance of three-dimensional visualization with the following example: "Medical images are essential for modern medicine and are an important research topic in visualization. However, medical professionals are often unaware of the many advanced three-dimensional (3D) medical image visualization techniques that can enhance their capabilities in data analysis and aid decision-making for specific medical problems." (Zhou, Fan et al., 2007, p.4). As it can be understood from these words of Zhou, Fan et al. draw attention to the importance of 3D visualizations in analyzing medical images and obtaining diagnostic information. Visualizations have a very important place in the medical field, and many physicians now use this method to solve problems.

### **Treatment planning in medical visualization**

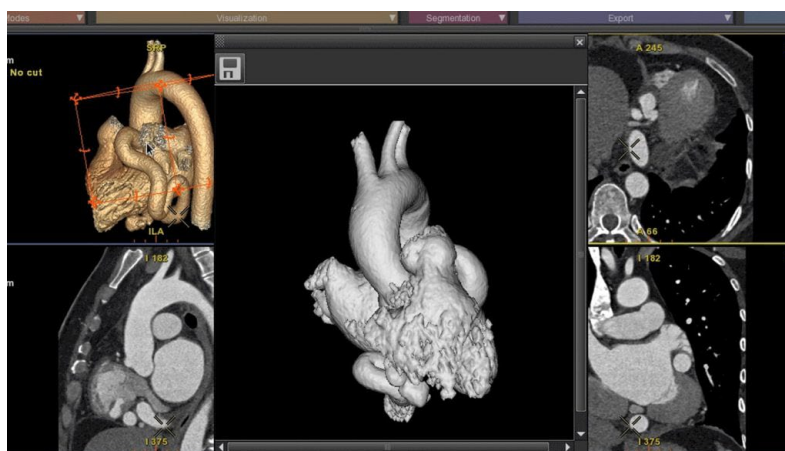
Treatment planning is a process that leverages modern medical technologies to enhance patients' understanding of their health status while enabling physicians to develop more effective and personalized treatment strategies. This process involves the use of various imaging techniques and software to provide a clearer visualization of patients' anatomical structures and pathological conditions. These technologies not only expedite diagnosis but also facilitate more accurate treatment decisions. Three-dimensional modeling is employed to represent the patient's organs requiring diagnosis. As Preim and Bartz explain, "Treatment planning is interactive 3D visualizations of relevant anatomical and pathological structures can

improve the planning of surgical interventions, radiation therapy, and minimally invasive interventions. Spatial relationships between pathological lesions and vital structures at risk can be better assessed with 3D visualizations" (Preim and Bartz, 2007, p. 4).

As can be understood from their words, three-dimensional visualizations are used as an effective method in treatment planning.

### Support of medical visualization in the surgical process

Three-dimensional visualization during surgery has been shown to facilitate a more controlled approach to surgical operations, offering enhanced visual clarity, particularly in complex surgical procedures, and assisting surgeons in making informed decisions. As noted by Preim and Bartz (2007), "Medical visualization based on three-dimensional data is increasingly entering the operating room. Images acquired before surgery and images during surgery are integrated to provide support during an intervention. The necessity for flexible and intelligent displays in such applications is underscored by the growing importance of three-dimensional medical visualization, as highlighted by Preim and Bartz (2007, p. 4).



**Figure 5** 3D Heart medical visualization. Access: 20.11.2024, Web: <https://smarttek.solutions/blog/3d-modeling-in-medicine/>

As illustrated in Figure 5, two-dimensional images are converted into three-dimensional images, facilitating the creation of parallax images. These images enable physicians to thoroughly comprehend all aspects of the procedure, aiding experts in treatment planning.

### Introduction of technological medical devices

Every day, we witness a new development in the medical field. While experts continue to search for new treatment methods for the treatment of many diseases, engineers are researching new methods for new technological devices that will help physicians. Three-dimensional visualization artists prepare visuals for these applications. For example, biomedical engineers produce devices and technologies to help medical professionals in their diagnosis and treatment processes. Kara, in her study on the past and present of biomedical engineering:

"Biomedical engineers use mathematical arguments to model the human body. This allows them to better understand body functions by interpreting clinical findings more accurately. Biomedical engineers also design devices and systems that can collect information from the body to diagnose diseases" (Kara, 2010, p. 1).

With his words, he conveyed the importance of this branch of engineering for medicine. Three-dimensional visualizations are employed to promote these devices, which are designed by engineers to be presented to other doctors at medical meetings. Many medical companies use this method to promote their devices. Moreover, medical animations often include additional elements, such as surgical instruments or tools in forensic animations represented as surface



models (Preim & Meausche, 2020, p. 145). These new technological devices are used to inform physicians at medical conferences.

Consequently, three-dimensional medical animations can be utilized in all medical processes, benefiting experts. This study aims to introduce the screen types employed in the display of three-dimensional animations. However, the presentation of these animations is as crucial as their production. The presentation of three-dimensional animations using three-dimensional display technologies enables physicians to obtain realistic images and facilitates more controlled management of the process. Consequently, the subsequent stage was deemed to be an opportune moment for the integration of three-dimensional display technologies.

### **Two dimensional and three-dimensional imaging technologies**

The screens we use in daily life, such as televisions, telephones, and computer monitors, present the image on only two axes. On these screens, some dots make up the image, and these dots are called pixels. As Kale states in his work on television technology, "When the dots are small enough, our eyes cannot fully select the dots, and we see the image as a whole, but when we enlarge the same picture by increasing the dot size without increasing the number of dots, most people will not be able to understand what is in the image. These dots that make up the image are called pixels. A pixel consists of parts in blue, green, and red colors" (Kale, 2010, p. 81). Monitors such as CRT, LCD, and Plasma are two-dimensional monitor technologies. As Rikabad states, "The LCD is a two-dimensional electro-optical light modulator mounted in front of the backlight. Light is modulated for each pixel by applying an electric field to a thin layer of Nematic liquid crystal mounted between two polarized films (Rikabad, 2008, p. 2).

The advent of sophisticated technologies has given rise to a variety of three-dimensional display types, which have gained traction across numerous disciplines. Virtual reality, augmented reality, holographic displays, and volumetric displays have garnered significant popularity among users. In their research on virtual reality, Malinowska et al. emphasize the importance of new three-dimensional technologies, stating, "Today, studies using Virtual Reality (VR) are gaining great popularity because VR is a better approximation of the ecological environment for visual experiments than standard two-dimensional viewing environments" (Malinowska et al., 2024, p. 01).

Many researchers have emphasized the importance of research on how to make two-dimensional display screens more effective. Lisle et al. explains the importance of three-dimensional display technologies with numerical data in their research on display technologies. "Over the years, many experiments have investigated perceptual problems in virtual environments and display technologies. From 184 experiments, they synthesized the body of work evaluating three-dimensional display technologies and found that three-dimensional displays outperformed their two-dimensional counterparts in 75% of the experiments. For our specific use case, three-dimensional displays outperformed two-dimensional displays in 57% of depth perception studies" (Lisle Merenda et al., 2019, p. 2).

Likewise, holograms, which are also three-dimensional imaging technology, are used in many fields today. This technology, which allows the viewer to see the image on the screen brightly, i.e., 360 degrees, is encountered in many fields, such as education, marketing, museology, and medicine. In their study on holograms, Elmahal and colleagues mentioned the difference between holograms and traditional technologies by stating that "Three-dimensional imaging technology has emerged as an advanced solution to solve problems in traditional methods of viewing objects; it provides people with a more comprehensive view and description of things, similar to the natural view of the human eye, three-dimensional objects are shown in simple ways such as photography and video or in a more complex way using new technologies" (Elmahal et al., 2020, p. 91).



**Figure 6** Display of medical images on a conventional screen. Access: 07.03.2025  
<https://www.avalonholographics.com/news/trendhunter-3d-experiences-via-holographic-displays>



**Figure 7** Representation of medical images on volumetric displays. Access: 07.03.2025  
<https://www.avalonholographics.com/news/trendhunter-3d-experiences-via-holographic-displays>

As seen in Figure 6, although the medical image presented is three-dimensional, the perception of three dimensions is not as effective as in Figure 7 since the presentation is made on a two-dimensional screen. In Image b, the perception of three-dimensional depth is felt more.

### Three-dimensional display technologies in medical visualization

Numerous researchers have sought to develop the most user-friendly technology by utilizing visual depth cues. Regardless of the quality of the three-dimensional images produced, achieving parallax remains impossible when displayed on two-dimensional screens. Reichelt, Haussler, and colleagues express the value and importance of three-dimensional display technologies by stating that “Considering that we live in a communication society today where information exchange is largely based on visual representation, it is surprising that most of the screens we use for long hours a day for work or entertainment get along well with a two-dimensional image” (Reichelt, Haussler et al., 2010, p. 1) and that three-dimensional technology has become a necessity.

Studies on three-dimensional display technology go back a long way. British scientist Sir Charles Wheatstone introduced stereoscopic image technology for the first time in 1838. This technology enabled the viewer to perceive a three-dimensional image by combining photographs taken from two different angles. Reichelt, Haussler, and colleagues evaluate the history of the first research in this field as follows:

“Various technologies for visualizing three-dimensional scenes on screens have been technologically demonstrated and innovated. Their developmental history dates back to the Wheatstone stereoscope invented in 1838. These include the most common family of stereoscopic and multiview displays, which are further developments of autostereoscopic and super-multiview displays. Integrated imaging is another increasingly popular technology” (Reichelt, Haussler, et al., 2010, p. 1)

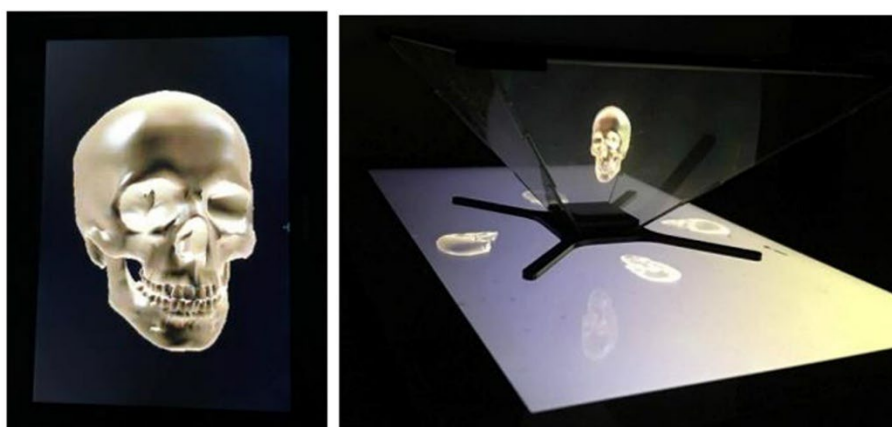
In this study it is thought that the purpose of the study will be better understood by mentioning the brief technical features of the display technology and giving examples. Reichelt, Haussler, and colleagues examine the classification of three-dimensional display technology and explain the difference between volumetric display technology and other displays.

Stereoscopic three-dimensional displays for binocular parallax provide distinct images for both eyes, thereby creating a three-dimensional experience through the perception of depth. Lueder (2012) explains that, due to the limitation of monocular vision, three-dimensional viewing is typically facilitated by both eyes working in conjunction to provide each eye with an image of the object. The images perceived by each eye are subject to variation, depending on the relative positions of the eyes (Lueder, 2012, p. 1). This phenomenon forms the foundation of binocular displays, which find application in virtual reality (VR) and augmented reality (AR) devices, as illustrated in the accompanying image. Reichelt and Haussler discuss autostereoscopic displays that do not necessitate the use of glasses: "When glasses (passive: anaglyph or polarization; active: LCD shutter glasses) are required, the displays are called stereoscopic, while autostereoscopic displays do not require distracting glasses" (Reichelt, Haussler, et al., 2010, p. 5). Visual 4 shows the VR Glasses Models.



**Figure 8** VR eyeglass models (Pan, Xu ve Cambell, 2021, s.4)

Integrated display screens represent a significant technological advancement, enabling the perception of three-dimensional images without the need for wearable devices. This technology captures and reconstructs light fields, mimicking the way light reflects off objects in a three-dimensional environment. The core principle of holographic displays lies in generating a sense of depth by projecting three-dimensional images. As illustrated in Figure 5, holographic displays achieve true three-dimensional displays by presenting the image to the viewer from multiple angles, distinguishing them from conventional two-dimensional displays.



**Figure 9** 2D display and hologram in medical visualization (Qahtan ve Salih, 2017, s. 22).

Luader describes the technical characteristics of holographic displays as follows:

"Holography is an orientation-based coherent imaging technique in which a two-dimensional scene can be reproduced from a two-dimensional display with a complex amplitude transparency (amplitude and phase values). Holographic images reproduce the wavefield of the three-dimensional scene in space by modulating coherent light, for example, with a spatial light

modulator. Because of its superior capabilities, real-time holography is often considered the ideal three-dimensional technique” (Lueder, 2012, p. 5).

Volumetric display technology is a type of display that allows two- or three-dimensional images to be freely visible in a physical space. As Lueder explains, the images formed on volumetric displays are equivalent to what actually exists.

“In true volumetric displays, every point of a scene is rendered at its true position in space, and this can be accomplished by directing laser beams or layered images on moving displays or by using focused or intersecting laser beams that create voxel-emitting dots through fluorescence or scattering. In doing so, they provide a wide viewing range and accurate alignment cues. Swept volume-type volumetric displays are probably the best known, where very rapidly rotating or translating screens are illuminated with laser beams to create a translucent or contour image. The advantage of such swept volume type volumetric displays is that they produce images in real, but closed three-dimensional space and thus provide full and continuous motion parallax” (Lueder, 2012, p. 5).

Unlike traditional displays, volumetric displays allow a viewer to see images with depth and volume by looking at them from different angles. Like holographic displays, this technology enhances the perception of three dimensions, but the main difference is that the images actually appear to have a physical volume. Volumetric displays create objects that can be seen from many angles and appear to exist in the real world.

Kumagai and Hayasaki argues “Without physical displays, the colors of graphics and aerial images are valuable as representations of three-dimensional information for developing display technology to bridge the gap between real objects and graphics. Color aerial volumetric graphics are produced by creating voxels using acoustic addresses and laser addresses” (Kumagai and Hayasaki, 2021, p. 1), underlining the difference in creating three-dimensional visuals by mentioning the technical features of volumetric display technology.

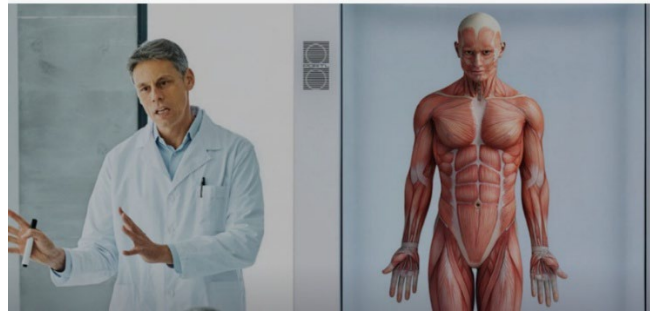
### **Medical visualization, medicine and screen technologies**

Medical visualizations are created by professionals specializing in this field to enhance and expedite the communication of information to physicians, patients, their relatives, and healthcare professionals. Throughout the process, visualization artists collaborate closely with specialist physicians to ensure accuracy and clarity. In this regard, medical visualization emerges as an interdisciplinary effort, integrating expertise from multiple domains. Concurrently, advancements in engineering continue to drive the development of more effective display technologies. By leveraging modern display systems, medical visualizations aim to achieve the most efficient and impactful presentation methods. In this study, it is clearly observed that three different disciplines interact with each other. In their research on three-dimensional display technologies in medical imaging, Zhao, Wei, and colleagues refer to the interaction of the three disciplines as follows: “The medical industry has been developing rapidly in recent years. Medical imaging research is becoming a hot research topic. Image-guided surgery technology requires higher imaging quality and better vision effects to help diagnose diseases, which is the goal of many researchers' and doctors' work. However, traditional medical equipment usually only provides two-dimensional screen images. In this case, the images lack depth cues, so that the images lose the stereoscopic feel. However, three-dimensional display technology can provide depth cues to make images present the stereoscopic feeling so that doctors can accurately diagnose and treat the lesion location” (Zhao, Wei, et al., 2013, p.210).

This article specifically addresses the collaboration between art, medicine, and engineering. Medical visualization is a valuable field that emerged as a result of the interaction of these three disciplines. Nowadays, it has become a necessity to inform physicians, medical staff, medical students, and even patients and their relatives.

### **Volumetric display and examples of its use in the medical field**

Volumetric displays are devices that make three-dimensional images appear as if suspended in mid-air over a physical space. These displays provide highly innovative applications in medicine and medical fields, as they allow objects to be seen from different angles. Today, many innovative companies bring hologram technology to the areas where it is needed. The medical field is one of the areas where hologram use is necessary. Photohologram, a hologram technology company, offers volumetric displays in different fields. As can be seen in Figure 6, the company offers instant access to patients and instant and realistic visuals in education to their target audience on their website.



**Figure 10** The use of volumetric displays developed by the brand called Photo Hologram in the medical field, Access: 19.10.2024, ([Healthcare & Education – Proto \(protohologram.com\)](https://www.protohologram.com/))

John Wallace, technical editor of Laser Focus World magazine, describes a study conducted at the Fraunhofer Institute for Telecommunications, Heinrich Hertz Institute (HHI), and Klinikum rechts der Isar University Hospital as follows: "The tests showed that three-dimensional systems used in medical technology, including advanced three-dimensional glasses and displays, have benefits once believed to be purely theoretical; even experienced doctors can benefit from the latest generation of three-dimensional devices. Traditionally, doctors have been highly skeptical of three-dimensional displays, but in tests conducted throughout the study, nearly 50 surgeons responded positively to 3D systems, both with and without glasses." (Wallace, 2013).



**Figure 11** A surgeon rehearses stitching a wound without direct vision. Access 10.11.2024 <https://www.laserfocusworld.com/detectors-imaging/article/16560705/study-shows-3d-display-technology-benefits-surgeons>

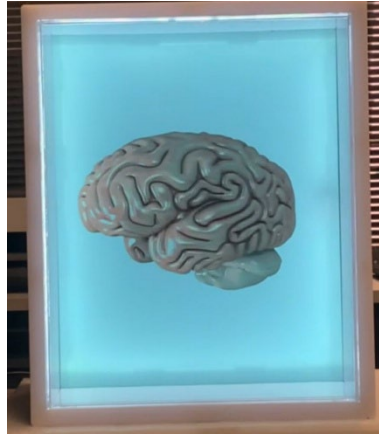
As in Figure 11, it is common for doctors to make use of three-dimensional images when suturing a wound. Compared to two-dimensional images, three-dimensional images facilitate the work of doctors during the operation process.

Given their ability to project volume-filling autostereoscopic images, these displays are seen in fields as diverse as medical imaging, mechanical computer-aided design, and military visualization. The term autostereoscopic is used here to describe a display feature that allows observers to experience the three-dimensional effect without the need for any additional glasses. Barry Blundell and Adam Schwarz, developers of the cathode ray sphere volumetric



display, explain, "A volumetric display device allows visible radiation to be generated, absorbed, or scattered from a series of localized and defined regions within a physical volume" (Blundell and Schwarz, 2013, p.12).

Volumetric display technologies are developing around the world every day. Important companies are working on this technology abroad. However, the awareness of this technology has not yet become widespread enough in our country.



**Figure 12** Volumetric display called Locus, developed by a company called Nativia in Turkey.

In Figure 12, a brain image was created as an example on the volumetric display called Locus, developed by a company called Nativia.

## Conclusions

The present study initially focuses on visual depth perception, which is critical for ensuring that the visuals created are perceived as real. Following the establishment of this background, the study examines the areas in which three-dimensional medical visualizations are used and their associated importance. Through the use of medical visualizations, artists are guided by subject matter experts and create scientific information in alignment with visual references using appropriate software. The resulting visuals can be utilized for a variety of purposes within the medical field. The significance of medical visualization lies in its numerous advantages, including the facilitation of data sharing among medical professionals, patient and family education, and the organization of healthcare professionals. Artists create medical visualizations using scientific knowledge provided by experts in the field. This study investigates the screen technology employed to present the animations created. The research findings indicate that to achieve the most comfortable display technology, sufficient visual depth perception is essential. The study examined the merits of volumetric display technology, a contemporary and advanced technique. Volumetric display technology has been observed to have a more comfortable visual presentation compared to wearable technologies. Three-dimensional displays have been found to be more effective than traditional display technologies. This study concluded that experts in the medical field need medical visualization to share their knowledge with the necessary target audience. As a result of all these, it has been seen that art, medicine, and engineering sciences interact in line with the presentation of these medical visualizations with volumetric displays. In addition, it is concluded that it will contribute to both medical education and literature as a result of the need for physicians to be aware of current technologies.

## Author contribution rates

1st Author: %70, 2nd Author: %30, contributed to the study.

## Conflict of interest declaration

Our article titled "Displaying three-dimensional medical visualization studies on volumetric screen" has no financial conflict of interest with any institution, organization or person. There is also no conflict of interest between the authors.

## References

- Altın, N. C. (2018). Veri Görselleştirme ve İnfografiklerin Tasarım Eğitimi İçerisindeki Yeri. *İdil Dergisi*, s. 575-588. doi: 10.7816 /idil-07-45-10
- Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S., & Yıldırım, E. (2010). *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı* (6. Baskı). Sakarya: Sakarya Yayıncılık.
- Blundell, B.G., Schwarz, A.J. (2013). *Volumetric Three-Dimensional Display Systems*. Originally published 2000 by John Wiley & Sons Inc. Newyork.
- Elmarash, G.A., Adrah, M.M., Eljadi E.E. (2021). 3D Hologram Technology in Libyan Educational Institutions in Future: Re-view. *Sebha University Journal OF Pure & Applied Sciences*, 20(3), s. 6-10. <https://doi.org/10.51984/jopas.v20i3.1000>
- Elmahal, D.M., Hussein. D., Omaier, A.T. ve diğerleri. (2020). Comparative Study between Hologram Technology and Augmented Reality. *International Journal Of Information*. 12(2), s. 90-106. 10.22059/jitm.2020.75794
- Geng, Jason. 2013. Three-dimensional display technologies, *Advances in Optics and Photonics*, 4(5), s.456-535. <https://doi.org/10.1364/AOP.5.000456>
- Holliman, N. (2017). 3D Display Systems. John P. Dakin, Robert G. W. Brown. (Ed). S.293-321. *Handbook of Optoelectronics Enabling Technologies* (Volume Two), New York: CRC Press.
- Kale, B. (2010). Ekran Teknolojileri. *Bilim ve Teknik Dergisi*. S.80-85. <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/>
- Kara, S. (2010). *Biyomedikal Mühendisliğin Dünü ve Bugünü*. Uluslararası katılımlı Nanobilim ve Nanoteknoloji Öğrenci Kongresi. [http://academia.edu/31152845/Biyomedikal\\_M%C3%BChendisli%C4%9Finin\\_D%C3%BCn%C3%BCn%C3%BCn\\_ve\\_Bug%C3%BCn%C3%BCn](http://academia.edu/31152845/Biyomedikal_M%C3%BChendisli%C4%9Finin_D%C3%BCn%C3%BCn%C3%BCn_ve_Bug%C3%BCn%C3%BCn)
- Kumagai, K., Miura, S., Hayasaki, Y. (2021). Colour volumetric display based on holographic-laser-excited graphics using drawing space separation. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02107-3>
- Lisle, L., Merenda C., Tanous K., Kim H., Gabbard L J., Bowman, D. A. (2019). *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*. 11(2), s. 1-19. DOI: 10.4018/IJMHCI.2019040101
- Lueder, E. (2021). *3D Displays*. USA: John Wiley & Sons, Ltd.
- Okoshi, T. (1976). *Three-Dimensional Imaging Techniques*. USA: Academic Press Inc.
- Pan, X., Xu, X., Campbell, A. G., Dev, S. (2021). *3D Displays: Their Evolution, Inherent Challenges & Future Perspectives*. Future Technologies Conference, s.1-19. DOI: 10.48550/arXiv.2105.08390
- Pandey, N., Singh S. (2019). 3D animation-based multimedia improves learning in medical students. *Indian Journal of Clinical Anatomy and Physiology*, 6(4), s. 481-483. DOI: 10.18231/j.ijcap.2019.105
- Preim, B., Bartz, D. (2007). *Visualization in Medicine*. Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier.
- Rikabad, R. N. (2015). *The Clinical Performance Evaluation of Tablet, Large Screen TV and Medical Grad Monitors for Teleradiology and General Use Purposes*. Submitted to the Institute of Biomedical Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Biomedical Engineering. Bogazici University. İstanbul.
- Zhao, Y., Wei, Y., Cui, X., ve diğerleri. (2013). *3D Display Technology in Medical Imaging Field*. IEEE International Conference on Medical Imaging Physics and Engineering, s.210-214. Shenyang, China. DOI : 10.1109/ICMIPE.2013.6864536
- Zhou, L., F., M., Hansen, C., Johnson, C. J., Weiskopi, D. (2022). A Review of Three-Dimensional Medical Image Visualization., *Health Data Science*. S. 1-19. DOI: 10.34133/2022/9840519
- Reichelt, S., Haussler, R., Futterer, G., Leister No. (2010). *Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays*. *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*. Erişim: 16.10.2024. Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays (spiedigitallibrary.org)

- Rogers, B. J., Graham, M. (1979). Motion parallax As an independent cue for depth perception. *Perception* 8., s. 125-134. DOI: 10.1068/p080125
- Wallace, J. (2013). *Study shows 3D Display Technology Benefits Surgeons*. Laser Focus World. Erişim: 20.10.2024. <https://www.laserfocusworld.com/detectors-imaging/article/16560705/study-shows-3d-display-technology-benefits-surgeons>
- Zúñiga, D. G., Jordi Carrabina., Orero Pilar. (2013). Evaluation of Depth Cues In 3D Subtitling, *Online Journal of Art and Design*, 1(3), s. 16-29. [https://www.researchgate.net/publication/243973380\\_EVALUATION\\_OF\\_DEPTH\\_CUES\\_IN\\_3D\\_SUBTITLING#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/243973380_EVALUATION_OF_DEPTH_CUES_IN_3D_SUBTITLING#fullTextFileContent)

## Üç boyutlu medikal görselleştirme çalışmalarının volumetrik ekranda gösterilmesi<sup>1</sup>

Eda Erkan<sup>2</sup> , Banu Bulduk Türkmen<sup>3</sup> 

<sup>2</sup> TOBB ETÜ Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Görsel İletişim Tasarımı Bölümü, Ankara, Türkiye; <sup>3</sup> Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Grafik Bölümü, Ankara, Türkiye.

### ÖZET

Görme duyusunun insanlar için en önemli algısal mekanizma olduğu birçok bilimsel çalışmada kanıtlanmıştır. Görselleştirmelerdeki yöntemler görsel algı ipuçları ile insan ve teknolojik cihazlar arasındaki etkileşime dayanan veri alışverişi üzerine odaklanmaktadır. Medikal animasyonlar teknolojinin gelişmesi ile her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Bununla birlikte üç boyutlu görüntüleme ve ekran teknolojileri alanında yeni yöntemler hızla gelişmektedir. Tıp uzmanlarının ise yaşanan bu gelişmelerden haberdar olmaya ihtiyaçları vardır. Medikal iletişim olarak değerlendirilebilen bu noktada teknolojik yenilikler önemli birer araç haline gelmiştir. Giderek genişleyen medikal iletişimin hedef kitlesi için yeni ve farklı yöntemler ortaya çıkmaktadır. Üç boyutlu animasyonlar medikal alanda bilinen en etkili iletişim yöntemlerinden biri olarak kullanılmaktadır. Üç boyutlu animasyonların karmaşık bilgileri aktarmada başarılı bir yöntem olduğu birçok bilim insanının araştırmasına konu olmuştur. Bu animasyonlar akıllı telefonlar, tabletler televizyon ve bilgisayar ekranlarından izlenebilmektedir. Medikal animasyonları görüntü ve derinlik algısı temeline dayanarak önemli bir teknolojik yenilik olan volumetrik ekran teknolojisine tıp biliminde kullanımının yaygınlaşması gerektiği düşünülmektedir. Bu makalede belirlenen inceleme yöntemi, nitel araştırma tekniklerinden betimsel analiz olarak geliştirilmiştir. Üç boyutlu görselleştirmenin medikal alanda hangi amaçlarla kullanıldığı betimsel analiz yöntemiyle incelenerek gerçeğe yakın görüntüler sunan volumetrik ekranların var olduğu düşünülen ihtiyacın anlaşılması sağlanmaya çalışılmıştır. Medikal görselleştirmeler ile elde edilen görüntülerin medikal uzmanlara hasta ve hasta yakınlarına tıp öğrencilerine ve sağlık çalışanlarına konforlu ve etkili sunumu için volumetrik ekran teknolojisinin bu çevreye tanıtılması ve etkisinin anlaşılmasının sağlanması hedeflenmektedir.

### ANAHTAR KELİMELER

Hologram, volumetric display, üç boyutlu animasyon, medikal görselleştirme, holografik display.

## Giriş

Medikal alandaki gelişmeler dünya genelinde yükselen bir artış eğilimi göstermektedir. Görsel iletişimin birçok alanı tıp dünyasında bilgi aktarımını kolaylaştırmada yardımcı rol oynamaktadır. Eğitim, hasta iletişimi ve cerrahi planlama gibi birçok önemli alanda elde edilen bilgilerin görsel iletişim yolu ile aktarılmaya ihtiyacı olduğu görülmektedir. Günümüzde birçok tıp uzmanının teorik bilgileri görselleştirme yolu ile anlatmayı tercih ettiği görülmektedir. Modern tıp eğitiminde ve uygulamalarında, daha gerçekçi ve etkileşimli görselleştirme çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumla birlikte tıp uzmanları veri analizi yaparken belirli tıbbi sorunlar için karar alma sürecine yol gösterici tıbbi görselleştirme tekniklerine ihtiyaç duyarlar. Bu tekniklerden biri olan üç boyutlu animasyonlar giderek yaygınlaşan bir görselleştirme türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

<sup>1</sup> Bu çalışma, "Tıpta Üç Boyutlu Animasyonların Holografik Ekranlarda (Hacimsel Göstergeler) Görüntülenmesi" başlıklı sanatta yeterlik tezinden üretilmiştir.

Üç boyutlu görselleştirmelerin sunumu da içeriği kadar önemli bir unsurdur. Günlük hayatta TV, cep telefonu ve bilgisayar ekranı gibi geleneksel ekranlar kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte çeşitli üç boyutlu ekran teknolojileri geliştirilmiş ve bilim insanları daha gerçekçi ve etkili bir görsel deneyim sunmak amacıyla her geçen gün farklı yöntemler araştırmaktadır. Modern üç boyutlu ekran teknolojileri kullanıcılara önemli avantajlar sunmaktadır. Artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik gibi teknolojiler giderek popülerlik kazanmaktadır. Holografik imajları gerçeğe yakın görüntüler üreterek sunan volumetrik ekranlar ise bilinirliği az olmakla birlikte dünya genelinde gittikçe yaygınlaşan bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, medikal sektörde kullanılan üç boyutlu görselleştirmelerin önemine dikkat çekmek, üç boyutlu animasyonların medikal alandaki bilgileri aktarmada kullanılan önemli bir görsel iletişim kanalı olduğunun altını çizmek ve bu animasyonların daha etkili ve gerçekçi bir şekilde sunulmasını sağlayarak volumetrik ekran teknolojisinin kullanımının önemini vurgulamaktır. Makalede öncelikle derinlik algısı konusuna değinilmekte ve diğer ekran türlerini inceleyerek karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmektedir.

Bu araştırma kapsamında, tıp uzmanları ile görselleştirme araştırmacıları arasındaki boşluğu doldurmayı amaçlayan üç boyutlu animasyonların en etkili ekran teknolojisi ile sunulması üzerine bir inceleme yapılmaktadır.

Çalışmanın problemi üç boyutlu animasyonların medikal sektör çalışanları, tıp öğrencileri, hasta ve hasta yakını gibi bir kitleyi bilgilendirmek amacıyla daha etkili ve gerçekçi bir şekilde sunulması için volumetrik ekran teknolojisinin kullanılması, bu teknolojinin hedef kitesine tanıtılması ve literatüre kazandırılmasını sağlamak olarak belirlenmiştir.

Ayrıca incelenen konu üç boyutlu medikal görselleştirmelerin medikal alandaki önemi ve üç boyutlu ekran teknolojisi olan volumetrik ekranlarda sunumunun avantajlarının araştırılması ile sınırlandırılmıştır. Bu ekseninde makale yazım sürecinde birçok kitap, bilimsel çalışma, makale, e-kaynak gibi alanlarda araştırma yapılmış ve yöntem olarak nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır.

Araştırma konusu kapsamında medikal görselleştirmelerin üç boyutlu ekran teknolojisi ile sunumunun önemi araştırılmıştır. İlk aşamada üç boyutlu derinlik ipuçlarına değinilmiştir. Birçok araştırmacı etkili bir ekran üretimi yapmak için bu ipuçlarının anlaşılmasının gerekliliğini savunmaktadır. Medikal animasyonun kullanıldığı alanlar incelenerek, bu animasyonlara duyulan ihtiyaç vurgulanmak istenmiştir. Ardından üç boyutlu görselleştirmeler ve volumetrik ekran teknolojisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Daha sonra diğer üç boyutlu ekran teknolojilerinden bahsedilmiş ve volumetrik ekranlar ile medikal animasyonlar arasındaki ilişki üzerine durulmuştur. İki boyutlu ve üç boyutlu ekran teknolojileri incelenerek arasındaki farklar ve avantajların anlaşılması irdelenmek istenmiştir. Son olarak volumetrik ekranların medikal alandaki gerekliliği ve tıp uzmanlarının böyle bir alana ihtiyaç duyduğu sonucuna ulaşılmıştır. Üç Boyutlu algılamada derinlik ipuçları ve kullanım alanları incelendiğinde görüntüleri gerçeğe yakın şekilde algılama ipuçlarına yer verilmektedir.

## Yöntem

### Araştırmanın deseni

Bu makalede belirlenen inceleme yöntemi, nitel araştırma tekniklerinden betimsel analiz olarak geliştirilmiştir. Üç boyutlu görselleştirmenin medikal alanda hangi amaçlarla kullanıldığı betimsel analiz yöntemiyle incelenerek gerçeğe yakın görüntüler sunan volumetrik ekranlara olan ihtiyacın anlaşılması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu anlamda derinlik algısının gerçeğe yakın görüntüler elde etmedeki temel işlevi üzerinde durulmuştur. Daha sonra animasyonların medikal alandaki kullanımı irdelenerek öneminin altı çizilmiştir. Görüntüleme teknolojileri ile ilgili temel bilgiler verilerek üç boyutlu medikal görselleştirmelerin gerçeğe yakın görüntüler sunan volumetrik



ekranlarda sunulmasının en etkili yöntem olabileceği örnek ve kıyaslamalı açıklamalar ile anlatılmıştır.

### Üç boyutlu algılamada derinlik ipuçları

Üç Boyutlu ekran teknolojileri bir dizi psikolojik ve fiziksel ipucunun sonuçlarını ele alarak oluşturulur. Beynimiz üç boyutlu bir dünyada elde edilen iki boyutlu görüntüleri ekran teknolojileri sayesinde gerçeğe yakın bir şekilde algılayabilmektedir. Derinlik ipuçları, bu görüntülerin nasıl algılandığını anlamamıza yardımcı olan görsel sinyallerdir. Geng fiziksel ipuçlarının nesneleri tanımak ve psikolojik ipuçlarının ise çağrışım yaparak üç boyutlu algıyı oluşturduğunu şu şekilde dile getirir ve bunu bir şema ile ifade eder (Görsel 1).

“Bilgisayar grafikleri, üç boyutlu nesneleri görüntülerken üç boyutlu hissiyatımızı geliştirir. Geliştirilmiş bir üç boyutlu görüntü, derinlik veya hacme sahip gibi görünse de düz bir ekranda iki boyutlu görüntülemenin doğası gereği, yine de yalnızca iki boyutludur. İnsan görsel sisteminin üçüncü boyutu tanıması için hem fiziksel hem de psikolojik derinlik ipuçlarına ihtiyacı vardır. Fiziksel derinlik ipuçları yalnızca gerçek üç boyutlu nesneler tarafından tanıtılabilir; psikolojik ipuçları iki boyutlu görüntüler tarafından çağrıştırılabilir” (Geng, 2013, s. 461).

İnsan gözüne iki boyutlu olarak yansıyan görüntüler görülen nesneye dair birtakım anlamlandırmalar ile üç boyutlu algı oluşur. Zúñiga ve Orero görsel sistemden beyne toplanan nesnelerin yaptığı çağrışımı şu şekilde dile getirir.

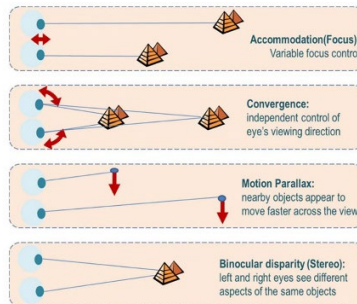
“Retinamızda oluşan görüntüler iki boyutludur. Mesafeyle ilgili tüm bilgiler görüntüden ve görsel sistemden çıkarılır. Bu bilgiler beyinde toplanır ve yeniden yapılandırılır ve nesnelerin yerinin, işitsel sistemin bir sesin kaynağını haritalayabilmesiyle aynı şekilde belirlenmesine olanak tanır” (Zúñiga, Orero, 2013, s. 17).

Blundell ve Schwartz yaptıkları çalışmada görüntüleme teknolojileri üzerinde çalışan kişilerin derinlik ipuçlarına hâkim olması gerektiğini şu şekilde ifade eder:

“Üç boyutlu görüntüleme çalışması teknikler, çevreleyen ortam hakkında derinlik bilgisi edindiğimiz görsel tabanlı mekanizmalar olan derinlik ipuçlarının bilgisini açıkça kapsamalıdır. Derinlik ipuçları ve insan görsel sisteminin anlaşılması, görüntüleme sistemi teknolojileri üzerinde çalışan ve geliştiren herkes için temel bir başlangıç noktası oluşturmalıdır” (Blundell ve Schwarz, 2013, s.7).

Derinlik algısı, çevremizdeki nesnelerin konumunu, uzaklığını ve birbirleriyle ilişkisini anlamamıza olanak tanır. Bu süreçte derinlik ipuçları olarak adlandırılan belirli ipuçları gereklidir, çünkü tek başına gözlerimizin sağladığı bilgi çoğu zaman yeterli değildir. Holliman “üç boyutlu görüntüleme donanımı ve bunlarda gösterilen görüntüler için gereksinimleri tanımlamak, yüksek kaliteli bir üç boyutlu görüntüleme sistemi oluşturmaya yönelik önemli bir ilk adımdır” (Holliman, 2017, s. 292) sözleri ile derinlik ipuçlarının kaliteli bir sistem yaratmadaki önemini altını çizmiştir.

Derinlik ipuçları, çevredeki nesnelerin tam olarak nerede bulunduğunu anlaşılmasını sağlar. Görsel 1’de derinlik ipuçlarının fizyolojik ipuçları açısından sınıflandırılmasına ilişkin görüntü yer almaktadır.



**Görsel 1** Derinlik ipuçlarının fizyolojik ipuçları açısından sınıflandırması (Geng, 2013, s. 462)

Örneğin: Bir nesneyi tutmaya çalışmak, derinlik algısı olmadan kişinin kafasını karıştırabilir. Hareket eden nesnelerle etkileşimde bulunmak için derinlik algısı gerektirir. Örneğin bir futbolcunun hareket halindeki topa vurması derinlik algısı sayesinde olur.

Fiziksel Derinlik İpuçları Akomodasyon Derinlik İpucu gözün baktığı yere odaklanmak için göz merceğinin eğriliğini değiştirmesiyle oluşan bir ipucudur. Göz, yakındaki bir objeyi görmeye çalıştığında mercek kasları yuvarlak hale gelir. Daha uzağında bir objeyi görmeye çalışırken ise mercek daha düz bir hale gelir.

“Akomodasyon, insan gözünün, nesneleri farklı mesafelerde tutmak için optik gücünü değiştirdiği ve retinada net bir odak oluşturduğu mekanizmadır.” (Reichelt ve Haeusler, 2010, s.2).

Bu sözlerden de anlaşılacağı gibi beynin objelerin kişiye olan mesafesini tahmin etmesine yardımcı olan bu kasılmalar üç boyutlu derinliğin algılanmasını sağlar.

Yakınsama Derinlik İpucu her iki gözün, belirli bir nesneye bakarken birbirine doğru hareket etme derecesini ifade eder. Gözler, yakındaki bir nesneye odaklanırken birbirine doğru döner; nesne ne kadar yakınsa gözlerin birbirine doğru dönmesi de o kadar fazladır.

“Bir nesnenin belirli bir noktasına her iki gözle baktığımızda, iki görüş ekseninin yaptığı açıya yakınsama açısı denir. Açıkçası, bir noktaya bakmak için gözbebeklerini biraz içeriye döndürmek için kas gerginliği derinlik algısı için bir ipucu verir. Bu iki gözle görülen ipucuna yakınsama denir” (Okoshi, 1976, s.49).

Sonuç olarak beyin, gözlerin bu hareketini algılar ve nesnenin uzaklığını bu bilgiye dayanarak yorumlar.

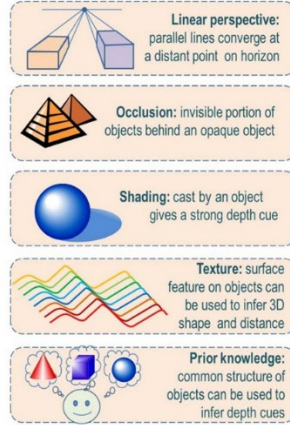
Bir diğer ipucu olan hareket paralaksı hareket eden bir kişinin hareket esnasında gördüğü objelerin farklı hızlarda hareket ediyormuş gibi algılaması durumudur. Hareket paralaksı, derinlik algısında önemli bir rol oynar. Gözlerimizle aynı anda farklı uzaklıklardaki nesnelere baktığımızda, bu nesnelerin farklı hızlarda hareket ediyor algısı yaratması beynimizin derinlik ve mesafe algısını geliştirmesine yardımcı olur. Geng “Gözlemcinin hareketinden veya nesnelerin görüş alanı boyunca ötelenmesinden kaynaklanan retinadaki görüntülerin görelî hareketi. Örneğin, bir gözlemci uzaktaki bir nesneyi sabitlerken başını sola ve sağa hareket ettirirse, daha yakın (sabit) herhangi bir nesnenin uzaklığı ile görüntüsünün retinadaki hareket hızı arasında ters bir ilişki vardır. Gözlemciden farklı uzaklıklarda görüş alanında bulunan birçok nesnenin olduğu daha karmaşık bir durumda, başın her hareketi sırasında retinada görelî görüntü hareketinin bir gradyanı üretilir” (Rogers, 1979, s. 125) sözleri ile üç boyutlu algıda hareket paralaksının önemini açıklamaktadır.

Binoküler Paralaks ise; iki göz bir nesneye bakarken her gözün birbirinden daha farklı bir görüntü algılamasına neden olan durum olarak ifade edilir. Bu olay, beynin her iki gözden gelen görüntüleri algılayarak üç boyutlu bir derinlik algısı oluşturmasını sağlar. Quian “Görsel sistemin retinal görüntülerdeki çeşitli görsel ipuçlarından üçüncü boyut olan derinliği çıkarabildiği iyi bilinmektedir. Bu ipuçlarından biri, uzaydaki belirli bir noktanın iki retinal izdüşümü arasındaki konumsal fark olan binoküler uyumsuzluktur. Bu konumsal fark, iki gözün yanal olarak ayrılmış olmasından ve dolayısıyla dünyayı iki hafif farklı bakış açısından görmesinden kaynaklanır.” (Quian, 1997, s. 359) sözleri ile gerçekteki üç boyutlu görüntülere bakıldığında binoküler uyumsuzluğun etkisini değerlendirmiştir.

Okoshi binoküler paralaks için yaptığı açıklamaya göre;

“Bir gözlemci bir nesne üzerindeki bir noktaya baktığında, o noktadan kaynaklanan ışık ışınları her iki gözde de retinanın merkezlerine odaklanır. Bu nedenle, göz çiftindeki iki fovea centralis'in retinada "karşılık gelen pozisyonlar" verdiğini ve bu pozisyonlara göre yakınsamanın belirlendiğini söyleyebiliriz. Ancak, bakılan nokta (fiksasyon noktası) dışındaki noktalardan gelen ışık ışınları her zaman retinadaki karşılık gelen pozisyonlara odaklanmaz. Bu etkiye binoküler disparite veya

binoküler paralaks denir" (Okoshi, 1976, s. 51). Sözleri ile binoküler paralaks hakkındaki bilimsel tanımlamayı basitçe yapmaktadır.



**Görsel 2** 2 boyutlu monoküler görüntülerden psikolojik derinlik ipuçları. (Geng, 2013, s. 463).

Psikolojik derinlik ipuçlarından biri olan doğrusal perspektif nesnelerin birbiri ile olan uzaklıklarını, boyutlarını ve yerleşimlerini göz önünde bulundurarak, iki boyutlu bir yüzeyde üç boyutlu bir mekân yanılsaması yaratmaya dayanır. En basit açıklamasıyla perspektifte gördüğümüz daha uzaktaki nesneler küçük, daha yakın nesneler ise büyüktür ve hepsi bir veya daha fazla kaçış noktasına doğru birleşir. Geng bu ipucunu tren rayları örneğini vererek şu şekilde açıklamıştır: "Doğrusal perspektif, üç boyutlu nesneler arasındaki göreceli mesafenin görünümüdür; örneğin ufukta uzak bir noktada birleşen demir yolu rayları yanılsaması" (Geng, 2013, s. 462).

Bir diğer psikolojik derinlik ipucu olan oklüzyon derinlik algısında önemli bir yere sahiptir. Bir nesne diğer bir nesneyi kısmen kapatıyorsa bu nesneyi daha yakın olarak algılarız bu olay, "oklüzyon" olarak adlandırılır ve üç boyutlu bir dünya algısı oluşturmamıza yardımcı olur. Blundell ve Schwarz bu durumu şu şekilde açıklar: "Gözlemci ile ikinci bir nesne arasına yerleştirilen opak bir nesne, ikinci nesnenin en azından bir kısmını görünmez hale getirecektir. Bu ipucu sayesinde beyin, kısmen kapatılmış nesneleri araya girenlerden daha uzakta olarak yorumlar" (Blundell and Schwarz, 2013, s. 13).

**Gölgeleme** Bir yüzeyin üzerine düşen ışık, o yüzeyin şekline göre dağılır. Işığın yansıdığı yüzeyler daha parlak görünürken, karanlıkta kalan yüzeyler daha koyu görünür. Bu fark, nesnenin yüzey eğrilerini, ovalliğini, düzlüğünü ve diğer fiziksel detaylarını gözlemleyerek o nesnenin üç boyutlu bir yapıda olduğunu anlamamıza yardımcı olur. Geng: "Bir nesnenin diğerine yaptığı gölgelendirme, güçlü üç boyutlu mekânsal ilişki ipuçları verir. Yoğunluktaki değişiklikler, insan beyninin bir nesnenin yüzey şeklini ve yönelimini çıkarmasına yardımcı olur" (Geng, 2013, s. 462) sözleriyle gölgelemenin insan beyni üzerinde oluşturduğu üç boyutlu algıya dikkat çeker.

**Doku derinliği** ile ilgili ipuçları bir nesnenin ne kadar gerçekçi görüldüğüne dair ipuçlarıdır. Bir yüzeyin üç boyut kazanmasına yardımcı olur. Holliman: "Çakıl taşları veya çimen gibi sabit büyüklükteki nesnelerin dokusu, retinada mesafeye bağlı olarak boyut olarak değişecektir" (Holliman, 2017, s. 5) sözleri ile dokusu olan nesnelerin doğru mesafede boyut değiştireceği algısına değinmiştir.

### Üç boyutlu medikal görselleştirme ve kullanıldığı alanlar

Medikal görselleştirmeler için birçok araştırmacı Leonardo Da Vinci'nin çalışmalarını örnek gösterir. Ancak bilimsel bir araştırma olarak ele alınması 1980'lerde başlamıştır. Preim ve Bartz bilimsel görselleştirmelerin özel bir alan olduğuna şu şekilde dikkat çeker:

"Tıpta görselleştirme veya kısaca tıbbi görselleştirme, 1980'lerin sonlarında bir araştırma alanı olarak kendini kanıtlamış özel bir bilimsel görselleştirme alanıdır. Bilimsel görselleştirmenin kökleri çok yönlüdür; bir yandan, çalışmalarını dikkatlice hazırlanmış grafiklerle gösteren bilim

insanlarının uzun geleneği, bilimsel görselleştirmenin temelini oluşturmuştur” (Preim ve Bartz, 2007, s. 1).

Medikal görselleştirme, elde edilen görüntü verilerinin analiz edilmesi, görselleştirilmesi ve incelenmesiyle ilgilenir. Bir tanının sorunsallarına cevap aramak, bir müdahaleyi planlamak için oluşturulan senaryo hastanın sorunlu uzuvlarının görünümünü oluşturmaktır. Üç boyutlu görüntüler belirli yazılımlar aracılığıyla üç boyut sanatçıları tarafından oluşturulur. Ancak bu görsellerin etkili sunulması için gerek duyulan teknoloji bilim insanları tarafından gerçekleştirilir. Bu durumda izleyicinin modern teknolojik cihazlarda izlediği görüntüler multidisipliner bir süreç olarak değerlendirilir. Pandey ve Singh çalışmalarında “Multimedya ve üç boyutlu animasyon, tıp eğitiminde daha derin anlayışı ve mekânsal bilgiyi geliştirmek için ortaya çıkan bir alandır. Bu ilginç teknoloji, tıp eğitiminin hem yatay hem de dikey entegrasyonunda kullanılabilir” (Pandey ve Singh, 2019, s. 481) sözleri ile üç farklı disiplinin birlikteliğine değinir.

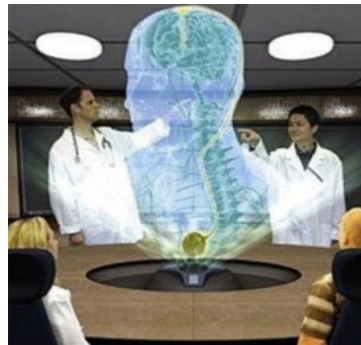


**Görsel 3** Başparmak Çıkıntısı Ameliyatı. Erişim: 20.11.2024, Ağ: <https://trinityanimation.com/animation-medical>

Bu süreçte Preim ve Bartz medikal görselleştirmenin uygulama alanlarını eğitim, tanı, tedavi planlaması, ameliyat sırasında destek olarak 4 farklı türden ele almıştır.

### Medikal görselleştirme kavramının eğitimde kullanımı

Eğitimde medikal görselleştirme, tıp öğrencilerine, sağlık profesyonellerine ve araştırmacılara karmaşık anatomik yapıları, biyolojik süreçleri ve hastalık mekanizmalarını daha iyi anlamaları için güçlü bir öğrenme aracı sunar. Geleneksel ders kitaplarındaki iki boyutlu çizimlerin aksine, üç boyutlu medikal görselleştirme teknolojileri, öğrencilerin insan vücudunu daha ayrıntılı ve etkileşimli bir şekilde incelemelerine olanak tanır. Preim ve Bartz görselleştirme tekniklerinin eğitimdeki yerini ve üç boyutunun önemini “Özellikle, minimal invaziv cerrahi prosedürleri kapsamlı eğitim gerektirir ve bu eğitimde etkileşimli üç boyutlu görselleştirme önemli bir rol oynar. Genellikle, klinik olmayan veriler eğitim amaçlı kullanılır” (Preim ve Bartz, 2007, s. 3) sözleri ile açıklamaktadır.



**Görsel 4** Eğitimde medikal görselleştirme ve hologram kullanımı (Elmarash, Adrah ve Eljadi, 2021, s. 8) Erişim: 20.12.2024

Görsel 4 'te olduğu gibi Holoscope-i, BT ve ultrason taramalarına dayanarak hastanın anatomisinin bir görüntüsünü oluşturmakta ve cerrahın bu görüntüyü çıplak elle inceleyebilmesini sağlamaktadır.

### Medikal görselleştirmede tanı

Medikal görselleştirme ve tanı, tıbbi görüntüleme teknikleri kullanarak vücut içi yapıları inceleme ve hastalıkların tespiti amacıyla yapılan bir tıbbi alanı ifade eder. Bu süreç, doktorların ve radyologların hastalıklara tanı koymasına ve tedavi planlamasına yardımcı olur. Üç boyutlu görselleştirmeler bu süreci daha etkili ve anlaşılır kılmaktadır. Zhou, Fan ve arkadaşları özellikle üç boyutlu görselleştirmenin önemini verdiği örnekle açıklar:

“Tıbbi görüntüler modern tıp için olmazsa olmazdır ve görselleştirmede önemli bir araştırma konusudur. Ancak, tıp uzmanları genellikle veri analizindeki yeteneklerini artırabilecek ve belirli tıbbi sorunlar için karar alma sürecine yardımcı olabilecek birçok gelişmiş üç boyutlu (3B) tıbbi görüntü görselleştirme tekniğinin farkında değildir.” (Zhou, Fan ve diğerleri, 2007, s.4).

Zhou, Fan ve arkadaşlarının bu sözlerinden de anlaşılacağı gibi 3 boyutun medikal görselleri analiz edip tanı koyabilecekleri bilgileri elde etme konusunda 3 boyutlu görselleştirmelerin önemine dikkat çekmiştir. Görseller medikal alanda oldukça önemli bir yere sahiptir ve artık birçok hekim sorun çözmede bu yöntemden faydalanmaktadır.

### Medikal görselleştirmede tedavi planlaması

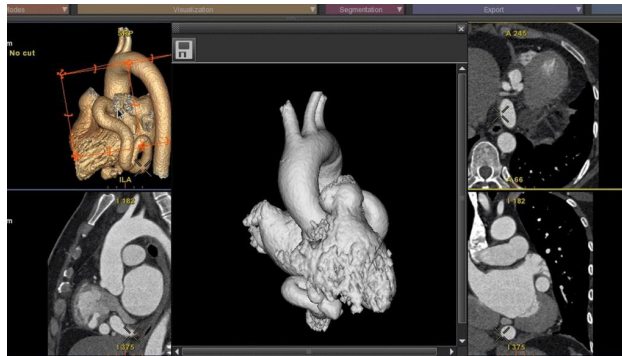
Tedavi planlaması modern tıp teknolojilerinin kullanıldığı ve hastaların sağlık durumlarını daha iyi anlamalarına, doktorların ise daha etkili ve kişiselleştirilmiş tedavi planları geliştirmelerine yardımcı olan bir süreçtir. Bu süreçte farklı görüntüleme teknikleri ve yazılımlar kullanılarak hastanın anatomik yapıları ve patolojik durumları daha net bir şekilde görselleştirilir. Bu teknikler, tanı sürecini hızlandırırken, tedaviye yönelik daha isabetli kararlar alınmasını sağlar. Hastanın tanı konulması gereken organları 3 boyutlu olarak modellenir. Preim ve Bartz 'ın

“Tedavi planlaması. İlgili anatomik ve patolojik yapıların etkileşimli 3 boyutlu görselleştirmeleri, cerrahi müdahalelerin, radyasyon tedavisinin ve minimal invaziv müdahalelerin planlanmasını geliştirebilir. Patolojik lezyonlar ile risk altında olan yaşamsal yapılar arasındaki mekansal ilişkiler 3 boyutlu görselleştirmelerle daha iyi değerlendirilebilir” (Preim ve Bartz, 2007, s. 4).

Sözlerinden de anlaşılacağı gibi üç boyutlu görselleştirmeler tedavi planlamasında etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

### Medikal görselleştirmenin ameliyat sürecine desteği

Ameliyat sırasında üç boyutlu görselleştirme cerrahların operasyonları daha kontrollü bir şekilde yapmalarına yardımcı olur. Özellikle zorlu cerrahi işlemlerde daha iyi bir net bir görüş açısı sunar ve cerrahların kararlarını kontrol etmesine yardımcı olur. Preim ve Bartz “Üç boyutlu verilere dayalı tıbbi görselleştirme, giderek daha sık olarak ameliyathaneye giriyor. Ameliyat öncesi edinilen görüntüler ve ameliyat sırasındaki görüntüler, bir müdahale sırasında destek sağlamak için entegre edilir. Bu tür uygulamalar için esnek ve akıllı ekranlara ihtiyaç vardır” (Preim ve Bartz, 2007, s.4) sözleri ile üç boyutlu tıbbi görselleştirmenin gün geçtikçe öneminin artmakta olduğunu vurgular ve ekran teknolojisinin de önemini altını çizer.



**Görsel 5** 3 Boyutlu kalp medikal görselleştirme. Erişim: 20.11.2024, Ağ: <https://smarttek.solutions/blog/3d-modeling-in-medicine/>



Görsel 5'te olduğu gibi iki boyutlu görüntüler üç boyutlu görsellere dönüştürülerek paralaks görüntüler oluşabilmesi sayesinde hekimlerin tüm detaylara hakim olabilmesi sonucu tedavi planlamasında uzmanlar tarafından kullanılmaktadır.

### **Teknolojik medikal cihazların tanıtılması**

Medikal alanda her gün yeni bir gelişmeye şahit olmaktayız. Uzmanlar bir taraftan birçok hastalığın tedavisi için yeni tedavi yöntemleri aramaya devam ederken, mühendisler hekimlere yardımcı olacak yeni teknolojik cihazlar için yeni yöntemler araştırmaktadır. Üç boyutlu görselleştirme sanatçıları ise bu uygulamalar için görseller hazırlamaktadır. Örneğin biyomedikal mühendisleri tıp uzmanlarının tanı ve tedavi süreçlerine yardımcı olabilmek için cihaz ve teknolojiler üretirler. Kara, biyomedikal mühendisliğinin geçmiş ve bugününü araştırdığı çalışmasında:

“Biyomedikal mühendisleri insan vücudunu modelleyebilmek için matematiksel argümanlar kullanırlar. Böylece klinik bulguları daha doğru yorumlayarak vücut fonksiyonlarını daha iyi anlamaya imkân sağlamış olurlar. Biyomedikal mühendisleri aynı zamanda hastalıklara tanı koyabilmek için vücuttan bilgi toplayabilen cihaz ve sistemler tasarlarlar” (Kara, 2010, s. 1).

Sözleri ile bu mühendislik dalının tıp için önemini aktarmıştır.

Mühendislerin tasarladığı bu cihazların medikal toplantılarda diğer doktorlara tanıtımını sağlamak için üç boyutlu görselleştirmelerden faydalanılır. Birçok medikal firma cihazlarının tanıtımı için bu yöntemle başvurmaktadır. “Dahası, tıbbi animasyonlar genellikle yüzey modelleri olarak temsil edilen adli animasyonlardaki cerrahi aletler veya araçlar gibi ek öğeler içerir” (Preim ve Meausche, 2020, s. 145) sözleri ile medikal alandaki animasyonlardaki cerrahi araç ve gereçlere değinmiştir. Bu yeni teknolojik cihazlar medikal konferanslarda hekimleri bilgilendirmek için kullanılmaktadır.

Sonuç olarak üç boyutlu medikal animasyonlar bütün medikal süreçlerde kullanılabilir. Uzmanlar bu animasyonlardan faydalanmaktadır. Bu çalışmanın amaçlarından biri olan üç boyutlu animasyonların gösterimlerinde kullanılan ekran türlerinin tanıtılması da önem taşımaktadır. Ancak bu animasyonların yapımı kadar sunumu oldukça önem taşımaktadır. Üç boyutlu animasyonların üç boyutlu ekran teknolojileri ile sunulması hekimlerin bu süreçte gerçekçi görüntüler elde etmesini sağlamakta ve süreci daha kontrollü yönetmesine yardımcı olmaktadır. Bu yüzden bir sonraki aşamada üç boyutlu ekran teknolojilerinin tanıtılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

### **İki boyutlu ve üç boyutlu görüntüleme teknolojileri**

Günlük hayatta kullandığımız televizyon, telefon ve bilgisayar monitörü gibi ekranlar görüntüyü sadece iki eksenle sunmaktadır. Bu ekranlarda görüntüyü oluşturan noktacıklar bulunmaktadır ve bu noktalara pixel adı verilir. Televizyon teknolojisini anlattığı çalışmasında Kale'nin de dile getirdiği üzere “noktalar yeterince küçükken gözlerimiz noktaları tam olarak seçemez ve görüntüyü bütün olarak görürüz ancak aynı resmi nokta sayısını artırmadan sadece nokta boyutunu artırarak büyüttüğümüzde çoğu kişi görüntüde ne olduğunu anlayamayacaktır. Görüntüyü oluşturan bu noktalara piksel adı verilir. Bir piksel mavi, yeşil ve kırmızı renklerdeki parçalardan oluşur” (Kale, 2010, s. 81). CRT, LCD ve Plazma gibi monitörler iki boyutlu monitör teknolojileri olarak karşımıza çıkar. Rikabad'ın da belirttiği üzere “LCD, arka ışığın önüne monte edilmiş iki boyutlu, elektro-optik bir ışık modülatörüdür. Işık, iki polarize film arasına monte edilmiş ince bir Nematik sıvı kristal tabakasına bir elektrik alanı uygulanarak her piksel için modüle edilir (Rikabad, 2008, s. 2).

Gelişen teknoloji ile birlikte üç boyutlu ekran çeşitleri ortaya çıkmış ve birçok farklı alanda popüler hale gelmiştir. Sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, holografik ekran ve volumetrik ekranlar çok fazla kullanıcı tarafından tercih edilmektedir. Malinowska ve arkadaşları sanal gerçeklik üzerine yaptıkları araştırmada “Günümüzde Sanal Gerçeklik (VR) kullanan çalışmalar, VR'nin görsel

deneyler için standart iki boyutlu görüntüleme ortamlarına göre ekolojik ortamın daha iyi bir yaklaşımı olması nedeniyle büyük popülerlik kazanmaktadır” (Malinowska ve diğerleri, 2024, s. 01) sözleri ile üç boyutlu yeni teknolojilerin önemini vurgulamaktadır.

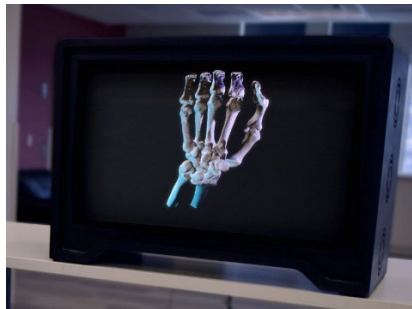
Birçok araştırmacı iki boyutlu görüntüleme ekranlarının daha etkili hale getirilebileceği konusunda yapılan araştırmaların önemine değinmiştir. Lisle ve arkadaşları ekran teknolojileri ile ilgili yaptıkları araştırmada üç boyutlu ekran teknolojilerinin önemini sayısal verilerle açıklamaktadır. “Yıllar boyunca, birçok deney sanal ortamlardaki ve görüntüleme teknolojilerindeki algısal sorunları araştırdı. 184 deneyden üç boyutlu görüntüleme teknolojilerini değerlendiren çalışma gövdesini sentezled ve üç boyutlu ekranların deneylerin %75’inde iki boyutlu emsallerinden daha iyi performans gösterdiğini buldular. Bizim özel kullanım durumumuz için, üç boyutlu ekranlar derinlik algısı çalışmalarının %57’sinde iki boyutlu ekranlardan daha iyi performans gösterdi” (Lisle Merenda ve diğerleri, 2019, s. 2).

Aynı şekilde yine üç boyutlu görüntüleme teknolojisi olan hologramlar günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. İzleyicinin ekrandaki görüntüyü parlaks yani 360 derece görülebilmesine olan tanıyan bu teknoloji eğitim, pazarlama, müzecilik, medikal gibi birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Elmahal ve arkadaşları hologramlar ile ilgili yaptıkları çalışmada “Üç boyutlu görüntüleme teknolojisi, nesneleri görüntülemenin geleneksel yöntemlerindeki sorunları çözmek için gelişmiş bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır; insanlara, insan gözünün doğal görünümüne benzer şekilde şeylerin daha kapsamlı bir görünümünü ve açıklamasını sağlar, üç boyutlu nesneler, fotoğraf ve video gibi basit yollarla veya yeni teknolojiler kullanılarak daha karmaşık bir şekilde gösterilir” (Elmahal ve diğerleri, 2020,s. 91) sözlerine yer vererek hologramların geleneksel teknolojilerden farkında değinmiştir.



**Görsel 6** Medikal Görüntünün Klasik Ekranda Gösterimi. Erişim: 07.03.2025

<https://www.avalonholographics.com/news/trendhunter-3d-experiences-via-holographic-displays>



**Görsel 7** Displaying Medical Image on Volumetric Screen. Access: 07.03.2025

<https://www.avalonholographics.com/news/trendhunter-3d-experiences-via-holographic-displays>

Görsel 6 'da görüldüğü üzere sunulan medikal görsel üç boyutlu olsa da sunum iki boyutlu bir ekranda yapıldığı için üç boyut algısı Görsel 7'deki kadar etkili olmamaktadır. Görsel 7'de üç boyutlu derinlik algısı daha fazla hissedilmektedir.

## Medikal görselleştirmede üç boyutlu ekran teknolojileri

Birçok araştırmacı görsel derinlik ipuçlarını kullanarak insan için en konforlu teknolojiye ulaşmak için çalışmışlardır. Üretilen üç boyutlu görüntüler her ne kadar kaliteli olursa olsun eğer sunulan ekranlar iki boyutluysa paralaks görüntüyü elde etmek imkansızdır. Reichelt, Haussler ve çalışma arkadaşları üç boyutlu ekran teknolojilerinin değerini ve önemini “Günümüzde bilgi alışverişinin büyük ölçüde görsel temsile dayandığı bir iletişim toplumunda yaşadığımızı düşündüğümüzde, iş veya eğlence için günde uzun saatler kullandığımız ekranların çoğunun iki boyutlu bir görüntüyle iyi geçinmesi şaşırtıcıdır” (Reichelt, Haussler ve diğerleri, 2010, s. 1) sözleri ile ifade ederek üç boyutlu teknolojinin artık bir ihtiyaç haline geldiğini ifade eder.

Üç boyutlu ekran teknolojisi ile ilgili çalışmalar çok eskilere dayanmaktadır. İngiliz bilim insanı Sir Charles Wheatstone 1838’de ilk kez stereoskopik görüntü teknolojisini tanıtmıştır. Bu teknoloji, iki farklı açıdan çekilmiş fotoğrafların bir araya getirilmesiyle izleyicinin üç boyutlu bir görüntü algılamasını sağlamıştır. Reichelt, Haussler ve arkadaşları bu alandaki ilk araştırmaların tarihini şu şekilde değerlendirir:

“Ekranlarda üç boyutlu sahneleri görselleştirmek için çeşitli teknolojiler teknolojik olarak gösterilmiş ve yenilenmiştir. Gelişimsel tarihleri 1838’de icat edilen Wheatstone stereoskopuna kadar uzanır. Bunlar arasında, otostereoskopik ve süper çoklu görüntü ekranlarının daha da geliştirilmiş hali olan en yaygın stereoskopik ve çoklu görüntü ekranları ailesi yer alır. Entegre görüntüleme, giderek daha popüler hale gelen bir diğer teknolojidir” (Reichelt, Haussler ve diğerleri, 2010, s. 1)

Bu çalışmada ekran teknolojinin kısa teknik özelliklerinden bahsedilip örnekler verilerek çalışmanın amacının daha iyi anlaşılacağı düşünülmektedir. Reichelt, Haussler ve çalışma arkadaşları üç boyutlu ekran teknolojisi sınıflandırması incelenerek volumetrik ekran teknolojisinin diğer ekranlardan farkı açıklanmak istenmektedir.

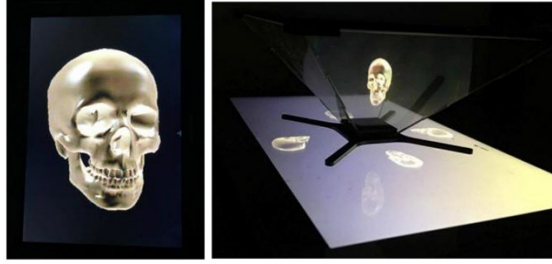
Binoküler Paralaks İçin Stereoskopik üç Boyutlu Gösterimler her iki göze ayrı görüntü sağlayan ekranlardır. İki farklı görüntü oluşturularak derinlik algısı yaratılır ve bu sayede üç boyutlu bir deneyim sağlanır. Lueder: “Bir göz yalnızca düzlemsel bir görüntü algılayabildiğinden, üç boyutlu görüntüleme genellikle her iki gözün iş birliği yaparak her göze nesnenin bir görüntüsünü sağlamasıyla elde edilir. Gözlerin aynı nesneden aldığı görüntüler, gözlerin farklı konumlarına göre farklıdır” (Lueder, 2012, s. 1) sözleri ile binoküler ekranların temelini oluşturan ipucunu açıklar. Bu ekranlar, görselde olduğu gibi özellikle sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) cihazlarında kullanılır. Reichelt ve Haussler gözlük gerektirmeyen otostereoskopik ekranlar ile ilgili: “Gözlük (pasif: anaglif veya polarizasyon; aktif: LCD deklanşörlü gözlükler) gerektiğinde, ekranlara stereoskopik denirken, otostereoskopik ekranlar rahatsız edici gözlük gerektirmez.” (Reichelt, Haussler ve diğerleri, 2010, s. 5) sözleri ile teknik özelliklerinden bahsetmişlerdir. Görsel 4’te VR Gözlük Modellerine yer verilmiştir.



**Görsel 8** VR gözlük modelleri (Pan, Xu ve Cambell, 2021, s.4).

Entegre görüntüleme ekranları ise giyilebilir cihazlar kullanmadan üç boyutlu görüntülerin algılanmasını sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, ışık alanlarını yakalayıp yeniden üretir ve 3 boyutlu dünyadaki nesnelerden yayılan ışığın yansıma şeklini taklit eder. Holografik ekranların temel prensibi üç boyutlu görüntülerin yansıtılması ile oluşan derinlik hissi yaratmaktır. Görsel 5’te olduğu gibi Holografik ekranlar görüntüyü izleyiciye farklı açılardan göstererek gerçek bir üç

boyutlu bir gösterim ortaya çıkarır ve bu durum holografik ekranları diğer geleneksel iki boyutlu ekranlardan ayırır.



**Görsel 9** 2D display and hologram in medical visualization hologram (Qahtan ve Salih, 2017, s. 22).

Luader holografik ekranların teknik özelliklerini şu şekilde ifade eder.

“Holografi, karmaşık bir genlik şeffaflığına (genlik ve faz değerleri) sahip, iki boyutlu bir ekrandan iki boyutlu sahnenin yeniden üretilebildiği yönlendirme tabanlı tutarlı bir görüntüleme tekniğidir. Holografik görüntüler, tutarlı ışığı modüle ederek, örneğin bir uzaysal ışık modülatörüyle, uzayda üç boyutlu sahnenin dalga alanını yeniden oluşturur. Üstün yetenekleri nedeniyle, gerçek zamanlı holografi genellikle ideal üç boyutlu tekniği olarak kabul edilir” (Lueder, 2012, s. 5).

Volumetrik ekran teknolojisi iki veya üç boyutlu görüntülerin fiziksel bir alanda serbestçe görülebilmesini sağlayan ekran türüdür. Lueder’in açıkladığı gibi volumetrik ekranlarda oluşan görüntüler gerçekte var olanla eş değer niteliktedir.

“Gerçek hacimsel ekranlarda, bir sahnenin her noktası uzaydaki gerçek konumunda oluşturulur ve bu, hareketli ekranlarda lazer ışınları veya katmanlı görüntüler yönlendirerek veya floresan veya saçılma yoluyla voksel yayan noktalar oluşturan odaklanmış veya kesişen lazer ışınları kullanarak gerçekleştirilebilir. Bunu yaparken, geniş bir görüntüleme aralığı ve doğru uyum ipuçları sağlarlar. Süpürülmüş hacim tipi hacimsel ekranlar muhtemelen en iyi bilinenlerdir, burada çok hızlı dönen veya çevrilen ekranlar yarı saydam veya kontur bir görüntü oluşturmak için lazer ışınlarıyla aydınlatılır. Bu tür tarama tipi hacimsel ekranların avantajı, gerçek, ancak kapalı üç boyutlu uzayda görüntü üretmeleri ve böylece tam ve sürekli hareket paralaksı sağlamalarıdır” (Lueder, 2012, s. 5).

Geleneksel ekranların aksine, volumetrik ekranlar bir izleyicinin farklı açılardan bakarak derinliği ve hacmi olan görüntüleri görmesine imkân tanır. Bu teknoloji holografik ekranlar gibi üç boyut algısını artırır ancak temel farkı görüntülerin gerçekten fiziksel bir hacmi varmış gibi görünmesidir. Volumetrik ekranlar birçok açıdan görülebilen, gerçek dünyada varmış gibi duran nesneler oluşturur.

Kumagai ve Hayasaki “Fiziksel ekranlar olmadan grafiklerin ve hava görüntülerinin renkleri, gerçek nesneler ile grafikler arasındaki boşluğu doldurmak için görüntüleme teknolojisi geliştirmek amacıyla üç boyutlu bilginin temsilleri olarak değerlidir. Renkli hava hacimsel grafikleri, akustik adresler ve lazer adresleri kullanılarak vokseller oluşturularak üretilmiştir” (Kumagai ve Hayasaki, 2021, s. 1) sözleri ile volumetrik ekran teknolojisinin teknik özelliklerinden bahsederek üç boyutlu görselleri oluşturmadaki farkının altını çizmektedir.

### **Medikal görselleştirme, tıp ve ekran teknolojileri ilişkisi**

Medikal görselleştirmeler hekimlerin, hastaların, hasta yakınlarının, sağlık çalışanlarının bilgilendirilmesini kolaylaştırmak ve hızlandırmak amacı ile bu alanda uzmanlaşmış profesyonel kişiler tarafından yapılmaktadır. Görselleştirme sanatçısı çalıştığı süreç boyunca, konunun uzmanı hekim tarafından bilgilendirilmektedir. Bu anlamda medikal görselleştirmeler iki farklı disiplinin etkileşimi ile sağlanabilmektedir. Mühendislik alanındaki çalışmalar her geçen gün daha etkili ekran teknolojileri için çalışmaktadır. Medikal görselleştirmeler ise en etkili sunum yöntemine ulaşmak için modern ekran teknolojilerini kullanmaktadır. Bu çalışmada üç farklı

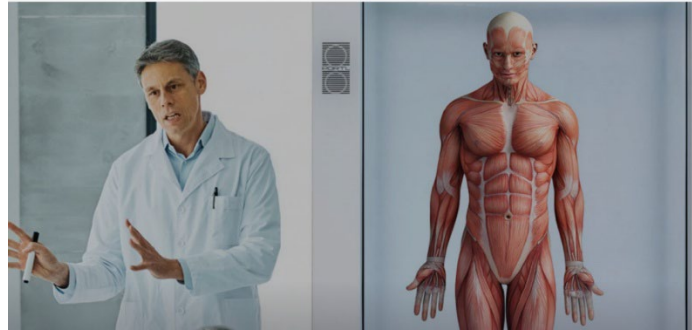
disiplinin birbiri ile etkileşim halinde olduğu net bir şekilde gözlemlenmiştir. Zhao, Wei ve çalışma arkadaşları medikal görüntülemedeki üç boyutlu ekran teknolojileri hakkında yaptıkları araştırmada üç disiplinin birbiri ile etkileşimine şu şekilde değinir:

“Tıbbi endüstri son yıllarda hızla gelişmektedir. Tıbbi görüntüleme araştırması sıcak bir araştırma konusu haline gelmektedir. Görüntü kılavuzlu cerrahi teknolojisi, birçok araştırmacı ve doktorun çalışmasının amacı olan hastalıkları teşhis etmeye yardımcı olmak için daha yüksek görüntüleme kalitesi ve daha iyi görüş etkisi gerektirir. Ancak, geleneksel tıbbi ekipmanlar genellikle yalnızca iki boyutlu ekran görüntüleri sağlar. Bu durumda, görüntüler derinlik ipuçlarından yoksundur, böylece görüntüler stereoskopik hissi kaybeder. Ancak, üç boyutlu ekran teknolojisi, görüntülerin stereoskopik hissi sunmasını sağlamak için derinlik ipuçları sağlayabilir, böylece doktorlar lezyon yerini doğru bir şekilde teşhis edebilir ve tedavi edebilir” (Zhao, Wei ve diğerleri, 2013, s.210).

Bu makale sanat, tıp ve mühendislik bilimlerinin birlikte çalışması hususuna özellikle değinir. Medikal görselleştirme bu üç disiplinin birbiri ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan değerli bir alandır. Günümüzde hekim, sağlık personeli, tıp öğrencileri, hatta hasta ve hasta yakınlarını bilgilendirme hususunda bir ihtiyaç haline gelmiştir.

### **Volumetrik ekran ve medikal alanda kullanımına örnekler**

Volumetrik ekranlar üç boyutlu görüntülerin fiziksel bir alan üzerinde havada asılıymış gibi görünmesini sağlayan cihazlardır. Bu ekranlar, nesneleri farklı açılardan görebilme imkânı sunduğu için tıp ve medikal alanlarda oldukça yenilikçi uygulamalar sağlar. Günümüzde birçok yenilikçi şirket hologram teknolojisini ihtiyaç duyulan alanlarla buluşturmaktadır. Medikal alan hologram kullanımının gerekli olduğu alanlardan biridir. Photohologram adlı hologram teknolojileri firması geliştirdikleri volumetrik ekranları farklı alanlarda hizmete sunmaktadır. Görsel 6’da görüldüğü üzere firma hastalara anında ulaşım, eğitimde anlık ve gerçekçi görsellerle eğitim olanağı sundukları cihazlarını web sitelerinde hedef kitlesine sunmaktadır.



**Görsel 10** Photo Hologram adlı marka tarafından geliştirilen volumetrik ekranların tıp alanında kullanımı  
Erişim: 19.10.2024, Web: [Healthcare & Education – Proto \(protohologram.com\)](https://www.protohologram.com)

Laser Focus World dergisinin teknik editörü John Wallace Fraunhofer Telekomünikasyon Enstitüsü, Heinrich Hertz Enstitüsü (HHI) ve Klinikum rechts der Isar Üniversite Hastanesi’nde yapılan bir araştırmayı şu şekilde anlatıyor:

“Testler, gelişmiş üç boyutlu gözlükler ve ekranlar da dahil olmak üzere tıbbi teknolojide kullanılan üç boyutlu sistemlerinin, bir zamanlar tamamen teorik olduğuna inanılan faydaları olduğunu gösterdi; deneyimli doktorlar bile son nesil üç boyutlu cihazlardan faydalanabilir. Geleneksel olarak, doktorlar üç boyutlu görüntülere oldukça şüpheyle yaklaşmışlardır, ancak çalışma boyunca yapılan testlerde yaklaşık 50 cerrah hem gözlükle hem de gözlüksüz 3 boyutlu sistemlere olumlu yanıt verdi” (Wallace, 2013).



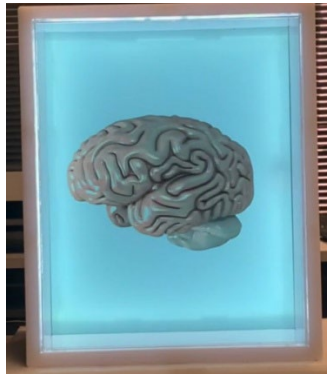


**Görsel 11** Bir cerrah, doğrudan görüş olmadan bir yarayı dikme provası yapıyor. Erişim: 10.11.2024  
Ağ: <https://www.laserfocusworld.com/detectors-imaging/article/16560705/study-shows-3d-display-technology-benefits-surgeons>

Görsel 11 'de olduğu gibi bir yarayı dikmeye çalışan doktorların üç boyutlu görüntülerden yararlandığı sık sık rastlanır bir durumdur. İki boyutlu görüntülere göre üç boyutlu görüntüler operasyon sürecinde doktorların işini kolaylaştırmaktadır.

Hacim dolduran otostereoskopik görüntüler yansıtma yetenekleri göz önüne alındığında, bu ekranlar tıbbi görüntüleme, mekanik bilgisayar destekli tasarım ve askeri görselleştirme gibi çeşitli alanlarda görülmektedir. Burada, gözlemcilerin herhangi bir ek gözlüğe ihtiyaç duymadan üç boyutlu efekti deneyimlemelerini sağlayan bir ekran özelliğini tanımlamak için otostereoskopik terimi kullanılmaktadır. Katot ışın küresi hacimsel ekranının geliştiricileri Barry Blundell ve Adam Schwarz, "Bir hacimsel ekran aygıtı, fiziksel bir hacim içindeki bir dizi yerleştirilmiş ve belirlenmiş bölgeden görünür radyasyonun üretilmesine, emilmesine veya saçılmasına izin verir" (Blundell ve Schwarz, 2013, s.12) şeklinde açıklıyor.

Volumetrik ekran teknolojileri dünya genelinde her gün gelişmekte olan teknolojilerdir. Yurtdışında bu teknoloji üzerine çalışmalar yapan önemli şirketler bulunmaktadır. Ancak ülkemizde bu teknolojinin bilinirliği henüz yeterince yaygınlaşmamıştır.



**Görsel 12** Türkiye'de Nativia Adlı şirket tarafından geliştirilen Locus adlı volumetrik ekran.

Görsel 12'de Nativia Adlı şirket tarafından geliştirilen Locus adlı volumetrik ekranda bir beyin görseli örnek olarak oluşturulmuştur.

## **Sonuç**

Bu çalışmada ilk olarak görsel derinlik algısı üzerinde durulmuştur. Görsel derinlik algısı, oluşturulan görsellerin gerçekmiş gibi algılanması sağlamaktadır. Bu arka plan oluşturulduktan sonra üç boyutlu medikal görselleştirmelerin kullanıldığı alanlar incelenerek öneminin algılanması sağlanmıştır. Tıbbi görselleştirmeler aracılığı ile sanatçı konunun uzmanı tarafından yönlendirilerek ve görsel referanslar doğrultusunda bilimsel bilgileri uygun yazılımlar aracılığı ile oluşturmaktadır. Ortaya çıkan görseller medikal alanda birçok farklı amaç için kullanılabilir. Medikal görselleştirme tıp uzmanları meslektaşlarına elde ettikleri güncel verileri paylaşmak,

hasta ve hasta yakınına bilgilendirmek, sağlık çalışanlarını organize etmek ve tıp öğrencilerinin eğitim sürecini kolaylaştırmak gibi önemli avantajlara sahiptir. Medikal görselleştirmeler sanatçılar tarafından konunun uzmanlarının sağladığı bilimsel bilgiyi referans alarak oluşturulur. Bu çalışmada oluşturulan animasyonların sunulacağı ekran teknolojisi araştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda en konforlu ekran teknolojisine ulaşmak için görsel derinlik algısı yeterliliğinin sağlanmış olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma modern ve güncel bir teknoloji olan volumetrik ekran teknolojisinin avantajlarını araştırmıştır. Volumetrik ekran teknolojisinin giyilebilir teknolojilere kıyasla daha konforlu bir görsel sunuma sahip olduğu gözlemlenmiştir. Üç boyutlu ekranların gerçeğe yakın sunduğu görüntüler geleneksel ekran teknolojilerinden daha etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışma medikal alandaki uzmanların bilgilerini gerekli hedef kitle ile paylaşması noktasında medikal görselleştirmeye ihtiyaç duyduğu sonucuna ulaşmıştır. Tüm bunların neticesinde bu medikal görselleştirmelerin volumetrik ekranlar ile sunumu doğrultusunda sanat, tıp ve mühendislik bilimlerinin etkileşim halinde olduğu görülmüştür. Ayrıca hekimlerin güncel teknolojilerden haberdar olması gerekliliği neticesinde hem tıp eğitimine hem de literatüre katkı sağlayacağı sonucuna varılır.

## Yazar katkı oranları

Çalışmaya 1. Yazar %70, 2. Yazar %30 oranında katkı sağlamıştır.

## Çıkar çatışması beyanı

"Üç Boyutlu Medikal Görselleştirme Çalışmalarının Volumetrik Ekranda Gösterilmesi" başlıklı makalemizin herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur.

## Kaynaklar

- Altın, N. C. (2018). Veri Görselleştirme ve İnfografiklerin Tasarım Eğitimi İçerisindeki Yeri. *İdil Dergisi*, s. 575-588. doi: 10.7816 /idil-07-45-10
- Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S., & Yıldırım, E. (2010). *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı* (6. Baskı). Sakarya: Sakarya Yayıncılık.
- Blundell, B.G., Schwarz, A.J. (2013). *Volumetric Three-Dimensional Display Systems*. Originally published 2000 by John Wiley & Sons Inc. Newyork.
- Elmarash, G.A., Adrah, M.M., Eljadi E.E. (2021). 3D Hologram Technology in Libyan Educational Institutions in Future: Re-view. *Sebha University Journal OF Pure & Applied Sciences*, 20(3), s. 6-10. <https://doi.org/10.51984/jopas.v20i3.1000>
- Elmahal, D.M., Hussein. D., Omaier, A.T. ve diğerleri. (2020). Comparative Study between Hologram Technology and Augmented Reality. *International Journal Of Information*. 12(2), s. 90-106. 10.22059/jitm.2020.75794
- Geng, Jason. 2013. Three-dimensional display technologies, *Advances in Optics and Photonics*, 4(5), s.456-535. <https://doi.org/10.1364/AOP.5.000456>
- Holliman, N. (2017). 3D Display Systems. John P. Dakin, Robert G. W. Brown. (Ed). S.293-321. *Handbook of Optoelectronics Enabling Technologies* (Volume Two), New York: CRC Press.
- Kale, B. (2010). Ekran Teknolojileri. *Bilim ve Teknik Dergisi*. S.80-85. <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/>
- Kara, S. (2010). *Biyomedikal Mühendisliğin Dünü ve Bugünü*. Uluslararası katılımlı Nanobilim ve Nanoteknoloji Öğrenci Kongresi. [http://academia.edu/31152845/Biyomedikal\\_M%C3%BChendisli%C4%9Finin\\_D%C3%BCn%C3%BCve\\_Bug%C3%BCn%C3%BC](http://academia.edu/31152845/Biyomedikal_M%C3%BChendisli%C4%9Finin_D%C3%BCn%C3%BCve_Bug%C3%BCn%C3%BC)
- Kumagai, K., Miura, S., Hayasaki, Y. (2021). Colour volumetric display based on holographic-laser-excited graphics using drawing space separation. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02107-3>
- Lisle, L., Merenda C., Tanous K., Kim H., Gabbard L.J., Bowman, D. A. (2019). *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*. 11(2), s. 1-19. DOI: 10.4018/IJMHCI.2019040101

- Lueder, E. (2021). *3D Displays*. USA: John Wiley & Sons, Ltd.
- Okoshi, T. (1976). *Three-Dimensional Imaging Techniques*. USA: Academic Press Inc.
- Pan, X., Xu, X., Campbell, A. G., Dev, S. (2021). *3D Displays: Their Evolution, Inherent Challenges & Future Perspectives*. Future Technologies Conference, s.1-19. DOI: 10.48550/arXiv.2105.08390
- Pandey, N., Singh S. (2019). 3D animation-based multimedia improves learning in medical students. *Indian Journal of Clinical Anatomy and Physiology*, 6(4), s. 481-483. DOI: 10.18231/j.ijcap.2019.105
- Preim, B., Bartz, D. (2007). *Visualization in Medicine*. Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier.
- Rikabad, R. N. (2015). *The Clinical Performance Evaluation of Tablet, Large Screen TV and Medical Grad Monitors for Teleradiology and General Use Purposes*. Submitted to the Institute of Biomedical Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Biomedical Engineering. Bogazici University. İstanbul.
- Zhao, Y., Wei, Y., Cui, X., ve diğerleri. (2013). *3D Display Technology in Medical Imaging Field*. IEEE International Conference on Medical Imaging Physics and Engineering, s.210-214. Shenyang, China. DOI : 10.1109/ICMIPE.2013.6864536
- Zhou, L., F., M., Hansen, C., Johnson, C. J., Weiskopi, D. (2022). A Review of Three-Dimensional Medical Image Visualization., *Health Data Science*. S. 1-19. DOI: 10.34133/2022/9840519
- Reichelt, S., Haussler, R., Futterer, G., Leister No. (2010). *Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays*. *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*. Erişim: 16.10.2024. Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays (spiedigitallibrary.org)
- Rogers, B. J., Graham, M. (1979). Motion parallax As an independent cue for depth perception. *Perception* 8., s. 125-134. DOI: 10.1068/p080125
- Wallace, J. (2013). *Study shows 3D Display Technology Benefits Surgeons*. Laser Focus World. Erişim: 20.10.2024. <https://www.laserfocusworld.com/detectors-imaging/article/16560705/study-shows-3d-display-technology-benefits-surgeons>
- Zúñiga, D. G., Jordi Carrabina., Orero Pilar. (2013). Evaluation of Depth Cues In 3D Subtitling, *Online Journal of Art and Design*, 1(3), s. 16-29. [https://www.researchgate.net/publication/243973380\\_EVALUATION\\_OF\\_DEPTH\\_CUES\\_IN\\_3D\\_SUBTITLING#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/243973380_EVALUATION_OF_DEPTH_CUES_IN_3D_SUBTITLING#fullTextFileContent)