



Using Augmented Reality Technology in Education^a

Rabia Meryem YILMAZ¹, Yüksel GÖKTAŞ¹

¹Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü Erzurum/Türkiye



Article Info

DOI: 10.14812/cuefd.376066

Article history:

Received 08.01.2018

Revised 04.05.2018

Accepted 28.08.2018

Keywords:

Augmented reality,
Educational potentials,
Technical properties,
Literature review.

Abstract

In this study, the literature is reviewed on using augmented reality (AR) in education. How AR is a technology, its history, display systems and AR softwares are examined. In addition, which AR used any educational field and its providing educational gains are determined. AR can be used in natural sciences, computer and information sciences, mathematics, engineering, humanities and education. AR has been also used in medical, physics, chemistry, biology, astrology and geometry education, museums, storytelling activities, teaching cultural knowledge, engineering and special education. Especially, AR has been used for phenomena impossible to see by naked eye, simulation of potentially dangerous situations, visualization of abstract concepts and complexity phenomena. AR provides edutainment, rich interaction, natural experience and it improves attention and motivation.

Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Eğitimde Kullanımı²

Makale Bilgisi

DOI: 10.14812/cuefd.376066

Makale Geçmişi:

Geliş 08.01.2018

Düzeltilme 04.05.2018

Kabul 28.08.2018

Anahtar Kelimeler:

Artırılmış gerçeklik,
Eğitsel faydalar,
Teknik özellikler,
Derleme

Öz

Bu çalışmada artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisi ve eğitimde kullanımına yönelik alan yazın taraması yapılmıştır. Bu doğrultuda AG'nin nasıl bir teknoloji olduğu, tarihçesi, görüntüleme sistemleri, içerik geliştirmede kullanılan yazılımlar incelenmiştir. Ayrıca eğitimde hangi alanlarda kullanıldığı ve sağladığı kazanımlar ile eğitsel faydaları belirlenmiştir. AG teknolojisinin doğal bilimler, bilgisayar ve bilgi bilimleri, matematik, mühendislik ve insani bilimlerde uygulandığı görülmüştür. Özellikle tıp, biyoloji, fizik, kimya, geometri eğitiminde, astronomide ve müzelerde, hikâye oluşturma etkinliklerinde, kültürel bilgilerin öğretiminde, mühendislik ve engelli eğitiminde etkili bir şekilde kullanıldığı alan yazında ortaya çıkarılmıştır. Bu alanlarda özellikle gözle görülmesi mümkün olmayan nesne ve olayların öğretimi, tehlikeli durumların gösterilmesi, soyut kavramların somutlaştırılması, karmaşanın çok olduğu bilgi düzeylerinin sunulması gibi durumlarda kullanıldığı belirlenmiştir. Alan yazında AG'nin eğlenerek öğrenmeyi sağlama, gerçeklik hissi oluşturma, doğal deneyim sunma, dikkati ve motivasyonu artırma gibi faydalar sağladığı görülmüştür.

Introduction

Thanks to the advances in computer technology, the question of "Does media influence learning?" has transformed to "How will technology education change?" (Reigeluth, 1991). When a new technology is used in education, people are wondering if the new technology can make the existing teaching environments better. One of the new technologies that are the subject of curiosity is the augmented reality (AR) technology. However, the educational potentials of the AR are being investigated more recently (Martin, Diaz, Sancristobal, Gil, Castro, & Peire, 2011; Kesim & Özarslan, 2012; Zhou, Cheok, Pan, & Li, 2004b) and it is thought that AR will provide important contributions to education in the future (Cheng & Tsai, 2012; Martin et al., 2011). It is also thought that digital data, virtual and AR applications will cover our entire life in the future (Rice, 2009; Wang, Kim, Love, & Kang, 2013). Because this technology is new and interesting,

^a This study was conducted as part of the doctoral thesis entitled "Effects of Three Dimensional Storytelling Developed with Augmented Reality Technology on Narrative Skill and Creativity".

^a Bu çalışma "Artırılmış Gerçeklik Teknolojisiyle 3 Boyutlu Hikâye Canlandırmanın Hikâye Kurgulama Becerisine ve Yaratıcılığa Etkisi" başlıklı doktora tezinin bir bölümünden oluşmaktadır.

it is estimated that both teachers and students can attract interest when it used in education. Therefore, it is important to know what kind of technology AR is, how it is used, what kind of technical infrastructure it has, and what benefits it provides educationally.

The researchers have turned to AR technology, which has the potential to improve 21st century skills such as interpreting, multiple thinking, problem solving, knowledge management, teamwork, flexibility, engagement and accepting different perspectives (Schrier, 2006). Furthermore, since AR technology supports various multimedia formats such as sound, picture, text, video, animation, and 3D object, it is predicted that it would be useful to conduct research on the use of this technology in education. Accordingly, a literature review has been done on AR technology and its use in education. In this respect, what kind of technology is AR, history, imaging systems, software used to develop content are examined. In addition, in which areas the training was used and provided educational benefits were determined.

Augmented Reality

AR is defined as a technology that combines the real world with virtual objects and it provides interaction between real and virtual objects (Azuma, 1997). In other words, predetermined target points are captured and connected with the virtual objects and interpreted the results through the programs with AR technology. Because it contains virtual objects, it is necessary to distinguish the AR with the concept of virtual reality (VR). Objects are displayed in real time and environment in AR, while objects in VR are displayed in virtual environment. With this feature, AR is separated from VR (Kye & Kim, 2008). At the same time, it is important for AR to establish a bridge between the virtual and the real World (Chang, Morreale, & Medicherla, 2010; Lee, 2012). In addition, there are three important features that enable AR to distinguish itself from other Technologies (Moreno, MacIntyre, & Bolter, 2001). These are: (1) combining virtual and real objects, (2) providing real-time interaction, and (3) existing 3D objects (Azuma, 1997). AR is an increasingly popular technology that can be used on desktops and laptops, portable devices and smartphones (Kirner, Reis, & Kirner, 2012). Applications developed with AG allow the use of virtual 3D objects, text, 2D images, video and animation separately, they also provide the same usage (Wang, He, & Dou, 2013). Therefore, users can naturally interact with events, objects and information (Wojciechowski, Walczak, White, & Cellary, 2004; Wojciechowski & Cellary, 2013).

History of Augmented Reality

Even though the roots of AR go back to 1950s, this concept was firstly coined by Tom Caudell in 1990s. Tom Caudell used AR technology to create a digital monitoring system that is mounted to head and used for directing employees while assembling electric cables in the planes (Caudell & Mizell, 1992; Siltanen, 2012). In 1994, Paul Milgram proposed a reality-virtuality process, as AR developed in time and had similar properties with virtual reality, which was named as mixed reality and which consist of reality on one end and virtuality on the other end (Figure 1) (Cheng & Tsai, 2012; Milgram & Kishino, 1994; Ternier, Klemke, Kalz, van Ulzen, & Specht, 2012). Thus, the characteristics of AR in this process was understood precisely. The development of AR from the 1950s to our current time is stated in detail in Figure 2.



Figure 1. Reality-Virtuality Process (Adapted from Milgram & Kishino, 1994).

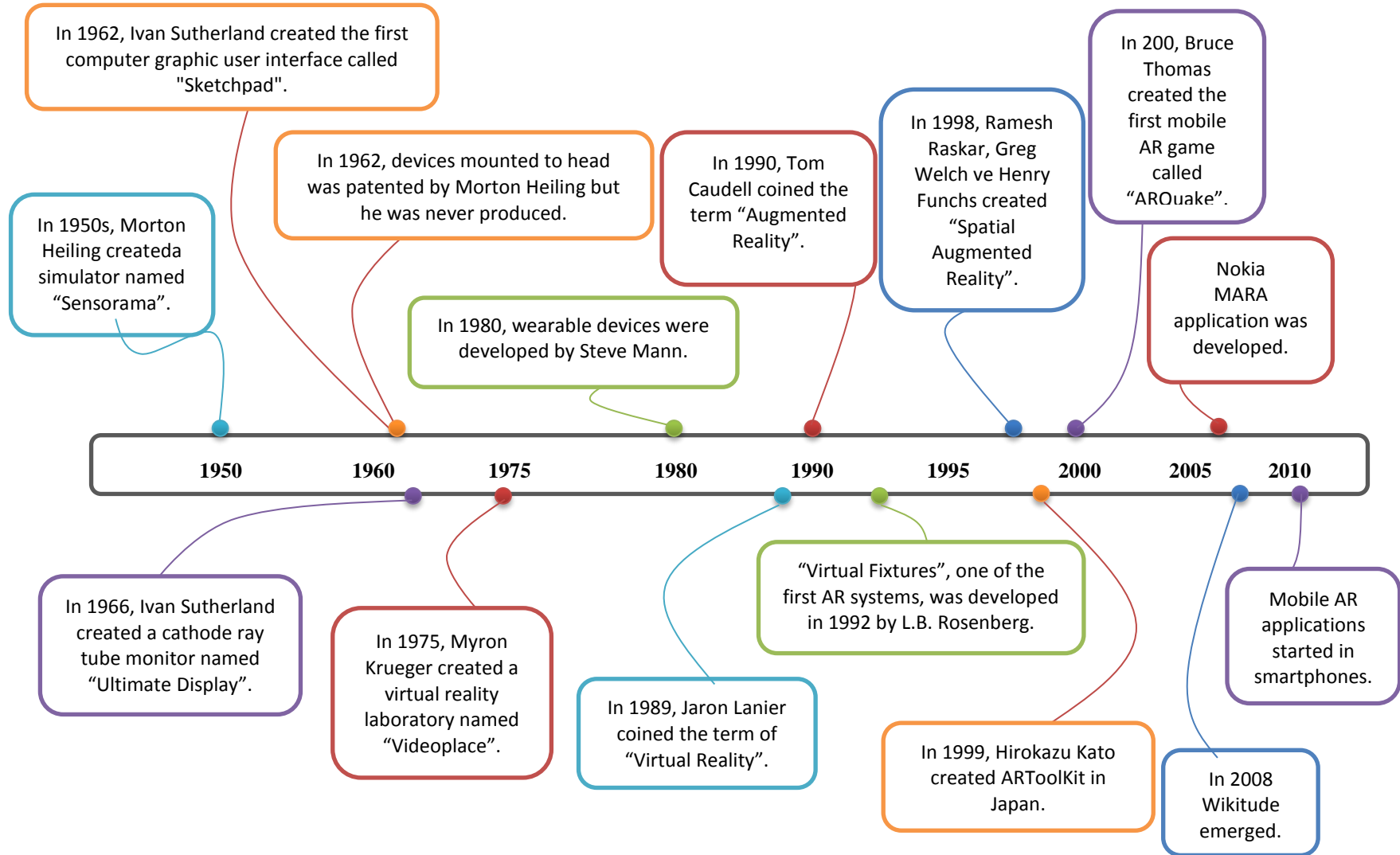


Figure 2. Historical Development of AR. (Adapted from Dodsworth, 2010; Yuen, Yaoyuneyong, & Johnson, 2011)

Technologies Used

AR applications are categorized by different researchers based on the types of technologies used. Johnson, Levine, Smith and Stone (2010) and Pence (2011) use marker-based applications and markerless application categories where as Cheng and Tsai (2012) categorizes AR as image-based and location-based applications. Marker-based applications consist of three main components as a booklet that includes the marker, a device that transforms information into digital data and a monitor that shows digital data in 3D. Instead of these components, markerless applications use three other components as a monitoring system with a GPS (Global Positioning System), a location identifier device and an image identifier device (Johnson et al., 2010). Image-based AR is based on marker-based applications and which is used for transforming marker images into 3D objects by the aid of using AR monitoring softwares that are gathered via a Web camera or other mobile devices (Figure 3).

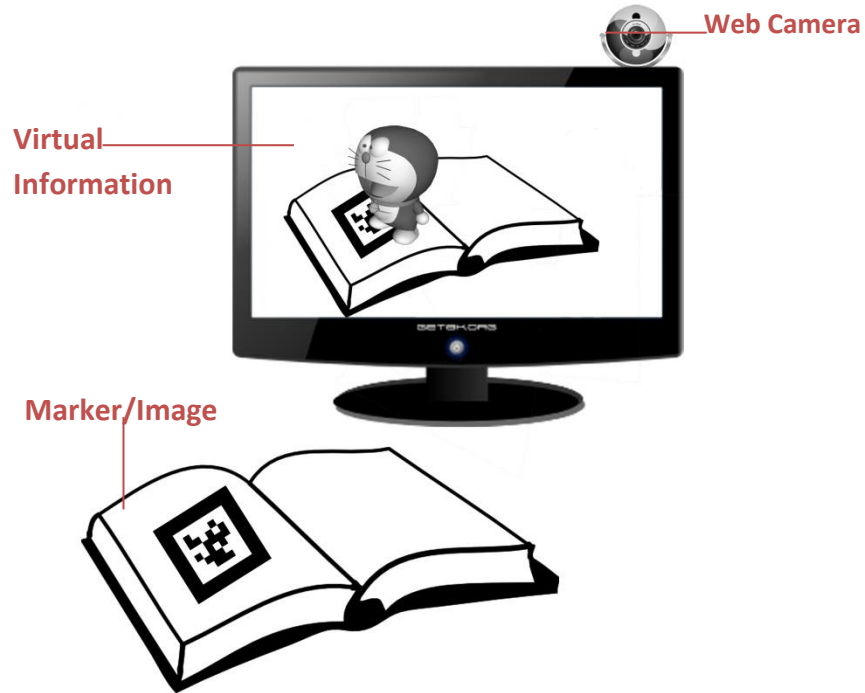


Figure 3. Marker/Image Based AR application

Unlike marker-based AR, markerless applications use GPS or wireless features of mobile phones while identifying the location. AR is created by adding virtual objects to the identified locations (Figure 4).

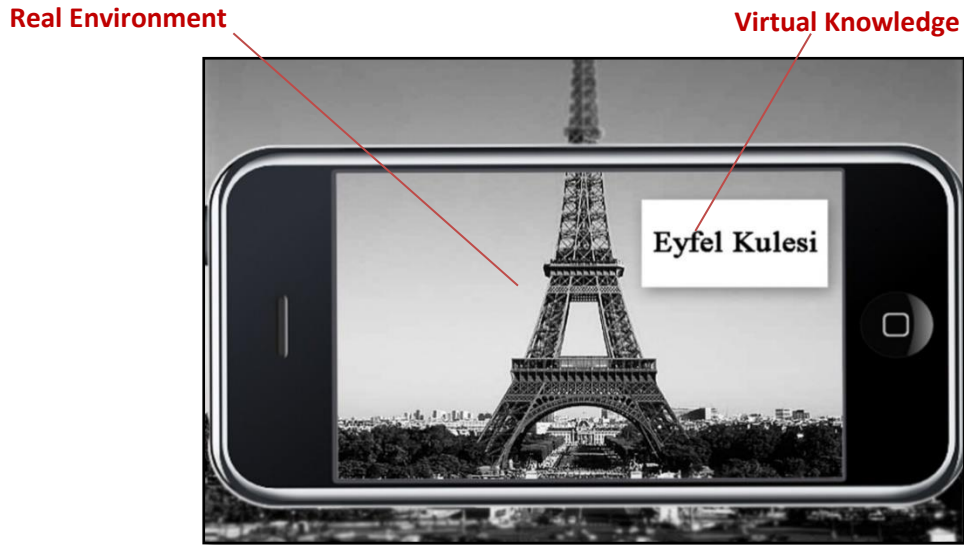


Figure 4. Markerless/location Based AR

When the image-based and location-based AR applications are compared, it is seen that both of the applications have similar and different features. The main difference that separates these two applications is the fact that image-based applications use images and graphics as identifiers while location-based applications use GPS or wireless as an identifier. The similarity between the two applications is using virtual objects such as text, audio, video and 3D models (See in Figure 5).

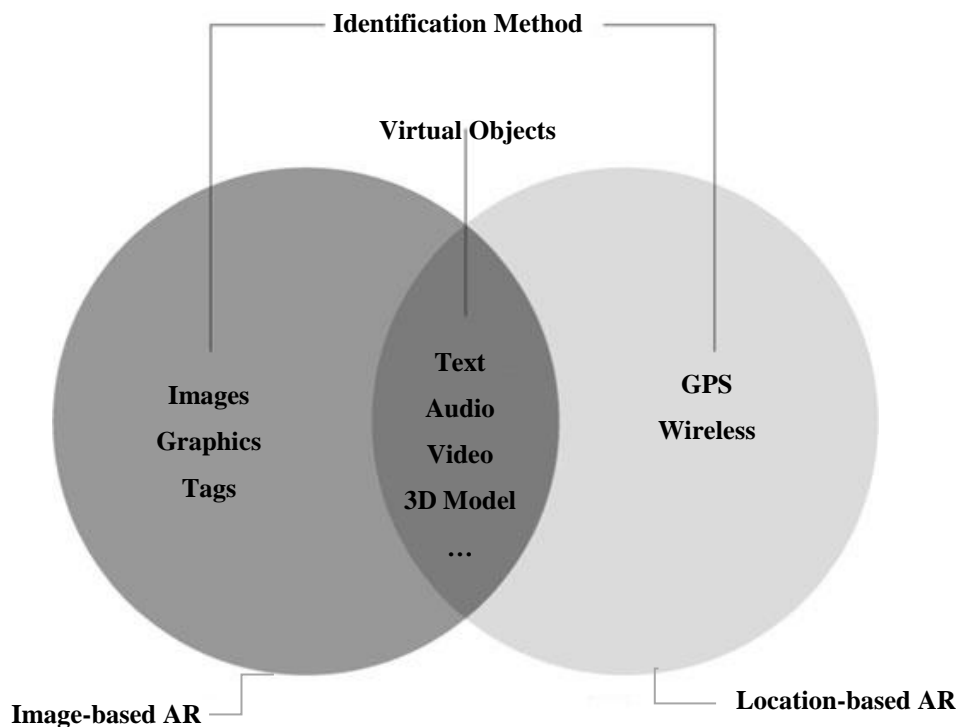


Figure 5. Comparison of Image-based and Location-based AR applications (Cheng & Tsai, 2012).

Monitoring Systems Used In Augmented Reality

Basic devices such as portable devices, computers, lead devices that enable monitoring virtual objects in the real world are used as special monitoring systems in AR applications (See in Figure 6). Head Mounted Display is one of these systems, and it enables displaying objects by the aid of optical monitors that lay on the eyes when the device is mounted to head. Another system is called Handheld Displays that lets monitoring objects by using small devices that can be carried by the individuals by hand. Additively, Spatial Projection Displays use video projectors, optical elements, and holograms (Kesim & Ozarlan, 2012). However, the ring of authenticity can differ with different systems (Serio, Ibáñez, & Kloos, 2013).

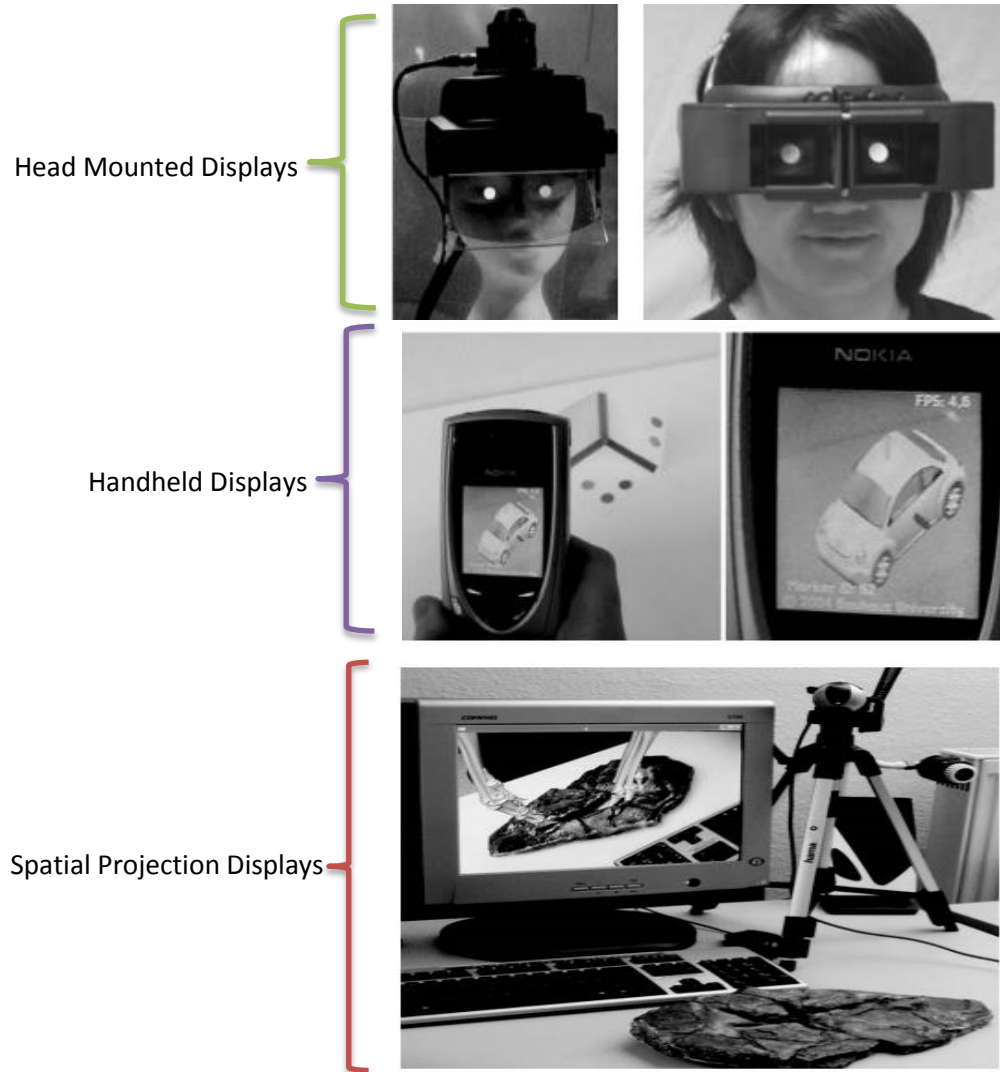


Figure 6. AR Monitoring Systems. Adapted From (Bimber & Raskar, 2004).

Some Software Used in Augmented Reality

Special software are needed to create AR applications. In addition to being different for computers and portable devices and they also vary depending on the audience’s level of using authoring tools and knowledge of programming. Schmalstieg, Langlotz and Billinghurst (2011) categorizes portable devices and the existing software for desktop as low/high level and programming knowledge required/not required (Table 1). In addition to all these, Daqri Ar-media, MixAR ZooBurst, FLARtoolkit, MRToolkit, Junaio, Metaio, Aurasma and Layar are some other software that are being used; (DePriest, 2012; Schmalstieg et al., 2011; Wang et al., 2013; Yuen et al., 2011).

Table 1.
Some software used in AR applications.

| | | Programming knowledge required | Programming knowledge not required |
|---------|------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Desktop | Low Level | ARToolkit | DART |
| | | arTag | ComposAR |
| | High level | Studierstube | AMIRE |
| | | osgART | BuildAR |
| Mobile | Low level | Studierstube Tracker | Python |
| | | ARToolkit for Symbian | |
| | High Level | Studierstube ES | FlashLite |
| | | M3GE | |

Augmented Reality and Education

With the advances in software and hardware used in AR, this technology have started to be used in several areas such as entertainment, marketing, military, medicine, engineering, psychology, advertising (Azuma, 1997; Azuma, Baillot, Behringer, Feiner, Julier, & MacIntyre, 2001; Kirner et al, 2012). By the aid of the advanced technology that AR has, the applications have become a rich learning experience (Alcañiz, Contero, Pérez-López, & Ortega, 2010). Thus the use of AR applications has come to prominence. Yet, it is indicated that the use of technological tools in education gives new opportunities to increase interaction between individuals and entertaining learning as well as making the learning process more active, effective and meaningful (Alsumait & Musawi, 2013; Nischelwitzer, Lenz, Searle, & Holzinger, 2007; Sumadio & Rambli, 2010). AR technology has attracted attention in the area of education as it enables interacting both with virtual and real objects, learning by experience, increasing attention and motivation (Singhal, Bagga, Goyal, & Saxena, 2012).

Despite the fact that virtual environments provide rich content and interaction, these environments lack reality. This situation can affect the cognitive development of individuals in a negative way (Vygotsky, 1986). It is thought that this problem can be solved by the aid of AR technology. In this direction, researchers have focused on how AR can be implemented in schools (Sumadio & Rambli, 2010). In this regard, the most important points are fitting the curriculum, carrying out the learning process in a balanced way and creating effective interactions (Hsiao, Chen & Huang, 2010). AR is also applied in natural sciences (chemistry, physics, biology, astrology, etc.), computer and information sciences, mathematics, engineering (mechanical, electrical, biomedical, etc.) and humanitarian sciences (history, languages, anthropology, etc.) (Wojciechowski & Cellary, 2013). In education, AR is thought to be more effective especially in teaching about objects and situations that can not be seen, showing dangerous situations, materializing abstract concepts and presenting complicated information (Huang, Chen, & Chou, 2016; Walczak et al., 2006).

When AR is used in education, it brings along a lot of benefits and educational gains. Additively, because of its features, it can be used in almost all levels of education (Akçayır, Akçayır, Pektaş, & Ocak, 2016). AR, while enabling rich interaction (Azuma, 2004), provides a natural experience and increases attention and motivation (O’Brien & Toms, 2005; Squire et al., 2008). In addition to all these, it increases the skills of interpretation, problem-solving (Schrier, 2006), creative thinking (Ivanova & Ivanov, 2011) and provides flexibility to students (Schrier, 2006). When integrated to education in a suitable way, it can support different learning approaches such as authentic learning, situational learning and constructivist learning (Johnson, Smith, Willis, Levine, & Haywood, 2011; Kirner et al., 2012; Wojciechowski & Cellary, 2013; Yuen et al., 2011). Besides, the benefits of using AR in education, the gains of using AR and the learning approaches supported by AR are presented in Table 2 in detail.

Table 2. *The advantages provided by the educational use of the AG, the gains achieved and the learning approaches it supports*

| | | |
|---|--|---|
| ADVANTAGES OF AG IN EDUCATION | Providing a sense of reality | Lin & Wang (2012) |
| | Presenting a natural experience | O'Brien & Toms (2005); Sumadio & Rambli (2010) |
| | Visualize complex relationships | Arvanitis vd. (2007); Wu, Lee, Chang, & Liang (2013) |
| | Offer experiences that cannot be done in real life | Wu vd. (2013); Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Concrete abstract concepts | Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Having fun learning | Yoon, Elinich, Wang, Steinmeier, & Tucker (2012) |
| | Presenting safe learning environment | Li (2010); Aziz, Aziz, Paul, Yusof, & Noor (2012); Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Saving time and space | Wei, Weng, Liu, & Wang, 2015; Li (2010); Aziz vd. (2012) |
| | Increasing student participation | Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Providing flexibility | Schrier (2006) |
| SUPPORTED LEARNING APPROACHES | Authentic Learning Environments | Yuen vd. (2011) |
| | Situational learning environments | Johnson vd. (2011); Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Constructivist learning environments | Kirner vd. (2012) |
| | Learning by doing learning environments | Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Inquiry-based learning environments | Cheng & Tsai (2012); Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Research-based learning environments | Yuen vd. (2011) |
| GAINS OF USING AUGMENTED REALITY IN EDUCATION | Increasing attention | O'Brien & Toms (2005); Sumadio & Rambli (2010); Aziz vd. (2012) |
| | Making learning attractive and effective | Dünser & Hornecker (2007); Oh & Woo (2008); Lester vd. (1997); Wojciechowski & Cellary (2013); Zhou, Cheok, & Pan (2004a) |
| | Providing motivation | Wei, Weng, Liu, & Wang, 2015; O'Brien & Toms (2005); Sumadio & Rambli (2010); Aziz vd. (2012); Serio vd. (2013) |
| | Providing interaction | Yilmaz (2016); Azuma (2004); Wojciechowski & Cellary (2013); Kerawalla, Luckin, Seljeflot, & Woolard (2006); Ivanova & Ivanov (2011); Wu vd. (2013); Bujak, Radu, Catrambone, MacIntyre, Zheng, & Golubski, (2013); Kesir & Ozarslan (2012) |
| | Facilitating understanding | Ivanova & Ivanov (2011); Núñez, Quiros, Núñez, Carda, & Camahort (2008); Zhou vd. (2004a) |
| | Connecting with real-world experiences and problems | Ternier vd. (2012) |
| | Creating contextual awareness | Ivanova & Ivanov (2011) |
| | Increasing engagement | Bujak vd. (2013); Ivanova & Ivanov (2011) |
| | Ensuring permanent learning | Ivanova & Ivanov (2011) |
| | Improving communication | Ivanova & Ivanov (2011) |
| | Increasing collaboration | Billinghurst (2002); Yuen vd.(2011) |
| | Triggering creativity | Klopfer & Yoon (2004); Zhou vd. (2004b); Yuen vd.(2011) |
| | Developed imagination | Klopfer & Yoon (2004); Yuen vd.(2011) |
| | Controlling self-learning | Yuen vd. (2011); Bujak vd. (2013) |
| | Increasing spatial ability | Cheng & Tsai (2012); Wojciechowski & Cellary (2013); Bujak vd. (2013) |
| | Enhancing problem solving skill & interpretation skill | Schrier (2006) |

Even though AR provides an important contribution to education, there are still some problems that need to be overcome. The most important problem in this context is the difficulty of applying and producing content for AR applications. Especially, as developing 3D objects requires technical knowledge, many students and teachers are prejudiced about using AR (Yuen et al., 2011). Besides, another problem that makes this technology hard to apply effectively in education results from external factors like lighting, output and display quality that affects the applications negatively. On the other hand, there are some problems related to students and learning processes. The students that use AR may face a huge amount of knowledge at same time. This situation results in high levels of cognitive load. Furthermore, the students that use AR applications may have to use several devices. This issue requires students to have spatial orientation ability, problem-solving ability and technology interference skills (Wu et al., 2013). Putting aside some technical and pedagogical problems that are brought along with AR, the potential of AR in educational applications attracts researchers to this field. When the studies in the literature are analyzed, it is seen that there are several studies which support the idea that the use of AR applications in education affects the education process in a positive way (Billinghurst et al., 2001; Dünser & Hornecker, 2007; Farias & Dantas, 2011; Kaufmann & Papp, 2006; Kerawalla et al., 2006; Oh & Woo, 2008).

When the studies in the literature are analyzed in detail, the wide use of AR in museum education attracts attention. Some of these studies such as history education in museum (Klopfer, Perry, Squire, Jan, & Steinkuehler, 2005), creation of design principles for learning anytime and anywhere applications (Hall & Bannon, 2006), location-based mobile applications (Waite, Kirkley, Pendleton & Turner, 2004) and creation of cultural museum applications (Damala, Cubaud, Bationo, Houlier, & Marchal, 2008) draws interest. Additively, there are some studies regarding teaching about dinosaurs and underwater world with AR applications as well (Hughes, Smith, Stapleton & Hughes, 2004).

Health education is also one of the areas that have a high number of studies on this topic. There are investigations made especially in anatomy education (Blum, Kleeberger, Bichlmeier & Navab, 2012a; Blum, Kleeberger, Bichlmeier & Navab, 2012b; Kandikonda, 2011). In this direction, the studies focus on some particular points such as the practical and easy use of AR technologies in anatomy education (Thomas, John & Delieu, 2010), teaching bone structures (Chien, Chen & Jeng, 2010) and comparison of AR applications and conventional education (Jan, Noll, Behrends & Albrecht, 2012). Carlson and Gagnon (2016) integrated AR technology into the simulation. For instance, the effectiveness of internal and external ear modeling (Nicholson, Chalk, Funnell & Daniel, 2006) and comparison with other technologies and effects on students' learning (Yeom, 2011) are some of the topics that were brought out.

In the field of biology, there are some studies made in order to decide the effects of the factors that AR technologies include learning and reveal the relationship between these factors (Kye & Kim, 2008), decide the effect of internal and external motivation on the use of technology (Balog & Pribeanu, 2010), compare interactive AR application in ecosystem education with other computer-backed and face to face methods (Hsiao et al., 2010), create an application that teaches plant growth by using interactive garden AR application and decide the benefits of AR application on the learning process in teaching protein synthesis (Lau, Oxley & Nayan, 2012). In addition, Tarng, Ou, Yu, Liou and Lio (2015) created AR contents and analyzed the effect of these contents on the academic success of elementary school students.

The studies in the area of physics analyze how cognitive abilities are increased by visual compatible information-structure skeletons and improvement of conceptual understanding of the scientific phenomenon (Yoon et al., 2012) and examine the configuration of knowledge by developing elastic collision AR application (Lin, Wang, Duh, Tsai & Liang, 2012). Akçayır, Akçayır, Pektaş and Ocak (2016) compares AR-backed education and conventional education regarding laboratory skills and analyzes attitudes of students. Sumadio and Rambli (2010) analyze teacher and student opinion by creating 3D materials for a high school level physics course in their study that aims to decide the usefulness of AR technology in education.

The studies in the area of chemistry aim to analyze molecular structure (Singhal et al., 2012), show crystal structures in 3D in inorganic chemistry courses (Núñez et al., 2008), to see how students interact by comparing AR and other models (Chen, 2006) and analyzing motivational effects and learning outcomes (Balog & Pribeanu, 2010).

When the studies in the area of Geometry are analyzed, it is seen that the students were encouraged to interact with several virtual objects in mathematics/geometry (Liarokapis, Petridis, Lister, & White, 2002) and mobile AR application was developed for geometry education by Kaufmann (2004). On the other side, a study (Kaufmann & Schmalstieg, 2003) that offers cooperative mathematics/geometry learning and provides interaction between teacher and student and also a project named StudierStube (Schmalstieg et al., 2002)

were conducted. Lin, Chen, and Chang (2015) compared AR-backed learning and traditional learning in the area of Geometry.

In the area of astronomy, an AR application was developed in order to make topics such as rotation/cycle in the earth and the sun, seasonal changes in temperature and light to be more understandable (Shelton & Hedley, 2002) and also some applications were created in order to gather information about space (O'Shea, 2008). Besides, there is a study in the literature about development and assessment of an interactive AR application about astronomy education (Kien-Sin & Zaman, 2010).

Story-creating activities come to the forefront within the studies in the literature (Dünser, 2008; Dünser & Hornecker, 2007; McKenzie & Darnell, 2004; Saso, Iguchi & Inakage, 2003; Zhou et al., 2004). A book with AR technology which is named MagicBook which includes 3D objects, text, and images was developed (Billinghurst et al., 2001) and this interesting approach is accepted to be the first AR application in education. Additively, Cheng and Tsai (2014) analyze the interaction between parents and children in AR-backed books.

In addition to all these, it is seen that AR is used in engineering education, special education and teaching cultural knowledge. AR is used in training the materials in engineering education (Liarokapis et al., 2004), the teaching of individuals with hyperactivity disorder and distractibility (Aziz et al., 2012), and teaching of cultural knowledge (Ha, Lee & Woo, 2011).

Conclusion and Discussion

This study makes a literature review about AR technology and its use in education. As a result, it is revealed that AR, which dates back to 1950s, is a technology that can be used in several platforms such as PCs, laptops, portable devices and smartphones and its use becomes more common in our current time (Kirner et al., 2012). Besides, AR differs from other technologies with its abilities of combining virtual and real objects, providing real-time interaction and including 3D objects (Azuma, 1997; Moreno et al., 2001).

In the literature, it is seen that AR technology is categorized as marker-based and markerless applications and image-based and location-based applications (Cheng & Tsai, 2012; Johnson et al., 2010; Pence, 2011), and this technology uses several monitoring systems such as head mounted displays, handheld displays and spatial projection displays. The fact that each system may differ in terms of sense of authenticity draws attention (Serio et al., 2013). Besides, portable devices, PCs and the software used in content creation are analyzed. Researchers categorizes the existing software as low level/high level programming knowledge required/not required (Schmalstieg et al., 2011). The remarkable software are ARToolkit, DART, ComposAR, BuildAR, Studierstube, FlashLite, Daqri Ar-media, MixAR ZooBurst, FLARtoolkit, MRToolkit, Junaio, Metaio, Aurasma and Layar.

When the fields where AR technology is used are analyzed, it is seen that AR technology becomes widespread in several areas such as entertainment, marketing, defense, medicine, engineering, psychology, marketing and education. This technology is used in natural sciences (chemistry, physics, biology, astrology etc.), computer and information sciences, mathematics, engineering (mechanical, electrical, biomedical etc.) and humanitarian sciences (history, language, anthropology etc.) as well (Wojciechowski & Cellary, 2013). Especially, it is seen that AR is used effectively in medicine, biology, physics, chemistry, geometry education, astronomy and museums, story-creating activities, teaching cultural knowledge, engineering and handicapped education. In these areas, it is especially used for teaching invisible objects and situations, showing dangerous situations, concretization of intangible concepts, presenting levels of knowledge where complications exist commonly (Walczak et al., 2006).

When the literature is analyzed in detail, it is seen that it gives benefits such as giving the feeling of authenticity, initiating natural experience, visualizing complicated relationships, providing experiences that can not be done in real life and concretizing intangible concepts (Arvanitis ve et al., 2007; Lin & Wang, 2012; O'Brien & Toms, 2005; Sumadio & Rambli, 2010; Wojciechowski & Cellary, 2013; Wuve et al., 2013). Besides, it is determined that AR provides instructors with a constructive and authentic learning environment, and a situational, live and learn environment (Johnson et al., 2011; Kirner et al., 2012; Wojciechowski & Cellary, 2013; Yuen et al., 2011). On the other hand, it is revealed that AR brings along some outcomes such as increasing attention, making learning more effective and interesting, providing motivation and a rich interaction (Aziz et al., 2012; Bujak et al., 2013; Dünser & Hornecker, 2007; O'Brien & Toms, 2005; Oh & Woo, 2008; Serio et al., 2013; Sumadio & Rambli, 2010; Wojciechowski & Cellary, 2013).

Even though virtual environments provide children with rich interaction, the most important problem is the lack of real environment. Especially, it is known that lack of real environment affects the early cognitive

development of the children negatively (Vygotsky, 1986). At this point, the AR's property of presenting virtual and real environments together can be a way to overcome this situation. In this direction, researchers have focused on how AR can be applied in the schools in the best way possible (Sumadio & Rambli, 2010). Here, the critical points are being compatible with the curriculum followed in schools, compliance with the learning process and creating effective interaction while creating the curriculums (Hsiao et al., 2010). Because of this, it is thought that applying activities that are backed by AR in schools can add benefit to the integration of this technology to education.

Recommendations

As a result of the literature review, the following recommendations are presented:

- As markerless applications give a greater sense of authenticity, the use of these applications in education can be extended.
- As head mounted displays generate high costs, portable and spatial projection systems can be chosen as monitors.
- Attention should be attached to choosing appropriate software and providing technical infrastructure while creating educational applications with AR Technologies.
- Choice of software while creating content with AR Technologies affect the quality of the application. In this direction, trying more than one software before starting developing content may be beneficial.
- AR applications get affected negatively from physical factors such as light, output quality and camera features. For this reason, precaution should be taken to minimize the effect of these factors.
- In order to extend the use of this technology in the area of education, the schools should be provided with necessary technical infrastructure support and teachers may be given on-the-job training.
- Research can be conducted aiming to decide the learning approaches/teaching methods that AR can be used the most effective.
- Research can be done to decide the usability of AR technology in learning environments.

Türkçe Sürümü

Giriş

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, "Medya öğrenmeyi etkiler mi?" sorusu farklılaşarak "Teknoloji eğitimi nasıl değiştirecek?" sorusuna dönüşmüştür (Reigeluth, 1991). Yeni bir teknoloji eğitimde kullanıldığında, insanlar yeni teknolojinin mevcut öğretim ortamlarını daha iyi hale getirip getiremeyeceğini merak etmektedirler. Etkisi merak konusu olan yeni teknolojilerden birisi de artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisidir. Ancak AG'nin eğitsel potansiyelleri daha yeni araştırılmakta (Martin, Diaz, Sancristobal, Gil, Castro, & Peire, 2011; Kesim & Özarslan, 2012; Zhou, Cheok, Pan, & Li, 2004b) ve gelecekte eğitime önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir (Cheng & Tsai, 2012; Martin vd., 2011). Ayrıca dijital verilerin, sanal ve AG uygulamalarının gelecekte tüm hayatımızı kaplayacağı düşünülmektedir (Rice, 2009; Wang, Kim, Love, & Kang, 2013). Bu teknolojinin yeni ve ilgi çekici olmasından dolayı, eğitimde kullanıldığında hem öğretmenlerin hem de öğrencilerin ilgisini çekebileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle AG'nin nasıl bir teknoloji olduğunun, nasıl kullanıldığının, nasıl bir teknik altyapıya sahip olduğunun ve eğitsel anlamda ne gibi faydalar sağladığının bilinmesi önemlidir.

AG'nin yorumlama, çok yönlü düşünme, problem çözme, bilgi yönetimi, takım çalışması, esneklik, meşguliyet ve farklı bakış açılarını kabul etme gibi 21. yüzyıl becerilerini geliştirmeye yönelik bir potansiyele sahip olması (Schrier, 2006), araştırmacıları AG teknolojisine yöneltmiştir. Ayrıca AG teknolojisi; ses, resim, yazı, video, animasyon ve üç boyutlu (3B) nesne gibi çeşitli öğeleri desteklediğinden, bu teknolojinin eğitimde kullanımına yönelik araştırmaların yapılmasının faydalı olabileceği öngörülmektedir. Bu doğrultuda çalışmada AG teknolojisi ve eğitimde kullanımına yönelik alan yazın taraması yapılmıştır. Bu doğrultuda AG'nin nasıl bir teknoloji olduğu, tarihçesi, görüntüleme sistemleri, içerik geliştirmede kullanılan yazılımlar incelenmiştir. Ayrıca eğitimde hangi alanlarda kullanıldığı ve sağladığı kazanımlar ile eğitsel faydaları belirlenmiştir.

Artırılmış Gerçeklik

AG, gerçek dünya ile sanal imgelerin birleştiği, gerçek ve sanal nesnelere eş zamanlı etkileşimin sağlandığı bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Azuma, 1997). Diğer bir deyişle AG; gerçek dünyanın kamera ile görüntüsünün alınması sırasında, önceden belirlenmiş olan hedef noktalara, sanal nesnelere bağlanması ve oluşan sonucun programlar vasıtasıyla yorumlanarak alınmasıdır. İçerisinde sanal nesnelere barındırması nedeniyle AG'nin, sanal gerçeklik (SG) kavramıyla ayrımının yapılması gerekmektedir. SG' de nesnelere sanal ortamda görüntülenirken, AG'de gerçek zaman ve ortamda görüntülenmektedir. Bu özelliğiyle AG sanal gerçeklikten ayrılmaktadır (Kye & Kim, 2008). Aynı zamanda AG'in, sanal ve gerçek dünya arasında bir köprü kurabilmesi önemli bir özellik olarak ön plana çıkmaktadır (Chang, Morreale, & Medicherla, 2010; Lee, 2012). Bunun yanı sıra AG'nin diğer teknolojilerden ayrılarak ön plana çıkmasını sağlayan üç önemli özelliği bulunmaktadır (Moreno, MacIntyre, & Bolter, 2001). Bunlar: (1) sanal ve gerçek nesnelere birleştirilmesi, (2) gerçek zamanlı etkileşim sunması, (3) 3B nesnelere yer almasıdır (Azuma, 1997). AG, kullanımı gittikçe yaygınlaşan ve masaüstü ve diz üstü bilgisayarlar, taşınabilir cihaz ile akıllı telefonlar gibi farklı platformlarda kullanılabilen bir teknolojidir (Kirner, Reis, & Kirner, 2012). AG ile geliştirilen uygulamalar 3B nesnelere, yazı, 2B resim, video ve animasyon gibi sanal nesnelere ayrı ayrı kullanımına izin verirken, bunların aynı anda kullanımını da sağlamaktadır (Wang, He, & Dou, 2013). Böylelikle kullanıcılar doğal yollarla olaylar, nesnelere ve bilgilerle etkileşime geçebilmektedirler (Wojciechowski, Walczak, White, & Cellary, 2004; Wojciechowski & Cellary, 2013).

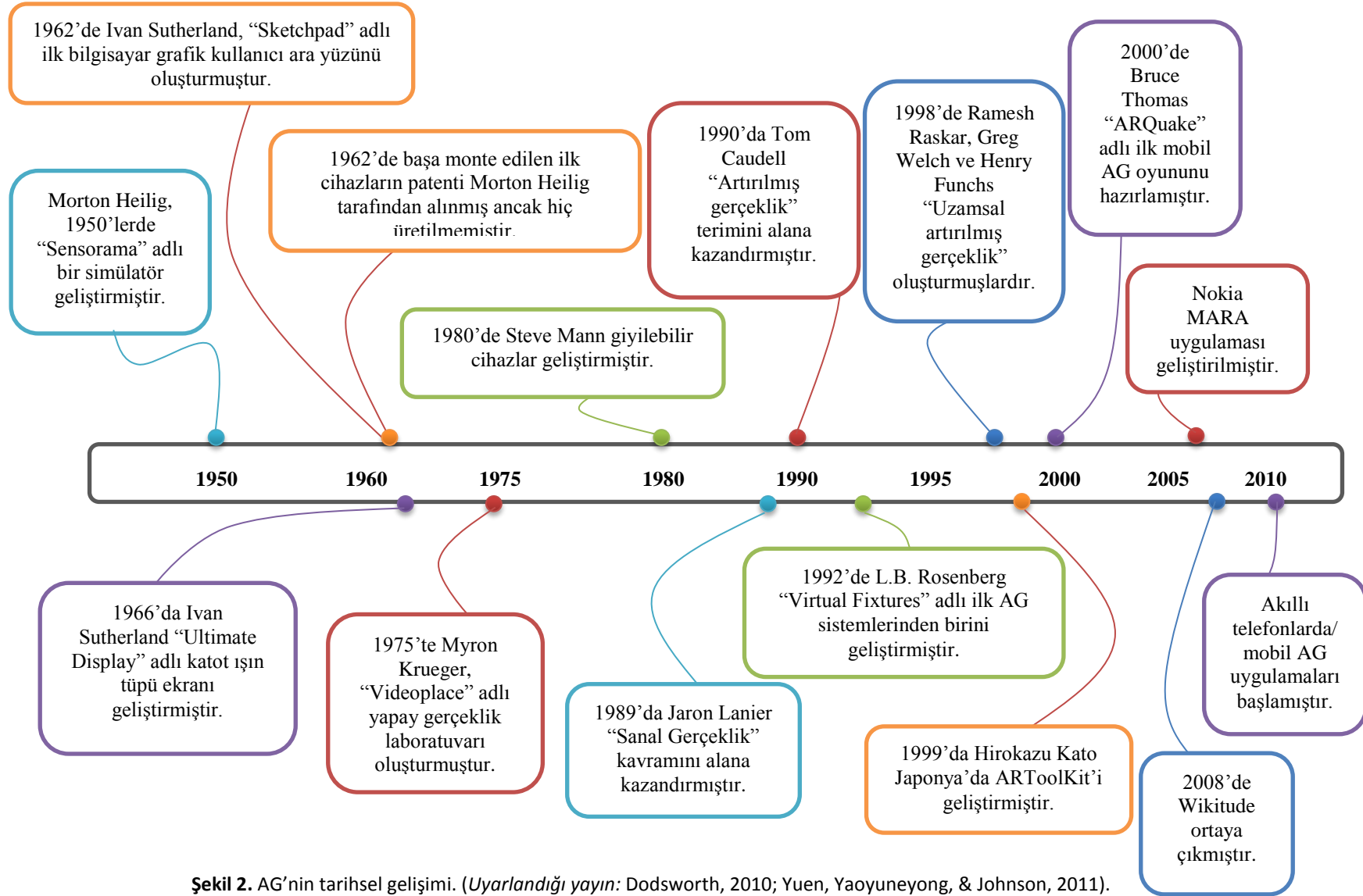
Artırılmış Gerçekliğin Tarihçesi

AG'nin kökeni her ne kadar 1950'li yıllara kadar dayansa da, bu kavram ilk olarak 1990' larda, Tom Caudell tarafından kullanılmıştır. Tom Caudell AG teknolojisini kullanarak uçaklara elektrik kablolarının yerleştirilmesi sırasında çalışanların yönlendirilmesini sağlayan başa monte edilen bir dijital görüntüleme sistemi geliştirmiştir (Caudell & Mizell, 1992; Siltanen, 2012). 1994'te Paul Milgram AG'nin zaman içinde gelişmesi ve sanal gerçekliğe benzer özellikler taşıması nedeniyle bir ucunda gerçekliğin diğer ucunda sanallığın yer aldığı karma gerçeklik olarak adlandırılan bir gerçeklik-sanallık sürecini sunmuştur (Bkz. Şekil 1) (Cheng & Tsai, 2012; Milgram & Kishino, 1994; Ternier, Klemke, Kalz, van Ulzen, & Specht, 2012). Böylelikle AG'nin bu

süreçteki karakteristiği belirgin bir şekilde anlaşılmıştır. 1950'lerden günümüze kadar AG'nin zaman içindeki gelişimi Şekil 2'de detaylı olarak belirtilmiştir.



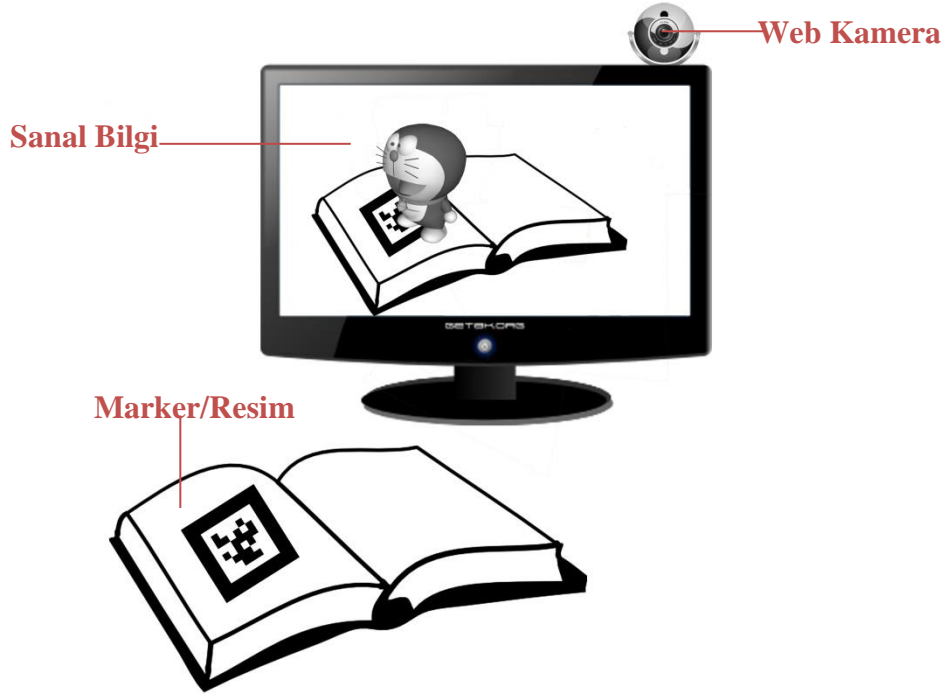
Şekil 1. Gerçeklik-Sanallık Süreci (*Uyarlandığı yayın: Milgram & Kishino, 1994*).



Şekil 2. AG'nin tarihsel gelişimi. (Uyarlandığı yayın: Dodsworth, 2010; Yuen, Yaoyuneyong, & Johnson, 2011).

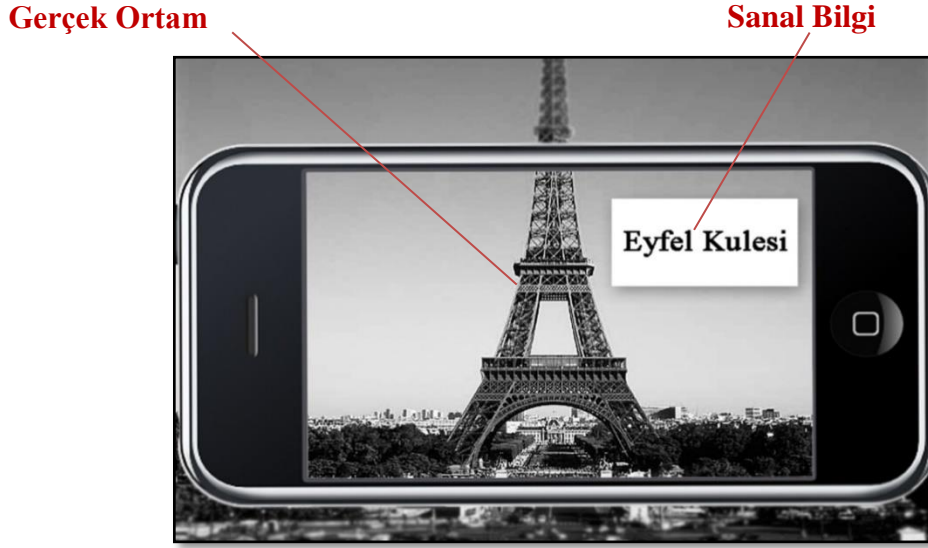
Kullanılan Teknolojiler

AG uygulamaları kullanılan teknolojilere göre farklı araştırmacılar tarafından kategorilere ayrılmıştır. Johnson, Levine, Smith ve Stone (2010) ile Pence (2011) marker tabanlı uygulamalar ile marker tabanlı olmayan uygulamalar kategorilerini kullanırken, Cheng ve Tsai (2012) AG'yi resim tabanlı ve lokasyon tabanlı uygulamalar olarak kategorilendirmişlerdir. Marker tabanlı uygulamalar, içerisinde markerın yer aldığı bir kitapçık, markerdaki bilgiyi dijital veriye dönüştüren bir aygıt ve dijital veriyi 3B gösteren bir ekrandan meydana gelen 3 temel bileşenden oluşmaktadır. Marker tabanlı olmayan uygulamalar da ise bunların yerine GPS'in (Global Positioning System) kullanıldığı izleme sistemleri, bir alan ve resim tanılayıcı cihazlardan oluşan 3 bileşen kullanılmaktadır (Johnson vd., 2010). Temelinde marker tabanlı uygulamaların yer aldığı resim tabanlı AG, marker görüntüsünün bir Web kamera veya mobil cihazlar aracılığıyla alınarak AG görüntüleme yazılımları sayesinde 3B nesnelere dönüştürülmesini sağlayan uygulamalardır (Bkz. Şekil 3).



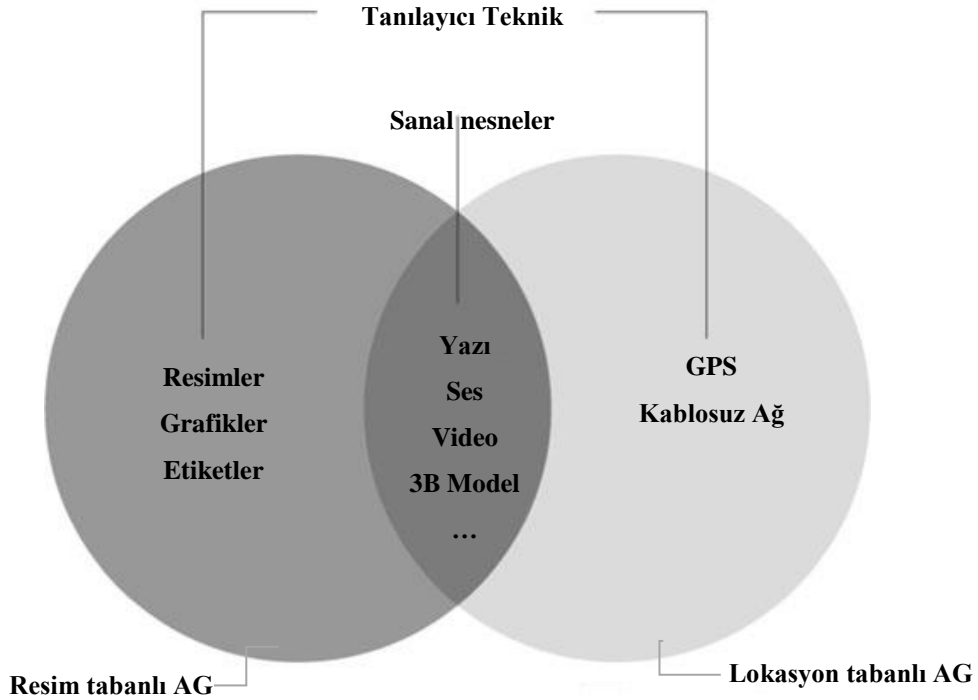
Şekil 3. Marker/Resim Tabanlı AG Uygulaması

Marker tabanlı AG'nin aksine marker tabanlı olmayan uygulamalar lokasyonu tanımlamada mobil cihazların kablosuz ağ ve GPS gibi özelliklerinden yararlanmaktadır. Belirlenen lokasyonlara sanal nesnelere eklenmesiyle AG oluşturulmaktadır (Bkz. Şekil 4).



Şekil 4. Marker Tabanlı Olmayan/Lokasyon Tabanlı AG

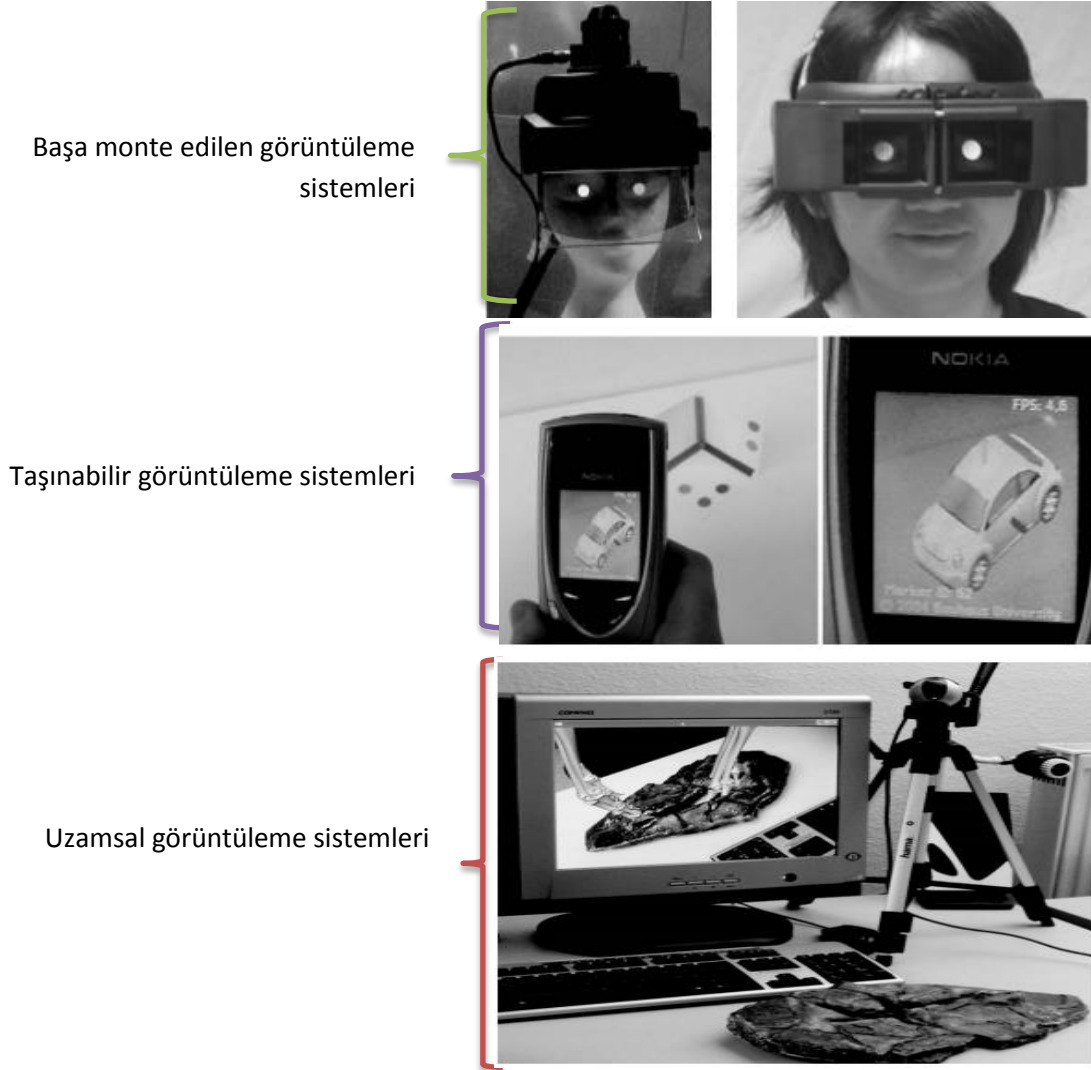
Resim tabanlı ve lokasyon tabanlı AG uygulamaları karşılaştırıldığında her iki uygulamanın benzer ve farklı özelliklerinin olduğu görülmüştür. Bu iki uygulamayı birbirinden ayıran temel farklılık; resim tabanlı uygulamalarda tanılayıcı olarak resim ve grafiklerin, lokasyon tabanlı uygulamalarda GPS ya da kablosuz ağların kullanılmasıdır. Ortak özellikleri ise yazı, ses, video, 3B model gibi sanal nesnelerin her iki uygulamada da yer almasıdır (Bkz. Şekil 5).



Şekil 5. Resim Tabanlı ve Lokasyon Tabanlı AG Uygulamalarının Karşılaştırılması. Uyarlandığı yayın. (Cheng & Tsai, 2012).

Artırılmış Gerçeklikte Kullanılan Görüntüleme Sistemleri

AG uygulamasında gerçek dünya üzerinde sanal nesnelerin görüntülenmesini sağlayan taşınabilir cihazlar, bilgisayarlar, giriş ve çıkış cihazları gibi temel aygıtlar özel görüntüleme sistemleri olarak kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 6). Bu sistemlerden biri olan başa monte edilen görüntüleme sistemleri (Head Mounted Displays), cihazın başa yerleştirilmesiyle göz üzerine denk gelen optik görüntüleyiciler yardımıyla nesnelerin görüntülenmesini sağlamaktadır. Bu durum çoğu zaman özel gözlükler aracılığıyla da sağlanabilmektedir. Bir diğer sistem olan taşınabilir görüntüleme sistemleri (Handheld Displays) bireylerin ellerinde taşıyabildikleri küçük cihazlar aracılığıyla nesnelerin görüntülenmesini sağlamaktadır. Ayrıca uzamsal görüntüleme sistemleri (Spatial Projection Displays) video projektörleri, optik elementler ve hologramları kullanmaktadır (Kesim & Ozarslan, 2012). Ancak görüntülerin sağladığı gerçeklik hissi kullanılan sisteme göre farklılık gösterebilmektedir (Serio, Ibáñez, & Kloos, 2013).



Şekil 6. AG Görüntüleme Sistemleri. Uyarlandığı yayın. (Bimber & Raskar, 2004).

Artırılmış Gerçeklikte Kullanılan Bazı Yazılımlar

AG uygulamalarının oluşturulabilmesi için özel yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yazılımlar bilgisayar ve taşınabilir cihazlar için farklı olmakla birlikte kullanıcıların yazarlık araçlarını kullanma seviyesi ve programlama

bilgisine göre çeşitlilik göstermektedir. Schmalstieg, Langlotz ve Billingham (2011) taşınabilir cihazlar ve masaüstü için mevcut yazılımları alt düzey/üst düzey ve programlama bilgisi gerektiren/gerektirmeyen olmak üzere kategorilere ayırmıştır (Bkz. Tablo 1). Bunların yanı sıra Daqri Ar-media, MixAR ZooBurst, FLARtoolkit, MRToolkit, Junaio, Metaio, Aurasma ve Layar kullanılan diğer yazılımlardan bazılarıdır (DePriest, 2012; Schmalstieg vd., 2011; Wang vd., 2013; Yuen vd., 2011).

Tablo 1.

AG Uygulamalarında Kullanılan Bazı Yazılımlar

| | | Programlama bilgisi gerektiren | Programlama bilgisi gerektirmeyen |
|----------|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Masaüstü | Alt düzey | ARToolkit | DART |
| | | arTag | ComposAR |
| | Üst düzey | Studierstube | AMIRE |
| | | osgART | BuildAR |
| Mobil | Alt düzey | Studierstube Tracker | Python |
| | | ARToolkit for Symbian | |
| | Üst düzey | Studierstube ES | FlashLite |
| | | M3GE | |

Artırılmış Gerçeklik ve Eğitim

AG'de kullanılan yazılım ve donanımların gelişmesiyle birlikte; bu teknoloji eğlence, pazarlama, savunma, tıp, mühendislik, psikoloji, reklamcılık gibi pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Azuma, 1997; Azuma, Baillet, Behringer, Feiner, Julier, & MacIntyre, 2001; Kirner vd., 2012). AG sahip olduğu ileri teknoloji sayesinde, yapılan uygulamalar boş bir alandan zengin bir öğrenme deneyimine dönüşmüş (Alcañiz, Contero, Pérez-López, & Ortega, 2010), böylelikle eğitim alanındaki kullanımı ön plana çıkmıştır. Zira eğitimde kullanılan teknolojik araçların bireylerin etkileşimini artırmak ve eğlenerek öğrenmeyi sağlamak için yeni fırsatlar sunduğu, öğrenme sürecini daha aktif, etkili ve anlamlı kıldığı belirtilmektedir (Alsumait & Musawi, 2013; Nischelwitzer, Lenz, Searle, & Holzinger, 2007; Sumadio & Rambli, 2010). AG teknolojisi de özellikle sanal ve gerçek nesnelere birlikte etkileşime girmeye olanak tanınması, yaparak yaşayarak öğrenmeyi sağlaması, dikkati ve motivasyonu artırması özellikleriyle eğitimde dikkatleri üzerine çekmiştir (Singhal, Bagga, Goyal, & Saxena, 2012).

Sanal ortamlar her ne kadar zengin içerik ve etkileşim sunsa da, bu ortamlardaki temel eksiklik gerçekliğin bulunmamasıdır. Bu durum bireylerin bilişsel gelişmelerine olumsuz yönde etki edebilmektedir (Vygotsky, 1986). Bu problemin giderilmesinde AG teknolojisinin çözüm olabileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda araştırmacılar AG'nin okullarda en iyi şekilde nasıl uygulanabileceği konusuna odaklanmışlardır (Sumadio & Rambli, 2010). Burada önemli olan nokta müfredata uygunluk, öğrenme sürecinin dengeli yürütülmesi ve etkili etkileşimlerin oluşturulmasıdır (Hsiao, Chen & Huang, 2010). AG doğal bilimler (kimya, fizik, biyoloji, astroloji vb.), bilgisayar ve bilgi bilimleri, matematik, mühendislik (mekanik, elektrik, biyomedikal vb.) ve insani bilimlerde (tarih, dil, antropoloji vb.) de uygulanmaktadır (Wojciechowski & Cellary, 2013). Eğitimde AG'nin özellikle; gözle görülmesi mümkün olmayan nesne ve olayların öğretimi, tehlikeli durumların gösterilmesi, soyut kavramların somutlaştırılması ve karmaşık bilgilerin sunulması durumlarında kullanımının daha etkili olabileceği düşünülmektedir (Huang, Chen, & Chou, 2016). Walczak vd., 2006).

AG eğitimde kullanıldığında pek çok fayda sunmakta ve eğitsel kazanımları da beraberinde getirmektedir. Ayrıca sahip olduğu özellikler sayesinde eğitimin hemen her kademesinde kullanılabilir (Akçayır, Akçayır, Pektaş, & Ocak, 2016). AG, zengin etkileşim sunarken (Azuma, 2004), doğal bir deneyim sağlamakta, dikkati ve motivasyonu artırmaktadır (O'Brien & Toms, 2005; Squire vd., 2008). Ayrıca yorumlama, problem çözme (Schrier, 2006), yaratıcı düşünme becerisini artırmakta (Ivanova & Ivanov, 2011) ve öğrencilere esneklik sağlamaktadır (Schrier, 2006). Eğitime uygun bir şekilde entegre edildiğinde otantik öğrenme, durumsal öğrenme ve yapılandırıcı öğrenme gibi öğrenme yaklaşımlarını da destekleyebilmektedir (Johnson, Smith, Willis, Levine, & Haywood, 2011; Kirner vd., 2012; Wojciechowski & Cellary, 2013; Yuen vd., 2011). Bunların yanı sıra AG'nin eğitimde kullanımının sağladığı faydalar, elde edilen kazanımlar ve desteklediği öğrenme yaklaşımları Tablo 2'de detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Tablo 2. AG'nin Sağladığı Eğitsel Faydalar, Desteklenen Öğrenme Yaklaşımları ve Elde Edilebilen Kazanımlar

| | | |
|---|---------------------------------------|--|
| EĞİTSEL FAYDALAR | Gerçeklik hissi sağlama | Lin & Wang (2012) |
| | Doğal deneyim sunma | O'Brien & Toms (2005); Sumadio & Rambli (2010) |
| | Karmaşık ilişkileri görselleştirme | Arvanitis vd. (2007); Wu, Lee, Chang, & Liang (2013) |
| | Gerçek hayatta olmayan deneyimler | Wu vd. (2013); Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Soyut kavramları somutlaştırma | Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Eğlenerek öğrenmeyi sağlama | Yoon, Elinich, Wang, Steinmeier, & Tucker (2012) |
| | Öğrenmede güvenli ortam sunma | Li (2010); Aziz, Aziz, Paul, Yusof, & Noor (2012); Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Zamandan/mekândan tasarruf sağlama | Wei, Weng, Liu, & Wang, 2015; Li (2010); Aziz vd. (2012) |
| | Öğrenci katılımını artırma | Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Esneklik sağlama | Schrier (2006) |
| DESTEKLENDİĞİ ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI | Otantik öğrenme ortamı sunma | Yuen vd. (2011) |
| | Durumsal öğrenmeyi destekleme | Johnson vd. (2011); Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Yapılandırıcı öğrenme ortamı sunma | Kirner vd. (2012) |
| | Yaparak yaşayarak öğrenme sunma | Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Sorgulama tabanlı aktiviteler sağlama | Cheng & Tsai (2012);Wojciechowski & Cellary (2013) |
| | Araştırma tabanlı öğrenme sunma | Yuen vd. (2011) |
| ELDE EDİLEBİLEN KAZANIMLAR | Dikkati artırma | O'Brien & Toms (2005); Sumadio & Rambli (2010); Aziz vd. (2012) |
| | Öğrenmeyi dikkat çekici kılama | Dünser&Hornecker(2007);Oh&Woo(2008);Lester vd.(1997);Wojciechowski&Cellary(2013);Zhou,Cheok,&Pan(2004a) |
| | Motivasyonu sağlama | Wei vd, 2015; O'Brien & Toms (2005); Sumadio & Rambli (2010); Aziz vd. (2012); Serio vd. (2013) |
| | Etkileşimi sağlama | Yilmaz (2016); Azuma (2004); Wojciechowski & Cellary (2013); Kerawalla, Luckin, Seljeflot, & Woolard (2006); Ivanova & Ivanov (2011); Wu vd. (2013); Bujak vd., (2013); Kesim & Ozarlan (2012) |
| | Anlamayı kolaylaştırma | Ivanova & Ivanov (2011); Núñez, Quiros, Núñez, Carda, & Camahort (2008); Zhou vd. (2004a) |
| | Gerçek dünya deneyimleri sağlama | Ternier vd. (2012) |
| | Bağlamsal farkındalık yaratma | Ivanova & Ivanov (2011) |
| | Meşguliyeti artırma | Bujak vd. (2013); Ivanova & Ivanov (2011) |
| | Kalıcı öğrenmeyi sağlama | Ivanova & Ivanov (2011) |
| | İletişimi artırma | Ivanova & Ivanov (2011) |
| | İşbirliğini artırma | Billinghurst (2002); Yuen vd.(2011) |
| | Yaratıcılığı harekete geçirme | Klopfer & Yoon (2004); Zhou vd. (2004b); Yuen vd.(2011) |
| | Hayal gücünü geliştirme | Klopfer & Yoon (2004); Yuen vd.(2011) |
| | Kendi öğrenmelerini kontrol etme | Yuen vd. (2011); Bujak vd. (2013) |
| | Uzamsal yeteneği artırma | Cheng & Tsai (2012); Wojciechowski & Cellary (2013); Bujak vd. (2013) |
| Problem çözme becerisini artırma | Schrier (2006) | |

Her ne kadar AG eğitime önemli katkılar sağlasa da, hala üstesinden gelinmesi gereken pek çok problem bulunmaktadır. Bunların başında AG uygulamaları için içerik geliştirmenin ve uygulamanın zorluğu gelmektedir. Özellikle 3B nesne geliştirmenin teknik bilgi gerektirmesi nedeniyle pek çok öğretmen ve öğrencinin AG'yi kullanmaya ön yargılı yaklaştığı bilinmektedir (Yuen vd., 2011). Ayrıca ışık, çıktı ve görüntü kalitesi gibi dış faktörlerin uygulamaları olumsuz etkilemesi, bu teknolojinin eğitimde etkili kullanılmamasına neden olan diğer problemlerdir. Diğer taraftan öğrencilerle ve öğrenme süreçleriyle ilişkili bazı problemler de söz konusudur. AG kullanan öğrenciler zaman zaman çok sayıda bilgiyle karşı karşıya gelebilmektedirler. Bu durum onların aşırı düzeyde bilişsel yüklenmelerine neden olmaktadır. Dahası, AG kullanan öğrenciler birden fazla cihaz kullanmak durumunda kalabilmektedirler. Bu da öğrenciler için uzamsal yönlendirme yeteneği, işbirliği içinde çalışma becerisi, problem çözme yeteneği ve teknolojiye müdahale edebilme becerisi gerektirmektedir (Wu vd., 2013). AG'nin beraberinde getirdiği bazı teknik ve pedagojik problemlerin dışında eğitsel uygulamalarda sahip olduğu potansiyel, araştırmacıların bu alana yönelimini sağlamıştır. Alan yazında yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok çalışmada eğitimde AG uygulamalarının kullanılmasının öğrenme sürecini olumlu yönde etkilediği görülmüştür (Billinghurst vd., 2001; Dünser & Hornecker, 2007; Farias & Dantas, 2011; Kaufmann & Papp, 2006; Kerawalla vd., 2006; Oh & Woo, 2008).

Alan yazındaki çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde; müze eğitimi AG'nin yaygın olarak kullanıldığı bir alan olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmalarda müzede tarih öğretimi (Klopfer, Perry, Squire, Jan, & Steinkuehler, 2005), her zaman her yerde öğrenme uygulamaları için tasarım prensiplerinin oluşturulması (Hall & Bannon, 2006), lokasyon temelli mobil uygulamalar (Waite, Kirkley, Pendleton & Turner, 2004) ile kültürel müze uygulamalarının hazırlanması (Damala, Cubaud, Bationo, Houlier, & Marchal, 2008) gibi çalışmalar dikkat çekmiştir. Ayrıca dinazorlar ve su altı dünyasının öğretiminde gerçek ortam ve AG uygulamalarının beraber verilmesi (Hughes, Smith, Stapleton & Hughes, 2004) konusunda da çalışmalar yapılmıştır.

Tıp eğitimi yine bu konuda en çok çalışmanın yapıldığı alanlardan biri olmuştur. Bu alanda özellikle anatomi eğitiminde çalışmalar yürütülmüştür (Blum, Kleeberger, Bichlmeier & Navab, 2012a; Blum, Kleeberger, Bichlmeier & Navab, 2012b; Kandikonda, 2011). Bu doğrultuda, anatomi eğitiminde AG teknolojilerinin kullanılabilirliği ve kullanım kolaylığı (Thomas, John & Delieu, 2010), kemik yapılarının öğretimi (Chien, Chen & Jeng, 2010), geleneksel öğretimle AG uygulamalarının karşılaştırılması (Jan, Noll, Behrends & Albrecht, 2012) noktalarına odaklanılmıştır. Carlson ve Gagnon (2016) AG teknolojisini simülasyona entegre etmiştir. Örneğin iç ve dış kulak modellemesinin etkililiği (Nicholson, Chalk, Funnell & Daniel, 2006), öğrencilerin öğrenmesine etkileri ve diğer teknolojilerle karşılaştırılması (Yeom, 2011) gibi konular üzerinde de durulmuştur.

Biyoloji eğitimi alanında AG teknolojilerinin barındırdığı faktörlerin öğrenmeye etkilerini belirlemek ve bu faktörlerin birbiriyle ilişkisini ortaya koymak (Kye & Kim, 2008), içsel ve dışsal motivasyonun teknolojiyi kullanmaya etkisini belirlemek (Balog & Pribeanu, 2010), ekosistem öğretiminde etkileşimli AG uygulamasının diğer bilgisayar destekli ve yüz yüze yöntemlerle karşılaştırmak (Hsiao vd., 2010), etkileşimli bahçe AG uygulamasıyla bitkilerin büyümesini öğreten uygulama yapmak (Oh & Byun, 2012) ve protein sentezinin AG uygulamalarıyla öğretiminin öğrenme sürecine katkısını belirlemek (Lau, Oxley & Nayan, 2012) amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Tarnng, Ou, Yu, Liou ve Lio (2015) ise AG içerikleri geliştirmiş ve bu içeriklerin ilköğretim öğrencilerinin akademik başarılarına etkisini incelemişlerdir.

Fizik alanında yapılan çalışmalarda bilimsel fenomenlerin kavramsal anlayışının geliştirilmesi ve görsellerle uyumlu bilgi-yapı iskeletleri bilişsel becerileri nasıl artırdığı incelenmiş (Yoon vd., 2012), elastik çarpışma AG uygulaması geliştirilerek bilgiyi yapılandırmasına bakılmıştır (Lin, Wang, Duh, Tsai & Liang, 2012). Akçayır, Akçayır, Pektaş ve Ocağ (2016), AG destekli öğretim ile geleneksel öğretimi laboratuvar becerileri açısından karşılaştırmış ve lisans öğrencilerinin tutumlarını incelemiştir. Sumadio ve Rambli (2010) AG teknolojisini eğitimde kullanılabilirliğini belirlemek üzere yapmış oldukları çalışmada lise düzeyinde fizik dersi için 3 boyutlu materyaller geliştirerek öğretmen ve öğrenci görüşlerini incelemişlerdir.

Kimya alanında yapılan çalışmalarda da molekül yapılarını incelemek (Singhal vd., 2012), inorganik kimya dersinde kristal yapılarının 3 boyutlu göstermek (Núñez vd., 2008), AG ve maket modelleri karşılaştırıp öğrencilerin nasıl etkileşime girdiklerini belirlemek (Chen, 2006) ve öğrendiklerini inceleme ve motivasyonel etkileri incelemek (Balog & Pribeanu, 2010) amacıyla çalışmalar yürütülmüştür.

Geometri alanında yapılan çalışmalara bakıldığında MARIE adlı bir proje ile matematik/geometri alanında birden çok öğrencinin çeşitli sanal objelerle etkileşime girmeleri sağlanmış (Liarokapis, Petridis, Lister, & White,

2002) ve Kaufmann (2004) tarafından geometri eğitiminde mobil AG uygulaması geliştirilmiştir. Diğer yandan alan yazında AG ile öğretmen-öğrenci arasında etkileşimin sağlandığı işbirlikli matematik/geometri öğrenme deneyimi sunan bir çalışma (Kaufmann & Schmalstieg, 2003) ve StudierStube adlı bir proje (Schmalstieg vd., 2002) yürütülmüştür. Lin, Chen ve Chang (2015) AG destekli öğrenmeyle geleneksel öğrenmeyi Geometri alanında karşılaştırmıştır.

Astronomi alanında ise dünya ve güneş ilişkisinde dönme/devir, gün dönümü/ekinoks, sıcaklığın ve ışığın mevsimsel değişimi gibi konuların anlaşılması için uygulanan AG uygulaması geliştirilmiş (Shelton & Hedley, 2002) ve uzay hakkında bilgi edinme amaçlı uygulamalar yapılmıştır (O'Shea, 2008). Ayrıca alan yazında astronomi öğretiminde etkileşimli bir AG uygulaması geliştirme ve değerlendirme çalışması da görülmüştür (Kien-Sin & Zaman, 2010).

Alan yazında incelenen diğer bir konu olarak hikâye oluşturma etkinlikleri ön plana çıkmıştır (Dünser, 2008; Dünser & Hornecker, 2007; McKenzie & Darnell, 2004; Saso, Iguchi & Inakage, 2003; Zhou vd., 2004b). MagicBook adlı proje ile yazı, resim ve 3 boyutlu nesnelere içeren AG teknolojisinin bulunduğu kitap geliştirilmiş (Billinghurst vd., 2001) ve bu ilginç yaklaşım eğitimde ilk AG uygulaması olarak kabul edilmiştir. Cheng ve Tsai (2014) ise AG destekli kitaplarla çocukların ve ebeveynlerinin etkileşimlerini incelemiştir.

Tüm bu çalışmalara ek olarak mühendislik eğitimi, engelli eğitimi ve kültürel bilgilerin öğretiminde AG teknolojilerinin kullanıldığı görülmüştür. Mühendislik eğitiminde malzemelerin öğretiminde (Liarokapis vd., 2004), engelli eğitiminde hiperaktivite bozukluğu ve dikkat dağınıklığı olan bireylerin öğrenmelerinde (Aziz vd., 2012) ve kültürel bilgilerin öğretiminde (Ha, Lee & Woo, 2011) kullanılmıştır.

Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada AG teknolojisi ve eğitimde kullanımına yönelik alan yazın taraması yapılmıştır. Sonuç olarak kökeni 1950'li yıllara kadar dayanan AG'nin günümüzde kullanımı gittikçe yaygınlaşan, masaüstü, diz üstü bilgisayarlar, taşınabilir cihaz ile akıllı telefonlar gibi farklı platformlarda kullanılabilen bir teknoloji olduğu ortaya çıkmıştır (Kirner vd., 2012). Ayrıca sanal ve gerçek nesnelere birleştirmesi, gerçek zamanlı etkileşim sunması ve 3B nesnelere yer alması özellikleriyle diğer teknolojilerden ayrılarak ön plana çıktığı görülmüştür (Azuma, 1997; Moreno vd., 2001).

Alan yazında marker tabanlı ve marker tabanlı olmayan uygulamalar ile resim tabanlı ve lokasyon tabanlı uygulamalar olarak kategorilendirilen bu teknolojinin (Cheng & Tsai, 2012; Johnson vd., 2010; Pence, 2011), başa monte edilen (Head Mounted Displays), taşınabilir (Handheld Displays) ve uzamsal (Spatial Projection Displays) olmak üzere farklı görüntüleme sistemleri kullanıldığı belirlenmiştir. Her bir sistemin sağladığı gerçeklik hissinin farklılık gösterebildiği dikkat çekmiştir (Serio vd., 2013). Ayrıca taşınabilir cihazlar ve masaüstü bilgisayarlar içerik geliştirmede kullanılan yazılımlar incelenmiştir. Araştırmacılar mevcut yazılımları alt düzey/üst düzey ve programlama bilgisi gerektiren/gerektirmeyen olmak üzere kategorilere ayırmışlardır (Schmalstieg vd., 2011). Bu yazılımlardan dikkat çekenleri ARToolkit, DART, ComposAR, BuildAR, Studierstube, FlashLite, Daqri Ar-media, MixAR ZooBurst, FLARToolkit, MRTToolkit, Junaio, Metaio, Aurasma ve Layar'dır.

AG teknolojisinin kullanıldığı alanlar incelendiğinde bu teknolojinin eğlence, pazarlama, savunma, tıp, mühendislik, psikoloji, reklamcılık ve eğitim gibi pek çok alanda yaygınlaştığı görülmüştür. Bu teknoloji doğal bilimler (kimya, fizik, biyoloji, astroloji vb.), bilgisayar ve bilgi bilimleri, matematik, mühendislik (mekanik, elektrik, biyomedikal vb.) ve insani bilimlerde (tarih, dil, antropoloji vb.) de uygulanmaktadır (Wojciechowski & Cellary, 2013). Özellikle tıp, biyoloji, fizik, kimya, geometri eğitiminde, astronomide ve müzelerde, hikâye oluşturma etkinliklerinde, kültürel bilgilerin öğretiminde, mühendislik ve engelli eğitiminde etkili bir şekilde kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Bu alanlarda özellikle gözle görülmesi mümkün olmayan nesne ve olayların öğretimi, tehlikeli durumların gösterilmesi, soyut kavramların somutlaştırılması, karmaşanın çok olduğu bilgi düzeylerinin sunulması gibi durumlarda kullanıldığı belirlenmiştir (Walczak vd., 2006).

Alan yazındaki çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde AG'nin gerçeklik hissi sağlama, doğal deneyim sunma, karmaşık ilişkileri görselleştirme, gerçek hayatta yapılması mümkün olmayan deneyimler sunma ve soyut kavramları somutlaştırma gibi faydalar sağladığı görülmüştür (Arvanitis vd., 2007; Lin & Wang, 2012; O'Brien & Toms, 2005; Sumadio & Rambli, 2010; Wojciechowski & Cellary, 2013; Wu vd., 2013). Ayrıca eğitimcilerle yapılandırmacı ve otantik öğrenme ortamı sunma, durumsal ve yaparak yaşayarak öğrenmeyi destekleyen bir ortam sunduğu belirlenmiştir (Johnson vd., 2011; Kirner vd., 2012; Wojciechowski & Cellary, 2013; Yuen vd.,

2011). Diğer taraftan etkili öğrenmeyi destekleme, dikkati artırma, öğrenmeyi dikkat çekici ve etkili kılma, motivasyonu sağlama ve zengin etkileşimi sağlama gibi kazanımları da beraberinde getirdiği ortaya çıkarılmıştır (Aziz vd., 2012; Bujak vd., 2013; Dünser & Hornecker, 2007; O'Brien & Toms, 2005; Oh & Woo, 2008; Serio vd., 2013; Sumadio & Rambli, 2010; Wojciechowski & Cellary, 2013).

Sanal ortamlar her ne kadar çocuklara zengin etkileşim sunsa da, yaşanan en önemli problem gerçek ortam eksikliğidir. Özellikle gerçek ortam eksikliğinin, çocukların erken bilişsel gelişimlerine olumsuz etki eden önemli unsurlardan biri olduğu bilinmektedir (Vygotsky, 1986). Bu noktada AG'nin sanal ve gerçek ortamı birlikte sunma özelliği bu eksikliği gidermede etkili bir rol oynayabilir. Bu doğrultuda araştırmacılar AG'nin okullarda en iyi şekilde nasıl uygulanabileceği konusuna odaklanmışlardır (Sumadio & Rambli, 2010). Burada önemli olan nokta AG'nin okullarda yürütülen müfredata uygun olması, öğrenme sürecine uygun sağlanması ve müfredatlar tasarlanırken etkili etkileşimlerin oluşturulmasıdır (Hsiao vd., 2010). Bunun için AG ile desteklenmiş etkinliklerin okullarda uygulanmasının, bu teknolojinin eğitime entegrasyonuna katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Öneriler

Çalışmada yapılan alan yazın taraması sonucu aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Marker tabanlı olmayan uygulamalar daha fazla gerçeklik hissi sağladığından bu uygulamaların eğitimde kullanımı yaygınlaştırılabilir.
- Başa monte edilen görüntüleme sistemleri yüksek maliyet gerektirdiğinden, görüntüleyici olarak yaygın kullanıma sahip taşınabilir ve uzamsal görüntüleme sistemleri tercih edilebilir.
- AG teknolojileri ile eğitsel uygulamalar hazırlanırken uygun yazılımın seçilmesine ve teknik alt yapının sağlanmasına dikkat edilmelidir.
- AG ile içerik geliştirirken kullanılan yazılımın dikkatli seçilmesi uygulamanın kalitesini etkilemektedir. Bu doğrultuda geliştirmeye başlamadan önce birden fazla yazılımı deneyip sonrasında içerik geliştirmek faydalı olabilir.
- AG uygulamaları ışık, çıktı kalitesi, kamera özellikleri gibi fiziksel etmenlerden olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple bu etmenlerin etkisinin en aza indirilmesi için önlem alınmalıdır.
- Bu teknolojinin eğitim alanında yaygınlaşabilmesi için okullara gerekli teknik alt yapı desteği sağlanıp, öğretmenlere hizmet içi eğitimler verilebilir.
- AG teknolojilerinin hangi öğrenme yaklaşımları/öğretim yöntemleriyle daha etkili kullanılabileceğine yönelik çalışmalar yürütülebilir.
- AG teknolojisinin öğrenme ortamlarında kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar yürütülebilir.

References

- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior, 57*, 334-342.
- Alcañiz, M., Contero, M. Pérez-López D.C., & Ortega, M. (2010). Augmented reality technology for education, new achievements in technology education and development, Safeeullah Soomro (Ed.), *InTech*. http://cdn.intechopen.com/pdfs/10538/InTech-Augmented_reality_technology_for_education.pdf
- Alsumait, A., & Al-Musawi, Z.S. (2013). Creative and innovative e-learning using interactive storytelling. *International Journal of Pervasive Computing and Communications, 9*(3), 209-226. doi:10.1108/IJPC-07-2013-0016.
- Arvanitis, T. N., Petrou, A., Knight, J. F., Savas, S., Sotiriou, S., Gargalakos, M., et al. (2007). Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities. *Personal and Ubiquitous Computing, 13*(3), 243-250.
- Aziz, N.A.A., Aziz, K.A.; Paul, A., Yusof, A.M., & Noor, N.S.M. (2012). *Providing augmented reality based education for students with attention deficit hyperactive disorder via cloud computing: Its advantages*. Proceedings of Advanced Communication Technology (ICTACT) 14th International Conference, 577-581.
- Azuma, R. T., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications, 21*, 34-37.
- Azuma, R.T. (2004). Overview of augmented reality. Proceeding of SIGGRAPH '04. doi:10.1145/1103900.1103926.
- Azuma, R.T., (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6*(4), 355-385.
- Balog, A., & Pribeanu, C. (2010). The role of perceived enjoyment in the students' acceptance of an augmented reality teaching platform: a structural equation modelling approach. *Studies in Informatics and Control, 19*(3), 319-330.
- Billinghurst, M. (2002). Augmented Reality in Education. New Horizons for Learning, December 2002. Retrieved from <http://www.newhorizons.org/strategies/technology/billinghurst.htm>
- Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001). The magic book-moving seamlessly between reality and virtuality, *IEEE Computer Graphics and Application, 21*(3), 6-8.
- Bimber, O. & Raskar, R. (2004). Spatial augmented reality merging real and virtual worlds. Retrieved from <http://cs.iupui.edu/~tuceryan/pdf-repository/Bimber2005.pdf>.
- Blum, T., Kleeberger, V., Bichlmeier, C., & Navab, N. (2012a, March). *Miracle: an augmented reality magic mirror system for anatomy education*. Paper presented at IEEE Virtual Reality Conference, Munich, Germany.
- Blum, T., Kleeberger, V., Bichlmeier, C., & Navab, N. (2012b, March). *Miracle: Augmented Reality in-situ visualization of human anatomy using a magic mirror*. Paper presented at IEEE Virtual Reality Conference, Munich, Germany.
- Bujak, K.R., Radu, I., Catrambone, R., MacIntyre, B., Zheng, R., & Golubski, G. (2013). A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. *Computers and Education, 68*, 536-544.
- Carlson, K. J., & Gagnon, D. J. (2016). Augmented Reality Integrated Simulation Education in Health Care. *Clinical Simulation in Nursing, 12*(4), 123-127.
- Caudell, T.P. & Mizell, D.W. (1992). *Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes*. Proceedings of the 25th Hawaii International Conference on System Sciences, 659.
- Chang, G., Morreale, P., & Medicherla, P. (2010). Applications of augmented reality systems in education. D.Gibson and B. Dodge (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology and Teacher Education International Conference*, (pp.1380-1385). Chesapeake, VA: AACE.

- Chen, Y-C. (2006). *A study of comparing the use of augmented reality and physical models in chemistry education*. Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications, 369-372. doi:10.1145/1128923.1128990.
- Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2014). The interaction of child–parent shared reading with an augmented reality (AR) picture book and parents' conceptions of AR learning. *British Journal of Educational Technology*, 47(1), 203-222.
- Cheng, K-H.,& Tsai, C-C. (2012). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 449-462. doi: 10.1007/s10956-012-9405-9.
- Chien, C.H., Chen, C.H., & Jeng, T.S. (2010). *An interactive augmented reality system for learning anatomy structure*. Proceedings of International Conference of Engineers and Computer Scientists, 370-375.
- Damala, A., Cubaud, P., Bationo, A., Houlier, P., & Marchal, I. (2008). *Bridging the gap between the digital and the physical: Design and evaluation of a mobile augmented reality guide for the museum visit*. Proceedings of 3rd ACM International Conference on Digital and Interactive Media in Entertainment and Arts, 120-128.
- DePriest, D. (2012). *The fifth dimension: How augmented reality is launching worlds within our world*. Proceedings of TCC - Teaching Colleges and Community Worldwide Online Conference, 6-13.
- Dodsworth, 2010. When phones get really, really smart. Retrieved from <http://dodsworth.com/presentations>.
- Dünser, A. & Hornecker E. (2007). *Lessons from an AR Book study*. Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction, 179 – 182. doi:10.1145/1226969.1227006.
- Dünser, A. (2008). Supporting low ability readers with interactive augmented reality. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine: Changing the Face of Healthcare*, 6, 41-48.
- Farias, L.,& Dantas, R.R. (2011, September). *Educ-AR: A tool for assist the creation of augmented reality content for education*. Paper presented at the IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, 19-21.
- Ha, T., Lee, Y., & Woo, W. (2011). Digilog book for temple bell tolling experience based on interactive augmented reality with culture technology. *Virtual Reality, Springer*, 15(4), 295–309.
- Hall, T.,& Bannon, L. (2006). Designing ubiquitous computing to enhance children’s learning in museums. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(4), 231-243.
- Hsiao, K.F., Chen, N.S., & Huang, S.Y. (2010). Learning while exercising for science education in augmented reality among adolescents. *Interactive Learning Environments*, 20(4), 331-349, doi: 10.1080/10494820.2010.486682.
- Huang, T. C., Chen, C. C., & Chou, Y. W. (2016). Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. *Computers & Education*, 96, 72-82.
- Hughes, C. E., Smith, E., Stapleton, C. B. & Hughes, D. E. (2004, November). *Augmenting museum experiences with mixed reality*. Paper presented at Knowledge Sharing and Collaborative Engineering, St. Thomas, US Virgin Islands.
- Ivanova, M. & Ivanov, G. (2011). Enhancement of learning and teaching in computer graphics through marker augmented reality technology. *International Journal on New Computer Architectures and Their Applications*, 1(1), 176-184.
- Jan, U., Noll, C., Behrends, M., & Albrecht, U.V. (2012). mARble – Augmented reality in medical education. *Biomedical Engineering/ Biomedizinische Technik*, 57(1),67-70.
- Johnson, L., Levine, A., Smith, R., and Stone, S. (2010). *The Horizon Report 2010 Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Johnson, L., Smith, R., Willis, H., Levine, A., & Haywood, K. (2011). *The 2011 Horizon Report*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Kandikonda, K., (2011). *Using virtual reality and augmented reality to teach human anatomy*. Unpublished doctoral dissertation. The University of Toledo, Ohio.

- Kaufmann, H. & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality, *Computers and Graphics*, 27(3), 339-345.
- Kaufmann, H. (2004). *Geometry education with augmented reality*. Unpublished doctoral dissertation. Vienna University of Technology, Austria.
- Kaufmann, H., & Papp, M. (2006, June). *Learning objects for education with augmented reality*. Proceedings of European Distance and E-Learning Network Conference, 160-165.
- Kerawalla, L., Luckin, R., Selijefot, S., & Woolard, A. (2006). Making it real: Exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 10(3-4), 163-174.
- Kesim, M. & Ozarslan, Y. (2012). Augmented reality in education: current technologies and the potential for education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 47, 297-302.
- Kien-Sin, A. & Zaman, H.B. (2010). *Live Solar System (LSS): Evaluation of an augmented reality book-based educational tool*. Information Technology (ITSim), 2010 International Symposium, 1, 15-17. doi: 10.1109/ITSIM.2010.5561320.
- Kirner, T.G., Reis, F.M.V., & Kirner, C. (2012). *Development of an interactive book with Augmented Reality for teaching and learning geometric shapes*. Information Systems and Technologies (CISTI), 1-6.
- Klopfer, E., Perry, J., Squire, K., Jan, M.F., & Steinkuehler, C. (2005). *Mystery at the museum: A collaborative game for museum education*. Proceedings of International Society of the Learning Sciences, 316–320.
- Klopfer, E., & Yoon, S. (2004). Developing games and simulations for today and tomorrow's tech savvy youth. *TechTrends*, 49(3), 41-49.
- Kye, B. & Kim, Y. (2008). Investigation of the relationships between media characteristics, presence, flow, and learning effects in augmented reality based learning. *International Journal for Education Media and Technology*, 2(1), 4-14.
- Lau, N., Oxley, A., & Nayan, M.Y. (2012). *An augmented reality tool to aid understanding of protein loop configuration*. Computer and Information Science International Conference, 1, 500,505. doi: 10.1109/ICCISci.2012.6297297.
- Lee, K. (2012). Augmented reality in education and training. *TechTrends*, 56(2), 13-21.
- Lester, J. C., Converse, S. A., Kahler, S. E., Barlow, S. T., Stone, B. A. & Bhogal, R. S. (1997). *The persona effect: affective impact of animated pedagogical agents*. Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems, 359-366. doi:10.1145/258549.258797.
- Li, Y., (2010). *Augmented reality for remote education*. 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, 187-191.
- Liarokapis, F., Mourkoussis, N., White, M., Darcy, J., Sifniotis, M., Petridis, P., Basu, A., & Lister, P. F. (2004). Web3D and Augmented Reality to support Engineering Education. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 3(1), 1-4.
- Liarokapis, F., Petridis, P., Lister, P. F., and White, M. (2002). Multimedia augmented reality interface for e-learning (MARIE). *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 1(2), 173-176.
- Lin, H. C. K., Chen, M. C., & Chang, C. K. (2015). Assessing the effectiveness of learning solid geometry by using an augmented reality-assisted learning system. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 799-810.
- Lin, K. C. & Wang, S. C. (2012). *Situated learning for computer fabrication based on augmented reality*. Proceedings of 2nd International Conference on Future Computers in Education Lecture Notes in Information Technology, 23-24, 249-254.
- Lin, T. J., Wang, H. Y., Duh, H. B. L., Tsai, C. C., & Liang, J. C. (2012, July). *Behavioral patterns and learning performance of collaborative knowledge construction on an augmented reality system*. Paper presented at 12th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Rome, Italy.
- Martin, S., Diaz, G., Sancristobal, E., Gil, R., Castro, M., & Peire, J. (2011). New technology trends in education: Seven years of forecasts and convergence. *Computers and Education*, 57(3), 1893-1906.

- McKenzie, J., & Darnell, D. (2004). *The eyeMagic book. A report into augmented reality storytelling in the context of a children's workshop 2003*. New Zealand Centre for Children's Literature and Christchurch College of Education, Christchurch.
- Milgram, P. & Kishino, A. F. (1994). Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Moreno, E., MacIntyre, B., & Bolter, J.D. (2001, September). *Alice's adventure's in new media: An exploration of interactive narratives in augmented reality*. Paper presented at CAST'01, Bonn, Germany.
- Nicholson, D.T., Chalk, C., Funnell, W. R. J., & Daniel, S. J. (2006). Can virtual reality improve anatomy education? A randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model. *Medical Education*, 40(11), 1081-1087.
- Nischelwitzer, A., Lenz, F.J., Searle, G., & Holzinger, A. (2007). Some aspects of the development of low-cost augmented reality learning environments as examples for future interfaces in technology enhanced learning. *Universal Access in Human-Computer Interaction Applications and Services Lecture Notes in Computer Science*, 4556, 728-737.
- Núñez, M., Quiros, R., Núñez, I., Carda, J. B., & Camahort, E. (2008). *Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education*. Proceedings of the 5th WSEAS/IASME International Conference on Engineering Education, 271-277.
- O'Brien, H. L. & Toms, E. G. (2005, November). *Engagement as process in computer mediated environments*. Paper presented at ASIS&T, Charlotte, North Carolina.
- Oh, S. & Byun, Y.C. (2012). *The design and implementation of augmented reality learning systems*. Computer and Information Science IEEE/ACIS 11th International Conference, 651-654. doi: 10.1109/ICIS.2012.106.
- Oh, S. & Woo, W. (2008). ARGarden: Augmented edutainment system with a learning companion. *Transactions on Edutainment I Lecture Notes in Computer Science Volume 5080*, 40-50.
- O'Shea, P. (2008). Developing an augmented reality game: Lessons learned from gray anatomy. In K. McFerrin vd. (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology and Teacher Education International Conference*(pp. 1776-1777). Chesapeake, VA: AACE.
- Pence, H. E. (2011). Smartphones, smart objects, and augmented reality. *The Reference Librarian*, 52(1), 136-145.
- Reigeluth, C. M. (1991). A third-wave educational system. In B. H. Banathy(1991). *Systems design of education* (pp.201-221). NJ: Educational Technology Publications.
- Rice, R. (2009). The augmented reality hype cycle. 15.01.2014 tarihinde <http://www.sprxmobile.com/the-augmented-reality-hype-cycle/> adresinden erişilmiştir.
- Saso, T., Iguchi, K., & Inakage, M. (2003). *Little red: storytelling in mixed reality*. Proceeding of SIGGRAPH '03 Sketches & Applications, 1-1. doi:10.1145/965400.965573.
- Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Hesina, G., Szalavári, Z., Encarnação, L. M., Gervautz, M., et al. (2002). The studierstube augmented reality Project. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(1), 33-54.
- Schmalstieg, D., Langlotz, T. & Billinghurst, M (2011). Augmented reality 2.0. Brunnett, G., Coquillart, S. and Welch, G. (Eds), *Virtual Realities: Dagstuhl Seminar*, Springer.http://www.hitlabnz.org/index.php/people?publications_view_all=1andtheses_view_all=0andprojects_view_all=0andtask=showandview=memberandid=24#sthash.yGx1luHx.dpuf
- Schrier, K. (2006). *Using augmented reality games to teach 21st century skills*. Proceeding of SIGGRAPH '06 ACM SIGGRAPH Educators program, 15. doi:10.1145/1179295.1179311.
- Serio, Á.D., Ibáñez, M.B., & Kloos, C.D. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers and Education*, 68, 586-596.
- Shelton, B. E., & Hedley, N. R. (2002). *Using augmented reality for teaching earth-sun relationship to undergraduate geography students*. The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, 1-8. doi: 10.1109/ART.2002.1106948.

- Siltanen, S. (2012). Theory and applications of marker-based augmented reality. Retrieved from <http://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2012/S3.pdf>.
- Singhal, S., Bagga, S., Goyal, P., & Saxena, V. (2012). Augmented chemistry: Interactive education system. *International Journal of Computer Applications*, 49 (15), 1-5. doi: 10.5120/7700-1041.
- Squire, K. D., Jan, M. Matthews, J. Wagler, M., Martin, J. Devane, B., et al. (2008). Wherever You Go, There You Are: Place-Based Augmented Reality Games For Learning. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=C82FB26748C7B6A2B0709358AB08AD7B?doi=10.1.1.173.821andrep=rep1andtype=pdf>.
- Sumadio, D.D. & Rambli, D.R.A. (2010). *Preliminary evaluation on user acceptance of the augmented reality use for education*. Proceedings of Second International Conference on Computer Engineering and Applications, 461-465. doi:10.1109/ICCEA.2010.239.
- Tarng, W., Ou, K. L., Yu, C. S., Liou, F. L., & Liou, H. H. (2015). Development of a virtual butterfly ecological system based on augmented reality and mobile learning technologies. *Virtual Reality*, 19(3-4), 253-266.
- Ternier, S. Klemke, R. Kalz, M. Ulzen, P. & Specht. M. (2012). ARLearn: augmented reality meets augmented virtuality. *Journal of Universal Computer Science*, 18(15), 2143-2164.
- Thomas, R. G., John, N. W., & Delieu, J. M. (2010). Augmented reality for anatomical education. *Journal of Visual Communication in Medicine*, 33(1), 6-15.
- Vygotsky, L. (1986). *Thought and language*. MIT Press, Cambridge MA.
- Waite, T., Kirkley, J., Pendleton, R., & Turner, L. (2004). MUSEpad: Supporting information accessibility through mobile location-based technology. *TechTrends*, 49(3), 76 - 82.
- Walczak, K., Wojciechowski, R., and Cellary, W. (2006). *Dynamic interactive VR network services for education*. Proceedings of ACM symposium on virtual reality software and technology (VRST 2006), 277-286.
- Wang, D., He, L., & Dou, K. (2013). StoryCube: supporting children's storytelling with a tangible tool. *The Journal of Supercomputing*. doi: 10.1007/s11227-012-0855-x.
- Wang, X., Kim, M.J., Love, P.E.D., and Kang, S.C. (2013). Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in Construction*, 32, 1-13.
- Wei, X., Weng, D., Liu, Y., & Wang, Y. (2015). Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. *Computers & Education*, 81, 221-234.
- Wojciechowski, R. & Cellary, W (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers and Education*, 68, 570-585.
- Wojciechowski, R., Walczak, K., White, M., & Cellary, W. (2004). *Building virtual and augmented reality museum exhibitions*. Proceedings of 9th international conference on 3D web technology (Web3D 2004), 135-144.
- Wu, H.K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y. & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education, *Computers and Education*, 62, 41-49.
- Yeom, S. J. (2011). *Augmented reality for learning anatomy*. Proceedings of Changing Demands, Changing Directions, 1377-1383.
- Yilmaz, R.M. (2016). Educational magic toys developed with augmented reality technology for early childhood education. *Computers in Human Behavior*, 54, 240-248.
- Yoon, S.A., Elinich, K., Wang, J. Steinmeier, C., & Tucker, S. (2012). Using augmented reality and knowledge-building scaffolds to improve learning in a science museum. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 7(4), 519-541.
- Yuen, S., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4(1), 119-140.
- Zhou, Z., Cheok, A. D., & Pan, J. (2004a). 3D story cube: an interactive tangible user interface for storytelling with 3D graphics and audio. *Personal Ubiquitous Computing*, 8, 374-376. doi: 10.1007/s00779-004-0300-0.

Zhou, Z., Cheok, A.D., Pan, J., & Li, Y. (2004b). *Magic story cube: An interactive tangible interface for storytelling*. Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology, 364-365. doi: 10.1145/1067343.1067404.