



## TCP/IP ve OSI modeli öğretimi için etkileşimli artırılmış gerçeklik ortamı geliştirme

### Development of interaction augmented reality environment for TCP/IP and OSI model teaching

Tarık İÇTEN<sup>1\*</sup> , Güngör BAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balancak Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Giresun İl Millî Eğitim Müdürlüğü, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Giresun, Türkiye.

icentarik@gmail.com

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Topkapı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

gungorbal@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 10.12.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 24.05.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.36605

Kabul Tarihi/Accepted: 04.07.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Artırılmış Gerçeklik (AR), sanal içeriklerin gerçek dünya ile sorunsuz bir şekilde bütünleşmesine olanak tanıyan, akıllı telefon, tablet gibi el tipi görüntüleyiciler veya ön kameraya sahip VR başlıklar aracılığı ile görüntülenen bir teknolojidir. Bu teknolojinin en önemli özelliği soyut kavramları görselleştirmesidir. Birçok çalışma, TCP/IP ve OSI modellerinin, ayrıntılı soyut kavramlar ve protokoller içermesi nedeniyle veri iletişimlerinin son derece karmaşık olduğunu bildirmektedir. Farklı sistemleri birbirine bağlamak, iki uç nokta arasında veri akışı oluşturmak ve katmanlar arasında veri dönüşümleri yapmak bu karmaşıklıklardan sadece birkaçıdır. Bu çalışmada, TCP/IP ve OSI modelleri gibi öğrenilmesi zor olan soyut kavramların öğretiminde AR ortamların çözüm olup olmadığının belirlenmesine yönelik bir araştırma yürütülmüştür. Amaç, öğrencilerin TCP/IP ve OSI gibi kavramların temel bilgilerini öğrenebilecek ve ağ deneyimlerini iyileştirebilecek bir AR ağ tasarım ortamı geliştirmektir. Bu ortam, ağ düşümlerinin zekice davrandığı ve IP adreslerin dinamik yönetildiği yeni bir oyun temelli mobil eğitim yöntemini temel almaktadır. Bu sayede kullanıcılar TCP/IP ve OSI modellerinin soyut kavramlarını mobil AR başlığı ile her yerde 3B, etkileşimli ve uygulamalı öğrenme fırsatı bulmuştur. Deneysel sonuçlar, somut arayüz etkileşimlerinin ve AR ortamların öğrenciler için faydalı bir öğretim aracı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Artırılmış gerçeklik, Nesne etkileşimleri, TCP ve OSI model öğretimi.

#### Abstract

Augmented Reality (AR) is a technology that allows virtual content to be seamlessly integrated with the real world, viewed via handheld viewers such as smartphones, tablets, or VR headsets with a front camera. The most important feature of this technology is that it visualizes abstract concepts. Many studies report that data communications are extremely complex because TCP/IP and OSI models contain elaborate abstract concepts and protocols. Connecting disparate systems, creating data flows between two endpoints, and performing data transformations between layers are just a few of these complexities. In this study, a research is conducted to determine whether AR environments are the solution for teaching abstract concepts that are difficult to learn such as TCP/IP and OSI models. The aim is to develop an AR network design environment in which students can learn the basics of concepts such as TCP/IP and OSI and improve their network experience. This environment is based on a new game-based mobile training method in which network nodes behave intelligently and IP addresses are dynamically managed. In this way, users have the opportunity to learn the abstract concepts of TCP/IP and OSI models in 3D, interactive and hands-on with the mobile AR headset anywhere. Experimental results have shown that concrete interface interactions and AR environments are useful teaching tools for students.

**Keywords:** Augmented reality, Object interactions, TCP and OSI model teaching.

## 1 Giriş

Bilgisayar ağları, bilgisayar ve benzetim sayısal sitemlerin belirli bir protokol altında birbiriyle iletişimde bulunmasını sağlayan sistemlerdir [1]. Bir telekomünikasyon veya bilgi işlem sistemindeki ağlar Açık Sistem Mimari (OSI, Open System Interconnection) modeline dayalı protokoller kullanılarak birbirine bağlıdır. OSI modeli, ağ iletişiminin temeli olarak en yaygın şekilde öğretilen mantıksal ve kavramsal bir modeldir. Diğer önemli modeller ise İletim Kontrol Protokolü (TCP, Transmission Control Protocol) ve İnternet Protokolü (IP, Internet Protocol) 'dür. Bu modellerin, ayrıntılı soyut kavramlar ve protokoller içermesi nedeniyle veri iletişimlerinin son derece karmaşıktır. Karmaşıklık arttıkça, ağ anlamak zorlaşır. Farklı sistemleri birbirine bağlamak, iki uç nokta arasında veri akışı oluşturmak, katmanlar arasında veri

dönüşümleri yapmak ve farklı tip protokolleri öğrenmek ve öğretmek bu karmaşıklıklardan sadece birkaçıdır.

Birçok mühendislik müfredatı bilgisayar ağları üzerine bazı temel dersler içerir ve mühendislik öğrencilerinden ağın temel davranışlarını, protokollerini ve katmanlarını öğrenmeleri istenir [2]. Öğrencilerin gerçek bilgisayar ağ senaryolarını yönetebilmeleri için hem kavramsal hem de sayısal bilgi edinmeleri gerekir [3]. Bu bilgileri sadece teorik eğitim araçları ile edinmek modern ağların karmaşıklığı ve ölçeği nedeniyle oldukça zordur. Dolayısıyla, öğrencilerin gerçek laboratuvar ortamında pratik yapmaları gerekir [4]. Buna karşın gerçek laboratuvar ortamların oluşturulması oldukça maliyetli ve gerçek laboratuvar koşullarında soyut kavramların somutlaştırılmaması da öğrenme sürecini kısıtlamaktadır. Ayrıca soyut görselleştirmeler, TCP/IP ve OSI gibi modellerin katmanları boyunca geçişinin karmaşıklığını ve çok adımlı

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

işlemlerini açıklayamaz [5]. Bu zorlukların ve kısıtlamaların üstesinden gelmek için öğrenciler, TCP/IP ve OSI gibi mantıksal kavramların hem teorik hem de pratik yönlerini anlamalarını yardımcı olacak ağ benzetim araçlarına ihtiyaç duyar. Benzetim, bilgisayar ağlarının tasarımında, analizinde ve test edilmesinde önemli bir araçtır [6]. Günümüzde bilgisayar ağlarının modellenmesine yardımcı olacak birçok önemli ağ benzetim aracı mevcuttur [7]. Ancak bu araçların birçoğu ticaridir ve en basit haliyle bu araçlar, masaüstü kullanımları, tek boyut/iki boyut (1B/2B) görselleştirmeleri, gelişmiş parametre kullanımlarını, sanal gerçeklik sistemlerini ve büyük ağların modellenmesini temel almaktadır. Yine de geliştiriciler mevcut ağ benzetim araçlarını ilgi çekici ve yenilikçi yapmak için doğal ve sezgisel etkileşimlerin, daha görsel modellerin ve oyunlaştırılmış yapıların kullanıldığı yeni ağ benzetim ortamlarını keşfetme yolları aramaktadır. Bu yeni ortamlar, öğrencilerin algısal yeteneklerinden yararlanarak bilgiye erişebilir, bilgiyi kullanabilir ve eyleme geçirebilir hale getirmek için büyük bir potansiyele sahip olabilir [7]. Dolayısıyla, bilgisayar ağ öğretimi için yeni benzetim ortamlarının araştırılması gerekmektedir.

Dokunma, konuşma ve hareket gibi duyuşal girişleri ifade eden Doğal Kullanıcı Arayüzü, ciddi oyun olarak geliştirilen ağ benzetimlerine dâhil edilmesi gereken önemli bir özelliktir [8]. Çoğu çalışma, oyunlaştırmanın olumlu yönlerini vurgular. İyi tasarlanmış bir oyun ve bu oyunun içeriğinin amacı, oynanan sürede kullanıcının geçirdiği zamandan zevk almasını sağlayarak etkileşimi sürdürülebilir biçimde uzatmaktır [9]. Fare ve klavye en çok kullanılan bilgisayar giriş cihazlarıdır ve uzun zamandır benzetim işlemlerinde etkileşim amaçlı kullanılmaktadır [10]. Bunun dışında bir cep telefon ekranı veya düğmesi de ağ benzetimlerinde yaygın kullanılan bir etkileşim yöntemidir. Ama bu geleneksel etkileşimlerin hiçbiri kullanıcılara tek başlarına benzetimin içinde olma hissi verecek ve gerçek çevredeki dijital içerikler ile doğal etkileşime girme yeteneği kazandıracak çözümler üretmemiştir. Günümüzde Artırılmış Gerçeklik (AR) ortamlar, 3B içerikle doğal etkileşime dayalı yeni öğrenme biçimleri oluşturabilir ve dokunsal bir deneyim ile aktif öğrenmeyi ortaya çıkartabilir. [11]. Kullanıcının fiziksel nesnelere dokunmatik yüzeydeki eylem tetikleyici içerikler ile etkileşime girdiği kullanıcı dostu AR ortamlar ağ benzetimlerinde pek kullanılmamıştır.

AR, sanal içeriklerin (3B model, grafik, animasyon, metin ve ses) gerçek dünya ile sorunsuz bir şekilde bütünleşmesine olanak tanıyan [12], akıllı telefon, tablet gibi el tipi görüntüleyiciler [13] veya ön kameraya sahip Sanal Gerçeklik (VR) başlıkları aracılığı ile görüntülenen bir teknolojidir. 2017'de 3.5 milyar dolar olan bu teknolojinin 2025'de 198 milyar doların üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir [14]. AR'ın bu gelişimi, araştırmacıları masaüstü bilgisayarlara kapsamlı programların kurulduğu ve tek boyutlu sanal ortamların kullanıldığı benzetim yöntemleri yerine, taşınabilir cihazlarda 3B dünyaya yerleştirilen oyun nesnelere gerçek çevredeki fiziksel nesnelere kontrol edildiği AR benzetim yöntemlerine yöneltmektedir. Bu bağlamda, bilgisayar ağ eğitimlerinin mobil, 3B ve etkileşimli AR aktivitesine gömülü oyun mekânı [15] ile gerçekleştirilmesi, öğrencilerin ağ öğrenimindeki zor olan soyut kavramları somutlaştırarak öğrenmelerini sağlayabilir. Ayrıca azalan görsel gerçekliği yükseltebilir ve öğrencilerin pratik bir laboratuvar deneyimi kazanmalarına yardımcı olabilir. Bu eğitimler eğlenceli, etkili ve öğrenmeyi merkeze alan eğitsel ve ciddi AR oyun ortamları olarak geliştirilebilir. AR

ortamların bilgisayar ağ modellerini taklit ve analiz etme yetenekleri düşük olmasına rağmen bu ortamlar geleneksel ağ benzetimlerine yeni bir eğitim yaklaşımı getirmesi bakımından önemlidir. Bu nedenle başarılı bir AR ağ benzetimi için mobil cihazlar ve VR başlıklar, üzerinde dikkatlice durulması ve incelenmesi gereken bileşenlerdir.

Oculus GO, Samsung Gear VR ve Google Daydream View gibi Başa Takılan Ekranlar (HMD, Head Mounted Display), akıllı telefonlar için geliştirilmiş Mobil VR başlıklardır. Mobil AR başlığı, Mobil VR başlıkların AR amaçlı kullanımınıdır. Bir Mobil AR başlığı, gerçek dünyayı akıllı telefon kamerasından görür, bilgisayardan bağımsız çalışır, uygulama esnasında kullanıcının konum değiştirmesine ve her iki elini serbestçe kullanmasına izin verir. Günümüzde bu başlıklar; sağlık, turizm, eğitim ve eğlence gibi birçok sektörde gerçek ile sanal birleşiminin daha gerçekçi görüntülenmesi için kullanılmaktadır. Bu anlamda bir Mobil AR; esnek, erişilebilir ve kullanılabilir. Ancak birçok sektör benzetimlerinde kullanılan Mobil AR başlıklar, ağ benzetimlerinde neredeyse hiç kullanılmamıştır

Açıklanan bilgilerin dikkate alındığı bu çalışmada, bilgisayar ağ müfredatında yer alan ve öğrenilmesi zor olan soyut kavramların öğretiminde AR ortamların çözüm olup olmadığının belirlenmesine yönelik bir araştırma yürütülmüştür. Amaç, öğrencilerin bilgisayar ağ dersindeki temel bilgileri öğrenebilmeleri ve ağ deneyimlerini iyileştirebilmeleri için somut ve dokunmatik arayüz tekniklerini içeren 3B AR eğitim ortamı tasarlamaktır. Bilgisayar ağ müfredatının geniş içerikli olması sebebiyle bu çalışmada, bilgisayar ağlarındaki tüm veri iletişim sürecinin dayandığı TCP/IP protokolü ve OSI modeli ele alınmıştır. Geliştirilen aracın öğretim faaliyetlerinde kullanılabilen, görselliği yüksek, kullanımı kolay ve oyunlaştırılmış küçük ölçekli bir ağ benzetim sistemi yapısında olması planlanmıştır. Bu plan çerçevesinde çalışmanın akıllı telefonlarda kullanımı için ".apk" dosyası oluşturulmuştur. Bu sayede çalışmanın mobil bir HMD'de çalışması sağlanmıştır. Etkileşim için *Somut AR Arayüz (tangible AR interface)*, *Mobil AR Arayüz (mobile AR interface)* ve sanal butonların kullanıldığı *yüzey arayüz (surface interface)* tasarımları yapılmıştır. IP ve veri işlemleri için oyun mekânına sahip oyun algoritması geliştirilmiştir. Bu sayede kullanıcılar, içinde buldukları gerçek ortamdan ayrılmadan, bilgisayar ağının temel davranışlarını, protokollerini ve katmanlarını Mobil AR başlığı ile her yerde 3 boyutlu, etkileşimli ve uygulamalı öğrenme fırsatı bulmuştur.

## 2 İlgili çalışmalar

Yapılan alanyazın taramasında, ağ benzetimi üzerine yapılan çalışmaların önemli bir kısmının, bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılan ağ ürünleri geliştiren firmaların 2B ekranda eğitim ve tasarım amacıyla kullandıkları OMNeT++, GNS3 ve Microsoft Visio gibi üst düzey yazılım araçlarını temel aldıkları tespit edilmiştir. Diğer bir kısmının ise VR ortamlarını ve bu çalışmanın konusu olan AR ortamlarının kullanıldığı, TCP/IP ve OSI modellerin öğretildiği ve öğrenmeye etkisinin araştırıldığı çalışmalar olduğu tespit edilmiştir.

Alanyazında AR ortamların ağ benzetimlerinde kullanıldığı ve öğrenci başarısına etkisinin araştırıldığı çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmalardan Cowling ve Birt [5] bilgisayar ağındaki teorik ve çok adımlı karmaşık soyut kavramların öğretimine yardımcı olacak mobil bir AR çalışması sunmuşlardır. Amaç, öğrencilerin TCP/IP protokollerini anlayabilmelerine yardımcı olacak bir yöntem sunmaktır. Çalışmada Unity3D oyun motoru ve Vuforia AR yazılım paketi kullanılmış, switch, router ve hub

cihazlar 3B modellerle temsil edilmiş ve bağlantılar düz hatlar ile gösterilmiştir. Sanal ile gerçek arasındaki etkileşim, somut kullanıcı arayüzü ile sağlanmıştır. Kullanılabilirlik Testi bulguları; çalışmanın ilgi çekici ve öğretici olduğunu göstermiştir. Ancak çalışmada TCP/IP katmanlarının ve katmanlar arası veri akışının görselleştirilmemiş olması çalışmanın öğreticiliğini azaltabilir. Fraga vd. [15], bilgisayar ağ müfredatı için oyunlaştırma ve AR teknolojisini kullanan benzetim tabanlı mobil bir uygulama geliştirmişlerdir. Amaç, AR görselleştirme aracının etkinliğini araştırmaktır. Çalışmada QR işaretçiler Vuforia paketi ile modellerle jMonketEngine oyun motoru ile oluşturulmuştur. Sonuçlar, AR ortamların öğrencilerin belirli görevleri yerine getirmesinde ve performanslarını artırmada etkili olabileceğini göstermiştir. Ancak çalışmada sanal içerikle olan etkileşim yöntemi net açıklanmamıştır. Bu nedenle kullanıcıların sanal içeriklerle olan dokunsal ve görsel etkileşim deneyimi azalmış olabilir. Wen vd. [16] gerçek donanımların kullanıldığı bir ağı, benzetim tabanlı artırılmış bir ağ ile sorunsuz bir şekilde geliştirme çalışmaları yapmışlardır. Yarı sanal yarı gerçek sensörleri içeren çalışma, yüksek doğruluğa sahip bir sensör ağ benzetimine dayalı bir AR sistemidir. Çalışmada sanal ile gerçek sensör düğümler arasındaki iletişim, sunucu bilgisayarlar ile sağlanmıştır. Bulgular, sanal modellerin gerçek deneylerde kullanılabilir araçlar olduğunu göstermiştir. Truchly vd. [17] TCP/IP protokol yığını ve Güvenlik Duvarı öğretimi için VR tabanlı mobil bir uygulama geliştirmişlerdir. Amaç, sanal ortamların öğrencilerin memnuniyeti üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Cep telefonuna kurulan uygulama, kablosuz bir oyun kumandası (Xbox One) ile kontrol edilmiş ve Mobil VR başlıklarında denenmiştir. Araştırmada katılımcılar gruplara ayrılmış, ön-son testler yapılmış ve her iki grubun bilgi edinme düzeyi değerlendirilmiştir. Bulgular, deney grubu öğrencilerin kontrol grubu öğrencilere göre daha yüksek bilgi kazancı elde ettiğini göstermiştir. Ancak bu çalışmada kullanıcı hareketleri ve sanal ortam etkileşimleri geleneksel oyun kumandası ile gerçekleştirilmiştir. Bu etkileşim yöntemi kullanıcının sanal ortama dalmasını engelleyebilir ve ortamın sürükleyiciliğini zayıflatabilir.

Soyut kavramları öğretmek için hem sınıf hem de laboratuvar ortamlarında kullanılan çeşitli benzetim ve web tabanlı araçlar geliştirilmiştir [18]. Bu araçlar, öğrencilerin ağda dolaşan paket akışını görmelerine ve protokollerini daha kolay anlamalarına yardımcı olmaktadır [19]. WebLan-Designer, WebTrafMon, INetwork gibi araçların çoğu, öğrenciler için çevrimiçi etkileşim arayüzü sağlamaktadır. Örneğin, Wang ve Guo [20] bilgisayar ağı kursları için çevrimiçi sanal bir laboratuvar ortamı geliştirmişlerdir. Wireshark ve Mininet araçlar ile geliştirilen çalışmanın amacı, öğrencilere uç bilgisayarların ve omurga yönlendiricilerin belirli iletişim protokollerinde nasıl çalıştığına dair eksiksiz bir bakış açısı sunmaktır. Çalışmanın sonuçları, öğrencilerin geliştirilen laboratuvar aracını başarılı bulduklarını göstermiştir. Ancak bu çalışmada komut dosyası oluşturma ve yapılandırma işlemleri oldukça detaylıdır. Bu durum kullanıcıların kendi sanal ağlarını oluşturmalarını zorlaştırabilir [21].

Alanyazında, ağ benzetimi üzerine yapılan çalışmaların önemli bir kısmının GNS3, Cisco Packet Tracer, Putty, Microsoft Visio, Ns3 ve Simple Network Manager gibi üst düzey yazılım araçlarını temel aldıkları tespit edilmiştir. Bu araçlar gerçek dünya uygulaması olmaksızın ağ topolojilerini değerlendirmek için kullanılan en kullanışlı ve yaygın yöntemdir [22]. Bu nedenle, birçok araştırmacı bu yazılım araçları üzerine

araştırma çalışmaları yapmışlardır. Walia vd. [23] ve Bakare ve Enoch [24] günümüzde yaygın olarak kullanılan ağ araçlarının bazılarını çeşitli özellikler bakımından incelemişlerdir. Genel bulgular, bu araçların desteklenen cihaz sayısında, birden fazla cihazı ve protokolü simüle edebilmesinde (yönlendirici, anahtar vb.) başarılı olduğunu göstermiştir. Bu bulgu üst düzey ağ yazılımlarının AR ağ yazılımlarında daha etkin olduğu şeklinde yorumlanabilir. Fakat üst düzey ağ yazılımları pahalıdır ve satın alma maliyetine ek olarak, bu yazılımlara teknik destek ve bakım gerekliliği [25] vardır. Ayrıca son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, üst düzey ağ yazılım araçlarının az da olsa karmaşık, kullanımının zor ve 3B görselleştirmede eksikliklerinin olduğunu bildirmektedir [25]. AR, 3B görselleştirme konusunda oldukça başarılıdır. Örneğin, Hamzah vd. [26] bilgisayar ağ cihazlarının öğrenimi için 3B destekli bir AR uygulaması geliştirmişlerdir. Amaç, öğrencilere bilgisayar ağı kavramlarını ve protokollerini, veri paketlerin, akışların ve protokollerin nasıl çalıştığını öğretmektir. Geliştirilen uygulamada işaretçi tabanlı AR kullanılmış ve mobil cihazda uygulanmıştır. Katılımcılara uygulanan ölçek sonuçları eğitimde AR kullanımının öğrenci başarısı üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Diğer çalışma, Alse vd. [19] bilgisayar ağı için sanal bir öğrenme ortamı oluşturmuşlardır. Ortam tasarımında Open Wonderland aracı kullanılmıştır. Open Wonderland, kullanıcıların 3B sanal ortamlar oluşturmaya olanak tanıyan açık kaynaklı bir araç takımıdır. Sanal ortamda öğrencilerin ağı keşfetmesini ve veri paketlerinin nasıl taşındığını anlamasını sağlayacak 3B sanal modeller (yönlendirici, ev, yol) oluşturulmuştur. Bulgular çalışmanın başarılı bir araç olduğunu göstermiştir. Ancak bu çalışmada az sayıda ağ modelinin kullanılmış olması ve sanal ortam etkileşimlerinin geleneksel giriş cihazları (fare, klavye) ile yapılması çalışmanın öğreticiliğini ve kullanılabilirliğini azaltabilir.

AR ağ benzetim çalışmalarının sayısı **az olması** sebebiyle; bu kısımda konu edilen çalışmanın kuramsal çerçevesi biraz daha geniş tutularak farklı alandaki AR eğitim çalışmaları incelenmiş, çalışılmak istenen alandaki kuramsal tartışma eksikliği (etkileşim, işaretçi ve görüntüleme yapısı) giderilmeye çalışılmıştır. Alanyazın araştırmaları AR ortamlarda yapılan eğitimlerin ağırlıklı olarak; Fizik, Kimya [27] ve Sağlık [28] alanlarında olduğunu göstermiştir. Bu çalışmaların ağırlıklı olarak karmaşık cihazların kullanımı, riskli ve tehlikeli deneylerin gerçekleştirilmesi ve soyut kavramların somutlaştırılması üzerine yapıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalar içerisinde çoğunlukla 3B model, grafik, metin ve ses gibi dijital içerikler kullanılmıştır. AR deneyimi için genellikle tablet, telefon ve VR başlıklar tercih edilmiştir. Bulgular; AR ortamların kullanıcıların deneyim seviyelerini yükselttiğini, öğrenme kalitesini artırdığını [29] ve motive etmenin bir yolu olduğunu göstermiştir [30]. Alanyazında birçok çalışma sanal laboratuvarların [31] görülemeyen ve yeniden üretilmeyen benzetim süreçlerine grafiksel ve simgesel çözümler getirmesi bakımından büyük bir önem taşıdığını vurgulamaktadır [32]. Ayrıca AR'ın hem gerçekçi dokunsal geri bildirim hem de güçlü performans için güçlü eğitim araçları olabileceği belirtilmiştir. Sanal deneylerde sadece doğal el hareketlerin etkileşim amaçlı kullanılması, karmaşıklığa ve benzer hareketlerin yanlış tanımlanmasına ve dolayısıyla işlem yükünün artmasına yol açabilir [33]. Bu nedenden dolayı AR tasarımlarında sadece doğal el hareketi kullanmak sistemin etkinliğini zayıflatabilir. Tüm bu bulgulara dayalı olarak; AR ortamların, kullanıcıların



deneyim seviyelerini yükselttiği [27] ve öğrenme kalitesini artırdığı [29] söylenebilir. Sonuç olarak, birçok farklı alan öğretiminde AR kullanımının öğrenci başarısına etkisi üzerine kapsamlı alanyazın bulunmasına rağmen, sadece birkaç makale TCP/IP benzetimi veya OSI model gösterimi için AR ortamı tasarlamıştır. Mevcut alanyazında oyun temelli ve sadece sunuma odaklanmayan, öğrencilerin geri bildirimine olan ihtiyacını da karşılayacak AR tabanlı bir bilgisayar ağı öğretim sisteminin olmaması bu makalenin neden gerekli olduğu konusunda bir kanıt oluşturmaktadır. Öğrencilerin sınıfta aktif katılımına dayanan ve teoriden çok pratik deneylerin yapılabildiği bir AR sistemine büyük bir ihtiyaç vardır. Ayrıca bu çalışmanın benzer veya ilişkili sistemlerden en önemli farkı; mevcut çalışmalardaki gibi tek bir arayüz veya tek bir etkileşim yöntemi üzerinden TCP/IP veya OSI gösterimi gerçekleştirmek değil aynı zamanda Mobil VR araçların avantajlarından, oyun temelli öğrenme yaklaşımından, doğal ve ekran arayüzü etkileşimlerinden yararlanan bir sistem ortaya koymaktır. Bu çalışma, gerçek ortamda ađ modellerinin öğretildiği, ađ düğümünün zekice davrandığı ve IP adreslerin dinamik yönetildiği yeni bir mobil eğitim yöntemi önermektedir.

### 3 Tasarım ve uygulama

#### 3.1 Araçlar ve yazılımlar

Bu çalışmada, 3DSMax, Vuforia Engine, Unity3D, akıllı telefon ve Samsung Gear VR cihazı kullanılmıştır.

3DS Max; modelleme ve animasyon programıdır. Bu çalışmada 3DS Max; TCP/IP ve OSI kavramların, dönüşüm protokollerin ve iletişim metodunun görselleştirilmesi ve modellenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Vuforia Engine; resimleri, 3B nesnelere ve gerçek ortamları tanıma/izleme için bilgisayarlı görme teknikleri kullanan, kapsamlı ve ölçeklenebilir bir AR yazılım geliştirme aracı (SDK, Software Developments Kit)'dir.. Bu çalışmada Vuforia; resim tabanlı işaretçilerin (referans noktaları) oluşturulması, sanal içeriklerin uygulamada AR şeklinde gösterilmesi için kullanılmıştır.

Unity3D, çok platformlu oyunlar ve gerçek zamanlı etkileşimli ortamlar oluşturmak için geliştirilmiş bir oyun platformudur. Animasyon editörü, fizik ve grafik motorları bu platformun önemli bileşenleridir. Bu çalışmada Unity3D; AR tabanlı ađ benzetimi geliştirmek, özellikle 3B bileşenleri kontrol edebilmek, gerçekçi etkileşimler oluşturabilmek ve uygulamayı mobil cihazlarda çalıştırabilmek amacıyla kullanılmıştır.

Samsung Gear VR, akıllı telefonun VR cihazların baş yuvalarına yerleştirilmesi ile kullanılan Mobil VR başlıktır. Bu çalışmada Samsung Gear VR başlığı, akıllı telefon kamerası ile yakalanan görüntünün kullanıcıya gösterilmesi için kullanılmıştır.

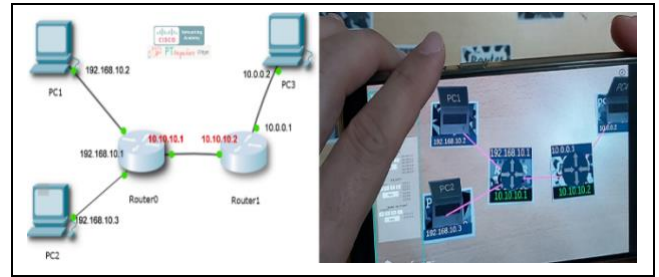
#### 3.2 Sistem tasarımı

Uygulamaya geçilmeden önce sistemin tüm işlevlerinin belirlenmesi ve tanımlanması gerekir [34]. Amaç, kullanılacak araçların ve etkileşim yöntemlerini belirlemektir. Çalışmanın sistem tasarımı şu şekilde belirlenmiştir;

- AR tasarım ortamı ve öğrenme çevresi,
- Dijital içeriklerin modellenmesi,
- 3B görüntüleme aracı,
- AR türü ve işaretçi yapısı,
- Sistem mimarisi,
- Nesne etkileşimi,
- Kullanıcı arayüzü ve etkileşim.

#### 3.2.1 AR tasarım ortamı ve öğrenme çevresi

Bu kısımda, ilk olarak iki ađ uzmanı ile birlikte Bilgisayar Haberleşmesi ve Ađ Teknolojileri kitabından soyut kavramlar ve anlaşılması zor olan alanlar tespit edilmiş, bu alanlar çerçevesinde geçmişteki öğrenci sınav sonuçları incelenmiş ve öğrenci başarı oranı düşük konular seçilmiştir. AR aracının yenilikçi, çekici ve öğretici olması için seçilen konuların gerçekleştirileceği AR ađ tasarım ortamı oluşturulmuştur. Amaç kullanıcıların uygulamada yapmaları gereken görevleri geliştirilen tasarım ortamında yapmalarını sağlamaktır. Tasarım ortamı 2 şekilde kullanılabilir: Bunlardan ilki *ađ oluşturma ve IP adresleme uygulamaları*, ikincisi *OSI gösterimidir*. Bu işlemlerin Mobil AR ile gerçekleştirilmesi kullanıcılar sürükleyici bir deneyim, gerçek zamanlı geri bildirim ve sürdürülebilir bir etkileşim sunabilir. Şekil 1'de geliştirilen AR sistemine ait örnek bir TCP/IP senaryosu gösterilmiştir.

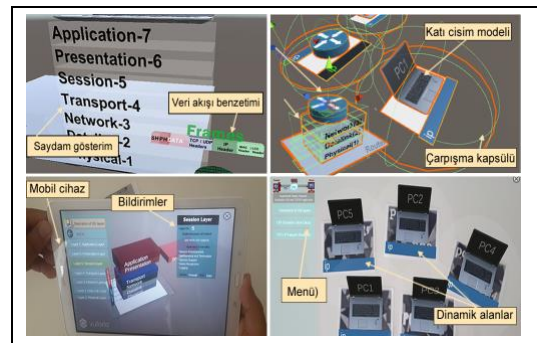


Şekil 1. Deneyisel AR senaryosu.

Figure 1. Experimental AR scenario.

#### 3.2.2 Dijital içeriklerin modellenmesi

Bu kısımda ađ iletişim cihazlarının modellenmesi açıklanmıştır. Modellemede amaç, fiziksel ve matematiksel araçlar kullanarak gerçek nesneye en yakın sanal görüntünün elde edilmesidir. Gerçek yaşamda kullanılan ađ iletişim cihazlarının ve katmanların çalıştığı katman seviyeleri farklıdır. Bu nedenle bu çalışmada, ele alınan ađ varlıklarının sahip olduğu her bir katman 3DS Max ile modellenmiş, en uygun malzemeler ile kaplanmış ve Unity3D'e aktararak kullanılmıştır. Ancak modellemeler üzerine yapılan kaplamalar, kullanıcıya katmanlar arası veri iletişiminin ve protokol dönüşümlerinin ayrıntılı gösterimini engellediğinden bazı ađ varlıkları (OSI) saydam olarak modellenmiştir. Bu sayede kullanıcının TCP/IP ve OSI gibi kavramlardaki protokol dönüşümlerini ve veri aktarımlarını görmesi sağlanmıştır. Şekil 2'de AR sistemi için modellenen bazı önemli dijital içerikler gösterilmiştir.

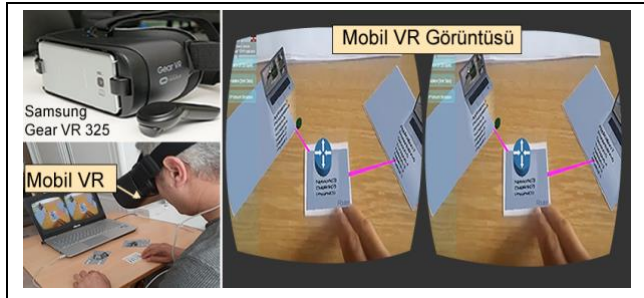


Şekil 2. Dijital içerikler.

Figure 2. Digital contents.

### 3.2.3 3B görüntüleme aracı

AR görüntüleme teknolojisindeki temel işlem, gerçek ile sanal dünyanın oluşturduğu sahnenin kullanıcıya nasıl gösterileceğidir. Alandaki birçok çalışma AR görüntüleme sistemlerini Optik tabanlı sistemler, Video tabanlı sistemler ve Monitör tabanlı sistemler olarak sınıflandırmaktadır [35]. Günümüzde AR görüntüleme sistemleri; uzamsal görüntüleme araçların veya taşınabilir görüntü cihazların kullanıldığı video tabanlı sistemler, HMD veya birleştirici lenslere sahip kaskların kullanıldığı optik tabanlı sistemler olarak çeşitlenmektedir [36]. Video tabanlı sistemler, kullanıcıya gerçek dünyayı bilgisayar monitörü aracı ile gösterirken, optik tabanlı sistemler bu gösterimi kasklar ya da HMD'ler üzerinden gerçekleştirir. Optik tabanlı ekranların görüntüleme sistemi; optik birleştirici, sahne oluşturucu, izleme cihazı ve ekran olmak üzere dört temel bileşeni içerir. Günümüzde HMD, tipik bir AR görüntüleme cihazı olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, optik tabanlı mobil AR görüntüleme sistemi kullanılmıştır. Amaç, kullanıcıya gerçek dünya üzerinde sanal ağ içeriklerini göstermek ve bu içerikler ile gerçek zamanlı etkileşim deneyimini kazandırmaktır. Bu işlem için yazılımsal ve donanımsal gereklilikler mevcuttur. Donanımsal gereklilikleri; VR gözlük, akıllı telefon, Vuforia tarafından üretilen ve ağ modellerinin konumunun görsel olarak ifade edilmesini sağlayan resim tabanlı işaretçiler oluşturur. Yazılımsal gereklilikleri; Unity3D ve eklentileri (Android Build Support, Visual Studio), Win 7, Vuforia oluşturur. Çalışmanın görüntüleme işlemini; Vuforia ile görüntü hedefi olarak kullanılacak işaretçilerin üretilmesi, Unity3D'de işaretçilere 3B içeriklerin tanımlanması, akıllı telefona "apk" uzantılı dosyanın yüklenmesi, kamera erişim izinleri, akıllı telefonun Samsung Gear VR baş yuvasına takılması ve telefon kamerasının görüş alanına üretilen işaretçilerin yerleştirilmesi oluşturur. Şekil 3'te geliştirilen AR sisteme ait örnek bir AR OSI senaryosu gösterilmiştir.



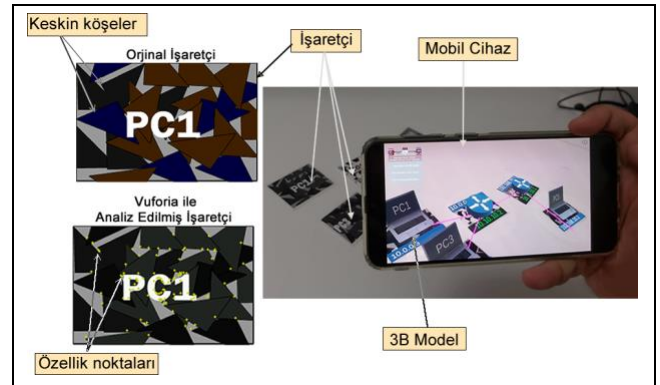
Şekil 3. Mobil VR.  
Figure 3. Mobil VR.

### 3.2.4 AR türü ve işaretçi yapısı

AR ile uygulama geliştirmenin farklı türleri vardır ve bu türler arasındaki tercih, dijital içeriğin nasıl tetikleneceğini belirlemektedir [37]. Alanda birçok çalışma AR türünü; tanıma (recognition), yansıtma (projection), konum (location) ve anahat (outlining) tabanlı AR olarak çeşitlendirmektedir [38]. Ancak tarihsel olarak AR türü; resim tabanlı (image-based) ve konum tabanlı (location-based) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [39]. Resim tabanlı sistemler de kendi içinde işaretçi tabanlı AR (marker-based AR) ve işaretçi tabanlı olmayan AR (markerless-based AR) olarak sınıflandırılmaktadır [36]. Günümüzde ARCore, ARKit, Wikitude ve Vuforia gibi platformların varlığı sanal ile gerçek ortamların sorunsuz bir şekilde birleştirilmesini ve yüksek

doğruluk değerlerine sahip çeşitli izlenebilir hedefler ve yetenekler sunmasını sağlamaktadır. Ancak görüntü işleme tekniklerini kullanan AR çalışmalarında, izleme yöntemlerinin beraberinde getirdiği bazı problemler mevcuttur. Bu problemlerin bazıları; işaretçi tabanlı olmayan izleme yönteminin oldukça karmaşık olması ve genellikle bu tür izlemenin yüksek hesaplama gücü gerektirmesi üzerinedir. Özellikle mobil cihazlar gibi sınırlı hesaplama kaynakları ile çalışılması gereken AR mobil uygulamalarında bu tür izlemeyi kullanmak zordur [40]. Çünkü mobil cihazlar düşük işlemci gücü, sınırlı depolama alanı ve düşük bellek hızı gibi ciddi sınırlamalara sahiptir. Mobil cihazların sahip olduğu bu kısıtlamalar, işaretçi tabanlı olmayan izleme yöntemi için engel teşkil etmektedir [41]. Buna karşın mobil platformlarda işaretçi tabanlı izleme, işaretçi tabanlı olmayan izlemeye göre daha kararlı ve hızlı çalışmaktadır. Bu nedenle çalışmada, Vuforia izleme aracının 2B izleme türü olan işaretçi tabanlı AR teknolojisi kullanılmıştır.

İlk işaretleyiciler kameranın daha iyi görüntü alması için siyah zemin içine beyaz desenleri olan kare referans işaretçiler olarak tasarlanmıştır. Bu tür işaretleyicilerin öncüsü ARToolKit aracıdır [38]. Daha sonraki süreçte birçok işaretçi tanıma sistemi (ARTag, AprilTag, MaxiCode) geliştirilmiştir. Bu geleneksel işaretçiler zengin detaylar, iyi karşıtlık ve biçim özellikleri bakımından düşük performansa sahiptir. Günümüzde görüntü tanıma ve izleme teknolojilerindeki gelişmeler işaretçi tanıma sistemlerini ve tasarımlarını değiştirmiştir. Bu olumlu değişim kullanıcıların bir resim ve fotoğraf işleme yazılımı ile kendi işaretçilerini tasarlamalarını sağlamıştır. Bu çalışmanın işaretçileri, keskin köşeler ve parlak olmayan mat yüzeye sahip güçlü işaretçiler şeklinde tasarlanmıştır. Amaç, video akışı içindeki işaretçilerin iyi bir hedef görüntü olma olasılığını yükseltmek, görsel ayrıntılarını sorunsuz bir şekilde algılamak, iyi ve tutarlı bir şekilde izlemek ve işaretçiler üzerinde dijital verileri göstermektir. Şekil 4'te geliştirilen çalışmanın AR türü ve gri tonlamaya dönüştürülmüş örnek bir işaretçi yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4. İşaretçiler.  
Figure 4. Markers.

### 3.2.5 Sistem mimarisi

Çalışmanın sistem mimarisi 3 ana bloktan oluşmaktadır. Bunlar; İşaretçi, Etkileşim ve Uygulama bloklarıdır (Şekil 5).

*İşaretçi bloğu*, 4 aşamada gerçekleşir. Video Akışı aşaması, kameradan alınan anlık görüntülerin ikili görüntüye dönüştürülmesidir. Tanıma aşaması, kamera sahnesindeki işaretçilerin görüntü işleme teknikleri ile algılanması ve çözümlenmesidir. İzleme aşaması; kameraların optik özellikleri

kullanılarak tanımlanan işaretçilerin, yönelimlerinin ve pozisyonlarının hesaplanması işlemidir. Birleştirme aşaması ise, video akışı içerisinde tanımlanan ve izlenen işaretçilere dijital içeriklerin eklenmesidir.

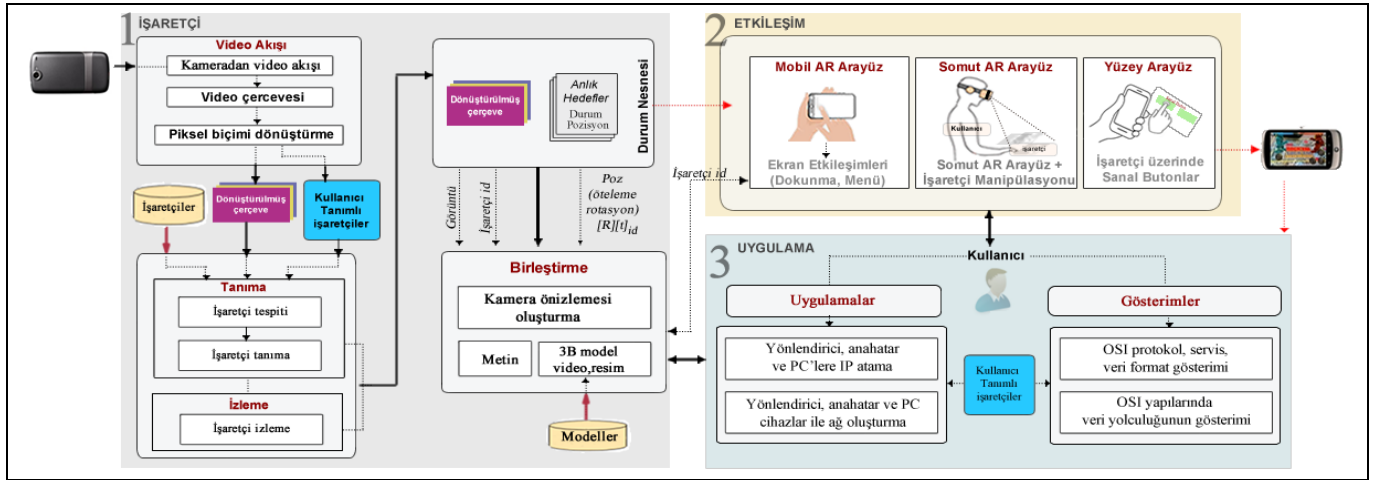
**Etkileşim bloğu**, kullanıcıların sanal içeriklerle sezgisel bir şekilde etkileşim kurmaları ve daha iyi bir kullanıcı deneyimi yaşamaları için üç tip etkileşim yöntemi içerir. Bunlar: ekran etkileşimi olarak da bilinen *mobil AR arayüz etkileşimi*; mobil AR başlıklarına kullanıldığı ve tek veya iki el etkileşimi ile fiziksel işaretçilere manipülasyon işlemlerinin yapıldığı *Somut AR Arayüz etkileşimi* ve işaretçiler üzerinde sanal butonların gösterildiği *yüzey arayüz etkileşimidir*. Somut AR kısmında, kullanıcının işaretçileri hareket ettirmesi ile sanal nesnelere etkileşimler sağlanmıştır. Mobil AR kısmında, bir menü oluşturulmuş ve kullanıcının bu menü üzerinden IP aralığını girmesi ve ağ uygulamasını başlatması sağlanmıştır.

**Uygulama bloğu**, Uygulamalar ve Gösterimler olmak üzere iki tip eğitimden oluşmaktadır. *Uygulamadaki amaç* kullanıcının IP bilgisini geliştirmek ve ağ değişimleri ile IP değişimlerini uygulamaktır. Bu sayede kullanıcılar basit bir ağ ortamı

tasarlayabilir ve farklı ağ tasarımlarını deneyimleyebilir. *Gösterimdeki amaç* ise kullanıcının ağ cihazlarının her bir katmanını, katman iletişim kurallarını, verinin yapısını ve ağ cihazlarındaki veri akışını/yolculuğunu 3B ile göstermektir.

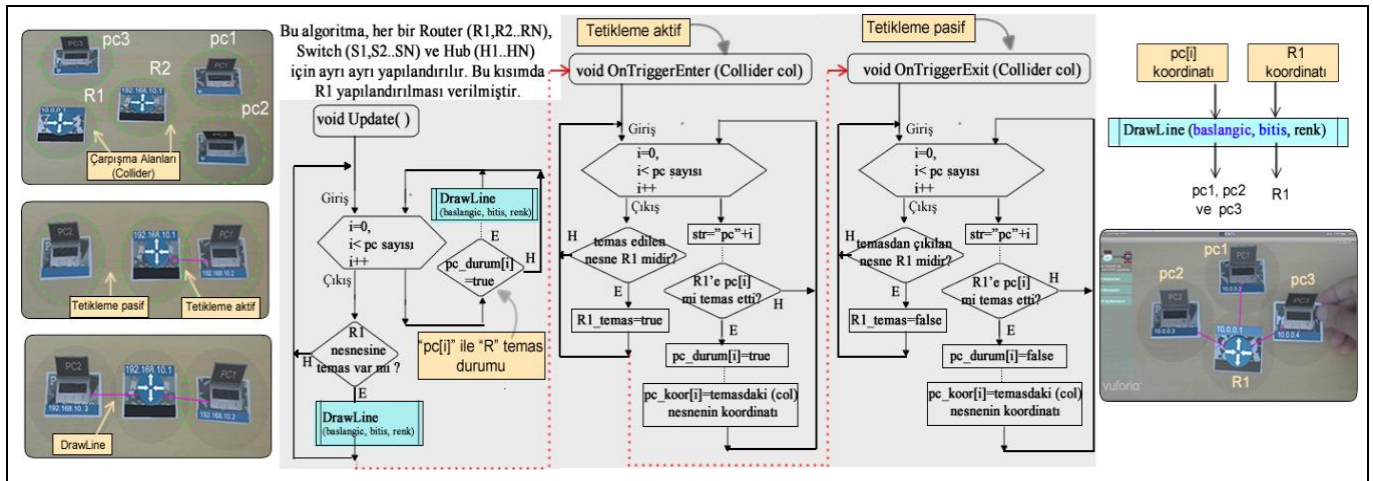
### 3.2.6 Nesne etkileşimi

Bir ağ tasarımında sanal nesnelere arasındaki etkileşimlerin tespit edilmesi gerekir. Bir etkileşim olayını tespit etmek için çok sayıda olası teknik vardır [42]. Bu tekniklerin büyük bir bölümü *çarpışma* ve *tetikleme* gibi fonksiyonları kullanır. Amaç, oyun nesnelerinin sahnedeki diğer oyun nesneleri ile olan teması algılamak ve tanımlı olayları gerçekleştirilmiştir. Ancak bu işlemlerde karşılaşılan en temel sorun, kullanıcının bir veya birden fazla işaretçinin konumunu fiziksel olarak değiştirmesi sonucunda oluşan yeni ağ dönüşümüne uygulamanın anlık cevap verememesidir. Bu sorunun çözümü için en başarılı yöntem nesne temaslarını gerçek zamanlı izlemek ve bu işlemlere yönelik algoritmalar geliştirmektir. Şekil 6'da nesne temaslarını izleme ve ağ iletişim bağlantılarının sağlanması için geliştirilen *Bağlantı Algoritmasının* akış şeması verilmiştir.



Şekil 5. Sistem mimarisi.

Figure 5. System architecture.

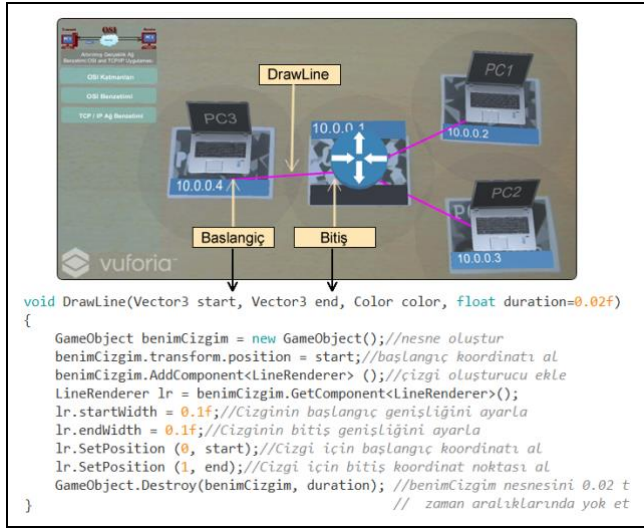


Şekil 6. Bağlantı algoritma akış şeması.

Figure 6. Connection algorithm flow chart.



Şekil 6'da verilen bağlantı algoritması için ilk olarak Vuforia işaretçi eklentisi Unity3D programına aktarılmış, her bir işaretçiye *Rigidbody* özelliğine sahip katı gövde modeli eklenmiş ve şeffaf çarpışma alanları oluşturulmuştur. Sonrasında bağlantı algoritmasını içeren komut dosyası her ağ nesnesine yüklenmiş, *Inspector* paneli üzerinden yapılandırılmış ve çarpışma alanları çarpıştırıcı oyun nesnelere haline dönüştürülmüştür. Amaç bağlantı komut dosyası içerisinde yer alan *OnTriggerEnter* ve *OnTriggerExit* fonksiyonları ile sahnedeki PC nesnelere (*pc1, pc2, .. pcN*) hangi ağ nesnesine (*router, switch, hub*) temas ettiğini bir *for* döngüsü ile kontrol etmektir. *For* döngüsü ile temastaki nesnelere tespit edilmiş ve *DrawLine* fonksiyonunu içerisindeki *Linerender* bileşeni ile bu temas çiftleri düz bir bağlantı ile birbirine bağlanmıştır. Bu sayede ağ nesnelere bir ağın düğümleri haline getirilmiş ve IP alma koşulu sağlanmıştır. Şekil 7'de bağlantı algoritmasının bir bileşeni olan *DrawLine* fonksiyonunun uygulaması ve kod yapısı gösterilmiştir.



Şekil 7. DrawLine fonksiyonu.

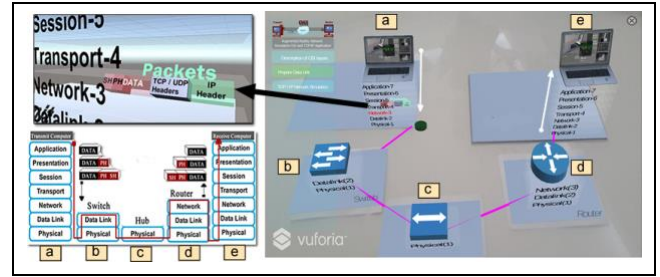
Figure 7. DrawLine function.

Çalışmanın bağlantı işleminde dikkate alınan bazı önemli etkileşim hususları şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Ağ tasarımı 16 işaretçi ile gerçekleştirilir,
- ✓ Ağ tasarımında ağ iletişim cihazı (router, switch ve hub) olmadan PC'ler birbirine bağlanamaz ve IP alamaz,
- ✓ Ağ iletişim cihazlarının birbirleri ile olan teması dikkate alınır ve çarpışma olayları çalıştırılır,
- ✓ Bir PC'nin çarpışma olayı en son temas ettiği ağ iletişim cihazına göre hesaplanır,
- ✓ Bir ağ iletişim cihazına birden fazla PC bağlanabilir ve bu bağlantılara göre IP tanımlamalar otomatik hesaplanır.

Şekil 8'de bağlantı algoritmasının kullanıldığı bir OSI öğretimi sunulmuştur. Bu öğretimde kullanıcı, OSI katmanlarının, bu katmanlar arasındaki veri akışının ve veri işlemlerinin görsel bir tanımını görebilir. Bu gösterim gerçek anlamda bir Enkapsülasyon veya Dekapsülasyon işlemi olmayıp, sadece benzetimdir. Gerçek yaşamda kullanılan ağ cihazlarının katman seviyeleri farklıdır. Bu nedenle tasarım aşamasında;

kullanılacak ağ cihazları uygun katman seviyelerinde modellenmiş ve her katmanda farklı şekilde gerçekleşen veri işlemi için *Collider* ve *Rigidbody* bileşenlerine sahip uyarı ve tetikleme amaçlı oyun nesne modelleri eklenmiştir. Bu sayede ağ cihazlarının çalıştığı katman seviyeleri ve protokol bilgileri gösterilmiştir. Ayrıca verinin uç düğümler arasındaki yolculuğu sonraki bölümde ayrıntılı olarak açıklanan yapay zekâ destekli yol bulma sistemi ile sağlanmıştır. Bu sisteme sahip bir OSI öğretimi ile verinin geçtiği ağ cihazlardaki veri işleminin, konum bilgisinin ve katman protokol bilgisinin kullanıcıya anlık gösterilmesi de sağlanmıştır. Şekil 8'de OSI model öğretiminin çalışma anından alınmış bir görsel verilmiştir.



Şekil 8. Veri işlemi.

Figure 8. Data processing.

### 3.2.7 Kullanıcı arayüzü ve etkileşim

Bu çalışmanın kullanıcı arayüz tasarımı; *Somut AR Arayüz*, *Mobil AR Arayüz* ve *Yüzey arayüz* (sanal butonlar) olmak üzere üç temel teknikten oluşmuştur. Bu tekniklerden Somut AR arayüz, 3B sanal içeriklerin bir işaretçi ile temsil edilmesi ve kullanımının, bu işaretçileri hareket ettirerek sanal bir ağ oluşturması için geliştirilmiştir. Bu ara yüzde gerçek ortamda işaretçiler, sanal ortamda 3 boyutlu sanal içerikler yer almış ve AR 'ın sağladığı gelişmiş görüntüleme olanakları ile gerçek ve sanal ortam ekran üzerinde birleştirilerek kullanıcıya somut, sezgisel ve doğal bir kullanıcı arayüzü sistemi sunulmuştur. Bu sistemin en önemli parçasını akıllı telefonun baş yuvasına monte edilen mobil VR başlıklar oluşturur. Başa takılan VR başlıklar sayesinde kullanıcılar, uygulamayı oturur pozisyonda kullanabilir ve her iki eliyle birden fazla fiziksel işaretçiyi serbestçe hareket ettirebilir. Günümüzde geleneksel ve en çok kullanılan AR tekniği, VR başlık aracılığıyla yapılan işaretçi manipülasyonu olduğu söylenebilir. Ancak sadece VR başlık kullanımı ekran üzerinden bilgi girişi gerektiren AR uygulamalar için yeterli etkileşim imkânı sağlamaz. Çünkü çoğu AR uygulaması sanal ortamla olan etkileşimi ekran üzerindeki menü seçenekleri üzerinden gerçekleştirir. Bu nedenle bu çalışma için çoklu dokunmaya duyarlı ve mobil ekran etkileşimi olarak da bilinen mobil AR arayüzü de geliştirilmiştir. Bu arayüzün amacı kullanıcı tarafından oluşturulacak ağa *IP aralığı tanımlamak* ve *OSI katmanlarının öğretimlerini* ekran menüsü üzerinden dokunsal olarak gerçekleştirmektir. Bu çalışmada kullanılan ara yüzlerin tasarımında üç önemli konu dikkate alınmıştır. Bunlardan birincisi, fiziksel işaretçileri hatasız algılamak ve dijital içeriğin hızlı yüklenmesini sağlamaktır. Bu durum çalışmada en uygun işaretçi tasarımı ve düşük boyutlu dijital içerik tasarımı ile çözümlenmiştir. İkincisi, dokunmatik ekran için geliştirilen menü arayüzünün uygunluğudur. Bu durum dokunmatik etkileşimlere ve tek el koordinasyonuna en uygun buton boyutu ile giderilmiştir. Üçüncü ise, çalışmanın diğer bilgisayar ağ konuları ile genişletilmesidir. Bu durum bir telefon ekranını daraltmayacak

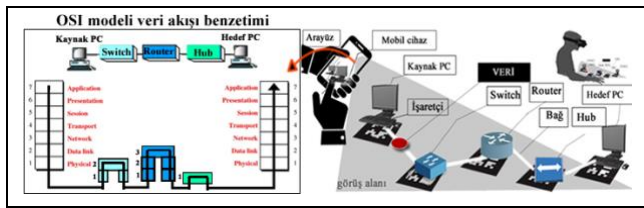
ve istenilen sayıda AR ağ sahnesinin yüklenebilmesine olanak tanıyacak açılır yatay menü tasarımı ile çözümlenmiştir.

### 3.3 Yapay zekâ tekniklerinin uygulanması

Bu kısım; *Düğümler arası yol bulma*, *IP tanımlama* ve *IP adres yönetimi* olmak üzere üç kısımdan oluşmuştur.

*Düğümler arası yol bulma*: Çalışmada veri paketlerinin gönderici, alıcı ve ara düğüm noktalarındaki yolculuğu, akıllı bir yol bulma sistemini içerir. Bu sistem, kameranın görüş alanına yerleştirilen fiziksel işaretçileri düğüm noktası olarak belirler, bu noktaları en yakın düğüme göre birbirine bağlar, veri paketlerini göndericiden alıcısına ulaşana kadar yol bulma algoritmasına göre yönlendirir ve kullanıcıya, bu paketlerin her düğümden nasıl hareket ettiğinin ve başlığa nasıl eklendiğinin benzetimini sunar. Bu benzetimde veri yönlendirmeleri, düğümlerin gerçek dünyadaki x, y, z koordinatlarının tespit edilmesi ile gerçekleştirilir. Yönlendirme temelde statik veya dinamik olabilir. Ancak hareketli düğüm noktalar/işaretçiler kullanan bir oyun çevresinde gerçek zamanlı ağ değişimleri (senaryo1,2..N) dinamik bir yönlendirmenin kullanımını gerektirir. Bu nedenle ağ tasarımında kullanılan düğümlerin/işaretçilerin 3B konum bilgileri, anlık olarak takip edilmeyi mümkün kılan *Update* metodu ile izlenmiştir. Bu sayede, özellikle 3B oyunlarda çok önemli olan ve bir nesnenin bir konumdan diğerine hareketini belirleyen *yol bulma* işlemi gerçekleştirilmiştir. Ancak, AR ağ tasarım ortamında sadece yol bulmak yeterli değildir. Aynı zamanda hem uç hem de ara düğümlerde veri işlemlerinin benzetimi gereklidir. Bu nedenle çalışmada *yol bulma* ve *veri işlemleri* yapılarını temel alan Oyun Yapay Zekâ (Game AI) algoritması geliştirilmiştir.

Oyun Yapay Zekâ (YZ) algoritmasına sahip OSI uygulamasında uç ve ara düğümler vardır. Kullanıcı, tüm düğümler ile etkileşime girebilir ve ara düğümlerden istediklerini oyun sahnesinde kullanabilir. Bir ara düğüm bulunduğu konumdan başka bir konuma taşınır ise *yol bulma* algoritması çalıştırılır ve düğüm, YZ algoritmasını göz önünde bulundurarak hangi düğümlere bağlanacağına kendisi karar verir. Uç ve ara düğümlerde gerçekleşen *veri işlemleri* ise oyuncu olmayan karakterlerden akıllı bir benzetimi içerir. Şekil 9'da OSI model benzetimindeki oyun YZ ile bağlantı oluşturma ve veri yolu bulma algoritmasının uygulandığı örnek bir senaryo sunulmuştur.



Şekil 9. OSI modeli veri akışı benzetimi.

Figure 9. OSI model data flow simulation.

Şekil 10 (Algoritma 1 için A1) ve Şekil 11 (Algoritma 2 için A2)'de geliştirilen YZ algoritmasının sözde kodu verilmiştir. Bu kodu 5 adımda açıklamak mümkündür:

1. İşaretçilerin algılanması ve 3B modellerin yüklenmesi (A1),
2. Kullanıcı-işaretçi etkileşimi ile ağın tasarlanması (A1),
3. Tasarlanan ağdaki modellerin birbirine bağlanması (A2),

4. Kullanıcı arayüz menüsünden benzetimin başlatılması (A2),
5. Verinin düğümler arasındaki yolculuğunun ve katmanlar arası veri işlemlerinin uygulanması (A2).

[Algoritma 1:Yapay zekâ ile düğümler arası bağlantı oluşturma ve veri yolu bulma mekanizması (Pseudo-Code)]

Mes: 2 cihaz arası mesafe;

R: Router modeli; S: Switch modeli; H: Hub modeli;

Pk: Kaynak/Gönderici PC; PH: Hedef/Alıcı PC;

TP: Oyun nesnesinin o anki konumu

Vector.Lerp: A noktasında B noktasma t zamanda hareket

```

1: procedure UPDATE()           ▷ Her çerçevede çağrılan döngü
2:   router ← router isimli işaretçiyi sahnede ara   ▷ true / false
3:   switch ← switch isimli işaretçiyi sahnede ara   ▷ true / false
4:   hub ← hub isimli işaretçiyi sahnede ara       ▷ true / false
5:
6:   if router = true then       ▷ Router ile Kaynak PC mesafesi
7:     Mes1 ← √((R.x - Pk.x)² + (R.y - Pk.y)² + (R.z - Pk.z)²)
8:   else
9:     Mes1 ← 0                 ▷ router işaretçi yok
10:  end if
11:  if switch = true then       ▷ Switch ile Kaynak PC mesafesi
12:    Mes2 ← √((S.x - Pk.x)² + (S.y - Pk.y)² + (S.z - Pk.z)²)
13:  else
14:    Mes2 ← 0                 ▷ switch işaretçisi yok
15:  end if
16:  if hub = true then         ▷ Hub ile Kaynak PC mesafesi
17:    Mes3 ← √((H.x - Pk.x)² + (H.y - Pk.y)² + (H.z - Pk.z)²)
18:  else
19:    Mes3 ← 0                 ▷ hub işaretçisi yok
20:  end if
21:  ▷ SENARYO 1:Ağ sahnesinde 3 aradüğüm kullanımı
22:  if router and switch and hub then
23:    if Mes1 < Mes2 and Mes1 < Mes3 then
24:      if Mes2 < Mes3 then
25:        D1 ← R               ▷ 1.Düğümüne Router modeli ata
26:        D2 ← S               ▷ 2.Düğümüne Switch modeli ata
27:        D3 ← H               ▷ 3.Düğümüne Hub modeli ata
28:        CizveYolBul(Pk, Ph, D1, D2, D3, Tetikleme)
29:      else
30:        D'lere uygun atama yap (25.,26.,27. satır gibi)
31:        CizveYolBul fonksiyonu çağır (28. satır gibi)
32:      end if
33:    end if
34:    if Mes2 < Mes1 and Mes2 < Mes3 then
35:      if Mes1 < Mes3 then
36:        D'lere uygun atama yap (25.,26.,27. satır gibi)
37:        CizveYolBul fonksiyonu çağır (28. satır gibi)
38:      else
39:        D'lere uygun atama yap (25.,26.,27. satır gibi)
40:        CizveYolBul fonksiyonu çağır (28. satır gibi)
41:      end if
42:    end if
43:    if Mes3 < Mes1afe and Mes3 < Mes2 then
44:      if Mes1 < Mes2 then
45:        D'lere uygun atama yap (25.,26.,27. satır gibi)
46:        CizveYolBul fonksiyonu çağır (28. satır gibi)
47:      else
48:        D'lere uygun atama yap(25.,26.,27. satır gibi)
49:        CizveYolBul fonksiyonu çağır (28. satır gibi)
50:      end if
51:    end if
52:  end if
53:  ▷ SENARYO 2: Ağ sahnesinde 2 aradüğüm kullanımı
54:  Koşul.atama ve CizveYolBul2(Pk, Ph, D1, D2, durum) işlemi
55:  ▷ SENARYO 3: Ağ sahnesind 1 aradüğüm kullanımı
56:  Koşul.atama ve CizveYolBul3(Pk, Ph, D1, durum) işlemi
57: end procedure

```

Şekil 10. YZ bağlantı algoritması.

Figure 10. AI link algorithm.

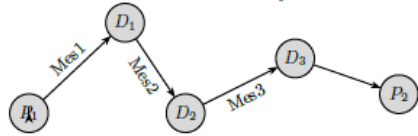


**Algoritma 2:**Yapay zekâ ile düğümler arası bağlantı oluşturma ve veri yolu bulma mekanizması (Pseudo-Code)

```

1: procedure CIZVEYOLBUL( $P_k, P_h, D_1, D_2, D_3, T_{emas}$ )
2:    $zaman += Time.deltaTime$ 
3:   DrawLine ( $P_k, D_1, col, 0.05f$ )
4:   DrawLine ( $D_1, D_2, col, 0.05f$ )
5:   DrawLine ( $D_2, D_3, col, 0.05f$ )
6:   DrawLine ( $D_3, P_h, col, 0.05f$ );
   ▷ DrawLine fonksiyon ile OSI model benzetimi
7:   if  $T_{emas}$  then
8:     StartCoroutine (VeriBenzetimi())
9:   end if
10: end procedure
11: procedure IENUMERATOR VERIBENZETIMI()
12:    $P_k$  cihazındaki veri kapsülleme adımlarını göster
13:   if  $zaman < 5.0f$  then
14:     ▷  $TP = transform.position$ 
15:     1 saniye yürütmeyi askıya al
16:      $TP \leftarrow Vector3.Lerp(TP, D_1, TP)$ 
17:     ▷  $D_1$ 'e git
18:     5 saniye yürütmeyi askıya al
19:      $TP \leftarrow D_1.TP$ 
20:     ▷ Yeni konum:  $D_1$ 
21:      $D_1$  cihazındaki veri kapsülleme adımlarını göster
22:      $D_1$  cihazındaki kapsül açma adımlarını göster
23:   end if
24:   if  $zaman \geq 5.0f$  and  $zaman < 20.0f$  then
25:     5 saniye yürütmeyi askıya al
26:      $TP \leftarrow Vector3.Lerp(TP, D_2, TP)$ 
27:     ▷  $D_2$ 'e git
28:     1 saniye yürütmeyi askıya al
29:      $D_2$  cihazındaki veri kapsülleme adımlarını göster
30:      $D_2$  cihazındaki kapsül açma adımlarını göster
31:   end if
32:   if  $zaman \geq 20.0f$  and  $zaman < 40.0f$  then
33:     5 saniye yürütmeyi askıya al
34:      $TP \leftarrow Vector3.Lerp(TP, D_3, TP)$ 
35:     ▷  $D_3$ 'e git
36:     1 saniye yürütmeyi askıya al
37:      $D_3$  cihazındaki veri kapsülleme adımlarını göster
38:      $D_3$  cihazındaki kapsül açma adımlarını göster
39:   end if
40:   if  $zaman \geq 40.0f$  and  $zaman < 45.0f$  then
41:     5 saniye yürütmeyi askıya al
42:      $TP \leftarrow Vector3.Lerp(TP, P_h, TP)$ 
43:     ▷ Son konum:  $P_h$ 
44:     4 saniye yürütmeyi askıya al
45:      $P_h$  cihazındaki kapsül açma adımlarını göster
46:      $P_h$  cihazındaki kapsül açma adımlarını göster
47:      $TP \leftarrow P_h$ 
48:     ▷ Benzetimi sıfırla:  $P_k$ 
49:      $zaman \leftarrow 0.0f$ 
50:     StopCoroutine (VeriBezetiimi());
51:     ▷ Benzetim durdur
52:   end if
53: end procedure

```



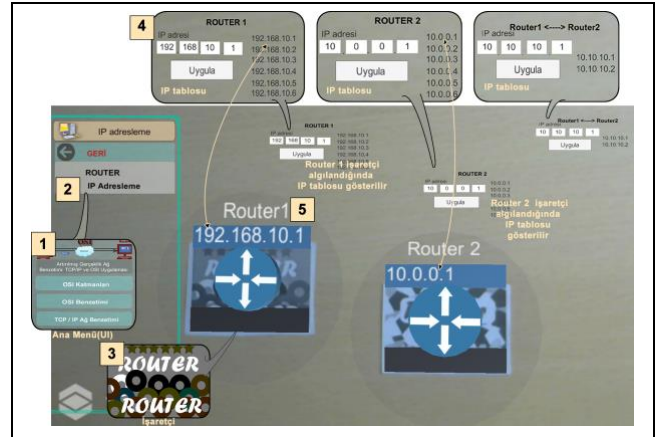
Şekil 11. YZ yol bulma algoritması.

Figure 11. AI way finding algorithm.

**IP tanımlama:** Oyundaki ağ düğümlerine atanacak IP adreslerini belirlemek için dokunmatik ekran arayüzü üzerinden bilgi girişi sağlayan ve kullanıcı ile etkileşime giren UI öğelerinden Tuval (canvas) nesnesi kullanılmıştır. Tuval nesnesi, UI temel bileşenlerini kullanarak kullanıcı dostu ara yüzler oluşturmayı mümkün kılar. Bu çalışmadaki amacı, ağ düğümlerine atanacak IP adresi aralık bilgisini kullanıcının almak ve IP adres yönetimi yazılımı ile belirlenen IP adresleri düğümler üzerinde göstermektir. IP gösterimi düğümlerin sahnedeki bir ağa bağlı olduğu sürece gerçekleşir ve IP yönetimi aracı tarafından yönetilir. Herhangi bir düğümün ağdan ayrılması atanan IP adresinin geri alınması ve Tuval nesnesindeki IP alanının boş görünmesi anlamına gelir.

Şekil 12'de verilen görseldeki IP tanımlama işleminin adımlarını şu şekilde açıklamak mümkündür:

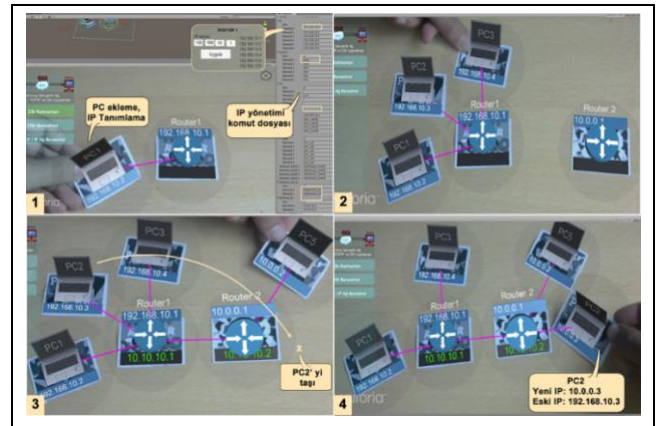
1. Adım: TCP/IP ağ benzetimi butonun tıklanması (UI),
2. Adım: IP adresleme yapan menünün seçilmesi (Router),
3. Adım: İşaretçinin tanımlanması ve 3B modelin gösterilmesi,
4. Adım: İşaretçilere tanımlı IP tablo gösterimi ve IP girilmesi,
5. Adım: Tanımlanan IP adreslerin ağ cihazlarına atanması.



Şekil 12. IP tanımlama.

Figure 12. IP identification.

**IP adres yönetimi:** Oyun sahnesinde aynı veya farklı ağlar üzerinde gerçekleşen düğüm işlemleri zorlu bir işlem sürecini içerir. Bu zorluklardan en önemlisi, ağa bağlanan ve ağdan ayrılan her düğümü izlemek ve IP tablosunu bu işlemlere göre güncellemektir. Bu nedenle çalışmada basit ama akıllı bir IP yönetimi sağlayan IP adres yönetimi yazılımı geliştirilmiştir. IP yönetimi, AI düğümler için önemlidir. Çünkü ağ bağlantıları hakkında bilgisi olmayan bir AI düğümü IP adresi alma, temas ettiği ağ ile bağlantı oluşturma ve mevcut ağdan çıkıp farklı bir ağa bağlanma durumunda bağlandığı ağın IP adresini alma gibi işlemleri gerçekleştirmez. Belirtilen bu işlemler, IP yönetimi için oluşturulan komut dosyasının ağ düğümlerine bağlanması ve anlık boş IP adreslerin taranması/kontrol edilmesi ile çözümlenmiştir. Şekil 13'te IP yönetimi yazılımının uygulandığı örnek bir ağ oluşturma süreci gösterilmiştir.



Şekil 13. IP adres yönetimi.

Figure 13. IP address management.

### 3.4 Test ve değerlendirme

Araştırmada, nicel araştırma yöntemlerinden öntest-sontest-kontrol gruplu yarı deneysel desen yöntemi [43] kullanılmıştır. Seçilen yöntem ile öğrenci grupları rastgele atanmamış, deney ve kontrol grubu rastgele atanmıştır. Araştırmamanın öntest ve sontestini "TCP/IP ve OSI Modeli Başarı Testi" oluşturmuştur. Yapılan öğretim, deney grubunu temsil eden ortamda, geliştirilen uygulamanın yüklendiği akıllı telefon ile gerçekleştirilmiş; kontrol grubunu temsil eden ortamda ise bilgisayar ağları notları ile geleneksel öğretim yöntemi (kitap, video) kullanarak gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışma 2 gün sürmüştür. Bu araştırma Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu tarafından, bilimsel ve etik açıdan uygun görülüp 23.11.2021 tarih ve 18 sayılı ile onaylanmıştır

### 3.5 Evren ve örneklem

Araştırmamanın evrenini, verilen koşullara uyan tüm gruplar oluşturmaktadır. Çalışmada örneklem yöntemi olarak "Olasılığa Dayalı Olmayan Örneklem" yöntemi kullanılmıştır. Araştırmamanın örneklemi, MEB'e bağlı Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde okuyan öğrenciler oluşturmıştır. Örneklem seçiminde, ilk olarak sınıf ve ders koşullarına; sonrasında, öğrencilerin akıllı telefon sahipliği, sağlık durumları ve gönüllülük esaslı koşullarına bakılmıştır. Bu koşullar içinde, yansız atama yoluyla belirlenen sınıflar deney (13 kişi) ve kontrol grubu (12 kişi) olarak ayrılmıştır. Araştırma öncesi deney grubuna gerekli eğitimler verilmiştir.

### 3.6 Veri toplama aracı

Araştırmamanın nicel bölümünde veri toplama aracı olarak *Başarı Testi*, *Mobil AR anketi* ve *AttrakDiff anketi*; nitel bölümünde ise *Görüş Formu* kullanılmıştır.

*Başarı Testi*: Uygulama aracının etkililiği ve verimliliğini, kullanıcıların başarı düzeylerini ölçmek amacıyla alan uzmanları tarafından hazırlanan bir testtir. Test öncesi "IP adresleme", "OSI model katmanları", "Ağ iletişim cihazları" ve "Veri işlemleri" konularının kazanımlarından oluşan bir belirtke tablosu hazırlanmış ve eşit kazanım dağılımları dikkate alınarak 25 maddeden oluşan çoktan seçmeli bir test havuzu oluşturulmuştur. Sorular, alan uzmanları tarafından okunabilirlik, açıklık ve kapsam geçerliliği bakımından incelenmiş ve düzeltme işlemleri sonrası başarı testinin 4 seçenekli 15 madde olmasına karar verilmiştir.

*Mobil AR Anketi (MAR)*: MAR, geliştirilen sistemin algısal ve ergonomik sorunlarını, kullanıcıların dijital içerik ile etkileşim kurmasının derecesini ve AR uygulamasına yönelik görüşlerini ölçmek için geliştirilmiştir. Bu çalışmada Küçük, Kapakin ve Gökteş [28] tarafından geliştirilen, 7 faktörden (23 adet olumlu Likert tipi ifade) oluşan görüş anketi kullanılmıştır.

*AttrakDiff Anketi*: Etkileşimli bir ürünün kullanılabilirlik ve erişebilirlik gibi kullanıcı deneyiminin (UX, User Experience) birçok yönünü, kullanıcı ve sistem arasındaki etkileşimlerin kalitesini ölçmek için geliştirilmiş çevrimiçi bir ankettir. Bu çalışmada önerilen AR uygulamasının farklı cihazlardaki kullanıcı deneyimini ölçmek için çevrimiçi AttrakDiff anketininin 10 maddelik kısa sürümü kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, AR uygulamasının Mobil VR/AR başlığı ve akıllı telefon üzerindeki kullanıcı deneyimlerinin karşılaştırmalı bir analizi elde edilmiştir.

*Katılımcı Görüş Formu*: Katılımcıların geliştirilen uygulamaya yönelik görüşlerini almak amacıyla kullanılmıştır. Bu amaç için deney grubu ile bir dizi yarı yapısal görüşme düzenlenmiştir.

Bu görüşmede kullanıcılardan üç açık uçlu soruya cevap vermeleri istenmiştir. Bu sorular şu şekildedir:

**S1:** İşaretçiler ve sanal nesnelere olan etkileşimlerde arayüz kullanımını nasıl değerlendirirsiniz?

**S2:** AR tabanlı bir öğretim sistemini kullanmak sizi nasıl etkiledi ve görevleri yerine getirmede zorluk yaşadınız mı?

**S3:** Bu araç TCP/IP protokolü ve OSI model eğitimlerinde eğitim amaçlı kullanılabilir mi?

### 3.7 Geçerlilik, güvenilirlik ve normallik

Başarı testi ölçümlerinin güvenilirliği SPSS ile analiz edilmiştir. Testin, ortalama madde güçlük indeksi 0.75; ortalama ayırt edicilik gücü indeksi 0.32 ve KR-20 iç tutarlılık katsayısı 0.54 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre testin geçerlilik ve güvenilirliğinin yeterli düzeyde olduğu söylenebilir

Bu çalışmada verilerin analizine geçmeden önce normallik varsayımları yapılmıştır. Çalışmanın örneklem büyüklüğü 50'den küçük olduğu için verilerin normal dağılıma uygunluğunu test etmek için Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır [43]. İlk olarak grupların başarı testine ilişkin ön-test, son-test ve fark değerlerine ait Shapiro-Wilk normallik sınaması yapılmıştır. Sınama sonrasında, her bir veri setinin anlamlılık düzeyinin 0.05 değerinden ( $p>0.05$ ) büyük olduğu görülmüştür. Buna göre veri setinin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Grupların çarpıklık-basıklık değerleri incelendiğinde ise, tüm çarpıklık-basıklık katsayılarının  $\pm 1$  sınırları [44] içinde ve Z-puanlarının  $\pm 1.96$  arasında olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre, veri setinin normalliği kabul edilebilir ve veri setine t-testi uygulanabileceği söylenebilir.

## 4 Bulgular

Bu bölümde, bulgular 6 alt başlık altında toplanmıştır.

### 4.1 "Deney grubunun başarı öntest ile sontest puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?" araştırma sorusuna ait bulgular

Araştırma sorusuna göre deney grubundan elde edilen veriler ilişkili örneklem t testi kullanarak analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney grubu başarı testi t testi sonuçları.

Table 1. Sample t test results of success test.

Grup	Testler	N	$\bar{X}$	SS	t	Sd	P
Deney	Öntest	13	9.08	1.55	-8.79	12	0.000*
	Sontest	13	12.62	1.60			

\* $p<0.05$

Tablo incelendiğinde deney grubu katılımcıların başarı testi öntest ve sontest ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunduğu ve bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir [ $t(12)=-8.79$ ,  $p<0.05$ ]. Bu fark sontest ortalamaları lehinedir. Ortaya çıkan bu farkın etki büyüklüğü değeri ise çok büyük düzeydedir (Cohen's  $d=2.44>0.80$ ). Bu bulguya göre, geliştirilen aracın katılımcı başarısını pozitif yönde etkilediği söylenebilir.

### 4.2 "Kontrol grubunun başarı öntest ile sontest puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?" araştırma sorusuna ait bulgular

Araştırma sorusuna göre kontrol grubundan elde edilen veriler ilişkili örneklem t-testi kullanarak analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kontrol grubu başarı testi t testi sonuçları.

Table 2. Sample t test results of success test control group.

Grup	Testler	N	$\bar{X}$	SS	t	Sd	P
Kontrol	Öntest	12	9.42	2.06	-3.00	11	0.01*
	Sontest	12	10.17	1.89			

\*: p<0.05.

Tablo incelendiğinde kontrol grubu katılımcıların başarı testi öntest ve sontest ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunduğu ve bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir [t(11)=-3.00, p<0.05]. Bu fark sontest ortalamaları lehinedir. Ortaya çıkan bu farkın etki büyüklüğü değeri ise büyük düzeydedir (Cohen's d=0.86>0.80). Bu bulguya göre, geleneksel olarak kullanılan ders notu ve eğitim videosu gibi araçların katılımcı başarısını pozitif yönde etkilediği söylenebilir.

#### 4.3 "Deney ve kontrol gruplarının başarı öntest ve sontest fark puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?" araştırma sorusuna ait bulgular

Araştırma sorusuna göre deney ve kontrol grupları öntest ve sontest fark puanları ilişkisiz örneklem t-testi kullanarak analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deney ve kontrol grupları ön ve sontest fark puanları.

Table 3. Pretest and posttest difference scores the experiment and control groups.

Grup	N	$\bar{X}$	SS	t	Sd	P
Deney	13	3.54	1.45	5.88	23	0.000*
Kontrol	12	0.58	0.99			

\*: p<0.05.

Tablo incelendiğinde deney ve kontrol gruplarındaki katılımcıların başarı testi öntest ve sontest fark puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunduğu ve bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir [t(23)=-5.88, p<0.05]. Bu fark deney grubu lehinedir. Ortalama farklar arasında çıkan bu farkın etki büyüklüğü değeri ise büyük düzeydedir (Cohen's d=2.38). Bu bulguya göre, AR destekli eğitim yönteminin geleneksel eğitim yönetimine göre büyük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu sonucuna ulaşılabilir.

#### 4.4 "Deney grubunun bilgisayar ağ öğretiminde AR ortamlarının kullanılmasına yönelik görüşleri ne seviyedir?" araştırma sorusuna ait bulgular

Deney grubuna Mobil AR Anketi uzman eğitimler eşliğinde uygulanmıştır. 7 ana faktörü kapsayan ankete ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Deney grubunun AR kullanımına yönelik görüşleri.

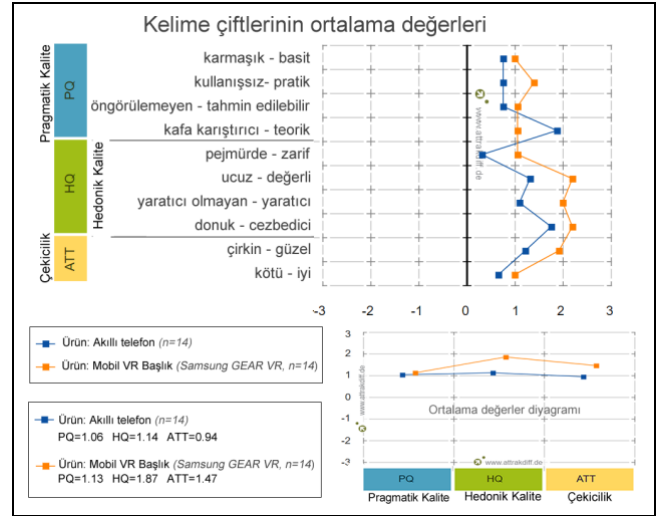
Table 4. The opinions of the experimental group on the use of AR

Faktörler	Ortalama ( $\bar{X}$ )	Standart Sapma
Kullanma Niyeti	4.81	0.55
Algılanan Memnuniyet	4.66	0.54
Çoklu Ortam Öğretimi	4.51	0.51
Algılanan Fayda	4.49	0.59
Etkililik	4.41	0.64
Sistem Kalitesi	4.32	0.62
Algılanan Özyeterlik	4.30	0.61
Toplam (N=13)	4.50	0.58

Tablo incelendiğinde anketin bütününe göre aritmetik ortalama değer  $\bar{X} = 4.50$  olarak bulunmuş, en yüksek ortalama değer "Kullanma Niyeti" ( $\bar{X} = 4.81$ ), en düşük ortalama değer ise "Algılanan Özyeterlik" ( $\bar{X} = 4.30$ ) olduğu belirlenmiştir. Bu bulgulara göre, AR ortamların kullanıcıların memnuniyetlerini olumlu etkilediği, sonraki zamanlardan kullanma niyeti oluşturduğu, öğrenme amaçlarına ulaşmada (etkililik) çoklu ortam araçlarının ve etkileşim yöntemlerinin (doğal el hareketleri, cep telefonu ekranı) fayda sağladığı şeklinde yorumlanabilir.

#### 4.5 "AR ağ öğretiminde mobil VR başlığı ve akıllı telefon arasında deney grubunun kullanıcı deneyimi (UX) algılarında herhangi bir farklılık var mıdır?" araştırma sorusuna ait bulgular

Geliştirilen AR uygulamasının hem hedonik (kızgınlık, yenilik, zevk) hem de pragmatik (kullanılabilirlik, kullanılabilirlik) boyutlarını incelemek için AttrakDiff anketi kullanılmıştır. Çalışmaya deney grubu öğrencileri katılmıştır. İlk aşamada AR uygulaması, Mobil VR başlığa ve akıllı telefona yüklenmiştir. Sonrasında rasgele seçilen her katılımcı hem Mobil VR başlığı hem de akıllı telefon ile etkileşim görevlerini yerine getirmiştir. Son aşamada katılımcılar, iki farklı cihazdaki AR uygulamasının arayüz kalitesini AttrakDiff anketi ile değerlendirmişlerdir. AttrakDiff anketinde kelime çiftleri X ekseninde, ürün değerlendirme Y ekseninde yer almaktadır. Y eksenindeki en büyük değer (-3 ile 3 ölçeğinde) ürünle ilgili daha iyi bir deneyimi gösterir. Şekil 14'te AttrakDiff anketindeki kelime çiftlerinin oluşturduğu tekil maddelerin ortalama puanları verilmiştir.



Şekil 14. VR başlık ve akıllı telefon AttrakDiff sonuçları.

Figure 14. VR headset and smartphone AttrakDiff results.

Şekil 14 incelendiğinde Mobil VR başlığı, akıllı telefondan hem hedonik (HQ=1.87) hem de pragmatik (PQ=1.13) kalitede daha iyi performans göstermiş ve kullanıcılardan daha yüksek değerler almıştır. AttrakDiff anketinin kelime çiftlerinin ortalama değerleri incelendiğinde Mobil VR başlığının sadece "kafa karıştırıcı-teorik" maddesinde akıllı telefondan düşük ortalama değere sahip olduğu görülmüştür. Ortalama değerler diyagramı incelendiğinde ise Mobil VR başlığı, tüm boyutlarda (PQ, HQ) akıllı telefondan daha yüksek ortalama değerler almıştır. Bu bulgulara göre, AR ağ öğretimi için VR başlıkların kullanım zorluklarına karşın akıllı telefona göre daha yenilikçi ve etkileşimli olduğu sonucuna ulaşılabilir.



#### 4.6 “Deney grubun geliştirilen AR ağ öğretim aracına yönelik görüşleri nelerdir?” araştırma sorusuna ait bulgular

Bu bölümde kullanıcıların açık uçlu sorulara yazılı olarak verdikleri cevapların özetlenmiş hali verilmiştir.

Deney grubuna 1 numaralı soru yöneltildiğinde; somut AR arayüz ile sanal nesnelere manipüle etmede ve ekran arayüzü üzerinden menü seçimi yapmada zorlanmadıklarını, bazı katılımcıların sanal butonları zor bulduklarını belirtmişlerdir.

... Mobil VR başlık kullanımı en kolayıydı. Çünkü tasarımda her iki elimi kullanabildim. Sanal butonları kullanmak eğlenceliydi ancak bazen yanlışlıkla sanal butonları tetikledim...

2 No.lu soru yöneltildiğinde; AR aracının sürükleyici, eğlenceli ve eğitici olduğunu ve VR gözlük ile görevleri yaparken oynayarak öğrendiklerini belirtmişlerdir.

...işaretçiler ile ağ oluşturabildim. İlk başta heyecanlı ve endişeliydim. Faydalı bir çalışma...

3 No.lu soru yöneltildiğinde; AR ortamlarının ağ benzetimlerinde kullanılması gerektiğini, 3B görselleştirmenin öğreticiliği arttırdığını, işbirlikçi bir öğrenme ortamı sağladığını belirtmişlerdir.

... bize ağ benzetimleri genellikle kitaplar ve videolar üzerinden öğretildi. Bu çalışma bizlere her yerde oynayarak öğrenme konusunda avantajlar sağlayabilir.

### 5 Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, bilgisayar ağ müfredatında yer alan ve öğrenilmesi zor olan soyut kavramların öğretiminde AR ortamların çözüm olup olmadığının belirlenmesine yönelik bir araştırma yürütülmüştür. Amaç, öğrencilerin bilgisayar ağ dersindeki temel bilgileri öğrenebilmeleri ve ağ deneyimlerini iyileştirebilmeleri için 3B AR eğitim ortamı tasarlamaktır. Bu amaç için AR ağ tasarımı alanı oluşturulmuş, ağ cihazları modellenmiş, etkileşimlerde somut ve ekran arayüzü kullanılmış ve geliştirilen yöntem Mobil VR başlığında uygulanmıştır.

Birinci araştırma sorusundan elde edilen sonuçlara göre; deney grubunun sönest başarı puanı ortalaması ön test başarı puanı ortalamasından yüksektir ve ortalamalar arası fark istatistiksel açıdan anlamlıdır. Diğer bir deyişle deney grubu sönestte daha başarılı olmuştur. Bu başarının sebebi; AR ortamların soyut kavramları somut hale getirmesi [14], ilgi çekici olması [16], kullanıcılarına daldırıcı/etkileşimli bir ortam sunması [33] ve canlı görüntünün bir parçasıymış hissini yaşatması [36] ile açıklanabilir.

İkinci araştırma sorusundan elde edilen sonuçlara göre; kontrol grubunun sönest başarı puanı ortalaması ön test başarı puanı ortalamasından yüksektir ve ortalamalar arası fark istatistiksel açıdan anlamlıdır. Alanda daha önceden yapılan araştırmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır [30]. Bu sonuçların sebebi; kontrol grubunun öğretmen merkezli geleneksel öğrenme yaklaşımına olan alışkanlığı ve derslerin basılı materyal ve videolar üzerinden tekrar edilebilir olması olabilir.

Üçüncü araştırma sorusundan elde edilen sonuçlara göre; deney ve kontrol gruplarının başarı testi ön test ve sönest fark puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark vardır ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Deney grubu lehine olan bu farkın sebebi; AR tasarımı ortamların ilgi çekici, verimli ve etkileşimli olması olabilir. Ayrıca, kullanıcıların klavye ve fare gibi basit etkileşimler yerine gelişmiş AR ortam etkileşimlerini

(somut ve ekran) tercih etmesi bu farkın daha anlamlı olmasını sağlamış olabilir [10]. Ancak daha kapsamlı ve kesin sonuçlar elde edebilmek için örneklem sayısının ve çalışma süresinin artırılması [28] gerektiği unutulmamalıdır.

Mobil AR Anketin bütününe göre aritmetik ortalama değer yüksek olarak bulunmuştur. Anketin sonuçları, kullanıcıların AR aracını kullanmaktan memnun oldukları, ilgilerini çektiğini ve motivasyonlarını arttırdığını ortaya koymaktadır. Birçok çalışma soyut kavramların öğretiminde AR ortamların katılımcıları motive etmenin bir yolu olarak kullanıldığını göstermektedir [30]. Bunun nedeni; AR ortamlarda 3B model, grafik, animasyon, metin ve ses gibi etkileyici dijital içeriklerin kullanılması ve AR deneyiminin tablet, telefon ve Mobil VR başlığı gibi sürükleyici donanımlar üzerinden yaşanması olabilir. Ancak donanımın yetersiz olduğu durumlarda bu içerikler AR uygulamasının yavaşlamasına ve kullanıcı-sistem arasındaki etkileşimin zayıflamasına sebep olabilir. Bu nedenle kullanıcıların ihtiyaçlarına göre dijital içerikler belirlenmeli ve en uygun donanım aracı seçilmelidir.

Deney grubu AttrakDiff anketi bulgularına göre; ankette Mobil VR başlığı, hem hedonik hem de pragmatik kalitede akıllı telefonda daha iyi performans göstermiş ve kullanıcılardan daha yüksek ortalama değerler almıştır. Bu değerlerin yüksek olması, VR başlıkların klavye ve fare gibi ortam hareketlerini kısıtlayacak araçlar yerine *Somut Arayüz* ve *Yüzey Arayüz* etkileşimlerini desteklemelerinden [34] ve kullanıcıların her iki eliyle birden fazla fiziksel işaretçiyi serbestçe hareket ettirebilmesinden [45] kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ancak uzun süreli VR başlık kullanımının mide bulantısı ve baş dönmesine neden olduğu unutulmamalıdır [46]. Ayrıca VR başlıklar akıllı telefon ekranını kullanır ve kullanıcının gözlerine daha yakındır. Bu nedenle göz yüzeyini olumsuz etkileme olasılığı göz ardı edilmemelidir [47].

Görüşmede, kullanıcılar Mobil VR başlık kullanımının eğlenceli ve eğitici olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durum VR başlıkların giyilebilir olması ve kullanıcıların denetimler için sanal butonları kullanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak bazı kullanıcılar sanal butonları kullanmada zorluk yaşadıklarını belirtmişlerdir. Bunun nedeni oluşturulan sanal butonların boyut, şekil ve karşılık gibi kısıtları karşılamamasından kaynaklanabilir. Birçok çalışma, dokunsal geri bildirim sağlanmadığında etkileşimin zarar gördüğünü kanıtlamıştır [48]. Bu nedenle çalışmalarında sanal buton kullanacak geliştiricilerin bu butonları uygun boyutta ve şekilde tasarlamaları [49], düz bir yüzeye eklemeleri [50] ve dokunsal geri bildirim sağlamaları önerilmektedir.

Bu tartışma ve sonuçların ardından çalışmanın sınırlılıkları şu şekilde tespit edilmiştir:

- Bu çalışmada Unity 5.3.6 için geliştirilen Vuforia 4 32 bit paketi kullanılmıştır. Vuforia 4 çalışmanın masaüstü işletim sistemi seçimini sınırlandırmıştır,
- Uygun olmayan ışık koşullarında (ortam ışığı az veya fazla) kameradan alınan işaretçi yapısını sistem çözümleyememiştir. Bu sorun çalışmadaki işaretçi ile kullanıcı arasındaki etkileşimleri sınırlandırmıştır,
- Bu çalışma az sayıdaki örneklemle yapılmıştır. Daha güçlü bulgular elde etmek için örneklem sayısının artırılması gerekmektedir.

## 6 Discussion and Conclusions

In this study, a research was conducted to determine whether AR environments are the solution in teaching abstract concepts that are difficult to learn and included in the computer network curriculum. The aim is to design a 3D AR educational environment so that students can learn the basics of computer networking course and improve their networking experience. For this purpose, AR network design area was created, network devices were modeled, a concrete and on-screen interface was used in interactions, and the developed method was applied in the Mobile VR headset.

According to the results obtained from the first research question; the post-test success point average of the experimental group is higher than the pre-test success point average and the difference between the averages is statistically significant. In other words, the experimental group was more successful in the post-test. The reason for this success can be explained by the fact that AR environments make abstract concepts concrete [14], are interesting [16], offer an immersive/interactive environment to the user [33] and make them feel like they are part of a live image [36].

According to the results obtained from the second research question; the mean of the post-test success score of the control group is higher than the mean of the pre-test success score, and the difference between the mean scores is statistically significant. Similar results have been reached in previous studies in the field [30]. The reason for these results may be the habit of the control group to the teacher-centered traditional learning approach and the fact that the lessons can be repeated through printed materials and videos.

According to the results obtained from the third research question; there is a significant difference between the achievement test pre-test and post-test difference mean scores of the experimental and control groups, and this difference is statistically significant. The reason for this difference in favor of the experimental group; AR design environments can be engaging, efficient, and interactive. In addition, the fact that users prefer advanced AR media interactions (tangible and screen) instead of simple interactions such as keyboard and mouse may have made this difference more meaningful [10]. However, it should not be forgotten that the number of samples and the study time should be increased in order to obtain more comprehensive and precise results [28].

Mobile AR, the arithmetic mean value was found to be higher than the whole of the questionnaire. The results of the survey reveal that users are satisfied with using the AR tool, that it attracts their attention and increase their motivation. Many studies show that AR environments are used as a way to motivate participants in teaching abstract concepts [30]. The reason for this; in AR environments, it can be the use of impressive digital content such as 3D models, graphics, animations, text and sound, and the AR experience can be experienced through immersive hardware such as tablets, phones and Mobile VR headsets. However, in cases where the hardware is insufficient, these contents may cause the AR application to decelerate and weaken the interaction between the user and the system. For this reason, digital contents should be determined according to the needs of the users and the most appropriate hardware tool should be selected.

According to the findings of the experimental group AttrakDiff survey; in survey, the Mobile VR headset performed better than

the smartphone in both hedonic and pragmatic quality and received higher average values from users. These high values are thought to be due to the fact that VR headsets support Tangible Interface and Surface Interface interactions [34] instead of tools that will restrict media movements such as keyboard and mouse, and users can freely move more than one physical pointer with both hands [45]. However, it should be noted that prolonged use of VR headsets causes nausea and dizziness [46]. Also, VR headsets use the smartphone screen and are closer to the user's eyes. Therefore, the possibility of adversely affecting the eye surface should not be ignored [47].

In the interview, users stated that using the Mobile VR headset is fun and educational. This is thought to be due to the fact that VR headsets are wearable and users use virtual buttons for controls. However, some users stated that they had difficulty using the virtual buttons. This may be due to the fact that the created virtual buttons do not meet the criteria such as size, shape and contrast. Many studies have proven that interaction is damaged when haptic feedback is not provided [48]. For this reason, it is recommended that developers who will use virtual buttons in their work design these buttons in the appropriate size and shape [49], add them to a flat surface [50] and provide haptic feedback.

After this discussion and results, the limitations of the study were determined as follows:

- The Vuforia 4 32-bit package developed for Unity 5.3.6 was used in this study. Vuforia 4 limited the desktop operating system selection of study,
- The system could not resolve the pointer structure taken from the camera in unsuitable lighting conditions (more or less ambient light). This problem limited the interactions between the pointer and the user in the study,
- This study was conducted with a small number of samples. In order to obtain stronger findings, the number of samples should be increased.

## 7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Tarık İÇTEN araştırmanın planlanması, fikrin oluşması, deneylerin gerçekleştirilmesi, verilerinin toplanması ve analizi süreçlerine katkı sağlamış; Güngör BAL araştırmanın planlanması, alan yazın taraması ve bulgular bölümlerine katkı sağlamıştır.

## 8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Bu araştırma Gazi Üniversitesi Etik Komisyonu tarafından, bilimsel ve etik açıdan uygun görülüp 23.11.2021 tarih ve 18 sayılı ile onaylanmıştır. (Araştırma Kod No: 2021-1058).

Bu makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 9 Kaynaklar

- [1] Çölkesen R. *Algoritma Geliştirme ve Veri Yapıları*. 3 baskı. İstanbul, Türkiye, Papatya Yayıncılık, 2016.
- [2] Tuma T, Fajfar, I, Perko M, Bratkovič F, Puhan J. "A hands-on approach to teaching the basic OSI reference model". *International Journal of Electrical Engineering Education*, 37(2), 157-166, 2000.
- [3] Ruiz Martinez A, Pereniguez Garcia F, Marin Lopez R, Ruiz Martinez P M, Skarmeta Gomez AF. "Teaching advanced concepts in computer networks: VNUML-UM virtualization tool". *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(1), 85-96, 2013.

- [4] Gullu H, Delialioglu O. "The effect of computer network simulators on students' motivation and learning". *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 3(2), 12-21, 2018.
- [5] Cowling M, Birt JR. "Piloting mixed reality in ICT networking to visualize complex theoretical multi-step problems". *Show Me The Learning: ASCILITE 2016 Innovation, Practice and Research in the Use of Educational Technologies in Tertiary Education Conference*, Adelaide, Australia, 27-30 November 2016.
- [6] Breslau L, Estrin D, Fall K, Floyd S, Heidemann J, Helmy A, Huang P, McCanne S, Varadhan K, Xu Y, Yu H. "Advances in network simulation". *Computer*, 33(5), 59-67, 2000.
- [7] Goodall JR, Mansmann F, Gerth J. "Computer network visualization". *IEEE Network*, 26(6), 4-5, 2012.
- [8] Marquardson J, Gomillion DL. "Simulation for network education: Transferring networking skills between simulated to physical environments". *Information Systems Education Journal*, 17(1), 28-39, 2019.
- [9] Varinlioğlu G, Alankuş G, Aslankan A, Mura G. "Oyun tabanlı öğrenme ile dijital mirasın yaygınlaştırılması". *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(1), 23-40, 2019.
- [10] Donchyts G, Baart F, Van Dam A, Jagers B. "Benefits of the use of natural user interfaces in water simulations". *Seventh Environmental Modelling and Software Conference*, San Diego, California, USA, 15-19 June 2014.
- [11] Dube TJ, İnce G. "A novel interface for generating choreography based on augmented reality". *International Journal of Human-Computer Studies*, 132, 12-24, 2019.
- [12] Billinghurst M, Kato H, Myojin S. "Advanced interaction techniques for augmented reality applications". *Third Virtual and Mixed Reality Conference*, San Diego, USA, 19-24 July 2009.
- [13] Carmigniani J, Furht B, Anisetti M, Ceravolo P, Damiani E, Ivkovic M. "Augmented reality technologies, systems and applications". *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341-377, 2011.
- [14] Statista Inc. "Augmented reality market size worldwide 2017-2025". <https://www.statista.com/statistics/897587/world-augmented-reality-market-value/> (07.03.2021).
- [15] Fraga AL, Gramajo MG, Trejo F, Garcia S, Juarez G, Franco L. "Poster: SIMNET: Simulation-based exercises for computer network curriculum through gamification and augmented reality". *Remote Engineering and Virtual Instrumentation Conference*, Duesseldorf, Germany, 21-23 March 2018.
- [16] Wen Y, Zhang W, Wolski R, Chohan N. "Simulation-based augmented reality for sensor network development". *Fifth Embedded Networked Sensor Systems Conference*, Sydney, Australia, 6-9 November 2007.
- [17] Truchly P, Medvecký M, Podhradský P, Vančo M. "Virtual reality applications in STEM education". *Sixteenth Emerging eLearning Technologies and Applications Conference*, Stary Smokovec, Slovakia, 15-16 November 2018.
- [18] Sarkar N. *Tools for Teaching Computer Networking and Hardware Concepts*. 1<sup>st</sup> ed, Hershey, PA, Idea Group, Inc., 2005.
- [19] Also K, Ganesh L, Prasad P, Chang M, Iyer S. "Assessing students' conceptual knowledge of computer networks in open wonderland". *IEEE Sixteenth Advanced Learning Technologies Conference*, Austin, USA, 25-28 July 2016.
- [20] Wang Z, Guo J. "A Journey from end systems to backbone routers: a virtual lab environment for online computer networking courses". *ASEE Virtual Annual Conference*, Chico, USA, 19-26 July 2021.
- [21] Montagud M, Boronat F. "Analysis, deployment, and evaluation of the use of network simulation as a learning resource". *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 9(3), 82-90, 2014.
- [22] Weingartner E, Vom Lehn H, Wehrle K. "A performance comparison of recent network simulators". *2009 IEEE Communications Conference*, Dresden, Germany, 14-18 June 2009.
- [23] Walia AK, Chhabra A, Sharma D. *Comparative Analysis of Contemporary Network Simulators*. Editors: Raj JS, Kamel K, Lafata P. Innovative Data Communication Technologies and Application, 369-383, Singapore, Springer, 2022.
- [24] Bakare BI, Enoch JD. "A review of simulation techniques for some wireless communication system". *International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering*, 10(2), 60-70, 2019.
- [25] Makasiranondh W, Maj SP, Veal D. "Pedagogical evaluation of simulation tools usage in network technology education". *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 8(3), 321-326, 2010.
- [26] Hamzah ML, Rizal F, Simatupang W. "Development of augmented reality application for learning computer network device". *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(12), 47-64, 2021.
- [27] Taçgin Z, Uluçay N, Özüağ E. "Designing and developing an augmented reality application: A sample of chemistry education". *Journal of the Turkish Chemical Society, Section C: Chemical Education*, 1(1), 147-164, 2016.
- [28] Küçük S, Kapakin S, Göktaş Y. "Tıp fakültesi öğrencilerinin mobil artırılmış gerçeklikle anatomi öğrenimine yönelik görüşleri". *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, (3), 316-323, 2015.
- [29] Billinghurst M. "Augmented reality in education". *New Horizons for Learning*, 12(5), 1-5, 2002.
- [30] da Silva BR, Zuchi JH, Vicente LK, Rauta LRP, Nunes MB, Pancraccio VAS, Junior WB. "AR Lab: Augmented reality app for chemistry education". *Twenty fourth International Congress of Educational Informatics*, Arequipa, Peru, 26-28 November 2019.
- [31] Cai S, Wang X, Chiang FK. "A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course". *Computers in Human Behavior*, 37, 31-40, 2014.
- [32] Daineko Y, Ipalakova M, Tsoy D, Bolatov Z, Baurzhan Z, Yelgondy Y. "Augmented and virtual reality for physics: Experience of Kazakhstan secondary educational institutions". *Computer Applications in Engineering Education*, 28(5), 1220-1231, 2020.
- [33] Xiao M, Feng Z, Yang X, Xu T, Guo Q. "Multimodal interaction design and application in augmented reality for chemical experiment". *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 2(4), 291-304, 2020.
- [34] İçten T. "Trafik güvenliği kurallarının ve işaretlerinin eğitimi için etkileşimli 3B sanal ortam". *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14(2), 191-206, 2021.
- [35] Azuma RT. "A Survey of augmented reality". *Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385, 1997.



- [36] İçten T, Bal G. "Artırılmış gerçeklik teknolojisi üzerine yapılan akademik çalışmaların içerik analizi". *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (4), 401-415, 2017.
- [37] İçten T. Artırılmış Gerçeklik İçerik Geliştirme ve Tarayıcı Platformu Tasarımı, Uygulaması ve Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.
- [38] İçten T, Bal G. "Artırılmış gerçeklik üzerine son gelişmelerin ve uygulamaların incelenmesi". *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 111-136, 2017.
- [39] Cheng KH, Tsai CC. "Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research". *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449-462, 2013.
- [40] Wagner D, Reitmayr G, Mulloni A, Drummond T, Schmalstieg D. "Real-time detection and tracking for augmented reality on mobile phones". *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 16(3), 355-368, 2009.
- [41] Akbaş MF, Güngör C. "Artırılmış gerçeklikte işaretçi tabanlı takip sistemleri üzerine bir literatür çalışması ve tasarlanan çok katmanlı işaretçi modeli". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(56), 599-619, 2017.
- [42] Ericson C. *Real-Time Collision Detection*. 1<sup>st</sup> ed. New York, USA, CRC Press, 2004.
- [43] Büyüköztürk Ş, Köklü N, Çokluk-Bökeoğlu Ö. *Sosyal Bilimler için İstatistik*. 7. baskı. Ankara, Türkiye, Pegem Akademi, 2011.
- [44] Tabachnick BG, Fidell L S, *Using Multivariate Statistics*. 6<sup>th</sup> ed. United States, Pearson Education, Boston, 2013.
- [45] Rodríguez FC, Dal Peraro M, Abriata LA. "Democratizing interactive, immersive experiences for science education with WebXR". *Nature Computational Science*, 1(10), 631-632, 2021.
- [46] Yoon HJ, Moon HS, Sung MS, Park SW, Heo H. "Effects of prolonged use of virtual reality smartphone-based head-mounted display on visual parameters: a randomised controlled trial". *Scientific Reports*, 11(1), 1-9, 2021.
- [47] Turnbull PRK, Wong J, Feng J, Wang MTM, Craig JP. "Effect of virtual reality headset wear on the tear film: A randomised crossover study". *Contact Lens Anterior Eye*, 42(6), 640-645, 2019.
- [48] Dudley JJ, Benko H, Wigdor D, Kristensson PO. "Performance envelopes of virtual keyboard text input strategies in virtual reality", *ISMAR 2019 17<sup>th</sup> IEEE Mixed and Augmented Reality Symposium*, Beijing, China, 14-18 October 2019.
- [49] Hillmann C. *Comparing the Gear VR, Oculus Go, and Oculus Quest*. Editor: Hillmann C. Unreal for Mobile and Standalone VR, 141-167, Apress, Berkeley, CA, 2019.
- [50] Bermejo C, Lee LH, Chojecki P, Przewozny D, Hui P. "Exploring button designs for mid-air interaction in virtual reality: A hexa-metric evaluation of key representations and multi-modal cues". *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(EICS), 1-26, 2021.