



## **Askerî Alanda Artırılmış ve Sanal Gerçeklik Araçlar: Sistemler, Zorluklar ve Çözümler**

Tarık İÇTEN\* ve Güngör BAL\*\*

### **Öz**

*Dünyadaki birçok modern ordu, kendi sistemlerini daha üst seviyeye çıkartmak, rakip güç karşısında üstün gelmek ve savaş alanındaki can kayıplarının önüne geçmek için Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR) araçlarına yatırım yapmaktadır. Bu yatırımlar, dünyadaki güç dengelerini önemli ölçüde değiştirebilir ve bir savaşı kazanma için dikkate değer avantajlar sağlayabilir. Bu çalışmada, askerî uygulamalara ve eğitime destek amacıyla kullanılan AR/VR araçları incelenmiştir. Bu araçlar; donanımsal özellikleri, kullanım alanları ve askerî alandaki yeteneklerinin yanı sıra eğitim alanındaki daldırma ve eğitim yetenekleri de dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Belirlenen bu kapsama göre askerî alanda kullanılan artırılmış ve sanal gerçeklik sistemleri; askerî operasyonlar sırasında kullanılan güncel AR/VR araçları ve çözümleri, AR/VR araçlarının askerî uygulamalara dâhil edilmesini sınırlayan faktörleri ve AR/VR sistemlerinin oluşturulmasında ve kullanımında karşılaşılan zorluklar dikkate alınarak inceleme yapılmış ve problemlere çözümler önerilmiştir. Son bölümde ise AR/VR sistemlerinin geleceği ve riskleri üzerine genel bir değerlendirme yapılmıştır. Sonuç olarak gelecekte yapılacak AR/VR sistemlerin tasarımı, uygulaması ve eğitimi yaklaşımlarına yol gösterecek ön bir bilgi ortaya konmuştur.*

**Anahtar Kelimeler:** Artırılmış Gerçeklik, Sanal Gerçeklik, Askerî, Eğitim.

---

\* Dr., Bilişim Sistemleri Uzmanı, Milli Eğitim Bakanlığı, ictentarik@gmail.com, ORCID:0000-0003-2908-6621.

\*\* Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, gungorbal@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0564-5903.

Geliş Tarihi/Received : 04.01.2021  
Kabul Tarihi/Accepted : 26.07.2021  
Araştırma Makalesi/Research Article  
DOI: 10.17134/khosbd.1001198

## **Augmented and Virtual Reality Tools in the Military Field: Systems, Challenges and Solutions**

### *Abstract*

*Many modern armies around the world are investing in Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) tools to upgrade their systems, outdo the opposing force, and avoid casualties on the battlefield. These investments significantly change the balance of power in the world and provide considerable advantageous to win a war. In this study, AR/VR tools used to support military applications and training were examined. These tools were evaluated by taking into account immersion and training capabilities in the field of education in addition to hardware features, usage areas and military skills. According to the scope of this study; augmented and virtual reality systems used in the military field, the current AR/VR tools and solutions used during military operations, the factors limiting the inclusion of AR / VR tools in military applications, and the difficulties encountered in the creation and use of AR / VR systems were examined and solutions to the problems were proposed. In the last part, a general evaluation was made on the future and risks of AR/VR systems. As a conclusion preliminary information was revealed that will guide approaches for the designing, implementing and training of AR / VR systems for the future.*

**Keywords:** *Augmented Reality, Virtual Reality, Military, Training.*

### **Giriş**

İnsanlık tarihi boyunca savaş ve çatışma alanları her zaman karmaşık ve tehlikeli olmuştur. Askerî operasyonlar, asimetrik savaş ve şehir çatışmaları gibi durumlardan dolayı yeni bir stratejiye bürünmektedir. Savaş ve askerî stratejilerin başarı şartı, kurgulanmasında teknolojinin kullanılmasına bağlıdır (Crevel, 2010). Yeni teknolojiler, çatışma halindeki aktörlere doğrudan harekât icra ettikleri ortamda meydana gelen ve dış kaynaklı olaylara uyumlu ve esnek bir şekilde karşılık verme imkânı tanımaktadır (Fairclough, 2018). Bu sebeple ordular, yeni ve daha zorlu görevlerle başa çıkmak, askerî operasyonlarda ve bu operasyonların eğitimlerinde kullanılmak üzere yeni teknolojilere sahip araçların geliştirilmesi için araştırmalar yürütmektedir (Livingston vd., 2011). Bu araştırmaların, ülkelerin bilim, teknoloji ve sanayileşme yeteneğini yükseltmesi ve ülke güvenliğini

sağlaması gibi önemli yararları bulunmaktadır. Bu araştırmaların diğer bir yararı ise askerî güce olan etkileridir. Askerî yetenekler ve savunma ekonomisi ile ilgili olan askerî güç değişiminde birçok unsur gibi teknolojik gelişmeler de temel bir faktör olarak hesaba katılmaktadır. O halde sorulması gereken soru şudur: Yeni teknolojiler devletlerin askerî güçlerini nasıl etkiler? En basit haliyle yeni teknolojiler ve araçlar; muharebe kabiliyeti, işlevsel kapasite, durumsal farkındalık ve stratejik planlama bakımından askerî sistemlerin daha etkin hale getirilmesini doğrudan etkilemekte (Livingston vd., 2011) ve askerî yetenekleri geliştirmektedir. Ayrıca bu araçların harekât alanında “*oyunun kurallarını*” değiştirme gücüne sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, birbirlerine karşı güçlü olmak isteyen devletler askerî güçlerini teknolojik araçlar ile sürekli geliştirme ve büyütme çabası içinde olmuşlardır (Meydan, 2015).

Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality, AR) ve Sanal Gerçeklik (Virtual Reality, VR) bu çalışmanın ana konusudur ve son dönemde en çok dikkat çeken teknolojilerdendir. Dünyanın en değerli şirketlerinin dijital teknolojilere yatırım yaptığı günümüzde, hem gündelik yaşamı hem de pek çok sektörü etkileyen AR ve VR'nin (AR/VR), ordular tarafından da derinlemesine incelendiğini ve geliştirilmeye çalışıldığını tahmin etmek zor değildir (STM Thinktech, 2018). Çünkü AR/VR, askerî güç ve unsurları daha etkili bir şekilde yönetmek, askerî alanda yenilikçi dijital çözümler üretmek, askerî personele gerekli beceri ve teknikleri kazandırmak için kullanılacak en etkili teknolojik çözümlerdendir.

Askerî eğitim AR'nin önemli uygulama alanlarından biridir ve aynı zamanda askerî çalışmalar AR gelişimini destekleyen etkili güçlerin başlarında yer almaktadır (Wassom, 2015). Çünkü harekât sahası düşünüldüğünde; bu sahada bulunan askerî birlik ile uzak bölgedeki birliğin haberleşmesi ve askerî personelin göz hizası seviyesindeki ekranlarda müttefik ve düşman kuvvetlerinin konumlarının işaretlenmesi çevre unsurlarının takibi açısından önemlidir. Karmaşık ve zor icra edilen harekât sahasında ise, bölgenin taktiksel 3B arazi verilerinin ve minyatür hâlinin hologram şeklinde komuta kademesine gösterilmesi ve gerektiğinde bu bilgiler ile personelin durumsal farkındalıklarının yükseltilmesi operasyonların doğru ve başarılı bir şekilde yönetilmesi için gereklidir. Örneğin görevdeki bir asker, bir duvarın arkasına gizlenmiş dost kuvvetlerin yerini bilmek isteyebilir (Livingston vd., 2002) ya da bir savaş pilotu düşük ışık koşullarında ve

yüksek hızlarda arazi yer işaretlerini kaskın şeffaf vizöründe işaretlenmiş olarak görmek isteyebilir. Bu görme isteği Aletli Uçuş Kuralları (Instrument Flight Rules, IFR) kapsamında yapılan uçuşlarda ise bir zorunluluktur. Buna benzer istekler ve zorunluluklar AR'ın sahip olduğu gelişmiş algılama, konum belirleme, mekânsal farklılıklara uyum sağlama ve gizli nesnelere sergileme gibi özelliklerinin savaş durumlarına uyarlanmasıyla ve öncesinde yapılan eğitimleri destekleyen yüksek kare hızlı VR tabanlı dijital görüntü besleme yaklaşımları ile karşılanabilir. Bu anlamda her türlü çevresel bilginin elde edilmesini sağlayan ivmeölçer, GPS, jiroskop, sensörler, ekranlar ve kameralar AR/VR'nin en önemli donanım bileşenleridir ve bu bileşenlere sahip AR/VR araçların incelenmesi önemlidir.

Operasyon merkezlerinden kontrol edilebilme, ağ merkezli operasyonlara görsel çözümler getirme, dağıtık kuvvetler arasındaki bilgi paylaşımı sağlama ve askerî eğitim ihtiyaçlarını karşılama gibi yetenekler AR/VR araçlarının öne çıkan özelliklerinden sayılabilir. Bu araçlar, askerî personelin zamandan ve mekândan bağımsız olarak eğitim almasını, karmaşık donanım ve servis talimatlarını kolaylıkla yerine getirmesini de mümkün kılmaktadır. Ayrıca görev kuvveti unsurlarına, düşük maliyetli ve yüksek başarı oranlı harekât alanı deneyimi kazanma konularında önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu fırsatların ilki askerî alanda Head-Up ekranların kullanımı ile olmuştur. Günümüzde bu kullanımların Konvansiyonel Savaş, Gayri Nizami Savaş ve Asimetrik Karma Savaş türlerinin gerçek mekânlar yerine sentetik, yarı sentetik ve gerçek sistemlere uyumlu senaryo temelli eğitim araçları ile devam ettiği görülmektedir. Dünyada birçok kamu ve özel sektör kendi AR/VR araçlarını ve platformlarını geliştirmektedir. Ordular bu araçları askerî eğitim sistemlerine uyumlu hale getirmeye çalışmaktadır. Bu araçların kullanıcılara güçlü ve sürükleyici bir deneyim yaşattığı bilinmektedir. Bu nedenle, askerî eğitim etkinliğini ve harekât sahasındaki personelin başarısını büyük ölçüde artıran *AR/VR araçları ve çözümleri* üzerinde dikkatlice durulması ve kritik bir şekilde incelenmesi gereken konu başlıklarıdır.

### **Amaç ve Araştırma Soruları**

Askerî alanda AR/VR kullanımıyla ilgili mevcut literatürün çoğu az bilgi içerir ve AR/VR araçlar genellikle kısa bir şekilde bahsedilir. Bu incelemede askerî uygulamalara ve bu alandaki eğitimlere yardımcı olan AR/VR araçları, sınırlılıkları, zorlukları, çözümleri ve riskleri ayrıntılı bir şekilde

değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda gelecekte yapılacak AR/VR yapılı sistemlerin tasarım, uygulama ve eğitim yaklaşımına yardımcı olacak ön bir bilginin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranmıştır:

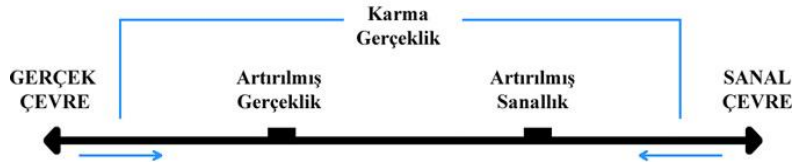
- S1. Askerî eğitim ve hareket sahası için geliştirilen AR/VR araçları nelerdir?
- S2. AR/VR'ın askerî uygulamalara katılımını sınırlandıran faktörler nelerdir?
- S3. Askerî AR/VR sistemlerin oluşturulması ve kullanımı sırasında karşılaşılan zorluklar nelerdir?

### Kavramsal Çerçeve

Bu bölümde; AR/VR araçların donanımsal özelliklerini, kullanım alanlarını, askerî alandaki yeteneklerini daha iyi anlayabilmek için AR ve VR kavramlarının tanımları üzerinde durulmuştur.

#### 1. Gerçeklik - Sanallık Sürekliliği

AR ve VR kavramları bilgisayar tarafından oluşturulmuş, benzer öğeleri kullanan ancak gerçek ve sanal dünyada birbirinden farklı kavramlardır (Uluyol, 2016; İtten ve Bal, 2017a). Şekil 1'de verilen Milgram'ın gerçeklik sanallik sürekliliğine göre, *Gerçek* ile *Sanal* ortam bir süreklilik içinde yer almaktadır. Bu süreklilikte, soldan sağa doğru hareket dijital görüntüye, sağdan sola doğru hareket gerçek görüntüye ulaşılmasını sağlamaktadır.



Şekil 1. Milgram'ın Gerçeklik-Sanallık Sürekliliği (Milgram ve Kishino, 1994)

Bu çalışmanın bazı bölümlerinde Milgram'ın gerçeklik-sanallik sürekliliği temel alınarak "*Gerçek Çevre*" ifadesi yerine "*Canlı Çevre*", "*Sanal Çevre*" ifadesi yerine "*Sentetik Çevre*" ifadesi kullanılmıştır.

#### 2. Sanal Gerçeklik

VR, gerçek dünyaya ait veya hayal edilen bir ortamın 2B/3B benzetiminin bilgisayar grafik modellenmesi ile yapılması ve sanal gerçeklik gözlükleri (Head

Mounted Display, HMD) ve sanal mağaralar (Cave Automatic Virtual Environment, CAVE) gibi çeşitli donanımlar vasıtasıyla kullanıcıların bu ortamda bulunmasıdır. Bu ortam Caudell ve Mizell'e göre (1992), bilgisayarlar tarafından oluşturulmuş tamamen sanal bir ortamdır ve kullanıcılarına gerçeklik hissi, sürükleyici bir deneyim ve interaktif bir sanal ortam sunmaktadır. Genellikle bu ortam yüksek seviyede gerçeklik hissi yaratan cihazlarda kullanılmaktadır. Bu ortamlar; kablolu kıyafetler, başa takılan görüntüleyiciler, görüntüleme gözlükleri ve gerçeklik eldivenleri ile deneyimlenen çevrelerin dijital benzetimleridir. Sanal gerçekliğin en önemli özelliklerinden birisi, birçok durumda sanal ortamda kazanılan deneyimin doğrudan gerçeğe aktarılabilmesidir (Gobbetti ve Scateni, 1998). Bu özellik çoğunlukla çeşitli benzetim ve eğitim araçlarında yaşanmaktadır. Askerî alandaki bu araçlara; Havelsan tarafından geliştirilmiş “Hezarfen Paraşüt Simülatörü”, “Su Altı ve Su Üstü Platformları” ve “F-16C Tam Görev Simülatörü” örnek olarak verilebilir. Bu simülatörler, askerî personele hava, su altı/üstü ve kara platformlarında yüksek doğruluk seviyesi ve sıfır riskli eğitim ortamı çözümleri sunmaktadır. Bu anlamda VR, askerî eğitimler için vazgeçilmezdir.

VR, sistem türü olarak üç ana kategoride çeşitlenmektedir (Gutiérrez, Vexo ve Thalmann, 2008). Bunlar; *tam daldırıcı (fully immersive) sistemler*, *yarı daldırıcı (semi-immersive) sistemler* ve *daldırıcı olmayan (non-immersive) sistemlerdir*. Şekil 2, bu üç sistemin askeri uygulama görüntüsünü yansıtmaktadır.

Tam daldırıcı sistemler	Yarı daldırıcı sistemler	Daldırıcı olmayan sistemler
		
Kullanıcının gerçek dünya ile bağlantısının kesildiği, sanal dünyanın bir parçası olduğu sistemler.	Kullanıcının gerçek dünya ile bağlantısının tam olarak kesilmediği, sanal nesnelerin yansıtıldığı ve etkileşim için kısmen sanal bir ortamın sunulduğu sistemler.	Kullanıcının gerçek dünya ile bağlantısının devam ettiği ve özel donanım (HMD) gerektirmeyen sistemler.
Durumsal farkındalık seviyesi	Durumsal farkındalık seviyesi	Durumsal farkındalık seviyesi
Yüksek	Orta	Alçak
Donanım	Donanım	Donanım
HMD, CAVE, dokunsal eldiven, kulaklık ve çeşitli aparatlar	Simülatörler ve büyük projeksiyon ekranlar	Masaüstü bilgisayar ekranları

Şekil 2. VR Sistem Türleri

### 3. Artırılmış Gerçeklik

Caudell ve Mizell'e (1992) göre AR, kullanıcının görsel alanını "artırmak" için dijital bilgilerin kullanıldığı ve bu nedenle "Artırılmış Gerçeklik" olarak adlandırıldığı bir teknolojidir. Azuma'ya (1997) göre AR, sanal ortamların veya sanal gerçekliğin bir varyasyonu ve VR'nin uzantısıdır. Ayrıca AR, kullanıcının gerçek dünya ile bağlantısının kesilmediği ve dijital verilerin gerçek dünya ile birlikte görüldüğü bir ortamdır (İçten ve Bal, 2017a). Bu ortam, gerçek dünya görüntüleri üzerine metin, animasyon, grafik, video ve 3B model gibi ek bilgilerin eklenmesi ile canlı görüntünün bir parçasıymış hissini verdiren teknolojidir. Azuma (1997), AR teknolojisini belirli teknolojilerle sınırlamaktan kaçınmak için bu ortamların sahip olması gereken üç temel gereksinimi şu şekilde özetlemiştir: (i) Gerçek zamanlı etkileşim, (ii) Gerçek ve sanal birleşim, (iii) 3B çalışma ve çıkartmadır.

Bu kapsamda yer alan askerî araçlara; Havelsan tarafından geliştirilmiş "AR Tabanlı Bomba İmha Eğitim Sistemi" ve "Bakım-Onarım AR Sistemi" örnek olarak verilebilir. AR sistemlerinde AR yapısının oluşturulmasındaki temel fark sanal ile gerçeğin nasıl birleştirileceğidir. Fuchs ve Ackerman (1999) ve Azuma (1997) tarafından yapılan çalışmalarda AR, *Optik*, *Video* ve *Monitör Temelli Sistemler* olmak üzere 3'e ayrılmıştır. Ancak, görüntüleme sistemlerindeki gelişme sebebiyle (İçten ve Bal, 2017b) *Monitör Temelli Sistemler* yöntemi *Yansıtımlı Sistemler (Projective)* şeklinde ele alınmaktadır (Azuma, 2018; Milgram ve Kishino, 1994). Şekil 3, bu üç sistemin askerî uygulama görüntüsünü yansıtmaktadır.



Şekil 3. AR Gösterimi İçin 3 Temel Yöntem (Azuma, 2018)

### Yöntem

Bu araştırmanın temel amacı çerçevesinde; birden çok kaynaktan gelen, askerî operasyonlar sırasında kullanılan ve hareket sahasına yönelik geliştirilen AR/VR araçlar belirlenmiş ve açıklanmıştır. Ayrıca, değişen savaş ortamı, teknolojik sınırlamalar ve uygulama hataları nedeniyle AR/VR sistemlerin askerî uygulamalara dâhil edilmesini ve kullanımını sınırlayan faktörler analiz edilerek belirli başlıklar altında tanımlanmış, AR/VR sistemlerin oluşturulmasında ve kullanımında karşılaşılan zorluklar ve güçlükler de tespit edilmiştir.

Çalışmanın evrenini, Google Scholar, Pubmed, Science Direct, Proquest, EBSCOhost, Web of Science, Ulakbim veri tabanları ile bazı durumlarda hükümet ve ticari web siteleri taranarak ulaşılan bilgiler oluşturmuştur. Bu incelemede, “askerî”, “eğitim”, “artırılmış gerçeklik” ve “sanal gerçeklik” anahtar kelimelerinin kombinasyonu ile Türkçe ve İngilizce dillerinde bulunan makale, araştırma ve teknik çalışmalar seçilmiştir. Ayrıca askerî alana hitap etmeyen AR/VR araçlar, askerî AR/VR sistemini açıklamayan çalışmalar ile resmi olmayan ve güvenilirliği şüpheli web siteleri inceleme dışı bırakılmıştır.

### Literatür İncelemesi

Çalışma 3 adet araştırma sorusu temel alınarak incelenmiştir. Araştırma sorularına dayalı olarak değerlendirilen çalışmalardan elde edilen bilgilerin her biri kendi araştırma sorusu başlığı altında sunulmuştur. Araştırma soruları altında tespit edilen her bir AR/VR aracı, sınırlılığı ve zorluğu sonraki bölümlerde tek tek açıklanmış ve bu alanda yapılan çalışmalara katkı sağlamak amacıyla önemli noktalar Tablo 1’de özetlenmiştir.

*S1: Askerî operasyonlar sırasında kullanılan ve hareket sahasına yönelik geliştirilen önemli AR/VR araçlar ve çözümler neleridir?*

İncelemede birçok AR/VR aracı/sistemi tespit edilmiştir. Bu araçlar farklı isimler altında ifade edilmiş olmalarına karşın derinlemesine incelendiğinde birçoğunun benzer AR/VR başlıkları ve donanımları kullandıkları, aynı çözümler ürettikleri tespit edilmiştir. Bu nedenle en çok kullanılan ve askerî alanda önemli sayılan AR/VR araçları 7 farklı sistem altında sınıflandırmak mümkün olmuştur:

1. Microsoft HoloLens 2 Sistemleri
2. Genel Amaçlı HUD ve HMD Sistemleri



3. Leap Motion Kontrol Cihaz Sistemleri
4. Silahlı İnsansız Hava Araçları: AR Dron
5. Sentetik Eğitim Çevresi
6. İndirilmiş Asker Eğitim Sistemi
7. Holografik Taktik Kum Havuzu

*S2:Değişen savaş ortamı, teknolojik sınırlamalar ve uygulama hataları nedeniyle AR/VR sistemlerin askerî uygulamalara dâhil edilmesini ve kullanımını sınırlayan faktörler nelerdir?*

AR/VR sistem sınırlamalarını şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

1. Durumsal Farkındalık
2. Bilgi Yüğü
3. Daldırma ve Eğitim

*S3: Askerî amaçlı AR/VR sistemlerinin oluşturulmasında ve kullanımında karşılaşılan önemli zorluklar ve güçlükler nelerdir?*

AR/VR sistem zorluklarını şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

1. Görüş Alanı Temas Kaybı
2. Hizalama ve Aydınlatma Tutarsızlıkları
3. Ölçeklenebilirlik ve Derinlik Algısı
4. Sistem Hareketliliği
5. Kullanıcı Doğruluğu
6. Algı ve Göz Yorgunluğu
7. Güvenlik
8. Bağımlılık
9. Kullanıcı Deneyimi
- 10.Etkileşim Standardı
- 11.Kullanıcı Arayüzü
- 12.Donanımsal Gereklilikler

**Tablo 1.** Askerî Alanda Kullanılan ve Önemli Sayılan AR/VR Araçlar

Kaynaklar	AR/VR Araçlar	Teknoloji Çevre Görüntüleme Tipi Sistem Tipi	D: Donanımlar, Ç: Çözümler
(Kipman, 2019), (Warren, 2016), (Jin, Ma ve Liu, 2020).	Microsoft HoloLens 2 Sistemleri	AR İç/Dış Optik HMD	(D): Gece görüş, işitme koruma, lens, el izleme ve termal sensör, (Ç): Personele silahıyla nişan aldığı yeri gösteren sanal bir nişan noktası, zırhlı (tank) araç içerisindeki personelin savaş alanını 360 derece görmesi
(Carroll vd., 2013), (Vyas ve Bhatt, 2017)	Genel Amaçlı HUD ve HMD Sistemleri	AR/VR İç/Dış Optik/Video HUD ve HMD	(D): Oculus Rift ve Samsung Gear VR, (Ç): Gece görüşü ve taktik bilgiler edinme (düşman veya müttefik birimlerin konumu), sanal düşmanlara karşı karmaşık eğitim senaryoları eğitimi.
(Weichert vd., 2013), (McCartney, Yuan ve Bischof, 2015), (Ling ve Rui, 2016)	Leap Motion Kontrol Cihazı	AR/VR İç/Dış Optik/Video HMD	(D): Oculus Rift CV1 ve HTC Vive ile AR kulaklıklara monte edilebilir LM yapısı (denetleyici kameraları kapatılmadığı sürece), (Ç): Sanal bir kokpit (F/A-18 pilotu) içerisinde el ve kol hareketlerini izlemek.
(Draper, Calhoun ve Nelson, 2006), (millisavunma.com, 2020)	Silahlı İnsansız Hava Araçları: AR Dron	AR Dış Video Elde taşınan cihaz	(D): Hedef tespiti ve sentetik görme teknolojisi, (Ç): Keşif, gözetleme, istihbarat faaliyetleri, hedefleme operasyonları, arama ve kurtarma, durumsal farkındalık, tehdit nokta tespiti.
(Gorski, B. ve Brian P., 2017), (Harper, J., 2016)	Sentetik Eğitim Çevresi	AR/VR İç/Dış Optik HMD	(D): Bilgisayar destekli AR/VR kulaklıklar ve eğitim yönetim aracı, (Ç): Bireysel ve grup canlı eğitimleri; yapay zekâ ile LVC destekli 3B asker eğitim sistemi.
(Flores, P., 2013)	İndirilmiş Asker Eğitim Sistemi	VR İç Optik HMD	(D): Giyilebilir bir bilgisayar, HMD, hareket izleme sistemi ve simüle edilmiş ses, radyo ve silah sistemleri, (Ç): Piyade eğitim sistemi için devriye, ateş ve pusu gibi çeşitli taktik ve prosedür uygulamaları.
Palladino, 2019), Amburn, Vey, Boyce ve Mize, 2015	Holografik Taktik Kum Havuzu	AR İç Optik/Yansıtma HMD	(D): HoloLens ve Yansıtma yüzeyi, (Ç): Harekât Sahası Yönetimi, Durumsal Farkındalık, Harekât, Angajman ve Seyrüsefer Planlama/Yönetimi.

## **Sistemler: Operasyonel ve Harekât Sahasına Yönelik AR/VR Araçlar**

Bu bölümde, incelemede tespit edilen AR/VR araçlar üzerinde durulmuştur.

### **1. Microsoft HoloLens Sistemleri**

HoloLens 2, karma gerçeklik deneyimi sunan ve görsel artırma anlamına gelen bir AR cihazıdır. Bu AR cihazı 52° görüş açılı 2 holografik lens, gelişmiş el izleme teknolojisi, göz takibi, ses tanıma ve daha iyi ergonomik tasarım ile öne çıkmaktadır (Jin, Ma ve Liu, 2020). Bu sürükleyici cihaz, fiziksel bir alanda bir kaleme ihtiyaç duymadan temassız el hareketleri ile nesnelere boyutlandırabilme, jest takibi yapabilme, normal gözlükler gibi giyilebilme ve hologram karakterleri hareket ederken ve onlarla etkileşime girerken gerçek dünya ile sorunsuz bir şekilde hizalayabilme yeteneklerine sahiptir. HoloLens 2, görüntüleri derinlik özelliğine sahip 2K ekran çözünürlüğü ile FOV açısında göstermektedir (Kipman, 2019) ve bu nedenle askerî eğitim ve operasyonların tüm kademelerinde kullanılabilir. Savaş meydanındaki gerçek durumlara yönelik geliştirilecek HoloLens'lerde, gece görüş, termal sensör, işitme koruması, beyin sarsıntısı dâhil askerin yaşamsal verilerinin izlenmesi gibi ek özelliklerinin olmasının istendiği bildirilmiştir (STM Thinktech, 2019). HoloLens'lerin askerî yetenekleri arasında; harekât alanının 3B görüntüsünün yansıtılması, harp alanındaki askerî personelin sağlık verilerinin toplanması ve merkeze iletilmesi, stratejik ve tehdit verilerinin gösterilmesi, kritik sistem ve platformların bakım-onarım eğitimlerinin gerçekleştirilmesi yer almaktadır.

### **2. Genel Amaçlı HUD ve HMD Sistemleri**

Head-Up Display (HUD), baş üzerinde veya bir kaskın parçası olarak kullanılan bir görüntüleme sistemidir. Askerî alanda ilk uygulaması 1970'lerde savaş pilotunun görüş alanına silah nişangâh verilerinin gösterimi olmuştur (Carroll vd., 2013). Günümüzde ise bu sistemler kritik veriler ile birlikte uçağın yüksekliği, hava hızı ve ufuk çizgisi verilerinin gösteriminde kullanılmaktadır (Vyas ve Bhatt, 2017). Bu sayede pilotun, ihtiyaç duyduğu verileri görmesi için uçuş/silah sistem göstergelerine bakmasına gerek kalmamıştır. Görüntü işleme, HUD sistem ve veri iletişimindeki gelişmeler Head Mounted Display (HMD) gelişimine katkı sağlamıştır. Ayrıca HMD sistemlerin kara, hava ve deniz kuvvetlerinde daha fazla kullanılmasının yolunu açmıştır. Bazı HMD'ler sadece

AR, bazıları sadece VR, bazıları ise hem AR hem de VR teknolojilerini desteklemektedir. Bunlardan; HoloLens, AR2, Moverio BT-300 ve Vuzix M300 gibi cihazlar AR başlıklarına; Oculus Rift, Samsung Gear VR ve HTC Vive gibi cihazlar ise VR başlıklarına örnektir. Oculus Rift ve HTC Vive gibi cihazlara derinlik kameraları takılarak AR başlıklarına dönüştürülebilir. HMD tipi başlıklar HUD sistemlerinden daha karmaşıktır. Çünkü kısıtlı bir fiziksel alana sahiptirler. Bazı askerî araçlarda (rn. F-16/18) HUD ve HMD sistemlerin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemler; sensörler, lazerler ve dijital veriler kullanarak askerî personelin durumsal farkındalıklarını Şeffaf dijital görüş gzlklerine yansıtılabilmektedir. Sistem askerî personelin başının konumunu ve yönünü izler, personelin görüş alanındaki gerçek nesnelere hizalanan grafik ve ek açıklamaları üst üste bindirir (Livingston vd., 2002). Bu yaklaşımla karmaşık savaş alanı bilgileri gerçek evre üzerinde gerçek zamanlı HUD ile gösterilebilir. Sanal savaş eğitim ortamlarında personelin sanal ortama tamamen dalması için HUD yerine gözü tamamen kaplayan HMD sistemler tercih edilmektedir. Genel olarak HMD sistemleri yüksek işlemci gücüne ve görüntü kalitesine sahip olmalıdır. Ayrıca bu sistemler, gerekli durumlarda askerî personele verilerini Bluetooth, kablosuz kişisel ağı, ultra Geniş Bant, 802.11g gibi kablosuz hatlar üzerinden sunmaktadır.

### 3. Leap Motion Kontrol Cihazı

Leap Motion (LM), kızılötesi LED'ler kullanarak el ve parmak hareketlerini izleyen ve kullanıcıların fare ve klavye yerine bir uygulamayı gerçek el hareketleri ile kontrol etmesine izin veren hareket algılama cihazıdır (McCartney, Yuan ve Bischof, 2015). Bu küçük USB cihazı optik 3B sensörlere sahiptir (Weichert vd., 2013). LM, askerî eğitim simülasyon uygulamalarında genellikle VR gzlk ile birlikte kullanılmaktadır. Bu kullanımdaki VR gzlk kullanıcıyı sanal dünyaya daldırmak içindir. LM cihazı ise kullanıcı ellerini sanal gerçekliğe ulaştırmak ve kullanıcının sanal nesnelere ile etkileşime girmesine izin vermek içindir. Bu kullanım, askerî personele doğal ve gerçek el hareketi ile sanal ortamdaki silahı ateşleme veya el bombası fırlatma gibi etkileşimli ve dokunsal davranışlar kazandırmaktadır. Uçuş simülasyonlarında ise pilot personel herhangi bir oyun veya kontrol kolu kullanmadan temassız el hareketleri ile sanal kokpitteki tuşlara dokunabilir. Amaç pilot adayını kokpite alıştırmak, gerçek bir uçuş eğitiminde yapacağı işlemleri tekrar ettirmek, kokpit ekranlarıyla etkileşime girmesini sağlamak ve temel savaş manevralarını (Basic Fighter Maneuvers) desteklemektir.

Oluşturulan sanal ortam ve doğal etkileşim arayüzü sayesinde kullanıcılara sürükleyici, daldırıcı ve güvenli bir sanal eğitim ortamı sunulmaktadır (Ling ve Rui, 2016).

#### 4. Silahlı İnsansız Hava Araçları: AR Dron

Silahlı dronlar stratejik ve operasyoneldir. Savaş alanından oldukça uzaktaki bir dron operatörü, AR tabanlı arayüz üzerinden dron lensinden bir savaş alanını gerçek zamanlı görüntüleyebilir, hedef bölgedeki mevcut tehditleri işaretleyebilir, kontrol cihazı üzerinden bu tehditleri etkisiz hâle getirebilir. Ayrıca elde ettiği önemli tehdit verilerini gerekli durumlarda bir savaş pilotu ile paylaşabilir. Dron olarak bilinen bu Taktik Silahlı/Silahsız İnsansız Hava Araçlarının (S/İHA) amacı, yer destek ekibi olan dron operatörü ile savaş alanındaki zorlu görevleri uzaktan etkili ve güvenli bir şekilde yerine getirebilmektir. Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde Türk yapımı ve ağ tabanlı bir sistem mimarisine sahip TB2 Silahlı Taktik İHA ve Şekil 4'de gösterilen SONGAR olarak isimlendirilen gerçek zamanlı görüntü aktarımı yapabilen, makineli tüfek ile hassas otomatik atış stabilizasyon sistemine sahip silahlı dron sistemler (millisavunma.com, 2020) mevcuttur.



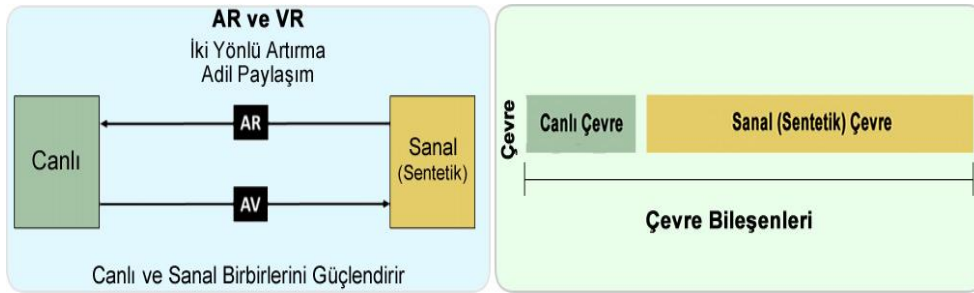
Şekil 4. SONGAR (millisavunma.com, 2020)

Askerî operasyonlarda TB2 S/İHA aracı keşif, gözetim, istihbarat ve hedefleme operasyonlarının yürütülmesi; SONGAR ise bilinen tehditleri etkisiz hale getirme, askerî operasyonlara hava desteği sağlama ve askerî konvoyu intikal sırasında koruma görevlerini yerine getirebilmektedir. Elektronik Nişangâh, Balistik Hesap Modülü ve Makineli Tüfek Sistemi ile geliştirilen SONGAR, pilot kamera ve silah kamera sistemi ile donatılmıştır. Bir AR dron, genellikle veri iletişimini GPS navigasyon, gömülü sistem veya Wi-Fi teknolojisi üzerinden gerçekleştirebilmektedir. Dron ile elde edilen veriler ve görüntüler yer destek

ekibine sabit, taşınabilir cihaz veya FPV gözlükleri (First Person View glass) üzerinden AR teknolojisi ile gösterilmektedir. Savaş ve çatışma alanlarının zorlu harekât koşulları sebebiyle dronlar, yüksek çözünürlüğe sahip, zorlu ışık koşullarında gündüz ve gece görüşü sağlayabilen, son derece sağlam tasarımı olan kameralar ile donatılmaktadır. Bir AR drone pilotu, yüksek teknolojiye sahip kamera sistemleri sayesinde muharebe sahasında askerî birliklere önemli durumsal farkındalık verileri iletebilir (Draper, Calhoun ve Nelson, 2006) ve savaşın kazanan tarafını değiştirebilir.

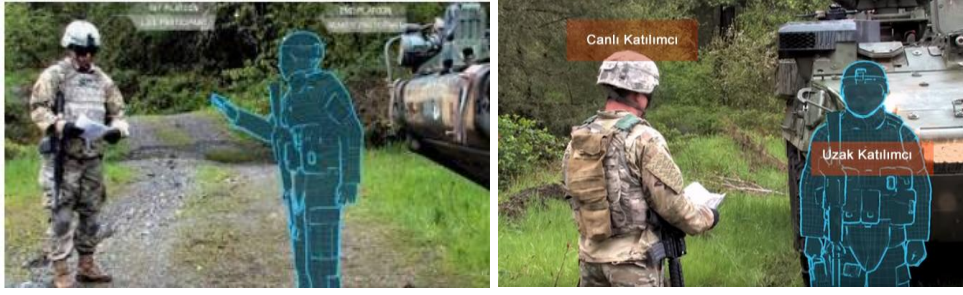
### 5. Sentetik Eğitim Çevresi

Sentetik Eğitim Çevresi (Synthetic Training Environment, STE); bulut bilişim, yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi teknolojileri birbirine bağlayan toplu eğitim sistemidir. Sistemin amacı, dünyanın herhangi bir yerindeki askerî personelin başka bir yerdeki eğitmen personel ile birlikte toplu etkinliklerin alınmasını sağlayacak tek bir ortam (sanal, artırılmış ve fiziksel ortamın harmanlanması) sağlamaktır. Bu ortam; Canlı, Sanal ve Yapısal alanda gerçekleşen savaş simülasyonlarını geliştirmek için yeni oyun ve AR teknolojilerden yararlanır (Harper, 2016). Günümüzde hala ordular; Canlı, Sanal ve Yapısal Eğitim unsurlarını kullanıyor olsa da birlikte çalışmama, tekrarlayamama gibi durumlardan dolayı bu sisteminin yetersizliğinin farkındadır (Harper, 2016). Bu nedenle ordular Canlı, Sanal ve Yapısal simülasyonları birleştiren; her yerden asker eğitimini planlayan, hazırlayan, yürüten ve değerlendiren STE üzerinde çalışmaktadır. Bir STE sistemi; esnek, tekrarlanabilir ve sezgisel yetenekleri geliştirir. Şekil 5'te görüleceği gibi bu sistemi oluşturan AR ve VR, Canlı ile Sanal Çevre arasında köprü kurabilir ve bu ortamlardaki askerlerin diğer ortamın özelliklerini görmesini sağlayabilir (Gorski ve Brian, 2017).



Şekil 5. STE'nin Yapısı (Gorski ve Brian, 2017)

STE; canlı ortamda sanal eğitmenler, eğitim yönetim aracı ve eğitim simülasyon yazılımı bileşenlerinden oluşmaktadır (Gorski ve Brian, 2017). Sistem içerisindeki askerler ve eğitmenler sürekli birbirleri ile iletişim hâindedir. Şekil 6'da eğitmen tarafından kontrol edilen zeki bir Avatar gösterilmiştir. Bu Avatar, eğitmenlerden aldığı yönlendirme bilgilerini arazide yer alan askerî personele iletilmesi ve personelin belirli talimatları yerine getirmesinin istenmesi gibi görevleri gerçekleştirmektedir. Bu anlamda bir STE sistemi, fiziksel bir ortamdaki askerî personelin uzak ve merkezi bir yerden kontrol edilen bir avatarla gerçek zamanlı etkileşime girmesi ve sistemin akıllı ve öğrenen bir yapıya sahip olmasıdır.



Şekil 6. Sentetik Eğitim Ortamındaki Asker ve Avatar

## 6. İndirilmiş Asker Eğitimi

DST (Dismounted Soldier Training System); tam daldırıcı, 3B ve ciddi oyun temelli askerî eğitim sistemidir. Tüm vücut kıyafetleri ile donatılan askerler DST sisteminde temel ve gerçekçi savaşın görevleri ve tatbikatlarını yerine getirebilir. Bu görevler kapalı/küçük fiziki bir alan içerisinde sanal olarak anlık oluşturulan dağlık, ormanlı ve çöl arazi tatbikatları olabilir. Yüzüstü, ayakta ve diz çökmüş gibi eylem verilerini sensörler üzerinden alan DST, bu anlamda kullanıcıya sürükleyici, maliyetsiz ve tekrarlanabilir bir canlı eğitim ortamı sunmaktadır. Bu ortamdaki askerler, sanal çevreyi görebilmeleri, duyabilmeleri ve aynı zamanda takım üyeleriyle iletişim kurabilmeleri için bireysel giyilebilir sistemler ve enstrümanlı silahlar ile donatılmaktadır (Flores, 2013). Askerler canlı ateş egzersizleri de dâhil olmak üzere birçok eğitimi bu sistemler üzerinden gerçekleştirmektedir.



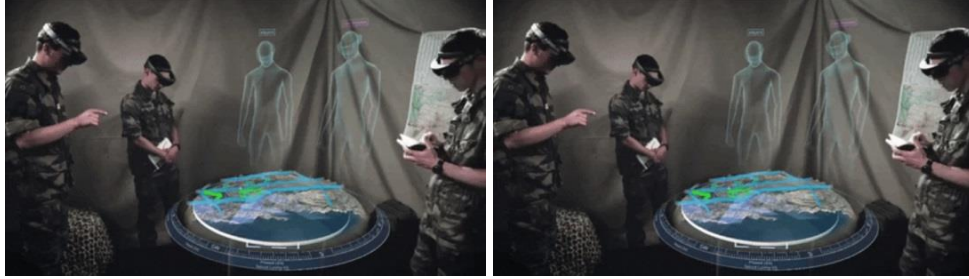
Şekil 7. Sentetik İndirilmiş Asker Eğitim Sistemi (Flores, 2013)

Şekil 7’de uygulaması verilen bu sistemde yer alan ekip eğitimi lideri, eğitim sonunda eğitim denetleyicisinden eğitimin durmasını ve *Eylem Sonrası İnceleme* ekranına verilerin gönderilmesini isteyebilir. Değerlendirme aşamasından sonra lider, görev eğitiminin sonlandırılmasına veya ihtiyaçlara göre sistemin uyarlanarak tekrar yapılmasına karar verilebilir. Sabit veya mobil bir tesiste 4 saatte kurulan DST sisteminde; kulaklık ve mikrofon donanımları, ivme sensörlü kaska monteli ekran, ekranla bağlantılı 3D sanal ortamın işlenmesi ve görüntülenmesi için giyilebilir bir bilgisayar sırt çantası yer almaktadır. Kullanıcının tüm vücut hareketlerini gerçek zamanlı olarak algılayan özel sensör ağı ve dokunsal geribildirime sahip silah simüle sistemleri bu eğitim sisteminin önemli parçalarındandır.

## 7. Holografik Taktik Kum Havuzu

Holografik Taktik Kum Havuzu (Holographic Tactical Sandbox, HTS) savaş alanının temsilini 3B holografik olarak AR gözlüklerinde gösteren yeni nesil operasyon ve planlama sistemidir. HoloLens cihazı, yazılım paketi ve küçük bir sunucudan oluşan bu etkili sistem, uzaktan kontrol edilebilme noktasında AG kum havuzundan (Amburn, Vey, Boyce ve Mize, 2015) ayrılmaktadır. Sistemin temelini AR teknolojisi ve yüksek çözünürlüklü 3B görüntüler oluşturmaktadır. HTS, otomatik veri senkronizasyonu ve komut görevleri için Airbus Fortion® TacticalC2 uygulaması ile birlikte Microsoft’un HoloLens yazılımını kullanmaktadır (Palladino, 2019).





**Şekil 8.** Holografik Taktik Kum Havuzu (Palladino, 2019)

Şekil 8’de kullanımı gösterilen sistem, hafif ve mobil bir sistemdir. Gerekli verileri bir ağ üzerinden alan HTS, askerî personelin AR teknolojisi ile uzaktan savaş alanını yaşamasını, toplu görevler planlamasını, operasyonel kararlar almasını ve kısa zamanda teknik sunumlar hazırlamasını sağlamaktadır. Bundan dolayı bir HTS sistem, AR destekli komuta kontrol sistemi olarak da ifade edilebilir. Askerî komuta kademesi veya personel bir HTS sistemini temassız el hareketleri ile kontrol edebilir, savaş arazisini farklı açılardan görüntüleyebilir, dost ve düşman unsurlarını işaretleyebilir. Ayrıca mevcut harekât senaryosunu olası senaryolar ile değiştirerek 3B sanal haritayı yeni harekât koşullarına uygun hale dönüştürebilir. Sisteminin bu özellikleri askerî komuta kademesinin veya ilgili personelin harekât sahasına yönelik daha kısa zamanda daha doğru kararlar almasını sağlayabilir.

### **Sınırlamalar ve Zorluklar**

#### **1. Sınırlamalar**

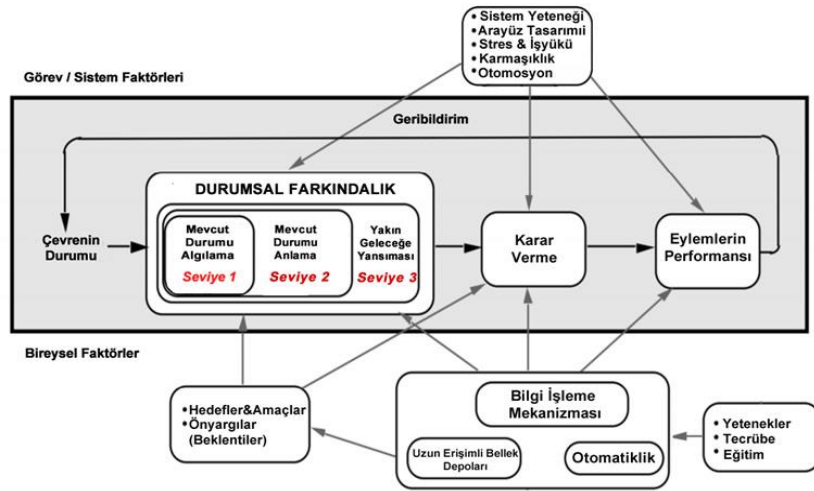
İncelemesi yapılan araştırmalar, AR/VR sistemlerin askerî uygulamalara dâhil edilmesini ve kullanımını sınırlayan bazı temel faktörlerin varlığını işaret etmektedir. Özellikle bu sınırlamalar üç temel faktörde yoğunlaşmıştır. Bunlar:

##### **a. Durumsal Farkındalık**

Durumsal Farkındalık (Situational Awareness, SA) çevredeki unsurların bir zaman ve mekân hacmi içinde algılanması, anlamlarının kavranması ve yakın gelecekteki durumunun yansımalarıdır (Endsley, 2016). Çevresel koşullar hakkında bilgi sahibi olmak, elde edilen bilgiyi mevcut bilgiler ile bütünleştirmek, bu bütünlüğü yeni bilgiler ile sürdürmek ve gelecekteki durumu tahmin etmek SA’nın temel unsurlarıdır. Fiziksel beceriden ziyade zihinsel beceri gerektiren SA, savaş

alanındaki geçmiş, şimdiki ve gelecekteki olayların yanı sıra dost ve düşman konumlarının takip edilmesidir (Livingston vd., 2011).

Askerî amaçlı birçok araştırma zorlu çevre koşullarında, şehir çatışmaları sırasında ve kara, deniz ve hava muharebe savaşlarında durumsal farkındalığın önemini ortaya koymuştur. Büyük ölçekli askerî operasyonlar genellikle daha fazla ses, veri ve görüntü trafiğinin olduğu, ortamın değerlendirildiği ve sonuçların görselleştirildiği büyük SA dögüsel yapılardan oluşur. Hızlı, tempolu ve karmaşık bir operasyon ortamında birimler arasında iletişimin sağlanması, çevrenin takip edilmesi ve dost ve düşman hedeflerinin gösterilmesi SA'yı zorlu bir işlem hâline getirir. Çünkü askerî personelin durumsal verileri anlık izlemesi, değerlendirmesi ve sonuçlandırması gerekir. Hızlı değişen koşullarda askerî personel yüksek SA'ya maruz kalabilir. Yüksek SA; dikkat dağıtımı ve algı gibi davranışları zayıflatarak düşük performansa ve zayıf yanıt süresine neden olabilir. Yüksek binaların ve dar sokakların bulunduğu kapalı bir kentsel alandaki bir piyade askeri için çok önemli olan SA, bireysel farklılıklar, yetenekler, deneyimler ve eğitim eksiklikleri nedeniyle düşebilir. Dikkatli ve ölçülü AR tabanlı bir SA yaklaşımı operasyon ortamının getirdiği stresi, yorgunluğu ve olumsuz çevre koşullarını ortadan kaldırabilir, mürettebatın zihinsel iş yükünü düşürerek zihinsel SA performansını yükseltebilir. Şekil 9'da 3 aşamada kategorize edilen bir SA modelinde de görüleceği gibi SA, karar vermeyi doğrudan etkilemektedir.

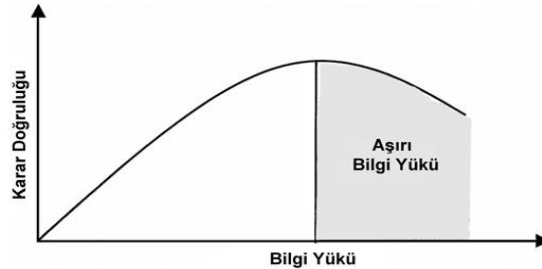


Şekil 9. Endsley'nin Durumsal Farkındalık Karar Verme Modeli (Endsley, 1995)

### b. Bilgi Yüğü

Birçok araştırmanın gösterdiği şey daha fazla bilginin kalitenin düşmesine neden olduğu ve belirli bir noktaya kadar verilen bilgi miktarı ile karar kalitesinin iyileştiğidir (Chewning ve Harrell, 1990). Aşırı Bilgi Yüğü (information overload), normalden daha fazla bilgi olarak strese girme veya bunalmış olma hissi olarak tanımlanır (Eppler ve Mengis, 2004). Karar vericiler için çok fazla bilgi mevcut olduğunda ve iyi organize edilmediğinde aşırı bilgi yüklemesi meydana gelebilir (Vego, 2009). Savaş alanları her daim aşırı bilgi yükünün ve stresin en fazla yaşandığı alanlar olmuştur. Askerî personelin stresini azaltmak ve karar almasını kolaylaştırmak için iletilen bilgiler düzgün bir şekilde düzenlenip filtrelenmeli, ilgisiz ve dikkat dağıtıcı bilgilendirmelere yer verilmemelidir. Ancak günümüzdeki çatışma bölgeleri ve savaş alanları çok yüksek teknolojiye sahip iletişim sistemlerinin kullanıldığı ve bu sistemler üzerinden verilerin toplandığı noktalar olmuştur. Bu yüksek teknoloji, askerî personele daha kolay veri aktarımının yolunu açmış ve aşırı bilgi yüğü tehlikesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu artış, Şekil 10'da gösterildiği gibi karar doğruluğunu etkilemektedir.

AR teknolojisinin görüntüleme olanakları sınırsızdır. Ancak bu teknolojiye temel amaç bilgi yükünü azaltarak kullanıcının dikkatini iletilen bilgiye odaklamaktır. Bunun için yapılması gereken en önemli işlem; bilginin ilgili askerî personele, belirli bir süre içerisinde ve işleyebileceği bilgi miktarı ölçüsünde gönderilmesidir. Bu ölçü bir piyade askeri için bulunduğu konuma en yakın dost ve düşman kuvvetlerinin gösterilmesi, bir sağlık personeli için yaralanmış askerin sağlık kayıtlarının iletilmesi ve bir savaş pilotu için uçuş verileri ile birlikte potansiyel tehlike olacak düşman hedeflerinin karşılanabilir seviyede işaretlenmesi olabilir.



Şekil 10. Ters U Eğrisi Olarak Aşırı Bilgi Yüğü (Eppler ve Mengis, 2004)

### c. Daldırma ve Eğitim

HMD ve CAVE tipi görsel görüntüleme yaklaşımları üst seviyede daldırma yeteneğine sahiptir. Bu tip cihazlar ölüm ve ciddi yaralanma riskini azalttığından askerî eğitim programları için vazgeçilmezdir. Ayrıca bu tip cihazların AR/VR ortamlarına uygulanmasının performans değerlendirmesi, yeterlilik takibi ve eğitim üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Carroll vd., 2013). İyi tasarlanmamış ve daldırma etkisi düşük bir AR/VR ortamında istenilen faydalı askerî eğitim deneyimi yaşanmamaktadır. Kullanıcıların daldırma deneyimini sınırlandıran faktörler arasında; serbest hareket edememe, sanal ortam ile etkileşime girememe, farklı duylara hitap edememe ve yüksek kaliteli içerik üretmemeye durumları yer almaktadır. VR ortamların AG ortamlara göre daha sürükleyici olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni VR ortamların, kullanıcının görme ve işitme duylarına hitap edebilmesidir. Buna karşın VR ortamların sadece görsel ve işitsel uyarıcıları içermesinin önemli bir sınırlılık yaratacağı öngörülmektedir. Askerî uygulamalarda bu sınırlık, dokunmaya duyarlı el izleme cihazların ve eldivenlerin HMD cihazlarına eklenmesi ile giderilmektedir. Bu sayede canlı ve sanal eğitim ortamları daha etkileşimli hâle gelmektedir.

Gerçekte uygulanan askerî eğitimler son derece pahalı, maliyetli ve tehlikelidir. Bu nedenle günümüzde bu eğitimler AR/VR destekli Temel Eğitim Merkezlerinde yüksek sadakatli simülasyon sistemleri ile gerçekçi ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerin gelişmiş veri yakalama ve performans izleme yeteneği ile eğitimin etkinliği ve verimliliği önemli ölçüde artmaktadır ve gelişmiş Eylem Sonrası İncelemeler (after action reviews, AARs) ve bilgilendirmeler mümkün olmaktadır (Carroll vd., 2013). Bu eğitim yaklaşımları askerî eğitim maliyetlerini de büyük ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca AR/VR teknolojiler, kişiselleştirilmiş içerik ve rol tabanlı öğrenme yapısına sahiptir. Bu yapı birden çok kullanıcının aynı anda, aynı ortamda, 3B benzetimi yapılmış aynı senaryo üzerinde çalışabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede askerî personele öğrendiği bilgiyi zihninde var olan bilişsel yapı ile yeniden şekillendirme ve strateji geliştirme konularında yardımcı olmaktadır.

## 2. Zorluklar

AR/VR yeni bulunmuş bir teknoloji olmamasına karşın önünde çözmesi gereken grafik işleme, iletişim, güvenlik, bağımlılık, hesaplama gücü, depolama,

etkileşim ve görüş alanı teması kaybı gibi bazı zorluklar yer almaktadır. Bu zorluklar AR/VR'nin askerî alandaki yaygınlığını azaltmaktadır. Mevcut durumu daha iyi açıklayabilmek için tespit edilen önemli zorluklar şu şekilde sınıflandırılmıştır:

a. *Görüş Alanı Temas Kaybı:* Savaş ortamında kullanılan görme tabanlı sistemlerin çevresel (sis, duman) etmenlerden kaynaklı grafik işleme yeteneklerindeki zayıflamalar (Livingston vd., 2011).

b. *Hizalama ve Aydınlatma Tutarsızlıkları:* Askerî personelin bakış açısını değiştirdikçe dijital sanal öğelerin görüş alanındaki gerçek nesnelere olan hizalanma hataları ve uygun olmayan aydınlatmadan dolayı hedef sistemlerin ve tehditlerin tespit edilme zorlukları (Brown ve Lowe, 2007).

c. *Ölçeklenebilirlik ve Derinlik Algısı:* Dış mekân kullanımlarında önemli noktaların hatalı ölçümlemeden kaynaklı derinlik algısı; nesnenin gerçekte olması gerektiğinden daha yakın veya uzak algılanması (Karlsson, 2015).

d. *Sistem Hareketliliği:* Askerî personelin hızlı hareket etmesi veya bakış yönünü hızlıca değiştirmesi gerektiği yoğun kentsel savaş sırasında sistemi sabit tutmak (You, 2018).

e. *Kullanıcı Doğruluğu:* Kentsel savaş alanındaki sinyal engellemeleri ve elektromanyetik girişim gibi sebeplerden dolayı GPS konumlandırma doğruluğunun azalması (You, 2018).

f. *Algı ve Göz Yorgunluğu:* Genellikle “araç tutması (motion sickness)” olarak bilinen ve baş ağrısı, yorgunluk, bulantı, kusma gibi belirti gösterme durumunun VR gözlük kullanımında ortaya çıkması ve bu cihazın uzun süreli kullanımlarda askerî personelin zihinsel ve göz sağlığına vereceği zararlar (Wang vd., 2019).

g. *Güvenlik:* Bir komuta merkezi/merkezi sunucu/diğer araçlar arasında kablosuz veri aktarımının ağır veri koruması gerektirmesi (Ren, Lou ve Zhang, 2008).

*h. Bağımlılık:* AR sistemlere bağımlılığın yükselmesi, bozulması durumunda personelin moral ve motivasyonun zayıflaması.

*i. Kullanıcı Deneyimi:* Algı, bilişsel yük ve görme keskinliği aynı olmayan kullanıcı durumlarından kaynaklı elde edilen sonuçların değişmesi.

*j. Etkileşim Standardı:* Sanal ve gerçek arasındaki tepkilerin aynı anda gerçekleşme zorlukları.

*k. Donanımsal Gereklilikler:* Görüntüleyicilerin ve sensör sistemlerinin küçük, hafif ve kolayca taşınabilir olması, batarya durumları ve üst seviye CPU ve GPU gerekliliği (Mekni ve Lemieux, 2014).

### Çözümler

Sanal gerçeklik; *daldırma (immersion)*, *etkileşim (interaction)* ve *hayal gücü (imagination)* gibi bileşenlere sahiptir (Burdea ve Coiffet, 2003). Kullanıcının bilgisayar tarafından üretilen sanal ortama zihinsel ve duygusal olarak dalması için gerçek zamanlı etkileşim şarttır (Chambers, Curry, McGinn ve Merillat, 2020). Kullanıcılar, özel giyilebilir cihazlar aracılığıyla simüle edilmiş bu ortamlara etkileşime girmektedir (Çakıroğlu ve Gököğlu, 2019). Bu etkileşim, AR ortamlarında gerçek görüntü üzerine eklenen sanal nesnelere ile gerçekleştirilir. Bu gerçekleştirme, bir savaş pilotunun kask vizörü üzerine yerleştirilen bir dijital ekrana uçuş ve mekânsal yönlendirme verilerinin ve silah hedeflerinin gerçek zamanlı olarak yansıtılması gibidir. Bu yapının hava muharebelerindeki en önemli getirisi pilotun hedefi vurması için manevra yapmasına gerek kalmadan, hedefe bakarak silah sistemini (helmet-mounted sight and display, HMSD) kilitleyebilmesidir. Bu gösterim çözümü, bir askerin gece görüş gözlüğü (night vision goggle) üzerinde düşman askerlerin tam yerinin, müttefik ve düşman kuvvetlerinin pozisyonunun gösterilmesi ile de tanımlanabilir. Savaş alanındaki bir askerin Head-Up ekranına veya OLED yarı saydam ekran gözlüğüne savaş alanının mini 3B bir haritasının yansıtılması, üzerindeki hafif sensör verilerinin anlık gösterilmesi, potansiyel tehlike ve buluşma noktalarının belirli renk ve hatlarda belirtilmesi en yaygın AR çözümleridir. Bu çözümlere, hafif ve taşınabilir AR destekli lens kullanımı da eklenebilir.

Bir askerî AR çözümü; bilgiye erişmeyi, karar verme etkinliğini etkili bir şekilde artırmayı ve yaralanmaları azaltmayı mümkün kılar (You, Zhang, Ma, Deng ve Yang, 2018). Ayrıca bu sistem askerî operasyonların başarı oranının artmasında ve kritik platform araçlarının bakım ve onarımlarının daha etkin ve kısa sürede yapılmasında önemli rol oynar. AR'nin bu çözümleri nedeniyle askerî sistemlerini bu teknoloji ile bütünleştirmiş kuvvetlerin savaş alanında üstün gelmesi şaşırtıcı değildir. Bu teknolojinin diğer bir kullanımı ise; askerî personelin eğitim ihtiyaçlarını karşılamak ve bu personelin hem taktik hem operasyonel seviyede eğitimlerini sağlamaktır (Livingston vd., 2011). Artırılmış çevreye AR gözlükler ve Kinect cihazlar ile dâhil olan askerî personel; düşük maliyetli, gerçek zamanlı ve hareketli platformlar sayesinde artırılmış dünyada devriyeye çıkabilir; savaş bölgesinde hareket etmenin detaylarını öğrenebilir ve ağır çatışma koşullarını güvenli bir şekilde deneyimleyebilir. Bu sistemler meskûn mahal operasyonları gibi eğitimlerin gerçek bir ortamda sentetik düşman kuvvetlerine karşı canlı eğitimler aracılığı ile yapılmasını, eğitimlerin risksiz bir ortamlarda hiçbir mühimmat zayıtı olmaksızın gerçekleştirilmesini sağlayacak çözümler üretmektedir. Ayrıca eğitim sonunda bu ortamlardaki takımın askerî manevra ve pozisyon analizleri yapılabilir. AR'dan farklı olarak VR ortamında bulunan askerî personelin gerçek dünyayı görmesi istenmez. Bazı Askerî Eğitim Simülasyon Sistemleri fiziksel hareket gerektirir. Bu hareketler özel araçlar ile VR ortamına aktarılır. VR eğitimler için değişen koşulların (kar, yağmur, rüzgâr; gündüz, gece) yer aldığı askerî taktik eğitim ortamları oluşturulur. Serbest dönüş, yürüyüş, koşuş, çömelmiş ve siper alış gibi hareketler hareket takip sistemleri, sensörler veya hareketli platformlar tarafından alınır. Ciddi oyun olarak da ifade edebileceğimiz askerî eğitim simülasyon çözümleri, gerçek dünya riskleri olmadan, belirli senaryolar doğrultusunda askerinin ciddi yaralanma veya ölüm riski bulunmadan 3B sanal bir ortamda karar verme yetisini geliştirmeyi sağlamaktadır. Bu sistemler; güvenli ve düşük maliyetli olmalarından dolayı askerî güvenlik güçlerinin eğitim ihtiyaçlarına, araç ve uçuş simülasyonlarına, savaş alanı sağlık eğitimlerine ve savaş sonrası duygusal sorunların giderilmesine yönelik çözümler sunmaktadır. Günümüzdeki çalışmalar ülkelerin, gerçek insanların sanal bir oyun içerisinde yapay zekâyla simüle edilen çözümler üzerine çalıştığını göstermektedir.

Sonuç olarak, AR/VR çözümleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Sürükleyici askerî kara, deniz ve hava aracı simülasyonları,
- Gerçekçi/kapsamlı savaş alanı simülasyonları ve süreç değerlendirmesi,
- Tıbbi eğitim ve yerinde ilk yardım uygulamaları,
- Savaş sonrası tedavi uygulamaları (travma, stres),
- Tasarım ve montaj eğitimleri ve uygulamaları,
- Bakım ve onarım eğitimleri ve uygulamaları,
- Özel mekân tasarımına sahip uygulamalar,
- Durumsal farkındalığa dayalı eğitim sistemleri ve uygulamaları.

### Sonuç

Bu çalışmada, askerî uygulamalara ve eğitimlere destek amacıyla kullanılan AR/VR araçlar; donanımsal özellikleri, kullanım alanları, askerî yeteneklerinin yanı sıra zorlukları, riskleri, daldırma ve eğitim yaklaşımları ve askerî uygulamalara dâhil edilmesini sınırlayan faktörleri açısından incelenmiştir.

Dünyadaki pek çok ordu mevcut donanımlarını savaş alanlarındaki zorlu şartlara uyumlu hâle getirmek için büyük yatırımlar yapmaktadır. Bu yatırımlar, dünyadaki güç dengelerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Değişen güç dengelerinden birisi de askerî gücünü teknolojik araçlar ile geliştiren orduların güçlenmesidir. Bu teknolojik araçlar, büyük ve pahalı uçak gemileri ve tankları değil; askerî sistemlerin etkinliğini ve personelin yeteneklerini yükselten, daha küçük boyutlu ve uygun maliyetli görüntüleme ve etkileşim teknolojileridir. Savaş teknolojisi olarak ifade edebileceğimiz bu kavramlar günümüzde AR/VR sistemlerini içeren araçlar üzerinden açıklanmaktadır.

AR/VR sistemler savaşın sonucunu değiştirme gücüne sahiptir. Bu gücün en önemli unsuru, sensör, görüntüleme ve yansıtma sistemleridir. Askerî AR/VR sensör sistemlerinin önünde çok sayıda riskler bulunmakla birlikte, bunların önemli bir bölümü güvenilirlik, doğruluk ve sistemi kullanan personelin rakip güçler tarafından yerinin tespit edilebilmesi üzerinedir. Yansıtma ve görüntüleme sistemlerinde ise bu risk kullanıcısının hareketlerini kısıtlaması, görüş alanını



daraltması ve çevresindeki olayları kaçırmaması üzerinedir. Ancak hem sensör hem de yansıtma ve görüntüleme teknolojisi olsun mevcut haliyle askerî sistemlerin etkinliğini ve personelin askerî kabiliyetlerini oldukça yükseltmektedir. AR/VR'nin potansiyelinin farkında olan ulusal savunma kurumları ARGE yatırımlarını izleme, tespit, görüntüleme, filtreleme ve tanılama adımlarını kapsayan akıllı işlem haline getirilmesi üzerine kurmuşlardır. Yakın gelecekte akıllı işlem düzeyinde hareket eden, farklı yazılım sistemlerini birbirine bağlayan ve bu sistemlerdeki verileri ortak bir ağ üzerinden paylaşan AR/VR araçların askerî hizmet platformunda daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir.

Dünyadaki birçok modern ordu, kendi sistemlerini daha üst seviyeye çıkartmak, rakip güç karşısında üstün gelmek ve savaş alanındaki can kayıplarının önüne geçmek için AR/VR tabanlı yenilikçi uygulamalara yatırım yapmaktadır. Bu yatırımların ağırlıklı olarak kendi kendine karar verebilen, şehir çatışmalarına yönelik geliştirilen insansız robot askerler ve örümcek robotlar ile devam edeceği öngörülmektedir. Bu kapsamda yakın gelecekte askerî güçlerinin ihtiyaçlarını 5G destekli AR/VR ile geliştiren ülkelerin savaş alanındaki güç dengesini daha fazla kendi lehine çevireceği bilinen bir gerçektir.

## **Extended Summary**

### **Introduction**

Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) are the main subjects of this study and are among the most remarkable technologies recently. Today, the most valuable companies in the world invest in digital technologies. It is not difficult to guess that AR and VR (AR/VR), which affects both daily life and many sectors, has been thoroughly examined and tried to develop in depth by the military. Many public and private sectors around the world are developing their own AR/VR tools and platforms. Armies are trying to make these vehicles compatible with military training systems. Since these tools provide their users with a powerful and immersive experience, AR/VR tools and solutions to emerging problems that greatly increase the efficiency of military training and the success of personnel in the operation field are important topics that need to be carefully considered and critically analyzed.

---

### **Purpose and Research Questions**

In this review, AR/VR tools, limitations, difficulties, solutions and risks for military applications and trainings are evaluated. As a result of this assessment, it is aimed to reveal preliminary information that will help the design, application and training approach of AR/VR built systems in the future. For this purpose, answers to the following research questions were sought:

Q1. What are the important AR/VR vehicles developed for military training and operational field?

Q2. What are the factors that limit AR/VR's participation in military applications?

Q3. What are the difficulties encountered during the creation and use of military AR/VR systems?

### **Literature Review**

This study is examined based on 3 research questions.

- *What are the important AR /VR vehicles developed for military training and operational field?*
- *What are the factors that limit AR/VR's participation in military applications?*
- *What are the difficulties encountered during the creation and use of military AR / VR systems?*

### **Solutions**

AR/VR solutions are diverse. A military AR solution makes it possible to access information, effectively increase decision-making efficiency and reduce injuries. These technologies are to meet the training needs of military personnel and to provide training of these personnel at both tactical and operational levels.

### **Method**

AR/VR tools that come from multiple sources and are used during military operations and developed for the field of movement have been determined and

explained. Also the changing environment of war, technological limitations, and application errors due to AR/VR Systems military applications are analyzed.

### Result

Many modern armies around the world invest in AR/VR-based innovative applications to take their systems to a higher level, outperform rival power and prevent casualties on the battlefield. It is predicted that these investments will continue with unmanned robot soldiers and spider robots that can make self-decisions and are developed for urban conflicts. In this context, it is a known fact that countries that develop the needs of their military forces with 5G supported AR/VR will turn the balance of power in the battlefield more in their favor in the near future.

### Kaynakça

#### Kitaplar

- Burdea, G.C. ve Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons.
- Creveld, M. V. (2010). *Technology and war: From 2000 BC to the present*. Simon and Schuster.
- Endsley, M. R. (2016). *Designing for situation awareness: An approach to user-centered design*. CRC press.
- Fairclough, G. (2018). Savaşın Değişen Karakteri. Özel, Y, İnaltekin, E., *Savaşın Değişen Modeli: Hibrit Savaş*. İstanbul: Milli Savunma Üniversitesi Basımevi.
- Gutiérrez, M., Vexo, F. ve Thalmann, D. (2008). *Stepping into Virtual Reality*. London: Springer London.
- Karlsson, M. (2015). Challenges of designing Augmented Reality for Military use.
- Vego, M.N. (2009). *Joint Operational Warfare: Theory and Practice*. Government Printing Office.
- Wassom, B. D. (2015). Augmented Reality Law, Privacy, and Ethics. *Law, Society, and Emerging AR*. Elsevier.

**Makaleler**

- Amburn, C.R., Vey, N. L., Boyce, M.W. ve Mize, M.J.R. (2015). The Augmented Reality Sandtable (ARES). *Technical report, US Army Research Laboratory*.
- Azuma, R.T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Brown, M. ve Lowe, D. G. (2007). Automatic panoramic image stitching using invariant features. *International journal of computer vision*, 74(1), 59-73.
- Caudell, T.P. ve Mizell, D.W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Hawaii international conference on system sciences*, 659-669.
- Carroll, M., Surpris, G., Strally, S., Archer, M., Hannigan, F., Hale, K. ve Bennett, W. (2013, July). Enhancing HMD-based F-35 training through integration of eye tracking and electroencephalography technology. *International Conference on Augmented Cognition*, Springer, Berlin, Heidelberg, 21-30.
- Chambers, C.M., Curry, D., McGinn, L.A. ve Merillat, D. (2020). Processes systems and methods for improving virtual and augmented reality applications. *U.S. Patent No. 10,531,127*, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Chewning, E.G. ve Harrell, A.M. (1990). The effect of information load on decision makers'cue utilization levels and decision quality in a financial distress decision task. *Accounting, Organizations and Society*, 15(6), 527-542.
- Çakıroğlu, Ü. ve Gököğlü, S. (2019). Development of fire safety behavioral skills via virtual reality. *Computers & Education*, 133, 56-68.
- Draper, M.H., Calhoun, G.L., ve Nelson, J. (2006). Evaluation of synthetic vision overlay concepts for UAV sensor operations: landmark cues and picture-in-picture. *Human Factors and Ergonomic Society 50th Annual Meeting*, San Francisco, CA
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, 37(1), 32-64.

- Eppler, M. J. ve Mengis, J. (2004). The concept of information overload: A review of literature from organization science, accounting, marketing, MIS, and related disciplines. *The information society*, 20(5), 325-344.
- Fuchs, H. ve Ackerman, J. (1999). Displays for augmented reality: Historical remarks and future prospects. *Mixed Reality Merging Real and Virtual Worlds*, 1, 31-40.
- Gobbetti, E. ve Scateni, R. (1998). Virtual reality: past, present and future. *Stud Health Technol Inform*, 58, 3-20.
- Gorski, B. ve Brian P. (2017). Military Equipment Framework: Synthetic Training Environment. *Leavenworth, Kan.: MITRE*, MP160204.
- İçten, T. ve Bal, G. (2017a). Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 401-414.
- İçten, T. ve Bal, G. (2017b). Artırılmış gerçeklik üzerine son gelişmelerin ve uygulamaların incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 111-136.
- Jin, Y., Ma, M. ve Liu, Y. (2020, July). Interactive Narrative in Augmented Reality: An Extended Reality of the Holocaust. *International Conference on Human-Computer Interaction*, Springer, Cham, 249-269.
- Ling, H. ve Rui, L. (2016, August). VR glasses and leap motion trends in education. *2016 11th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, IEEE, 917-920.
- Livingston, M., Rosenblum, L., Julier, S., Brown, D., Baillot, Y., Swan, J., Gabbard, J. ve Hix, D. (2002). An augmented reality system for military operations in urban terrain. *Proceedings of the Interservice / Industry Training, Simulation, & Education Conference*, Orlando, Florida, 1-8.
- Livingston, M.A., Rosenblum, L.J., Brown, D.G., Schmidt, G.S., Julier, S.J., Baillot, Y., Swan, E., Ai, Z. ve Maassel, P. (2011). Military applications of augmented reality. *Handbook of Augmented Reality*, Springer, New York, NY, 671-706.

- Mekni, M. ve Lemieux, A. (2014). Augmented reality: Applications, challenges and future trends. *Applied Computational Science*, 205-214.
- Meydan, C.H. (2015). Dünya Ordularında Yeniden Yapılanmanın Kaynakları Üzerine Bir İnceleme. *Güvenlik Stratejileri Dergisi*, 11(21), 1-38.
- Milgram, P. ve Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, 77(12), 1321- 1329.
- McCartney, R., Yuan, J. ve Bischof, H.P. (2015). Gesture Recognition with the Leap Motion Controller. *Proceedings of the International Conference on Image Processing, Computer Vision, & Pattern Recognition*, Sydney, Australia.
- Ren, K., Lou, W. ve Zhang, Y. (2008). LEADS: Providing location-aware end-to-end data security in wireless sensor networks. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 7(5), 585-598.
- Uluyol, Ç. (2016). Bir Arttırılmış Gerçeklik Uygulamasının Geliştirilmesi ve Öğrenci Görüşleri. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 20(3), 793-823.
- Vyas, D. A. ve Bhatt, D. (2017). Augmented Reality (AR) Applications: A survey on Current Trends, Challenges, & Future Scope. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5), 2724-2730.
- You, X., Zhang, W., Ma, M., Deng, C. ve Yang, J. (2018). Survey on urban warfare augmented reality. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2), 46.
- Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B. ve Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors*, 13(5), 6380-6393.
- Wang, Y., Zhai, G., Chen, S., Min, X., Gao, Z., & Song, X. (2019). Assessment of eye fatigue caused by head-mounted displays using eye-tracking. *Biomedical engineering online*, 18(1), 111.

---

### Web Kaynakları

- Azuma, R.T. (2018). AR, VR and MR One Day Industry Conference. 25 Eylül 2020'de <https://www.youtube.com/watch?v=kuAuQLUim10&feature=youtu.be> adresinden alınmıştır.
- Flores, P. (2013). Virtual simulators provide realistic training. 20 Kasım 2020'de <https://www.jbmdl.jb.mil/News/Article-Display/Article/243602/virtual-simulators-provide-realistic-training/> adresinden alınmıştır.
- Harper, J. (2016). Army to Build Synthetic Training Environments. 19 Kasım 2020'de <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2016/11/17/army-to-build-synthetic-training-environments> adresinden alınmıştır.
- Kipman, A. (2019). Controversy around HoloLens 2 Field of View continues. 12 Ekim 2020'de <https://mspouser.com/controversy-around-hololens-2-field-of-view-continues/> adresinden alınmıştır.
- Millisavunma.com (2020). Songar Silahlı Drone Sistemi 20 Kasım 2020'de <http://www.millisavunma.com/songar-silahlı-drone-sistemi/> adresinden alınmıştır.
- Palladino, T. (2019). Airbus Previews Military Sandbox App for HoloLens. 20 Kasım 2020'de <https://hololens.reality.news/news/airbus-previews-military-sandbox-app-for-hololens-0203995/%C2%A0> adresinden alınmıştır.
- STM ThinkTech, (2019). Artırılmış Gerçeklik ve Harekât Sahasında Kullanımı. 18 Kasım 2020'de <https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=228> adresinden alınmıştır.
- STM ThinkTech, (2018). *Askerî Eğitimde Son Teknolojinin Kullanımı*, 12 Eylül 2020'de <https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=190> adresinden alınmıştır.
- Warren, R. (2016). Microsoft's HoloLens could power tanks on a battlefield. 29 Kasım 2020'de <https://www.theverge.com/2016/11/3/13507278/microsoft-hololens-military-helmet-concept> adresinden alınmıştır.