



**Elektronik Devreler için Artırılmış Gerçeklik Tabanlı  
Platform Geliştirilmesi**

**Sanaa IRIQAT**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Elektronik Devreler için Artırılmış Gerçeklik Tabanlı Platform Geliştirilmesi**

**Sanaa IRIQAT**

0000-0002-8360-1500

Prof. Dr. Fahri VATANSEVER  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020  
**Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Elektronik Devreler için Artırılmış Gerçeklik Tabanlı Platform Geliştirilmesi

**Sanaa IRIQAT**

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Fahri VATANSEVER

Mühendislik bilimi, uygulanabilir perspektifi nedeniyle diğer bilimlerden farklıdır. Bir mühendis için en önemli şey sadece teorik kavramları anlamak değil, aynı zamanda bu teorik bilgiyi gerçek hayatta uygulama becerisine sahip olmaktır. Mühendislik eğitimindeki teorik bilgilerin, daha iyi anlaşılması, kavranabilmesi ve pekiştirilebilmesi için mutlaka pratik uygulamalarla desteklenmesi gerekmektedir. Bu da eğitim ortamlarındaki laboratuvar uygulamalarıyla mümkün olmaktadır. Ancak yeterli altyapı ve donanımların olmaması, öğrenci sayılarının fazlalığı gibi nedenlerden dolayı laboratuvar kısımlarında sıkıntılar yaşanabilmektedir. Bu nedenle - uygulama kısımlarında - alternatif arayışlara gidilmektedir.

Teknolojideki hızlı gelişmeler, her alanda kendini göstermektedir. Özellikle bilgisayar dünyasındaki ilerlemeler sonucunda "bilgisayar destekli mühendislik", "bilgisayar destekli tasarım", "bilgisayar destekli eğitim" gibi kavramlar sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında "artırılmış gerçeklik", "sanal gerçeklik", "karma gerçeklik" gibi gerçeklik türleri ve bunlarla ilişkili, birçok alanda kullanılan gerçeklik uygulamaları geliştirilmiştir.

Bu tezde, elektronik devreler alanındaki temel yapılardan olan işlemsel yükselteçler için artırılmış gerçeklik tabanlı bir platform geliştirilmiştir. Sadece akıllı telefon ve breadboard gereken bu platformda temel işlemsel yükselteçli devre yapılarından olan eviren-evirmeyen yükselteç, toplama-fark, integral-türev devresi gibi uygulamalar - zengin görsel destekli (giriş-çıkış işaretleri, kullanıcı tanımlı devre elemanları, bunların bağlantıları, breadboard üzerindeki yerleşimleri vb.) olarak - hızlı ve kolay şekilde yapılabilmektedir. Prensipte olarak akıllı telefon, elektronik devre işaretleyicisinin bir resmini çekmekte ve dijital olarak orijinal görüntü ile karıştırılmış bir sanal nesnelere katmanı oluşturmaktadır. Geliştirilen artırılmış gerçeklik platformu; etkileşimli olarak devre elemanlarını belirlemeyi, devre kurmayı, devrenin breadboard üzerindeki yerleşimini, devre bağlantılarını ve grafiksel olarak giriş-çıkış işaretlerini göstermektedir. Böylece tasarlanan platform; artırılmış gerçekliği, etkileşimli bir kullanıcı kılavuzu olarak sunmakta, öğrencilere veya bu alanda çalışan kişilere işlemsel yükselteçli devrelerin analiz ve sentezi için rehberlik etmekte, zengin görsel içeriğiyle yeni ve ilginç bir alternatif uygulama/öğretme yolu olarak kullanılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Artırılmış gerçeklik, elektronik devre, işlemsel yükselteç, eğitim teknolojisi

2020, viii + 102 sayfa.

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

The Development of Augmented Reality Based Platform for Electronic Circuits

**Sanaa IRIQAT**

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Fahri VATANSEVER

Engineering science differs from other sciences because of its applicable perspective. The most important thing for an engineer is not only to understand theoretical concepts, but also to have the ability to apply this theoretical knowledge in real life. In order for the theoretical knowledge in engineering education to be better understood, grasped and reinforced, it must be supported by practical applications. This is possible with laboratory applications in educational environments. However, there may be problems in the laboratory parts due to reasons such as the lack of sufficient infrastructure and equipment, and the large number of students. For these reasons, alternatives are sought in the application sections.

Rapid developments in technology show themselves in every field. Concepts such as "computer aided engineering", "computer aided design" and "computer aided education" are frequently used, especially as a result of the advances in the computer world. In addition, reality types such as "augmented reality", "virtual reality", "mixed reality" and related reality applications used in many fields have been developed.

In this thesis, an augmented reality-based platform has been developed for operational amplifiers, one of the basic structures in the field of electronic circuits. In this platform, where only a smart phone and a breadboard are required, applications such as inverting-non inverting amplifiers, summing-differential, integrator-differentiator circuits, which are among the basic operational amplifier circuit structures - with rich visual support (input-output signals, user-defined circuit elements, circuit connections, circuit placements on the breadboard, etc.) - can be done quickly and easily. Principally, the smartphone takes a picture of the electronic circuit marker and digitally forms a layer of virtual objects that are mixed with the original image. Thus designed platform; presents augmented reality as an interactive user guide, guides students or people working in this field for the analysis and synthesis of operational amplifier circuits, and makes them use it as a new and interesting alternative application / teaching way with its rich visual content.

**Key words:** Augmented reality, electronic circuits, op-amp amplifiers, educational technology

**2020, viii + 102 pages.**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Kaynak Araştırması .....	4
2.2. Kuramsal Temeller.....	8
2.2.1. Gerçeklik.....	8
2.2.2. Sanallık .....	9
2.2.3. Gerçeklik-Sanallık Sürekliliği .....	9
2.2.4. Sanal Gerçeklik (SG) .....	10
2.2.5. Artırılmış Gerçeklik (AG).....	12
2.2.6. Sanal Artırılmış Gerçeklik .....	14
2.2.7. Teknolojik Gelişmeler .....	17
2.2.8. Artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik karşılaştırması.....	19
2.2.8.1. AG ve SG'nin benzerlikleri.....	19
2.2.8.2. AG ve SG arasındaki farklar.....	19
2.2.8.3. AG'nin Avantajları .....	19
2.2.8.4. SG'nin Avantajları.....	20
2.2.8.5. AG'nin Dezavantajları.....	20
2.2.8.6. SG'nin Dezavantajları .....	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	25
3.1. Yazılım Geliştirme Araçları.....	25
3.2. Yazılım Araçlarının Kurulumu .....	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	68
4.1. Uygulamalar.....	68
5. SONUÇ .....	94
KAYNAKLAR .....	95
ÖZGEÇMİŞ .....	102

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Gerçeklik-sanallık sürekliliği.....	10
Şekil 2.2. Karma gerçeklik türleri.....	10
Şekil 2.3. Sanal ortam kurulumuna bir örnek: Kameralar (A), katılımcının odadaki konumunu gösteren bir optik sensörü (B) izler. Bir ivmeölçer (C) katılımcının kafa hareketleri hakkında bilgi toplar. Bu bilgi, odanın nasıl oluşturulduğunu ve katılımcının başa takılan ekranda (E) gördüklerini belirleyen bilgisayara (D) iletilir (Fox ve ark. 2009). .....	12
Şekil 2.4. Kullanıcı modelleri almak, taşımak, bırakmak ve yok etmek için gerçek bir kürek kullanır.....	13
Şekil 2.5. Optik transparan HMD kavramsal diyagramı.....	14
Şekil 2.6. Hughes Electronics tarafından üretilen iki optik şeffaf HMD.....	14
Şekil 2.7. Video transparan HMD kavramsal diyagramı.....	15
Şekil 2.8. Gerçek bir video izleme HMD'si.....	16
Şekil 2.9. Monitör tabanlı AG kavramsal diyagramı.....	17
Şekil 3.1. Vuforia SDK Unity eklentisi .....	26
Şekil 3.2. Unity'yi indirmek ve yüklemek .....	27
Şekil 3.3. Vuforia lisans anahtarı oluşturma.....	28
Şekil 3.4. Yeni bir Unity projesi oluşturma .....	28
Şekil 3.5. Çalışılacak mobil cihaz türünü seçme .....	29
Şekil 3.6. Vuforia motorunu etkinleştirme .....	30
Şekil 3.7. Vuforia motor oyun nesnelere (Vuforia Engine Game Objects).....	30
Şekil 3.8. Vuforia motor yapılandırmasının açılması (Open Vuforia Engine Configuration).....	31
Şekil 3.9. Lisans anahtarı eklenmesi.....	32
Şekil 3.10. Veritabanı eklenmesi .....	32
Şekil 3.11. Veritabanı oluşturulması.....	33
Şekil 3.12. Veritabanının açılması .....	33
Şekil 3.13. Görüntü hedefleri eklenmesi.....	34
Şekil 3.14. Hedefin türünü seçimi.....	34
Şekil 3.15. Resim hedeflerini yüklenmesi .....	35
Şekil 3.16. Veri tabanı indirilmesi .....	35
Şekil 3.17. Veri tabanını içe aktarma.....	36
Şekil 3.18. Sahneye görüntü hedefleri ekleme.....	37
Şekil 3.19. Eklenen görüntü hedefi.....	37
Şekil 3.20. a) İlk sinyal; $R1 = 10k\Omega$ , $R2 = 20k\Omega$ . b) İkinci Sinyal; $R1 = 10k\Omega$ , $R2 = 50k\Omega$ . .	38
Şekil 3.21. Sahneye bir dörtlü ekleme .....	39
Şekil 3.22. Sahneye dijital içerik ekleme.....	39
Şekil 3.23. Sahneye bir panel ekleme .....	40
Şekil 3.24. SF penceresini ekleme .....	40
Şekil 3.25. İlk panele görüntü ekleme .....	41
Şekil 3.26. İlk panele metin ekleme.....	41
Şekil 3.27. Eklenen metni ayarlama .....	42
Şekil 3.28. İlk panel .....	42
Şekil 3.29. Bir açılır liste oluşturmak .....	45
Şekil 3.30. Dirençlerin değerlerini eklemek .....	46

Şekil 3.31. Açılır liste .....	46
Şekil 3.32. Inspector penceresinde sinyal1, sinyal2 ve açılır listeyi tanımlama.....	48
Şekil 3.33. Sahne denetleyicisi olay işleyicisini seçme .....	48
Şekil 3.34. Kullanılacak sınıfı belirtme .....	49
Şekil 3.35. Ana kart oluşturma .....	50
Şekil 3.36. Tahtaya doku ekleme.....	50
Şekil 3.37. Çizim Panelinin Hazırlanması .....	51
Şekil 3.38. Direncin kenarının çizilmesi.....	51
Şekil 3.39. Çizimden model oluşturma.....	52
Şekil 3.40. Malzemenin oluşturulması.....	54
Şekil 3.41. Direnç telleri/bacaklarını oluşturma .....	55
Şekil 3.42. Direnci klonlama .....	56
Şekil 3.43. IC'yi oluşturma .....	56
Şekil 3.44. IC bacaklarının modellenmesi .....	59
Şekil 3.45. IC parçalarını gruplama .....	60
Şekil 3.46. Kablo oluşturma.....	61
Şekil 3.47. Tel kalkan kapağı oluşturma.....	62
Şekil 3.48. Diğer kabloları oluşturma.....	62
Şekil 3.49. Modelleri yerinde yerleştirmek.....	63
Şekil 3.50. Metin oluşturma.....	63
Şekil 3.51. 3B modeli Unity'ye aktarmak .....	64
Şekil 3.52. 3B modeli breadboard üzerinde doğru bir şekilde yerleştirmek.....	64
Şekil 3.53. Buton ekleme .....	65
Şekil 4.1. Uygulamanın ana arayüzü .....	68
Şekil 4.2. Eviren yükseltecin devre şeması.....	69
Şekil 4.3. $R1 = 10K\Omega$ , $R2 = 20K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri .....	70
Şekil 4.4. $R1 = 10K\Omega$ , $R2 = 50K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri .....	70
Şekil 4.5. Eviren yükselteç devresinin 3D modeli.....	71
Şekil 4.6. Eviren yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı .....	71
Şekil 4.7. Eviren yükseltecin açıklaması .....	72
Şekil 4.8. Evirmeyen yükseltecin devre şeması.....	72
Şekil 4.9. $R1 = 100K\Omega$ , $R2 = 500K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri .....	74
Şekil 4.10. $R1 = 50K\Omega$ , $R2 = 500K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri .....	75
Şekil 4.11. Evirmeyen yükselteç devresinin 3D modeli .....	75
Şekil 4.12. Evirmeyen yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı .....	76
Şekil 4.13. Evirmeyen yükseltecin açıklaması .....	76
Şekil 4.14. Toplama yükseltecin devre şeması .....	77
Şekil 4.15. $R1 = 500K\Omega$ , $R2 = 1000K\Omega$ , $Rf = 1000K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri .....	78
Şekil 4.16. $R1 = 500K\Omega$ , $R2 = 100K\Omega$ , $Rf = 1000K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri .....	78
Şekil 4.17. Toplama yükselteç devresinin 3D modeli .....	79
Şekil 4.18. Toplama yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı.....	79
Şekil 4.19. Toplama yükseltecin açıklaması.....	80
Şekil 4.20. Çıkarma yükseltecin devre şeması.....	80
Şekil 4.21. $R1 = 500K\Omega$ , $R2 = 500K\Omega$ , $R2 = 1000K\Omega$ , $Rf = 1000K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri .....	82
Şekil 4.22. $R1 = 50K\Omega$ , $R2 = 50K\Omega$ , $R2 = 1000K\Omega$ , $Rf = 1000K\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri. 83	83

Şekil 4.23. Çıkarma yükselteç devresinin 3D modeli.....	83
Şekil 4.24. Çıkarma yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı.....	84
Şekil 4.25. Çıkarma yükseltecin açıklaması.....	84
Şekil 4.26. İntegral yükseltecin devre şeması.....	85
Şekil 4.27. $R = 1M\Omega$ , $C = 1\mu F$ ile giriş ve çıkış sinyalleri.....	87
Şekil 4.28. $R = 50M\Omega$ , $C = 10\mu F$ ile giriş ve çıkış sinyalleri.....	87
Şekil 4.29. İntegral yükselteç devresinin 3D modeli.....	88
Şekil 4.30. İntegral yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı.....	88
Şekil 4.31. İntegral yükseltecin açıklaması.....	89
Şekil 4.32. Türev yükseltecin devre şeması.....	89
Şekil 4.33. $C = 1\mu F$ , $R = 1M\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri.....	91
Şekil 4.34. $C = 1\mu F$ , $R = 20M\Omega$ ile giriş ve çıkış sinyalleri.....	91
Şekil 4.35. Türev yükselteç devresinin 3D modeli.....	92
Şekil 4.36. Türev yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı.....	92
Şekil 4.37. Türev yükseltecin açıklaması.....	93

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Gerçeklik türlerinin genel karşılaştırması.....	21
Tablo 3.1. Kullanılan yükselteç devreleri .....	66



## 1. GİRİŞ

Teknolojideki hızlı gelişmeler, hayatın her alanına yansımaktadır. Bu gelişmelerden birisi de insanın gerçeklik algısını değiştiren uygulamalardır. Artırılmış, sanal, karma gerçeklik gibi teknolojiler sayesinde gerçek dünya ile sanal dünyanın entegrasyonu oluşturulmakta ve insanoğluna birçok yararlar sunmaktadır. Günümüzde bu teknolojilerin kullanımı birçok alanda (mühendislik, sağlık, eğitim, vb.) artmaktadır.

Artırılmış gerçeklik (AG), gerçeklik ve sanallık arasında bulunan bir bilgisayar bilimi alanıdır. Artırılmış gerçeklik, bilgisayar tarafından üretilen üç boyutlu (3B) sanal nesnelere, grafiklere, seslere, metinlere ve videoları ekleyerek üç boyutlu gerçek dünya ortamlarını değiştirme teknolojisidir (Azuma ve ark. 2001). Başka bir tanımla, AG dijital verilerin kullanımı ile fiziksel dünyaya ilişkin gelişmiş (artırılmış) bir görünüm sağlamaktır (Milgram ve ark. 1994).

AG teknolojisi son yıllarda ortaya çıkmış ve birçok alanda çok yönlülüğünü kanıtlamıştır. Artırılmış gerçeklik uygulamaları, askeri ve tıbbi amaçlardan eğlence, sanat, eğitim, mimari gibi birçok disipline kadar neredeyse her alanda kullanılmaktadır (Baloch ve ark. 2018).

Modern çağda, insanların çeşitli teknolojileri kabul etme ve kullanma yeteneği hem endüstriyel hem de eğitim alanında hızlı bir şekilde artmaktadır. İnsanları, ihtiyaç duydukları özel bilgi ve beceriler konusunda eğitmenin birçok farklı yolu vardır. Sınıfta işlenen dersler, ders kitapları, bilgisayarlar, el cihazları ve diğer elektronik aygıtlar yaygın eğitim yöntemleridir. Bir kişinin teknolojik bilgisiyse doğru orantılı olarak eğitimde yeniliği seçme eğilimi o kadar artmaktadır. Çok fazla bilginin bulunduğu hızla değişen bir toplumda, hem okulda hem de iş ortamlarında ana yeterliliğe ulaşmak için doğru zamanda ve yerde bilgi benimsemeye ve uygulamaya ihtiyaç vardır. AG, eğitim ve öğretimin yerini ve zamanlamasını önemli ölçüde değiştiren bir teknolojidir (Lee 2012).

Eğitim alanı, öğretim yöntemini iletirmek için yeni eğilimler uygulamaya devam etmektedir. Modern dünyanın bugünkü eğilimlerinden birisi de öğrenme sürecini kolaylaştırmak ve onu mümkün olduğunca eğlenceli ve kullanışlı hale getirmek için artırılmış gerçeklik uygulamaları oluşturmaktır. Öğrencilerin öğrenme ve anlama, bilgisayar tarafından üretilen grafiklerle etkili etkileşimleriyle geliştirilebilir (Tuli ve Mantri 2015).

Özellikle, mühendislik alanındaki eğitim, uygulanabilir perspektifi nedeniyle diğer bilimlerden farklıdır. Mühendislik öğrencilerinin birçoğunda pratik uygulama eksikliği vardır, çünkü laboratuvarlarda öğrenmek için gereken zamanı harcamamakta veya çok sayıda öğrenci nedeniyle öğretmenlerden yeterli destek alamamaktadırlar. Bu sorunu çözmeye çalışan birçok çalışma vardır ve bu çalışmalardan en önemlilerinden birileri sanal ve uzak laboratuvarlardır. Öğrenciler laboratuvarda olmaya gerek kalmadan sanal olarak veya uzaktan deneyler yapabilmektedir (Canfora ve ark. 2004).

Mühendislik öğrencileri, teorik bilgileri dünyadaki tüm okullarda pratik kullanıma uygulamakla yükümlüdür. Pratik beceriler, öğrencilere yardımcı olmak için kullanım kılavuzları ve öğretmenler tarafından laboratuvar tesislerinde yapılan uygulamalı deneylerle artırılmaktadır (Benmohamed ve ark. 2007).

Bu tez, elektronik devrelerin öğretilmesi için AG tabanlı bir platformun geliştirilmesi ve otomatikleştirilmesine yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Geliştirilen platform; etkileşimli/interaktif bir kullanım kılavuzu olarak AG sunarak öğrencilerin elektronik devreler oluşturmalarına rehberlik etmek, böylece öğrencilerin ilgisini ve dikkatini artırmak ve laboratuvar eğitmenlerinin iş yükünü azaltmak için alternatif bir yol sunmaktadır. Önerilen sistem, işlemsel yükselteç (op-amp) devre işaretleyicilerinin otomatik olarak tanımlanmasını sağlamaktadır. Temel işlemsel yükselteçli devreleri (eviren, evirmeyen, toplama, çıkarma, türev, integral) tanımlamak ve uygulamalar/eğitimler gerçekleştirebilmek için sadece bir akıllı telefon ve bir breadboard yeterlidir. Akıllı telefon, elektronik devre işaretleyicisinin resmini çekerek orijinal görüntü ile karıştırılan bir sanal nesne katmanını sayısal (dijital) olarak oluşturmaktadır. Böylece etkileşimli olarak seçilen devre elemanı değerlerine göre elemanların bağlantıları, devre yapısı, giriş-çıkış bağıntıları ve grafiksel olarak da giriş-çıkış işaretleri görüntülenmektedir.

Bu tez çalışmasının araştırma soruları şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Mühendislik öğrencileri, eğitici/öğretici rehberliği olmadan tüm deneyleri geliştirilmiş AG platformunu kullanarak gerçekleştirebilir mi?
- Mühendislik öğrencileri, geliştirilen AG platformunu kullanarak pratik becerilerini geliştirebilir mi?

Tezin araştırma hedefleri ise

- Artırılmış gerçekliği, bu alandaki gelişmeleri ve teknolojileri anlamak ve kullanmak,
- AG tabanlı uygulamalar geliştirebilmek,
- İşlemsel yükselteçli devreler için AG tabanlı platform tasarlamak ve geliştirmek,
- AG prototipini uzmanlar aracılığıyla değerlendirmek ve geliştirmek,
- Öğrencilerin, anlamalarını artırmak için deneyler yaparak laboratuvarında etkili bir şekilde etkileşime girmelerine yardımcı olmak,
- Daha teşvik edici öğrenme materyalleri sağlayarak öğretmenin misyonunu basitleştirmek şeklinde sıralanabilir.



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Kaynak Araştırması

Bu bölüm, öncelikle eğitim ve okul öğreniminde AG'nin kullanımını ve modern teknolojiye diğer AG uygulamalarına genel bir bakış sunmaktadır.

Cruz ve Cortez (2019) çalışmalarında artırılmış gerçekliği elektronik laboratuvarlarda kullanmaya çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada, mantık kapısı entegre devrelerinin (IC) yeterli şekilde ve kolay öğrenilebilmesi için akıllı telefon tabanlı artırılmış gerçeklik (AG) sistemini önermektedirler. Önerilen sistem, temel mantık işlemlerini sağlayan IC'lerin otomatik olarak tanımlanmasına izin vermektedir. Konunun anlaşılmasında önerilen sistem gayet öğreticidir. İşaretsiz paradigması, IC'leri tipik bir devrede tanımlar ve şu üç nesneyi yerleştirir: IC tanımlaması, mantık diyagramı bilgisi ve pin bilgileri. Son olarak, elde edilen mantık kapısının görüntüsünü akıllı telefon ekranında görüntülenmektedir.

Onime ve ark. (2015) mühendislik öğrencileri için laboratuvarlarda mikro elektronik öğretiminin etkili bir yolu olarak bir AG uygulaması önermektedir. Tasarlanan AG uygulaması, öğrencilerin amaçlanan öğrenme hedefinin, bir LED titreştirmek (yakıp söndürmek) için önceden üretilmiş panoyu (Seeeduino stalker v2.3) kullanarak deneyi verimli bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlamaktadır. Bu AG uygulaması, gerçek panoyu çekmek ve sanal bileşenleri (LED ve direnç) göstermek için bir video kamera sensörü kullanımının yanında foto gerçekçi bir işaretleyici olarak Seeeduino stalker v2.3'ün düşük maliyetli bir 2D fotoğraf maketi kullanılarak geliştirilmiştir. Öğrenci, artırılmış ortamda bileşenleri dokunarak panoya bağlamaktadır. Her iki bileşen de panoya eklendikten sonra LED yanıp sönmeye başlamakta ve yeni bir pencere de örnek kod programlayıcısını göstermektedir.

Odeh ve ark. (2013) uzak laboratuvarlarda artırılmış gerçekliğin uygunluğunu tartışmaktadırlar. Uzak AG laboratuvarı, öğrencilerin başka bir yerde bulunan deney düzeneği ile mühendislik deneylerini etkileşim kurmalarını ve gerçekleştirmelerini sağlamaktadır. Öğrenciler laboratuvarın ekipmanlarına internet üzerinden kolayca erişebilmekte ve kontrol edebilmektedirler. Beheshti ve ark. (2017) çalışmasında ise devre yapmak, devreden akan elektronları gözlemlemek ve simüle etmek için artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanılmıştır. Elektron simülasyonuna erişerek çocukların elektrik kavramlarını daha iyi anlayabildiklerini gözlemlenmiştir.

Mühendislik öğrencilerinin eğitimini kolaylaştırmak için klasik sınıflarda sağlanan gerçek kâğıtlara veya kitaplara ek alternatiflere ihtiyaç duymaktadır. Çalışma, AG kullanarak yeni ve etkileşimli bir ICT aracının tasarımını ve geliştirilmesini araştırmaktadır. Mühendislik öğrencileri için AG Sınıfları ve AG Laboratuvarı konseptini içermektedir. Bununla birlikte, sanal bir sınıf olan AG Sınıfı, öğrencinin akıllı telefonunda bir mobil uygulama şeklinde bulunmakta ve laboratuvar deneyleri için AG Laboratuvarları, çıktısının masaüstünde veya projektörde de görülebileceği yerlerde de sunulmaktadır (Phade ve ark. 2019).

Narumi ve ark. (2015) elle çizilmiş, basılı ve hibrit iletken mürekkep modellerini tanıyarak ve analiz ederek prototip iletken mürekkep devrelerindeki hataları algılama ve anlama sorununu çözen bir ConductAR aracı sunmaktadırlar. Kullanıcılar, ekrandaki artırılmış gerçeklik stili etkileşimini kullanarak devre işlemlerini anlayabilmekte ve geliştirebilmektedir. ConductAR'ın önemli bir unsuru, kullanıma hazır bir PC veya tablete bağlı bir kamera kullanarak bir devrenin direncini hesaplama yeteneğidir.

Chan ve ark. (2013) elektronik için artırılmış bir öğrenme platformu olan LightUp'ın tasarımını sunmuşlar ve değerlendirmişlerdir. LightUp çocukların mühendislik ve elektroniği keşfetmesine yardımcı olmakta, devreleri oluşturmak için birbirlerini manyetik olarak bağlayan bloklara monte edilen elektronik bileşenlerden (teller, lamba, motor, mikrodenetleyici gibi) oluşmaktadır. Ayrıca, devre davranışı hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu araştırmada, hesaplama yeteneklerini elektronik laboratuvarında (breadboard gibi) yaygın olarak kullanılan fiziksel nesnelere katmayı ve öğrencilere yardımcı olmak için AG mobil uygulamasından yararlanmayı hedeflenmektedir. Kavramın bir kanıtı olarak iki çalışma prototipi önerilmiştir. Bunlar (i) AG tabanlı laboratuvar el kitabı ve devre oluşturma uygulaması ve (ii) Akıllı Breadboard (Srivastava 2016).

Ortaokullarda elektriğin temellerinin daha iyi kavranması ve popülaritesinin artırılması amacıyla doğru akım elektrik devreleri (DC devreleri), tahrik akımı, devre bileşenleri vb. ile ilgili bazı temel kavramların anlaşılmasına katkıda bulunmak için bir AG uygulaması geliştirilmiştir. AG uygulaması kullanımının etkili olduğu kuvvetle fark edilmiştir. Sınıf etkinliklerine öğrenci katılımını motive etme potansiyeli ve öğrencilerin AG kullanımında öz-yeterlik oluşturmalarını sağlamaktadır (Restivo ve ark. 2014).

Tuli ve Mantri (2015) öğrencilerin öğrenme deneyimini geliştirmek için AG'nin kimya laboratuvarlarında nasıl kullanılabilceğini göstermektedirler. Sunulan artırılmış gerçeklik uygulaması kimya laboratuvarında eğitimci/öğretmen çalışmalarını desteklemektedir. Önerilen uygulama, laboratuvarında kimyasalların yanlış kullanımı nedeniyle öğrencileri herhangi bir zararlı etki veya reaksiyon konusunda uyararak kimyayı kolay ve etkileşimli hale getirmektedir. Diğer bir makalede ise AG'nin getirdiği zorlukları ve gelecekteki uygulama önerileri ele almaktadır (FitzGerald ve ark. 2012).

Bir diğer makalede ise soyut düşünce gerektiren geometrik konuları anlamak, kâğıt, kalem ve cetvel gibi araçları kullanmak, kavram ve kuralların içselleştirilmesi ve görselleştirilmesi için yeterli olmaması, bu nedenle, geometri konularının daha iyi öğretilmesi ve soyut kavramların somutlaştırılabilmesi için eğitim teknolojilerinde yeni yaklaşımların izlenmesi ve kullanılma gereksinimi incelenmiştir. Bu konuyla ilgili İbili ve Şahin (2013) çalışmalarında artırılmış gerçeklik kullanarak 6. sınıf matematik kitabı geometrik nesnelere zenginleştirilmesiyle 3D bir geometri kitabı hazırlamışlardır. Artırılmış gerçeklik geometri kitabı (ARGE3D) yazılımı için Visual Studio 2012 platformu ve Slartoolkit'den faydalanılmıştır.

Diğer bir çalışmada ise bulmaca oyunları ile etkileşimleri yoluyla öğrencilerin öğrenme ve algılama stillerini analiz etmektedirler (Feldman ve ark. 2014). Kesim ve Ozarslan (2012) AG teknolojilerini ve mevcut herhangi bir kitabı yayımlandıktan sonra artırılmış bir gerçeklik baskısına dönüştürme olasılığını tartışarak ders kitaplarını dinamik bir bilgi kaynağı haline getirilmesini değerlendirmiştir. Bu şekilde, bilgisayar arka planı olmayan kişiler hala zengin bir etkileşimli deneyime sahip olabileceği öne sürülmüş ancak bunun teknik detayları incelenmemiştir. Başka bir çalışmada, çocukların hayal gücünü ve erken öğrenmelerini geliştirmek için AG teknolojisini kullanan eğitici sihirli oyuncakların (EMT) kullanılması önerilmektedir (Yılmaz 2016).

Lee (2012) çalışmasında artırılmış gerçeklik, eğitim, öğretim ve iş dünyası için nasıl geçerli olduğu ve eğitimin geleceği üzerindeki potansiyel etkisi açıklanmaktadır. Juan ve Beatrice (2011) çeşitli eğitici eğlence uygulamaları sunar ve insan vücudunun içini öğrenmek için bir AG uygulaması sunar. İlk olarak, oyun çocuklardan erkek veya kadın bedenini seçmelerini ve ardından beklenen organın bulunduğu fermuarı açmalarını istemektedir. Görüntüleme için bir HMD ve bir monitör kullanılmıştır. Diğer bir çalışmanın amacı ise AG'nin hem olumlu hem de

olumsuz yönlerini ve dış mekân ortamlarına nasıl dâhil edileceğini tanımlayan pratik bir tanımını vermektedir.

Re ve ark. (2016) AG teknolojisine dayalı manuel endüstriyel görevler sırasında operatörleri desteklemek için bir prototip önermektedirler. Çalışma özellikle operatöre talimatlar sağlamak için monitör tabanlı artırılmış gerçekliğe bir çözüm olarak yoğunlaşmaktadır. Talimatlar doğrudan gerçek çalışma alanının video gösterimine yüklenmekte ve standart bir ekranda görüntülenmektedir.

Wei Kan ve ark. (2011) çalışmalarında QR kodu olarak adlandırılan iyi bilinen bir 2D barkodu incelemekte, ardından bir dizi işaretçi veya etiket tabanlı AG teknolojisini araştırmaktadırlar. Bir ürün tanıtım sistemi ve bir cep telefonu uygulaması olmak üzere iki uygulama sunulmaktadır. Ürün tanıtım sistemi için bir ürünün paketine bir QR kodu yapıştırılmaktadır. Bu sistem, müşterilerin QR Kodundaki paketin içeriğini 3D formatında görüntüleyerek ürünü görselleştirmelerini sağlamaktadır. Diğer sistem QR kodlarını ve AG'yi birleştiren bir mobil uygulamadır. Gu ve B.L. Duh (2011) çalışmanın amacı, hâlihazırda kullanılan AG kütüphanelerini ve mobil oyun motorlarını incelemek ve ardından mobil AG uygulamaları geliştirmek için mükemmel bir şekilde uygun bir 3D mobil oyun motoru geliştirmektir.

Literatürde/uygulamada görüntü güdümlü cerrahiye entegre edilen birçok artırılmış gerçeklik teknikleri önerilmektedir. Görüntü güdümlü cerrahi, görüntü görselleştirme ile ameliyat yapmak için kullanılan genel bir terimdir. Bu tip ameliyatları gerçekleştirmek için, önce küçük bir insizyonla insan vücuduna cerrahi bir alet yerleştirilmeli ve daha sonra kılavuz görüntüler ameliyat için hedeflenen alanın üzerinde görünmelidir. Bu prosedür, cerrahi prosedürlerin invazivliğini azaltmaya ve tedavide doğruluklarını ve güvenliklerini artırmaya yardımcı olmaktadır (Liao 2011). Yardımcı Teknoloji (AT) ve Rehabilitasyon Mühendisliği (RE) uygulamalarında artırılmış gerçekliğin, yaşlıları ve engelli kişileri gerçekleştirmede zorluklarla karşılaştıkları görevleri yerine getirmelerini kolaylaştırmak için önemini açıklamaktadırlar (Ong ve ark. 2011). Diğer bir çalışma, AG'nin bir cep telefonunda tıbbi cihaz verilerini yakalamak için nasıl kullanılabileceğini ve gelişmekte olan ülkelerdeki sağlık çalışanları tarafından gerçekleştirilen veri kayıt görevlerinin otomatikleştirilmesine açıklık getirmektedir (Chamberlain ve ark. 2016).

Başka bir çalışmada ise artırılmış gerçeklik platformu AG Genie ile Nesnelerin İnterneti (IoT) hizmetinin toplanmasıyla bir oyun geliştirilmiştir. IoT hizmeti, AG tabanlı uygulamalar kullanarak çevresel verileri sağlayan ekoNET platformu tarafından alınmaktadır. Geliştirilen oyun, hava kalitesinin ve sıcaklık, hava basıncı ve nem gibi diğer atmosferik parametrelerin gerçek zamanlı izlenmesini sağlamaktadır. Oyunun temel amacı, AG teknolojisini kullanarak çevresel verileri eğlenceli ve eğitici bir şekilde görselleştirerek hava kirliliği sorunlarının farkındalığını artırmaktır (Pokric ve ark. 2015). Diğer bir çalışmada ise kullanıcıların bir lazer yazıcı üzerinde görünen sanal gözlemleri görebildikleri ve makineyi nasıl onaracaklarını gösteren artırılmış gerçeklik arabirimi geliştirilmiştir (Feiner ve ark. 1993).

Chen ve ark. (2016) Otizm Spektrum Bozukluğu (ASD) olan çocukların dikkatini güçlendirmek ve çekmek için AG tabanlı bir video modelleme hikâye kitabı kullanmaktadırlar. Zihinsel Engellilik (ID) ve Otizm Spektrum Bozukluğu (ASD) olan üniversite öğrencilerine öğretmek için marker tabanlı bir AG teknolojisini etkilerini inceleyip, bir mobil uygulama kullanarak daha otantik bir şekilde farklı görüntüleme deneyimi sağlanmaktadır (McMahon ve ark. 2015).

Verilen literatürdeki hiçbir çalışma, AG uygulamaları geliştirme yöntemlerinin ayrıntılı bir açıklamasını sağlamamıştır. Bu nedenle bu eksiklikleri giderecek bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Dolayısıyla, bu tezde yapılan çalışma bu eksiklikleri ortadan kaldıracak ve ayrıca elektronik devrelerin öğretilmesi için artırılmış gerçeklik tabanlı bir platform geliştirme ve otomatikleştirme konusunda bir yaklaşım sağlayacaktır.

## **2.2. Kuramsal Temeller**

Bu alt bölümün amacı; gerçeklik, sanallık, sanal ve artırılmış gerçeklik kavramlarını ayrıntılı bir şekilde açıklamaktır.

### **2.2.1. Gerçeklik**

Birçok insan gerçekliği gözler ve diğer duyuvar aracılığıyla görülebilen veya etkileşime girebilecek şeyler olarak tanımlamaktadır. İnsanlar her şeyi göremezler, böylece gerçeklik yalnızca görülebilen veya dokunabilen şeylerle sınırlı olmamaktadır. Örneğin mikroskoplar olmadan, atomları; teleskoplar olmadan gezegenleri gibi belirli cihazlar olmadan bazı var olan gerçekleri gözlemek mümkün olmamaktadır.

İnsanlar gerçekliğin ancak duyularıyla farkına varabilmekte, bu yüzden de sadece gerçeklik algıları tanımlanabilmektedir. Bu perspektiften gerçeklik, insanın içinde bulunduğu fiziksel alana sıkışmaktadır. Dış dünyanın gerçek olmasına rağmen, gerçeklik şu anda görülebilen veya yaşanabilen şeylerle sınırlıdır, gerisi insanoğlunun hayal gücümüzün bir parçasıdır. Gerçeklik aynı zamanda zamansal bir bileşendir. Şu anda deneyimlenebilen nesnelerin gelecekte de aynı kalacağına garantisi yoktur, çünkü gelecek tahmin edilememektedir.

Gerçeklik insanın duyularıyla ve onu kişiden kişiye farklı kılan şeylerle sınırlıdır. Herkes aynı şeyleri görebilir; ancak anlamları, hisleri, tatları vb. duyulara göre değişebilmektedir (Janssen 2011).

### **2.2.2. Sanallık**

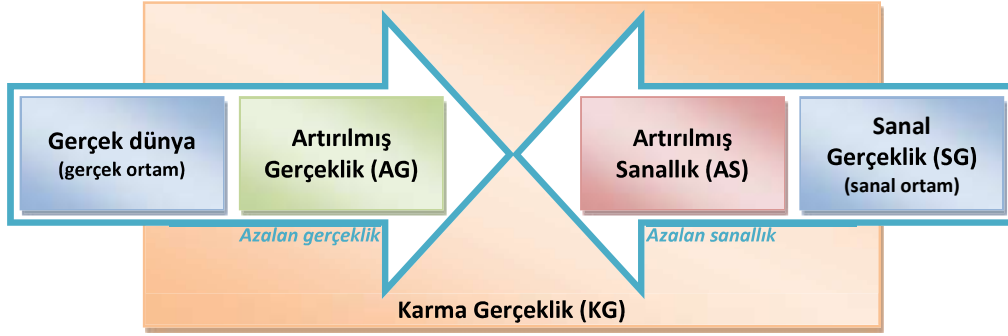
Sanallık, kelime anlamı olarak “gerçekte veya adda olmasa da yürürlükte veya özünde olan bir şey”i belirtmektedir. Sanal sözcüğü neredeyse her bilgisayar tarafından üretilen veri veya görüntü için kullanılmaktadır. Diğer yandan bilgisayar tarafından üretilen her şeyin sanal olmadığı gözden kaçırılmamalıdır.

Sanallık, kullanıcı ve bilgisayar arasında bir tür etkileşim yapılmasını sağlar. Örneğin, insan bir web sitesine göz atabilir ve herhangi bir etkileşim olmadan onu okuyabilmektedir. Aksi takdirde, sanal dünya insan komutlarına yanıt vermek ve onunla etkileşime girmek zorundadır (Janssen 2011). Sanal şey ancak ondan önce gerçek bir şey oluşturulduğunda/yaratıldığında etkilidir (Norton 1972).

### **2.2.3. Gerçeklik-Sanallık Sürekliliği**

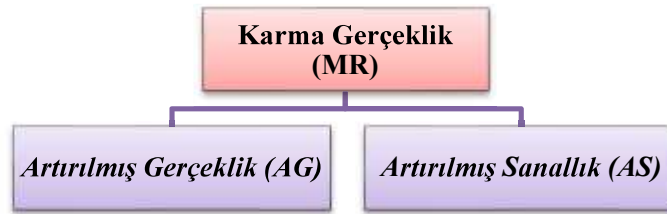
Gerçeklik-sanallık sürekliliği, tamamen sanal ile sanallık ve tamamen gerçek ile gerçeklik arasında değişen bir ölçektir. Başka bir deyişle, tüm gerçek ve sanal nesnelere ve kompozisyonları içermektedir. Konsept ilk olarak Paul Milgram tarafından tanıtılmıştır (Wikipedia 2020 ).

Şekil 2.1'deki sürekliliğin en solunda sadece gerçek nesnelere (gerçek ortam) bulunurken, en sağda ise sadece sanal nesnelere (sanal ortam) bulunmakta ve aralarında karışık gerçeklik alanı (artırılmış gerçeklik ve artırılmış sanallık) vardır.



Şekil 2.1. Gerçeklik-sanallık sürekliliği

Süreklilik, artırılmış gerçeklik (AG) ve artırılmış sanallık olmak üzere iki farklı karma gerçeklik türünü göstermektedir (Şekil 2.2). Artırılmış sanallıkta ortam, gerçek olanlardan daha fazla sanal nesne içermektedir. Doğası gereği, sürekliliğin merkezi gerçek ve sanal nesnelere arasında bir denge durumunu temsil etmekte; ancak Milgram bunu gerçek dünyanın sanal dünyayla mükemmel bir şekilde birleştiği varsayımsal bir durum olarak işaret etmektedir. Süreklilik boyunca soldan sağa gitmek, azalan bir gerçekliği (veya gerçek nesnelere) ve artan sanallığı (sanal nesnelere) temsil etmekte ve sanal gerçeklik noktasında artık gerçek nesnelere yoktur (Milgram ve ark. 1994).



Şekil 2.2. Karma gerçeklik türleri

#### 2.2.4. Sanal Gerçeklik (SG)

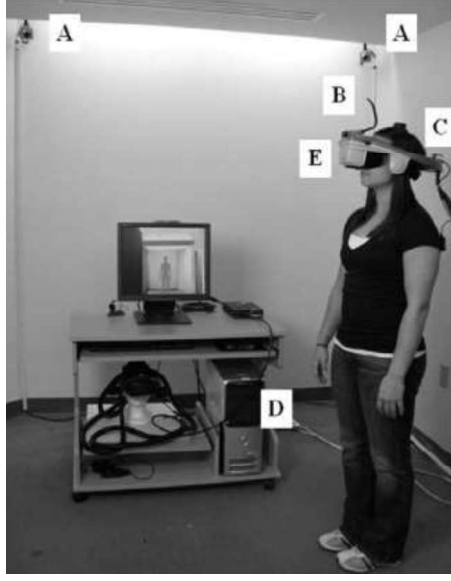
Rheingold ve ark.'a göre (1991), sanal gerçekliği (SG) bir kişinin "üç boyutlu bilgisayar tarafından oluşturulan bir temsil ile çevrili olduğu ve sanal dünyada hareket edebilir ve onu farklı açılardan görebilir, ona ulaşabilir, yakalayabilir ve yeniden şekillendirebilir" olarak tanımlanmaktadır. Sanal gerçeklikte kullanıcılar tamamen sanal ortama sokulur/batırılır ve 3B

dünyalarla etkileşime girebilmektedir. Kullanıcı aslında sanal dünyanın içindeymiş gibi hissetmelidir. Sanal gerçeklik kullanıcının alternatif gerçekliği olmalıdır (Janssen 2011).

Coates'e göre (1992) sanal gerçeklik, son kullanıcının gerçekçi üç boyutlu durumlarda etkileşime girmesini sağlayan, başa takılan gözlükler ve kablolu giysilerle yaşanan ortamların elektronik simülasyonlarıdır (Steuer 1993). Kullanıcıyı dinamik olarak etkileşime sokmak, SG bilişsel yapmak için gereklidir; çünkü kullanıcı, doğal davranışının anında ve gözlemlenebilir bir etki yarattığı sanal ortamda aktif ve bilişsel bir katılımcıdır. Bu durumda, kullanıcı dijital bilgisayar / çevre, uzay veya dijital olarak yaratılmış dünyada kendini kaybetme dalgınlığı veya psikolojik tecrübesi ile karşı karşıya kalabilir (Onime ve ark. 2016).

SG sistemleri, verilen daldırma derecesine göre genellikle aşağıdaki üç seviye ile sınıflandırılırlar (Onime ve ark. 2016)

- Sürükleyici olmayan SG sistemleri genellikle ortamın stereo bir görünümünü sağlamaz, sanal ortam bilgisayar ekranının hemen içinde gerçekleşir ve kullanıcılar klavye, fare vb. aracılığıyla bu ortamla etkileşime girebilir.
- Yarı sürükleyici SG sistemleri, bilgisayar tarafından oluşturulan ortamın daha büyük görünümünü sağlar. Yarı sürükleyici SG sistemlerinde, geniş ekranlı cihaz, özel göz giysisi veya gözlükleri, genellikle çubuklar ve özel eldivenler gibi özel giriş cihazları kullanılır. Kullanıcı hem sanal ortamı (bilgisayar tarafından oluşturulan) hem de gerçek ortamı görebilir.
- Tamamen sürükleyici SG sistemleri, gerçek dünya ortamına yapılan referansları kaldırır. Bu durumda, monte edilmiş ekranlara sahip özel kask cihazları veya kullanıcıyı, zemin ve tavan dahil tüm duvarların temelinde büyük ekran monitörlerle değiştirildiği MOSO (Mağara Otomatik Sanal Ortamı)'lar adı verilen özel olarak tasarlanmış odalarda izole edilerek kullanılır. Tamamen sürükleyici ortamlar, giriş için kullanıcının hareketini ve mimiklerini izler veya isteğe bağlı olarak çubukları kullanır ve kullanıcının yönünü de izler.



**Şekil 2.3.** Sanal ortam kurulumuna bir örnek: Kameralar (A), katılımcının odadaki konumunu gösteren bir optik sensörü (B) izler. Bir ivmeölçer (C) katılımcının kafa hareketleri hakkında bilgi toplar. Bu bilgi, odanın nasıl oluşturulduğunu ve katılımcının başa takılan ekranda (E) gördüklerini belirleyen bilgisayara (D) iletilir (Fox ve ark. 2009)

### 2.2.5. Artırılmış Gerçeklik (AG)

Artırılmış gerçeklik (AG) 1960'lı yıllarda dünyaya tanıtılmış, ancak 1990'lara kadar bir araştırma alanı olarak kabul edilmemiştir. Bugünlerde ise büyüyen bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir. AG'nin birçok tanımı vardır ve birçoğu belirli bir alan veya bağlamdaki kullanımını yansıtmaktadır (Wikipedia 2020).

Artırılmış gerçeklik, gerçeklik ve sanallık arasında bir spektrum üzerindedir (Şekil 2.1). Azuma, AG'yi sanal ortamların (SO) bir çeşidi olarak tanımlamaktadır. SO teknolojileri bir kullanıcıyı tamamen yapay bir ortama sokmaktadır. Daldırma sırasında, kullanıcı çevresindeki gerçek dünyayı göremez. Öte yandan AG'de, sanal nesnelere gerçek dünya ile örtüşür veya birleştirilir ve bu, kullanıcının hem gerçek hem de sanal dünyayı görmesini sağlamaktadır. AG; “gerçeği tamamen değiştirmek yerine gerçeği tamamlar. İdeal olarak, kullanıcıya sanal ve gerçek nesnelere aynı alanda bir arada varlığını hissettirir” (Azuma 1997).

Milgram aynı zamanda AG'yi, bilgisayar tarafından üretilen veya dijital verilerin kullanılmasıyla fiziksel dünyanın gelişmiş (artırılmış) görünümü olarak tanımlamaktadır (Milgram ve ark. 1994). Üçüncü bir tanımlama da Boeing tarafından yayınlanan ve Memi'nin artırılmış gerçekliği

“Gerçek dünyaya ilişkin grafik eklemelerini kaplayan bir makine vizyonu ve bilgisayar-grafik teknolojisi. AG'nin ayırt edici özelliği, grafiklerin mekânsal olarak kaydedilmiş olmasıdır; yani, görüntülenen sahnede gerçek nesnelerin konumlarına göre konumlandırılırlar” şeklindedir (Memi 2006). Bu tanımda, AG tamamen gerçek dünyaya grafiksel eklemelerle sınırlıdır. Azuma, artırılmış gerçekliğin tüm duylara uygulanabileceğini ve görsel eklemelerle sınırlı olması gerekmediğini savunmaktadır. Şimdiye kadar araştırmacıların “gerçek ve sanal görüntüleri ve grafikleri harmanlamaya” odaklandıklarını, ancak artırılmış gerçekliğin sesi içerecek şekilde genişletilebileceğini de önermektedir. “Başka bir örnek haptiklerdir. Dokunsal geribildirim sağlayan cihazlara sahip eldivenler, ortamdaki gerçek kuvvetleri artırabilir” (Azuma 1997).

Artırılmış gerçekliği belirli teknolojilerle sınırlamaktan kaçınmak için Azuma, artırılmış gerçekliği üç özelliğe sahip sistemler olarak tanımlamaktadır:

1. Gerçek ve sanalı birleştirir.
2. Gerçek zamanlı etkileşimlidir.
3. Üç boyutlu olarak tescil edilmiştir (Mekni ve Lemieux 2014).

Azuma ayrıca, artırılmış gerçekliğin sadece gerçek dünyaya nesne ekleme yeteneğine değil, aynı zamanda bunları kaldırma olasılığına da sahip olduğunu savunmaktadır. Bir örnekte, kullanıcı bir prototip iç tasarım uygulamasında mobilya modellerini değiştirmek için gerçek bir kürek kullanmaktadır. Kullanıcı mobilya parçalarını seçebilmekte, bir odaya bırakabilmekte, istenen yerlere itebilmekte; itme, eğme, vurma gibi diğer hareketlerle odadan çıkarabilmektedir (Azuma ve ark. 2001).

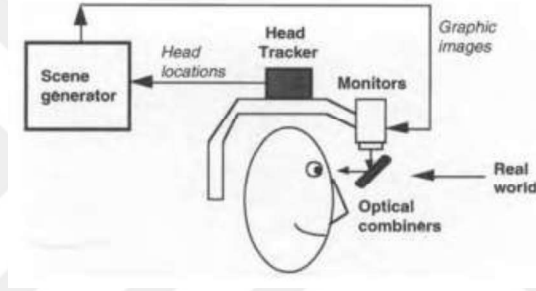


**Şekil 2.4.** Kullanıcı modelleri almak, taşımak, bırakmak ve yok etmek için gerçek bir kürek kullanır

### 2.2.6. Sanal Artırılmış Gerçeklik

AG'nin görsel formunda amaç, sanal nesnelere gerçek dünyadaki nesnelere geliştirmek veya desteklemek için kullanıcının gerçek dünyaya sahip olduğu net (şeffaf) görünümüne birleştirmektir. Gerçek ve sanal kombinasyonu birleştirmek için iki temel seçenek mevcuttur: optik ve video teknolojileri (Onime ve ark. 2011).

Transparan başa takılan ekran (HMD), gerçek ve sanalı birleştirmek için kullanılan bir cihazdır. Standart kapalı görüş HMD'leri, çevrenin doğrudan gerçek dünya görüşüne izin vermemektedir. Öte yandan, bir transparan HMD, kullanıcının optik veya video teknolojilerinin üzerine yerleştiği sanal nesnelere gerçek dünyayı görmesini sağlamaktadır (Azuma 1997).



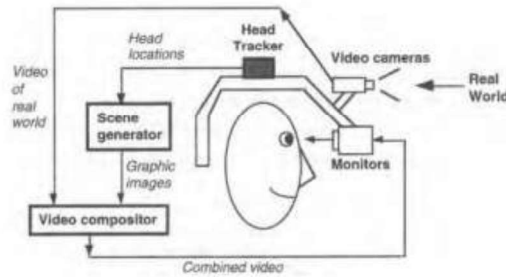
Şekil 2.5. Optik transparan HMD kavramsal diyagramı



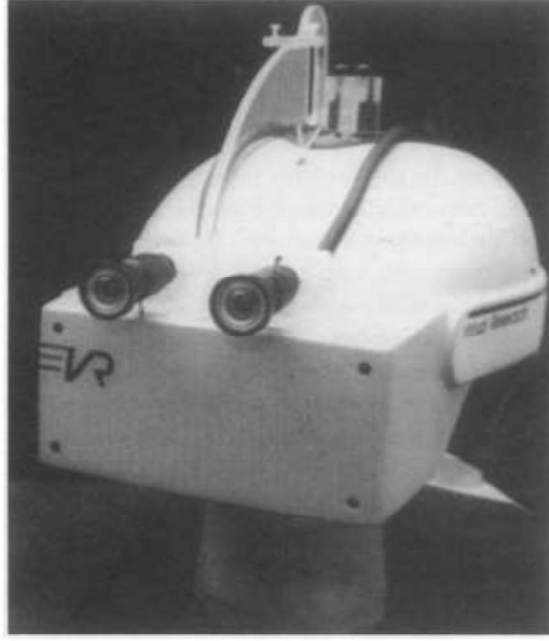
Şekil 2.6. Hughes Electronics tarafından üretilen iki optik şeffaf HMD

Optik şeffaf HMD'ler, kullanıcının gözlerinin önüne optik birleştiricileri yerleştirerek çalışmaktadırlar. Bu birleştiriciler kısmen aktarıcıdır, böylece kullanıcının gerçek dünyayı görmesini sağlamaktadırlar. Aynı zamanda bu birleştiriciler kısmen yansıtıcıdır, böylece kullanıcı, kafasına monte edilmiş monitörlerden birleştiricilerden sıçrayan sanal görüntüleri görmektedir (Şekil 2.5-2.6) (Azuma 1997). Optik şeffaf ekranlar, güvenli, ucuz ve paralaks içermeme (kamera konumlandırması nedeniyle göz ofseti yok) avantajlarına sahiptir. Kullanıcılar gücün kapalı olduğunu görebildikleri için optik teknolojiler güvenli kabul edilir, bu da bu teknolojiyi hem askeri hem de tıbbi amaçlar için ideal hale getirmektedir. Bununla birlikte, 3D sanal nesnelerin aynalar ve şeffaf lensler aracılığıyla kombinasyonu dezavantajlar yaratır, çünkü hem görüntülerdeki hem de gerçek dünya görselleştirmedeki parlaklığı ve kontrastı azaltır ve bu tekniği dış mekân kullanımı için daha az uygun hale getirmektedir (Krevelen 2007). Kiyoshi Kiyokawa, başa takılan ekranların parlaklık sorununu, tıkanacak alanları opaklaştıran piksellere sahip bir LCD panel kullanarak opak bir kaplama ekleyerek çözmüştür (Kiyokawa ve ark. 2003).

Buna karşılık, video görüntüleme HMD'leri, digital nesnelere HMD'ye bağlı kameranın yakaladığı gerçek dünyanın canlı bir video görüntüsünün üzerine yerleştirerek çalışmaktadırlar. Ortaya çıkan kompozit video görüntüsü kullanıcının gözünde tekrar görüntülebilmektedir. Bu durumda, HMD'de gösterilen kamera bakış açısı, gerçek dünya ile etkileşimin biraz doğal olmamasına neden olan kullanıcının kendi gözlerinden dengelenir ve aynı zamanda görüntü stereografik değildir (Şekil 2.7-2.8) (Kato ve Billingshurs 1999). Bununla birlikte, MR Systems Lab, görüntüleme sisteminin ve ekran sistemi optik eksenlerinin her bir göz için hizalandığı 51 derecelik yatay görüş alanına sahip nispeten hafif (340 gram) video grafik dizisi (VGA) çözünürlüklü video görüntüleme ekranı geliştirmiştir (Azuma ve ark 2001).



Şekil 2.7. Video transparan HMD kavramsal diyagramı

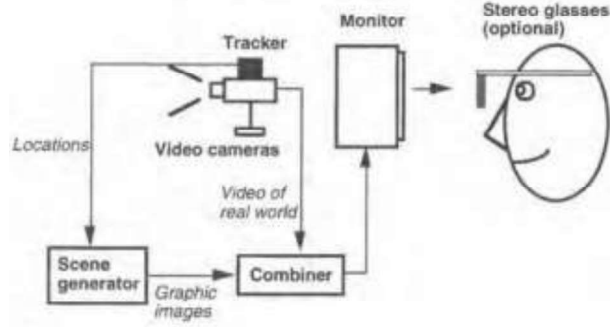


**Şekil 2.8.** Gerçek bir video izleme HMD'si

Performans, video kare hızı düştükçe de önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Bununla birlikte, bir görüntünün iyi bir şekilde kaydedilmesi yalnızca görüntü üzerindeki 2B ekran koordinatları ile gerçek dünyadaki 3B koordinatlar arasındaki ilişki hakkında bilgi gerektirdiğinden, bu tür bir sistem kolayca elde edilebilir (Kato ve Billingshurs 1999).

Video kompozisyonu birden fazla şekilde yapılabilir. Basit bir yöntem, kroma anahtarlama tekniğini kullanmaktır. Daha sofistike bir kompozisyon ise derinlik bilgisi kullanmaktadır (Azuma 1997).

AG sistemleri oluşturmak için transparan HMD'ler yerine, monitör tabanlı yapılandırma da kullanılabilirler. Şekil 2.9, monitör tabanlı bir sistemin nasıl inşa edilebileceğini tam olarak göstermektedir (Azuma 1997).



**Şekil 2.9.** Monitör tabanlı AG kavramsal diyagramı.

Monitör tabanlı görüntü sistemlerinde, bilgisayar tarafından oluşturulan görüntüler gerçek dünyanın canlı veya kayıtlı video görüntüleri üzerine analog veya dijital olarak yerleştirilir ve ardından kullanıcının önündeki monitörde görüntülenir (kullanıcı görüntü aygıtını takmamaktadır) (Milgram ve ark. 1994). Ekran daha konvansiyonel bir masaüstü monitörü veya elde taşınabilir bir ekrandır. İsteğe bağlı olarak, görüntüler ekranda bir çift stereo gözlük takılmasını gerektiren stereo olarak görüntülenebilir. Bu AG kurulumu muhtemelen daha kolaydır, çünkü HMD sorunlarını ortadan kaldırmaktadır (Silva ve ark. 2003).

Bu tür AG, TV endüstrisinde filmlerde altyazı gibi efektler için kullanılmaktadır (Filmler kaydedilebilir ve yayın sırasında altyazılar eklenebilir, böylece izleyiciler yalnızca altyazıları görüntüleyebileceği veya kaldırabileceğinden sinyallerin karıştırılması hala gerçek zamanlıdır) (Onime ve ark. 2015).

### 2.2.7. Teknolojik Gelişmeler

AG sistemleri, görsel-işitsel yakalama, oynatma aygıtları ve diğer dokunsal aygıtlar gibi donanım teknolojik aygıtlarının etkinleştirilmesine dayanmaktadır. Bu cihazlardaki teknolojik gelişmeler AG'de önemli ilerlemeye yol açmıştır (Azuma ve ark. 2001); marker izleme, sistem kalibrasyonu ve foto gerçekçi oluşturma alanlarındaki bazı örnekler şunlardır:

- Normal (rastgele) nesnelere büyütme işaretçisi (Augmentation marker) olarak kullanma yeteneği: Görüntü tanıma, artırılmış gerçeklik sistemlerinin zorunlu bir bileşenidir. Artırılmış gerçeklik belirteçleri, sanal öğelerin üst üste binmesi için fiziksel dünya

nesnelerini tespit etmek için kullanılan sisteme zaten yerleştirilmiş gerçek dünyada görsel ipuçlarıdır. AG'nin kameranın gerçek dünya çerçevesine göre yönünü ve konumunu tahmin etmesi için, çoğu uygulama işaret tabanlı artırılmış gerçeklik olarak bilinen bir izleme teknolojisi kullanır. AG işaretleri geleneksel olarak 2 veya 3 boyutlu QR kodlarından oluşmaktadır (AnyMotion 2019). Silhouette izleme gibi yeni gelişmelerin kullanımı ile artık kâğıt, gerçek fiziksel nesnelere, 3B modeller ve nesnelere fotoğraflarında rastgele / normal desenler kullanmak mümkündür (Behringe 1999). İşaretsiz artırılmış gerçeklik de mümkündür, ancak işaretsiz AG referans belirleyici işaretleyicilerden ziyade bir çevrenin doğal özelliklerine bağlıdır (AnyMotion 2019).

- Nesnelere gelişmiş takibi: Bir kullanıcının görüşünün yönünü ve konumunu doğru bir şekilde izlemek AG kaydı için kritik öneme sahiptir (Azuma ve ark. 2001). Bir dış mekân sisteminde, kullanıcının konumu GPS bilgileri kullanılarak elde edilebilir. Kullanıcının yönelimini elde etmek için dijital bir manyetik pusula kullanılabilir. Eğitim ve eğim açısı bilgisi sağlayan eğitimölçerler de yararlı olabilmektedir. İç mekân senaryolarında, bu yöntemler nesnelere takılan veya çevreye yerleştirilen yapay işaretleyicilerden yararlanabilir (Behringe 1999). Her seferinde tek kısıtlama (Scaat) algoritması, farklı giriş cihazlarının otomatik kalibrasyonu ile daha hızlı izleme sağlayan yeni bir tekniktir. Video akışı içindeki nesne izleme artık yeterince sofistike ve gerçek zamanlı olarak kullanılabilir (Welch ve Bishop 1997).
- Foto gerçekçi oluşturma: Oluşturma şu anda AG'deki en büyük sorunlardan biri değildir. Ancak sanal nesnelere oluşturulduğunda gerçek nesnelere ayırt edilememesi gerekmektedir (Silva ve ark. 2003). Sanal nesnelere üzerinde daha gerçekçi bir etki için sanal nesnelere aydınlatılmasına ve bunların aydınlatma değerleri ve çevresel yansıma üzerine yansımaya yaklaşan birçok farklı teknoloji vardır (Milsap ve Bourland 2011).
- Kayıt ve otomatik ölçeklenebilirlik: Kayıt sorunu, artırılmış gerçeklik uygulamalarını sınırlayan en temel sorunlardan biridir. Gerçek ve sanal dünyadaki nesnelere birbirine göre düzgün bir şekilde hizalanmalıdır (Azuma 1997). Kamera, ekran ve çok çekirdekli hesaplama işlemcileri gibi cihazlardaki gelişmeler sayesinde, AG sistemleri artık sanal nesnelere kullanıcının işaretleyiciden uzaklığına göre otomatik olarak genişletebilir ve ölçeklendirebilir. Sanal nesnelere için 3B model verileri mevcut olduğunda, AG sistemi sanal nesnelere gerçek zamanlı olarak ve kullanıcının algılanan uzamsal konumuna göre

taşıma ve döndürme olanağı da sağlamaktadır. Kullanıcı için, tüm bunlar tableti işaretçinin yakınına taşımak veya görüş açılarını değiştirmek kadar basittir (Azuma ve ark. 2001).

## **2.2.8. Artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik karşılaştırması**

### **2.2.8.1. AG ve SG'nin benzerlikleri**

AG ve SG'nin temel benzerlikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Kullanıcılarına genellikle aynı amaca hizmet etmektedir: gelişmiş veya zenginleştirilmiş deneyim.
- Genel olarak daha iyi bir deneyim sunar.
- Birçok alandaki uygulamalar için yüksek potansiyele sahiptir.
- Aynı çekirdek programlamaya sahiptir.

### **2.2.8.2. AG ve SG arasındaki farklar**

AG ve SG arasındaki temel farklar aşağıda özetlenmiştir (Berryman 2012; Kounavis ve ark. 2012; Střelák 2016; Stapleton 2019):

- SG'de kullanıcı tamamen sanal bir ortama dalmış ve gerçek hayattan tamamen izole edilmiştir, oysa AG'de bazı sanal eklemeler olsa bile kullanıcı yine de gerçek dünyaya dokunabilmektedir.
- AG, gerçek hayat üzerine inşa edilmiştir ve SG tamamen sanal bir dünya üzerine kurulurken onu daha etkileşimli hale getirmektedir.
- AG'de gerçek hayat sanal bir ortamla değiştirilmez, kullanılan ortam gerçekliğin gelişmiş bir görünümüdür. Tersine, sanal gerçeklikte ortam yeniden yaratılır ve tamamen simüle edilir ve gerçekte mevcut değildir.
- AG uygulamalarını kullanmak, tıpkı herhangi bir mobil uygulamasını kullanmak gibidir; SG uygulamalarında ise HTC Vive, Google Cardboard ve Oculus Rift gibi cihazların kullanıcının tüm görüş alanını kaplaması ve gördüklerini/duyduklarını kontrol etmesi gerekmektedir.

### **2.2.8.3. AG'nin Avantajları**

AG'nin bazı avantajları aşağıda özetlenmiştir (Azuma 1997; Hsiao et Rashvand 2011; Çetinkaya ve Akçay 2013; İbili ve Şahin 2013; Sevim 2019; Panono 2020):

- Kişiselleştirilmiş öğrenim sunmaktadır.

- Öğrenme sürecini geliştirmektedir.
- Çeşitli teknolojiler (telefon, tablet, sanal gözlük vb.) kullanılarak insanlara gerçek dünyadaki fiziksel çevre hakkında detaylı bilgi görsel veya metin yoluyla sağlanabilmektedir.
- Eğitim, tıp, askeri uçaklar, eğlence vb. birçok alanda kullanılmaktadır.
- Kullandığı uygulama ve nesnelere dinamizm ve gerçekçi bir hava katmaktadır.
- Ticari sektörde, insanlar aynı ortamlarda nesnelere deneme olanağına sahiptir.
- Öğrenci motivasyonunu ve problem çözme yeteneğini artırmaktadır.
- Soyut kavramlar, AG gibi geometri konuları kullanılarak somutlaştırılabilmektedir.
- Konuları 2B-3B modeller, animasyonlar ve videolar ile zenginleştirilmektedir.
- Kullanıcılar deneyimlerini uzun yerlerde paylaşabilirler.
- Kullanıcılara "gerçek" bir deneyim sağlayan uygulamaların geliştirilmesine yardımcı olmaktadır.

#### **2.2.8.4. SG'nin Avantajları**

SG'nin bazı avantajları aşağıda özetlenmiştir (Panono 2020; Bardi 2019; Babich 2019):

- Sürükleyici öğrenme ortamı sunmaktadır.
- Kullanıcı, bilgisayar tarafından oluşturulan bir görüntü ve ses dünyasına dalmaktadır.
- SG'de etkileşimli bir ortam oluşturulmaktadır.
- Eğitim alanında öğrenciler arasındaki işbirliği SG uygulamaları kullanılarak gelişmektedir.
- Öğrencilerin hayal güçlerini ve yaratıcılıklarını geliştirmelerine yardımcı olmaktadır.
- Kullanıcıların dünyayı keşfedebilecekleri gerçekçi bir dünya yaratma fırsatı sağlamaktadır.

#### **2.2.8.5. AG'nin Dezavantajları**

AG'nin bazı dezavantajları aşağıda özetlenmiştir (İbili ve Şahin 2013; Robinson 2010; Assignment Help 4 Me 2019):

- AG uygulamalarını oluşturmak için kullanılabilen aygıtlar, bazı kısıtlamalara neden olan yeterli donanım özelliklerinden yoksundur. Kullanılan cihazda bellek, grafik gücü, işlemci kapasitesi, internet yeteneği ve benzeri öğeler yeterli olmalıdır.
- Işık ve gürültü gibi çevresel koşullar AG uygulamalarını olumsuz etkileyebilmektedir.
- AG kullanan programların yazılım hatası teknolojik ürün hatalarından kaynaklanabilir.
- Bazı zaman sınırlamaları, uygulamanın düzgün çalışmasını engelleyebilir.

- Kullanıcılar, AG uygulamaları ile birlikte kullanılacak teknolojik araçların (Google Glass, HoloLens vb.) kullanımı hakkında bilgi sahibi olmalıdır.
- AG uygulamaları ile kullanılan cihazlar yüksek maddi/finansal değere sahiptir.
- AG, zihinsel sağlık sorunlarına neden olabilir.
- Güvenlik eksikliği, AG ilkesini etkileyebilir.

### 2.2.8.6. SG'nin Dezavantajları

SG'nin bazı dezavantajları aşağıda özetlenmiştir (Nedic ve ark. 2003; Bingo Technologies 2019):

- Günümüzde SG yaygınlaşsa da, programcılar sanal ortamlarla hiçbir zaman etkileşim kuramayacaklardır.
- Kaçış, SG ortamlarını kullananlar arasında yaygındır ve kullanıcılar, gerçek dünya problemleriyle uğraşmak yerine sanal dünyada kalmayı seçmektedirler.
- Sanal ortam ile uğraşmak asla gerçek olanla uğraşmak gibi olmayacaktır. Kullanıcı sanal ortamı kullanarak bir görevi başarabilirse, bu onun gerçek hayatta aynı şeyi yapma yeteneğini garanti etmeyeceği anlamına gelmektedir.

Gerçeklik türlerinin genel karşılaştırması Tablo 2.1'de verilmiştir. (Carmigniani ve ark. 2011; Bamodu and Ye 2013; Billingham ve ark. 2015; McMillan ve ark. 2017; Farshid ve ark. 2018; Li ve ark. 2019; Rokhsaritalemi ve ark. 2020; Wikipedia 2020; Jaquith ve The Futurism Team 2017; Nepal ve Tang 2017; Onırix 2019; Stapleton 2019).

**Tablo 2.1.** Gerçeklik türlerinin genel karşılaştırması

Özellikler	Sanal gerçeklik	Artırılmış gerçeklik	Karışık gerçeklik
	SG	AG	KG
Dünya	Gerçek dünyanın dijital veri ve bilgi ile temsili	Gerçek dünyaya eklenen veriler ve bilgiler	Olası bilgi ve verilerin gerçek dünyaya girişi
Çevre	Tamamen yapay / dijital / sanal	Gerçek dünya üzerinde sanal nesnelere / öğeler	Sanal ve gerçek dünyanın birleşimi
Daldırma	Tamamen sanal dünya	Gerçek dünyayı büyütme	Gerçek ve sanal dünyayı birleştirmek için gerçek zamanlı mekansal haritalama
Konsept	Bir mevcudiyet algısı ve tam	Gerçek ortamı desteklemek,	Gerçek olayların uyarlanması

		daldırma oluşturmak	fiziksel birlikte varoluşa fayda eklemek	
Çevreyi algılamak		Artık gerçek ortamı algılamıyor	Hala gerçek ortamı görüyor, ayrıca görüntülenen ek bilgileri alıyor	Hala gerçek ortamı görüyor ve sanal nesnelere gerçek dünyanın bir parçası oluyor
Deneyim		Dijital 3D dünyasını yalnızca özel yardımcı araçlarla deneyimleyebilir	Daha basit yardımcı araçlarla deneyimleyebilir	Şeffaf cam ve LCD gibi elverişli araçlarla deneyimleyebilir
Oran		Sanal (çok) + gerçek (az)	Sanal (az) + gerçek (çok)	Sanal (orta) + gerçek (orta)
Öznitelik		Sanal	Hem sanal hem de gerçek	Mix
Bilgi	3B alanda kayıtlı	Evet	3B alanda açıklamalı	Evet
	Kullanıcı alanıyla bağlı	Hayır	Hayır	Evet
	Zaman sürekliliği	Hayır	Hayır	Evet
Etkileşim		Sanal nesne ile	Fiziksel nesne ile	Fiziksel ve sanal nesne ile
Görüntü cihazı		Özel kulaklık, akıllı gözlükler	Kulaklıklar (isteğe bağlı)	Kulaklıklar (isteğe bağlı)
Görüntü kaynağı		Bilgisayar tarafından oluşturulan grafikler / resimler	Bilgisayarda oluşturulan grafiklerin / görüntülerin ve gerçek hayattaki nesnelere / öğelerin kombinasyonu	Bilgisayarda oluşturulan grafiklerin / görüntülerin ve gerçek hayattaki nesnelere / öğelerin kombinasyonu
Perspektif		Sanal nesnelere / öğelerin konumu ve boyutu kullanıcının sanal dünyadaki bakış açısına göre değişir	Sanal nesnelere / öğeler, kullanıcının gerçek dünya perspektifine göre tepki verir	Sanal nesnelere / öğeler, kullanıcının gerçek dünya perspektifine göre tepki verir
Varlık		Bir yere taşınmış gibi bir his var ama gerçek dünya hissi yok	Gerçek dünyada olma hissi, ancak bir yere taşınan yeni nesnelere /	Gerçek dünyada olma hissi, ancak bir yere taşınan yeni nesnelere /

		öğelerle birlikte	öğelerle birlikte
Farkındalık	Gerçeklikten ayırt edilemeyen sanal nesnelere / öğeler	Kullanıcı davranışına göre tanımlanan sanal nesnelere / öğeler	Gerçeklikten ayırt edilemeyen sanal nesnelere / öğeler
Giriş	Joystickler, kontrol çubukları, veri eldivenleri, toplar / izleme topları, izleme dörtgenleri, düğmeler, hareket izleyiciler, cihaz üzerinde kontrol, koşu bantları, ses girişi, bodysuits, hareket platformları (sanal omni), elle giyilen cihazlar ve çıplak elle giriş	2B kullanıcı arayüzleri (fare, klavye, işaretleme cihazı vb.), 3B ve multimodal arayüzler (eldiven, kablosuz bileklik, el değnekleri, konuşma, hareket vb.)	6-DOF izleme sensörü, ses girişi, kameralar, hareket izleyiciler ve kontrolörler ve bakış / hareket / ses tanıma cihazları
Etkileşim araçları	Giyilebilir sensör cihaz tabanlı giriş (veri eldivenleri, atalet sensörü ve miyoelektriklik (EMG) sensörü), dokunmatik cihaz tabanlı giriş (dokunmatik ekran ve dijital kalem) ve bilgisayarla görme etkileşimi cihazı tabanlı giriş	Bilgi tarayıcıları, 3B somut doğal kullanıcı arayüzleri, işbirliğine dayalı arayüzler, multimodal arayüzler, hibrit arayüzler	Kavranabilir arayüzler
Çıktı (ekran)	Video görüntüleme monitörü, başa ve kulağa takılan ekipman, stereo ekran monitörü ve projeksiyon ekranları (CAVE tipi, fishbowl VR ve IDesk / IScreen)	Video ve projeksiyon tabanlı ekranlar, optik şeffaf ekranlar, göz çoklamlı ekranlar, başa takılan ekranlar (HMD, başa takılan ekranlar), elde tutulan ve vücuda takılan ekranlar, uzamsal ekranlar, diğer duyuşsal ekranlar	Head-up display, mağara otomatik sanal ortam, başa takılan ekran, bilgisayar - tablet - cep telefonu - el bilgisayarı

Geliştirme araçları	Unity, Amazon Sumerian, Unreal Engine, CryEngine, Blender, 3ds MAX, SketchUp Studio, Maya, Oculus Medium, Lumberyard	Unity, Amazon Sumerian, ARToolkit, osgART, Studierstube, MXR-ToolKit, FLARManager, Processing, D'Fusion, Metaio Creator, OpenFrameworks, DART, Wikitude Studio, Vuforia and Metaio Unity plug-ins, EasyAR, Layar Creator, ARKit, AR-Media plug-ins, ARCore, Maxst, BuildAR	Unity, MRTK, ARToolkit, Layar, Vuforia, Zapbox, Kudan, Wikitude, OSVR
Kullanım alanları	Sağlık, güvenlik, askeri, eğitim,	Eğitim, askeri, navigasyon, reklam ve pazarlama, endüstriyel / iç tasarım, turizm ve seyahat, acil durum yönetimi / arama ve kurtarma, sağlık planlaması, uygulama ve eğitim, yayın ve canlı etkinlikler, çeviri, müzik, oyunlar, sosyal etkileşim	Eğitim, simülasyon tabanlı öğrenme (SBL), Etkileşimli ürün içerik yönetimi (IPCM), askeri, uzaktan çalışma, işlevsel model, mühendislik, eğlence ve eğitim, tıp
Örnekler	Oculus Rift, Sony Headset VR	Google Glass, Pokemon Go	Microsoft HollowLens MR

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Yazılım Geliştirme Araçları

Mobil işletim sistemleri alanında/pazarında temel olarak iki sistem hakimdir: Android ve iOS. Bu işletim sistemleri için artırılmış gerçeklikle uygulamalar geliştirme araç setleri mevcuttur. Bunlar arasında ARCore, ARToolKit, EasyAR, Kudan, Maxst, Vuforia, Xzimg vb. yer almaktadır. Vuforia, belirteçleri algılayan bir uygulamada “dijital göz” görevi görmektedir. Vuforia'nın Artırılmış Gerçeklik SDK'sı, gerçek zamanlı görüntü hedeflerini ve temel 3D nesnelere tanımlamak ve izlemek için bilgisayar görme teknolojisini kullanmaktadır (Vuforia 2019). ARCore, çevresini ve çeşitli yüzey ortamlarını algılamada çok daha gelişmiştir. Karmaşıklığına bakılmaksızın herhangi bir 3B nesneyi fiziksel bir yüzeye yerleştirebilir. Ancak, bu platform sınırlı sayıda akıllı telefon için uygundur (Dudkin 2019). EasyAR, aynı anda birden fazla 3B nesneyi gerçek zamanlı olarak tanıyabilir ve izleyebilir. Bununla birlikte, bazı kullanıcılar EasyAR'ın görüntü istikrarı ile ilgili zorluklar bildirmiştir (Titov 2019).

Gerçekleştirilen tez çalışmasında Android işletim sistemi ve basit kurulum prosedürü ile doğru görüntü takibi nedeniyle Vuforia SDK seçilmiştir. Bunun yanında Vuforia; Android, iOS, UWP ve Unity Editor Platformları ile uyumludur.

Geliştirme ortamı seçimi ise Unity, Unreal Engine ve CryEngine karşılaştırılarak yapılmıştır. Unity, iki ve üç boyutlu uygulamalar ve oyunlar geliştirmek için bir araçtır. Bu aracın sunduğu en iyi özelliklerden biri, geliştiricilerin Android, Blackberry, iOS ve Windows arasında herhangi bir platformu değiştirmesine izin veren çapraz platform entegrasyonudur (Mossel ve ark. 2012). Unity3D iki kodlama dilini desteklemektedir: C # ve JavaScript. C ++ 'a kıyasla Java'dan C #' a geçiş yapma zorluğu olmadığı için bu C ++ 'dan daha fazla tercih edilir. Bununla birlikte, Unity 3D açık ve hızlı bir kullanıcı arayüzüne sahiptir ve Windows XP Service Pack 2'de (SP2) çalışacak kadar hafiftir (Unity 2020). Unreal Engine, Epic Games tarafından geliştirilen ve desteklenen oyun motorudur. C ++ ile yazılmış motorla, çoğu işletim sistemi ve platform için oyunlar geliştirilebilir (Educba 2020). CryEngine ise günümüzdeki en güçlü ve baskın oyun motorlarından biridir. CryEngine'i ayıran başlıca özellikler, grafiksel yetenekleridir. CryEngine ağır ve güçlü bir oyun motoru olmasına rağmen, bu platformu etkili bir şekilde kullanmak biraz zaman almakta ve daha önce başka bir oyun motoru kullanmayan yeni başlayanlar için anlaması biraz daha zordur. CryEngine, C #, Lua ve C ++ 'ı desteklemektedir (Educba 2020). Bu

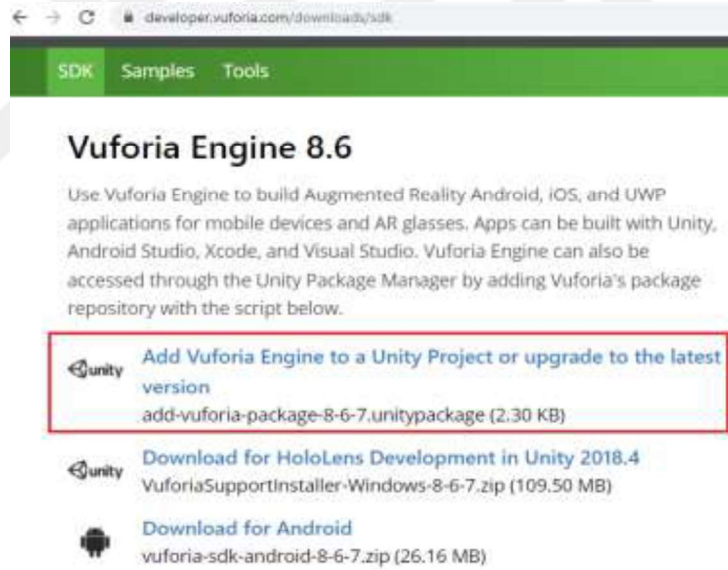
karşılaştırmalar doğrultusunda Unity 3D seçilmiştir. Ayrıca Unity 3D, Vuforia SDK'yı desteklemekte ve ücretsiz bir sürümü mevcuttur.

### 3.2. Yazılım Araçlarının Kurulumu

Bu çalışmada Unity 2019.2 (64 bit) 3D oyun motoru ve Vuforia 8.5 SDK (yazılım geliştirme kiti) kullanılarak AG uygulaması geliştirilmiştir. AG ortamını oluşturmak için atılacak adımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Vuforia Motor Kurulumu

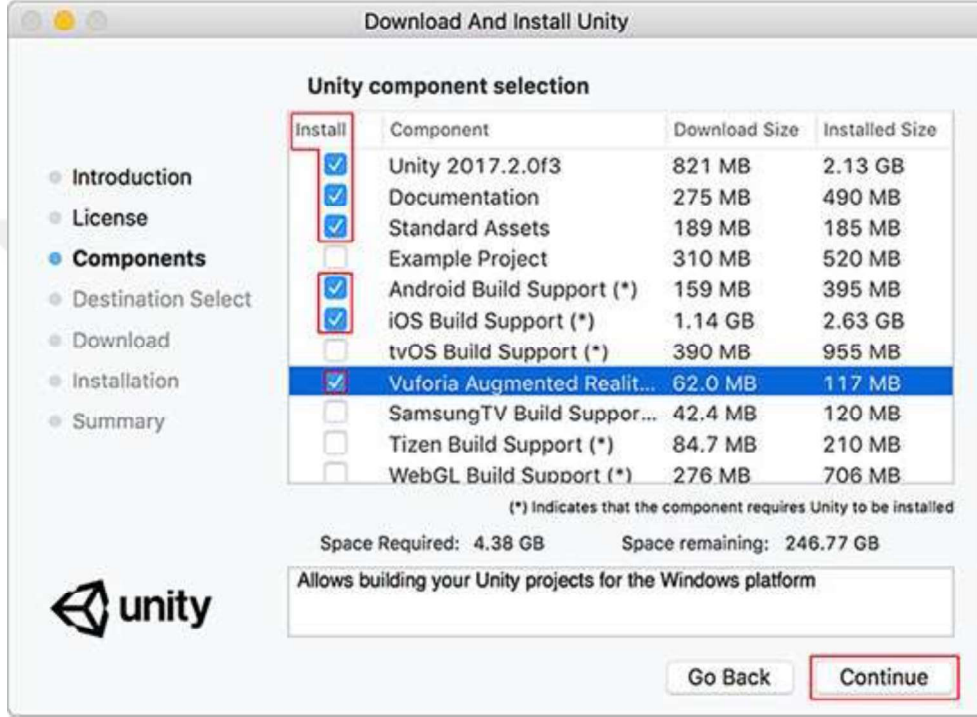
Böyle bir proje için, <https://developer.vuforia.com/> adresinden kullanıcı kaydı gereklidir. Projeye başlamadan önce, <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk> adresinden “Add Vuforia Engine to a Unity Project” eklentisini indirilir (Şekil 3.1). Bu eklenti, Vuforia geliştirme kitinin Unity oyun motoruna entegre edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.1. Vuforia SDK Unity eklentisi

Unity 2019.2 ve sonrasında Vuforia paketleri, kapsamlı bir DPY (Düğüm Paketi Yöneticisi) kayıt defteri aracılığıyla edinilebilir. Bununla ilgili daha fazla bilgi için <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Solution/vuforia-engine-package-hosting-for-unity.html> adresine bakılabilir.

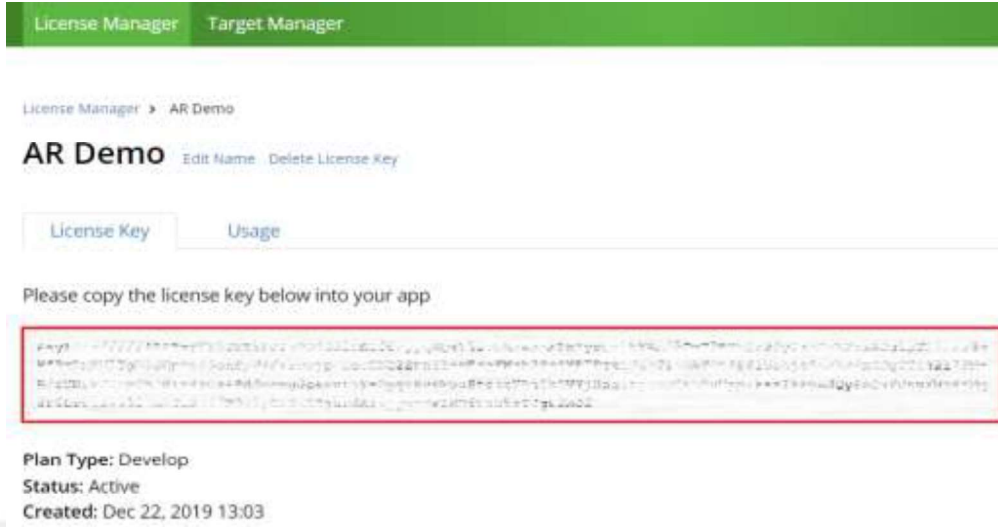
Unity 3D motorunu kurulurken, Bileşenler seçim iletişim kutusundaki platform desteğine (iOS, Android, UWP) ek olarak Vuforia Artırılmış Gerçeklik Desteği'ni de seçmek gerekmektedir. Vuforia, Unity'nin paket yöneticisi kullanılarak herhangi bir projeye eklenebileceğinden, Unity 2019.2'den itibaren buna gerek yoktur. Kurulumdan sonra indirilen Vuforia eklentisi Unity'ye aktarılmalıdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Unity'yi indirmek ve yüklemek

- Vuforia Lisans Anahtarı Oluşturma

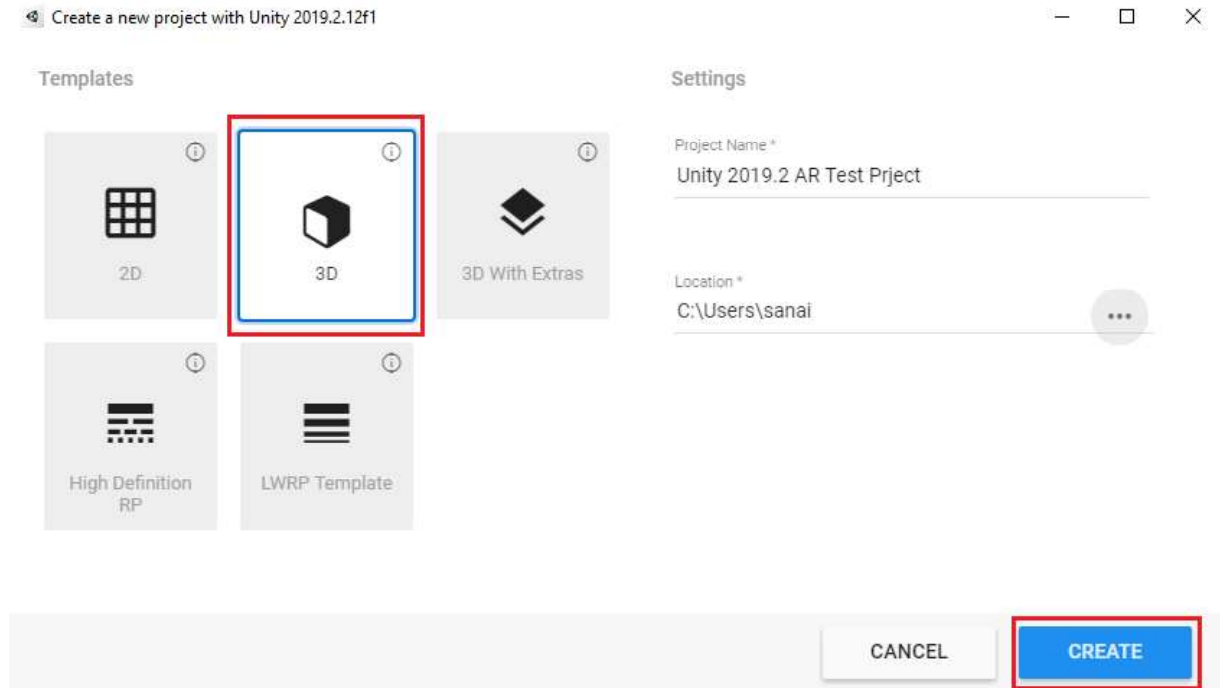
Vuforia web sitesinden Geliştir'i ve ardından da Geliştirme Anahtarı'nı tıklayarak lisans yöneticisi sekmesinden bir lisans anahtarı oluşturulmalıdır. Vuforia, her uygulama için benzersiz bir lisans anahtarı gerektirmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Vuforia lisans anahtarı oluşturma

- Yeni bir Unity projesi oluşturma

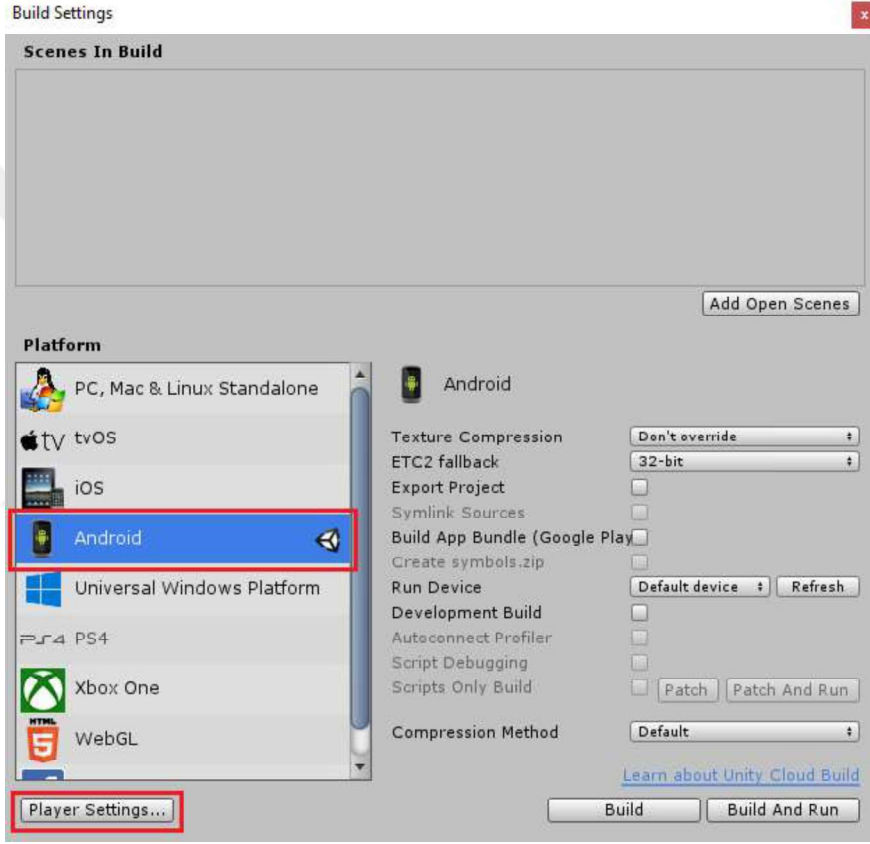
3D şablon seçilip projenin adı ve konumu belirlenmekte, ardından "Create" düğmesine basılmaktadır.



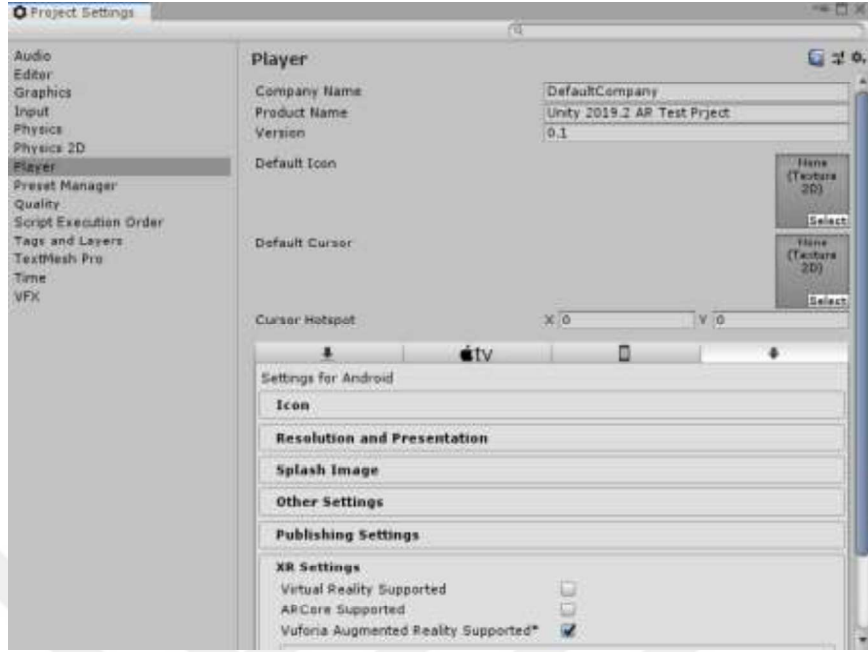
Şekil 3.4. Yeni bir Unity projesi oluşturma

- Unity projesinde Vuforia Engine'in etkinleştirme

Vuforia Engine uygulaması oluşturmadan veya Vuforia Engine'i Play Mode'da kullanmadan önce Vuforia Engine projede etkinleştirilmelidir. İlk olarak, Oluşturma Ayarları'na gidilir ve uygulamanın oluşturulacağı mobil cihazı seçilir (Şekil 3.5). Ardından "XR Ayarları" bölümü altında Vuforia Motorunu etkinleştirmek için Oynatıcı Ayarları'na gidin ve "Vuforia Augmented Reality Supported" seçeneğini işaretlenir (Şekil 3.6).



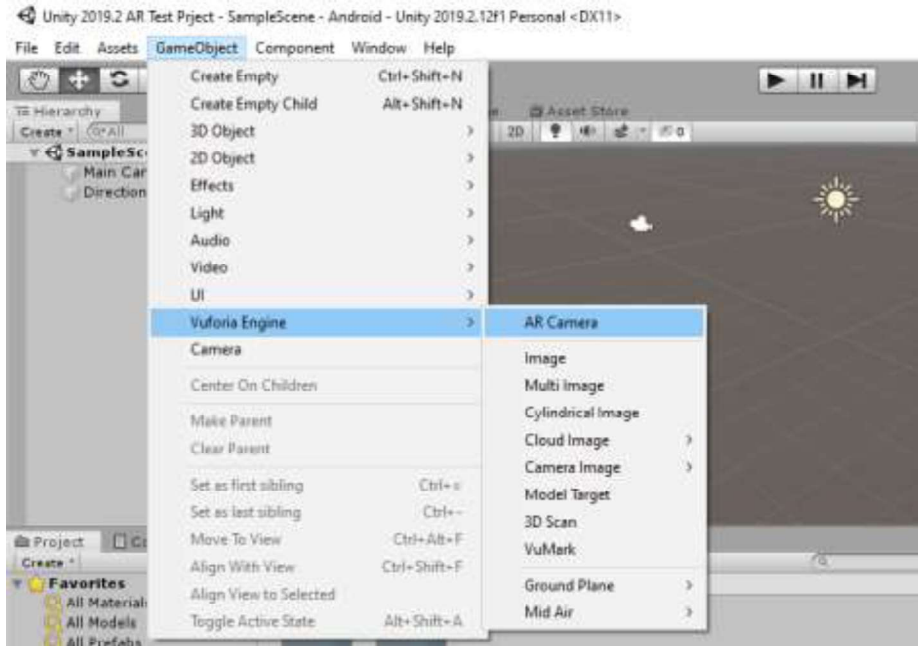
Şekil 3.5. Çalışılacak mobil cihaz türünü seçme



Şekil 3.6. Vuforia motorunu etkinleştirme

- Vuforia Motor Oyun Nesneleri (Vuforia Engine)

Vuforia'yı etkinleştirdikten sonra, Unity Oyun Nesnesi (Game Object) menüsünde Vuforia Motoru (Vuforia Engine) görünür olmalıdır (Şekil 3.7).

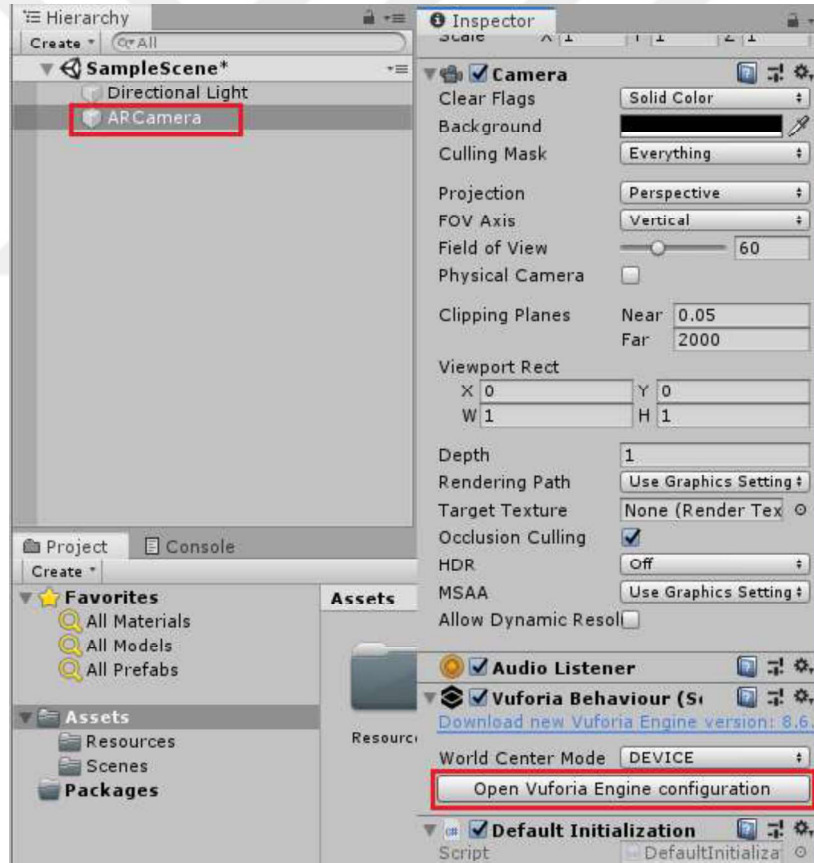


Şekil 3.7. Vuforia motor oyun nesneleri (Vuforia Engine Game Objects)

- Unity'de Vuforia Engine özelliklerine erişme

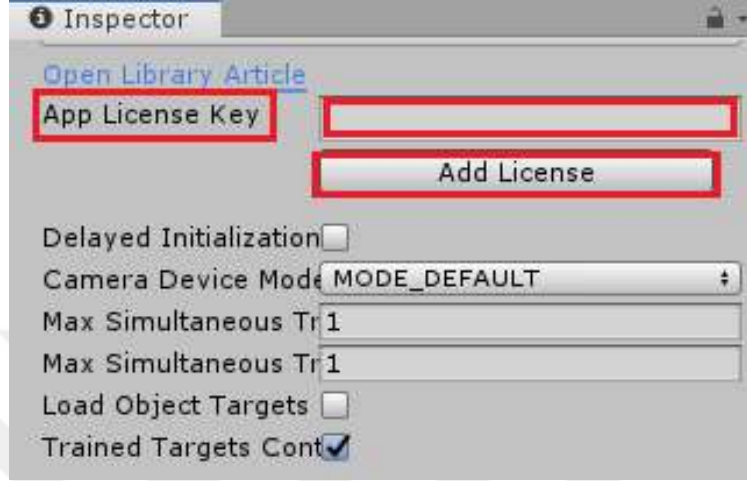
Unity Game Object menüsünden Vuforia Engine'in özellikleri projeye eklenebilir. Daha fazla bilgi için <https://library.vuforia.com/features/overview.html> adresinden faydalanılabilir. Şekil 3.7.'de gösterildiği gibi bir AR Kamera ekleyerek başlanmıştır (Ana Kamera silinmiştir). AR kamera, hem elde taşınır cihazlar hem de dijital gözlük için artırılmış gerçeklik uygulamalarını destekleyen özel bir kamera türüdür.

Vuforia kurulumunun tamamlanması için Vuforia Geliştirici Portalı'nda oluşturulan uygulama lisans anahtarını girilmelidir. Bunu yapmak için, Hiyerarşi sekmesinde (Hierarchy tab) AR Kamera seçilir ve aşağıdaki Inspector window penceresinde Vuforia Motor Yapılandırmasını Aç (Open Vuforia Engine Configuration) butonuna tıklanılır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Vuforia motor yapılandırmasının açılması (Open Vuforia Engine Configuration)

Daha sonra lisans anahtarını kopyalanıp Uygulama Lisans Anahtarı alanına (App License Key) yapıştırılır. Vuforia kurulumunu tamamlamak için son olarak Lisans Ekle (Add License) butonuna tıklanır (Şekil 3.9).

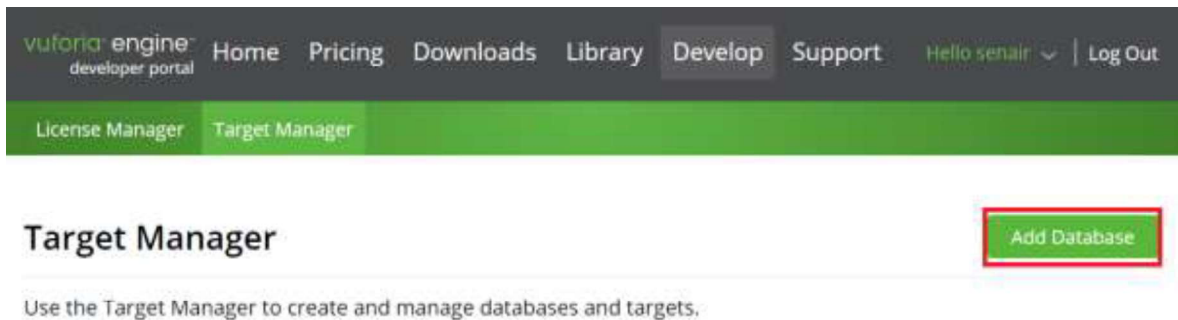


Şekil 3.9. Lisans anahtarı eklenmesi

Bu işlemler sonucunda Vuforia-Unity 3D projesinin yapılandırmasını tamamlanmaktadır. Bu adımlardan sonra AG uygulaması oluşturulur.

- Görüntü hedeflerini yapılandırma

Vuforia Geliştirici Portalı'nda görüntü hedeflerini ayarlamak için Hedef Yöneticisi (Target Manager) sayfasını açılır. Hedef görüntü veritabanının (target image database) eklenmesi için Veritabanı Ekle düğmesine (Add Database button) tıklanılır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Veritabanı eklenmesi

Kullanılacak veritabanının adı girilir, tür olarak da Aygıt (Device) seçilir ve Oluştur (Create) butonuyla yeni bir veritabanı eklenir (Şekil 3.11). Bu aşamadan sonra Hedef Yönetici sayfasında eklenen veritabanı, veritabanları listesinde görünecektir.



**Create Database**

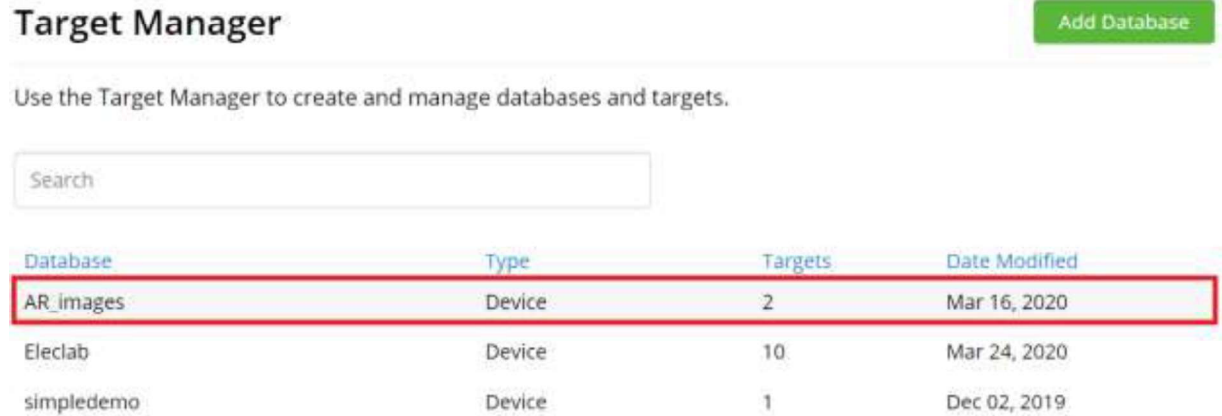
Database Name \*  
AR\_images

Type:  
 Device  
 Cloud  
 VuMark

Cancel Create

Şekil 3.11. Veritabanı oluşturulması

Sanal nesnelere için hedef görevi görecektir görüntüleri eklemek için ilgili veritabanı açılır (Şekil 3.12) ve ardından hedef görüntüleri bulmak/seçmek için Hedef Ekle (Add Target) butonuna tıklanılır (Şekil 3.13).



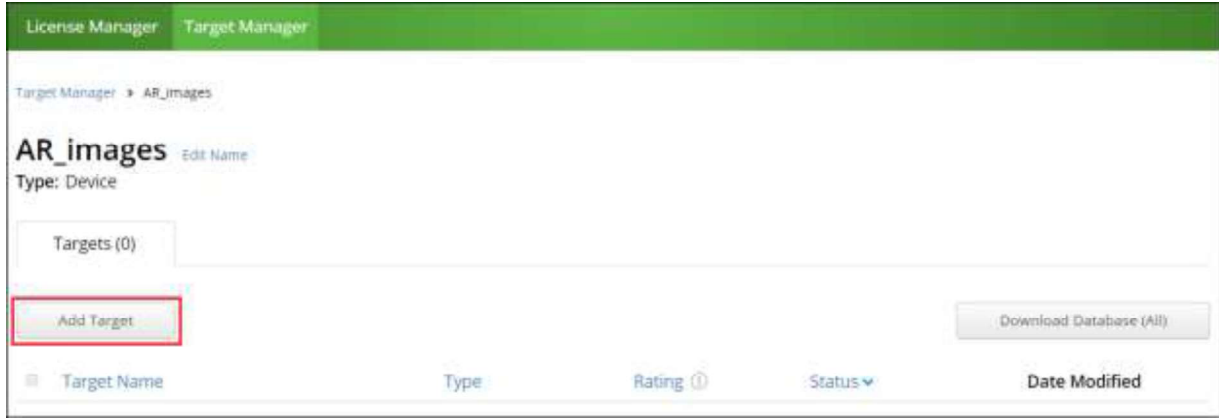
**Target Manager** Add Database

Use the Target Manager to create and manage databases and targets.

Search

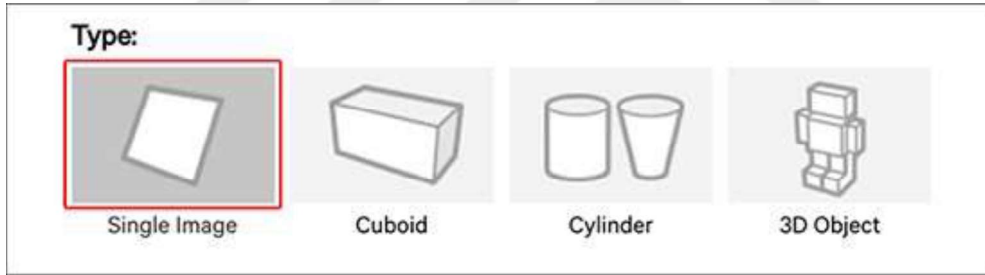
Database	Type	Targets	Date Modified
AR_images	Device	2	Mar 16, 2020
Eleclab	Device	10	Mar 24, 2020
simpledemo	Device	1	Dec 02, 2019

Şekil 3.12. Veritabanının açılması



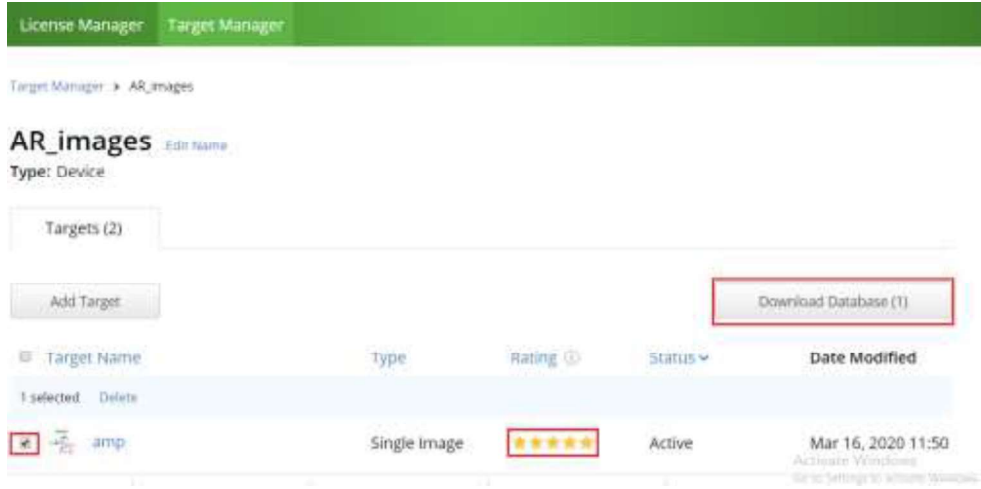
**Şekil 3.13.** Görüntü hedefleri eklemesi

Vuforia dört tür hedefi desteklemektedir: tek görüntü, küboid, silindir ve 3D nesne. İstenilen tür seçilerek uygun öğeyi bulmak için bilgisayara göz atılabilmektedir. Uygulamada - hedef olarak kullanılacak - Tek Görüntü (Single Image) seçilmiştir (Şekil 3.14).



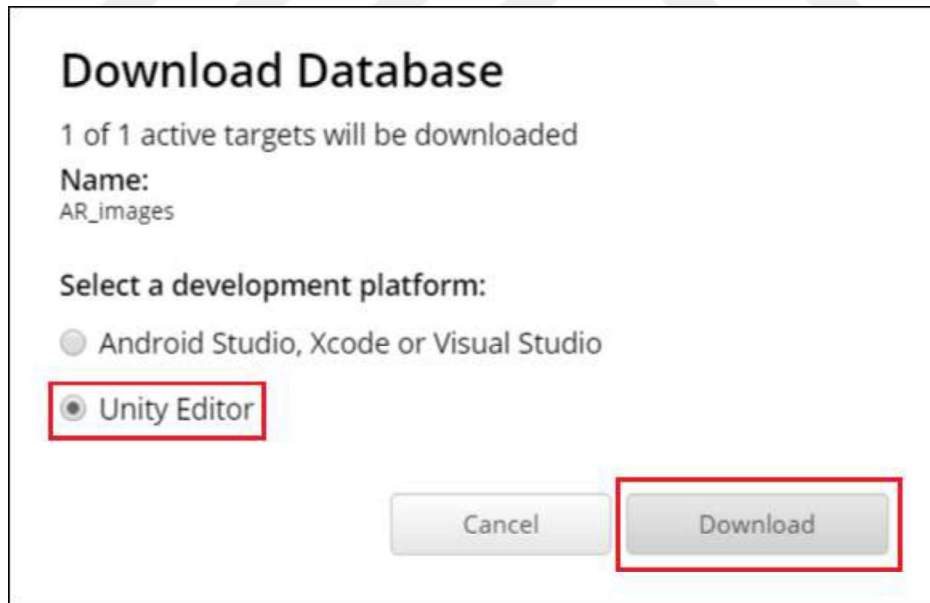
**Şekil 3.14.** Hedefin türünü seçimi

Resim adını ve genişliğini, Unity3D'nin boyut referansı olarak kullanabileceği şekilde ayarlanmaktadır. Vuforia ayrıca kameranın görüntüyü ne kadar kolay görebildiğini gösteren yıldız derecelendirmesini eklemektedir. Bu uygulamada 5 yıldız hedeflenmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Resim hedeflerini yüklenmesi

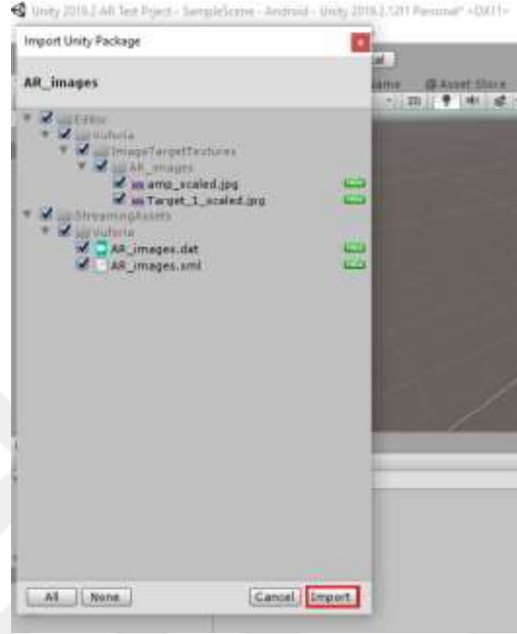
Son olarak, veritabanının Unity3D'de kullanılabilmesi için indirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.15'te gösterildiği gibi Veritabanını İndir (Download Database) butonuna tıklanır ve geliştirme platformu olarak Unity Editor'ü seçilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Veri tabanı indirmesi

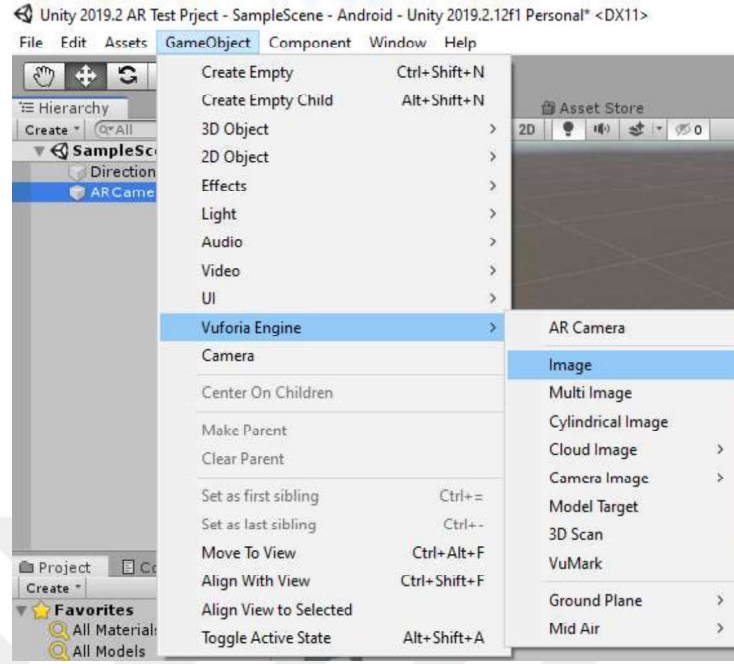
- Sahneye görüntü hedefleri ekleme

İndirilen veritabanı açıldıktan sonra Unity'deki içe aktar (import button) butonuna basılarak aktarma işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.17).

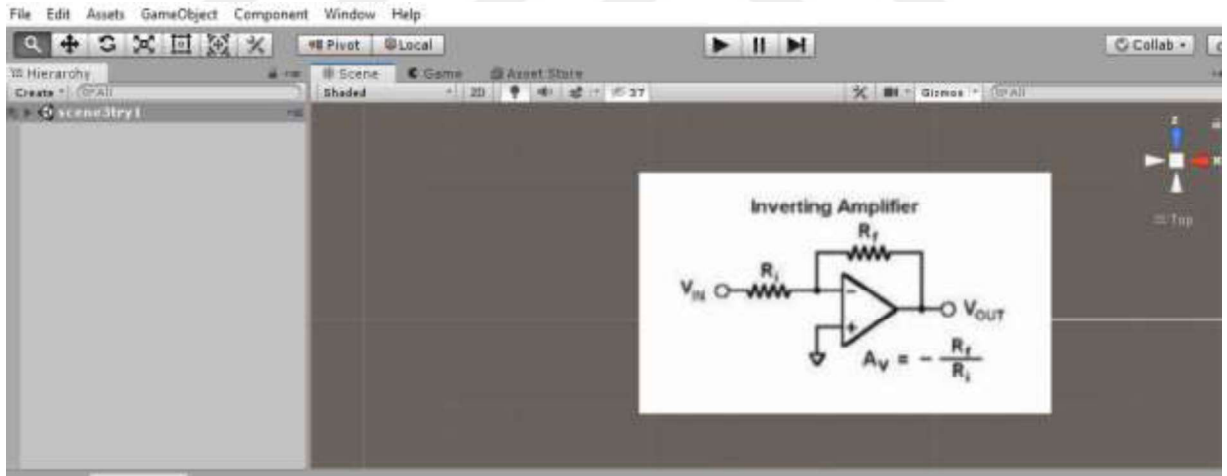


Şekil 3.17. Veri tabanını içe aktarma

Ardından, sahneye Vuforia Engine hedeflerini eklemek için GameObject>Vuforia menüsünde ilişkili Oyun Nesneleri seçilir. Sahne hiyerarşisinde bir hedef "Oyun Nesnesi" olarak eklenmekte ve sahnede görünmektedir (Şekil 3.18). Her hedef nesne yapılandırılmaktadır. Bu adımdan sonra görüntü hedefi, sahnede görüntülenmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.18. Sahneye görüntü hedefleri ekleme



Şekil 3.19. Eklenen görüntü hedefi

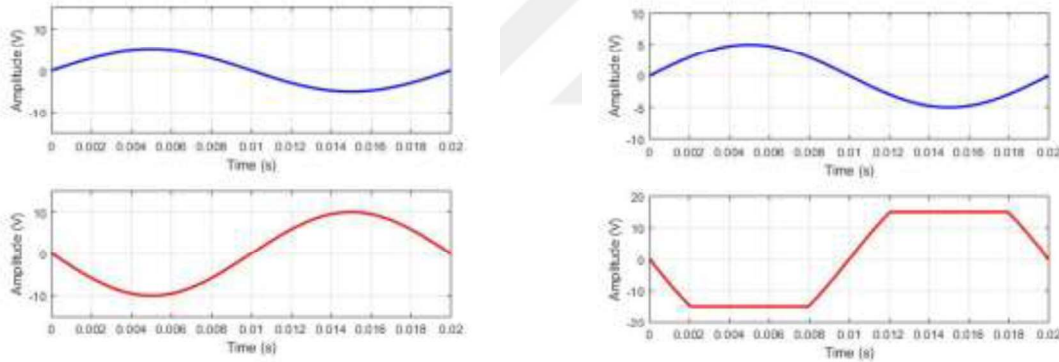
- Dijital Varlıklar Ekleme

Görüntü hedefini artırmak için dijital içerik eklenmesi gerekmektedir. Bu, sadece sahne hiyerarşisinde hedefin alt ögesi olarak dijital varlıklar eklenerek yapılmaktadır.

Örneğin eviren amplifikatörün giriş ve çıkış sinyalleri dijital içerik olarak kullanılacaktır. Gerekli sinyaller MATLAB üzerinde aşağıdaki kod kullanılarak çizilmiştir.

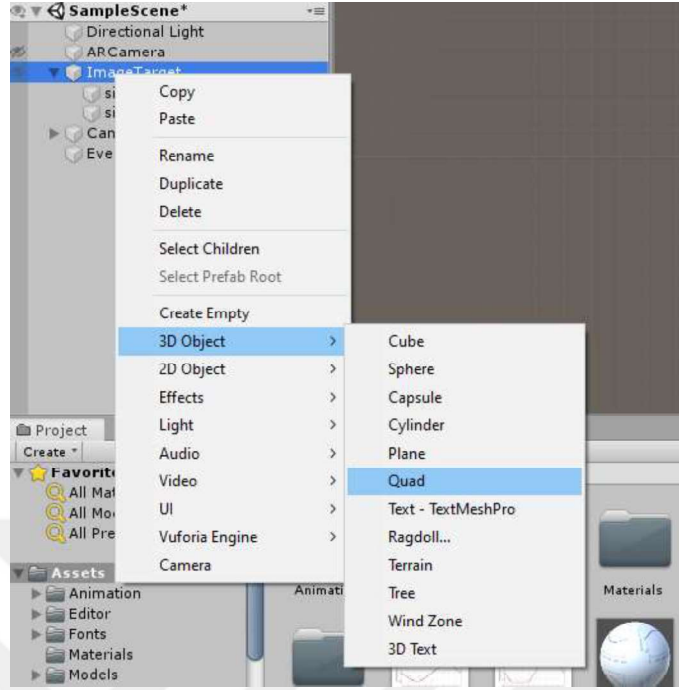
```
clear all; clc;
f=50; r1=10; r2=20; vim=5; vcc=15;
t=linspace(0,1/f,256); wt=2*pi*f*t; vi=vim*sin(wt);
for i=1:256
    vo(i)=-(r2/r1)*vi(i);
    if vo(i)>vcc
        vo(i)=vcc;
    end
    if vo(i)<-vcc
        vo(i)=-vcc;
    end
end
subplot(211); plot(t,vi,'b','LineWidth',2); axis([0 1/f -10 10]);
grid on; xlabel('Time (s)'); ylabel('Amplitude (V)');
subplot(212); plot(t,vo,'r','LineWidth',2); axis([0 1/f -20 20]);
grid on; xlabel('Time (s)'); ylabel('Amplitude (V)');
```

Aynı giriş işareti için farklı direnç değerlerinde, doğal olarak farklı çıkış işaretleri oluşacaktır (Şekil 3.20).

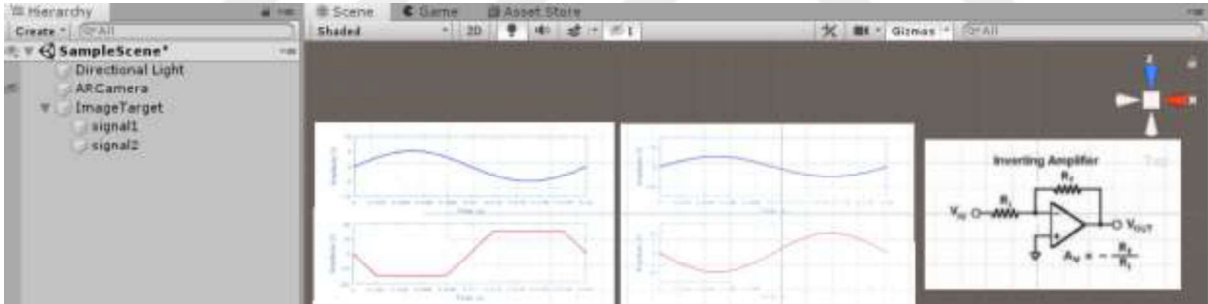


Şekil 3.20. a) İlk sinyal;  $R_1 = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 20\text{k}\Omega$ . b) İkinci Sinyal;  $R_1 = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 50\text{k}\Omega$ .

Giriş ve çıkış sinyallerini görüntü hedefinin alt öğeleri olarak eklenmektedir. Bunu yapmak için, görüntü hedefinin alt öğeleri olarak sahne hiyerarşisinde bir dörtlü (Quad) oluşturulmaktadır (Şekil 3.21). Ondan sonra, varlıklar dosyasında (assets file) yeni bir malzeme oluşturulmakta, oluşturulan yeni malzemeye giriş ve çıkış işareti resimlerini eklenmekte ve bu malzemeyi dörtlüğe sürüklenip bırakılmaktadır (Şekil 3.22). Eklenen dijital içerikler art arda sinyal1 ve sinyal2 olarak adlandırılmıştır.



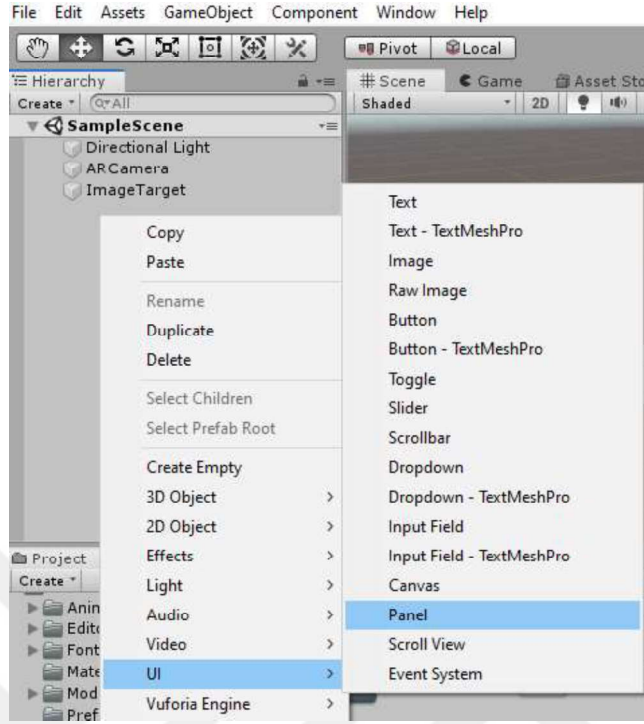
Şekil 3.21. Sahneye bir dörtlü ekleme



Şekil 3.22. Sahneye dijital içerik ekleme

- Mobil cihaz için kullanıcı arayüzü oluşturma

İlk olarak, UI Unity Örnekleri Unity içindeki varlık deposundan (asset store) içe aktarılmaktadır. Ardından, sahne hiyerarşisinde sol fare tuşuna basılarak sahneye panel eklenmektedir (Şekil 3.23).



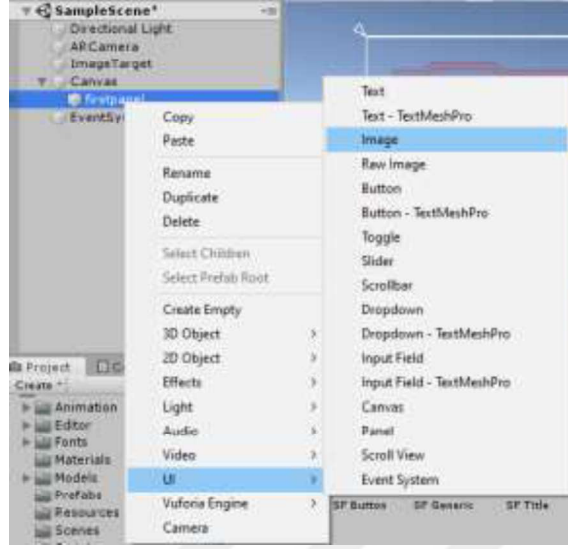
Şekil 3.23. Sahneye bir panel ekleme

İçeride aktarılan UI Unity örneklerinden, SF penceresini denetçi penceresindeki panelin kaynak görüntüsüne eklenmektedir (Şekil 3.24).



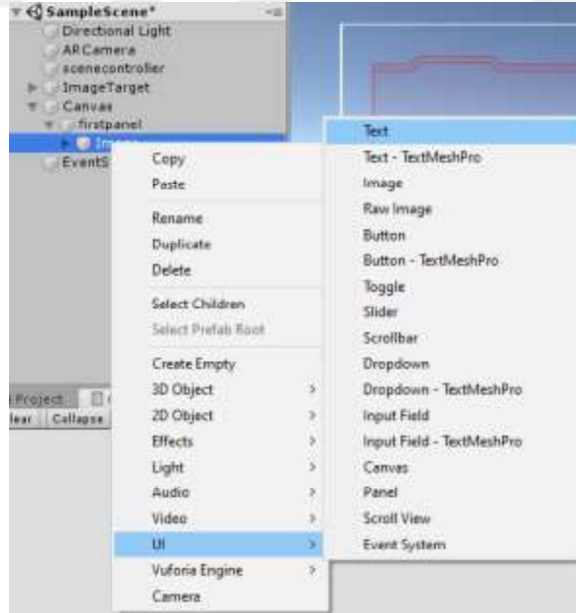
Şekil 3.24. SF penceresini ekleme

Oluşturulan panele bir resim eklemek için ilk panelde farenin sol tuşuna basılarak UI menüsü>resim seçilmektedir (Şekil 3.25).



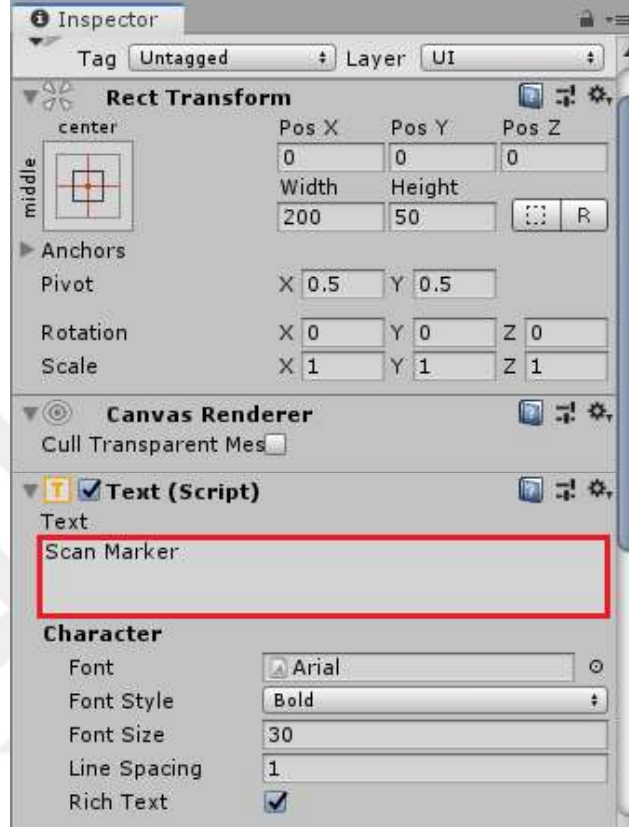
Şekil 3.25. İlk panele görüntü ekleme

Eklene görüntünün boyutunu istenildiği gibi ayarlanmakta ve SF penceresinde yer alan denetçideki görüntü kaynağına tekrar eklenmektedir. Aynı şekilde UI menüsü>Metin seçilerek görüntüye metin eklenmektedir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. İlk panele metin ekleme

Denetçi penceresindeki metnin boyutu ve konumu ayarlanabilmektedir. Şekil 3.27'de Metin yuvasına (Text slot) “Scan Marker” yazılıp font ayarlarının yapılması görülmektedir.



Şekil 3.27. Eklenen metni ayarlama

Böylece ilk panel Şekil 3.28’de görüldüğü gibi hazır olmaktadır.



Şekil 3.28. İlk panel

Daha sonra, sahne hiyerarşisine başka paneller eklenmektedir. Bunlar; görüntü, hedefi izlendikten sonra kullanıcının etkileşime gireceği arayüz olarak kullanılacaklardır.

İlk panelin hedef olmadığında görünmesini sağlamak ve hedef izlendiğinde kaybolması için bir kod eklenmektedir. Bunu yapmak için, sahne hiyerarşisinde görüntü hedefini seçerek denetçi penceresinden "Default trackable event handler" dosyasını açılmaktadır ve üzerinde aşağıdaki gibi birkaç değişiklik yapılmaktadır. Birinci olarak, ilk panelin tanımlanması gerekmektedir. Ardından, paneli aşağıdaki gibi doğru sırayla göstermek için hem bulunan izlemeye (on tracking found) hem de kayıp işlevleri izlemeye (on tracking lost) kod eklenmektedir.

```
using UnityEngine;
using Vuforia;

public class DefaultTrackableEventHandler : MonoBehaviour, ITrackableEventHandler
{
    #region PROTECTED_MEMBER_VARIABLES

    protected TrackableBehaviour mTrackableBehaviour;
    protected TrackableBehaviour.Status m_PreviousStatus;
    protected TrackableBehaviour.Status m_NewStatus;
    public Transform firstpanel;
    #endregion // PROTECTED_MEMBER_VARIABLES

    #region UNITY_MONOBEHAVIOUR_METHODS

    protected virtual void Start()
    {
        mTrackableBehaviour = GetComponent<TrackableBehaviour>();
        if (mTrackableBehaviour)
            mTrackableBehaviour.RegisterTrackableEventHandler(this);
    }

    protected virtual void OnDestroy()
    {
        if (mTrackableBehaviour)
            mTrackableBehaviour.UnregisterTrackableEventHandler(this);
    }

    #region PUBLIC_METHODS

    public void OnTrackableStateChanged(
        TrackableBehaviour.Status previousStatus,
        TrackableBehaviour.Status newStatus)
    {
        m_PreviousStatus = previousStatus;
        m_NewStatus = newStatus;

        Debug.Log("Trackable " + mTrackableBehaviour.TrackableName +
            " " + mTrackableBehaviour.CurrentStatus +
            " -- " + mTrackableBehaviour.CurrentStatusInfo);

        if (newStatus == TrackableBehaviour.Status.DETECTED ||
            newStatus == TrackableBehaviour.Status.TRACKED ||
```

```

        newStatus == TrackableBehaviour.Status.EXTENDED_TRACKED)
    {
        OnTrackingFound();
    }
    else if (previousStatus == TrackableBehaviour.Status.TRACKED &&
        newStatus == TrackableBehaviour.Status.NO_POSE)
    {
        OnTrackingLost();
    }
    else
    {
        OnTrackingLost();
    }
}

#endregion // PUBLIC_METHODS

#region PROTECTED_METHODS

protected virtual void OnTrackingFound()
{
    if (mTrackableBehaviour)
    {
        var rendererComponents =
mTrackableBehaviour.GetComponentsInChildren<Renderer>(true);
        var colliderComponents =
mTrackableBehaviour.GetComponentsInChildren<Collider>(true);
        var canvasComponents =
mTrackableBehaviour.GetComponentsInChildren<Canvas>(true);

        // Enable rendering:
        foreach (var component in rendererComponents)
            component.enabled = true;

        // Enable colliders:
        foreach (var component in colliderComponents)
            component.enabled = true;

        // Enable canvas':
        foreach (var component in canvasComponents)
            component.enabled = true;
    }
    firstpanel.gameObject.SetActive(false);
}

protected virtual void OnTrackingLost()
{
    if (mTrackableBehaviour)
    {
        var rendererComponents =
mTrackableBehaviour.GetComponentsInChildren<Renderer>(true);
        var colliderComponents =
mTrackableBehaviour.GetComponentsInChildren<Collider>(true);
        var canvasComponents =
mTrackableBehaviour.GetComponentsInChildren<Canvas>(true);

        // Disable rendering:
        foreach (var component in rendererComponents)
            component.enabled = false;
    }
}

```

```

        // Disable colliders:
        foreach (var component in colliderComponents)
            component.enabled = false;

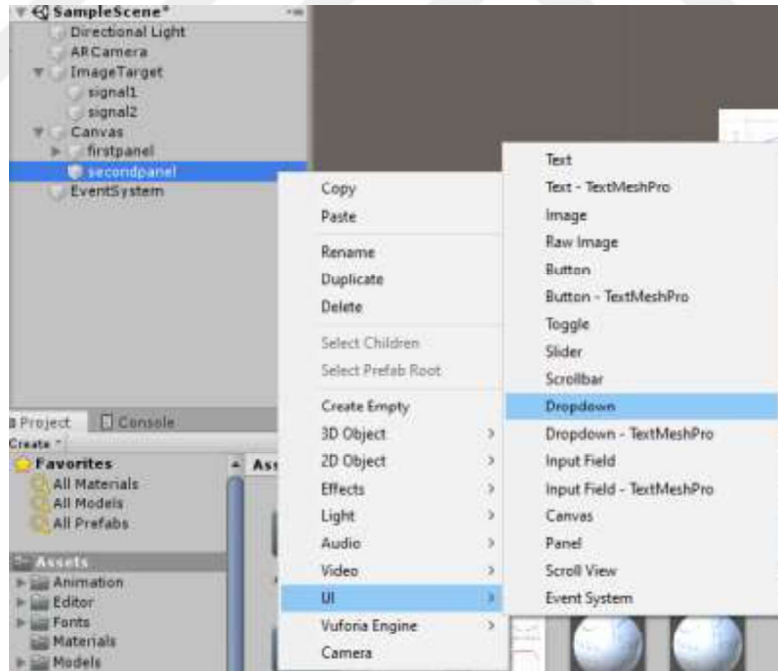
        // Disable canvas':
        foreach (var component in canvasComponents)
            component.enabled = false;
    }
    firstpanel.gameObject.SetActive(true);
}

#endregion // PROTECTED_METHODS
}

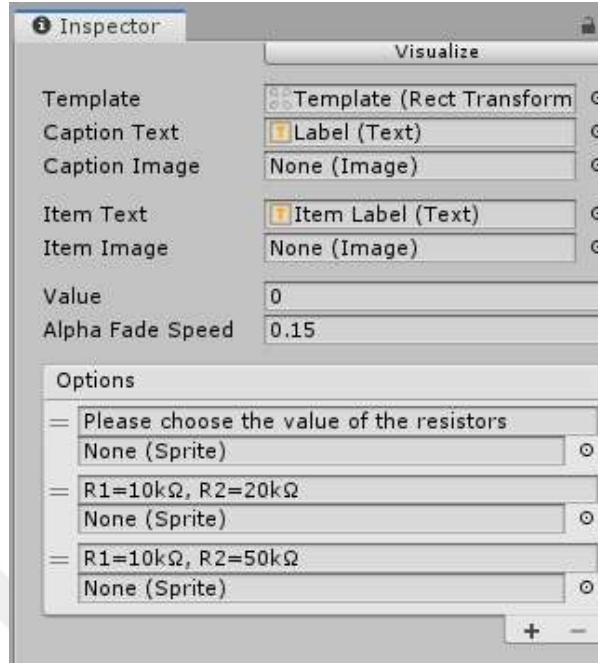
```

- Bir açılır liste oluşturma

Örneğin görüntü hedefi olarak kullanılan eviren yükselteç devresi iki direnç içermektedir. Kullanıcının bu dirençlerin değerlerini seçebilmesini sağlamak için bir açılır menü oluşturulması gerekmektedir. Bunun için UI>Dropdown menü seçeneği tıklanarak ikinci panelin alt öğeleri olarak bir açılır liste oluşturulması Şekil 3.29'da görülmektedir. Direnç değerleri ise denetçi penceresinden girilmektedir (Şekil 3.30).



Şekil 3.29. Bir açılır liste oluşturmak



**Şekil 3.30.** Dirençlerin değerlerini eklemek

Sahne oynatıldıktan sonra tasarlanan açılır liste Şekil 3.31'deki gibi görünecektir.



**Şekil 3.31.** Açılır liste

Son adım olarak ise kullanıcı listedeki ilk seçeneği seçtiğinde, ilk grafik (sinyal 1) ve ikinci seçeneği seçtiğinde ikinci grafik (sinyal2) görünmesinin sağlanması gerekmektedir. Bunun için ilgili kod aşağıdadır.

```

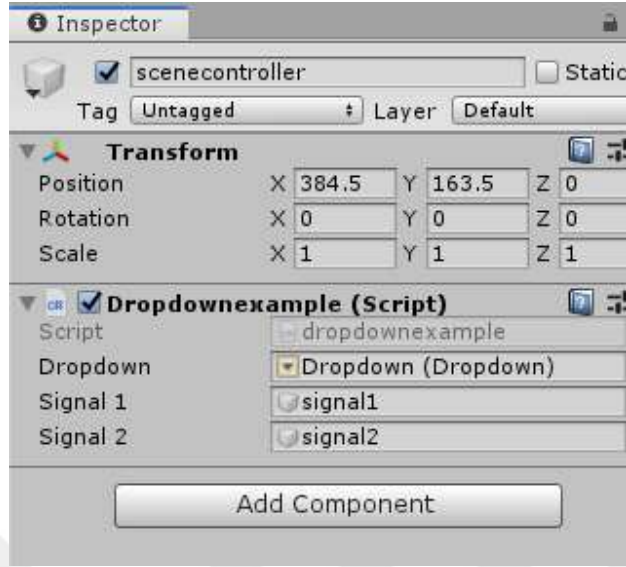
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class dropdownexample : MonoBehaviour
{
    public Dropdown dropdown;
    public GameObject signal1;
    public GameObject signal2;

    void Start ()
    {
        signal1.SetActive(false);
        signal2.SetActive(false);
    }
    public void Dropdown_IndexChanged(int index)
    {
        if (index==1)
        {
            signal1.SetActive(true);
            signal2.SetActive(false);
        }
        else if (index==2)
        {
            signal2.SetActive(true);
            signal1.SetActive(false);
        }
        else
        {
            signal2.SetActive(false);
            signal1.SetActive(false);
        }
    }
}

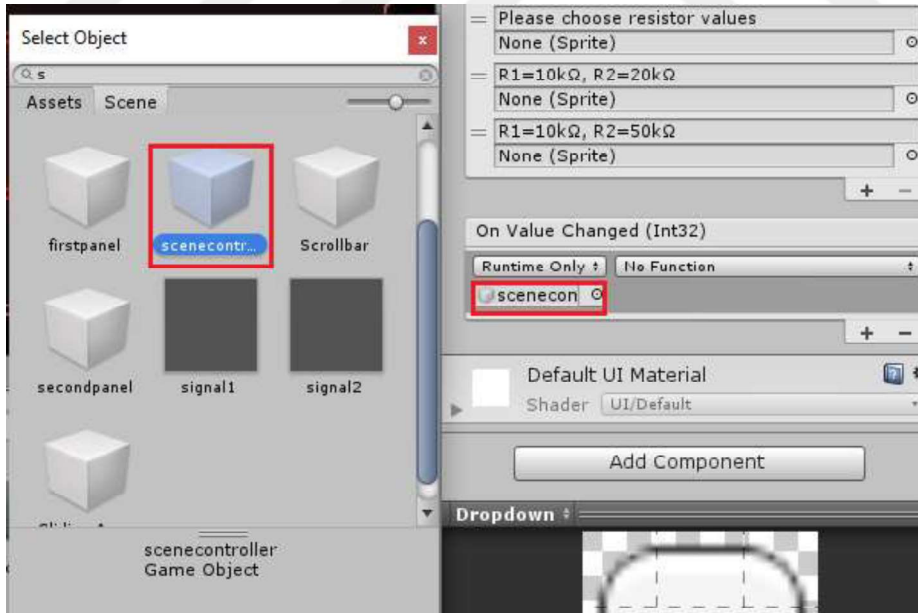
```

Sahne hiyerarşisinde sağ tıklanarak boş oluştur (create empty) seçilmekte, sahne denetleyicisi (scene controller) olarak adlandırılmakta ve dropdownexample komut dosyası, sahne denetleyicisine taşınıp bırakılmaktadır. Sahne denetleyicisi, denetçi penceresinde bir açılır liste, sinyal1 ve sinyal2 nesnelere arayacaktır. Bunun için nesnelere, sahne hiyerarşisinden sürüklenip yuvalara bırakılmaktadır (Şekil 3.32).

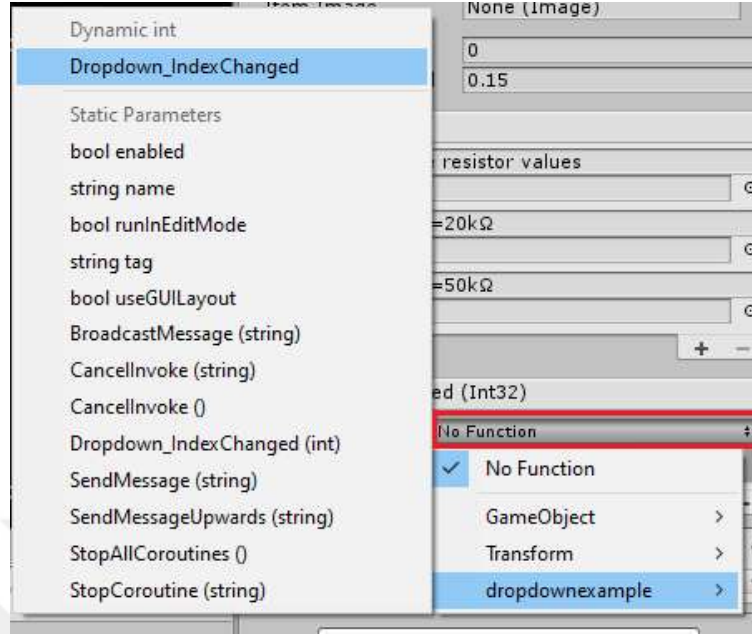


Şekil 3.32. Inspector penceresinde sinyal1, sinyal2 ve açılır listeyi tanımlama

Açılır denetleyici penceresinden sahne denetleyicisi olay işleyicisini (scene controller event handler) seçerek kullanılan sınıf belirtilmektedir (Şekil 3.33-3.34).



Şekil 3.33. Sahne denetleyicisi olay işleyicisini seçme



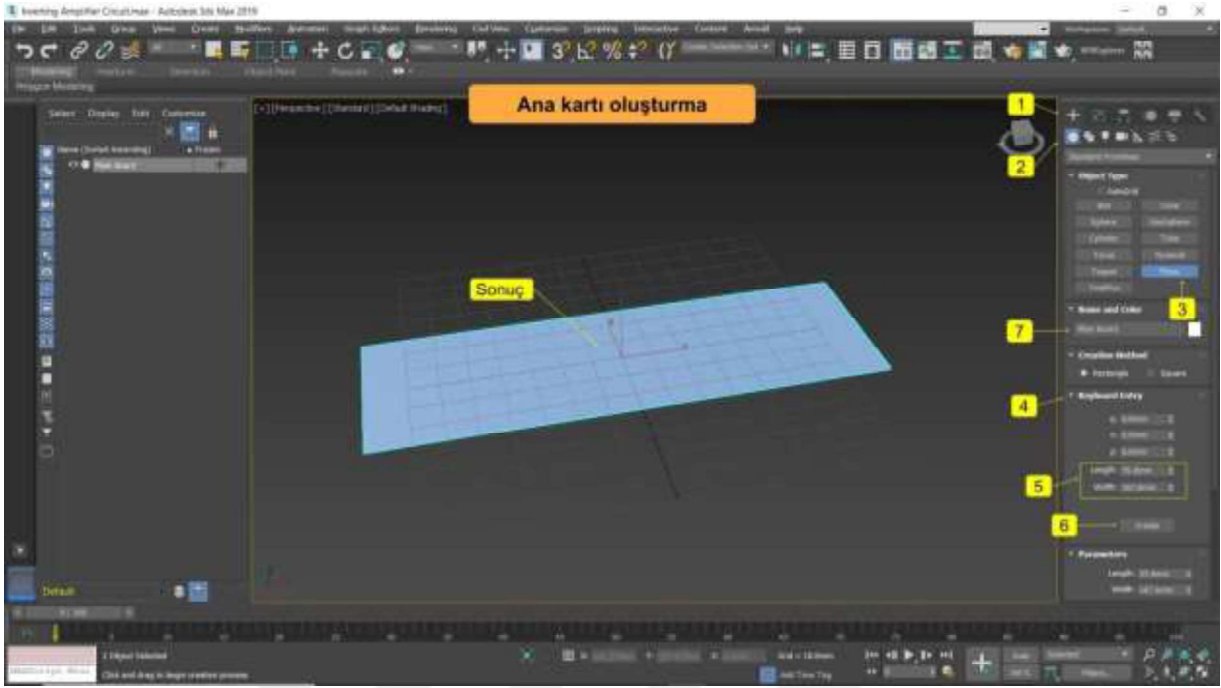
Şekil 3.34. Kullanılacak sınıfı belirtme

- Devrelerin 3B modellerini oluşturma.

Gerçekleştirilen çalışmada devrelerin 3B modellerini oluşturmak için 3ds Max kullanılmıştır. 3ds Max, 3D animasyonlar, modeller, oyunlar ve görüntüler yapmak için profesyonel bir 3D bilgisayar grafik programıdır. 3ds Max, verimli bir iş akışı ve güçlü modelleme araçlarıyla oyun sanatçılarına önemli ölçüde zaman kazandırabilir. En popüler programlardan biridir ve 3ds Max modelleme söz konusu olduğunda hız ve basitlikte eşsizdir (Petty 2020).

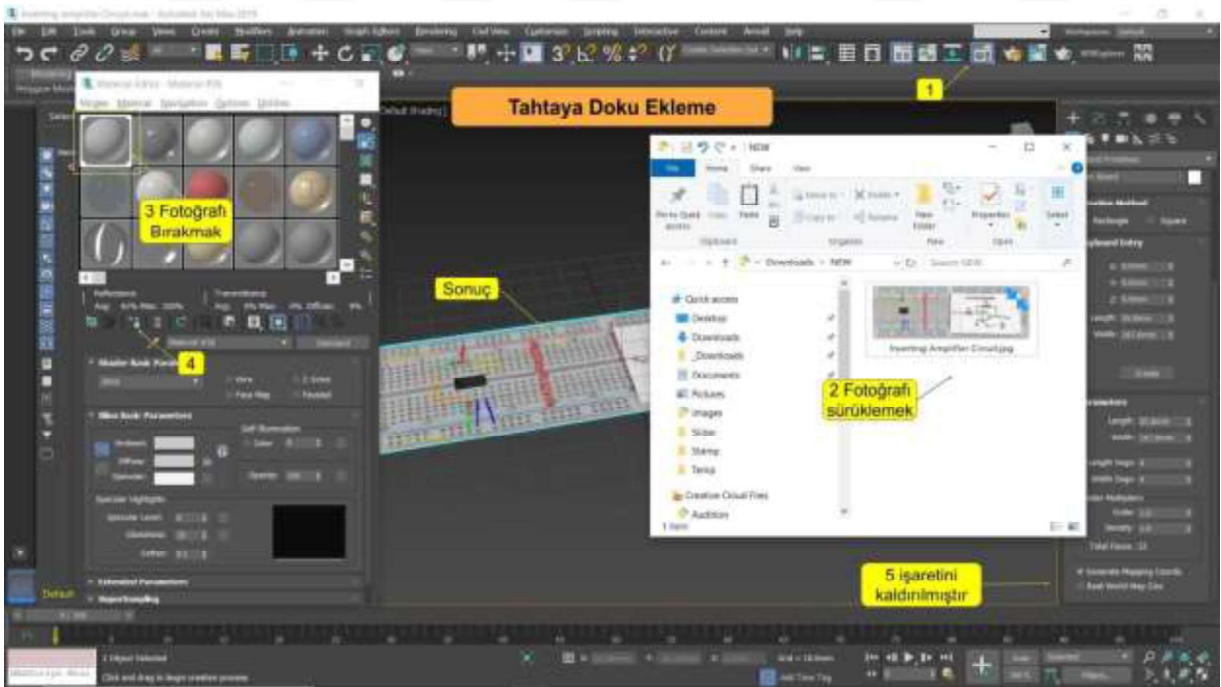
Örneğin eviren yükselteç devresinin 3D modelini oluşturmak için izlenen adımlar aşağıda özetlenmektedir:

- Ana kartı oluşturma (Şekil 3.35)



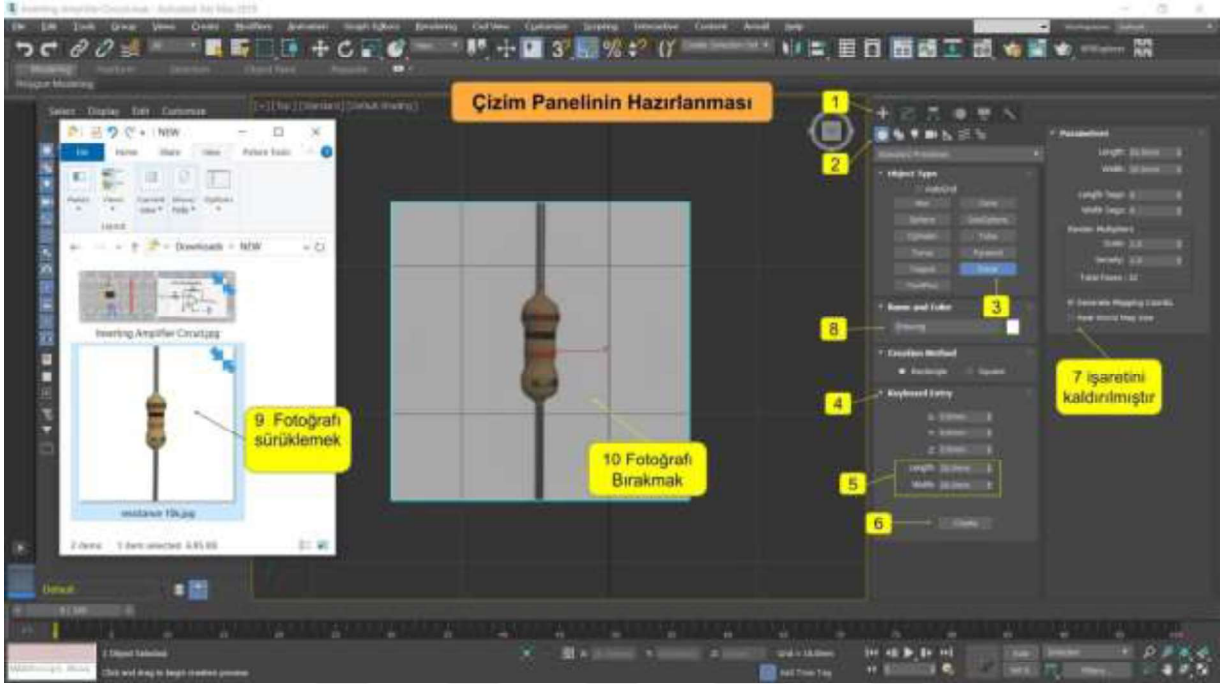
Şekil 3.35. Ana kart oluşturma

- Tahtaya doku ekleme (Şekil 3.36)



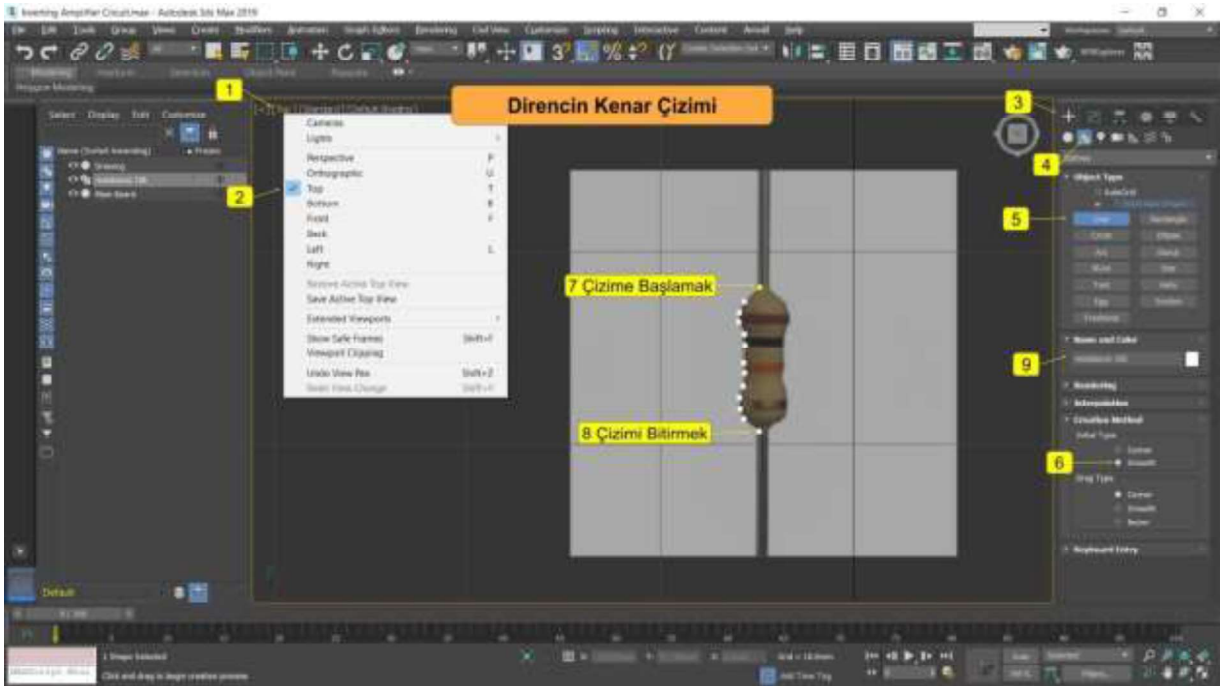
Şekil 3.36. Tahtaya doku ekleme

- Çizim panelini hazırlanması (Şekil 3.37)



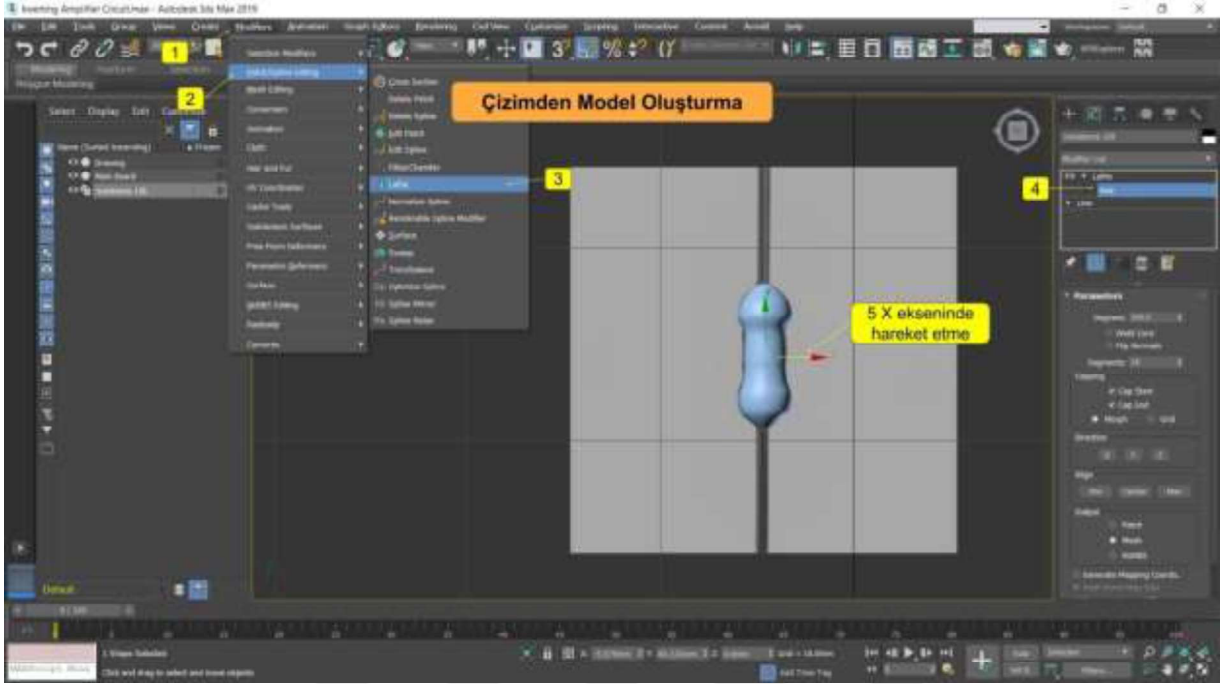
Şekil 3.37. Çizim Panelinin Hazırlanması

- Direncin kenar çizimi (Şekil 3.38)



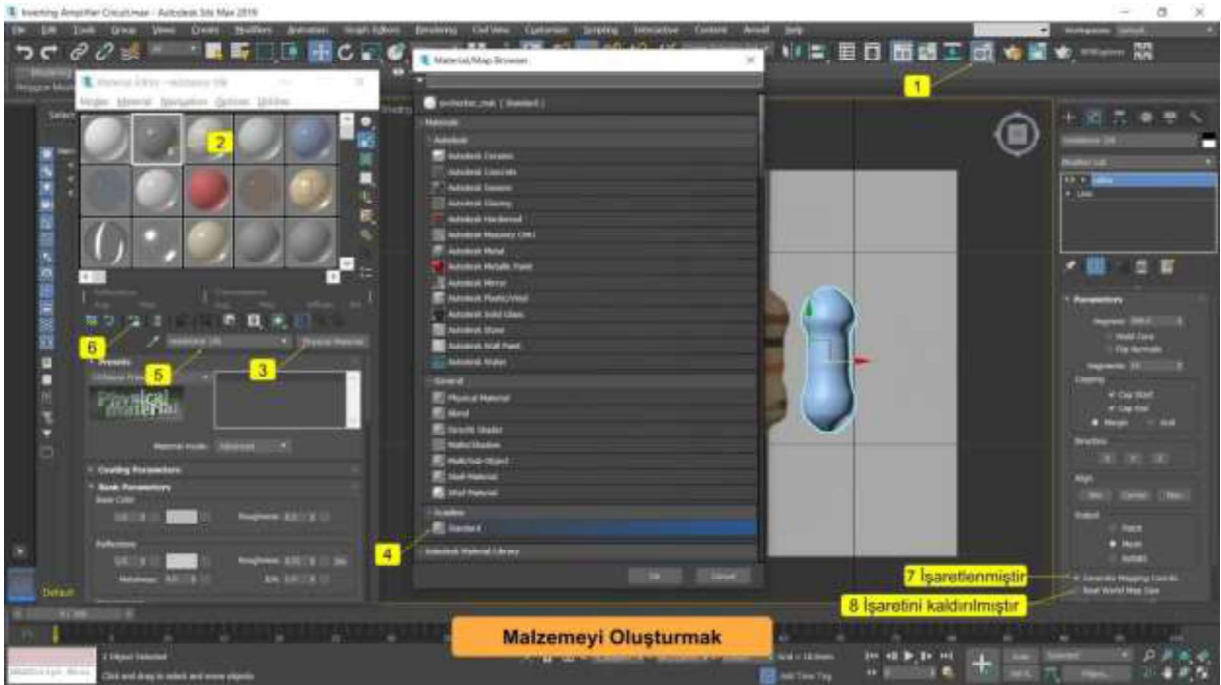
Şekil 3.38. Direncin kenarının çizilmesi

- Çizimden model oluşturma (Şekil 3.39)

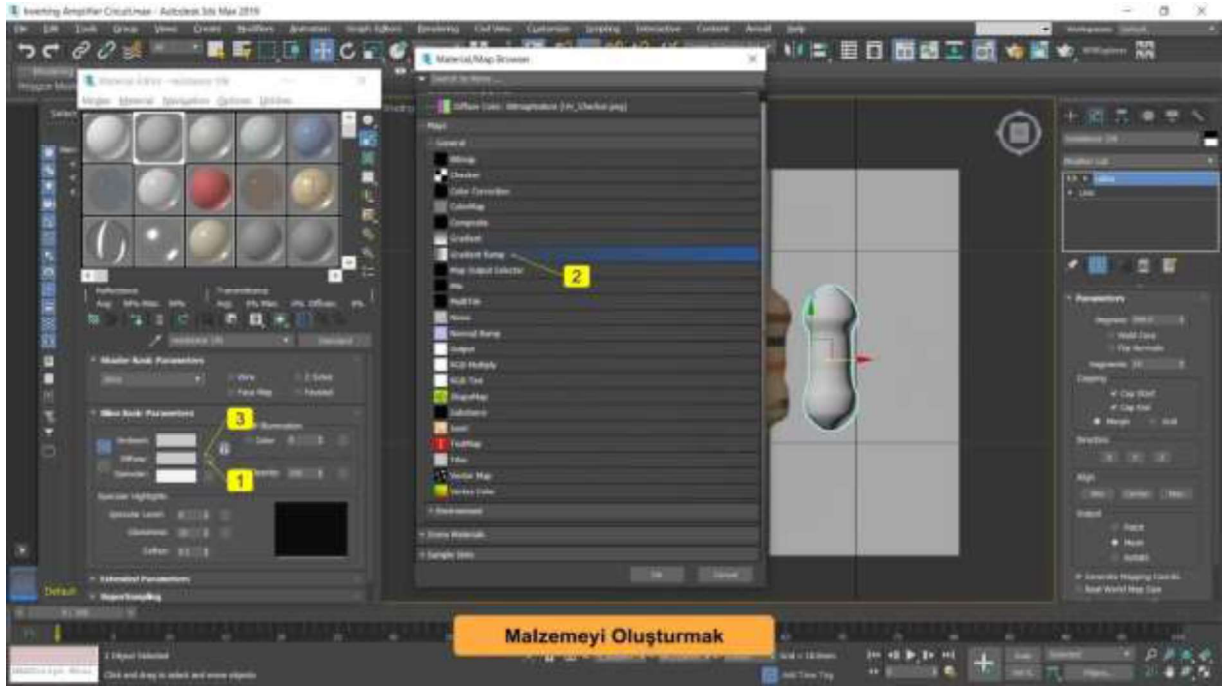


Şekil 3.39. Çizimden model oluşturma

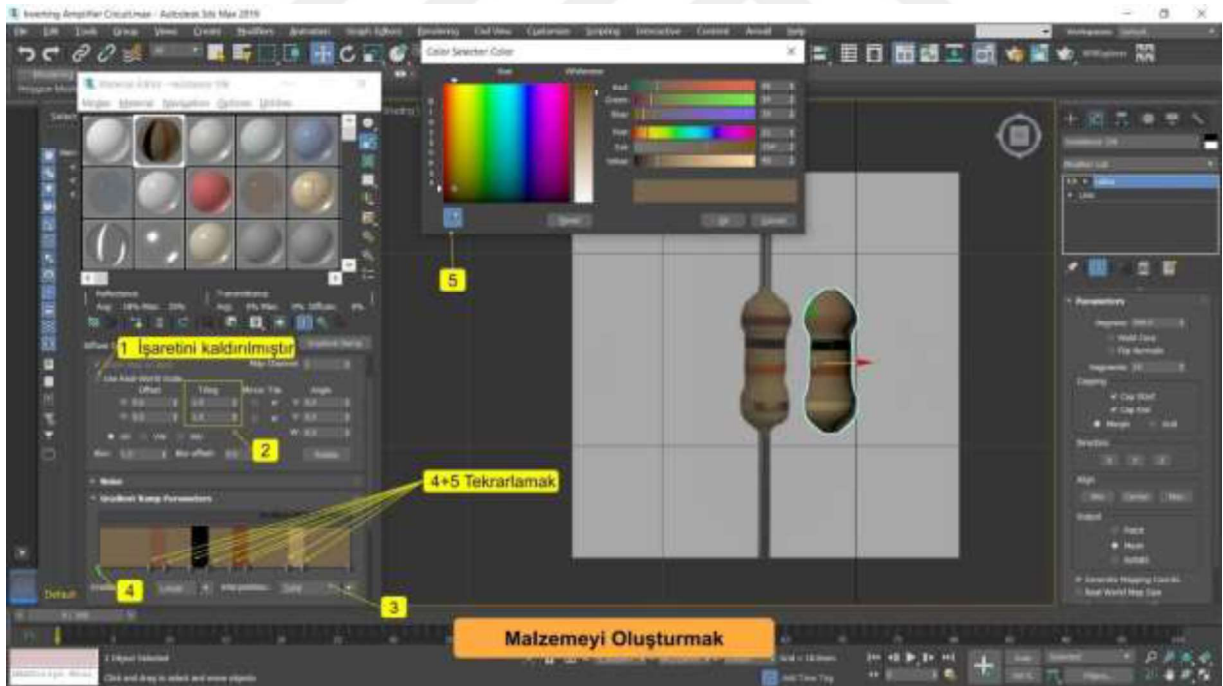
- Malzemeyi oluşturma (Şekil 3.40)



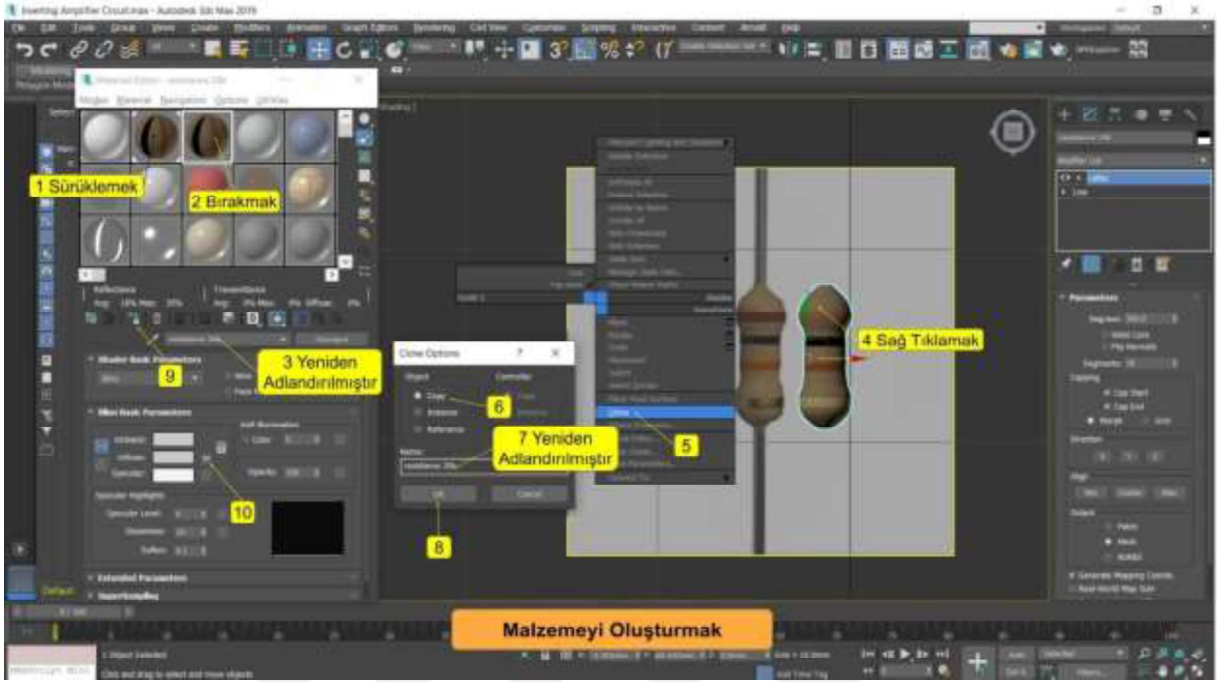
a) Malzemeyi oluşturmak



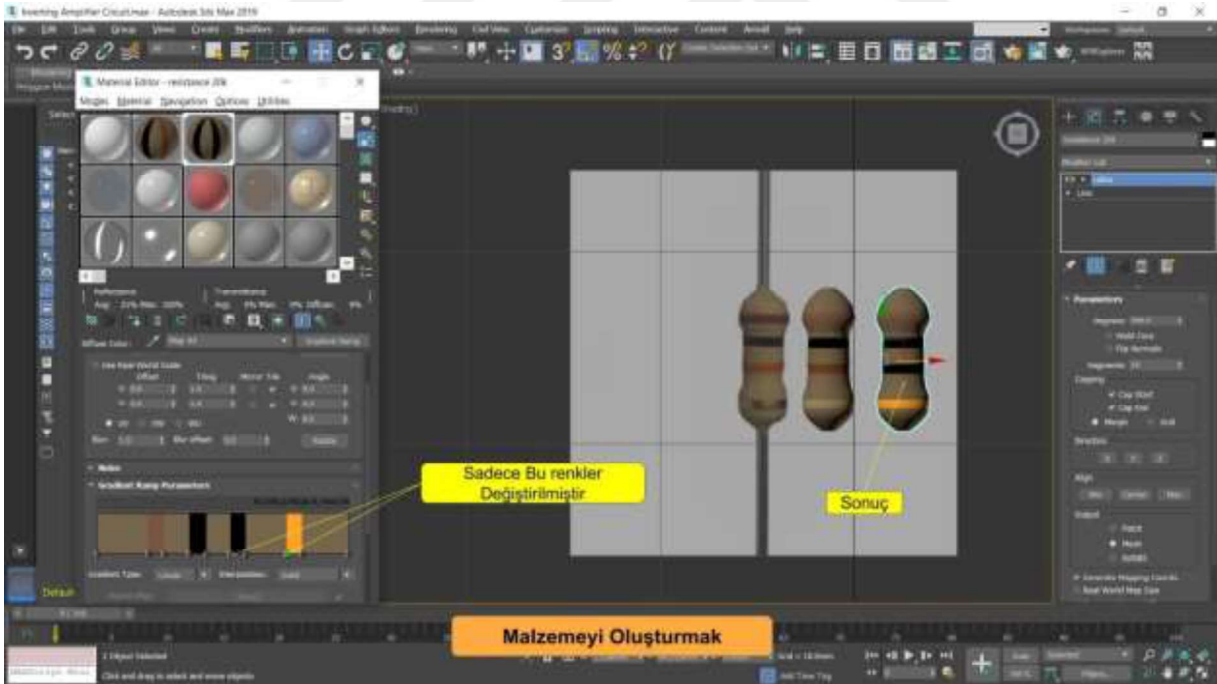
b) Malzeme haritası tarayıcısını açılması



c) Direncinin renkleri oluşturmak



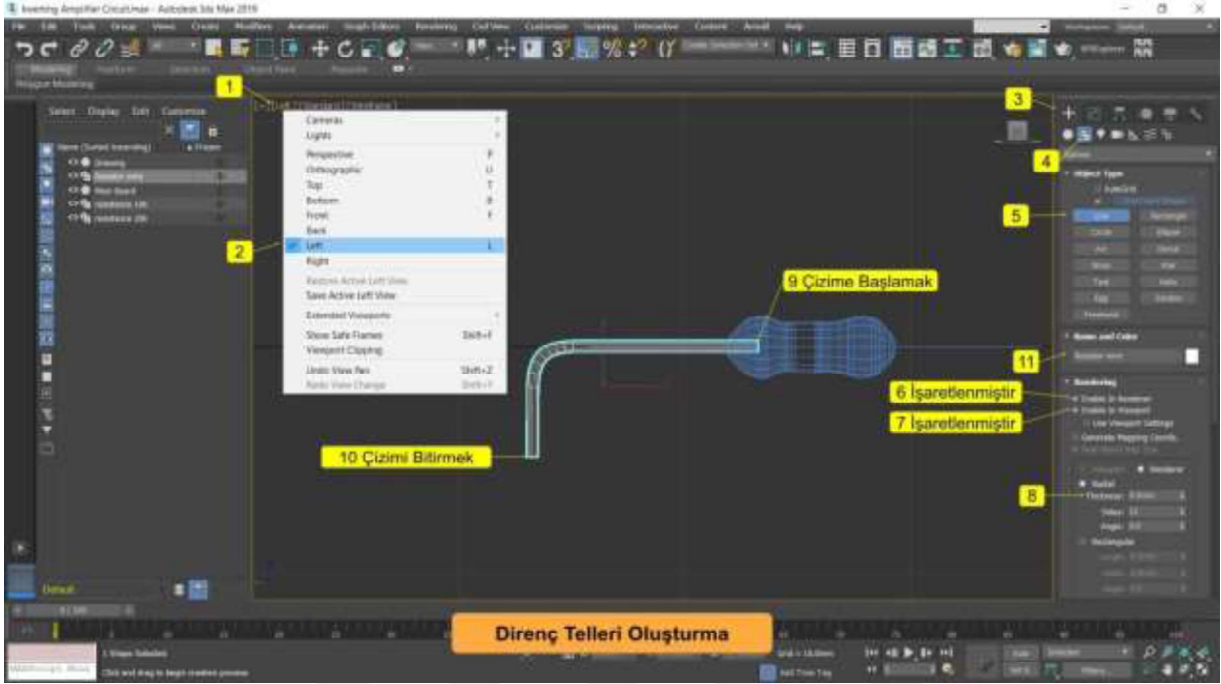
d) Malzemeyi kopyalamak



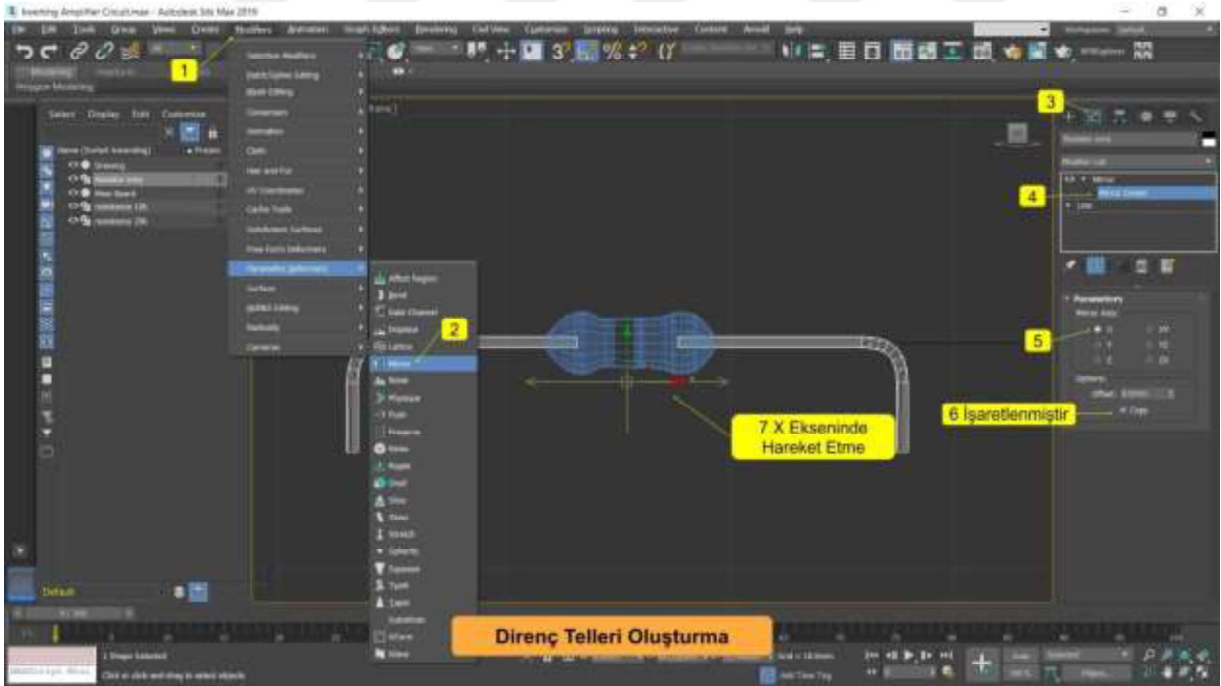
e) İkinci direncin renklerini oluşturmak

Şekil 3.40. Malzemenin oluşturulması

- Direnç bacakları oluşturma (Şekil 3.41)



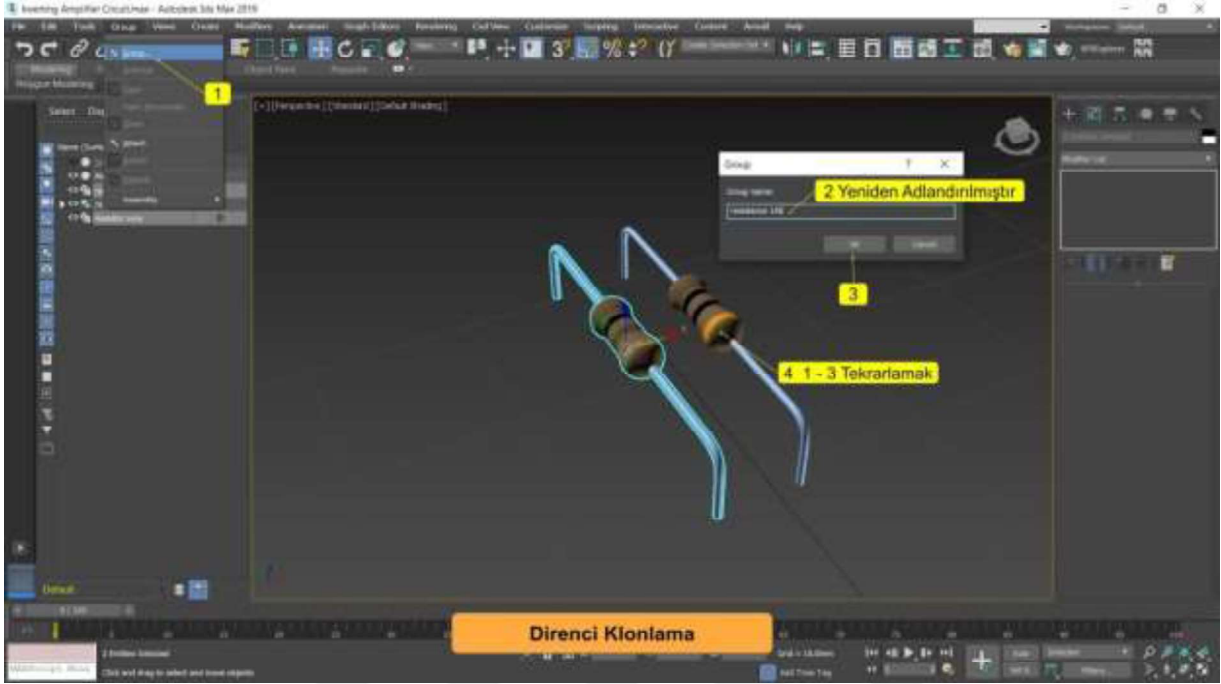
a) Direncin ilk telini/bacağını oluşturma



b) Direncin diğer telini/bacağını oluşturma

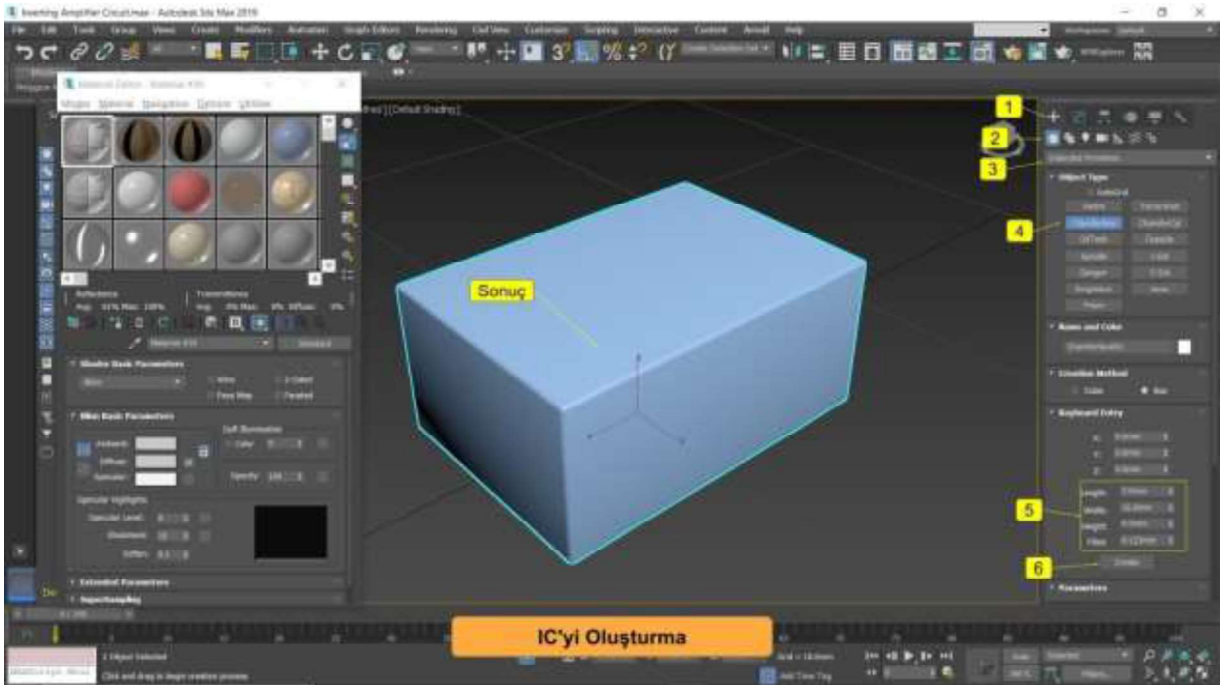
Şekil 3.41. Direnç telleri/bacaklarını oluşturma

- Direnci klonlamak (Şekil 3.42)



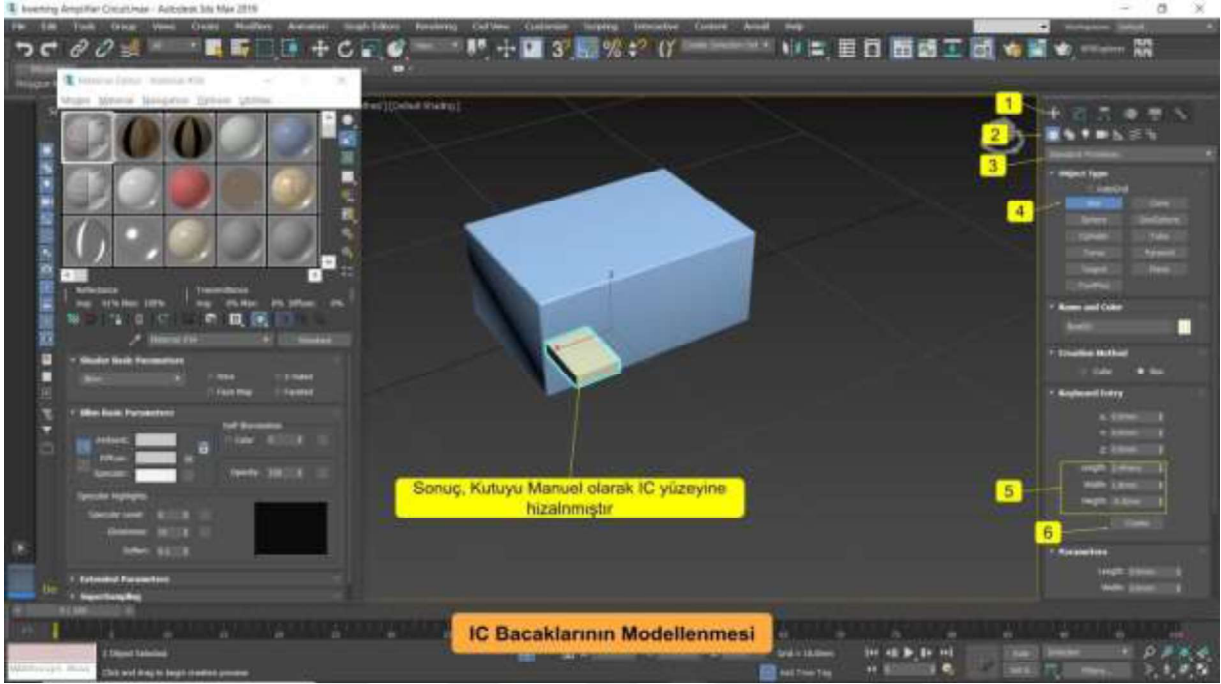
Şekil 3.42. Direnci klonlama

- IC'yi oluşturulma (Şekil 3.43)

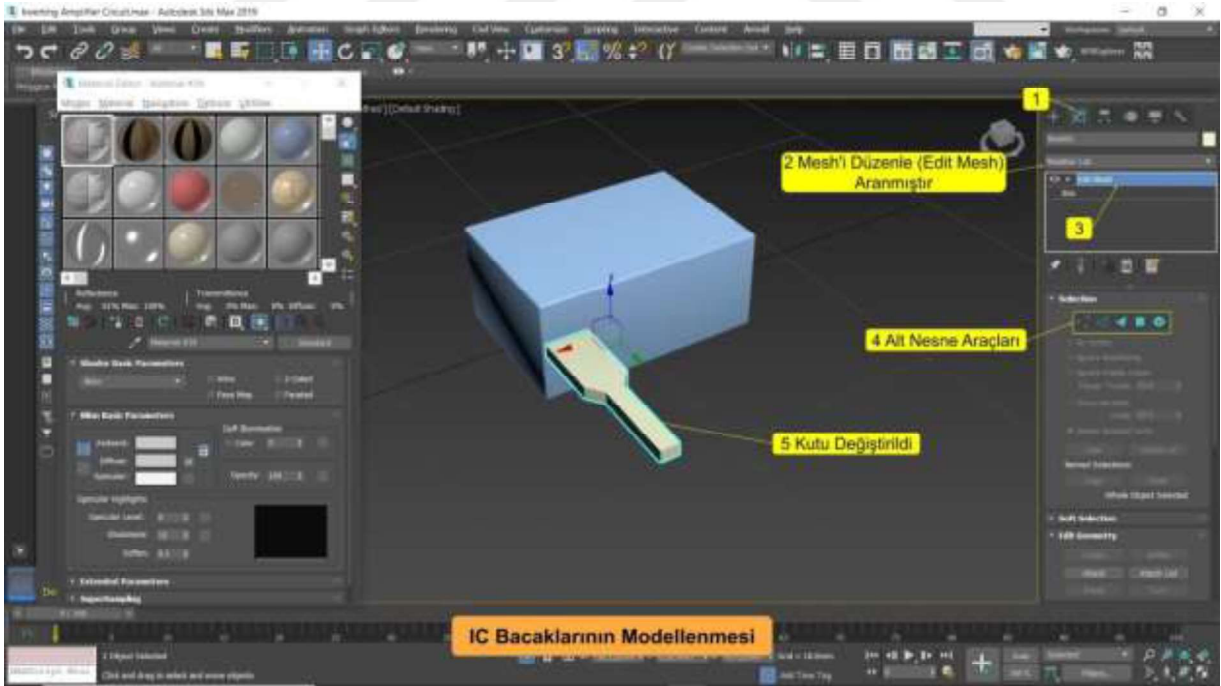


Şekil 3.43. IC'yi oluşturma

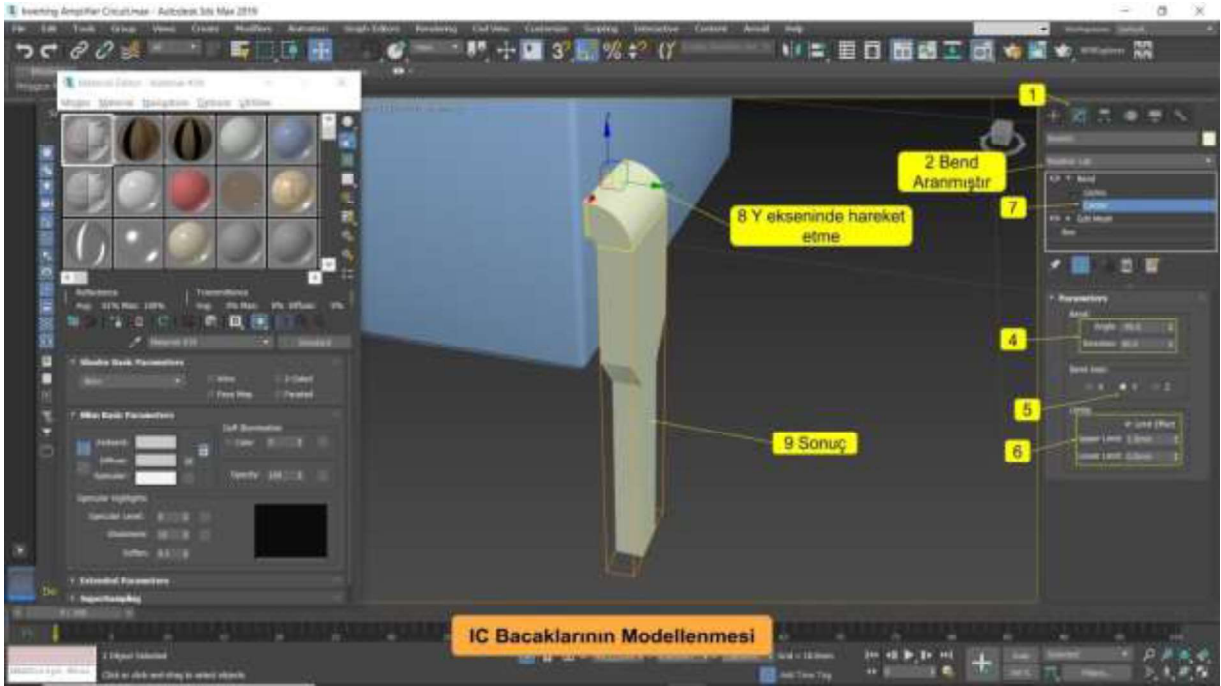
- IC bacaklarını modelleme (Şekil 3.44)



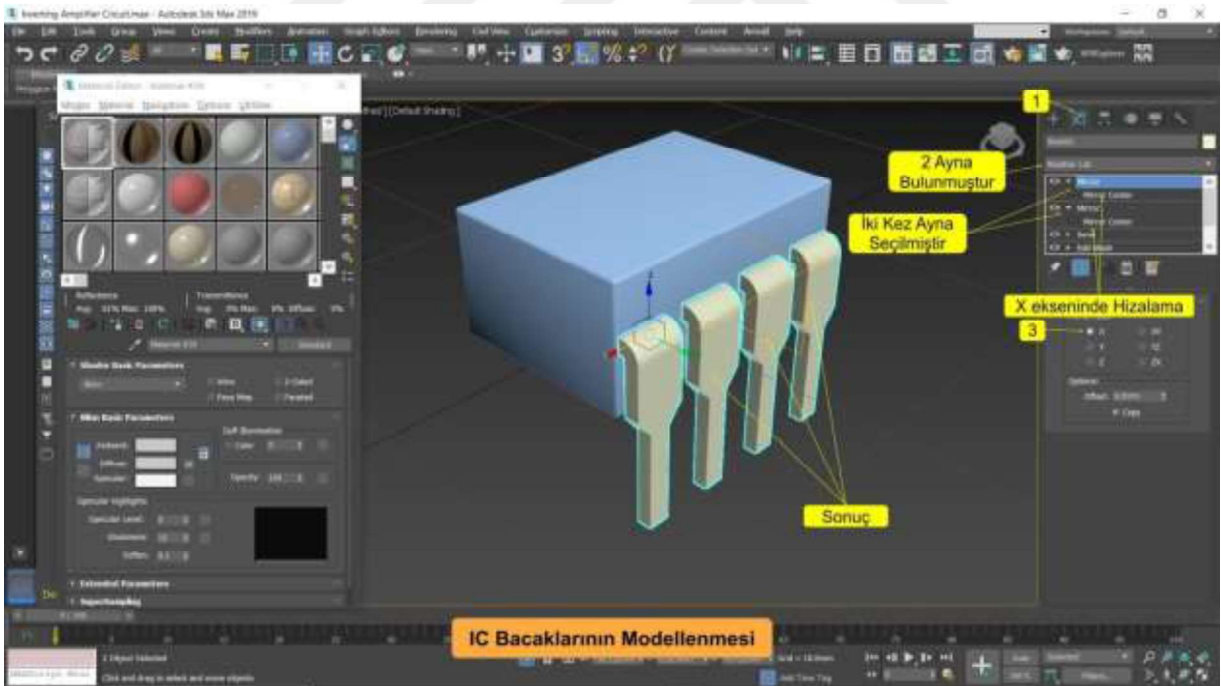
a) IC'ye kutu eklemek



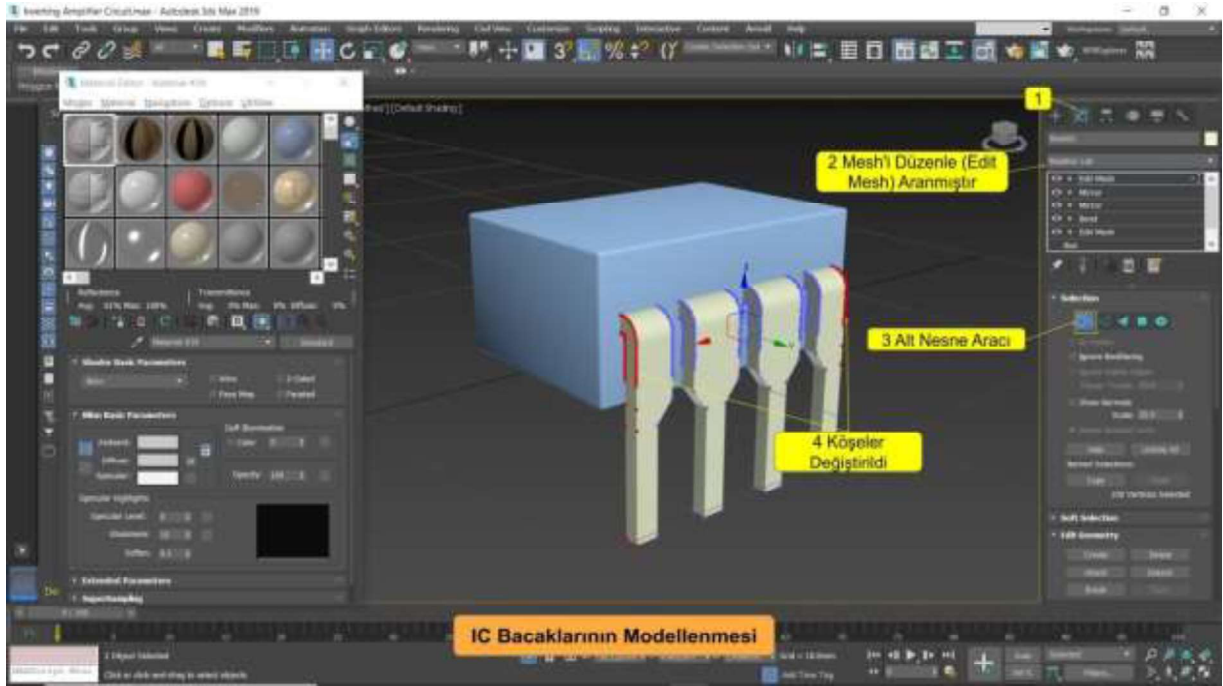
b) Alt nesne araçları kullanarak kutuyu modellemek



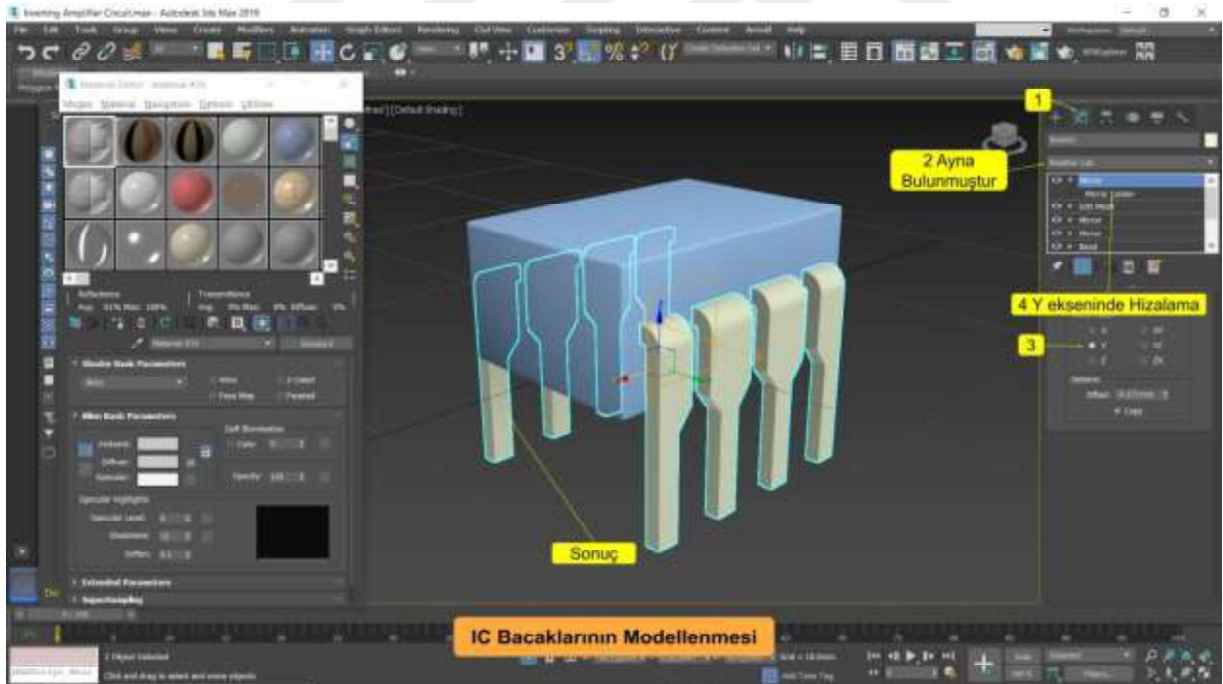
c) IC bacaklarına bükme eklemek



d) IC bacaklarına ayna eklemek



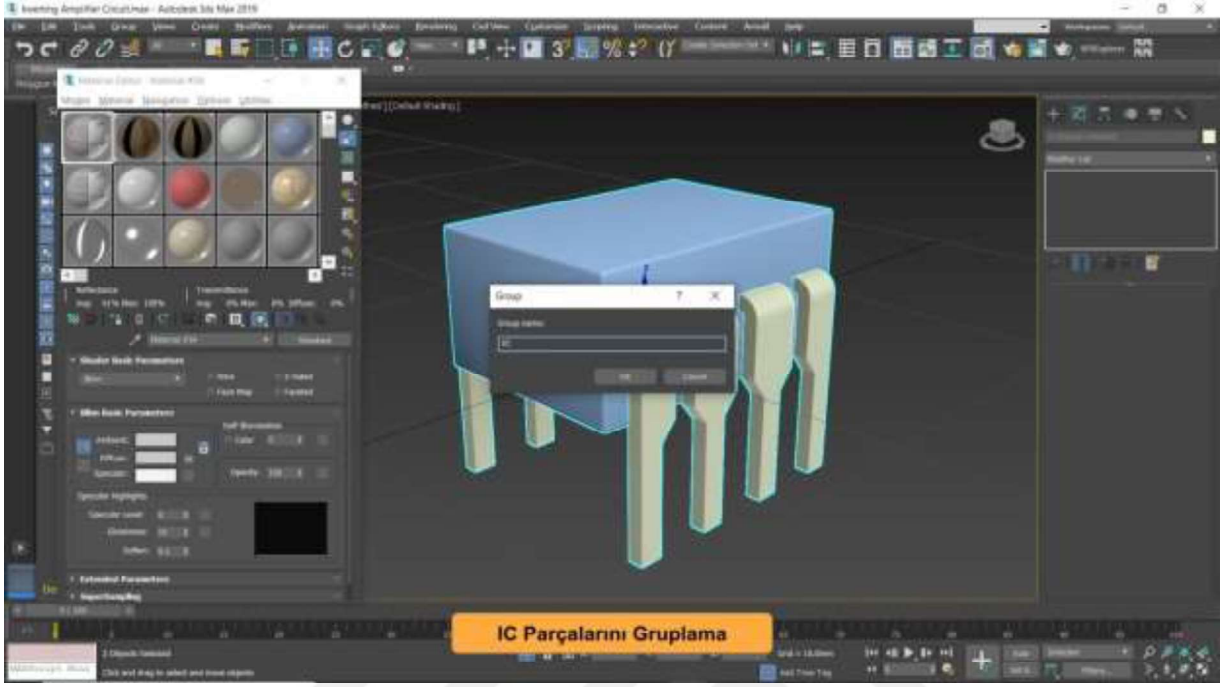
e) IC bacaklarının köşelerinin değiştirilmesi



f) IC bacaklarını aynı şekilde diğer tarafta oluşturmak

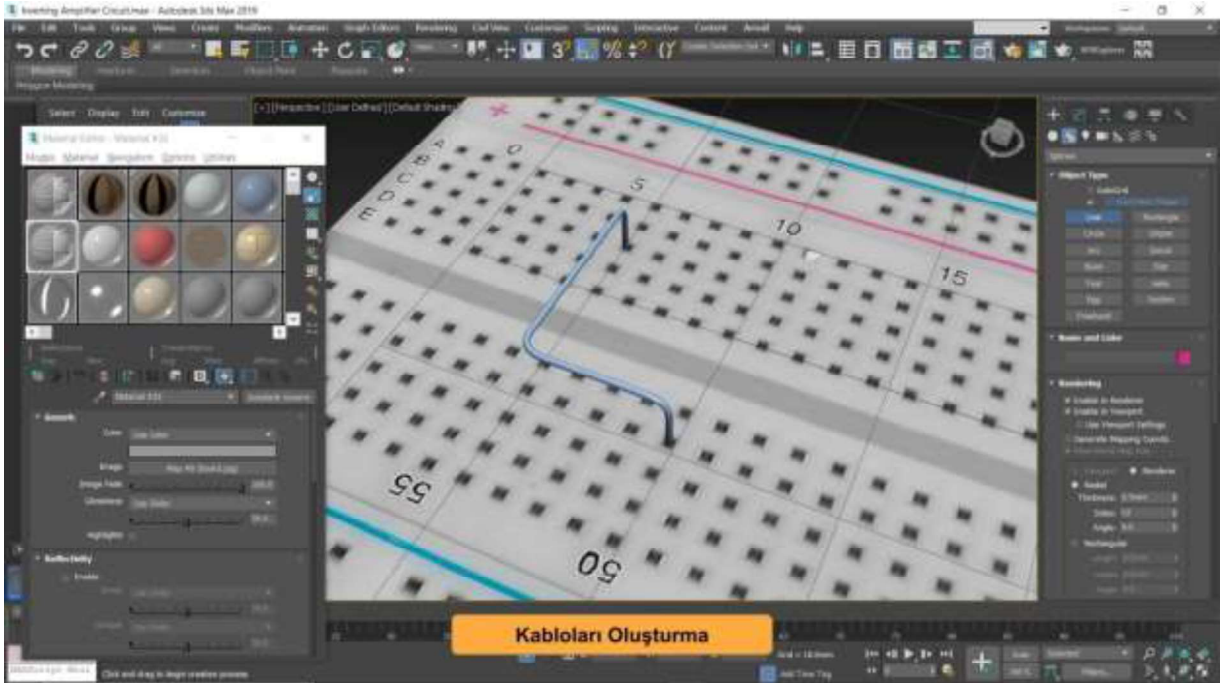
Şekil 3.44. IC bacaklarının modellenmesi

- IC parçaları gruplama (Şekil 3.45)

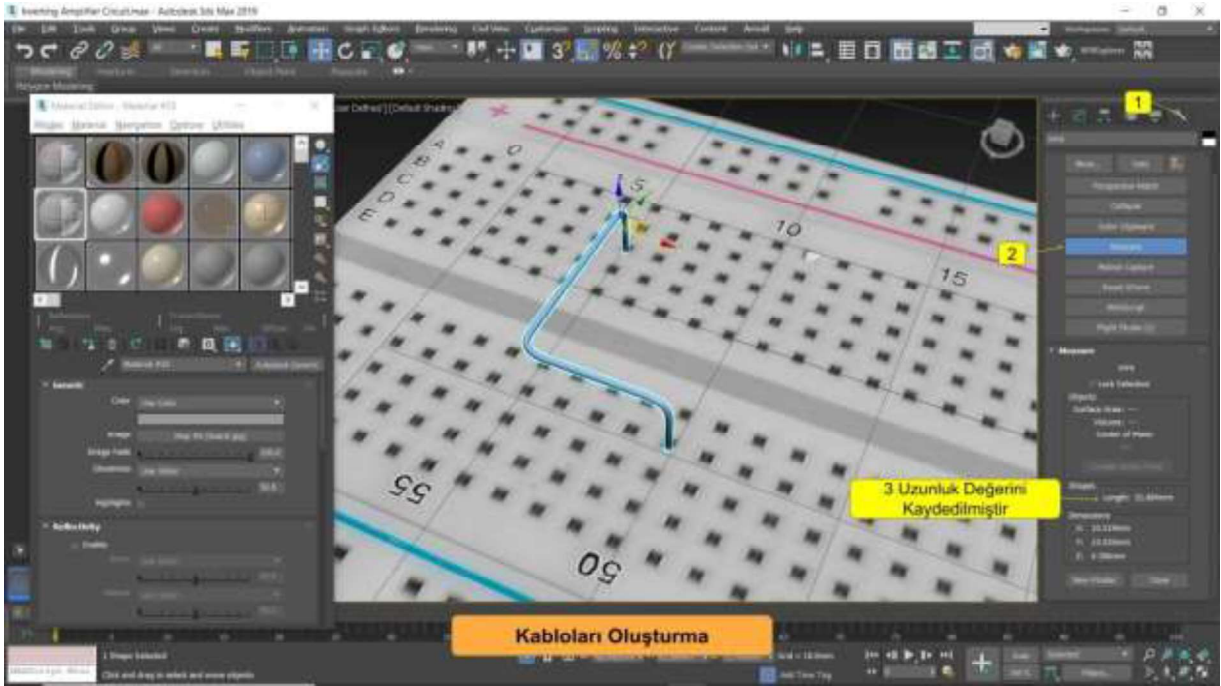


Şekil 3.45. IC parçalarını gruplama

- Kabloları oluşturma (Şekil 3.46)



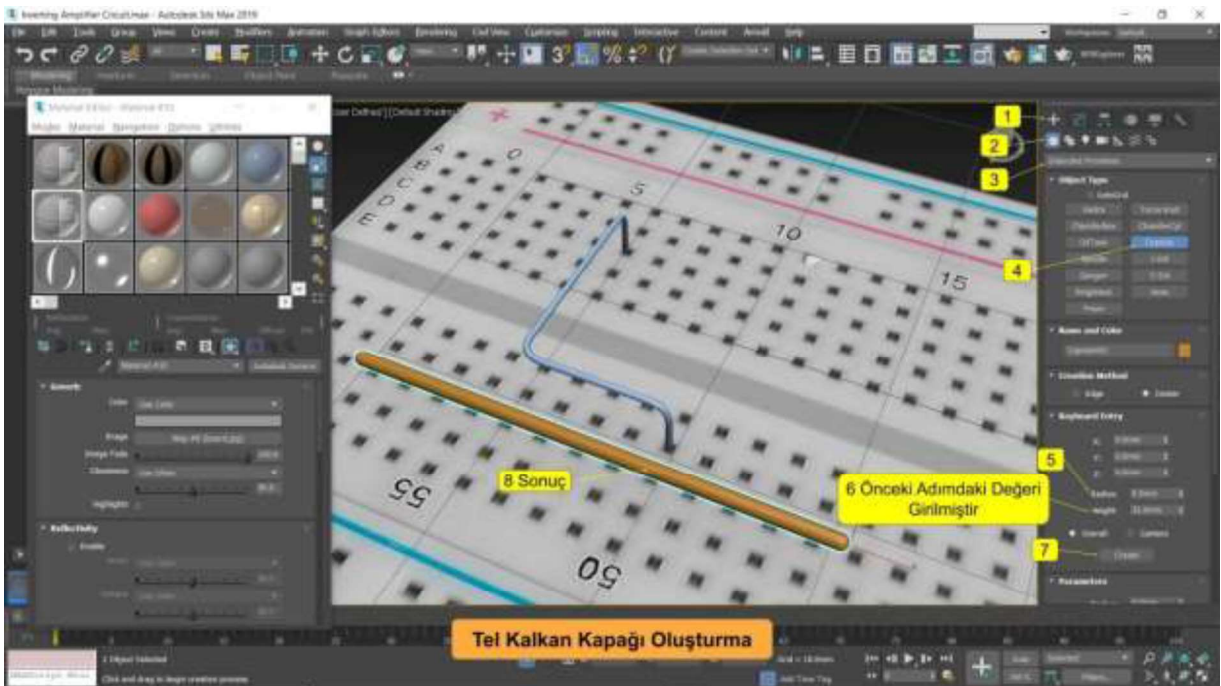
- a) Breadboard üzerinde tel oluşturmak



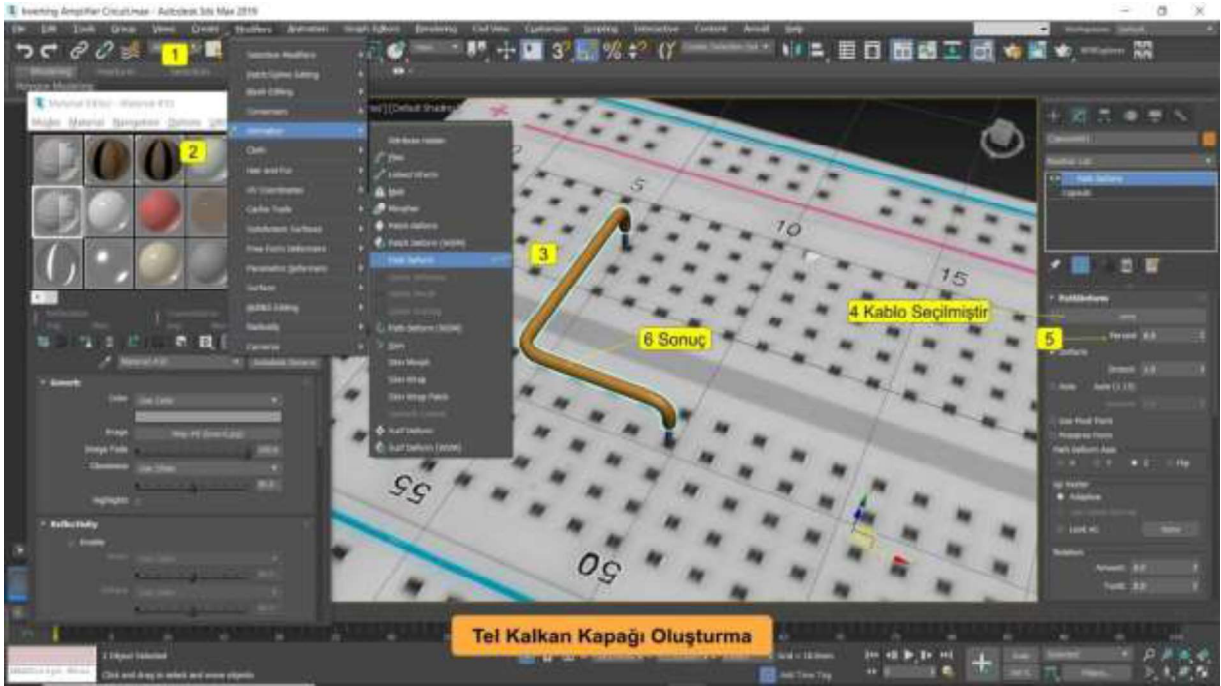
b) Tel uzunluk değerini kaydetmek

Şekil 3.46. Kablo oluşturma

- Kablo blendaj kapağını oluşturma (Şekil 3.47)



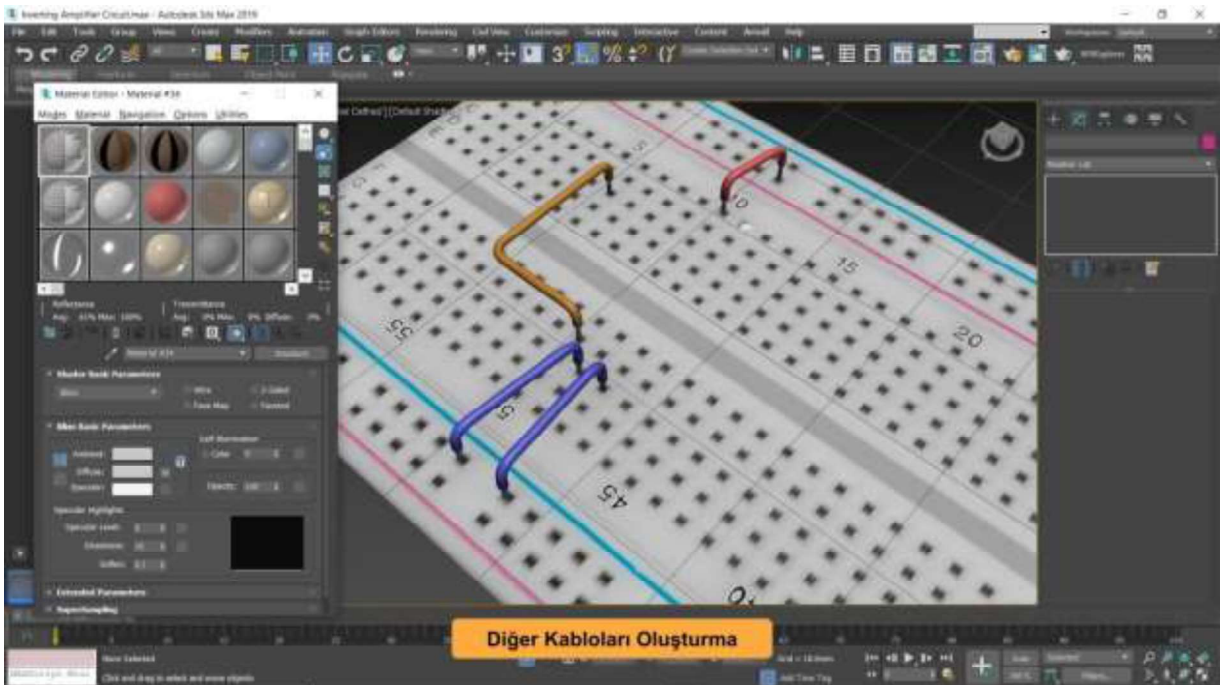
a) Kapsül nesnesi oluşturma



b) Tel blendajının tam olarak tellerin üzerine yerleştirilmesi

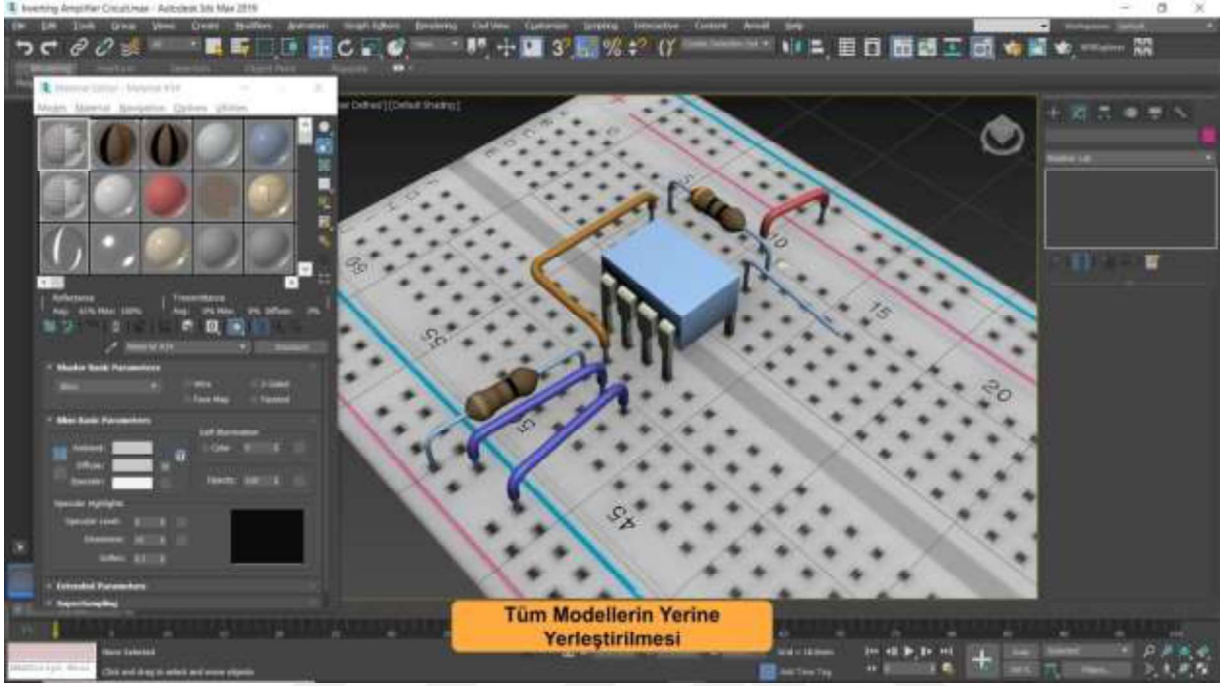
Şekil 3.47. Tel kalkan kapağı oluşturma

- Geri kalan kabloların oluşturulup breadboard üzerine yerleştirilmesi (Şekil 3.48)



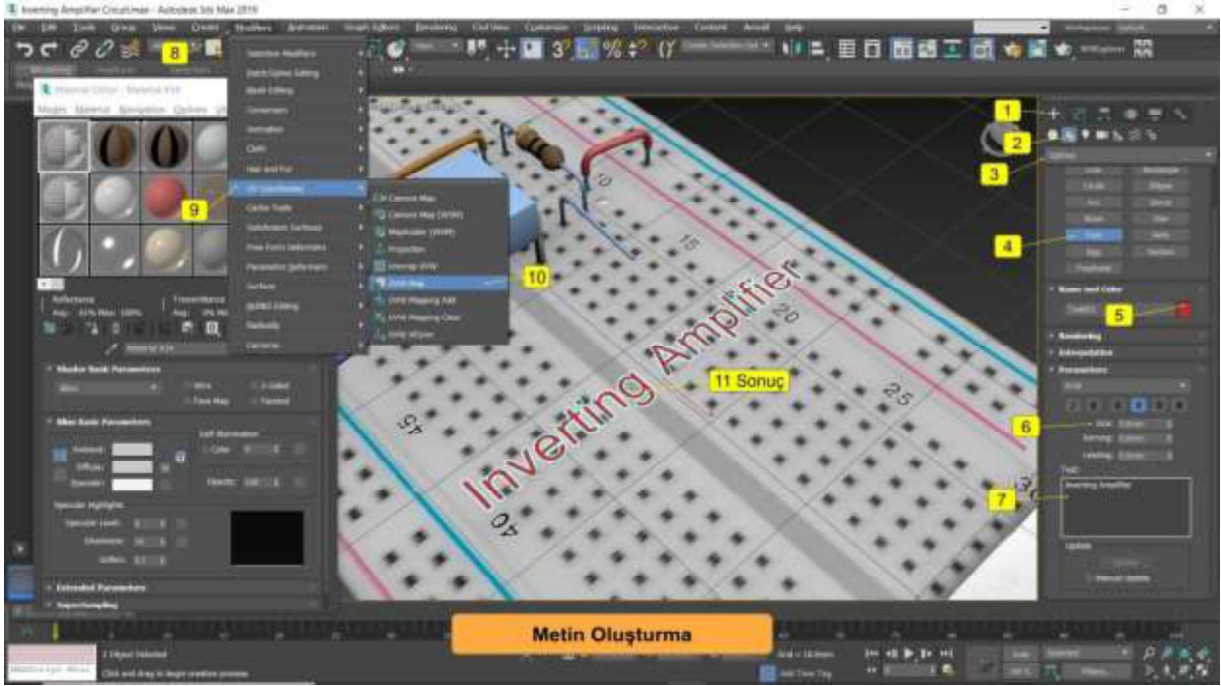
Şekil 3.48. Diğer kabloları oluşturma

- Tüm modellerin yerine koyulması (Şekil 3.49)



Şekil 3.49. Modelleri yerinde yerleştirmek

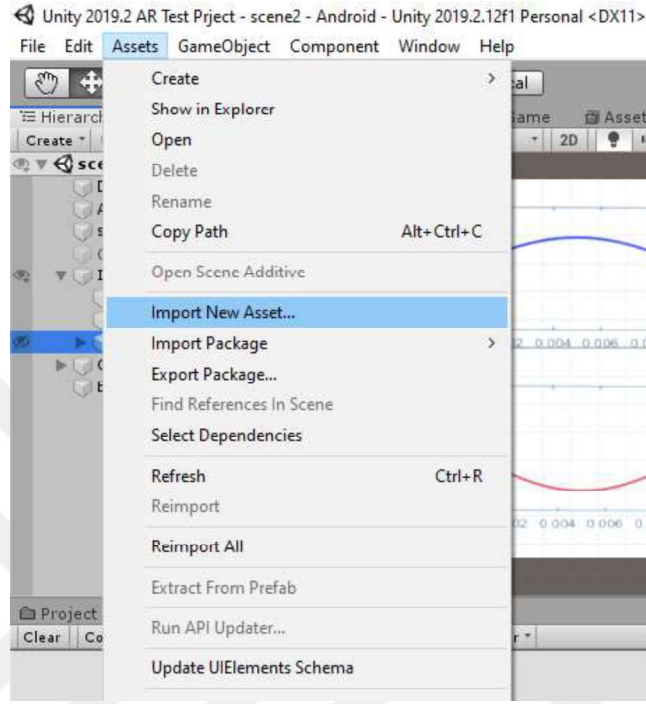
- Metinlerin oluşturulması (Şekil 3.50)



Şekil 3.50. Metin oluşturma

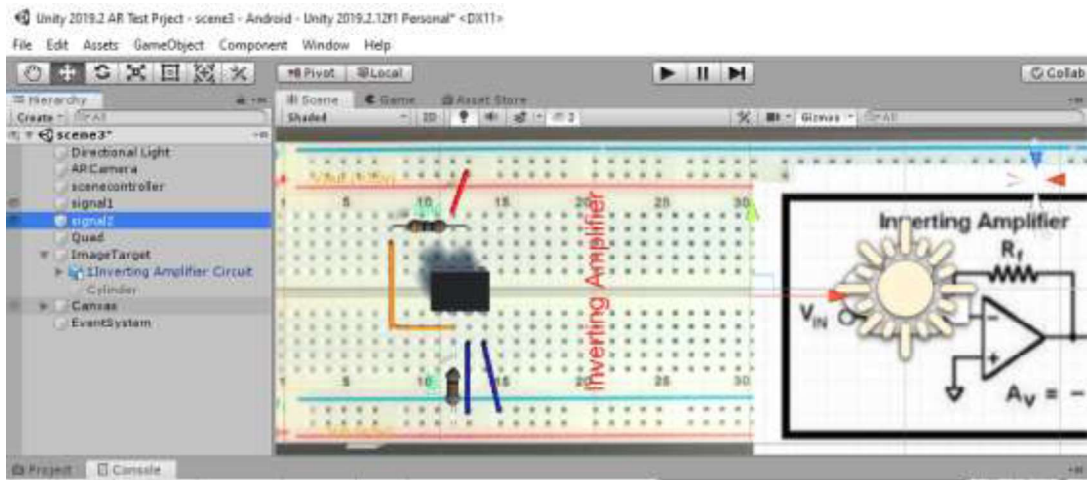
- 3B modeli Unity'ye ekleme.

3B modeli Şekil 3.51'de gösterildiği gibi Unity'ye aktarılmaktadır.



Şekil 3.51. 3B modeli Unity'ye aktarmak

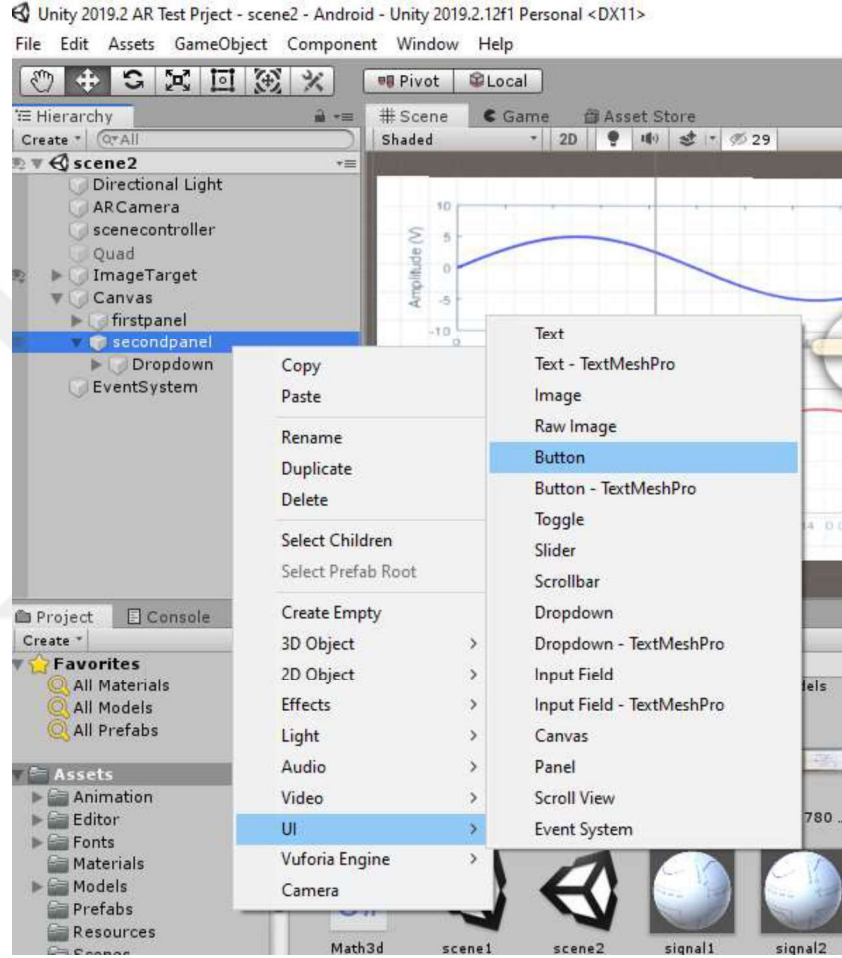
Breadboard'un bir kopyasını Unity içinde referans olarak kullanarak 3d model devresi, yerine tam olarak konumlandırılmalıdır (Şekil 3.52).



Şekil 3.52. 3B modeli breadboard üzerinde doğru bir şekilde yerleştirmek

- Unity içinde butonlar oluşturma

İşlemler için Unity programında 3B devre modeli için bir buton oluşturulması gerekmektedir. Bunun için "3B model" olarak adlandırılan buton, ikinci panelin alt öğesi olarak eklenmelidir (Şekil 3.53).



Şekil 3.53. Buton ekleme

İlave edilen butona ait komut dosyası (script) aşağıda verilmektedir.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class openmodel : MonoBehaviour
{
    public GameObject Circuit3d;

    public void openCircuit3d()
    {
    }
}
```

```

{
    if (Circuit3d != null)
    {
        bool isActive = Circuit3d.activeSelf;
        Circuit3d.SetActive(!isActive);
    }
}

```

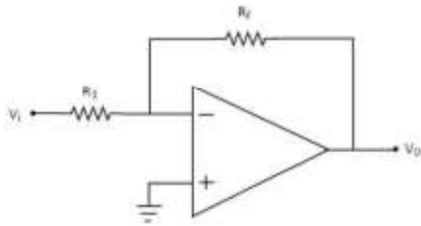
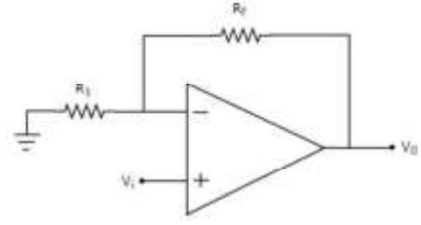
3B model devresi breadboard'un üstünde görünmesini sağlamak için ikinci bir buton eklenmelidir. Aynı şekilde üçüncü ve dördüncü butonlarla da ilgili devrenin giriş-çıkış bağıntısının ve konu anlatımının görünmesi sağlanacaktır.

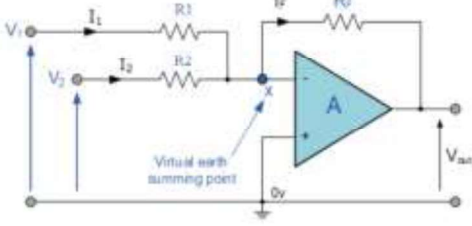
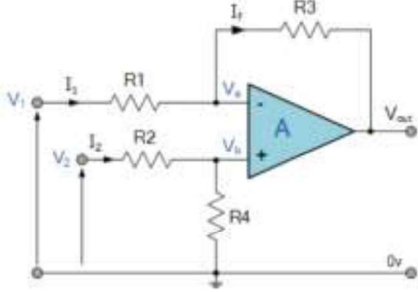
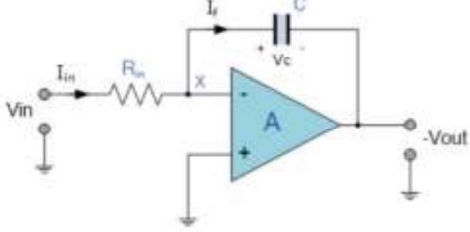
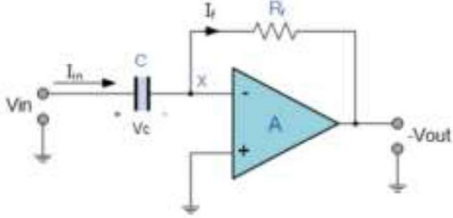
Son olarak aşağıdaki adımlar izlenerek uygulama hazır hale getirilmektedir.

- Oynatıcı ayarlarından, yön yatay sol (Landscape left) olarak seçilmiştir, "use 32 bit display buffer" işareti kaldırılıp, bunun yerine "disable depth and stencil" işaretlenmiştir.
- Sahne çubuğunun yanındaki Oyun çubuğuna basılmış ve çözünürlük en boy oranını (aspect ratio) 16:9 Yatay olarak ayarlanmıştır.
- Tuval denetçisi (inspector window) penceresinden UI Ölçekli Modeli (UI Scale Model) "Scale with Screen Size" olarak yerleştirilmiştir.
- Dosya> Yapı Ayarları> Oluştur'a basılmıştır.

Yukarıda adımlarda örnek olarak eviren yükselteç devresi gösterilmiştir. Benzer adımlar diğer devreler için tekrarlanmaktadır. Bu devreler Tablo 3.1'de verilmektedir.

**Tablo 3.1.** Kullanılan yükselteç devreleri

Türü	Devre şeması	Giriş-çıkış bağıntısı
Eviren		$V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) * V_i$
Evirmeyen		$V_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) * V_i$

<p>Toplama</p>		$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1} * V_1 + \frac{R_f}{R_2} * V_2\right)$
<p>Çıkarma</p>		$V_{out} = -V_1 * \left(\frac{R_3}{R_1}\right) + V_2 * \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4}\right) * \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1}\right)$
<p>İntegral</p>		$V_{out} = -\frac{1}{R_{in} C} \int_0^t V_{in} dt$
<p>Türev</p>		$V_{out} = -R_f \cdot C \frac{dV_{in}}{dt}$

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Uygulamalar

Geliştirilen AG uygulamasının testi, Huawei NMO-L31 marka akıllı telefonda gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın ana arayüzü Şekil 4.1'de görülmektedir.

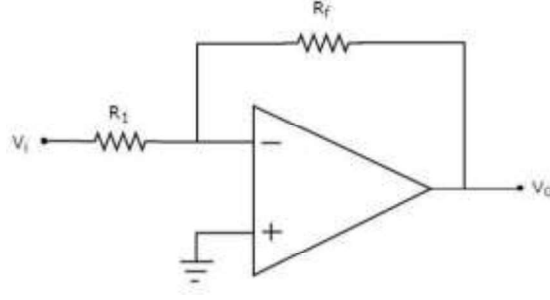


Şekil 4.1. Uygulamanın ana arayüzü

- Eviren Yükselteç

Bir eviren yükselteç, girişi bir  $R1$  direnci üzerinden eviren terminalden alır ve çıkış olarak kuvvetlendirilmiş versiyonunu üretir. Bu yükselteç sadece girişi güçlendirmekle kalmaz, aynı zamanda onu tersine çevirir (işaretini/fazını değiştirir) (Electronicsnotes 2020).

Bir eviren yükseltecin devre şeması, Şekil 4.2'de verilmektedir.



**Şekil 4.2.** Eviren yükseltecin devre şeması

$$\frac{0 - Vi}{R1} + \frac{0 - V0}{Rf} = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{-Vi}{R1} = \frac{V0}{Rf} \quad (4.2)$$

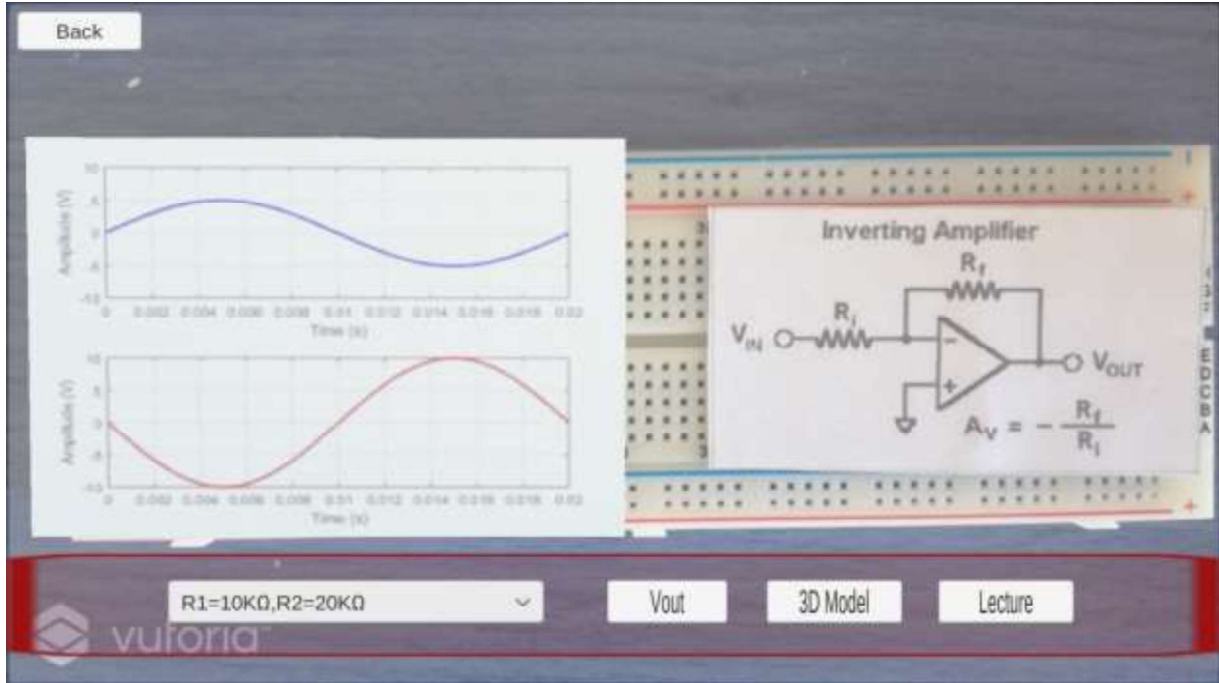
$$V0 = -\left(\frac{Rf}{R1}\right) * Vi \quad (4.3)$$

Çıkış gerilimi  $V0$  ve giriş gerilimi  $Vi$ 'nin oranı, yükseltecin gerilim kazancı veya kazancıdır. Bu nedenle, eviren yükseltecin kazancı  $-\frac{Rf}{R1}$  'e eşittir.

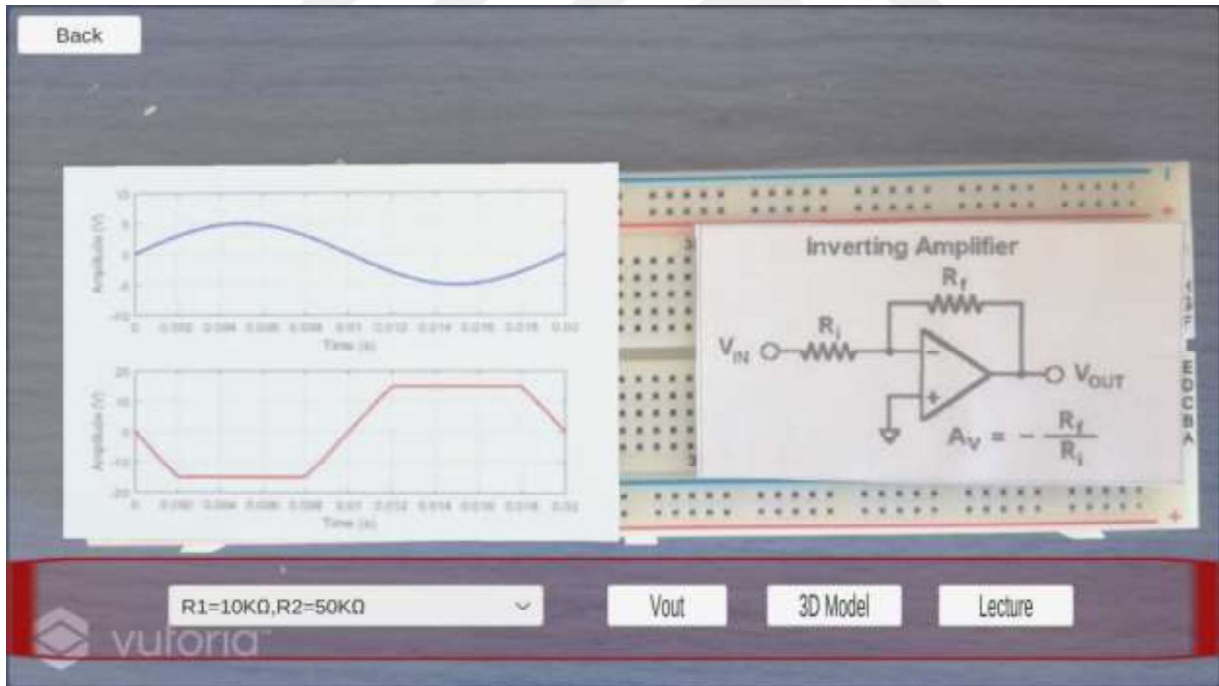
Eviren yükseltecin kazancı negatif bir işarete sahiptir. Bu da giriş ve çıkış arasında  $180^\circ$  faz farkı olduğunu göstermektedir. Eviren yükseltecin kullanım alanları (Electronicsnotes 2020):

- Eviren yükselteç, voltaj toplayıcı veya toplama yükselteci için tam kullanılır.
- Eviren yükseltecin, ölçeklenen toplama yükselteci için uygundur.
- Dengeli yükselteç için geçerlidir.

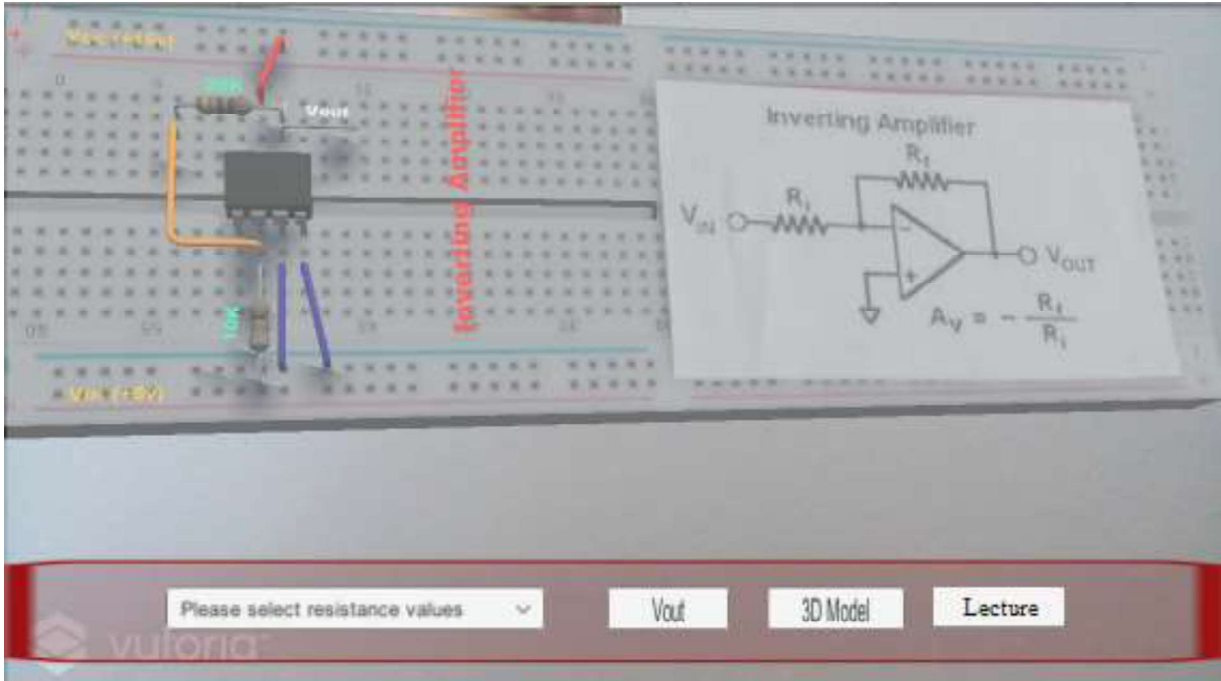
Buna göre farklı direnç değerleriyle eviren yükselteç uygulamaları sırasıyla Şekil 4.3-4.4'te verilmektedir. 3D, Vout ve Konu anlatımı butonlarına tıklanıldığında/basıldığında oluşan görüntüler de sırasıyla Şekil 4.5-4.7'de görülmektedir.



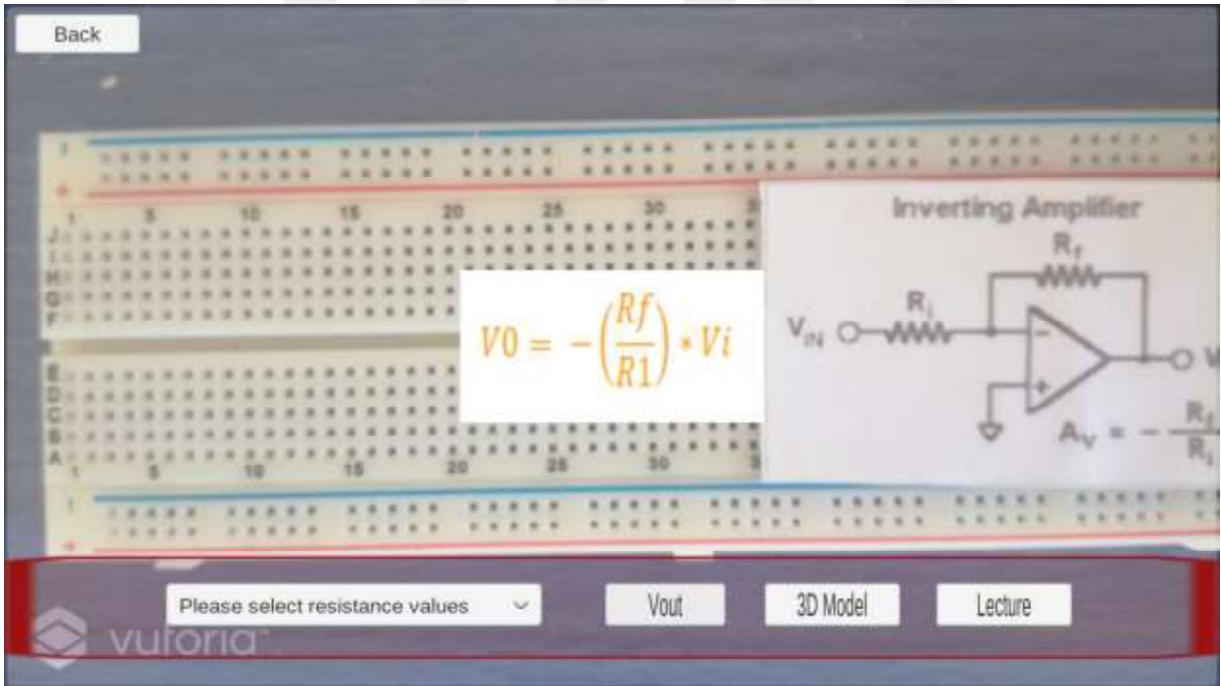
Şekil 4.3.  $R_1 = 10K\Omega$ ,  $R_2 = 20K\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



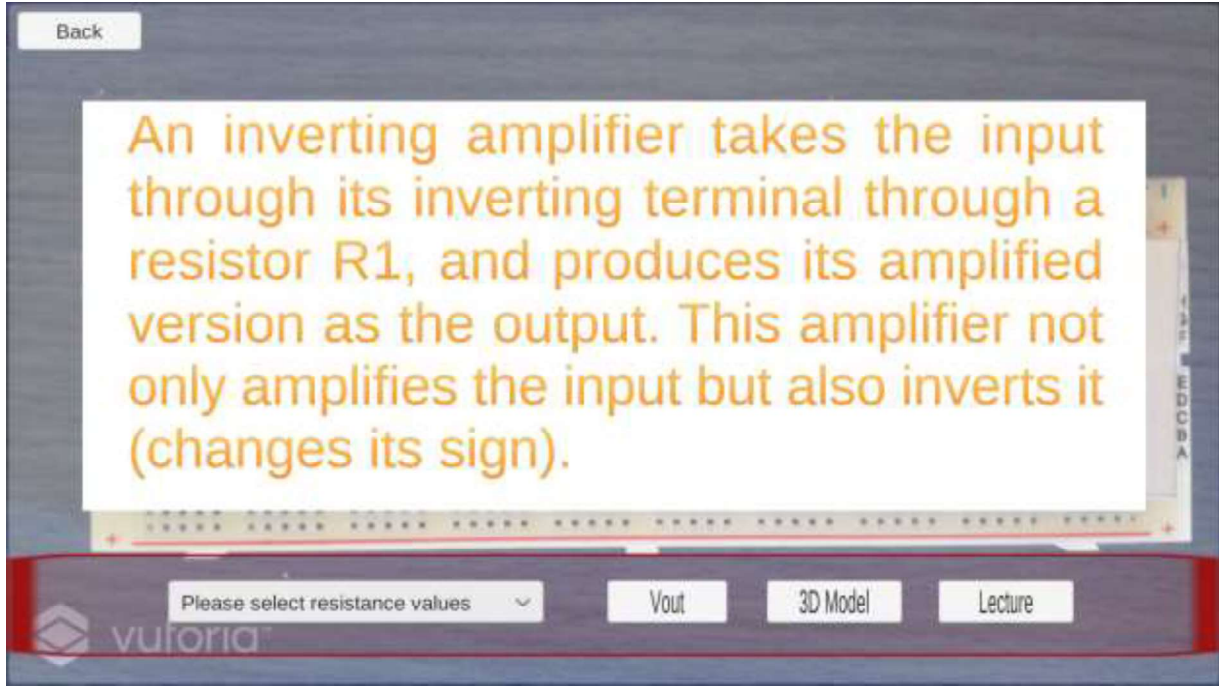
Şekil 4.4.  $R_1 = 10K\Omega$ ,  $R_2 = 50K\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



Şekil 4.5. Eviren yükselteç devresinin 3D modeli



Şekil 4.6. Eviren yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı

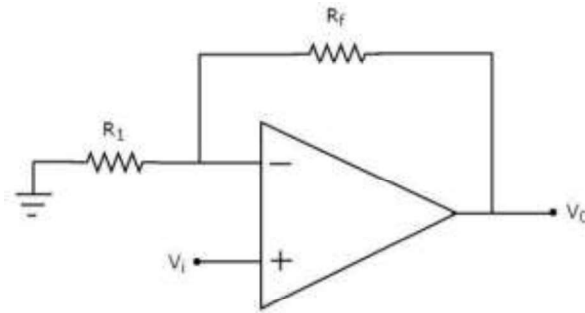


Şekil 4.7. Eviren yükseltecin açıklaması

- Evirmeyen Yükselteç

Evirmeyen bir yükselteç, girişi evirmeyen terminalinden alır ve çıkış olarak kuvvetlendirilmiş versiyonunu üretir. Adından da anlaşılacağı gibi, bu yükselteç, çıkışın işaretini tersine çevirmeden veya değiştirmeden girişi güçlendirmektedir (Electronicsnotes 2020).

Evirmeyen yükseltecin devre şeması Şekil 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.8. Evirmeyen yükseltecin devre şeması

Şekil 4.8 gösterilen devrede, giriş gerilimi  $V_i$  doğrudan op-amp'in evirmeyen giriş terminaline uygulanmaktadır. Böylece, op-amp'in evirmeyen giriş terminalindeki gerilimi  $V_i$  olacaktır.

Gerilim bölme prensibini kullanarak, op-amp'in eviren giriş terminalindeki gerilimi ( $V_1$ ) Eşitlik (4.4)'te verilmektedir.

$$V_1 = V_0 * \left( \frac{R_1}{R_1 + R_f} \right) \quad (4.4)$$

Bir op-amp'in eviren giriş terminalindeki gerilimi, evirmeyen giriş terminalindeki gerilimle aynıdır.

$$V_1 = V_i \quad (4.5)$$

$$V_0 * \left( \frac{R_1}{R_1 + R_f} \right) = V_i \quad (4.6)$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} \quad (4.7)$$

$$\frac{V_0}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (4.8)$$

$$V_0 = \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right) * V_i \quad (4.9)$$

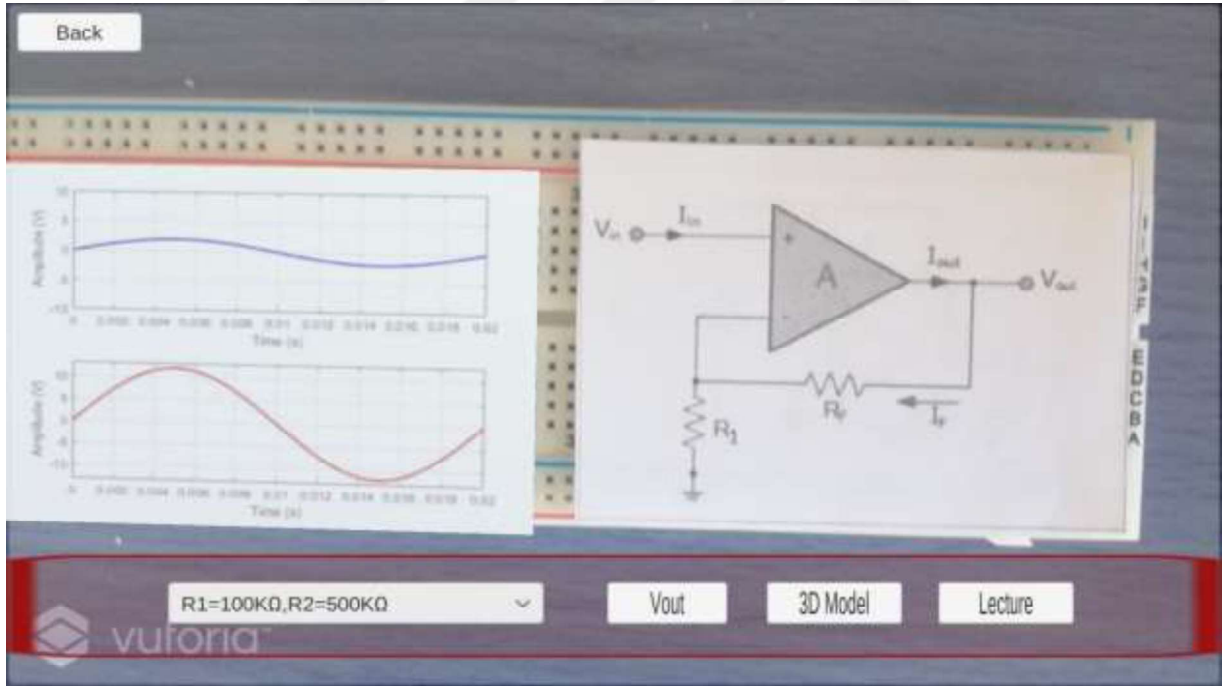
Böylece çıkış gerilimi  $V_0$  ve giriş gerilimi  $V_i$  oranı veya evirmeyen yükseltecin voltaj kazancı  $1 + \frac{R_f}{R_1}$  'e eşittir.

Evirmeyen yükseltecin kazancı, pozitif bir işarete sahiptir. Giriş ve çıkış arasında faz farkı olmadığını gösterir. Op evirmeyen devrenin empedansı özellikle yüksektir. Bu işlemsel yükselteç devresinin giriş empedansı tipik olarak  $10^7 \Omega$  'un çok üzerinde olabilir. Çoğu devre uygulaması için, devrenin önceki aşamalar üzerindeki herhangi bir yükleme etkisi, aşırı derecede hassas olmadıkları sürece, çok yüksek olduğu için tamamen göz ardı edilebilir.

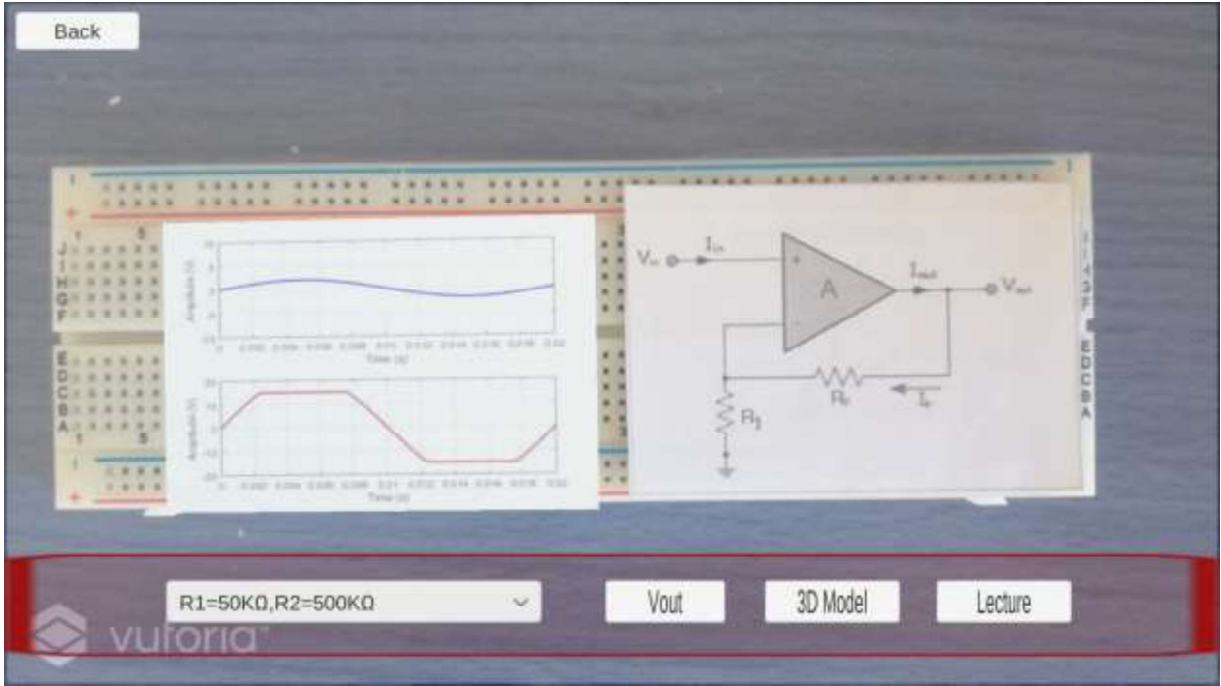
Evirmeyen yükseltecin kullanım alanları (Electronicsnotes 2020):

- Evirmeyen bir yükselteç, gerilim bölücü negatif geri besleme bağlantısı kullanır.
- Gerilim kazancı her zaman 1'den büyüktür.

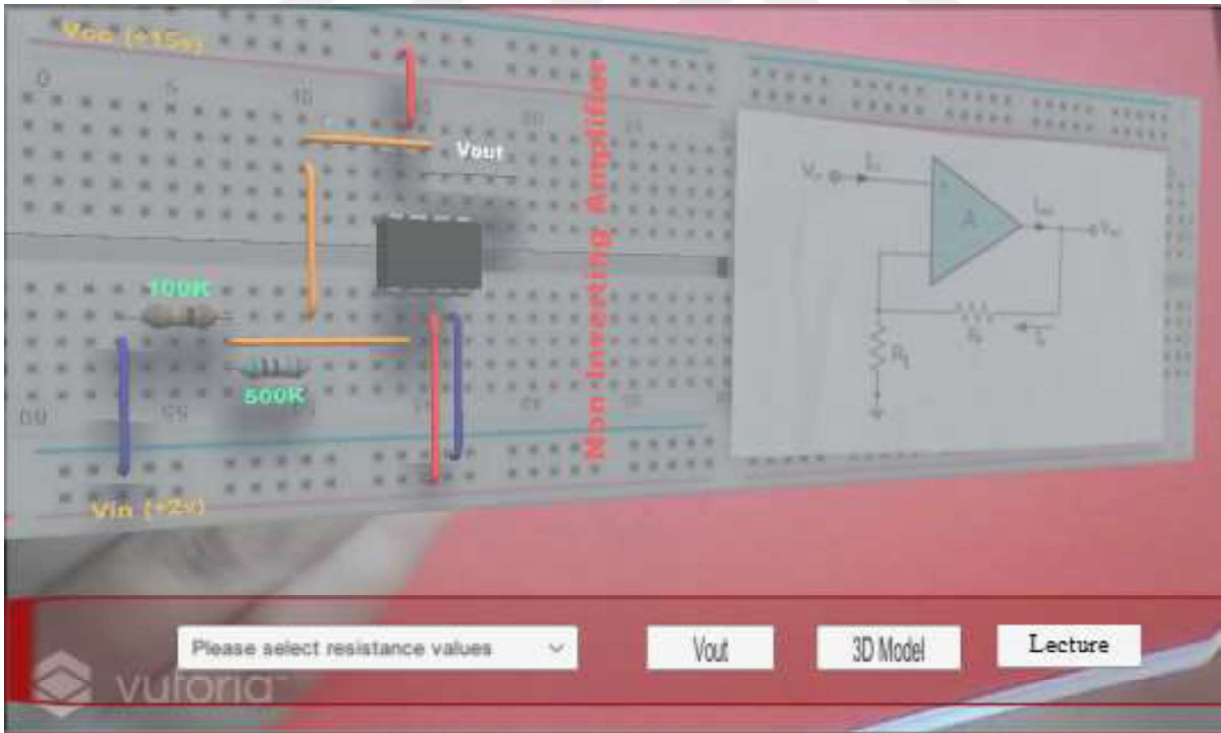
Buna göre farklı direnç değerleriyle evirmeyen yükselteç uygulamaları sırasıyla Şekil 4.9-4.10'te verilmektedir. 3D, Vout ve Konu anlatımı butonlarına tıklanıldığında oluşan görüntüler de sırasıyla Şekil 4.11-4.13'te görülmektedir.



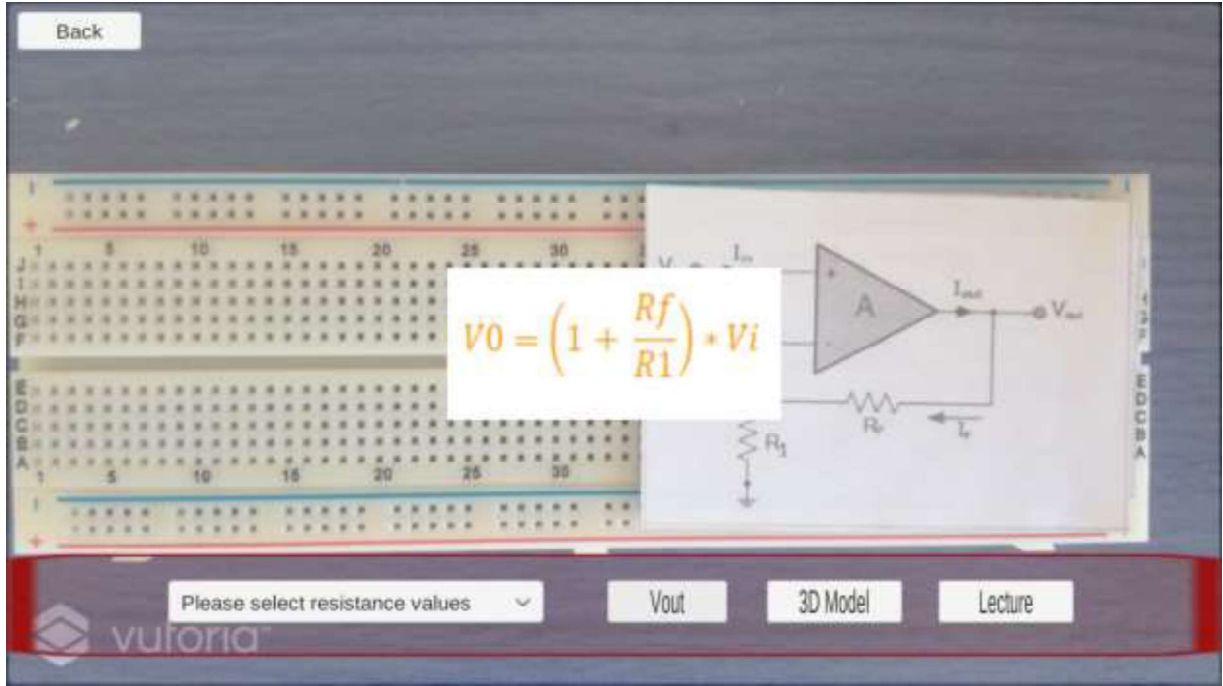
Şekil 4.9.  $R_1 = 100K\Omega$ ,  $R_2 = 500K\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



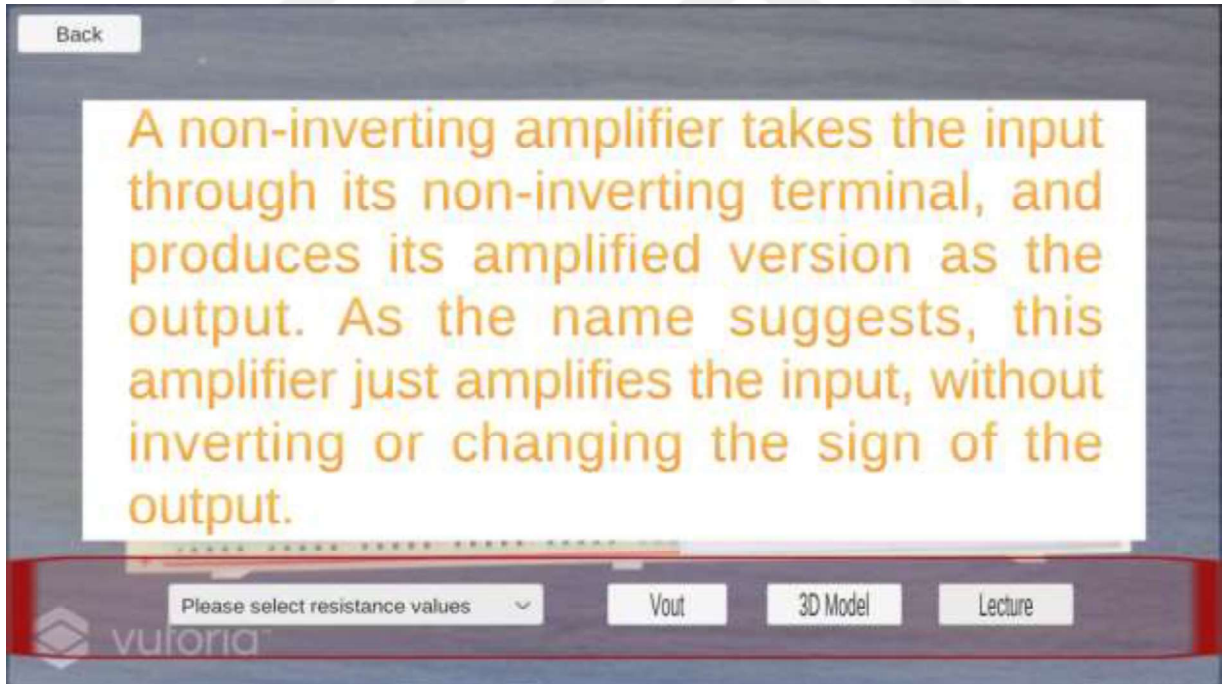
Şekil 4.10.  $R_1 = 50K\Omega$ ,  $R_2 = 500K\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



Şekil 4.11. Evirmeyen yükselteç devresinin 3D modeli



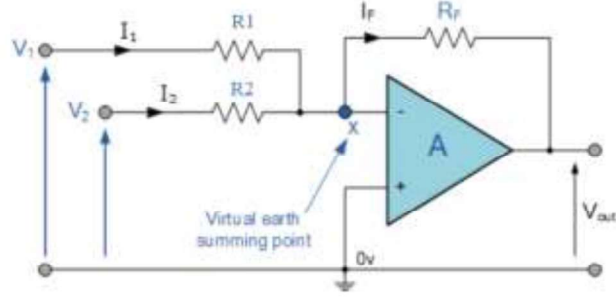
Şekil 4.12. Evirmeyen yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı



Şekil 4.13. Evirmeyen yükseltecin açıklaması

- Toplama Yükseltici

Toplama yükseltici, sinyalleri birleştirmek için kullanılan çok yönlü bir cihazdır. Şekil 4.14'teki devre, her biri sabit kazanç faktörü ile çarpılan gerilimleri cebirsel olarak toplamaktadır (eklemektedir) (Solid Fluid System Solutions 2020).



Şekil 4.14. Toplama yükseltcin devre şeması

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad (4.10)$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} \quad (4.11)$$

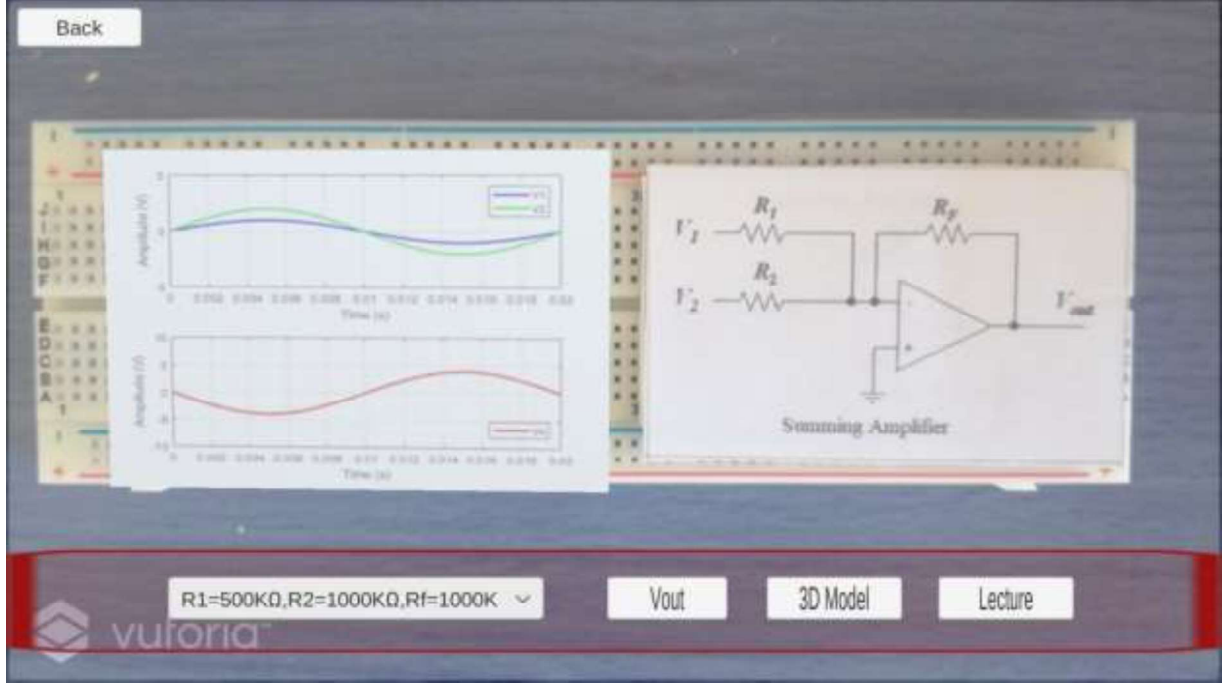
$$I_f = I_1 + I_2 \quad (4.12)$$

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1} * V_1 + \frac{R_f}{R_2} * V_2\right) \quad (4.13)$$

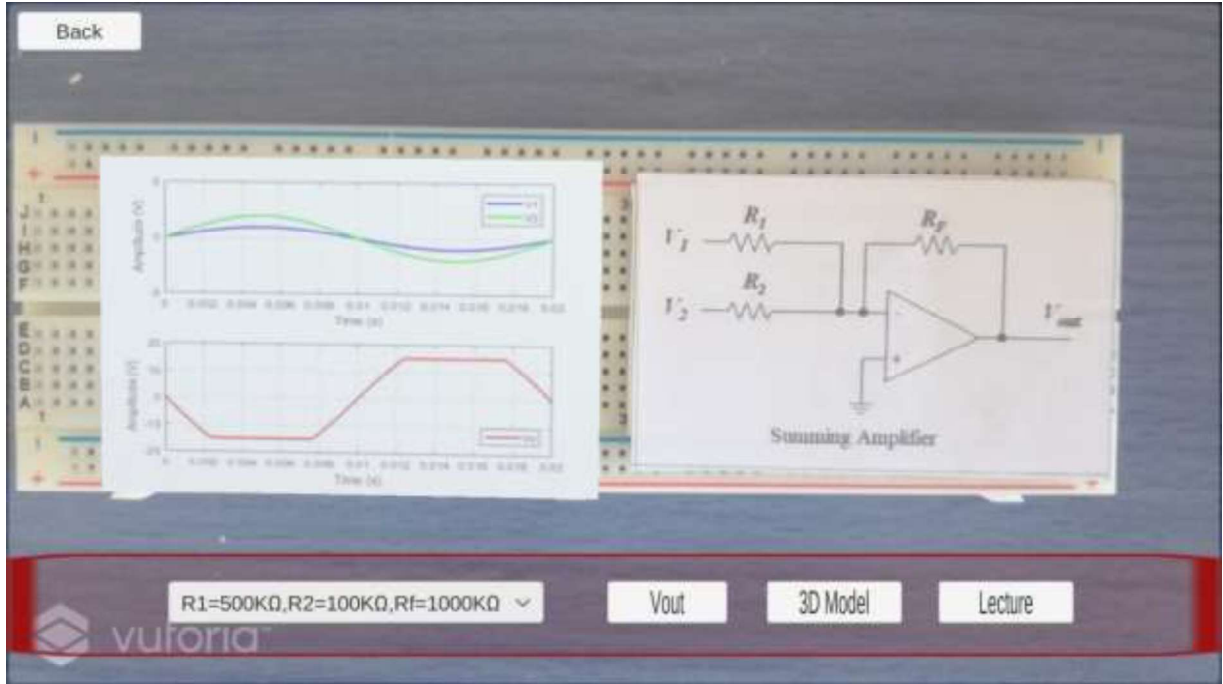
Toplama yükseltcinin kullanım alanları:

- Girişte farklı dirençlere sahip bir toplama yükselteç, ağırlıklı bir toplam verir. Bu, ikili bir sayıyı (Binary number) dijitalden analoğa dönüştürücüde gerilime dönüştürmek için kullanılabilir (Wikipedia 2020).
- Bir toplama yükseltici, iki veya daha fazla sinyalin eklenmesi veya birleştirilmesi gerektiğinde, ses karıştırma (audio mixing) uygulamalarında olduğu gibi yararlı bir devredir (Wikipedia 2020).

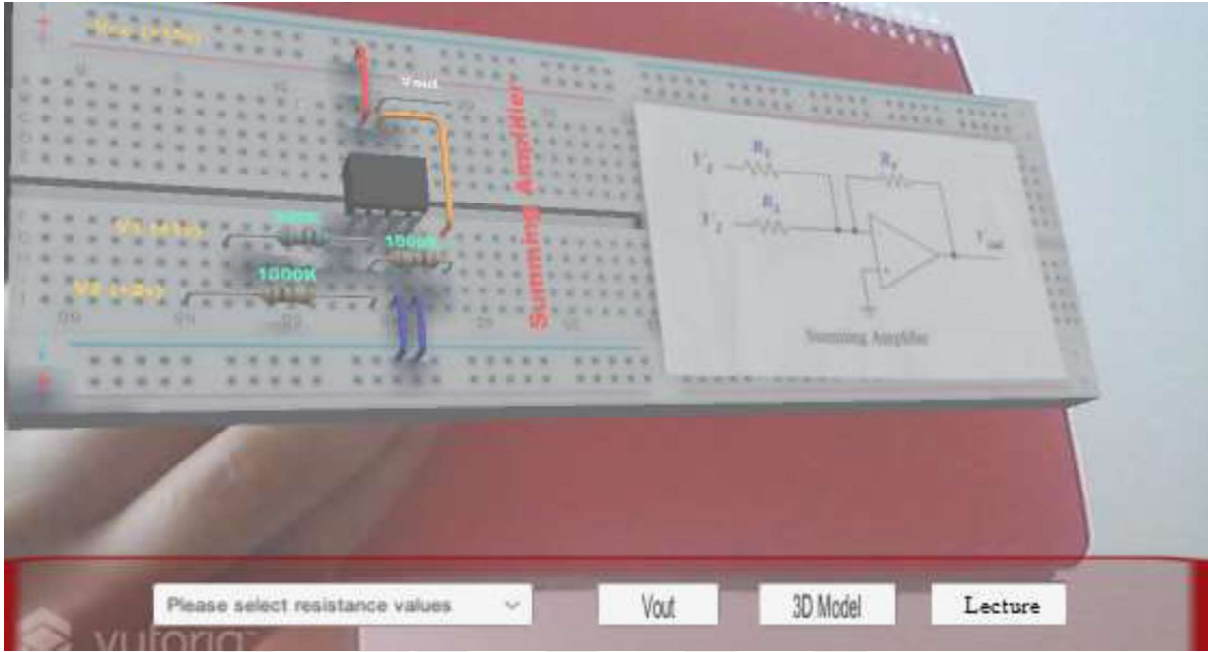
Buna göre farklı direnç değerleriyle toplama yükselteç uygulamaları sırasıyla Şekil 4.15-4.16'te verilmektedir. 3D, Vout ve Konu anlatımı butonlarına tıklanıldığında oluşan görüntüler de sırasıyla Şekil 4.17-4.18-4.19'de görülmektedir.



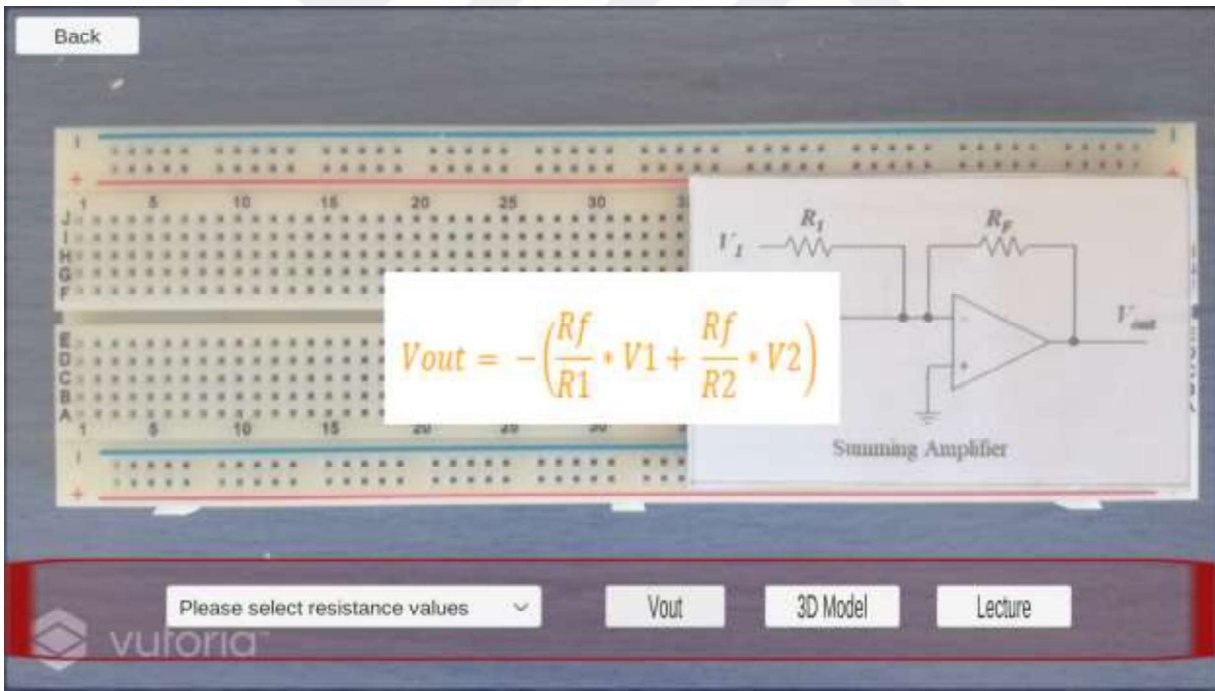
Şekil 4.15.  $R_1 = 500K\Omega$ ,  $R_2 = 1000K\Omega$ ,  $R_f = 1000K\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



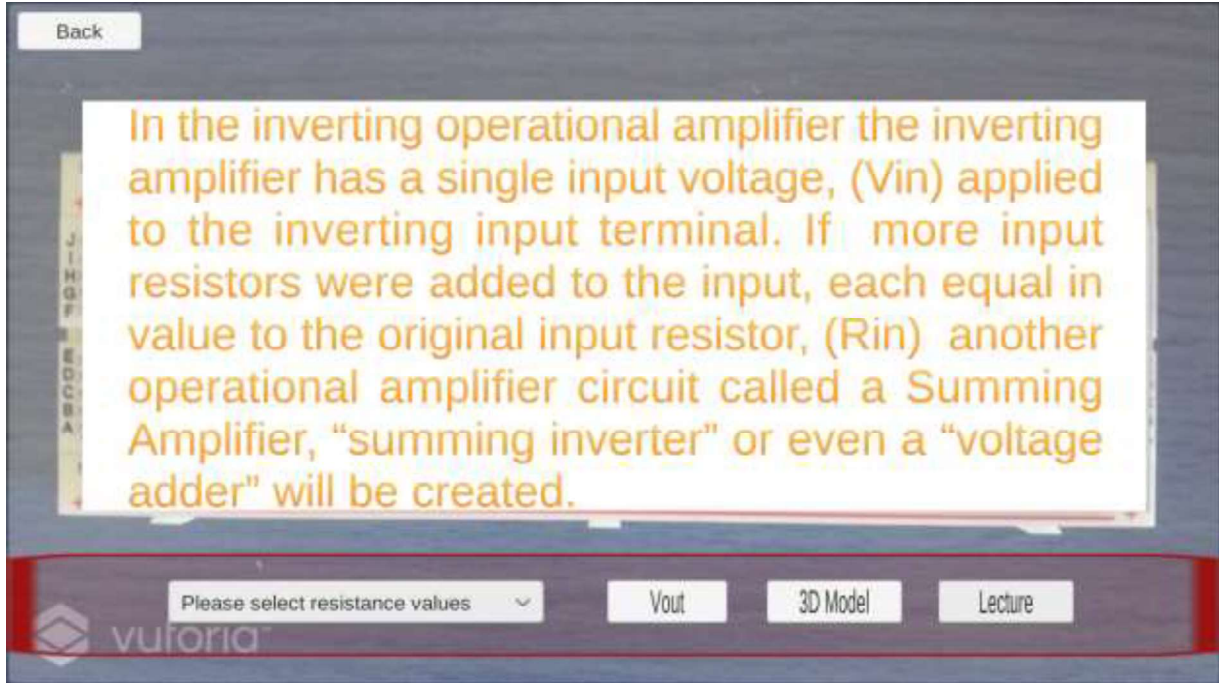
Şekil 4.16.  $R_1 = 500K\Omega$ ,  $R_2 = 100K\Omega$ ,  $R_f = 1000K\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



Şekil 4.17. Toplama yükselteç devresinin 3D modeli



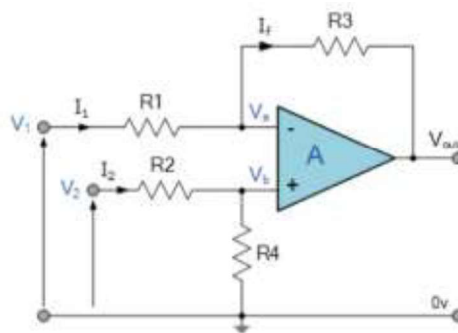
Şekil 4.18. Toplama yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı



**Şekil 4.19.** Toplama yükseltecin açıklaması

- Çıkarma Yükselteç

Standart bir işlemsel yükseltecin iki girişi olduğu için sinyaller, bu girişlerin her ikisine aynı anda bağlanabilir ve çıkarma (fark) yükselteci olarak adlandırılan yapı oluşturulabilir. Temel olarak, bir giriş terminaline bir gerilim sinyali ve diğer giriş terminaline başka bir gerilim sinyali bağlanarak ortaya çıkan çıkış gerilimi, bu girişlerin farkıyla orantılı olacaktır (Şekil 4.20) (Solid Fluid System Solutions 2020).



**Şekil 4.20.** Çıkarma yükseltecin devre şeması

$V_{out}$  çıkış gerilimi bulmak için süperpozisyon yöntemi kullanılabilir.

$$I1 = \frac{V1 - Va}{R1} \quad (4.14)$$

$$I2 = \frac{V2 - Vb}{R2} \quad (4.15)$$

$$If = \frac{Va - Vout}{R3} \quad (4.16)$$

$$Va = Vb \quad (4.17)$$

$$Vb = V2 * \left( \frac{R4}{R2 + R4} \right) \quad (4.18)$$

Eğer  $V2 = 0$  ise:

$$Vout(a) = -V1 * \left( \frac{R3}{R1} \right) \quad (4.19)$$

Eğer  $V1 = 0$  ise:

$$Vout(b) = V2 * \left( \frac{R4}{R2 + R4} \right) * \left( \frac{R1 + R3}{R1} \right) \quad (4.20)$$

$$Vout = -Vout(a) + Vout(b) \quad (4.21)$$

$$Vout = -V1 * \left( \frac{R3}{R1} \right) + V2 * \left( \frac{R4}{R2 + R4} \right) * \left( \frac{R1 + R3}{R1} \right) \quad (4.22)$$

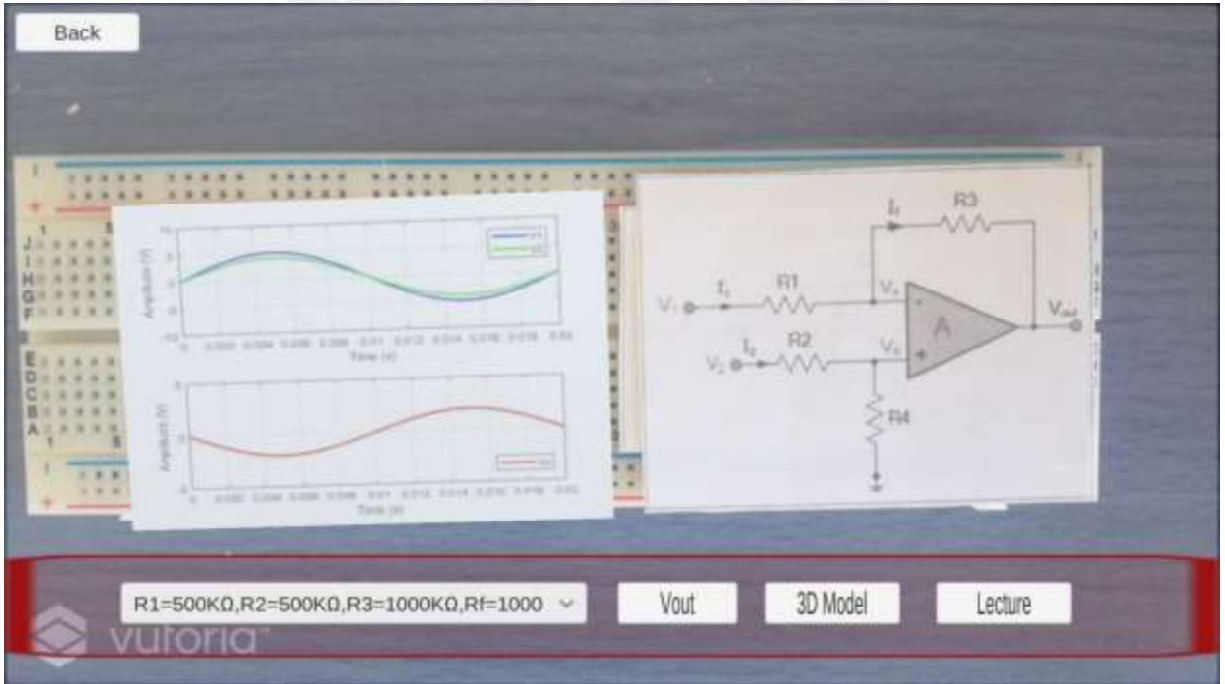
Dirençler,  $R1 = R2$  ve  $R3 = R4$  olduğunda, çıkarma yükselteç için yukarıdaki transfer fonksiyonu aşağıdaki ifadeyle basitleştirilebilir:

$$V_{out} = \frac{R_3}{R_1} * (V_2 - V_1) \quad (4.23)$$

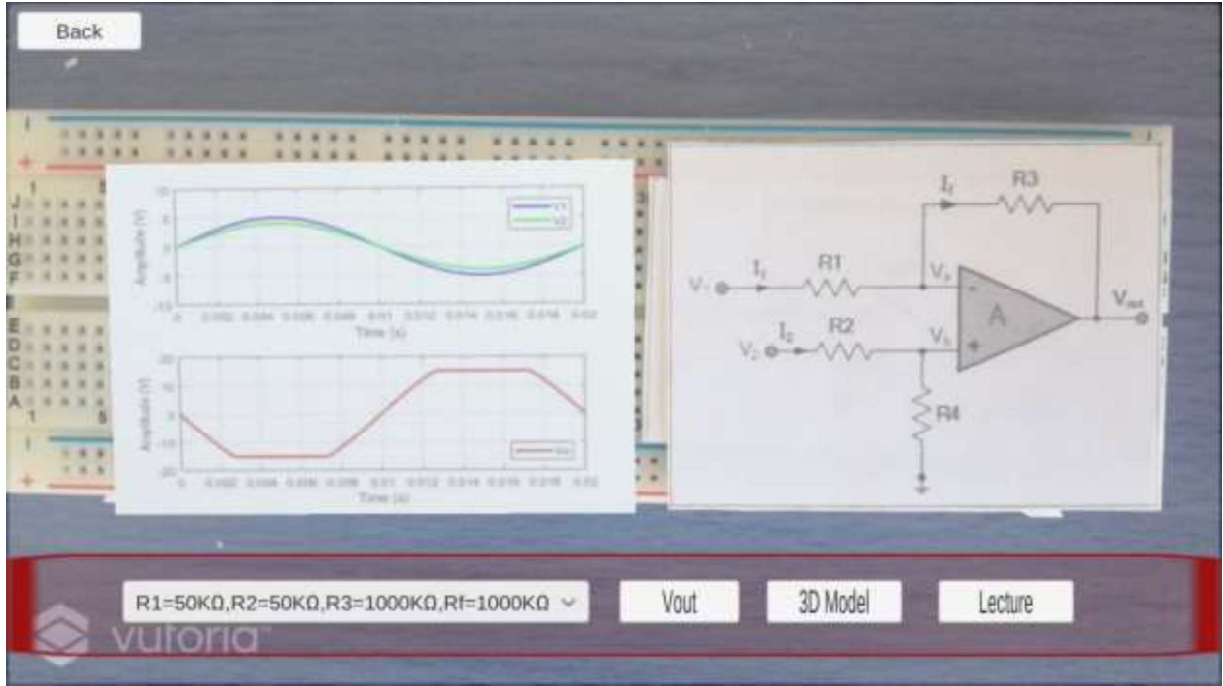
Çıkarma (fark) yükseltecin kullanım alanları:

- Fark (diferansiyel) yükselteç, hem eviren hem de evirmeyen yükselteçlerin bir kombinasyonudur. Fark gerilim kazancını kontrol etmek için negatif geri besleme bağlantısı kullanır (Wikipedia 2020).
- Çıkarma yükselteç, otomatik kazanç kontrol veya ses kontrol devresi olarak kullanılabilir (Wikipedia 2020).
- Bazı çıkarma yükselteçler, genlik modülasyonu için kullanılabilir (Wikipedia 2020).

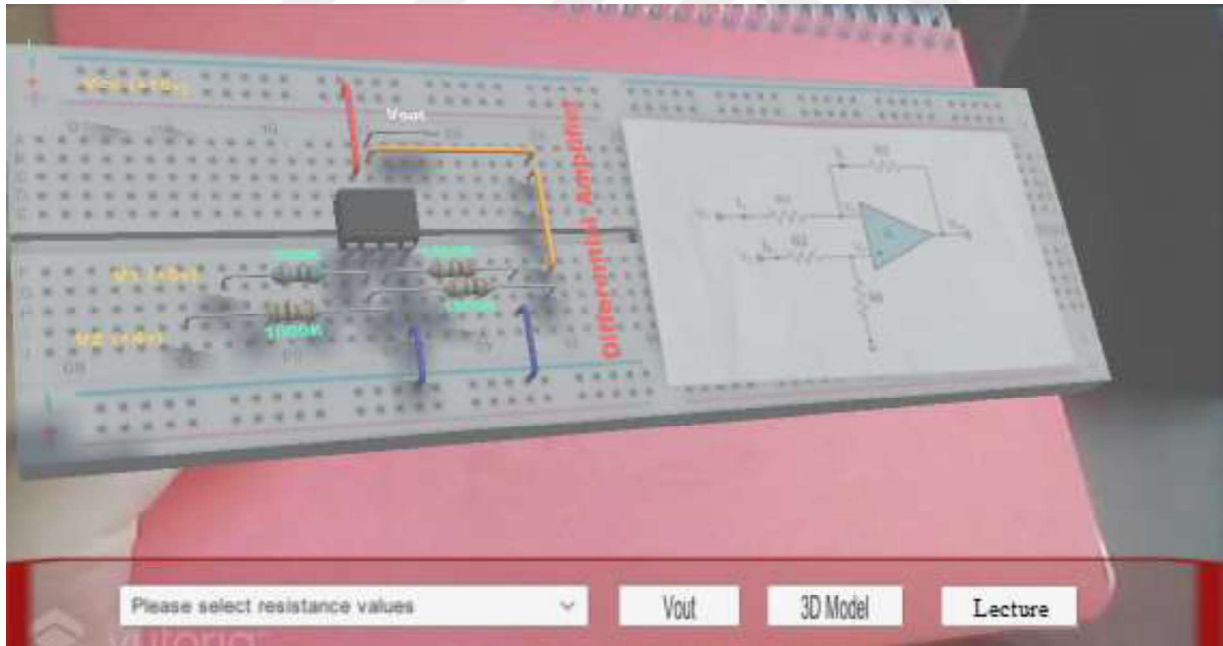
Buna göre farklı direnç değerleriyle çıkarma yükselteç uygulamaları sırasıyla Şekil 4.21-4.22'te verilmektedir. 3D, 3D, Vout ve Konu anlatımı butonlarına tıklanıldığında oluşan görüntüler de sırasıyla Şekil 4.23-4.25'de görülmektedir.



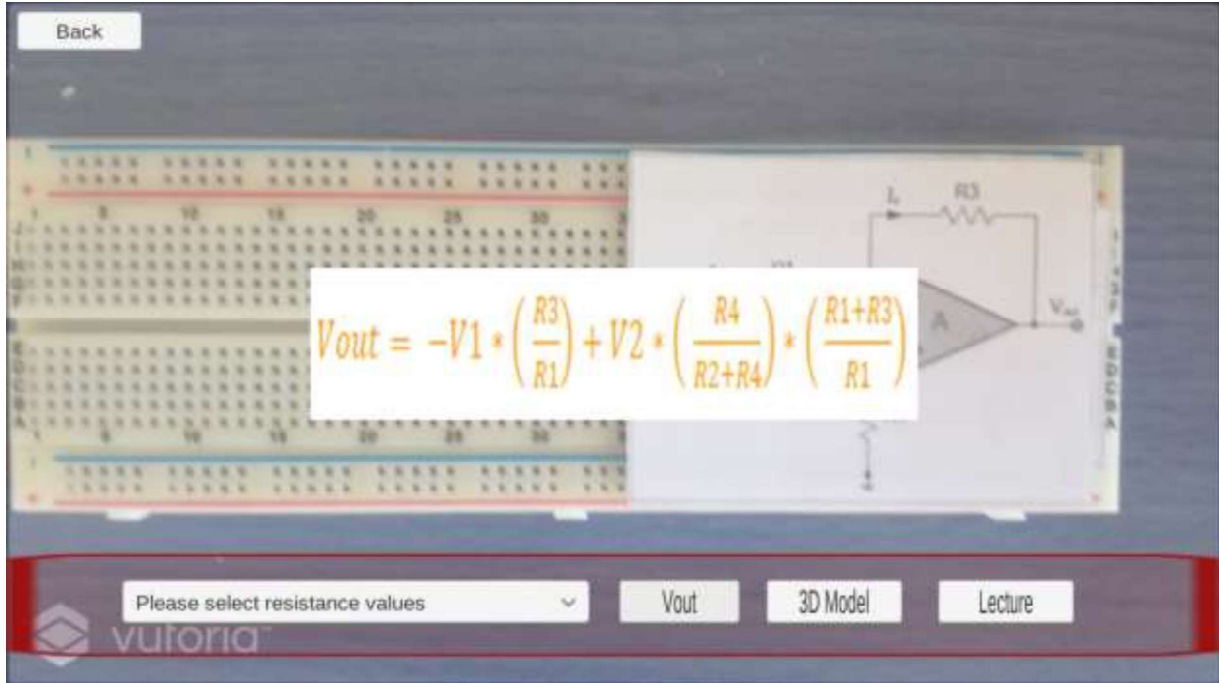
Şekil 4.21.  $R_1 = 500K\Omega$ ,  $R_2 = 500K\Omega$ ,  $R_3 = 1000K\Omega$ ,  $R_f = 1000K\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



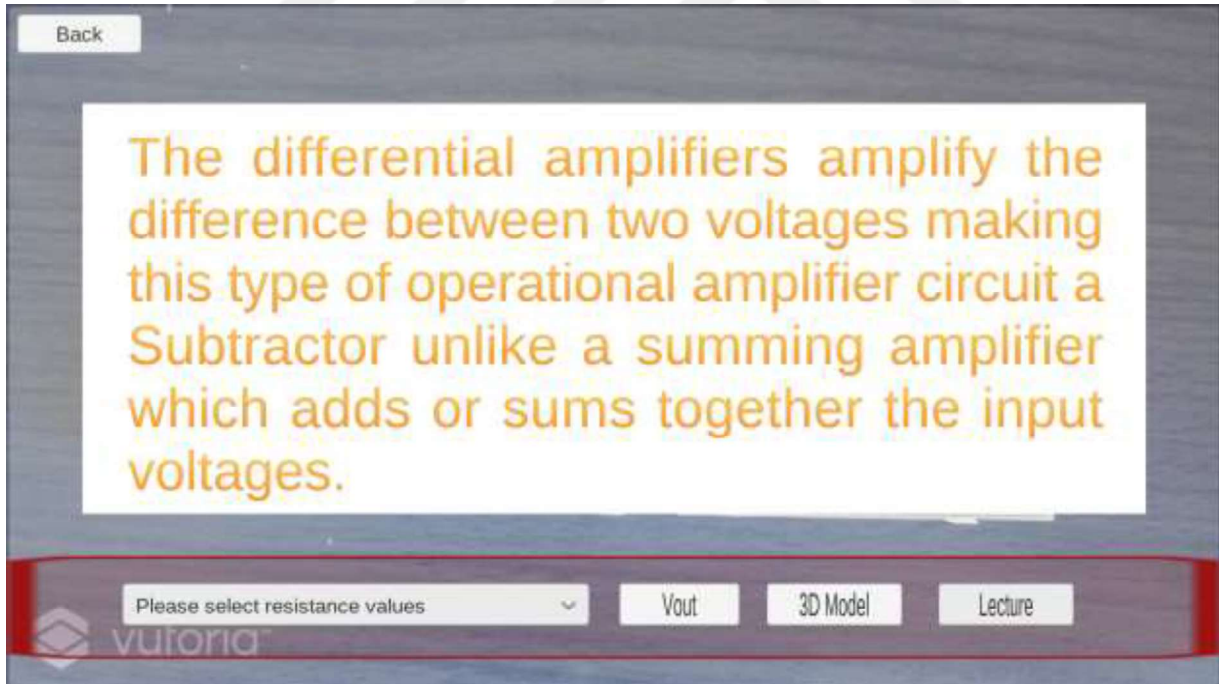
Şekil 4.22.  $R_1 = 50\text{K}\Omega$ ,  $R_2 = 50\text{K}\Omega$ ,  $R_3 = 1000\text{K}\Omega$ ,  $R_f = 1000\text{K}\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri.



Şekil 4.23. Çıkarma yükselteç devresinin 3D modeli



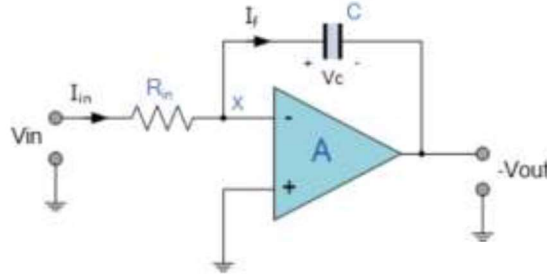
Şekil 4.24. Çıkarma yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı



Şekil 4.25. Çıkarma yükseltecin açıklaması

- İntegral Yükselteç

İşlemsel yükselteçler, hem girişte hem de geri bildirim döngüsünde sadece saf dirençler kullanılarak bir pozitif veya negatif geri besleme yükselticinin bir parçası olarak veya bir toplayıcı veya çıkarıcı tipi devre olarak kullanılabilirler. Eviren bir yükselticinin geribesleme elemanı yerine kondansatör bağlanırsa, integral yükselteç devresi oluşmaktadır (Şekil 4.26). Adından da anlaşılacağı gibi integral yükselteç, entegrasyonun matematiksel işlemini gerçekleştiren işlemsel bir yükselteç devresidir. Op-amp'lı entegratör, giriş geriliminin integraliyle orantılı bir çıkış gerilimi üretmektedir (Tutorialspoint 2020).



Şekil 4.26. İntegral yükseltecin devre şeması

Bir kondansatörün plakalarındaki gerilim, kondansatör üzerindeki yükün sığasına.

$$V_c = \frac{Q}{C}, \quad V_c = V_x - V_{out} = 0 - V_{out} \quad (4.24)$$

$$-\frac{dV_{out}}{dt} = \frac{dQ}{Cdt} = \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} \quad (4.25)$$

$$I_{in} = \frac{V_{in} - 0}{R_{in}} = \frac{V_{in}}{R_{in}} \quad (4.26)$$

$$I_c = C \frac{dV_{out}}{dt} = C \frac{dQ}{Cdt} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dV_{out} \cdot C}{dt} \quad (4.27)$$

Op-amp'in giriş empedansının sonsuz olduğunu varsayıldığından (ideal op-amp), op-amp terminaline hiçbir akım akmamaktadır. Bu nedenle, eviren giriş terminalindeki düğüm denkleminde

$$I_{in} = I_f = \frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{dV_{out}.C}{dt} \quad (4.28)$$

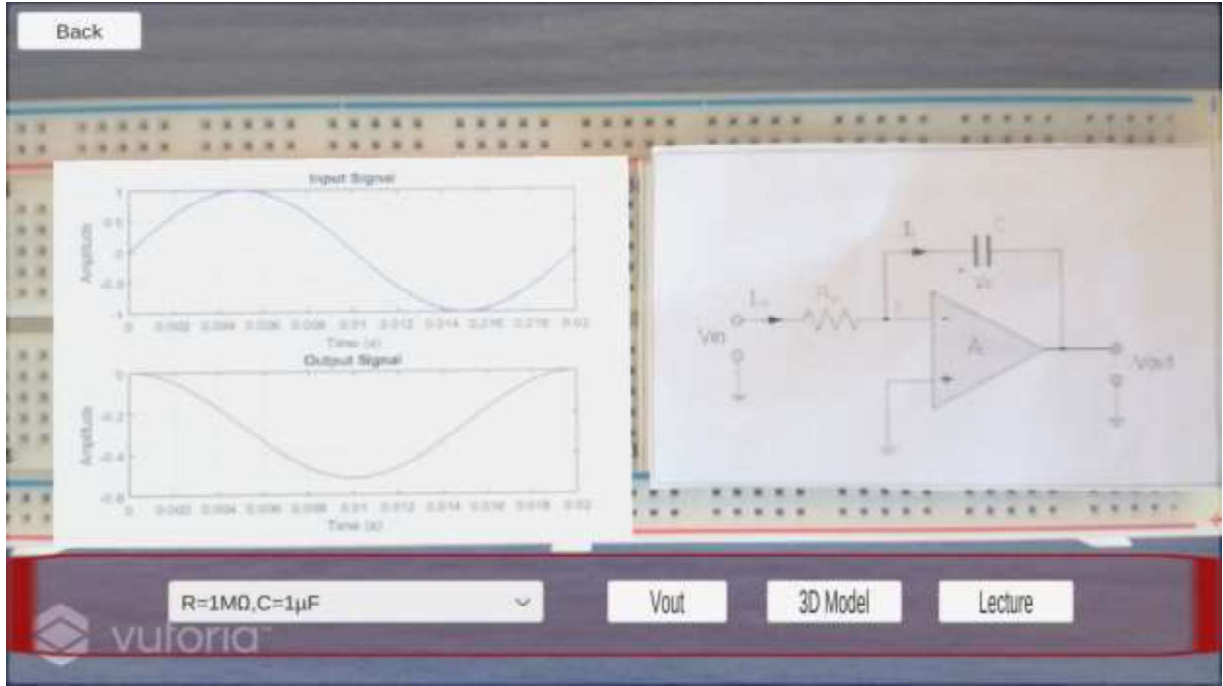
$$\frac{V_{in}}{V_{out}} * \frac{dt}{R_{in} C} = 1 \quad (4.29)$$

$$V_{out} = - \frac{1}{R_{in} C} \int_0^t V_{in} dt \quad (4.30)$$

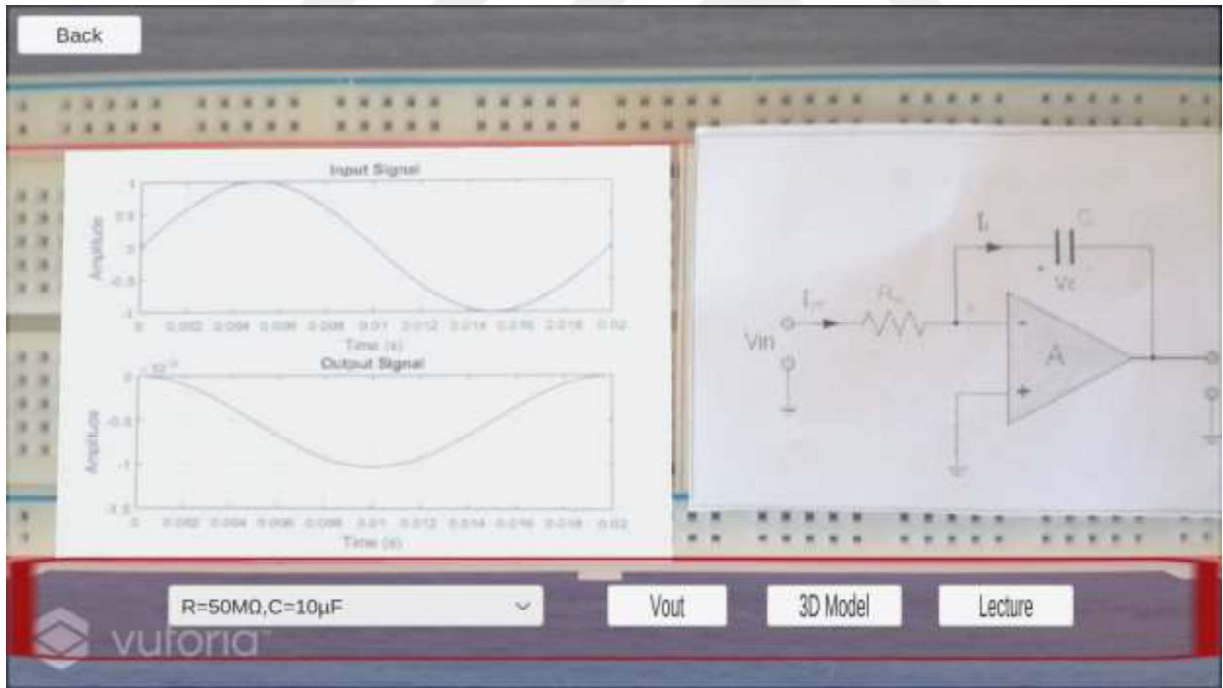
sonucuna ulaşılır. İntegral yükseltecin kullanım alanları:

- Op-amp İntegral yükselteçler, analog bilgisayarlarda hesaplama işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılır (Wikipedia 2020).
- İntegral devreler en yaygın olarak analogdan dijitale dönüştürücüler, rampa jeneratörlerinde ve ayrıca dalga şekillendirme uygulamalarında kullanılır (Wikipedia 2020).

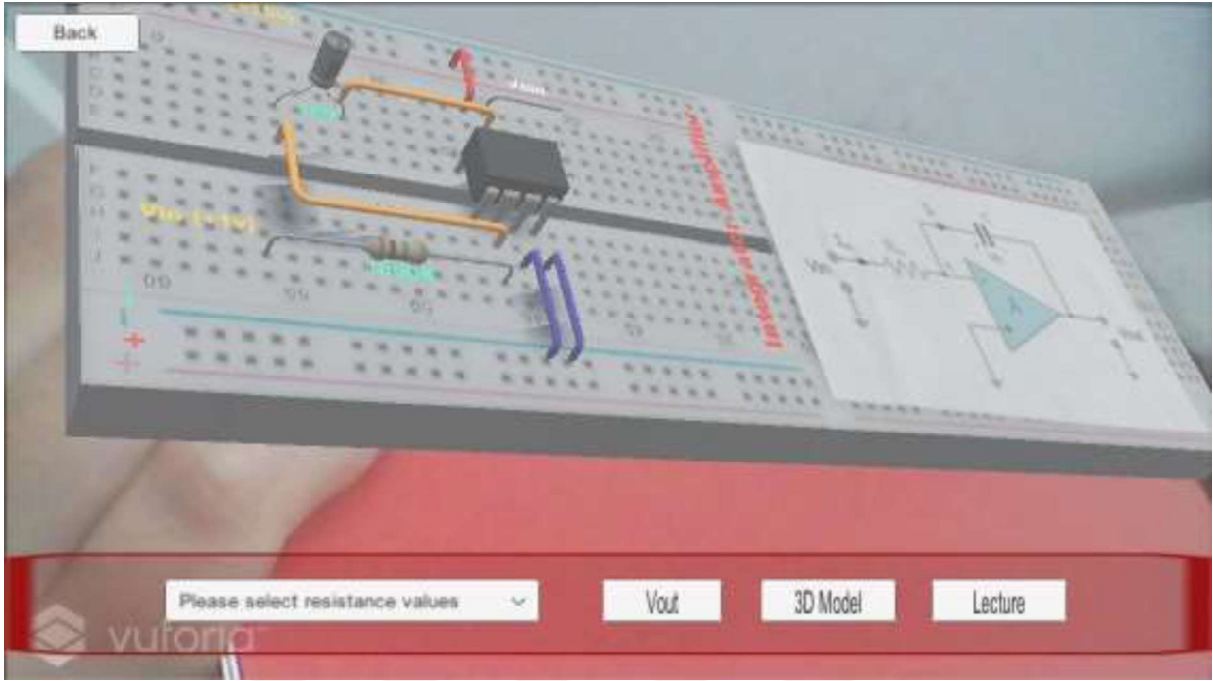
Buna göre farklı direnç değerleriyle integral yükselteç uygulamaları sırasıyla Şekil 4.27-4.28'te verilmektedir. 3D, Vout ve Konu anlatımı butonlarına tıklanıldığında oluşan görüntüler de sırasıyla Şekil 4.29-4.31'de görülmektedir.



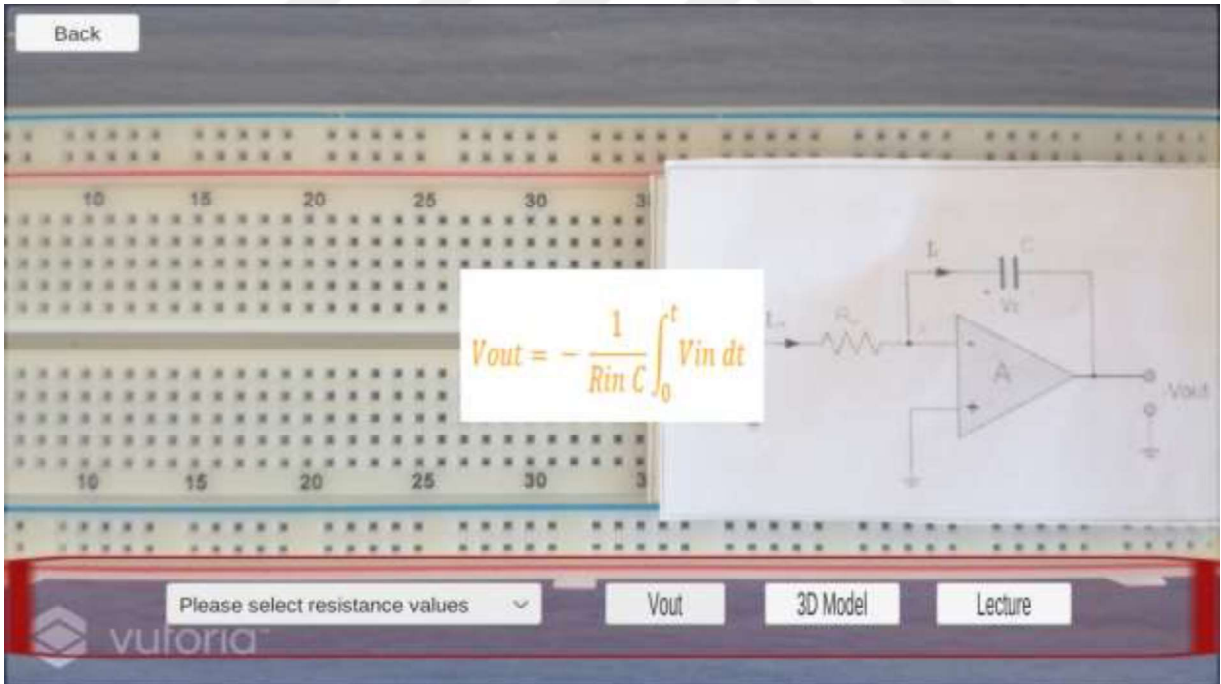
Şekil 4.27.  $R = 1M\Omega$ ,  $C = 1\mu F$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



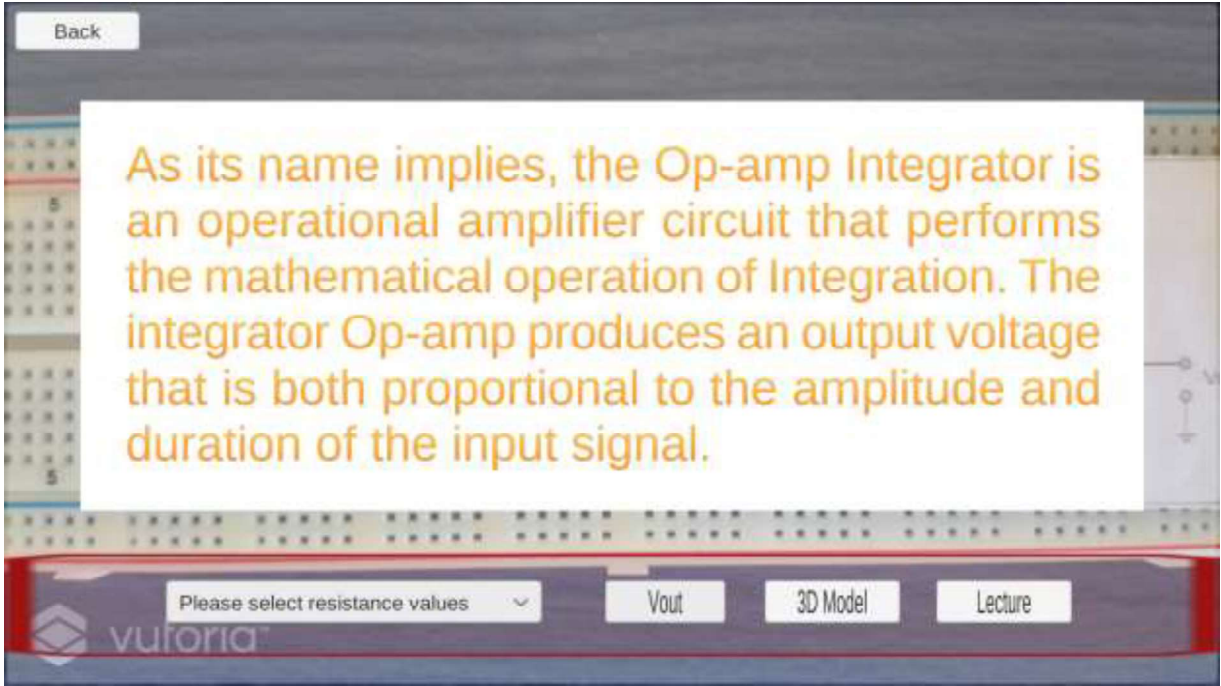
Şekil 4.28.  $R = 50M\Omega$ ,  $C = 10\mu F$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



Şekil 4.29. İntegral yükselteç devresinin 3D modeli



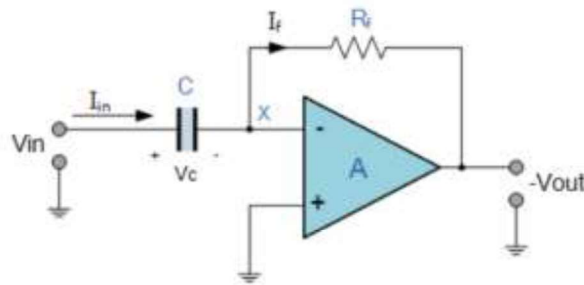
Şekil 4.30. İntegral yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı



Şekil 4.31. İntegral yükseltecin açıklaması

- Türev Yükselteç

İşlemsel kuvvetlendiricili türev devresi, uygulanan giriş gerilimin değişim hızıyla orantılı çıkış gerilimi üreten bir konfigürasyonudur. Yalnızca  $RC$  elemanları içeren türev yükselteçlere pasif, transistörler gibi aktif devre bileşenlerine sahip olanlar da aktif türev yükselteçler olarak adlandırılmaktadır (Tutorialspoint 2020). Şekil 4.32'de türev devresi verilmektedir.



Şekil 4.32. Türev yükseltecin devre şeması

$$I_{in} = I_f \quad (4.31)$$

$$I_f = - \frac{V_{out}}{R_f} \quad (4.32)$$

$$Q = C * V_{in} \quad (4.33)$$

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dV_{in}}{dt} \quad (4.34)$$

$$I_{in} = \frac{CdV_{in}}{dt} = I_f \quad (4.35)$$

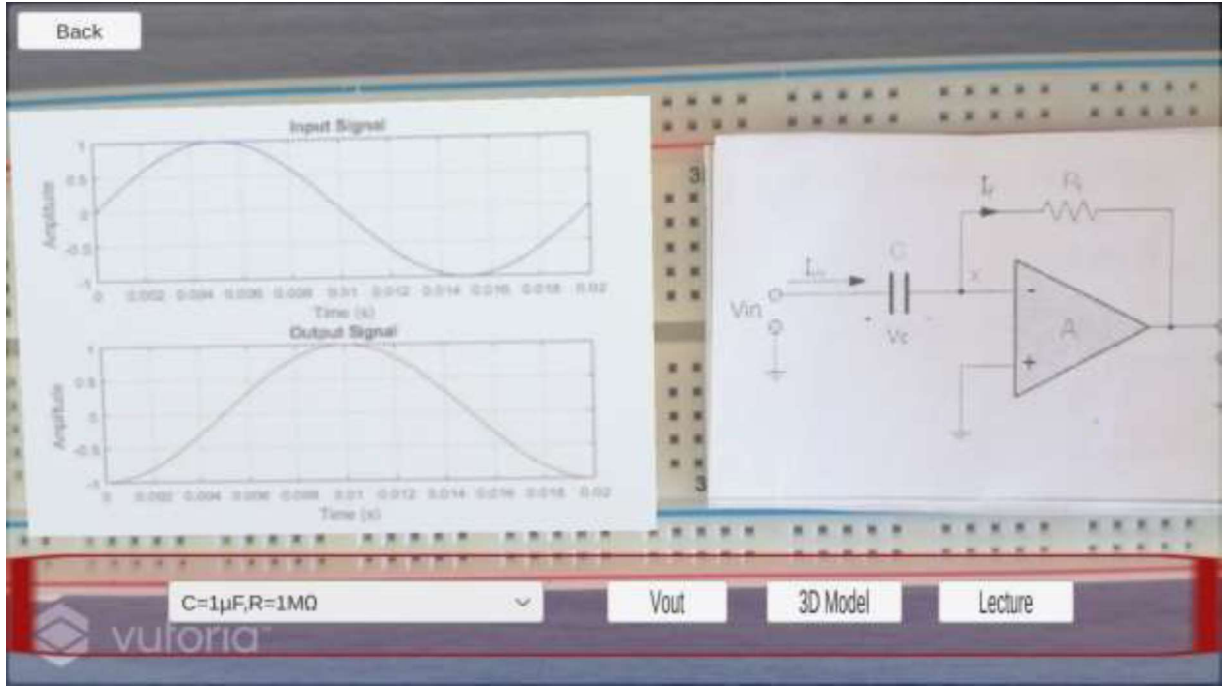
$$- \frac{V_{out}}{R_f} = C \frac{dV_{in}}{dt} \quad (4.36)$$

$$V_{out} = -R_f \cdot C \frac{dV_{in}}{dt} \quad (4.37)$$

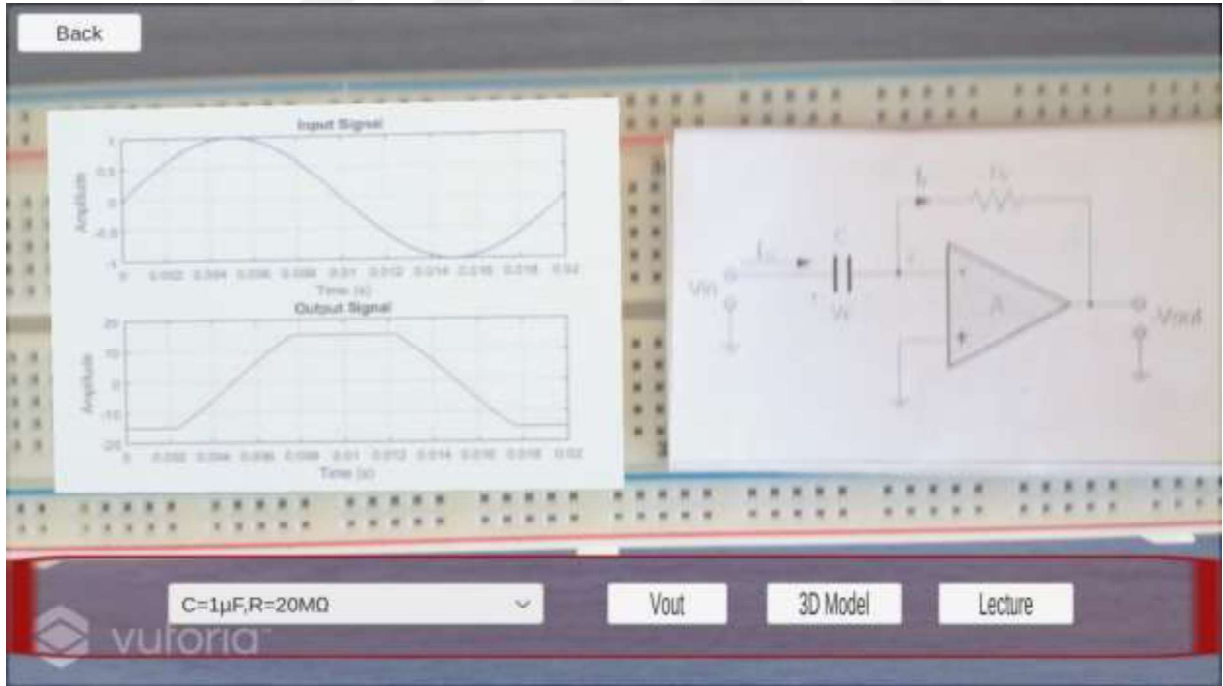
Türev yükseltecin kullanım alanları:

- Türev yükselteçler, genellikle üçgen ve dikdörtgen sinyallerle çalışmak üzere tasarlanmıştır (Wikipedia 2020).
- Türev yükselteçler, giriş sinyalindeki yüksek frekanslı bileşenleri tespit etmek için dalga şekillendirme devreleri olarak da uygulama alanı bulmaktadırlar (Wikipedia 2020).

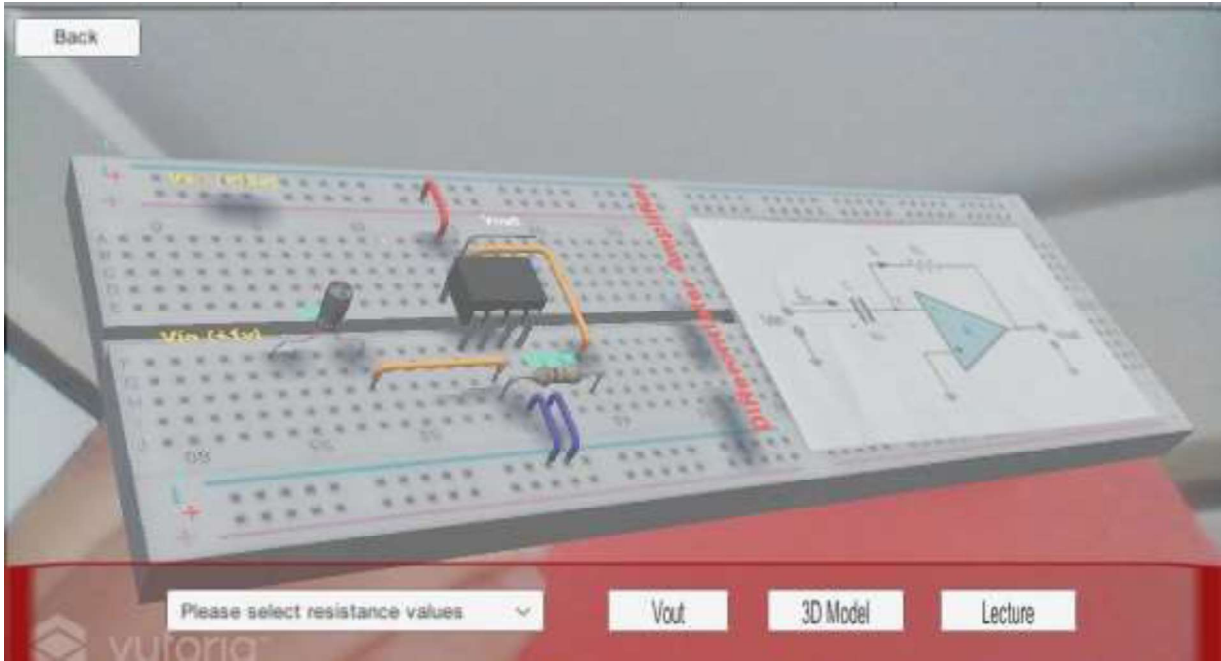
Buna göre farklı direnç değerleriyle türev yükselteç uygulamaları sırasıyla Şekil 4.33-4.34'te verilmektedir. 3D, Vout ve Konu anlatımı butonlarına tıklanıldığında oluşan görüntüler de sırasıyla Şekil 4.35-4.37'de görülmektedir.



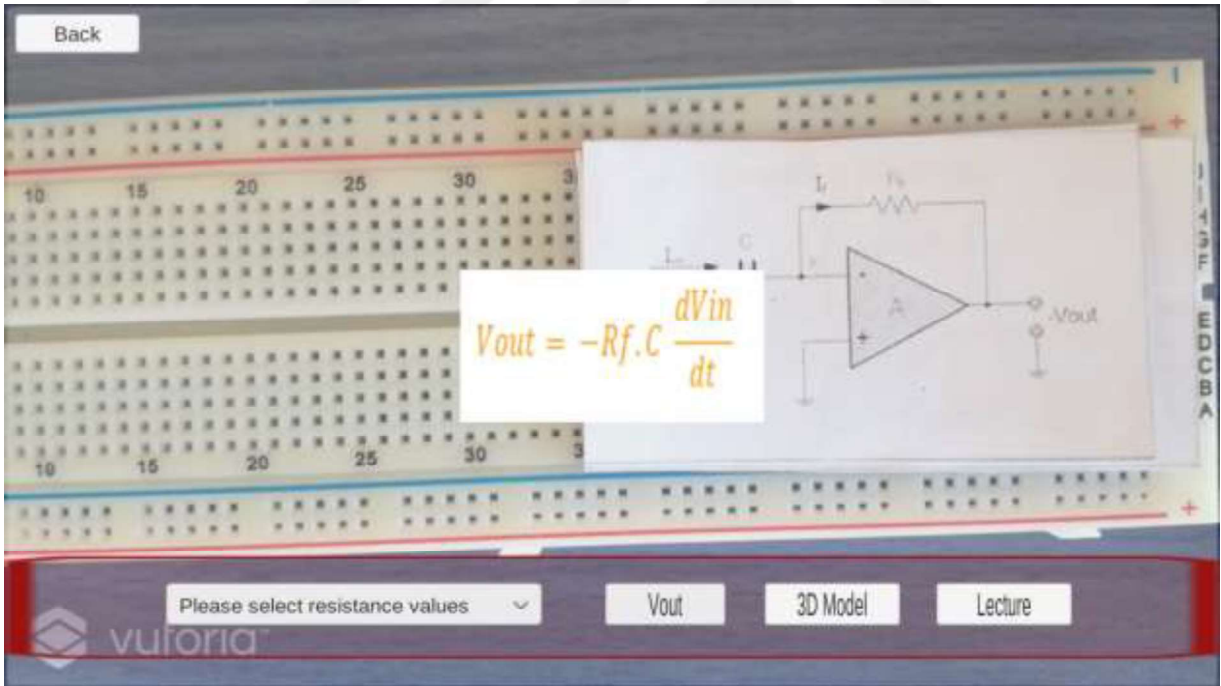
Şekil 4.33.  $C = 1\mu F$ ,  $R = 1M\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



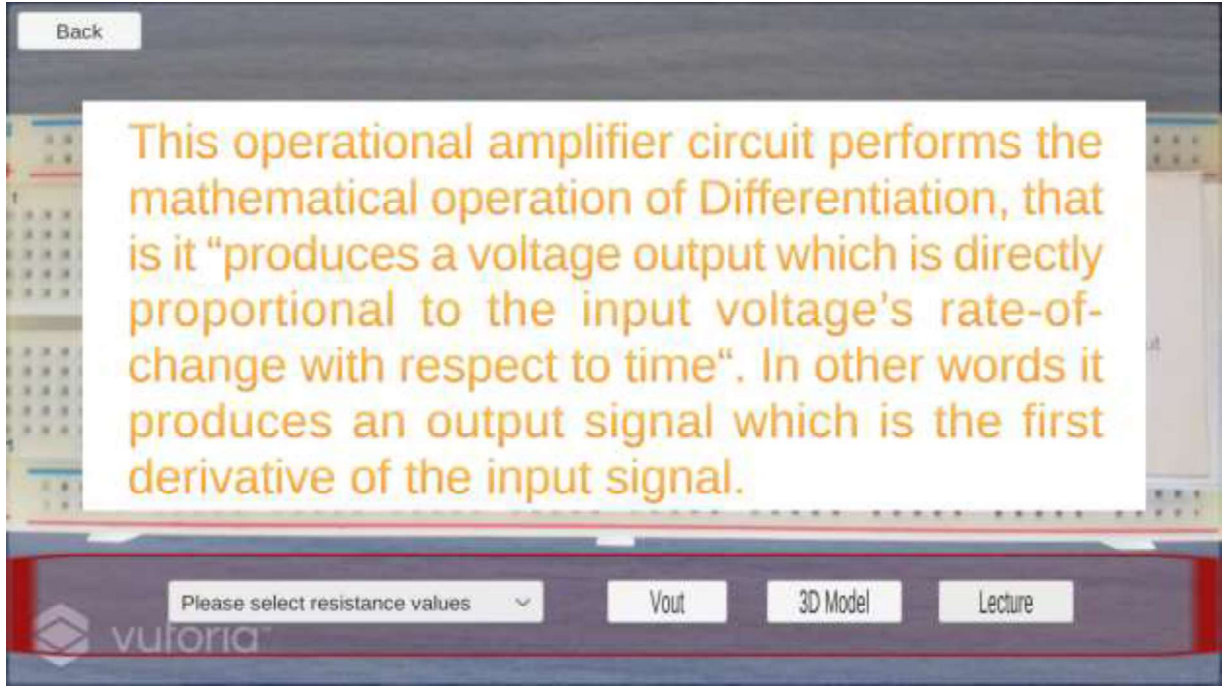
Şekil 4.34.  $C = 1\mu F$ ,  $R = 20M\Omega$  ile giriş ve çıkış sinyalleri



Şekil 4.35. Türev yükselteç devresinin 3D modeli



Şekil 4.36. Türev yükselteç devresinin giriş-çıkış bağıntısı



Şekil 4.37. Türev yükseltecin açıklaması

## 5. SONUÇ

Gerçeklik teknolojisindeki gelişmeler, hayatın birçok alanında büyük katkılar ve kolaylıklar sağlanarak uygulanmaktadır. Bunlardan birisi de eğitim alanıdır. Öğrencilerin teorik bilgileri, zengin multimedya destekleriyle görselleştirebilmeleri şüphesiz daha iyi anlamalarını ve kavramalarını sağlamaktadır. Ayrıca birçok karmaşık, soyut veya ulaşılması zor bilgilerin görsel olarak canlandırılabilmesi, bunların fiziksel karşılıklarının hemen önlerinde olduğu hissi uyandırılması hem öğrenme hem de anlayıp kavrama motivasyonlarını arttırmaktadır.

Gerçekleştirilen tez çalışmasında elektrik-elektronik mühendisliği alanında yoğun bir şekilde kullanılan temel işlemsel yükselteç devreleriyle ilgili AG platformu tasarlanmıştır. Laboratuvar imkânlarının az, öğrenci sayılarının fazla veya öğretim elemanlarının kısıtlı olduğu yerlerde öğrencilere yardımcı olması hedeflenen uygulamada bir breadboard üzerine monte edilmiş işaretleyiciden (eviren, evirmeyen, toplama, fark, türev ve integral) oluşmaktadır. Akıllı telefon ile işaretçi algılanarak ilgili devreye ait giriş-çıkış bağıntısı, devrenin 3B yerleşimi/kurulumu ve seçilen devre elemanlarına göre giriş-çıkış işaretleri görülmektedir. Böylece ilgili devre, fiziksel olarak gerçekleşmeden de tüm yönleriyle kullanıcının/öğrencinin karşısına gelmektedir. İstenildiğinde AG platformunun sunduğu devre yerleşimine bakılarak, öğrencilerin ilgili laboratuvar deneylerini (devre kurulumlarını) gerçekleştirmeleri de büyük oranda kolaylaşmaktadır. Diğer yandan, geliştirilen sistem öğrencilere sadece kolayca kullanabilmeleri için değil, aynı zamanda kavram teorisini daha iyi anlamalarını sağlayacak şekilde yardımcı olmaktadır.

Uygulamanın Android OS işletim sistemli akıllı telefondaki testinde, işaretçinin (devrenin) hızlı bir şekilde algılandığı ve düzgün çalıştığı gösterilmiştir. İşaretçinin tanınma kalitesi etkileyen faktörler aydınlatma ve kameranın özellikleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Gelecek çalışmalarda da cazip bir öğrenme/öğretme ortamı oluşturan AG teknolojileri kullanarak, başka dersler/konular için de - farklı özellik ve yapılar da - bu tip platformların tasarlanması hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

**Anonim, 2019.** Reality-virtuality continuum. [https://en.wikipedia.org/wiki/Reality-virtuality\\_continuum](https://en.wikipedia.org/wiki/Reality-virtuality_continuum)-(Erişim tarihi: 02.11.2019).

**Anonim, 2019.** Augmented reality. [https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality)-(Erişim tarihi: 02.11.2019).

**Anonim, 2019.** What are augmented reality markers. <https://anymotion.com/en/wissensgrundlagen/augmented-reality-marker>-(Erişim tarihi: 05.12.2019).

**Anonim, 2019.** Getting started with vuforia engine in unity. <https://library.vuforia.com/articles/Training/getting-started-with-vuforia-in-unity.html>-(Erişim tarihi: 20.12.2019).

**Anonim, 2020.** Scripting in Unity for experienced programmers. <https://unity3d.com/programming-in-unity>-(Erişim tarihi: 03.02.2020).

**Anonim, 2020.** Unreal Engine vs CryEngine. <https://www.educba.com/unreal-engine-vs-cryengine/>-(Erişim tarihi: 02.04.2020).

**Anonim, 2020.** Operational Amplifier Circuits & Applications. [https://www.electronics-notes.com/articles/analogue\\_circuits/operational-amplifier-op-amp/circuits.php#:~:text=Accordingly%20it%20is%20widely%20used,directly%20to%20the%20inverting%20input.](https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/operational-amplifier-op-amp/circuits.php#:~:text=Accordingly%20it%20is%20widely%20used,directly%20to%20the%20inverting%20input.) -(Erişim tarihi: 05.09.2020).

**Anonim, 2020.** The linear mathematical operators - Add and Subtract. <http://www.solidfluid.co.uk/sfsite.php/000002F7>-(Erişim tarihi: 05.09.2020).

**Anonim, 2020.** Operational amplifier applications. [https://en.wikipedia.org/wiki/Operational\\_amplifier\\_applications#Summing\\_amplifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier_applications#Summing_amplifier)-(Erişim tarihi: 05.09.2020).

**Anonim, 2020.** Differential amplifier. [https://en.wikipedia.org/wiki/Differential\\_amplifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_amplifier)-(Erişim tarihi: 05.09.2020).

**Anonim, 2020.** Differentiator And Integrator. [https://www.tutorialspoint.com/linear\\_integrated\\_circuits\\_applications/linear\\_integrated\\_circuits\\_applications\\_differentiator\\_and\\_integrator.htm](https://www.tutorialspoint.com/linear_integrated_circuits_applications/linear_integrated_circuits_applications_differentiator_and_integrator.htm)-(Erişim tarihi: 10.09.2020).

**Anonim, 2020.** Differentiator. <https://en.wikipedia.org/wiki/Differentiator#Applications>-(Erişim tarihi: 10.09.2020).

**Anonim, 2020.** Integrator. <https://en.wikipedia.org/wiki/Integrator#Applications>-(Erişim tarihi: 10.09.2020).

**Anonim, 2019.** AR vs. VR: What's the Difference?. <https://blog.treasuredata.com/blog/2019/11/14/augmented-vs-virtual-reality-difference/> -(Erişim tarihi: 02.08.2020).

**Anonim, 2020.** AUGMENTED REALITY (AR), VIRTUAL REALITY (VR) DIFFERENT AREAS OF APPLICATION, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES. <https://www.panono.com/en/blog/blog-posts/augmented-reality-ar-virtual-reality-vr-different-areas-of-application-advantages-and-disadvantages/index.html> -(Erişim tarihi: 05.08.2020).

**Anonim, 2019.** What are the advantages and Disadvantages of Augmented Reality?. <https://assignmenthelp4me.com/discussions/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-augmented-reality.html#:~:text=Disadvantages%20of%20augmented%20reality%2D&text=Lack%20of%20privacy%20is%20major%20drawback%20of%20AR.&text=Low%20performance%20level%20of%20AR,be%20arise%20during%20testing%20phase.&text=Augmented%20reality%20can%20cause%20mental%20health%20issues.&text=Lack%20of%20security%20may%20affect%20the%20overall%20augmented%20reality%20principle> -(Erişim tarihi: 20.08.2020).

**Anonim, 2019.** The Best Augmented Reality Hardware in 2019. <https://www.onirix.com/learn-about-ar/the-best-augmented-reality-hardware-in-2019/> -(Erişim tarihi: 25.08.2020).

**Avilés Cruz, C., Villegas Cortez, J. 2019.** A smartphone based augmented reality system for university students for learning digital electronics. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(3):, 615–630.

**Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B. 2001.** Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, 21(6):, 34–47.

**Azuma, R. T. 1997.** A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4):, 355–385.

**Babich, 2019** How VR in education will change how we learn and teach. <https://xd.adobe.com/ideas/principles/emerging-technology/virtual-reality-will-change-learn-teach/#:~:text=Virtual%20reality%20can%20be%20used,but%20also%20interact%20with%20it> -(Erişim tarihi: 05.08.2020).

**Badri, 2019.** What is virtual reality?. <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/> - (Erişim tarihi: 05.08.2020).

**Baloch, S., Qadeer, S., Memon, K. 2018.** Augmented reality, a tool to enhance conceptual understanding for engineering students. *International Journal of Electrical Engineering & Emerging Technology*, 1(01):, 41–48.

**Bamodu, O., Ye, X. M. 2013.** Virtual reality and virtual reality system components. *Advanced materials research : Advanced materials research (Vol. 765), Trans Tech Publ. , 1169–1172.*

**Bedford, R., Saez de Urabain, I. R., Cheung, C. H. M., Karmiloff-Smith, A., Smith, T. J. 2016.** Toddlers' fine motor milestone achievement is associated with early touchscreen scrolling. *Frontiers in psychology*, 7:, 1108.

**Beheshti, E., Kim, D., Ecanow, G., Horn, M. 2017.** Close the Circuit'N Play the Electrons: Learning Electricity with an Augmented Circuit Exhibit. *Proceedings of the 2017 Conference on*

Interaction Design and Children : Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children, , 675–678.

**Behringer, R. 1999.** Registration for outdoor augmented reality applications using computer vision techniques and hybrid sensors. Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316) : Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316), IEEE: , 244–251.

**Benmohamed, H., Lelevé, A., Prévot, P. 2007.** Remote laboratories: new technology and standard based architecture. arXiv preprint arXiv:0706.2974.

**Berryman, D. R. 2012.** Augmented reality: a review. Medical reference services quarterly, 31(2):, 212–218.

**Bingo Technologies, 2019.** The benefits and disadvantages of virtual reality. <https://yourstory.com/mystory/c6ba370f23-the-benefits-and-disad> -(Erişim tarihi: 20.08.2020).

**Canfora, G., Daponte, P., Rapuano, S. 2004.** Remotely accessible laboratory for electronic measurement teaching. Computer Standards & Interfaces, 26(6):, 489–499.

**Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., Ivkovic, M. 2011.** Augmented reality technologies, systems and applications. Multimedia tools and applications, 51(1):, 341–377.

**Çetinkaya, H. H., Akçay, M. 2013.** Eğitim ortamlarında artırılmış gerçeklik uygulamaları. Akademik Bilişim Kongresi, Antalya, 11(2015):, 66–69.

**Chamberlain, D., Jimenez-Galindo, A., Fletcher, R. R., Kodgule, R. 2016.** Applying augmented reality to enable automated and low-cost data capture from medical devices. Proceedings of the Eighth International Conference on Information and Communication Technologies and Development : Proceedings of the Eighth International Conference on Information and Communication Technologies and Development, , 1–4.

**Chan, J., Pondicherry, T., Blikstein, P. 2013.** LightUp: an augmented, learning platform for electronics. Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children : Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children, , 491–494.

**Chen, C.-H., Lee, I.-J., Lin, L.-Y. 2016.** Augmented reality-based video-modeling storybook of nonverbal facial cues for children with autism spectrum disorder to improve their perceptions and judgments of facial expressions and emotions. Computers in Human Behavior, 55:, 477–485.

**Dudkin, 2019.** VUFORIA vs ARKIT vs ARCORE: Choosing an augmented reality SDK. <https://skywell.software/blog/vuforia-vs-arkit-vs-arcore-choosing-an-augmented-reality-sdk/> - (Erişim tarihi: 20.12.2019).

**Farshid, M., Paschen, J., Eriksson, T., Kietzmann, J. 2018.** Go boldly!: Explore augmented reality (AR), virtual reality (VR), and mixed reality (MR) for business. Business Horizons, 61(5):, 657–663.

**Feiner, S., Macintyre, B., Seligmann, D. 1993.** Knowledge-based augmented reality.

Communications of the ACM, 36(7):, 53–62.

**Feldman, J., Monteserin, A., Amandi, A. 2014.** Detecting students' perception style by using games. *Computers & Education*, 71:, 14–22.

**FitzGerald, E., Ferguson, R., Adams, A., Gaved, M., Mor, Y., Thomas, R. 2013.** Augmented reality and mobile learning: the state of the art. *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)*, 5(4):, 43–58.

**Fox, J., Arena, D., Bailenson, J. N. 2009.** Virtual reality: A survival guide for the social scientist. *Journal of Media Psychology*, 21(3):, 95–113.

**Gu, J., Duh, H. B. L. 2011.** Mobile augmented reality game engine. *Handbook of augmented reality : Handbook of augmented reality*, Springer: , 99–122.

**Hsiao, K.-F., Rashvand, H. F. 2011.** Body language and augmented reality learning environment. 2011 fifth fra international conference on multimedia and ubiquitous engineering : 2011 fifth fra international conference on multimedia and ubiquitous engineering, IEEE: , 246–250.

**İbili, E., Şahin, S. 2013.** Artırılmış gerçeklik ile interaktif 3d geometri kitabı yazılımın tasarımı ve geliştirilmesi: ARGE3D. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1):, 1–8.

**Janssen, R. 2011.** Augmented Reality-The Ethical Importance of a Shared Context.

**Jaquith, 2017.** How VR, AR, and MR stack up. <https://futurism.com/images/vr-ar-and-mr-whats-the-difference-infographic-2> -(Erişim tarihi: 25.08.2020).

**Juan, M. C., Beatrice, F. 2011.** Augmented Reality Applied To Edutainment. *Handbook of Augmented Reality : Handbook of Augmented Reality*, Springer: , 501–512.

**Kan, T.-W., Teng, C.-H., Chen, M. Y. 2011.** QR code based augmented reality applications. *Handbook of augmented reality : Handbook of augmented reality*, Springer: , 339–354.

**Kato, H., Billinghurst, M. 1999.** Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99) : Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)*, IEEE: , 85–94.

**Kesim, M., Ozarslan, Y. 2012.** Augmented reality in education: current technologies and the potential for education. *Procedia-social and behavioral sciences*, 47:, 297–302.

**Kiyokawa, K., Billinghurst, M., Campbell, B., Woods, E. 2003.** An occlusion capable optical see-through head mount display for supporting co-located collaboration. *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. : The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings.*, IEEE: , 133–141.

**Kounavis, C. D., Kasimati, A. E., Zamani, E. D. 2012.** Enhancing the tourism experience

through mobile augmented reality: Challenges and prospects regular paper. *International Journal of Business Management*, 4:.

**Lee, K. 2012.** Augmented reality in education and training. *TechTrends*, 56(2):, 13–21.

**Liao, H. 2011.** 3D medical imaging and augmented reality for image-guided surgery. *Handbook of Augmented Reality : Handbook of Augmented Reality*, Springer: , 589–602.

**McMahon, D. D., Cihak, D. F., Wright, R. E., Bell, S. M. 2016.** Augmented reality for teaching science vocabulary to postsecondary education students with intellectual disabilities and autism. *Journal of Research on Technology in Education*, 48(1):, 38–56.

**McMillan, K., Flood, K., Glaeser, R. 2017.** Virtual reality, augmented reality, mixed reality, and the marine conservation movement. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27:, 162–168.

**Mekni, M., Lemieux, A. 2014.** Augmented reality: Applications, challenges and future trends. *Applied Computational Science*, 205–214.

**Meni, E. 2006.** Boeing's working on augmented reality which could change space training ops. *Boeing Frontiers*, 10:, 21.

**Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F. 1995.** Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and telepresence technologies : Telemanipulator and telepresence technologies (Vol. 2351)*, International Society for Optics and Photonics: , 282–292.

**Milsap, G., Bourland, E. 2011.** Advanced Rendering for Augmented Reality on Mobile Devices. .

**Mossel, A., Schönauer, C., Gerstweiler, G., Kaufmann, H. 2012.** Artifice-augmented reality framework for distributed collaboration. *International Journal of Virtual Reality*, 11(3):, 1–7.

**Narumi, K., Hodges, S., Kawahara, Y. 2015.** ConductAR: an augmented reality based tool for iterative design of conductive ink circuits. *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing : Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, , 791–800.

**Nedic, Z., Machotka, J., Nafalski, A. 2003.** Remote laboratories versus virtual and real laboratories (Vol. 1), IEEE.

**Nepal ve Tang, 2017.** Virtual Reality Components. <http://web.tecnico.ulisboa.pt/ist188480/cmud/devices.html> -(Erişim tarihi: 25.08.2020).

**Norton, R. 1972.** What is virtuality?. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 30(4):, 499–505.

**Odeh, S., Shanab, S. A., Anabtawi, M., Hodrob, R. 2013.** A Remote Engineering LAB Based on Augmented Reality for Teaching Electronics. *International Journal of Online Engineering*, 9:.

**Ong, S.-K., Shen, Y., Zhang, J., Nee, A. Y. C. 2011.** Augmented reality in assistive technology

and rehabilitation engineering. Handbook of augmented reality : Handbook of augmented reality, Springer: , 603–630.

**Onime, C., Uhomobhi, J., Radicella, S., Restivo, M. T. R., Cardoso, A., Lopez, A. M. 2015.** Mare: Mobile augmented reality based experiments in science, technology and engineering, Barcelona, Spain: IFSA Publishing.

**Petty.** What is 3ds Max & What is it Used For?. <https://conceptartempire.com/what-is-3ds-max/>- (Erişim tarihi: 02.04.2020).

**Phade, G., Goverdhane, K., Vaidya, O. S., Gandhe, S. 2019.** A Novel ICT Tool For Interactive Learning For Electronics Engineering Based On Augmented Reality.

**Pokric, B., Krco, S., Drajić, D., Pokric, M., Rajs, V., Mihajlovic, Z., Knezevic, P., Jovanovic, D. 2015.** Augmented Reality Enabled IoT Services for Environmental Monitoring Utilising Serious Gaming Concept. J. Wirel. Mob. Networks Ubiquitous Comput. Dependable Appl., 6(1):, 37–55.

**Re, G. M., Oliver, J., Bordegoni, M. 2016.** Impact of monitor-based augmented reality for on-site industrial manual operations. Cognition, Technology & Work, 18(2):, 379–392.

**Restivo, M. T., Chouzal, F., Rodrigues, J., Menezes, P., Patrão, B., Lopes, J. B. 2014.** Augmented Reality in Electrical Fundamentals. International Journal of Online Engineering, 10(6):.

**Rheingold, H. 1991.** Virtual Reality Summit. New York.

**Robinson, 2010.** Limitations of AR?. <http://aboutaugmentedreality.blogspot.com/p/limitations-of-ar.html> -(Erişim tarihi: 20.08.2020).

**Rokhsaritalemi, S., Sadeghi-Niaraki, A., Choi, S.-M. 2020.** A Review on Mixed Reality: Current Trends, Challenges and Prospects. Applied Sciences, 10(2):, 636.

**Sevim, 2020.** Augmented reality - Artırılmış gerçeklik avantajları ve dezavantajları. <https://www.protopars.com/augmented-reality-artirilmis-gerceklik-avantajlari-ve-dezavantajlari/> -(Erişim tarihi: 05.08.2020).

**Silva, R., Oliveira, J. C., Giraldo, G. A. 2003.** Introduction to augmented reality. National laboratory for scientific computation, 11:.

**Srivastava, A. 2016.** Enriching student learning experience using augmented reality and smart learning objects. Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction : Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction, , 572–576.

**Steuer, J. 1992.** Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. Journal of communication, 42(4):, 73–93.

**Střelák, D. 2016.** Augmented Reality Tourist Guide. , Master Thesis, Masarykova Univerzita Fakulta Informatiky.

**Titov, 2019.** Best Augmented Reality SDKs to Start AR Development in 2019. <https://invisible.toys/best-augmented-reality-sdk/>-(Erişim tarihi: 01.01.2020).

**Tuli, N., Mantri, A. 2015.** Augmented reality as teaching aid: Making chemistry interactive. *Journal of Engineering Education Transformations*, 188–191.

**Van Krevelen, D. W. F., Poelman, R. 2010.** A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2);, 1–20.

**Welch, G., Bishop, G. 1997.** SCAAT: Incremental tracking with incomplete information. *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques : Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, , 333–344.

**Yang, L. I., Huang, J., Feng, T., Hong-An, W., Guo-Zhong, D. A. I. 2019.** Gesture interaction in virtual reality. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 1(1);, 84–112.

**Yilmaz, R. M. 2016.** Educational magic toys developed with augmented reality technology for early childhood education. *Computers in human behavior*, 54.;, 240–248.