

**HACİMSEL BULUT VE YORDAMSAL ARAZİ  
GERÇEKLEŞTİRİMİ İLE GERÇEKÇİ 3B SANAL ORTAM  
ÜRETİMİ**

**REALISTIC 3D VIRTUAL ENVIRONMENT  
PRODUCTION WITH VOLUMETRIC CLOUD AND  
PROCEDURAL LAND REALIZATION**

**YILMAZ ÖZUZUN**

**PROF. DR. HAŞMET GÜRÇAY**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Bilgisayar Grafiğı Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

**YILMAZ ÖZUZUN**'un hazırladığı “**Hacimsel Bulut ve Yordamsal Arazi Gerçekleştirimi ile Gerçekçi 3B Sanal Ortam Üretimi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **BİLGİSAYAR GRAFİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Murat Yakın

Başkan .....

Prof. Dr. Haşmet Gürçay

Danışman .....

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk Çelikcan

Üye .....

Dr. Öğr. Üyesi Serdar Arıtan

Üye .....

Dr. Öğr. Üyesi Burkay Genç

Üye .....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Pınar DUYGULU ŞAHİN

Bilişim Enstitüsü Müdürü

*Doğduğum günden itibaren beni koşulsuzca seven, desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, kardeşlerime, iyi ve kötü günümde yanımda olan hayat arkadaşım sevgili eşime ve biricik oğluma...*

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

\_\_\_/09/2019

Yılmaz ÖZUZUN

## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

..... / ..... /.....

Yılmaz ÖZUZUN

## ÖZET

# HACİMSEL BULUT VE YORDAMSAL ARAZİ GERÇEKLEŞTİRİMİ İLE GERÇEKÇİ 3B SANAL ORTAM ÜRETİMİ

**Yılmaz ÖZUZUN**

**Yüksek Lisans, Bilgisayar Grafiği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Haşmet GÜRÇAY**

**Eylül 2019, 80 sayfa**

Sanal gerçeklik, bilgisayar teknolojileri kullanılarak oluşturulan kişilerin etkileşime geçerek keşfedebildiği 3B ortamları ifade etmektedir. Sanal gerçeklik teknolojisinin ortaya çıktığı günden itibaren kullanımının yaygınlaşarak her geçen gün daha çok ilgi çekmesi, paralelinde donanımsal olarak büyüklüğünün giderek küçülmesine ve insanların hayatında yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır. Günümüzde çoğunlukla oyun ve eğlence sektöründeki kullanımı açısından tanınmış olan bu teknolojinin eğitim, sağlık, turizm, mimarlık ve inşaat gibi birçok farklı alanda kullanımı bulunmaktadır. İnsanların, sanal gerçeklik donanımlarını kullanarak oluşturulan ortam içerisinde nesnelere etkileşime geçebilmeleri ve ortamın bir parçası olarak hissetmeleri durumu, bu teknolojinin giderek daha fazla ilgi çekmesine sebep olmuştur. Ortaya çıkarılan ürünler açısından, kişiler üzerinde oluşturulan ‘sanal ortam içerisinde bulunma’ ve etkileşime geçerek ‘ortamın bir parçası olma’ hissi, sanal gerçeklik teknolojisinin olmazsa olmaz başarı kriterlerindedir.

Çalışma kapsamında, popülerliği her geçen gün artan sanal gerçeklik teknolojisinin bu başarı kriterleri göz önünde bulundurularak, HTC Vive sanal gerçeklik gözlüğü üzerinde çalışabilecek, gerçekçi arazi ve bulut üretimini gerçekleştiren sanal ortam üretimi amaçlanmıştır. Gerçeklik faktörü göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen çalışmada arazi üretimi işleminde, doğal içerik üretiminde kullanılan Perlin Noise algoritması kullanılmış ve düşük maliyet ile doğal görünümlü araziler elde edilmiştir. Aynı amaç doğrultusunda bulut üretimi işleminde, hacimsel bulut üretimi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan bu ortamın kullanıcı tarafından daha eğlenceli bir şekilde deneyimlenebilmesi için, sanal ortam içerisinde uçarak içerisinde geçilebilen 25 adet çemberin bulunduğu mini bir deneysel oyun tasarlanmıştır.

Sanal gerçeklik ortamlarının başarısında oldukça önemli bir etmen olan gerçekçilik hissinin daha da artırılabilmesi için, uçuş eylemi sırasında kullanıcıların yere paralel bir konumda havada asılı kalmalarını sağlayacak asma aparatları ve uçuş eylemi sırasında karşı rüzgârı gerçekçi olarak hissedebilmelerini sağlayacak vantilatör gibi ek donanımlar kullanılmıştır. Sanal ortam içerisine eklenen çift kanallı rüzgâr sesi efekti ile de bütünlük sağlanmaya çalışılmıştır. Her bir katılımcıya, oluşturulan deneysel ortamın kullanıcı üzerinde oluşturacağı iş yükü düzeyini ölçmek için NASA TLX anketi uygulanmıştır.

Gerçekleştirilen sanal ortamın başarısının ölçülebilmesi için literatürde bulunan ve kabul görmüş kullanıcı anketleri araştırılarak bunlar arasından SSQ ve PQ anketleri kullanıcılara her test işlemi sonucunda uygulanmıştır. Kullanıcıların sanal ortamı deneyimlemeleri sırasında karşılaşılabilecekleri ve sanal ortamın başarısını düşüren olası baş ağrısı, mide bulantısı, terleme gibi olumsuz durumların ölçülebilmesi için SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) anketi, üretilen sanal ortamın başarısını belirleyen ‘sanal ortamda bulunma hissinin’ ölçülebilmesi için ise PQ (Presence Questionnaire) anketleri uygulanmıştır. Elde edilen veriler üzerinde istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bulgular yorumlanarak üretilen sanal ortamın başarılı olduğu yorumuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sanal Ortam, 3B Arazi Üretimi, Perlin Noise, Hacimsel Bulut Üretimi, HTC Vive, Sanal Gerçeklik

## **ABSTRACT**

# **REALISTIC 3D VIRTUAL ENVIRONMENT PRODUCTION WITH VOLUMETRIC CLOUD AND PROCEDURAL LAND REALIZATION**

**Yılmaz ÖZUZUN**

**Master of Science, Department of Computer Animation and Game Technologies**

**Supervisor: Prof. Dr. Haşmet GÜRÇAY**

**September 2019, 80 pages**

Virtual reality refers to 3D environments that can be explored by interacting with people created using computer technologies. Since the use of virtual reality technology has become widespread, it has attracted more and more attention with each passing day, parallel to this, it has gradually shrunk as hardware size and has been widely used in people's lives. Today, this technology, which is mostly known for its use in the games and entertainment sector, has many uses in education, health, tourism, architecture and construction. The fact that people can interact with objects in the environment created using virtual reality equipment and feel as part of the environment has caused this technology to attract more and more attention. In terms of the products that are unearthed, the feeling of being there in a virtual environment and interacting with them being a part of the environment, is an indispensable success criteria of virtual reality technology.



Within the scope of this study, considering the success criteria of virtual reality technology which is increasing in popularity day by day, it is aimed to produce virtual environment that can work on HTC Vive virtual reality glasses, realizing realistic terrain and cloud production. In the study carried out by considering the reality factor, the Perlin Noise algorithm used in land production process and natural content production was used and natural looking lands were obtained with low cost. For the same purpose, volumetric cloud generation was realized in cloud generation process. In order to experience this environment more fun by the user, a mini experimental game with 25 circles that can fly through the virtual environment is designed.

In order to increase the sense of realism, which is a very important factor in the success of virtual reality environments, additional equipment such as hanging apparatuses that allow the users to hang in the air parallel to the ground during the flying action and the ventilator to realistically feel the opposite wind during the flying action are used. Integrity was also tried to be achieved with the double channel wind sound effect added in the virtual environment. NASA TLX questionnaire was applied to each participant to measure the workload level of the experimental environment created on the user.

In order to measure the success of the virtual environment, accepted user surveys in the literature were searched and among them SSQ and PQ surveys were applied to the users at the end of each test process. The SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) questionnaire was used to measure the negative effects of virtual environment such as headache, nausea and sweating that might be encountered by the users during the virtual environment. In addition, PQ (Presence Questionnaire) questionnaires were applied to measure the sense of presence in the virtual environment which determines the success of the produced virtual environment. A number of analyzes were performed on the data obtained. As a result of the analysis, the findings were interpreted and it was concluded that the virtual environment produced was successful.

**Keywords:** Virtual Environment, 3D Terrain Generation, Perlin Noise, Volumetric Cloud Generation, HTC Vive, Virtual Reality

## TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde desteklerini esirgemeyen, tez alıőmamda bana yol gösteren, bilgi ve tecrübesini benimle paylaőan Sayın Prof. Dr. Haşmet Gray'a,

Kaliteli bir lisans eğitimi ile beni donatan, mezun olduğumda bana olan katkılarını en güçlü hissettiğim Hacettepe Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'ne,

Beni sonsuz seven ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan annem Sadiye zuzun ve babam Hasan zuzun'a,

Canım ağabeyim Gökhan zuzun ve kardeőim Mehmet Efe zuzun'a,

Beni her gün seven hep yanımda olan hayat arkadaşım canım eőim Zeynep zuzun'a,

Yeni doğan, varlığıyla hayatıma heyecan ve mutluluk katan oğlum Hasan'a,

Lisans eğitimimde ve sonraki hayatımda, sevinç ve hznlerimi paylaőtıđım yakın arkadaőlarım Mehmet Sedat Kurt ve Anıl Atvar'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Problem Tanımı .....	1
1.2. Tez Çalışmasının Hedefi ve Kapsamı.....	2
1.3. Çalışma ve Plan .....	3
1.3.1. Araştırma .....	3
1.3.2. Geliştirme.....	3
1.3.3. Yorumlama ve Sonuç.....	4
1.4. Tez Çalışmasının Uygulama Alanı .....	4
2. İLİŞKİLİ ÇALIŞMALAR .....	5
2.1. Bulut Üretme İşlemi.....	5
2.2. Yordamsal Arazi Üretme İşlemi .....	9
3. GENEL BİLGİLER .....	14
3.1. Sanal Gerçeklik Teknolojisi.....	14
3.2. HTC Vive Sanal Gerçeklik Gözlüğü .....	14
3.3. Unity Oyun Motoru .....	15
3.4. SteamVR SDK.....	16
4. DENEYSEL OYUN GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI .....	17
4.1. Donanım ve Teknoloji Seçimi .....	17

4.2. Oyun Tabanlı Deneysel Sanal Ortam Tasarımı .....	17
4.3. Perlin Gürültüsü (Perlin Noise) .....	20
4.4. Uygulamanın Gerçekleştirimi.....	22
4.4.1. Unity Ortamında Perlin Noise Algoritması Gerçekleştirimi .....	22
4.4.2. Yeryüzünün Renklendirilmesi .....	26
4.4.3. Gökyüzünde Hacimsel Bulut Üretimi.....	28
4.4.4. Kullanıcıya “ <i>Superman</i> ” Uçuş Yeteneğinin Kazandırılması .....	32
4.5. Test Ortamının Hazırlanması.....	34
5. KULLANICI TESTLERİNİN UYGULANMASI VE ANALİZİ.....	37
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR .....	52
EK - 1: Katılımcı Demografik Bilgi Formu.....	57
EK - 2: NASA İş Yükü İndeksi .....	58
EK - 3: Simülatör Rahatsızlığı Anketi.....	59
EK - 4: Ortamda Bulunma Anketi .....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2B Düzlemsel Bulut Görseli (Resim [16] numaralı kaynaktan alınmıştır) .....	6
Şekil 2.2. Bulut Kümesi Oluşturulurken Kullanılan Parçacıklar (Resim [20] numaralı kaynaktan alınmıştır) .....	6
Şekil 2.3. Parçacıklar Kümesi İçerisinde Bulunan Örnek bir Uçak (Resim [20] numaralı kaynaktan alınmıştır) .....	7
Şekil 2.4. Dokuların (Textures) Birleşimiyle Oluşturulan Hacimsel Tek Bir Bulut Görseli (sol) & 16 Farklı Bulut Dokusu (sağ) (Resim [25] numaralı kaynaktan alınmıştır).....	8
Şekil 2.5. Ada Parçası (sol) ve Araziyi Oluşturan Özellik Eğrileri (sağ) (Resim [26] numaralı kaynaktan alınmıştır) .....	9
Şekil 2.6. Bir Noktadaki Gürültü Değeri Hesaplanırken Kullanılan En Yakın 4 Nokta ve Gradyent Vektörleri (Resim [27] numaralı kaynaktan alınmıştır) .....	10
Şekil 2.7. Parberry tarafından Perlin Gürültü Algoritması Kullanılarak Elde Edilmiş Olan bir Arazi (Resim [27] numaralı kaynaktan alınmıştır).....	10
Şekil 2.8. Beach Ajanı Tarafından Üretilen Soldan-Sağa Küçük-Orta-Büyük Kumsallar (Resim [30] numaralı kaynaktan alınmıştır).....	12
Şekil 3.1. HTC Vive Sanal Gerçeklik Gözlüğü Donanımları (Resim [39] numaralı kaynaktan alınmıştır) .....	15
Şekil 4.1. En Genel Hatlarıyla Sistem Mimarisi.....	18
Şekil 4.2. Sanal Ortam İçerisinde Bulunan Çemberler.....	19
Şekil 4.3. Kullanıcıları Bilgilendiren Sayaçlar .....	19
Şekil 4.4. Düzenli Gürültü (Regular Noise) için Bir Örnek (Resim her piksel değeri 0 veya 1 olan bir dokudan oluşturulmuştur) .....	20
Şekil 4.5. Perlin Gürültüsü (Perlin Noise) için Bir Örnek (Resim [43] numaralı kaynaktan alınmıştır) .....	20
Şekil 4.6. 1 Boyuttaki Perlin Gürültüsü.....	21
Şekil 4.7. Doğal Görünümlü Çizim .....	21
Şekil 4.8. 2 Boyuttaki Perlin Gürültüsü.....	21
Şekil 4.9. Örnek bir Ateş Dokusu .....	21

Şekil 4.10. Perlin Noise Algoritmasının 3 Boyuttaki Gerçekleştirimi ile Elde Edilmiş Olan 3B Arazi Görseli (Resim [44] numaralı kaynaktan alınmıştır).....	22
Şekil 4.11. Sözd-rastgele Yükseklik Değeri ile Üretilmiş Olan 3B Renklendirilmemiş Arazi.....	24
Şekil 4.12. Renklendirme Yöntemiyle Elde Edilen Arazi Görünümü.....	26
Şekil 4.13. Gerçekleştirilen İşlemler Sonucunda Elde Edilen Arazi Görseli .....	28
Şekil 4.14. Alfa Kanalına Sahip Bulut Dokusu Görseli (Siyah Bölge Alfa Kanalını Göstermektedir) .....	29
Şekil 4.15. Parçacık Sisteminde Amaca Göre Kullanılacak Olan Özellikler (sol) ve Renderer Bileşeni (sağ).....	30
Şekil 4.16. Gerçekleştirilen Sanal Ortamdaki Hacimsel Bulut Görseli.....	32
Şekil 4.17. Hacimsel Bulut İçerisinde Dolaşırken Elde Edilmiş Olan Bulut Görseli.....	32
Şekil 4.18. Kullanıcı Uçuş Doğrultusunun Hesaplanmasının 2B Düzlemde Gösterimi	33
Şekil 4.19. Sanal Dünya Üzerinde Aşağı (sağ) & Yukarı (sol) Yönde Kullanıcı Hareketi .....	34
Şekil 4.20. Hareket Yakalama Laboratuvarı İçerisinde Oluşturulan Test Ortamı.....	35
Şekil 5.1. Katılımcıların NASA TLX Anketinde Her Bir Soruya Verdiği Skor Değeri .....	40
Şekil 5.2. Kadın Katılımcıların NASA TLX Sorularına Verdikleri Cevapların Ortalama Değeri .....	42
Şekil 5.3. Erkek Katılımcıların NASA TLX Sorularına Verdikleri Cevapların Ortalama Değeri .....	42
Şekil 5.4. Kullanıcıların SSQ Anketi Sonuçları (Sol Üst: Mide Bulantısı, Sağ Üst Okülomotor, Sol Alt: Oryantasyon Bozukluğu, Sağ Alt: Genel SSQ Sonucu).....	44
Şekil 5.5. Kadın Katılımcıların SSQ Genel Skorlarının ve Alt Skorlarının Ortalama Değeri .....	45
Şekil 5.6. Erkek Katılımcıların SSQ Genel Skorlarının ve Alt Skorlarının Ortalama Değeri .....	45
Şekil 5.7. Dâhil Olma (Involvement) Skor Değeri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değeri (Sağ) .....	47
Şekil 5.8. Ortama Uyum/Tutulma (Adaptation/Immersion) Skor Değeri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değeri (Sağ).....	47

Şekil 5.9. Duyusal Olarak Ortama Bağlanma (Sensory Fidelity) Skor Değerleri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (Sağ).....	47
Şekil 5.10. Arayüz Kalitesi (Interface Quality) Skor Değerleri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (Sağ).....	48

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Test Bilgisayarı Donanım Özellikleri.....	36
Çizelge 5.1. Simülatör Rahatsızlığı Anketi (SSQ) Skor Hesaplama Yöntemi .....	43
Çizelge 5.2. Witmer'in Analiz için Belirttiği 4-faktörün Ait Olduğu Sorular.....	46
Çizelge 5.3. Dört Faktör Arasındaki İlişkiyi Belirten Korelasyon Hesabı Sonuçları.....	48



# SİMGELER VE KISALTMALAR

## Kısaltmalar

3B	3 Boyutlu
PC	Personal Computer
VR	Virtual Reality
SDK	Software Development Kit
2B	2 Boyutlu
GPU	Graphic Processing Unit
FPS	Frame Per Second
RGB	Red Green Blue
GB	Gigabyte
GIMP	GNU Image Manipulation Program
SSQ	Simulator Sickness Questionnaire
SUS	Slater-Usuh-Steed Questionnaire
PQ	Presence Questionnaire
IPQ	IGroup Presence Questionnaire
QoE	Quality of Experience
HLSL	High Level Shading Language
NASA TLX	The National Aeronautics and Space Administration Task Load Index

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Problem Tanımı

Sanal gerçeklik, bilgisayar teknolojileri kullanılarak oluşturulan, kişilerin bazı ek donanımlar sayesinde nesnelere etkileşime geçerek keşfedebildiği, hayal ürünü veya gerçeği taklit edilerek geliştirilmiş olan 3 boyutlu ortamları ifade etmektedir. Günümüzde gelişen teknolojiye, artan donanım gücüne paralel olarak sanal gerçeklik donanımları da ortaya çıktığı ilk günden itibaren her geçen gün gelişmekte ve insanların hayatında daha fazla yer sahibi olmaktadır. Sanal gerçeklik donanımlarının, boyut olarak günümüzdeki akıllı telefonların üzerine geçirilebilecek derecede giderek küçülmesi bu teknolojiye verilen önemi göstermektedir. Bu teknolojisi sayesinde kişi, bulunduğu ortam dışında olma hissini yaşayarak kendisini tamamen farklı bir ortamda hissetmiş olmaktadır [1]. Bu durum sanal gerçeklik teknolojisinin, ürün haline gelmesinden itibaren artan düzeyde talep görmesine sebep olmaktadır [2]. Üretilen sanal ortamların kullanıcı üzerinde bıraktığı gerçeklik hissi ve sanal ortamın bir parçası olarak kullanıcıya yaşatılan o ortamda bulunma hissi, ürünün başarısı açısından oldukça önem arz etmektedir.

Sanal gerçeklik teknolojisi denildiğinde genellikle akla ilk olarak oyun sektörü gelmektedir. Fakat bu durum her geçen gün farklı amaçlarla farklı sektörlerde kullanımı yaygınlaşan sanal gerçeklik teknolojisi için doğru bir durum değildir. Giderek yaygınlaşan bu teknoloji sadece oyun ve eğlence sektörü ile bağdaştırılmamalı, günümüzde diğer birçok sektörde de kullanım örnekleri bulunmaktadır [1]. Literatür incelendiğinde özellikle eğitim alanında birçok çalışmaya rastlanılmakta ve bu çalışmalardan detaylarıyla bahsedilmektedir [3], [4], [5]. Sağlık sektöründeki kullanımı açısından, insan bedeninin 3B ortamda sunumu sayesinde riskli olan bazı cerrahi operasyonlarda pratiklik kazanılmaktadır [6], [7], [8]. Mimarlık ve inşaat sektörü için, henüz hazır olmayan evlerin kullanıma hazır hallerinin 3B ortamda gerçekçi olarak müşterilere gösterilmesi ve odaların içerisinde dolaşma imkânının verilmesi büyük kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca inşaat mühendisliği eğitimlerinde sanal gerçeklik teknolojisi kullanılmaktadır [9]. Kültür ve turizm açısından, doğal güzelliklerin ve tarihi mekânların yine 3B ortamda dünyanın herhangi bir yerindeki kullanıcılar ile

paylaşıyor olması bu sektör açısından önemli avantaj sağlamaktadır [10]. Eğlence sektöründe ise, filmlerin ve çeşitli yayınların gerçekten o ortamda bulunma hissini yaşatılacak şekilde geliştirilmesi, kullanıcılara sadece 2B şeklinde izlemeye göre çok daha büyük etki yapmaktadır [11]. En az diğer sektörler kadar önemli olan diğer bir kullanım alanı ise uçuş eğitimi alanıdır [12]. Yaratılan gerçekçi 3B sanal ortam içerisinde bir uçuş simülasyonu canlandırılarak, uçuş eğitimlerinde öğrencilere uçak kullanma eğitimi verilebilir ve bu sayede gerçek yaşamda riskli olan bu eğitimlerin ortaya çıkaracağı olası olumsuz sonuçlar da minimum düzeye indirilmiş olur. Eğitim alanındaki diğer bir faydası ise, risk faktörüne ek olarak gerçek yaşamda pahalı olan bu eğitimlerin, sanal ortamda gerçekleştirilmesinin kıyaslanamayacak seviyede ucuz olmasıdır. Yaratılan sanal ortamlar ne kadar gerçekçi olursa, bu tarz eğitimlerden elde edilecek sonuç da o kadar başarılı olmaktadır. Yaratılan ortamın gerçeğe uygun nesnelere-cisimlerden oluşması ve sanal ortam içerisindeki ses efektlerinin gerçeğe uygun olacak şekilde kullanıcıya yansıtılması, sanal ortamlardaki gerçekçiliği artıran olmazsa olmaz başlıca etmenler olarak gösterilebilir.

## **1.2. Tez Çalışmasının Hedefi ve Kapsamı**

Bu çalışma kapsamında her geçen gün popüleritesi artan, farklı alanlardaki kullanımı giderek yaygınlaşan sanal gerçeklik teknolojisi ve uygulamaları için gerçekçi bir sanal ortam üretimi amaçlanmıştır. Tez çalışmasının hedefi olarak sanal ortam içerisinde oluşturulacak olan 3 boyutlu arazi ve hacimsel bulut üretimi üzerinde yoğunlaşmıştır. Arazi üretiminin belirli parametrelere göre yordamsal olarak gerçekçi ve doğal bir görünüm ile ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Bulut üretiminde hedef olarak, Timothy ve Parberry'nin [16] çalışmasında olduğu gibi gökyüzü üzerinde resim olarak bulunan ve erişilemeyecek seviyedeki bir bulut resmi üretilmesi yerine, 3B ortamda gerçekçi olarak içerisinden geçilerek dolaşılacak bir bulut tabakasının üretimi amaçlanmıştır. Ayrıca kullanıcılar için mini bir oyun tasarlanıp, oluşturulacak olan sanal dünyayı eğlenceli bir şekilde deneyimlemeleri hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda üretilen sanal ortamın başarı derecesinin ölçülebilmesi için, kullanıcı üzerinde oluşturulan gerçeklik hissini ve sanal ortamda bulunma (*presence*) hissini ölçen, literatürde bulunan kabul görmüş anketlerin uygulanması ve sonuçların yorumlanması hedeflenmiştir.

### **1.3. Çalışma ve Plan**

Kronolojik olarak tez çalışmasının hedef ve kapsamı belirlendikten sonra tez için gerçekleştirilecek olan çalışma planı ortaya çıkarılmış ve 3 başlıkta toplanmıştır:

#### **1.3.1. Araştırma**

- Yordamsal arazi üretimi hakkında literatür araştırmasının yapılması ve önceden gerçekleştirilen çalışmaların incelenmesi
- Hacimsel bulut üretimi hakkında literatür araştırmasının yapılması ve önceden gerçekleştirilmiş olan çalışmaların incelenmesi
- Yordamsal arazi üretimi hakkında bulunan yöntemlerin incelenmesi, oluşturulması planlanan sanal ortam için en verimli olabilecek yöntem üzerinde yoğunlaşılması
- Bulut üretim tekniklerinin araştırılarak, oluşturulacak olan gerçekçi sanal ortamda kullanılacak yöntemin belirlenmesi
- Üretilen sanal ortamın başarı seviyesinin ölçülebilmesi için, sanal gerçeklik ortamlarında başarıyı ölçmek amacıyla kullanılan yöntemlerin araştırılması ve çalışmada kullanılacak olan uygun yöntemin belirlenmesi

#### **1.3.2. Geliştirme**

- Kullanıcının geliştirilecek olan sanal ortamı eğlenceli bir şekilde deneyimlemesi için gerçekleştirilmesi planlanan oyunun tasarımının yapılması
- Geliştirme aşamasında kullanılacak olan 3B oyun motorunun belirlenmesi
- Geliştirilen sanal ortamın üzerinde çalışacağı sanal gerçeklik donanımının (sanal gerçeklik gözlüğünün) belirlenmesi
- Yordamsal arazi üretiminin sanal gerçeklik gözlüğüne uygun olarak oyun motoru içerisinde gerçekleştirilmesi
- Hacimsel bulut üretiminin sanal gerçeklik gözlüğüne uygun olarak oyun motoru içerisinde gerçekleştirilmesi
- Arazi ve bulut ortamının bulunduğu sanal ortamın daha eğlenceli bir şekilde deneyimlenmesi için, tasarımı gerçekleştirilmiş olan oyunun kodlanması

- Sanal dünyada kullanıcının uçarak hareket etme işlevinin kodlanması
- Sanal ortamdaki gerçekçiliğin artırılabilmesi için gerekli olan ek donanımların (fan, askı aparatları vb.) temin edilerek gerekli düzeneklerin kurulması ve test ortamının oluşturulması

### **1.3.3. Yorumlama ve Sonuç**

- Test işlemi için olabildiğince farklı demografik özelliklere sahip kullanıcıların belirlenmesi
- Kullanıcılara üretilen sanal ortamın, ortamda bulunma hissini artıracak ek donanımlar kullanılarak test ettirilmesi
- Sanal ortamın başarısını ölçmek için belirlenmiş olan anketlerin kullanıcılara uygulanması
- Anketlerden elde edilen verilerin yorumlanması ve sonuçların değerlendirilmesi

### **1.4. Tez Çalışmasının Uygulama Alanı**

Tez çalışması sonucunda, gerçekçi arazi ve bulut ortamı içeren, farklı yükseklik ve yoğunluktaki arazi üretimini yordamsal olarak belirli parametrelere göre gerçekçi bir şekilde gerçekleştirebilen, sanal gerçeklik gözlüğü üzerinde çalışacak olan, kullanıcı etkileşimli, kullanıcılara uçma hissini yaşatıldığı oyun tabanlı gerçekçi bir sanal ortam oluşturulacaktır. Gerçek dünyada kolaylıkla tecrübe edilemeyecek olan uçuş hissi için, sanal gerçeklik donanımlarında çalışacak düşük maliyetli ve risk faktörü bulunmayan gerçekçi bir sanal ortam üretilmiş olacaktır. Ayrıca uçma eylemine karşı fobisi bulunan bireyler için, bu sorunlarına çözüm olabilecek oyun tabanlı bir sanal ortam geliştirilmiş olacaktır [13], [14], [15].

## 2. İLİŞKİLİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Bulut Üretme İşlemi

Gerçek zamanlı sanal gerçeklik uygulamalarında çoğunlukla dış ortamlar kullanılmaktadır. Bu ortamların ortak özellikleri gerçekçi bir bulut tabakasına sahip olmalarıdır. Bulut üretimi konusunda literatür incelendiğinde, Timothy ve Parberry'nin çalışmasında [16] belirttiği üzere, amaca yönelik iki farklı bulut üretim tekniği karşımıza çıkmaktadır: Durağan (*static*) yaklaşım ve yordamsal (*procedural*) yaklaşım. Statik yaklaşımda bir ya da daha fazla fotoğraf 3B gökyüzü modeli oluşturmak için kullanılır. Örneğin bir bulut resmi bir gökyüzü resminin üzerine eklenebilir ve daha sonra bulut resmi zamana bağlı olarak kaydırılarak animasyon şeklinde üretilmesi sağlanır. Sonuçta ortaya çıkan gökyüzü, yüksek kalitede bir fotoğrafta çok ikna edici olabilirken, dinamiklerin eksikliği önemli bir dezavantajdır. Yordamsal yaklaşımda ise nasıl temsil edileceğine göre bulutlar yordamsal olarak üretilmektedir. Bulutların temsil edilme yöntemi, iki ayrı kategoride incelenmektedir: Düzlemsel (*planar*) teknikler ve hacimsel (*volumetric*) teknikler. Düzlemsel bulut üretme tekniğinde, kullanıcının yer yüzeyinde hareket etmeye kısıtlandığı başka bir deyişle gökyüzündeki bulut tabakasına hiçbir şekilde erişemediği ve sadece gözlemleyebildiği bulut üretim tekniğidir. Hacimsel bulut üretim tekniğinde ise, kullanıcının tıpkı uçuş simülasyonlarında olduğu gibi bulutların içerisinden geçmesine izin verildiği bulutlar üretilmektedir. Bu bakımdan hangi metodun kullanılacağı, oluşturulacak olan bulutun hangi amaçla kullanılacağına göre değişmektedir.

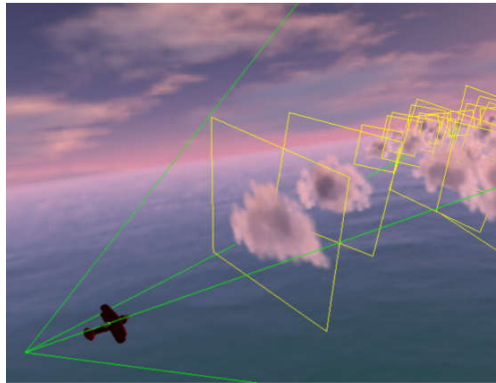
İki boyutlu bulut resmi üretilmesi işleminde birçok çalışmada Perlin Noise [17] algoritmasının kullanılması tercih edilmiştir [16]. Perlin Noise algoritması kullanılarak bir gürültü resmi elde edilmekte ve bu gürültü resminden ise doğal görünümlü bulut resimleri elde edilmektedir. Fakat üretilen bu bulut türleri, kullanıcının zemin seviyesinde hareket etmeye kısıtlanmış olduğu durumlarda efektif olarak kullanılabilir. Eğer ki oluşturulacak olan bulut tabakasının içerisinden geçilerek hareket edebilmeye olanak sağlanacaksa, düzlemsel tekniklerle 2B bulut üretmek yerine hacimsel olarak 3B bulut üretim teknikleri kullanılmalıdır. Başka bir araştırmada ise Pallister [18], bulut resme üretmek için dört farklı gürültü resmi kullanmıştır. Dube [19]

ise çalışmasında Pallister'ın metoduna ek olarak her piksel için *shader* içerisinde gerçekçi aydınlatma (*lighting*) için *ray tracing* algoritmasını kullanmıştır. Şekil 2.1'de düzlemsel olarak 2B bulut üretim tekniği ile elde edilmiş olan bir bulut resmi görülmektedir.



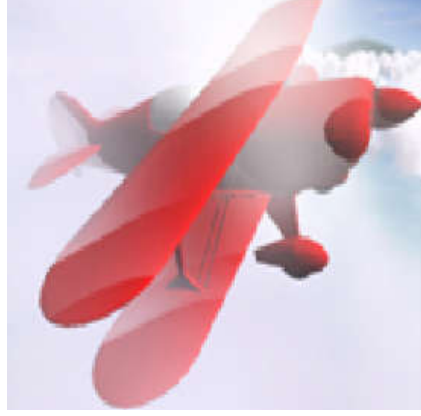
Şekil 2.1. 2B Düzlemsel Bulut Görseli (Resim [16] numaralı kaynaktan alınmıştır)

3 boyutlu bulut üretimi üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde, Harris'in uçuş simülatörleri ve oyunlar için geliştirdiği gerçekçi bulut üretimi çalışmasına rastlanılmaktadır [20]. Harris uçuş simülatörlerinin gerçekçiliği için bulutun önemli bir etmen olduğunu belirtmiş ve genelde bulut üretiminin gökyüzünde erişilemeyecek bir seviyede resim olarak bulunan bulutların oluşturduğunu belirtmiştir. Araştırmasında ise içerisinden geçilebilecek ve etrafından dolaşılabilir hacimsel bir bulut kümesi üretimini amaçlamıştır. Bulut üretimi işleminde parçacık sisteminin etkili ve basit bir yöntem olduğunu belirtmiş, çalışmasında hacimsel bir bölgenin parçacıklar ile doldurulmasıyla bulut elde etmeyi amaçlamıştır. Şekil 2.2'de bulut kümesi oluşturmak için kullanılan parçacık taneleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Bulut Kümesi Oluşturulurken Kullanılan Parçacıklar (Resim [20] numaralı kaynaktan alınmıştır)

Bu parçacıkların sayısı artırılarak hacimsel bir bulut kümesi elde edilebilmektedir. Şekil 2.3'te direk olarak oluşturulan parçacıkların oluşturduğu hacimsel alandaki bir uçak görülmektedir.



Şekil 2.3. Parçacıklar Kümesi İçerisinde Bulunan Örnek bir Uçak (Resim [20] numaralı kaynaktan alınmıştır)

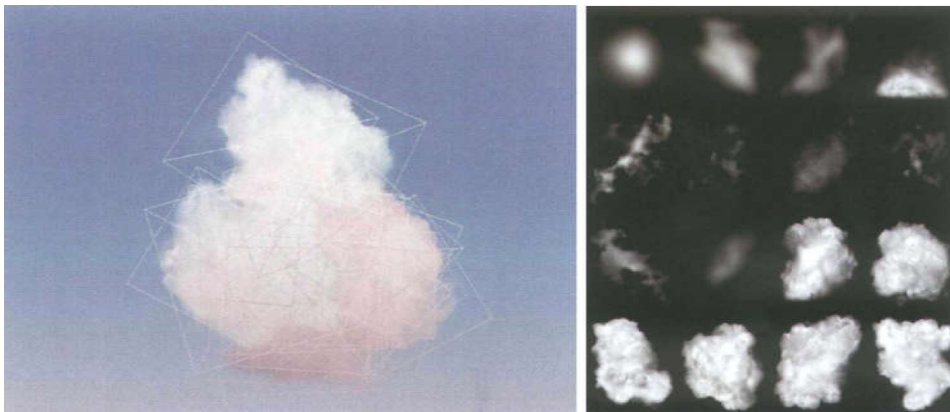
Diğer bir araştırmada Elinas ve Stuerzlinger [22], 3B bulut üretimi üzerine grafik donanımlarında çalışan bir algoritma geliştirmişler ve *OpenGL* ile gerçekleştirmişlerdir. Sanal ortamlar oluşturulurken çoğunlukla dış ortamların canlandırıldığını, dış ortamlarda ise görüş açısında en çok yer kaplayan bölgenin gökyüzü olduğunu belirtmiştir ve bu açıdan gerçekçi bir gökyüzü oluşturmanın önemini vurgulamıştır. Çoğu uygulamada gökyüzünün bir resim olarak bulunduğunu, bunun da kullanıcı açısından ikna edici olmadığını belirtmiş, kullanıcının uçmasına ve bulut yakınlarına çıkıp dolaşabilmesine izin verilen sanal gerçeklik uygulamalarında bu yöntemin uygun olmadığını belirtmiştir. 3B bulut üretiminde bir takım ana yaklaşımların olduğunu belirtmiştir. Bunlardan birisi, fizik kurallarını baz alarak oluşturulan bulutlardır ve bulut içerisinden geçen ışık miktarını hesaplayan *ray tracing* yöntemi kullanılmaktadır. Sonuç olarak gerçekçi bulut üretiminin gerçekleştirilebildiğini fakat yüksek FPS değerinde sonuç elde edebilmek için donanım gücünün yüksek olması gerektiğini vurgulamıştır. Diğer bir yöntem ise, hacimsel üretim (*volume rendering*) yöntemidir ve 3B bir resmin dilimlerinin birleştirilerek simüle edilmesiyle elde edildiğini belirtmiştir. Gardner'ın [21] çalışmasında olan diğer bir yöntem ise, rastgele şekillere sahip elipsoitlere *Perlin Noise* algoritmasıyla oluşturulabilecek bulut resimlerinin üzerine gerdirilmesiyle elde edilebileceğini belirtmiştir. Tüm bunlara ek olarak, bulut resimlerinin geçirgen olması



gerektiğini ve geçirgenlik miktarının hesaplanması gerektiğini belirtmiştir. Bu yöntemde ise özellikle çok sayıda bulut üretilmek istendiğinde daha fazla elipsoidin kullanılması gerektiğini belirtmiş ve bunun da FPS değerini düşürdüğünü vurgulamıştır.

Matthias ve Andrzej'in gerçekleştirdiği çalışmada [23] sanal ortamlarda bulut, duman ve buhar simülasyonu üretimi hakkında çalışmalarda bulunmuşlardır. Araştırmada, geçirgenlik bilgisini tutan alfa kanalına sahip bulut dokusu (*alpha-blended texture*) ve parçacık sistemi yaklaşımını kullanmışlardır. Bulut üretiminde kalite ve hız arasındaki dengenin sağlanması gerektiğini belirtmiş ve performans kıstası düşünülerek hesaplama zamanını azaltmak için parçacık sayısını azaltmışlardır. William Reeves ise araştırmasında [24], parçacık sistemini kullanarak belirtisiz objeler (*fuzzy objects*) olarak tanımladığı bulut, ateş ve su gibi objeleri parçacık sistemini kullanarak 3B bir şekilde üretmeyi anlatmıştır. Çalışmasında parçacık sisteminin prensiplerini, özniteliklerini açıklamıştır.

Wang ise çalışmasında [25], önceden hazırlanmış olan dokuları (*texture*) ve parçacık sistemini kullanarak farklı türde birçok bulut kümesi elde etme yönteminden bahsetmektedir. Bulut üretim tekniği olarak, 4 ile 500 arasında geçirgenlik bilgisini tutan alfa kanalına sahip doku (*alpha-blended texture*) kullanarak 3B hacim elde etmeyi tercih etmişlerdir. Çalışmasında farklı türde ve şekilde bulut türleri gerçekleştirebilmek için farklı bulut dokularının kullanıldığını belirtmiştir. Şekil 2.4'te dokulardan oluşan tek bir bulut görseli ve bulut üretiminde kullanıldığı belirtilen alfa kanala sahip 16 adet doku gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Dokuların (Textures) Birleşimiyle Oluşturulan Hacimsel Tek Bir Bulut Görseli (sol) & 16 Farklı Bulut Dokusu (sağ) (Resim [25] numaralı kaynaktan alınmıştır)

## 2.2. Yordamsal Arazi Üretme İşlemi

Yordamsal arazi üretimi ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, neredeyse bütün çalışmalarda yapaylığın aksine doğal görünümlü sonuçlar elde edebilmek için bir gürültü fonksiyonu kullanıldığı görülmüştür. Bunlardan en çok tercih edileni Perlin Noise (Perlin Gürültüsü) fonksiyonudur [17]. Houssam Hnaidi araştırmasında [26], karasal arazinin yapısal özelliklerini karakterize eden bir dizi parametrelili eğri kullanarak arazi üretimi gerçekleştirmiştir. Farklı arazi türleri elde etmek için kullandığı bu eğrilere eğim, yükseklik gibi bazı kısıtlamalar eklemiştir. Arazi verimli bir difüzyon algoritması kullanılarak eğrilerin gösterimi ile elde edilmektedir. Üretilmek istenen arazi, sırt çizgisi, uçurum, nehir yatağı gibi yeryüzü özelliklerini temsil eden bir dizi kontrol eğrisi ile karakterize edilmektedir. Şekil 2.5'te üretilen bir arazi parçası ve üretilirken kullanılan kontrol eğrileri gösterilmektedir. Algoritma GPU üzerinde gerçekleştirilerek efektif bir biçimde çok çeşitli arazi türlerinin elde edilebileceğini belirtmiştir.

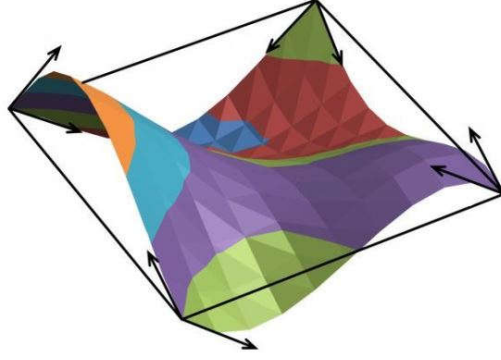


Şekil 2.5. Ada Parçası (sol) ve Araziyi Oluşturan Özellik Eğrileri (sağ) (Resim [26] numaralı kaynaktan alınmıştır)

Bir başka çalışmada ise Ian Parberry [27], Perlin Noise [17] algoritması kullanarak farklı türlerde arazi üretimi gerçekleştirmiştir. Araştırmasında, oyun endüstrisinde arazi üretimi olarak da bilinen yordamsal içerik üretiminin 3 tane önemli özelliğe sahip olması gerektiğini belirtmiştir: Birincisi hızlı olması gerektiği, ikincisi çeşitli şekillerde arazi üretimi için hem rastgele hem de yapısal olması gerektiği, üçüncüsü ise doğal ve sezgisel bir şekilde kontrol edilebilir olması gerektiğidir. Perlin Gürültüsü algoritması, her bir hücredeki gradiyent vektörleri hesaplayarak işleme başlar. Herhangi bir  $x$  ve  $z$  noktasındaki gürültüsü değerini bulmak için öncelikle bu noktalara ait 4 adet en yakın tamsayı noktalarını bulur:

- $([x], [z]), ([x]+1, [z]), ([x], [z]+1), ([x]+1, [z]+1)$

Sonrasında bu 4 noktanın içdeğerlemesini (*interpolasyon değeri*) hesaplar. Şekil 2.6'da bir  $y$  noktasındaki gürültü değeri hesaplamasında kullanılan en yakın 4 noktadaki gradyan vektörleri ve bunlar arasındaki içdeğerleme (*interpolasyon*) işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Bir Noktadaki Gürültü Değeri Hesaplanırken Kullanılan En Yakın 4 Nokta ve Gradyent Vektörleri (Resim [27] numaralı kaynaktan alınmıştır)

Arazi üretiminin amacı doğrultusunda, en son işlem olarak  $y$  değeri bir *skala* değeri ile çarpılır ve 2B kartezyen düzlemdeki her bir  $(x,z)$  noktasına ait yükseklik değeri hesaplanmış olur. Şekil 2.7'de Parberry'nin [27] çalışmasında Perlin Gürültüsü Algoritması kullanılarak elde edilmiş olan bir arazi gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Parberry tarafından Perlin Gürültü Algoritması Kullanılarak Elde Edilmiş Olan bir Arazi (Resim [27] numaralı kaynaktan alınmıştır)

Ruben, Klaas ve Saskia [28] çalışmalarında, yordamsal içerik üretiminin manüel yöntemlere göre daha umut verici olduğunu ve gelecek vaat ettiğini belirtmektedir. Elle modelleme yapmak yerine belirli kurallara göre yordamsal olarak model üretme üzerine en az 30 yıldır çalışıldığını ve günümüzde halen araştırılan bir konu olduğunu belirtmişler, yordamsal yöntemlerle arazi üretiminde kullanılan yöntemleri araştırarak bunların çıktılarını değerlendirmişlerdir. Makalelerinde, arazi üretiminde kullanılan ve arazi bölgesinin yükseklik verisini içeren *yükseklik haritaları (height-maps)* elde edilmiş yöntemi hakkında bilgi vermişlerdir. Önceden belirtildiği üzere doğal görünümlü bir yükselti elde edebilmek için, yükseklik haritası verileri oluşturulurken *Perlin Noise* algoritmasının kullanımını belirtmişlerdir. Rastgele gürültü yöntemine göre üretilen yükseklik haritalarının, mağara ve sarkıt oluşumlarını desteklemediğini belirtmişlerdir.

Elias ve Niclas'ın [29] araştırmasında, oyunlarda yordamsal içerik üretiminin önemi vurgulanmış ve çok sayıdaki içeriğin bu sayede daha az kaynak kullanılarak üretilebildiği belirtilmiştir. Çalışmalarında *Perlin Noise* algoritması [17] kullanılarak yordamsal olarak bir şehir üretme konusu araştırılmıştır. Araştırmalarında ele aldıkları şehrin, gerçek yaşamdaki gibi mantıksal bir yerleşim düzeni içermeye zorunluluğu olmadığını, oyunlar içerisinde kullanım düşünüldüğü için basitleştirilerek farklı türdeki evleri birbirine bağlayan yol sistemi olarak şehir düzenini açıklamışlardır. Araştırma sonucunda oluşturulan içeriğin, tamamen rastgele oluşturulan şehre göre daha uygun ve gerçekçi algılandığı belirtilmiştir.

Jonathon Doran ve Ian Parberry [30], yordamsal içerik üretiminde aşağıda belirtilen özelliklerin olması gerektiğini vurgulamışlardır: Yenilik, yapısallık, ilgi çekicilik, hız ve kontrol edilebilirlik. Tüm bu özellikleri göz önünde bulundurarak bir arazi üreticisi (*terrain generator*) geliştirmişlerdir. Bu arazi üreticisi, yükseklik haritası (*heightmap*) oluşturarak her bir hücrenin yükseklik verisini saklamaktadır. Oyun içerisinde farklı şekillerde arazilerin üretilmesi, araziye keşfetmek zorunda olan kullanıcı için gelişmiş bir oynanış sunmaktadır. Doran ve Parberry'nin sunduğu ajan bazlı arazi üretim sisteminde (*agent-based terrain generation*), 5 farklı ajan kullanılmış ve tüm bu ajanlar birbirlerinden bağımsız asenkron olarak görevlerini gerçekleştirmişlerdir. İlk ajan *coastline* ajanıdır ve etrafı su ile çevrili olan bir kara parçası üretiminden sorumludur. Ayrıca bu ajan, herhangi bir yükseklik haritası hesaplanmadan oluşturulmadan önce işlemini gerçekleştirmektedir. İkinci ajan *smoothing* ajanıdır ve arazide rastgele

yürüyüşler yaparak yakınındaki noktaların ortalamalarını alır. Üçüncü ajan *beach* ajanıdır ve *coastline* içerisinde düz alanlar üretir. Dördüncü ajan *mountain* ajanıdır ve dağ sıralarının seviyelerini yükseltmekle görevlidir. Beşinci ve son ajan ise *river* ajanıdır; dağ seviyesinden başlayarak okyanusa doğru ilerleyen nehirleri aşındırarak oluşturmaktadır. Ayrıca çalışmalarında 5 olarak belirledikleri ajan sayısının farklı amaçlar doğrultusunda artırılabilceğini belirtmişlerdir. Şekil 2.8’de bu çalışmada elde edilen sonuç ve özellikle *beach* ajanının ürettiği farklı genişliklerdeki kumsallar görülmektedir.



Şekil 2.8. Beach Ajanı Tarafından Üretilen Soldan-Sağa Küçük-Orta-Büyük Kumsallar  
(Resim [30] numaralı kaynaktan alınmıştır)

William Well [31] gerçekçi ve ikna edici bir arazi tasarımının manüel olarak kişiler tarafından gerçekleştirilmesinin maliyetli ve zaman alıcı bir iş olduğunu, tekrar kullanılabilirliğinin zor olduğunu, bu karşın yordamsal arazi üretiminin çeşitlilik ve tekrar kullanılabilirlik açısından önemini vurgulamıştır. Araştırmasında, geliştirmiş oldukları *GENETICS (Generating Enhanced Natural Environments and Terrain for Interactive Combat Simulations)* adlı projenin geniş çaplı doğal görünümlü arazi üretimini gerçekleştirdiğini, ayrıca arazi üretiminin yanında bitki örtüsü üretiminin de gerçekliği pozitif yönde etkileyen bir etmen olduğunu belirtmiştir. Buradaki çalışmada, gerçekçiliği artırmak için arazi üretiminin yanında bitki örtüsünün de ele alınması önem arz etmektedir.

Fernando Bevilacqua, Cesar Tadeu Pozzer ve Marcos Cordeiro d’Ornellas [32] oyunlardaki kullanıcı deneyimlerinin, oluşturulan sanal dünyanın büyüklüğü ve detayları ile doğrudan etkilendiğini belirtmiş ve farklı türlerde sözde sonsuz (*pseudo-infinite*) arazi üretimi gerçekleştirebilen *Charack* isimli araçlarını anlatmışlardır.

Araştırmalarında problemi 3 ana başlık altında toplamışlardır: Sonsuz Arazi (*Infinite Terrain*), Yükseklik retimi (*Height Generation*) ve Kıtalar (*Continents*). İçerik retiminde asıl amaç kullanıcı hareketine devam ettiği sürece yeni içeriklerin üretilmesidir. Kullanıcının bulunduğu konum bilgisine göre görebildiği alanların Yükseklik Haritası oluşturulmaktadır. Yükseklik haritası oluşturulurken *Perlin Noise* [17] algoritmasının kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca mantıklı bir karaparası-deniz ilişkisi oluşturabilmek için, diğer tüm hesaplamalardan önce üretilmektedir.

Travis Archer [33], 3 boyutlu modellemede her geçen gün gürültü (*noise*) algoritmalarının kullanımının arttığını belirtmektedir. Bunun sebebi olarak bilgisayar üretiminde kusursuz düzlükte Şekil ve dokuların ortaya çıktığını, böylece gerçek görünümden uzaklaştıklarını, doğal görünüme kavuşmaları için manüel müdahalelerin ise zaman açısından oldukça maliyetli olduğunu belirtmiştir. Araştırmasında, içerik üretiminde kullanılabilecek *Cell/Whorley Noise*, *Perlin Noise*, *Value Noise*, *Diamond-Square*, *Midpoint Displacement*, *Simplex Noise* gibi bazı algoritmaları hız, kalite, kullandığı bellek miktarı, gerçekleştirim kolaylığı açısından kıyaslamıştır. Sonuçta ise kalite ve gerçekleştirim kolaylığı başta olmak üzere birçok açıdan *Perlin Noise* [17] algoritmasının diğer birçok algoritmadan üstün olduğunu belirtmiştir. Buna karşın yine *Ken Perlin* tarafından geliştirilen *Simplex Noise* algoritmasının, *Perlin Noise* algoritmasına göre daha hızlı olduğu fakat gerçekleştirim kolaylığının da tersi yönde 5 kat zor olduğunu belirtmiştir. Bu alışma sonucunda, yordamsal içerik üretiminde tercih edilebilecek gürültü (*noise*) algoritmasının belirlenmesi konusunda fayda sağlamaktadır.

George Kelly ve Hugh McCabe [34], yordamsal tekniklerin bilgisayar grafiğinde doğal görünümlü doku (*texture*), özel bazı efektlerin gerçekleştirimi, karmaşık doğal modellerin üretimi işlemlerinde kullanıldığını ve amaca göre doğru tercih edilmiş algoritmaların bilgisayar grafiği uygulamalarında birçok faydasının olacağını belirtmiştir. Travis'in çalışmasında[33] olduğu gibi *Perlin Noise* algoritmasının yordamsal içerik üretim tekniklerinden biri olduğunu kanıtladığını vurgulamış ve kullandığı bellek miktarı açısından da oldukça önemli bir avantajının olduğunu belirtmiştir.

## 3. GENEL BİLGİLER

### 3.1. Sanal Gerçeklik Teknolojisi

Sanal gerçeklik, insanların hem keşfedip hem de etkileşime girebildiği üç boyutlu bilgisayar teknolojileri ile oluşturulmuş ortama verilen isimdir [35]. Başka bir tabir ile gerçek dünyada var olan nesnelerin ve ortamların bilgisayar ortamlarında yaratılıp, kullanıcıya yaratılan bu ortamda olma hissini gözlük, kulaklık gibi bazı araçlar kullanılarak yaşatılmasıdır. Sanal ortamda bulunma hissiyatının yeterince gerçekçi olmadığı durumlarda, kullanıcılara sanal gerçeklik duygusu yaşatılmamakta ve sonuç olarak başarısız uygulamalar ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan, sanal gerçeklik anlamında başarılı ve kullanıcılar tarafından tatmin olunabilecek ortamların yaratılması önem arz etmektedir. Gerçekçi ortamlar oluşturulurken, oluşturulan 3 boyutlu modeller kadar ortama ait gerçekçi seslerin bulunması da başarıya ulaşma açısından önemlidir. Günümüzdeki bazı çalışmalarda, 3 boyutlu modellere ve gerçekçi seslere ek olarak bazı donanımlar vasıtasıyla koku, rüzgâr gibi durumların kullanıcı tarafından algılanması sağlanmakta ve bu sayede başarılı sanal ortam oluşturma açısından oldukça ikna edici sonuçlar elde edilmektedir.

### 3.2. HTC Vive Sanal Gerçeklik Gözlüğü

*HTC Vive*, günümüz dünyasında sanal gerçeklik teknolojisinin ortaya çıkardığı başarılı ürünlerden birisidir. *HTC* ve *Valve Corporation* şirketlerinin ortak çalışmaları sonucu geliştirilmiş, 2015 yılının Mart ayında tanıtılmış ve 5 Nisan 2016 yılında piyasaya sürülmüştür [39]. Donanım olarak 1 adet başlık (*headset*), 2 adet kontrolör (*controller*) ve 2 adet baz istasyonundan (*base-stations*) oluşmaktadır.

*HTC Vive* sahip olduğu başlık sayesinde kullanıcıya sanal ortamı 3 boyutlu olarak gözlemleyebilme imkânı sunmaktadır. Başlık üzerinde bulunan kulaklık girişi sayesinde kullanıcının sanal ortamdaki sesleri stereo olarak duyabilmesi sağlanmaktadır. Sahip olduğu 2 adet baz istasyonu sayesinde 15 metrekare alan içerisinde kullanıcı hareketlerini izleyebilmektedir. Kurulum ortamında kullanıcı yere çömeldiğinde, yürüyerek hareket ettiğinde, sağa veya sola eğildiğinde tüm bu hareketleri takip edilerek sanal ortam içerisine aktarılmaktadır. Sahip olduğu 2 adet kontrolör ve üzerinde

bulunan hassas tuşlar sayesinde sanal dünya ile etkileşime geçilebilmektedir. Şekil 3.1’de HTC Vive sanal gerçeklik gözlüğü ve beraberinde standart olarak sunulan donanımları görülmektedir.



Şekil 3.1. HTC Vive Sanal Gerçeklik Gözlüğü Donanımları (Resim [39] numaralı kaynaktan alınmıştır)

*HTC Vive* görüntü kalitesi bakımından, sahip olduğu gözlük sayesinde her göze 1080 x 1200 çözünürlüğünde olmak üzere 2160 x 1200 çözünürlüğünde görüntü verebilmektedir. Cihaz 90 Hz yenileme hızına sahiptir ve içerisinde kullanıcı hareketlerini takip edebilmek için 70’den fazla sensör kullanılmaktadır. Kurulum için oda ölçekli bir alan yeterli olmaktadır ve görüş alanı (*field of view*) 110 derecedir [40].

### 3.3. Unity Oyun Motoru

*Unity Technologies* tarafından C++ ve C# dilleri kullanılarak geliştirilmiş olan, ilk kez 8 Haziran 2005’de yayınlanan çapraz platform bir oyun motorudur [41]. Bu oyun motoru kullanılarak bilgisayarlar, konsollar ve mobil platformlar başta olmak üzere birçok farklı platform için video oyunları ve simülasyonlar geliştirilebilmektedir. *Unity* oyun motorunun en önemli avantajlarından birisi, geliştiriminin tek bir yerden yapılabildiği ve uygulamaların birçok farklı platforma derlenebilmesidir.

Unity ile geliştirme yapılırken, yaratılan sanal dünyaya ait nesnelere özellik kazandırmak için C# programlama dili ile yazılmış betikler eklenir. Bu betikler sayesinde sanal dünyada yaratılmış olan objeler birbirleri ile etkileşime geçebilir ve istenilen şekilde davranış göstermeleri sağlanabilir. Ayrıca bu nesnelere için animasyonlar tanımlanıp, nesnelere için *Unity* içerisinde *shader* yazılabilmektedir. Sahip



olduğu fizik motoru sayesinde, nesnelerin birbirleriyle olan etkileşimlerinde gerçek dünyadaki gibi tepki vermesini sağlamak nispeten kolay bir hale gelmektedir.

### 3.4. SteamVR SDK

Valve tarafından geliştirilen, *HTC Vive* için oyun veya simülasyon oluşturulurken kullanılacak resmi bir kütüphanedir. Bu kütüphane sayesinde Unity oyun motoru içinde sanal ortamlar yaratılıp, *HTC Vive* sanal gerçeklik gözlüğü ile entegre bir şekilde derlenip kullanılabilir. *SteamVR* kütüphanesine, *Unity Asset Store* içerisinden ücretsiz olarak erişilebilmektedir. Buradan bilgisayara indirilerek, geliştirilecek olan projelere entegre edilmektedir.

*SteamVR* kullanılarak geliştirilen projelerde, yaratılan sanal ortamlar içerisinde *HTC Vive* başlığının (*headset*) bakış açısı ile ortam izlenebilmekte ve buradaki sanal ortamda dolaşılabilir. Ayrıca yaratılan ortam içerisinde kontrolör (*controller*) cihazların görülebilmesi de *SteamVR* kütüphanesi sayesinde sağlanmaktadır.

*SteamVR* kütüphanesi tamamen ücretsiz olup açık kaynaklıdır ve *GitHub* üzerinden kaynak kodlara erişilebilmektedir [42].

## 4. DENEYSEL OYUN GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

### 4.1. Donanım ve Teknoloji Seçimi

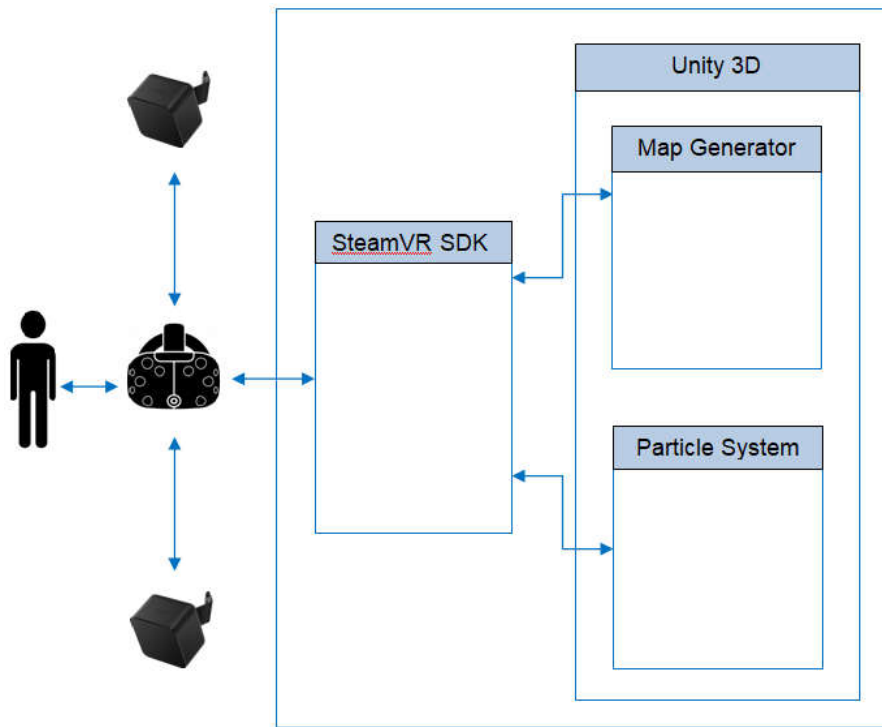
Her geçen gün gelişmeye devam eden sanal gerçeklik teknolojisi, kullanıcılara yaşattığı gerçekçi ve farklı deneyim ile popülerliğini artırmaya devam etmiştir. Bunun bir sonucu olarak da sanal gerçeklik donanımları üreten firmalar arasındaki rekabet, ürün çeşitliliği sunmuş ve farklı ürünler ortaya çıkmıştır. Günümüzde birçok sanal gerçeklik donanımı bulunmaktadır ve bunların en çok bilinenleri *HTC Vive* ve *Oculus Rift*'tir. Tez çalışması kapsamında geliştirme yapılırken ve testler gerçekleştirilirken kullanılmak üzere sanal gerçeklik donanımı olarak, *Hacettepe Üniversitesi Bilişim Enstitüsü*'nde hali hazırda bulunan *HTC Vive* donanımı seçilmiştir.

*HTC Vive* sanal gerçeklik donanımında çalışabilecek uygulamalar geliştirmek için *Unity Oyun Motoru* seçilmiştir. Herhangi bir gelir elde etme durumu olmadığı, kişisel ve deneysel kullanım gerçekleştirilmek amaçlandığı için ücretsiz olan *Personal Lisans* tercih edilmiştir. *Unity* ortamında *C#* dili kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiş ve ilgili sanal ortam geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilecek olan uygulamada kullanılacak olan *Perlin Noise* algoritmasının gerçekleştirilmiş halinin kullanıcıya bir fonksiyon olarak sunulması da sağladığı avantajlardandır. *Unity* oyun motoru ile geliştirilecek olan bu projenin, *HTC Vive* sanal gerçeklik donanımı üzerinde de çalıştırılabilmesi için *SteamVR* kütüphanesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu eklentinin sağladığı *SDK* sayesinde, kullanıcıların geliştirilen proje içerisinde *headset* ve *controller* donanımları ile kendi bakış açılarından sanal dünyayı izleyebilmelerine imkân sunulmaktadır. Bunun bir sonucu olarak kullanıcılar, yaratılan bu sanal ortam içerisinde gezinebilme, dolaşabilme yeteneğine sahip olmakta ve farklı bir tabir ile sanal ortam içerisinde olma hissini yaşamış olmaktadırlar.

### 4.2. Oyun Tabanlı Deneysel Sanal Ortam Tasarımı

Kullanıcının üzerine giydiği sanal gerçeklik gözlüğü *HTC Vive*, aynı zamanda bilgisayara ve 2 adet baz istasyonuna (*base-stations*) bağlı şekilde bulunmaktadır. Yaklaşık 10 metrekare bir alanda yerden yaklaşık 2 metre yükseğe çapraz şekilde yerleştirilen baz istasyonları, *headset* ve *controller* cihazlarının oda ölçekli ortamda 3B

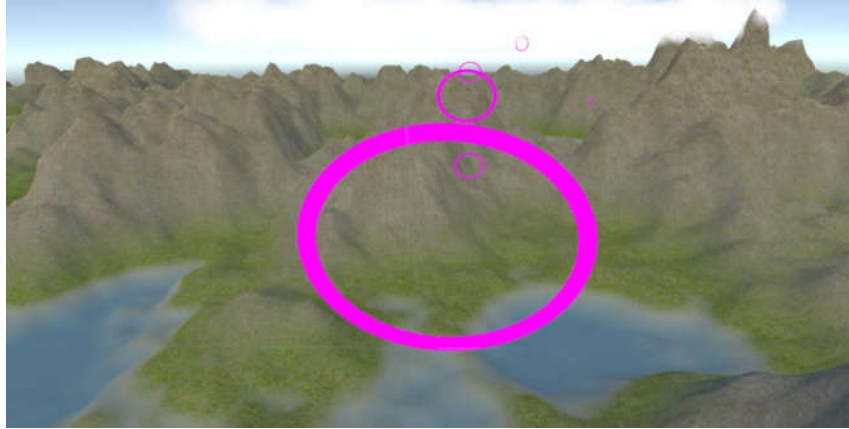
düzlemde konumlandırılmalarını ve canlı olarak takip edilmelerini sağlamaktadır. Kullanıcı başına taktığı *headset* ve elinde bulundurduğu 2 adet *controller* cihazı ile sanal dünyayla etkileşime geçmektedir. Sanal ortamın yaratılması, hacimsel bulut ve yordamsal arazi üretimi *Unity Oyun Motoru* içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu iki teknoloji arasında veri alışverişini ve birbirleriyle etkileşime geçebilmelerini sağlayan *SteamVR SDK*'sının sağladığı fonksiyonlar kullanılarak, kullanım esnasında kullanıcıdan gerekli bilgileri toplayarak, kullanıcının canlı olarak *Unity* içerisinde yaratılan sanal ortamda bulunması sağlanmaktadır. En genel haliyle sistemin mimarisi aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.1. En Genel Hatlarıyla Sistem Mimarisi

Arazi üretme işleminde, Travis Archer'in [33] doğal görünümlü rastgele içerik üretiminde kullanılabilecek algoritmaları kıyasladığı çalışmasından yola çıkılarak ve George Kelly ile Hugh McCabe [34]'in araştırmalarında belirtmiş olduğu *Perlin* algoritmasının bellek avantajından yola çıkılarak, *Perlin Noise* [17] algoritmasının kullanılması tercih edilmiştir. *Unity* içerisinde *Perlin Noise* algoritması kullanılarak sözde rastgele sayılar elde edilmiştir. Bu sayılar kullanılarak ve haritaya yükseklik verisi eklenerek doğal görünümlü harita üretilecektir. Arazi üzerine önceden belirlenen farklı yüksekliklere ait dokular yerleştirilerek gerçek görünümlü olması sağlanmıştır.

Hacimsel bulut tasarımı için, Wang'ın [25] çalışmasında olduğu gibi önceden hazırlanan alfa kanalına sahip bulut dokusu resmi ve *Unity* içerisinde bulunan parçacık sistemi kullanılmıştır. Oyun tasarımı olarak, yaratılan sanal ortamda kullanıcının önceden belirlenmiş, sanal dünyada konumlandırılmış, belirli büyüklükteki çemberlerin içerisinde uçarak geçmesi beklenmektedir ve her geçilen çember için 1 puan kazanılacaktır. Gerçekleştirilecek bu oyun sayesinde gerçekçi sanal ortamın eğlenceli bir şekilde deneyimlenmesi sağlanmıştır. Şekil 4.2'de sanal ortamda içerisinde geçilecek olan çemberler gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sanal Ortam İçerisinde Bulunan Çemberler

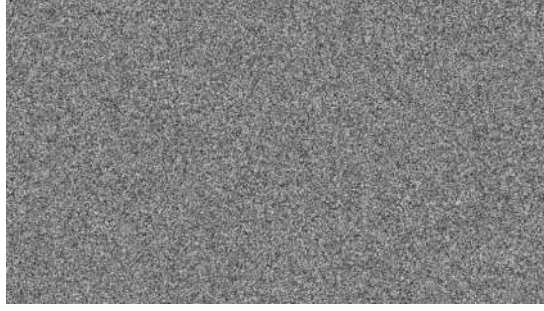
Oyun esnasında kullanıcının skor bilgisini görebilmesi ve geçen süreyi canlı olarak takip edebilmesi için sol *controller* cihazı üzerine süre ve sağ *controller* cihazı üzerine skor sayaçları yerleştirilmiştir. Şekil 4.3'te *controller* cihazları üzerindeki bilgi ekranları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kullanıcıları Bilgilendiren Sayaçlar

### 4.3. Perlin Gürültüsü (Perlin Noise)

Rastgele (*random*) sayılar, birbirinden bağımsız her seferinde tamamen rastgele üretilen sayılardır. Rastgele sayılar kullanılarak örnek bir resim oluşturulmak istendiğinde, herhangi bir desen takip etmeyen bir resim üretilmiş olur. Şekil 4.4'te, her piksel değeri 0 ile 1 arasından rastgele seçilerek oluşturulmuş örnek bir resim gösterilmiştir. Bu resimdeki gürültü, düzenli gürültü (*regular noise*) olarak adlandırılır ve fark edilir bir örüntü göstermemektedir.



Şekil 4.4. Düzenli Gürültü (Regular Noise) için Bir Örnek (Resim her piksel değeri 0 veya 1 olan bir dokudan oluşturulmuştur)

*Ken Perlin* tarafından geliştirilen *Perlin Noise* algoritması ise, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi sözde rastgele sayılar (*pseudo-random numbers*) dizisi üretmektedir.



Şekil 4.5. Perlin Gürültüsü (Perlin Noise) için Bir Örnek (Resim [43] numaralı kaynaktan alınmıştır)

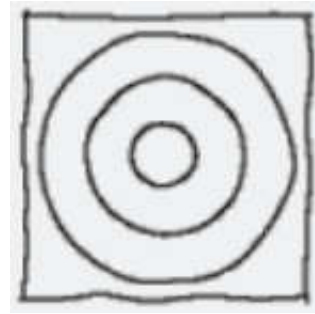
*Perlin Gürültüsü* [17], yordamsal içerik üretmek için sıklıkla kullanılan oldukça kuvvetli bir algoritmadır. Özellikle oyunlar ve filmler için yordamsal içerik üretmede kullanışlıdır. *Ken Perlin* 1997 yılında bu algoritma ile teknik başarı alanında Akademi Ödülü'nü kazanmıştır [43].

Oyun programlamada *Perlin Noise* algoritması, çeşitli doku ve materyal oluşturmada kullanılabilir. Karakteri zemin seviyesinde hareket edilmeye kısıtlanmış bir oyunda gökyüzü üzerinde konumlandırılacak bir bulut üretimi ve yordamsal olarak üretilen bir arazi, bu algoritma ile gerçekleştirilebilir. Benzer şekilde doğadaki ateş ve su efekti de *Ken Perlin*'in geliştirdiği algoritma sayesinde oyun ve sanal ortamlarda üretilmektedir.

Perlin gürültüsünün farklı boyutlardaki gerçekleştirimi ile farklı türde doğal görünümlü dokular üretilmektedir. *Perlin Noise* algoritmasının 1 boyuttaki gerçekleştiriminde doğal görünümlü el yazısıyla çizilmiş gibi çizgiler elde edilebilir. Şekil 4.6'da *Perlin* algoritmasının tek boyutta elde edilen gürültüsü, Şekil 4.7'de bu gürültü kullanılarak elde edilmiş olan doğal görünümlü çizim görülmektedir (Resimler [44] numaralı kaynaktan alınmıştır).

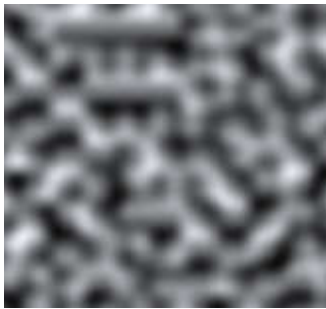


Şekil 4.6. 1 Boyuttaki Perlin Gürültüsü



Şekil 4.7. Doğal Görünümlü Çizim

*Perlin Noise* algoritmasının 2 boyuttaki gerçekleştiriminde doğal görünümlü ateş ve bulut dokuları elde edilebilir. Şekil 4.8'de *Perlin* algoritmasının 2 boyutta elde edilmiş gürültüsü ve Şekil 4.9'da bu gürültü kullanılarak elde edilmiş olan ateş dokusu görülmektedir (Resimler [44] numaralı kaynaktan alınmıştır).



Şekil 4.8. 2 Boyuttaki Perlin Gürültüsü



Şekil 4.9. Örnek bir Ateş Dokusu

*Perlin Noise* algoritmasının 3 boyuttaki gerçekleştiriminde ise yordamsal olarak araziler elde edilebilmektedir. Şekil 4.10'da *Perlin* algoritmasının 3 boyuttaki gerçekleştiriminde elde edilmiş olan bir arazi görülmektedir.



Şekil 4.10. *Perlin Noise* Algoritmasının 3 Boyuttaki Gerçekleştirimi ile Elde Edilmiş Olan 3B Arazi Görseli (Resim [44] numaralı kaynaktan alınmıştır)

Resimde görülen arazi, *Perlin Noise* algoritmasının 2 boyutta elde edilmiş olan gürültü değerlerinin yükseklik verisi olarak kullanılmasıyla elde edilmiş olan, doğal görünümlü yükseltilere sahip 3B bir arazi üretilmiştir.

#### 4.4. Uygulamanın Gerçekleştirimi

Arazi retimi konusundaki benzer çalışmalar incelendiğinde, doğal görünümlü araziler elde edebilmek için çeşitli gürültü algoritmaları kullanıldığı görülmüştür [27], [28], [29], [32]. Travis Archer [33] ile George Kelly ve Hugh McCabe [34] 'in çalışmasında bu gürültü fonksiyonları arasından *Perlin Noise* [17] algoritmasının avantajları vurgulanmıştır. Gerçekleştirim kolaylığı ve kalite açısından, doğal görünümlü içerik retiminde *Perlin Noise* algoritması tercih edilmiştir.

##### 4.4.1. Unity Ortamında *Perlin Noise* Algoritması Gerçekleştirimi

Doğal görünümlü içerik üretmek için kullanılan ve *Unity* içerisinde *Mathf* kütüphanesi içerisinde gerçekleştirilmiş halde bulunan *Perlin Gürültü* fonksiyonunun tanımı aşağıdaki gibidir [50]:

- `public static float PerlinNoise(float x, float y);`

Basit olarak bu fonksiyon ilgili noktanın 'x' ve 'y' koordinat değerini alarak, '0.0' ve '1.0' arasında *float* türünde bir değer döner. Perlin fonksiyonuna parametre olarak 'x' ve 'y' değerleri için her seferinde herhangi bir tamsayı piksel değeri verilirse, fonksiyon tarafından aynı Perlin değeri üretilir. x=5, y=10 için PerlinNoise(5, 10); x=18, y=56 için PerlinNoise(18, 56); x=426, y=512 için PerlinNoise(426, 512); x=1245, y=2154 için PerlinNoise(1245, 2154) fonksiyonları tamsayı parametre değerleri aldıkları için her seferinde aynı sonucu üretecektir. Bu durumun önüne geçmek için, parametrelerden en az birisinin ondalık (*decimal*) sayı olması gerekmektedir. Ayrıca Perlin fonksiyonu, diğer fonksiyonlar gibi tahmin edilebilir sonuçlar üretmektedir. Yani her seferinde aynı ondalık sayılar için aynı Perlin değeri üretilmektedir.

Perlin fonksiyonu yakın noktadaki değerler için yakın sonuçlar üretmektedir, böylece sözde-rastgele (*pseudo-random*) sayı dizileri üretilebilmektedir:

- x = 2.814, y = 4.552 için PerlinNoise(2.814, 4.552) → 0.6775
- x = 2.836, y = 4.552 için PerlinNoise(2.836, 4.552) → 0.6724
- x = 6.947, y = 2.809 için PerlinNoise(6.947, 2.809) → 0.5856
- x = 6.962, y = 2.781 için PerlinNoise(6.962, 2.781) → 0.6002

fonksiyonları da birbirine yakın sonuçlar üretmektedir. Bu durum sayesinde rastgele görünen fakat aslında rastgele olmayan sayılar dizileri üretilebilmektedir.

Bu bilgilerden hareketle, Perlin Gürültü fonksiyonu ile 2 boyutlu bir arazi düzleminde piksel değerleri kullanılarak, sözde-rastgele Perlin Gürültü sayı değerleri üretebilmek için, tamsayı olan arazinin piksel değerleri ondalık sayı hale getirilmelidir. Bu işlem için, Perlin fonksiyonuna parametre olarak verilecek olan değerler, belirli bir sayı ile çarpılmalı ya da bölünmelidir. Sonrasında, arazinin eni '*mapWidth*' boyu '*mapHeight*' piksel olmak üzere, arazi boyutunda sözde-rastgele sayı dizisi elde edilmiştir.

```
for(int x = 0 ; x < mapWidth ; x++)
{
    for(int y = 0 ; y < mapHeight ; y++)
    {
        // Her döngüde aynı sonucun üretilmemesi için, Perlin
        // fonksiyonuna verilen parametre float türündedir!
        float perlinNoiseValue = Mathf.PerlinNoise(
            x/scaleValue, y/scaleValue);

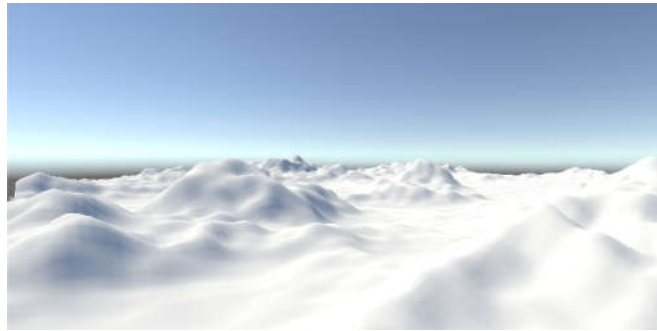
        noiseValues[x,y] = perlinNoiseValue;
    }
}
```



Böylece 2B düzlemde sözde-rastgele düzende, *noiseValues* isminde iki boyutlu bir dizi üretilmiş olmaktadır. Bu aşamadan sonra, elde edilen bu sözde-rastgele sayı değerleri kullanılarak, bir arazinin yükselti değerlerinin elde edilmesi aşamasına geçilmiştir. Unity içerisinde oluşturulan boş bir arazinin (*terrain*), 2 boyutlu yükseklik harita değeri olarak *noiseValues* değişkeni içerisinde tutulan 2 boyutlu sözde-rastgele üretilen sayı dizisi kullanılmıştır.

```
for(int x = 0 ; x < mapWidth ; x++)
{
    for(int y = 0 ; y < mapHeight ; y++)
    {
        float perlinNoiseValue = Mathf.PerlinNoise(
            x/scaleValue, y/scaleValue);
        noiseValues[x,y] = perlinNoiseValue;
    }
}
terrain.terrainData.SetHeights(0, 0, noiseValues[x,y]);
```

Sonuç olarak ise, yüksekliği sözde-rastgele olan doğal görünümlü, henüz renklendirilmemiş 3B bir arazi elde edilmiş olmaktadır:



Şekil 4.11. Sözde-rastgele Yükseklik Değeri ile Üretilmiş Olan 3B Renklendirilmemiş Arazi

Elde edilen arazi fazlasıyla pürüzsüz olup tek düz görünüme sahiptir ve gerçekçiliği artırmak adına sonraki aşamada detayların eklenmesi amaçlanmıştır. Bu işlemin parametrelerle kontrol edilebilir olması hedeflendiği için genlik (*amplitude*), frekans (*frequency*) ve oktav (*octave*) gibi bazı kavramlar kullanılmaktadır. Genlik ifadesi ‘y’ eksenini, frekans ifadesi ise ‘x’ eksenini ve oktav ifadesi çoklu gürültü katmanını (*noise layer*) ifade etmektedir. Bu aşamada farklı genlik ve frekans değerine sahip bireysel gürültü katmanları, belirtilen oktav sayısı kadar üretilmektedir. Sonrasında tüm bu farklı

gürültü katmanlarının bir araya getirilmesiyle, detaylara sahip daha gerçekçi araziler üretilebilmektedir.

```
float amplitude;
float frequency;
for(int x = 0 ; x < mapWidth ; x++)
{
    for(int y = 0 ; y < mapHeight ; y++)
    {
        amplitude = 1;
        frequency = 1;
        float height = 0;

        for(int i = 0 ; i < octaves ; i++)
        {
            float X = (x / scaleValue) * frequency;
            float Y = (y / scaleValue) * frequency;
        }
        float perlinNoiseValue = Mathf.PerlinNoise(
            X/scale, Y/scale);
        height += perlinNoiseValue * amplitude;
        amplitude *= persistence;
        frequency *= lacunarity;
    }
    noiseValues[x,y] = height;
}
// Perlin ile elde edilen yükseklik verisi işleniyor.
terrain.terrainData.SetHeights(0, 0, noiseValues [x,y]);
```

Her bir oktav içerisinde, frekans değerini kontrol eden ‘*lacunarity*’ ve genlik değerini kontrol eden ‘*persistence*’ değişkenleri bulunmaktadır. Her bir sonraki oktav içerisinde, frekans değeri artmakta ve genlik değeri azalmaktadır. Böylece her bir oktav içerisinde daha küçük yükseklikte ve aynı zamanda çok sayıda yükseltiler elde edilebilmektedir. Başka bir tabirle, ilk oktav arazinin genel şeklini ikinci oktav daha küçük kayaları belirtmekte ve bu şekilde belirtilen oktav sayısınca devam etmektedir.

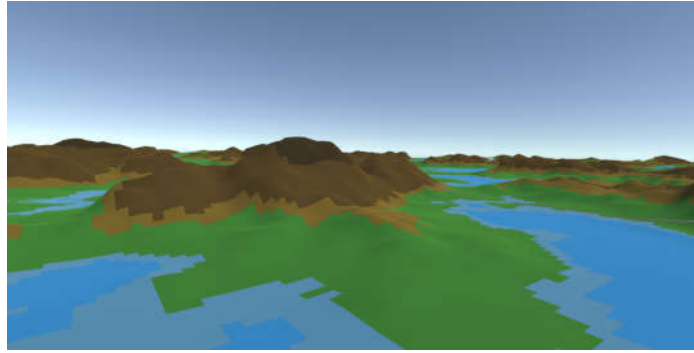
Sonuç olarak, Perlin Gürültü (*Perlin Noise*) algoritması kullanılarak yordamsal bir biçimde, gerçekçi bir arazi üretimi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Henüz renklendirilmemiş ve tek renkte bir görünüme sahip olan bu arazinin üzerine ‘*mesh*’ eklendikten sonra yükseklik verisi kullanılarak renklendirilmesi işlemi gerçekleştirilecektir.

#### 4.4.2. Yeryüzünün Renklendirilmesi

Arazi üretimi geometrik olarak tamamlandıktan sonra renklendirilerek görsellik kazandırılması hedeflenmiştir. Renklendirme işleminde belirli yükseklik seviyelerine göre belirli renk atamaları yapılmıştır. Renk atamaları yükseklik seviyelerine göre RGB renk değerleri aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir:

- $0.0 < h \leq 0.32 \rightarrow \text{RGB}(43,135,202)$
- $0.32 < h \leq 0.40 \rightarrow \text{RGB}(81,140,180)$
- $0.40 < h \leq 0.56 \rightarrow \text{RGB}(52,123,41)$
- $0.56 < h \leq 0.62 \rightarrow \text{RGB}(113,92,26)$
- $0.62 < h \leq 0.84 \rightarrow \text{RGB}(77,58,14)$
- $0.84 < h \leq 1.00 \rightarrow \text{RGB}(48,37,5)$

Renk atama işlemleri gerçekleştirildikten sonra aşağıdaki şekildeki gibi bir arazi görünümü elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Renklendirme Yöntemiyle Elde Edilen Arazi Görünümü

Fakat tez çalışmasındaki başarı kriteri oluşturulacak olan sanal dünyanın gerçekçi olması ve kullanıcının 'ortamda bulunma' hissini yoğun olarak hissedebilmesi olduğu için, elde edilen bu sonuç yetersiz kalmaktadır. Bu aşamadaki çalışmadan elde edilen geri bildirim ile yüzeydeki her pikselin değerinin hesaplanması işlemine geçilmiştir.

Yüksekliklere göre renklendirme işlemi tamamlandıktan sonra, arazi için *shader* dosyası yazılarak her piksele ait renk hesaplamasının yapılarak daha gerçekçi bir görünüme sahip olması amaçlanmıştır. Bunun için *Unity* içerisinde bulunan *Standart Surface Shader* türünü içeren bir materyal oluşturulup, her pikselin nasıl temsil edileceği belirtilmiştir [45]. Yüzey üzerindeki piksel değerlerini hesaplayan bu *SubShader*, HLSL (*High Level Shading Language*) dili kullanılarak oluşturulmuştur.

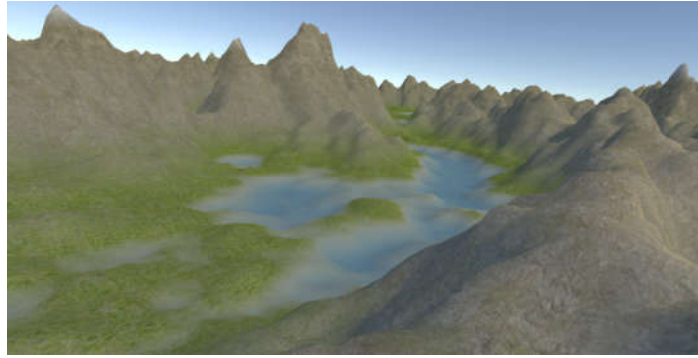
HLSL dili, *shader* dosyaları yazabilmeye yarayan Microsoft tarafından geliştirilmiş olan bir dildir. ‘C programlama dili’ tarzına benzeyen HLSL ile *Unity* içerisindeki bir *SubShader* programlanabilmektedir.

```
Shader "Terrain Shaders/Terrain" {
    Properties {
        ... //Kullanılacak olan değişkenler tanımlanıyor.
    }
    SubShader {
        Tags { "Renderertype"="Opaque" }
        LOD 200
        CGPROGRAM
        #pragma surface surf Standart fullforwardshadows
        #pragma target 3.0
        // Shader içerisinde kullanılacak olan değişkenler
        ...
        void surf(Input IN, inout SurfaceOutputStandart o)
        {
            //surface fonksiyonu içerisinde kullanılacak
            //geçici değişkenler tanımlanıyor.
            for(int i = 0 ; i < layerCount ; i++) {
                o.Albedo = o.Albedo*(1-strength) +
                    (baseColor+textureColor)*strength;
            }
        }
        ENDCG
    }
}
```

‘*surf()*’ fonksiyonu, ilgili yüzeyin her bir piksel değeri için çalıştırılmakta ve pikselin değeri hesaplanmaktadır. Bu fonksiyon içerisinde yükseklik değerlerine göre önceden belirlenmiş olan renk değerleri kullanılarak arazi yükseklik bilgisine göre bölge bölge renklendirilmektedir. Fakat bu durumda bölgeler arası geçişler çok sert olmakta ve bölgeler arası geçiş çizgileri gerçekte olmayacak derecede bariz bir şekilde belirgin olmaktadır. Bu durumu önlemek için ise, yükseklik değerlerine göre ayrılan bölgeler arası geçişlerin yumuşatılması ve komşu 2 bölgenin renk değerlerinin belirli düzeyde karıştırılması (*blending*) yöntemi uygulanmıştır.

Atanacak renk değerlerinin belirlenmesi işleminde, ilgili bölgeye uygun renkler görsel olarak yakın olacak seviyede seçilmiştir. Örneğin, imen olması beklenen bölgeler için yeşil tonu, toprak veya dağ olması beklenen bölgeler için kahverengi tonu bir renk seçilmiştir. Ancak bu durumda elde edilecek olan sonuç kişilerin renk algısına göre sekilleneceği için, daha nesnel bir yöntem denenmiştir. Unity içerisindeki görsel işler yapılırken kullanılan hazır halde bulunan varlıklar (*assets*) içerisinden imen dokusu, toprak dokusu, dağ dokusu, kaya dokusu görselleri alınıp, bu dokuların piksel değerleri renk ataması yapılırken kullanılmıştır. Böylece geliştiren kişinin algısına göre değişebilecek renkler yerine daha nesnel renk değerleri kullanılmış ve gerçekçiliğin artırılması sağlanmıştır.

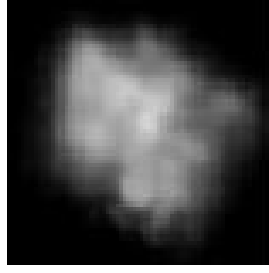
Gerçekleştirilen işlemler sonucunda yordamsal olarak farklı arazi yükseltisine ve yoğunluğuna sahip, gerçekçi olarak her pikseli için renk hesaplaması yapılmış, önceki sonuçlara göre gerçek görünümlü bir arazi elde edilmiştir:



şekil 4.13. Gerçekleştirilen İşlemler Sonucunda Elde Edilen Arazi Görseli

#### 4.4.3. Gökyüzünde Hacimsel Bulut retimi

Harris [20], Matthias ve Andrzej [23], William Reeves [24] ve Wang [25]'ın gerçekleştirmiş olduğu çalışmalarda görüldüğü üzere, tez çalışmasında 3B hacimsel bulut üretim işleminde yöntem olarak parçacık sisteminin kullanılması kararlaştırılmıştır. Wang'ın çalışmasında olduğu gibi bulut üretim işlemi için önceden hazırlanmış olan bulut dokusu (*texture*) kullanılmıştır. Bu bulut dokusu parçacık sisteminde kullanılarak, önceden belirtilmiş olan bölgelerde istenilen sayı adetince üretimi sağlanmıştır. şeffaflık (*transparanlık*) bilgisini tutacak olan alfa kanalına sahip bu bulut dokusunu oluşturmak için ücretsiz olan GIMP programı kullanılmıştır. Parçacık sisteminde kullanılan bulut dokusu aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.14. Alfa Kanalına Sahip Bulut Dokusu Görseli (Siyah Bölge Alfa Kanalını Göstermektedir)

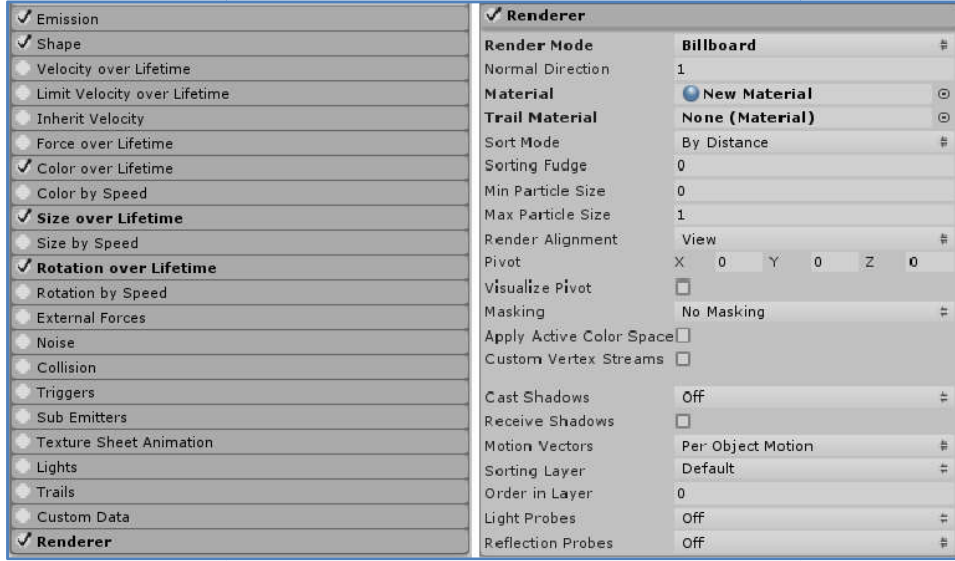
Bulut dokusu elde edildikten sonra, *Unity* oyun motoru içerisinde bulunan parçacık sistemi *Assets->Import Package->ParticleSystems* üzerinden projeye eklenip gerekli paketler yüklenmiştir:

Parçacık sistemi projeye eklendikten sonra, *Inspector* penceresinde parçacık sistemine ait özellikler görülmektedir ve bu özellikler kullanılarak üretilmesi planlanan bulut kümesi tasarlanmıştır. Bu özelliklerden başlıca olanlar açıklanacak olursa:

- *Duration*: Ne kadar bir süre boyunca parçacık üretileceğini belirtir.
- *Looping*: *Duration* süresi tamamlandıktan sonra, tekrardan üretim işlemine döngüsel olarak sıfırdan başlanarak devam edileceğini belirtir.
- *Prewarm*: Döngünün sanki bir kere çalışmayı tamamlayıp ikinci kere çalışıyormuş gibi başlamasını sağlar.
- *Max Particles*: Sistemde aynı anda bulunabilecek maksimum parçacık sayısını belirtir.
- *Play On Awake*: Sahne başlatıldığında üretimin otomatik olarak başlamasını sağlar.
- *Start Size*: Üretilen parçacıkların boyutunu belirtir.

Bu özellikler üretilen bulut kümesi için aktif hale getirilmiştir. Maksimum parçacık sayısını belirten değişkenin değeri, bilgisayar kaynaklarının verimli kullanılması ve FPS değerinin yüksek tutulması için mümkün olduğunca minimum seviyede tutulmaya çalışılmıştır.

Bu özelliklerin dışında, özelleşmiş kategoriler altında Şekil 4.15'te görüldüğü gibi birçok parçacık sistemi özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler açılarak/aktif edilerek üretilen sisteme birçok özellik eklenebilmektedir.



Şekil 4.15. Parçacık Sisteminde Amaca Göre Kullanılacak Olan Özellikler (sol) ve Renderer Bileşeni (sağ)

Özelleşmiş kategorilerden *Renderer* bileşeni altında, Matthias, Andrzej [23] ve Wang [25]'in çalışmalarında bulut kümesi oluştururken kullandıkları bulut dokusunda olduğu gibi, parçacık sistemini oluşturacak olan her bir parçacığın hangi materyal kullanılarak üretileceği belirtilmektedir. Bu materyal, içerisinde her bir parçacığa ait bulut dokusunun her bir piksel değerinin nasıl gösterileceğini hesaplayan *shader* [46] dosyasını içermektedir. Bu dosya içerisinde, geçirgenlik hesaplaması yapılmaktadır.

```

Shader "Cloud Shaders/Cloud" {
    Properties {
        // Shader dosyası içerisinde kullanılacak
        // olan değişkenler tanımlanıyor.
    }
    Category {
        Lighting On
        ZWrite Off
        Cull Back
        Blend SrcAlpha OneMinusSrcAlpha
        Tags { Queue=Transparent }
        SubShader {
            Material {
                Emission [ _Color]
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    Pass {
        SetTexture [ _MainTex] {
            Combine Texture*Primary, Texture*Primary
        }
    }
}
}
}
}

```

*Unity* içerisinde yazılan '*shader*' dosyaları, '*ShaderLab*' programlama dili kullanılarak yazılmaktadır. Yazılan kod satırları sayesinde bu dosyalar, kendisini kullanan materyallerin ait olduğu nesnelere nasıl gösterileceğini belirtmektedir. Bu sayede parçacık sisteminde üretilen bulut dokularının geçirgenlikleri ayarlanabilmektedir. Sözdizimi olarak, en dış katmanda '*Shader*' komutu bulunmaktadır ve bu komut her *shader* dosyasında yalnızca bir adet olmaktadır. '*Properties*' komutu içerisinde, dosya içerisinde kullanılacak olan 'renk' ve 'bulut dokusu' değişkenleri tanımlanmaktadır. '*Category*' komutu içerisinde '*SubShader*' komutları yer almaktadır ve bu *SubShader* komutlarına ait ayarlamalar *Category* altında gerçekleştirilmektedir. *Category* altında bulunan komutlar açıklanacak olursa:

- '*Blend SrcAlpha OneMinusSrcAlpha*': Bu komut geleneksel şeffaflık hesaplaması yapmaktadır. *Blend* komutu şeffaf-geçirgen (*transparent*) nesnelere üretmek için kullanılmaktadır [47]. Bu komutun yanına gelen diğer komutlar ile geçirgenlik bilgisi ayarlanabilmektedir.
- '*Cull Back*': Bu komut üretilen poligonların, eğer görüş alanı dışında olan arka yüzleri varsa bu bölgelerin üretilmemesini sağlayan optimizasyonu gerçekleştirilmektedir [48]. Bu sayede daha efektif bir çalışma performansı elde edilmektedir.
- '*ZWrite Off*': Bu komut küp gibi geçirgen olmayan katı objeler yerine, geçirgen nesnelere üretileceği zaman kullanılmaktadır [49].

Oyun motoru bir dokuyu üretip ekranda göstereceği zaman ilgili *shader* dosyasını bulur ve bu dosya içerisindeki '*SubShader*' ları sırasıyla bilgisayarın grafik kartı üzerinde çalıştırır. Bu komut içerisinde üretilecek olan doku, alfa kanalı da eklenerek üretilmektedir.

Gerçekleştirilen işlemler sonucunda, içerisinde dolaşılacak bir hacimsel bulut kümesi üretilmiştir. Tez çalışması kapsamında başarı kriteri olan gerçekçilik faktörü ve



ortamda bulunma hissi göz önünde bulundurularak sürdürülen çalışmalar sonucunda elde edilmiş olan hacimsel bulut görseli aşağıdaki Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Bulut içerisinde hareket edilirken elde edilen görüntü Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Gerçekleştirilen Sanal Ortamdaki Hacimsel Bulut Görseli

Gerçekçiliği sağlamak adına üretilen ve içerisinde geçilerek dolaşılabilen bulut kümesinin, kullanıcının içerisinde dolaşırken elde edilmiş olan görüntüsü aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.17. Hacimsel Bulut İçerisinde Dolaşırken Elde Edilmiş Olan Bulut Görseli

#### 4.4.4. Kullanıcıya “*Superman*” Uçuş Yeteneğinin Kazandırılması

Kullanıcı elindeki *controller* cihazlarının üzerindeki *trigger* tuşlarını kullanarak sanal ortam içerisinde istediği yöne doğru uçabilme özelliğine sahiptir. Bunun için öncelikle *controller* cihazların üzerinde bulunan *trigger* tuşlarına basılıp basılmadığı ve ne kadar sertlikte basıldığı bilgisi alınması gerekmektedir. *SteamVR* kütüphanesi fonksiyonları kullanılarak bu bilgilere erişilebilmiştir:

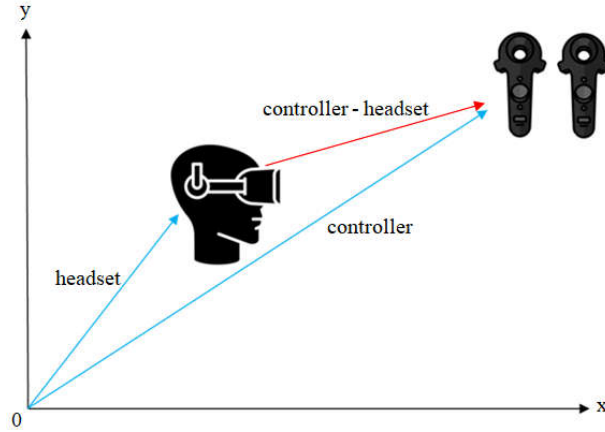
```

float trigger = SteamVR_Action._default.Squeeze.GetAxis(
    SteamVR_Input_Sources.Any);

// Butona basma durumu var ise, uçma durumu aktif
// hale getirilmektedir.
if (trigger > 0.0f)
{
    isFlying = true;
}

```

Kullanıcının uçuşa başladığı bilgisi elde edildikten sonra, hangi yöne doğru uğtuğu bilgisi gerekmektedir. Bu bilgiyi elde edebilmek için *controller* vektöründen başa takılı halde bulunan *headset* vektörü çıkarılmış ve böylece *headset*'ten *controller*'a doğru bir vektör elde edilmiştir. Şekil 4.18'de gerçekleştirilen bu vektör çıkarma işlemi iki boyutlu düzlem üzerinde görselleştirilmiş, fark vektörü kırmızı renk ile belirtilmiştir.



Şekil 4.18. Kullanıcı Uçuş Doğrultusunun Hesaplanmasının 2B Düzlemde Gösterimi

*Unity* içerisinde, 3B düzlemdeki bu vektör çıkarma işlemi aşağıdaki gibi kodlanmış ve her yeni *frame* için yeniden hesaplanarak güncellenmiştir:

```

if (isFlying)
{
    // Controller vektöründen,
    // başlık(gözlük) vektörü çıkarılmaktadır.
    Vector3 dir = transform.position -
        camera.transform.position;

    // Fark vektörü, tuşa basma şiddeti ile birlikte
    // kullanıcının pozisyonuna eklenmektedir.
    cameraRig.transform.position += dir * trigger * .05f;
}

```

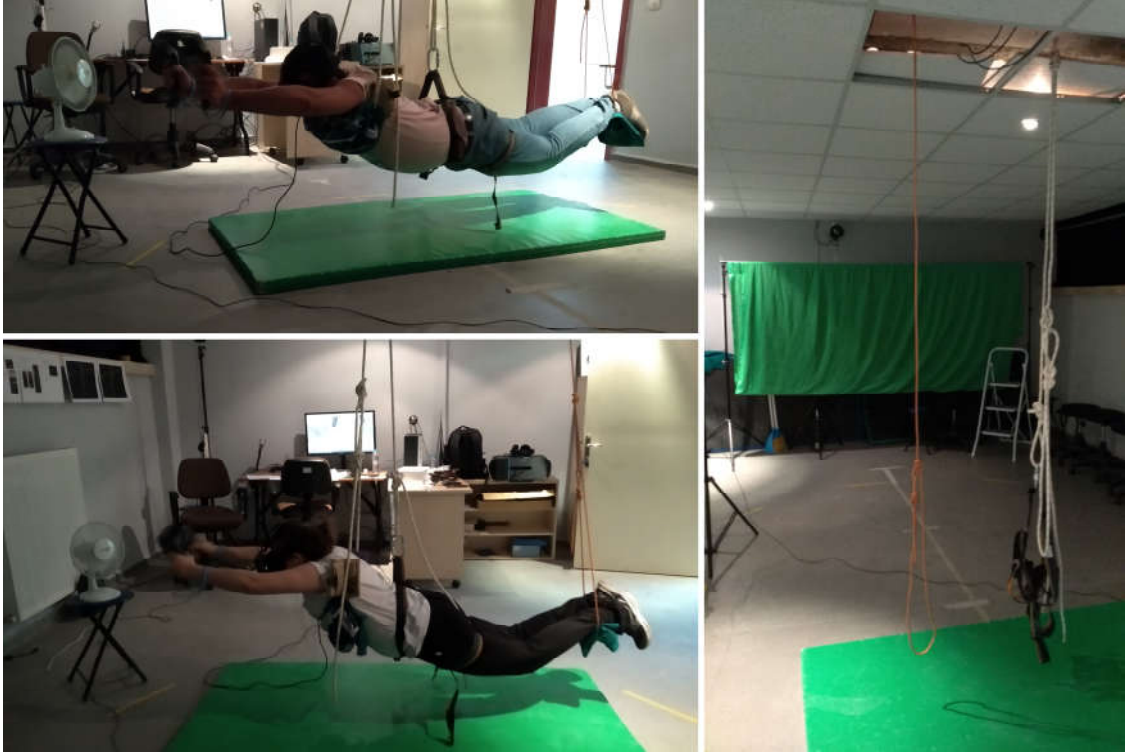


Şekil 4.19. Sanal Dünya Üzerinde Aşağı (sağ) & Yukarı (sol) Yönde Kullanıcı Hareketi

Sonuç olarak kullanıcı gitmek istediği yöne doğru *controller* cihazlarını tutup aynı zamanda *trigger* tuşuna istediği şiddette basarak istediği hızda ve yönde hareketini gerçekleştirebilmektedir.

#### 4.5. Test Ortamının Hazırlanması

Tez çalışmasında üretilen gerçekçi sanal ortamın başarısının artırılabilmesi için, kullanıcıların sanal ortamda bulunma ve ortamın bir parçası olma hissini üst seviyede yaşamaları oldukça önem arz etmektedir [51]. Kullanıcılara gerçeklik hissini olabildiğince fazla yaşatılabilmesi için, *HTC Vive* donanımları dışında, temin edilmiş olan tavan asma aparatları, dağcı kemeri ve ipi, vantilatör gibi ek donanımlar kullanılarak Hacettepe Üniversitesi Hareket Yakalama Laboratuvarı içerisinde test ortamı oluşturulmuştur. 300 kg ve 60 kg taşıma kapasitesine sahip 2 adet asma aparatı tavana monte edilmiş, sonrasında bu aparatlara monte edilen dağcı kemeri ve ipleri kullanılarak, kullanıcıların yer ile teması olmadan havada süzülür bir şekilde yere paralel olarak konumlandırılabilmesi sağlanmıştır. Kullanıcının havada yatay konumda asılı durması sağlandıktan sonra tam karşısına vantilatör yerleştirilmiş ve sanal ortamda havada uçarak süzüldüğü andaki rüzgâr efektinin fiziksel olarak hissettirilmesi sağlanarak gerçekçiliğin artırılması sağlanmıştır. Ek olarak, *HTC Vive* gözlüğünün kalibre edilebilmesi için kullanıcıların göz bebekleri arasındaki mesafeyi (*pupil distance*) hassas olarak ölçen pupillometre aleti, Hareket Yakalama Laboratuvarı'nda hali hazırda bulunmaktadır. Şekil 4.20'de asma aparatları, vantilatör, test bilgisayarı ve *HTC Vive* donanımları kullanılarak oluşturulan test ortamı görülmektedir.



Şekil 4.20. Hareket Yakalama Laboratuvarı İçerisinde Oluşturulan Test Ortamı

Kullanıcıların havada asılı bir şekilde yere paralel durumda iken, oluşturulan deneysel oyun içerisinde havada süzülürken rüzgâr efektini hissedebilmeleri için tam karşılına vantilatör yerleştirilmiştir. Bu sayede kullanıcılar hem sanal ortam içerisinde uçuşa hissini yaşamış, hem sanal ortam içerisindeki stereo rüzgâr sesini işitmiş, hem de rüzgârı direk olarak vücudunda hissetmiş olacaktır. Ayrıca kullanıcılar, oyun içerisinde önceden yerleştirilmiş olan çemberler içerisinde geçerken, çemberlerin doğrultusuna göre aşağı ve yukarı yönden hareketle beraber sağa veya sola doğru dönmeleri gerekmektedir.

Bunların yanında kullanıcılarda yaşatılacak olan gerçeklik hissini artırılabilmesi için, yaratılan sanal ortam içerisine 'stereo rüzgâr sesi' ve ayrıca içerisinden başarılı şekilde geçilen çemberler için puan kazanma sesi eklenmiştir. Bu sayede kullanıcının işitsel duyuları kullanılarak, deneyimlediği ortamın bir parçası olma duygusu artırılmış olmaktadır.

Test işlemi için kullanılacak olan, Hacettepe Üniversitesi Hareket Yakalama Laboratuvarı'nda bulunan masaüstü bilgisayarın özellikleri aşağıdaki gibidir:

Model	HP
Grafik Kartı	NVIDIA® GeForce® GTX 1080
İşlemci	Intel® Core™ i7-7700 CPU @ 3.60 GHz
RAM	32 GB
İşletim Sistemi	Windows® 10, 64 bit

Çizelge 4.1. Test Bilgisayarı Donanım Özellikleri

## 5. KULLANICI TESTLERİNİN UYGULANMASI VE ANALİZİ

Tez çalışması kapsamında yaratılan ‘Oyun Tabanlı Sanal Gerçeklik Ortamı’na ait test ortamı oluşturulduktan sonra, kullanıcıların bu ortamı denemesi aşamasına geçilmiştir. Öncesinde, her test işlemi sonucunda kullanıcılara uygulanacak olan testlerin belirlenmesi açısından, gerçekçi sanal ortam başarısının ölçülmesi konusunda literatürde bulunan çalışmalar incelenmiş ve konu hakkında farklı çalışmalara rastlanılmıştır [51], [52], [53], [61]. Nico Haas gerçekleştirdiği çalışmada [51], sanal gerçeklik teknolojisinin son 10 yıl içerisinde oldukça geliştiğini ve sanal gerçekliğin kalitesini ölçmek için ‘ortamda bulunma hissini’ (*presence-immersion*) önemli bir şart olduğunu vurgulamıştır. Ortamda bulunma hissi seviyesinin ölçülebilmesi için düzgün kurgulanmış anketlerin uygulanıp değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Çalışmasında uygulanabilecek olan anketlerin alıntı sayısı, geçerlilik ve madde sayısı gibi yönlerden karşılaştırmasını yapıp, bunlar arasından çalışmasında kullanılmak üzere IPQ, PQ ve SUS testlerini tercih etmiştir.

Slater, Usoh ve Steed tarafından geliştirilmiş olan SUS anketi [52], 6 maddeden oluşmaktadır ve 7 puanlık bir notlandırma sistemi kullanılmaktadır. Witmer ve Singer tarafından geliştirilen ‘ortamda bulunma hissi’ açısından en çok bilinen ve alıntı sayısı en fazla olan anket, 32 maddeden oluşan ve 7 puanlı notlandırma sistemine sahip *Presence Questionnaire* (PQ)’dir [53].

Manuel ve Lopez [54] çalışmalarında, diğer çalışmalarda olduğu gibi sanal ortamlardaki başarının değerlendirilmesi işlemi için ‘ortamda bulunma’ hissini ölçülmesi gerektiğini vurgulamış, SUS ve SSQ anketlerini kullanmışlardır. *Simulator Sickness Questionnaire* kelime grubunun kısaltması olan SSQ anketi [55], Kennedy ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiş ve özellikle uçuş eyleminin bulunduğu ortamlar dâhil olmak üzere sanal ortamlardaki kullanıcı tepkilerinin, sorunlarının ölçülmesi için kullanılmaktadır. 4 puanlı notlandırma sistemine sahip ve toplam 16 sorudan oluşan SSQ anketi sayesinde, kişilerde mide bulantısı, terleme, göz yorgunluğu, denge kaybı gibi problemlerin ölçülmesini sağlamaktadır.

Brunnström ve çalışma arkadaşları [56] tarafından gerçekleştirilen çalışmada sanal ortamlarda başarının belirlenebilmesi için, ‘Deneyim Kalitesi’ anlamına gelen *Quality*

of Experience (QoE) olarak adlandırdıkları durumu araştırmışlardır. Çalışmalarında SSQ analizini uygulamış ve sonuçları değerlendirmişlerdir.

Diğer bir araştırmada ise William [57], kullanıcılar üzerinde mide bulantısı rahatsızlığı (*sickness*) olarak belirttiği problemin seviyesini ölçmek için en bilinen yöntemin SSQ (*Simulator Sickness Questionnaire*) testi olduğunu belirtmiş ve SSQ testinin (anketinin) hesaplanma yöntemlerinden bahsetmiştir. Benzer şekilde Kaufmann ve çalışma arkadaşları [58], SSQ testini büyük ekranda projektör kullanan kişiler için uygulamış ve SSQ testinin alt skor değerlerini de hesaplayarak sonuçları yorumlamıştır.

Kent Norman'ın araştırmasında [59], *PlayStation 4 VR* için geliştirmiş olduğu sanal ortamın simülatör rahatsızlığı (*simulator sickness*) durumunu ve üretilen sanal ortamın kalitesini belirlemek için kullanıcılara 2 adet farklı test uygulamıştır. Mide bulantısı, baş dönmesi durumu açısından SSQ testini uygulamış ve görüntü kalitesi, kontrol kolaylığı, yön bulma durumu açısından ise kendi laboratuvarlarında kendi uygulamalarına yönelik geliştirmiş oldukları bir anketi uygulamışlardır. Elde ettiği sonuçların, VR ortamında oyun geliştirmek isteyen oyun üreticileri tarafından kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Literatürde, yaratılan sanal ortamın başarısının ölçülmesi konusunda kabul görmüş ve paralelinde atıf sayısı yüksek olan anketler incelendiğinde en çok SSQ, PQ, IPQ ve SUS anketleri ile karşılaşılmıştır. Bu araştırmadan yola çıkılarak, yaratılan sanal ortamda bulunma hissinin ve kullanıcı hassaslık durumunun ölçülebilmesi için, aynı zamanda katılımcıların daha sağlıklı ve sıkılmadan cevap verebilmeleri adına gerçekleştirilen tez çalışmasında, 16 soru ve 4 puanlık notlandırma sistemine sahip *Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)* ile 32 soru ve 7 puanlık notlandırma sistemine sahip *Presence Questionnaire (PQ)* anketlerinin kullanılması tercih edilmiştir. Katılımcılara uygulanacak olan SSQ anketinin sorularına ise Van Baren'in [60] gerçekleştirdiği 'ortamda bulunma hissi' ölçümünü yapan yaklaşımlar üzerine yaptığı çalışmasından; PQ anketinin sorularına ise Witmer'in [61] gerçekleştirdiği '*The Factor Structure of the Presence Questionnaire*' isimli çalışmasından erişilmiştir.

Uygulanacak olan anketlerin seçimi tamamlandıktan sonra katılımcıların uygulamayı test etmesi aşamasına geçilmiştir. Olabildiğince farklı demografik özelliklere sahip kişiler tercih edilerek oluşturulan kullanıcı kümesi en düşük 25, en yüksek 44 olmak üzere 29 yaş ortalamasına sahiptir. Kullanıcı sayısı 5 kadın ve 9 erkek olmak üzere toplam 14 kişidir.

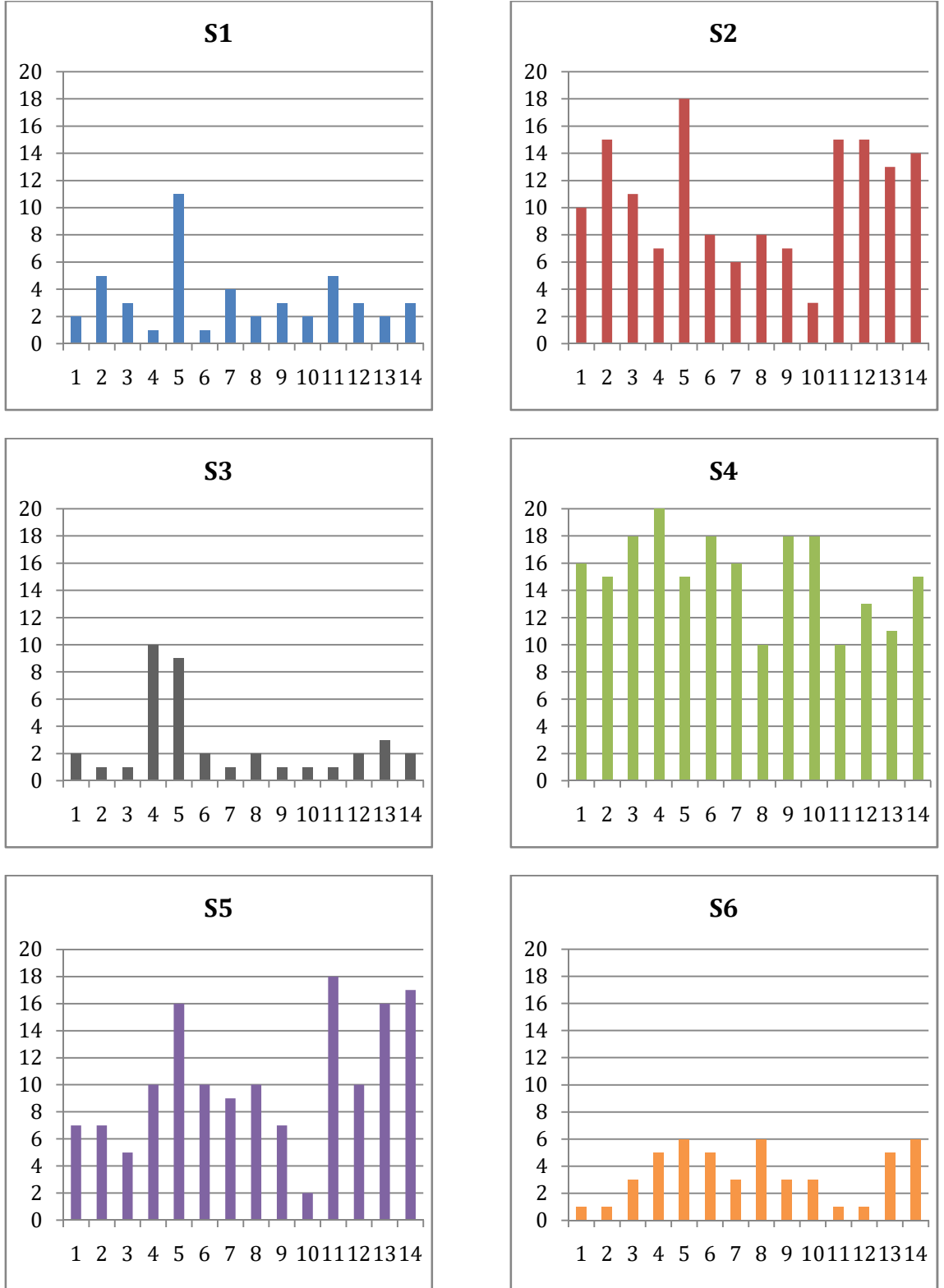
Tüm katılımcılara, sanal ortamı test etme işlemine başlamadan önce, *HTC Vive* sanal gerçeklik gözlüğü çalışma şekli hakkında bilgi verilmiş ve sanal gerçeklik gözlüğünü nasıl kullanacağı anlatılmıştır. Sonrasında ise sanal ortamda bulunan deneysel oyun hakkında bilgi verilmiş, oyunun oynanış biçimi ve sanal ortamda gezinme hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Katılımcıların göz bebekleri arasındaki mesafe '*pupilametre*' cihazı ile ölçülerek not edilmiş ve HTC Vive gözlüğü her katılımcı için bu değere göre (*pupillary distance*) kalibre edilmiştir. Katılımcıların, önceden hazırlanan düzenek üzerinde yere paralel biçimde konumlandırılmaları sağlanmıştır. İstedikleri zaman deney ortamından çıkma, testi bırakma özgürlüğüne sahip oldukları anlatılmış, tüm katılımcılar hazır olana kadar beklenilmiş ve hazır olduklarında test işlemine başlanılmıştır.

Katılımcıların sanal ortamı test etme işlemi tamamlandıktan sonra ilk olarak, deney sırasında maruz kaldıkları iş yükünün ölçülebilmesi için *NASA Task Load Index (NASA TLX)* [63] testi uygulanmıştır. NASA TLX yöntemi, gerçekleştirilen eylemin iş yükünü altı adet faktörü kullanarak ölçmektedir. Bu faktörler:

- Zihinsel Talep: Görevin gerçekleştirilmesi için kişinin ne kadar zihinsel çaba harcadığı
- Fiziksel Talep: Görevin gerçekleştirilmesi için kişinin ne kadar fiziksel çaba harcadığı
- Zamansal Talep: Görev gerçekleştirilirken ne kadar zaman probleminin olduğu, ne kadar acele edilerek çalışıldığı
- Performans: Kişinin verilen görevi yerine getirme konusunda kendisini ne kadar başarılı bulduğu
- Çaba – Efor: Kişinin görevi kendi performans düzeyinde gerçekleştirirken ne kadar çok çaba gösterdiği
- Başarısızlık Hissi: Kişinin görevi gerçekleştirirken ne kadar başarısızlık hissine kapıldığı

Katılımcılar bu 6 faktörü, 1 (en az) ile 20 (en çok) değerleri arasında derecelendirerek kendi tecrübelerine göre cevaplandırmışlardır. Şekil 5.1'de 14 kullanıcı tarafından her bir soru için verilen cevaplar görülmektedir. S1, S2, ... , S6; NASA TLX anketi içerisindeki her bir soruyu ifade etmektedir. Histogramlar içerisinde x-ekseni kullanıcı numaralarını, y-ekseni ise 1 (en az) - 20 (en çok) olacak şekilde kullanıcılar tarafından verilen skorları göstermektedir.





Şekil 5.1. Katılımcıların NASA TLX Anketinde Her Bir Soruya Verdiği Skor Değerleri

S1 numaralı soruda, “Kişinin zihinsel olarak ne kadar zorlandığı” ölçülmüş ve skorlar üzerinden hesaplanan ortalama=3.35, standart sapma=2.43 değerleri ile kullanıcıların zihinsel olarak zorlanmadığı yorumuna ulaşılmıştır.

S2 numaralı soruda, “Kişinin fiziksel olarak ne kadar zorlandığı” ölçülmüş ve skorlar üzerinden hesaplanan ortalama=10.71, standart sapma=4.21 değerleri ile kullanıcıların zihinsel zorlanma durumuna nispeten fiziksel olarak daha çok zorlandığı yorumuna ulaşılmıştır. Bunun sebebi kişilerin yere iki noktadan bağlanarak yere paralel olarak konumlandırılmaları ve bu pozisyonda iken alışık olmadıkları için bir süre sonra yorulmaya başlamaları olarak değerlendirilmiştir. Kafanın yere paralel konumda iken, ayaktaki pozisyonda olduğu gibi vücuda paralel olarak tutulması gerekliliği, bu duruma etki eden faktörlerdendir. Diğer bir faktör, uçma eylemi sırasında kolların ileriye gösterecek şekilde tutulması ile omuz kaslarının yorulması olarak değerlendirilmiştir.

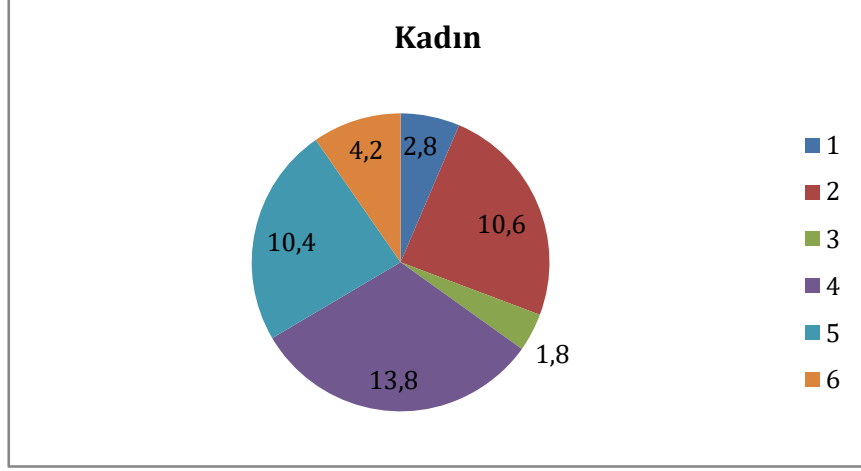
S3 numaralı soruda, “Kişinin zaman yeterliliğine bağlı olarak ne kadar acele ile çalıştığı” ölçülmüş ve skorlar üzerinden hesaplanan ortalama=2.71, standart sapma=2.83 değerleri ile kullanıcıların zaman açısından endişe etmedikleri ve rahat bir biçimde deneyde görev aldıkları yorumuna ulaşılmıştır.

S4 numaralı soruda, “Kişinin görevini yerine getirirken ne kadar başarılı olduğu” sorulmuş ve skorlar üzerinden hesaplanan ortalama=15.21, standart sapma=3.07 değerleri ile kullanıcıların deney ortamında kendilerine verilen görevi başarı ile yerine getirdikleri duygusuna sahip oldukları yorumuna ulaşılmıştır. Bu durum, katılımcıların sanal ortamı sağlıklı ve rahat bir biçimde deneyimleyebildiklerini göstermektedir.

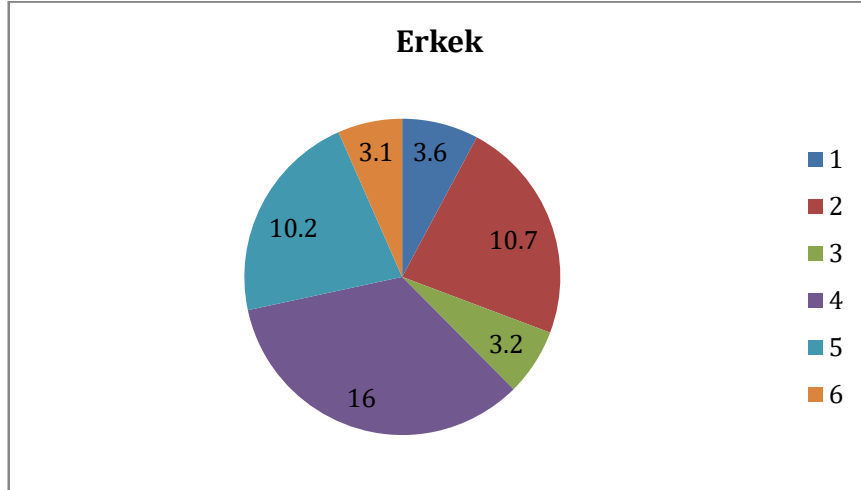
S5 numaralı soruda, “Deneyi gerçekleştirirken kişinin ne kadar zorlandığı, çaba harcadığı” sorulmuş ve skorlar üzerinden hesaplanan ortalama=10.28, standart sapma=4.63 değerleri elde edilmiştir. Daha detaylı bakıldığında, diğer kullanıcılara göre daha fazla zorlandıklarını belirterek bu soruya yüksek skor veren 5, 11, 12, 13 ve 14 numaralı kullanıcıların, fiziksel olarak zorlanma durumlarının ölçüldüğü S2 sorusuna da aynı şekilde yüksek skor verdikleri görülmüştür. Bu durumdan yola çıkılarak, deney ortamında fiziksel olarak zorlanmaları kişilerin daha fazla çaba harcamalarına yol açmıştır yorumuna ulaşılmıştır. S2 ve S5 numaralı sorular arasında korelasyon hesabı yapıldığında, aralarında orta derecede kuvvetli bir korelasyon ( $r = 0.66$ ) olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak fiziksel zorlanma ile harcanan çaba arasında doğrusal yönlü bir ilişki olduğu görülmüştür.

S6 numaralı soruda, “Deneyi gerçekleştirirken kişinin kendisini ne kadar stresli, güvensiz, başarısız hissettiği” sorulmuş ve skorlar üzerinden hesaplanan ortalama=3.50, standart sapma=1.91 değerleri ile deneyi başarılı gerçekleştirebildikleri görülmüştür.

Özellikle fiziksel olarak zorlanma durumundan yola çıkılarak kadın ve erkek katılımcıların anket sorularına verdikleri cevaplar incelenmiştir. Neredeyse her soruya yakın cevap verildiği ve fiziksel olarak zorlanma durumlarının da birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 içerisinde kadın ve erkek katılımcıların sorulara verdikleri cevapların ortalama değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Kadın Katılımcıların NASA TLX Sorularına Verdikleri Cevapların Ortalama Değerleri



Şekil 5.3. Erkek Katılımcıların NASA TLX Sorularına Verdikleri Cevapların Ortalama Değerleri

Kullanıcılara NASA TLX testinden sonra SSQ (*Simulator Sickness Questionnaire*) testi uygulanmıştır. Test içerisinde anlaşılmayan veya netleştirmek istedikleri sorular olması durumunda gerekli açıklamaların yapılacağı belirtilmiştir. Kennedy'nin [55]

çalışmasında belirtmiş olduğu, SSQ testinin alt skorlarının ve genel skorun hesaplanma yöntemi Çizelge 5.1’de belirtilmiştir.

Belirtiler	Belirtiler için Ağırlıklar		
	Mide Bulantısı	Okülomotor	Oryantasyon Bozukluğu
Genel rahatsızlık, huzursuzluk	1	1	
Yorgunluk, bitkinlik, tükenmişlik		1	
Baş Ağrısı		1	
Göz Yorgunluğu		1	
Odaklanma Zorluğu		1	1
Artan Tükürük Salgısı	1		
Terleme	1		
Mide Bulantısı	1		1
Konsantrasyon Zorluğu	1	1	
Kafa Dolgunluğu			1
Bulanık Görme		1	1
Sersemlemiş, Yönünü Şaşırılmış (Gözler Açık)			1
Sersemlemiş, Yönünü Şaşırılmış (Gözler Kapalı)			1
Baş Dönmesi			1
Mide Farkındalığı	1		
Geğirme	1		
Toplam*	{1}	{2}	{3}
Mide Bulantısı	$= \{1\} \times 9.54$		
Okülomotor	$= \{2\} \times 7.58$		
Oryantasyon Bozukluğu	$= \{3\} \times 13.92$		
Toplam Skor	$= ( \{1\} + \{2\} + \{3\} ) \times 3.74$		
* Toplam, belirtilerin puanları eklenerek elde edilen toplamdır. İhmal edilen puanlar sıfırdır.			

Çizelge 5.1. Simülatör Rahatsızlığı Anketi (SSQ) Skor Hesaplama Yöntemi

SSQ testinin hesaplanması işleminde belirtiler mide bulantısı, okülomotor ve oryantasyon bozukluğu olmak üzere 3 alt faktöre ayrılmıştır. Her bir belirtinin etki ettiği faktör Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere bazı belirtiler birden fazla faktör üzerinde etkili olmaktadır ve her bir faktöre etki eden 7 adet belirti bulunmaktadır. İlk olarak her bir faktörün ait olduğu sütundaki değerler toplanır ve {1}, {2}, {3} değerleri elde edilir. Toplama işleminde etkisiz olan, yani sütun içerisinde değeri ‘1’ olmayan belirtiler hesaba katılmamaktadır. Sonrasında bu toplam değerleri, Kennedy’nin [55] belirttiği katsayılar ile çarpılarak, faktör skorları elde edilmektedir:

$$\text{Mide bulantısı} = \{1\} \times 9.54 \quad (1)$$

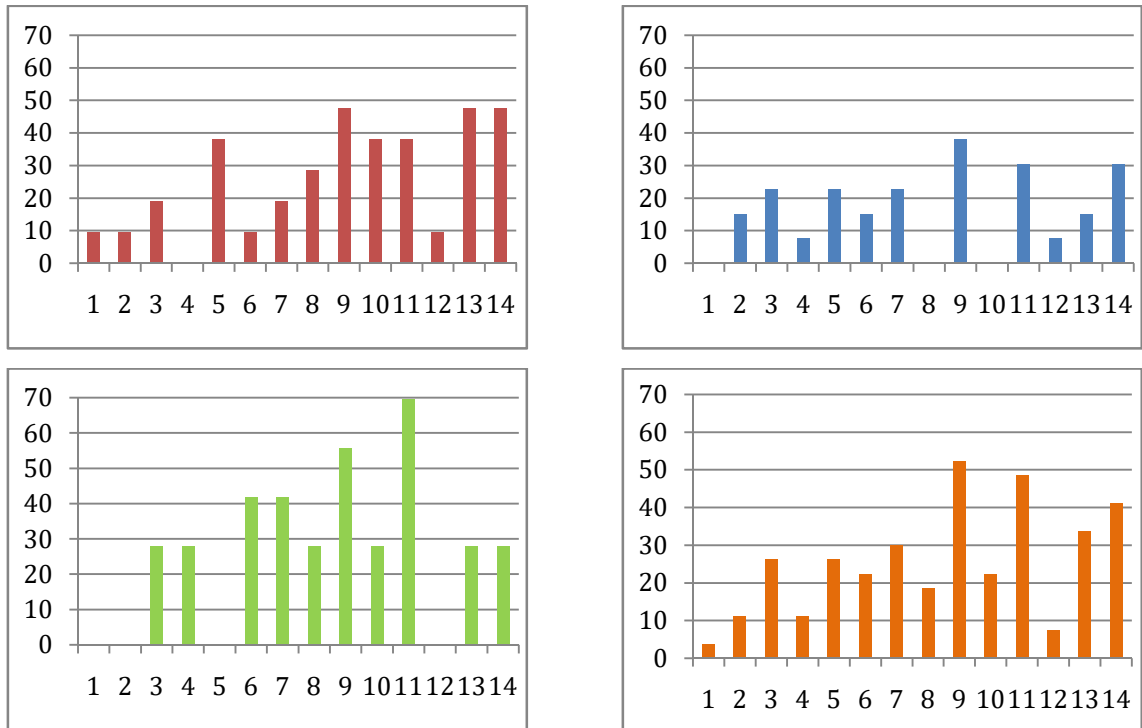
$$\text{Okülomotor} = \{2\} \times 7.58 \quad (2)$$

$$\text{Oryantasyon bozukluğu} = \{3\} \times 13.92 \quad (3)$$

Faktörlere ait skorlar elde edildikten sonra genel skor hesaplaması,

$$\text{Toplam Skor} = ( \{1\} + \{2\} + \{3\} ) \times 3.74 \quad (4)$$

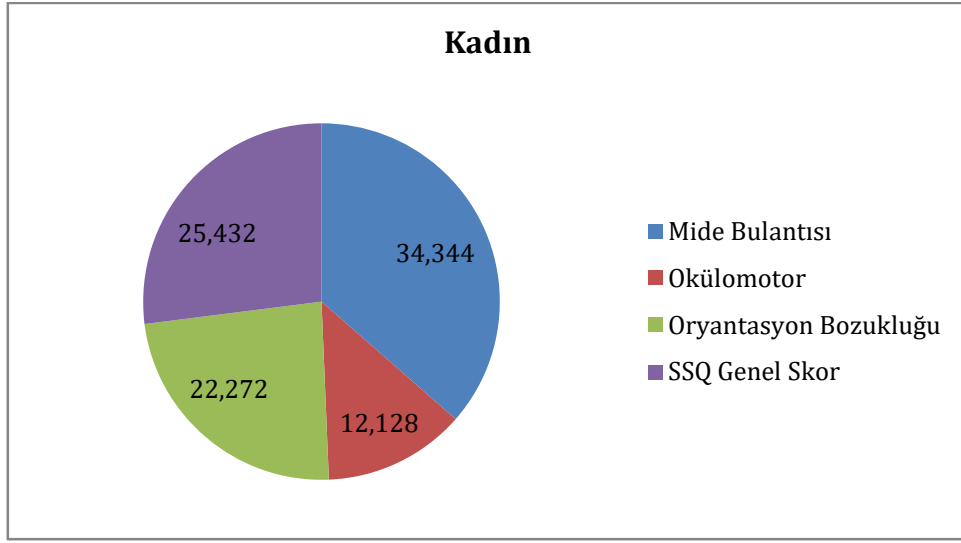
formülü ile elde edilmektedir. Tüm katılımcılar için yukarıdaki formüller kullanılarak alt skor ve genel skor hesaplamaları yapılmış, Şekil 5.4’teki sonuçlar elde edilmiştir. Histogramlarda x-ekseni kullanıcı numaralarını, y-ekseni ise skorları göstermektedir.



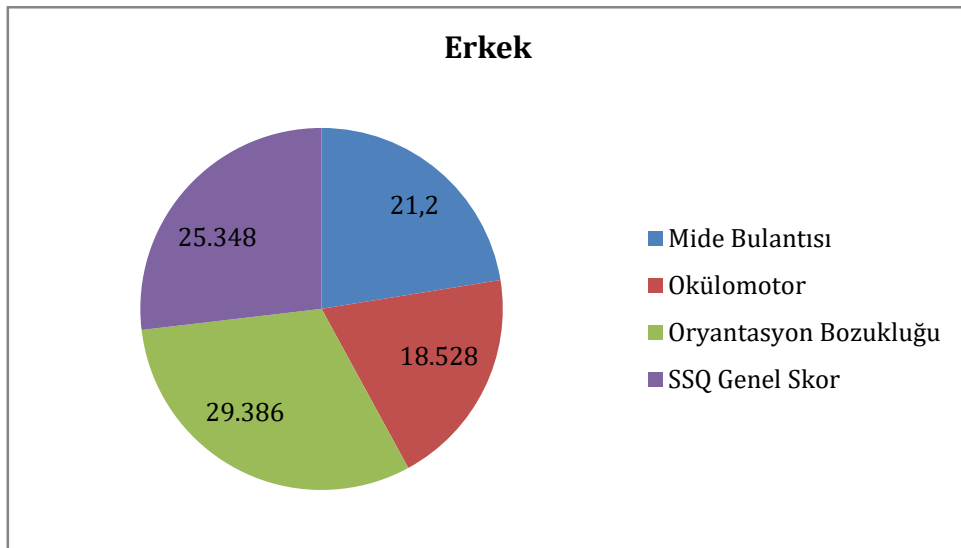
Şekil 5.4. Kullanıcıların SSQ Anketi Sonuçları (Sol Üst: Mide Bulantısı, Sağ Üst: Okülomotor, Sol Alt: Oryantasyon Bozukluğu, Sağ Alt: Genel SSQ Sonucu)

SSQ anketi üzerinde faktörler arasında korelasyon hesabı yapıldığında, mide bulantısı ile okülomotor faktörleri arasında orta derecede kuvvetli bir korelasyon ( $r = 0.50$ ) olduğu, benzer şekilde okülomotor ile oryantasyon bozukluğu arasında orta derecede kuvvetli bir korelasyon ( $r = 0.53$ ) olduğu gözlenmiştir.

Kadın ve erkek katılımcıların SSQ anketine verdikleri cevaplar incelendiğinde, genel skorlarının çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durum Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 içerisinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Kadın Katılımcıların SSQ Genel Skorlarının ve Alt Skorlarının Ortalama Değerleri



Şekil 5.6. Erkek Katılımcıların SSQ Genel Skorlarının ve Alt Skorlarının Ortalama Değerleri

SSQ anketi tamamlandıktan sonra kullanıcılara yükseklik korkusu yaşayıp yaşamadıkları sorulmuş ve yok-hafif-orta-şiddetli olacak şekilde derecelendirmeleri istenmiştir. Sonrasında bu cevaplar, deneye başlanmadan önce doldurulan demografik bilgi formundaki “Yükseklik korkunuz var mı?” sorusuyla kıyaslanmıştır. 14 katılımcıdan 3’ü yükseklik korkusu olduğunu belirtmiş ve bunlar içerisinde 1 kişi deney sırasında hafif derecede yükseklik korkusu yaşadığını belirtmiştir. Yükseklik korkusu olmadığını belirten 11 kişiden 2’si benzer şekilde hafif derecede yükseklik korkusu yaşadığını belirtmiştir.

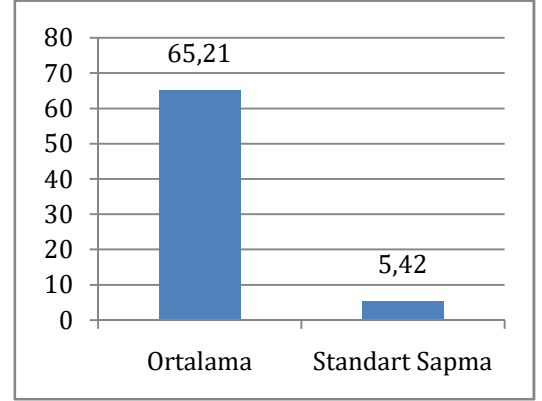
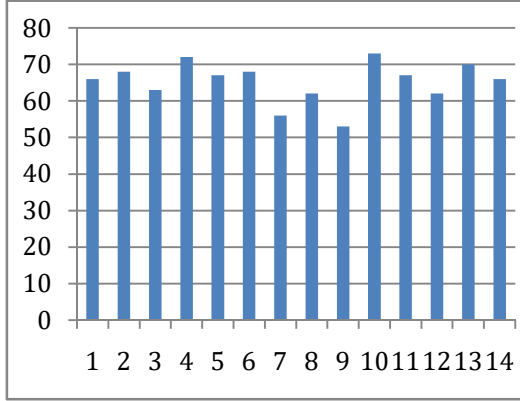
SSQ anketi tamamlandıktan sonra son olarak katılımcılara PQ (*Presence Questionnaire*) anketi uygulanmıştır. Test içerisinde anlaşılmayan veya netleştirmek istedikleri sorular olması durumunda kullanıcılara gerekli açıklamaların yapılacağı belirtilmiştir. Witmer çalışmasında [61], “Ortamda bulunma hissiniz ne kadar kuvvetliydi?” gibi temel bir soru sorularak verilerin toplanabileceğini, fakat az sayıda maddeden oluşan bu ölçüm yaklaşımları ile istatistiksel olarak güvenilir olmayan sonuçlar elde edileceğini belirtmektedir. Bu açıdan PQ anketinin, sadece kullanıcıların öznel varoluş duygularını değil, sanal ortam hakkındaki algılarını ve bu ortamla olan etkileşimlerini rapor etmelerini isteyerek güvenilir sonuçlar elde edileceğini belirtmektedir. Uygulanan anketin ölçek güvenilirliği (*scale reliability*) Cronbach’s Alpha yöntemi ile ölçülmüş ve alfa değeri ‘0.91’ olarak belirtilmiştir [62]. Alfa değeri ‘0.7’ ve üzeri olan anketlerin güvenilirlik derecelerinin kuvvetli olduğu göz önünde bulundurulursa uygulanan testin geçerli ve güvenilir olduğu görülmektedir.

Witmer [61], anket analizi için 4-faktörlü analiz işlemi tercih etmiştir. Bu faktörler dâhil olma (involvement), ortama uyum/tutulma (adaptation/immersion), duyuşal olarak ortama bağlanma (sensory fidelity) ve arayüz kalitesidir (Interface Quality). Çalışmasında faktörler arasında orta derecede güçlü bir korelasyon olduğunu belirtmektedir. Çizelge 5.2’de Witmer’in belirttiği faktörlerin hangi sorular ile elde edildiği gösterilmektedir.

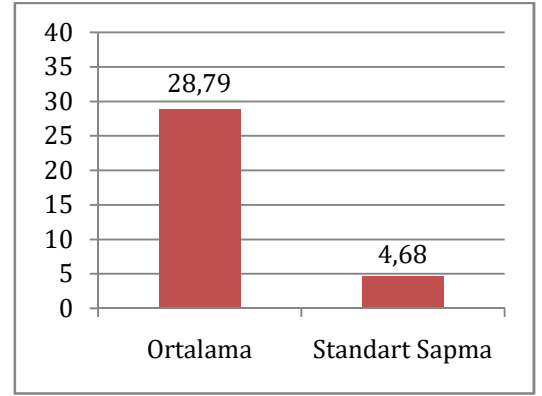
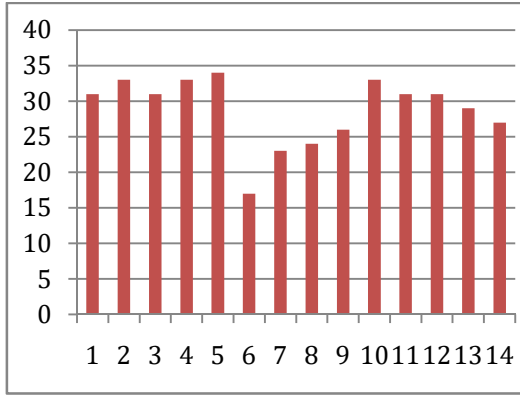
Dâhil olma	1 + 2 + 3 + 4 + 6 + 7 + 8 + 10 + 14 + 17 + 18 + 29
Duyuşal olarak ortama bağlanma	5 + 11 + 12 + 13 + 15 + 16
Ortama uyum/tutulma	9 + 20 + 21 + 24 + 25 + 30 + 31 + 32
Arayüz kalitesi	19 + 22 + 23

Çizelge 5.2. Witmer’in Analiz için Belirttiği 4-faktörün Ait Olduğu Sorular

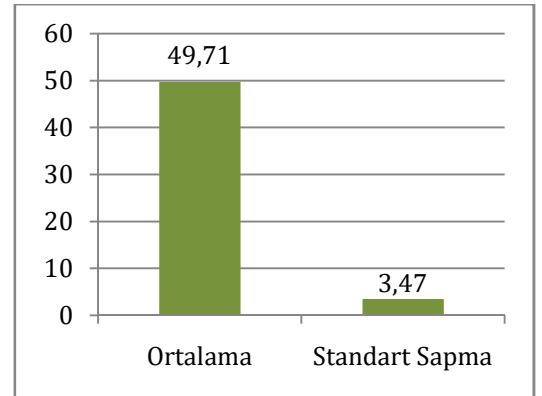
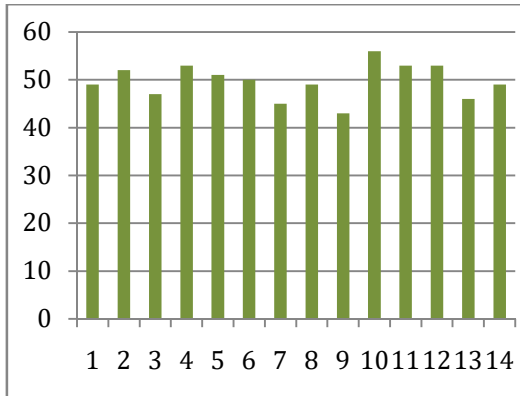
Ankete verilen cevaplar sonucunda 4 faktörün ortalama ve standart sapma değerleri kişiler üzerinde hesaplanarak Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Dâhil Olma (Involvement) Skor Değerleri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (Sağ)

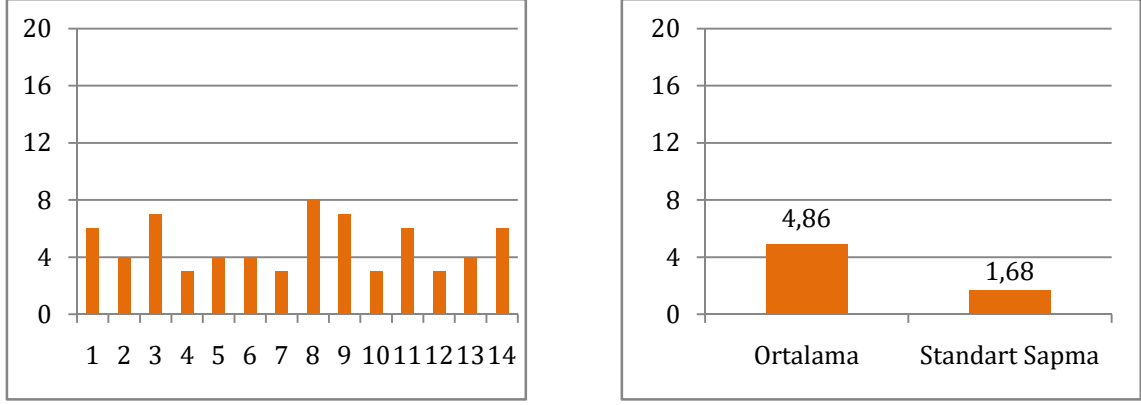


Şekil 5.8. Ortama Uyum/Tutulma (Adaptation/Immersion) Skor Değerleri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (Sağ)



Şekil 5.9. Duyusal Olarak Ortama Bağlanma (Sensory Fidelity) Skor Değerleri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (Sağ)





Şekil 5.10. Arayüz Kalitesi (Interface Quality) Skor Değerleri (Sol) & Skorların Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (Sağ)

Ortalama değeri ve standart sapması hesaplanmış olan bu dört faktör arasındaki ilişkiyi yorumlayabilmek için korelasyon analizi yapılmış ve Çizelge 5.3'teki sonuçlar elde edilmiştir.

	Dâhil olma	Duyusal olarak ortama bağlanma	Ortama uyum/tutulma	Arayüz kalitesi
Dâhil olma	1			
Duyusal olarak ortama bağlanma	0,409768362	1		
Ortama uyum/tutulma	0,723289131	0,484264479	1	
Arayüz kalitesi	-0,402994411	-0,185204107	-0,43437839	1

Çizelge 5.3. Dört Faktör Arasındaki İlişkiyi Belirten Korelasyon Hesabı Sonuçları

Çizelgede incelendiğinde, 'dâhil olma' ve 'duyusal olarak ortama bağlanma' faktörleri arasındaki korelasyon değeri ( $r = 0.409$ ) pozitif olduğu için aralarında doğrusal yönlü bir ilişki olduğu, mutlak değeri  $r \geq 0.4$  olduğu için ise orta derecede güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 'dâhil olma' ve 'arayüz kalitesi' faktörleri arasındaki korelasyon değeri ( $r = -0.402$ ) negatif olduğu için aralarında ters yönlü bir ilişki olduğu, mutlak değeri  $r \geq 0.4$  olduğu için ise orta derecede güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. 'Dâhil olma' ve 'ortama uyum/tutulma' faktörleri arasında ise,

korelasyon değeri ( $r = 0.723$ ) pozitif olduğu için doğrusal yönlü bir ilişki olduğu, korelasyonun mutlak değeri  $r \geq 0.7$  olduğu için ise gcl bir ilişki olduğu görülmektedir. Faktörler arasındaki bu ilişki, Witmer'in çalışmasında [61] belirttiği ilişki derecesi ile tutarlılık göstermektedir.

Deney sonucunda 14 katılımcının her birisine, üzerlerinde oluşan 'sanal ortamda bulunma' ve 'ortamın bir parçası olarak hissetme' duygusunun sağlıklı bir Şekilde ölçülebilmesi için; Demografik Bilgi Formu, NASA İŞ Yükü İndeksi, Simülatör Rahatsızlığı (SSQ), Ortamda Bulunma (PQ) anketi olmak üzere 4 adet anket uygulanmıŐ ve gerekli veriler toplanmıştır. Sonrasında toplanan veriler üzerinde gerekli analiz işlemleri gerçekleŐtirilip yorumlar yapılarak deneysel çalışma tamamlanmıŐtır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her geçen gün popülaritesi artan ve eğitim, sağlık, turizm, mimari gibi birçok farklı alandaki kullanımı giderek yaygınlaşan sanal gerçeklik teknolojisi sayesinde kişi, yaratılan sanal ortamda bulunma hissini yaşamakta ve kendisini bulunduğu ortamın bir parçası olarak hissetmektedir. Bu özelliği sayesinde gerçekçi olarak üretilen sanal ortamlar, belirtilen bu farklı alanlarda giderek daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Sanal gerçeklik ortamlarında mutlaka bulunması gereken ve geliştirilmiş olan ortamın başarı düzeyini belirleyen en önemli etmen, yaratılan ortamın gerçekçiliği ve kişinin keşfederek kendisini bu ortamda hissetme duygusunun yüksek olmasıdır.

Tez çalışması kapsamında bu kriterler göz önünde bulundurularak geliştirilen ve HTC Vive sanal gerçeklik gözlüğü üzerinde çalıştırılan sanal ortam içerisinde arazi üretimi ve hacimsel bulut üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen sanal ortamların en önemli başarı kriteri olan gerçekçilik faktörü ve kişinin kendisini sanal ortamın bir parçası olarak hissetmesi duygusu için, arazi üretimi işleminde doğal görünümlü içerik üretiminde kullanılan Ken Perlin tarafından geliştirilen Perlin Noise algoritması kullanılmıştır. Yordamsal olarak üretilen arazi sayesinde, sanal ortamın kısa sürede içerisinde parametrelere bağlı olarak gerçekçi biçimde düşük maliyet ile üretilebilmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda gerçekçi dış ortamlar için olmazsa olmaz olan bulut tabakasının, yeryüzünden uzakta erişilemeyecek seviyede 2B olarak üretilmesi yerine, kullanıcı ile etkileşimli, içerisinden geçilebilen, hacimsel olarak üretilecek bir bulut tabakası tercih edilmiştir. Kullanıcının yaratılan bu ortamı daha eğlenceli bir şekilde deneyimleyebilmesi için, 25 adet çemberin bulunduğu ve uçarak içerisinden geçilebilen mini bir oyun tasarlanmıştır.

Gerçekçiliğin daha da artırılabilmesi ve uçuş hissini daha yoğun şekilde hissedilebilmesi için, kullanıcının havada yere paralel olarak konumlanmasını sağlamak amacıyla asma aparatları; uçuş eylemini gerçekleştirirken karşı rüzgârı hissedebilmesi için ise vantilatör kullanılmıştır. Bu ek donanımlar sayesinde ortamda bulunma hissini başarısının artırılması beklenmiştir. Oluşturulan deneysel ortamın katılımcı üzerinde oluşturduğu iş yükü seviyesinin ölçülebilmesi için NASA TLX anketi uygulanmıştır.

Sanal ortamlarda kullanıcı deneyimlerini ölçen, literatürde kabul görmüş anketler araştırılmış ve bunlar arasından seçilen SSQ ve PQ anketleri kullanıcılara test işlemleri

sonucunda tek tek uygulanmıştır. Kullanıcılarda oluşabilecek göz yorgunluğu, terleme, baş ağrısı gibi fiziksel durumları ölçmek için SSQ anketi; üretilen sanal ortamın kullanıcılar üzerinde bıraktığı ‘ortamda bulunma’ hissini ölçülebilmesi için ise PQ anketi uygulanmıştır.

Farklı demografik özelliklere sahip katılımcıların anketleri doldurma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen veriler üzerinde istatistiksel analizler yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. NASA TLX anket sonuçlarının analizi ile katılımcıların deneyi baskı altında olmadan, rahat biçimde, başarılı olarak gerçekleştirdikleri görülmüştür. SSQ anket sonuçlarının analizi ile katılımcılar üzerinde yaratılan ortamdaki kaynaklı yüksek seviyede bir baş dönmesi, mide bulantısı, göz yorgunluğu gibi olumsuz fiziksel bulgulara rastlanılmadığı görülmüştür. PQ anket sonuçlarının analizi ile de üretilen sanal ortamın kişiler üzerinde ‘ortamda bulunma’ hissini yaşattığı görülmüş ve kişilerin kendilerini başka bir ortamda hissettikleri gözlenmiştir. Bu bulgulardan yola çıkılarak üretilen ortamın başarılı olduğu yorumuna ulaşılmıştır.

Tez çalışması baz alınarak geliştirilecek olan sonraki çalışmalar için, çok yönlü harekete olanak sağlayan ve tez çalışmasında olduğu gibi kullanıcının yatay konumda havada konumlanmasını sağlayacak daha gelişmiş bir platform ile gerçekçilik üst seviyeye çıkarılmış olacaktır. Sanal ortamdaki kullanıcının hız bilgisine ve yönüne göre şiddeti ayarlanacak bir vantilatör ile rüzgâr hissini gerçekçiliği artıracaktır. Ayrıca yaratılacak olan farklı türde bulut türleri sayesinde daha gerçekçi bir dış ortam elde edilip, bulutların gölgeleri yeryüzeyine yansıtılarak gerçekçilik artırılmış olacaktır. Üretilen yağmur bulutlarının içerisinden sanal ortamda geçilirken, dış ortamdaki kullanıcıya hissettirecek olan su damlalarıyla ortamda bulunma hissi daha da artırılabilir. Ortamda bulunan ışık kaynağının, kullanıcının belirlediği saate göre konumlanması ve günün farklı saatlerine göre bulut ve arazinin farklı açılar ile aydınlatılması gerçekçiliğe olumlu yönde etki edecektir. Gerçekleştirilen yordamsal arazi üretiminde, parametrelerin gerçek zamanlı olarak kullanıcılara seçtirilmesi ve sonuçların canlı olarak hemen görülebilmesi, yordamsal üretimin daha efektif kullanılabilmesini sağlayacaktır. Üretilen arazi üzerine doğal görünümlü olacak şekilde sözde-rastgele dağılımla yerleştirilecek ağaç ve bitki örtüleri ile araziye eklenecek olan mağara, sarkıt ve çukur şekilleri, daha gerçekçi bir ortam üretilebilmesine olanak sağlayacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular ve öneriler, gelecekte yapılacak olan benzer çalışmalara ışık tutucu ve yol gösterici nitelikte olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Mujber, Tariq S., Tamas Szecsi, and Mohammed SJ Hashmi. "Virtual reality applications in manufacturing process simulation." *Journal of materials processing technology* 155 (2004): 1834-1838.
- [2] Brooks, Frederick P. "What's real about virtual reality?." *IEEE Computer graphics and applications* 19.6 (1999): 16-27.
- [3] Psotka, Joseph. "Immersive training systems: Virtual reality and education and training." *Instructional science* 23.5-6 (1995): 405-431.
- [4] Freina, Laura, and Michela Ott. "A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives." *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*. Vol. 1. " Carol I" National Defence University, 2015.
- [5] Hedberg, John, and Shirley Alexander. "Virtual reality in education: Defining researchable issues." *Educational Media International* 31.4 (1994): 214-220.
- [6] Satava, Richard M. "Virtual reality surgical simulator." *Surgical endoscopy* 7.3 (1993): 203-205.
- [7] Ahlberg, G., et al. "Does training in a virtual reality simulator improve surgical performance?." *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques* 16.1 (2002): 126-129.
- [8] Colt, Henri G., Stephen W. Crawford, and Oliver Galbraith III. "Virtual reality bronchoscopy simulation: a revolution in procedural training." *Chest* 120.4 (2001): 1333-1339.
- [9] Sampaio, Alcnia Zita, Pedro Gameiro Henriques, and Octvio Peres Martins. "Virtual reality technology used in civil engineering education." *The open virtual reality journal* 2.1 (2010).
- [10] Guttentag, Daniel A. "Virtual reality: Applications and implications for tourism." *Tourism Management* 31.5 (2010): 637-651.
- [11] Bates, Joseph. "Virtual reality, art, and entertainment." *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 1.1 (1992): 133-138.
- [12] Yavrucuk, Ilkay, Eser Kubali, and Onur Tarimci. "A low cost flight simulator using virtual reality tools." *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 26.4 (2011): 10-14.

- [13] Rothbaum, Barbara Olasov, et al. "Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying: A case report." *Behaviour Research and Therapy* 34.5-6 (1996): 477-481.
- [14] Hodges, Larry F., et al. "A virtual airplane for fear of flying therapy." *Proceedings of the IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium*. IEEE, 1996.
- [15] Rothbaum, Barbara Olasov, et al. "Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying: A case report." *Behaviour Research and Therapy* 34.5-6 (1996): 477-481.
- [16] Roden, Timothy, and Ian Parberry. "Clouds and stars: efficient real-time procedural sky rendering using 3D hardware." *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*. ACM, 2005.
- [17] Perlin, Ken. "An image synthesizer." *ACM Siggraph Computer Graphics* 19.3 (1985): 287-296.
- [18] Pallister, Kim, and Mark Deloura. "Generating procedural clouds using 3D hardware." *Game Programming Gems 2* (2001): 463-473.
- [19] Dube, J. "Realistic cloud rendering on modern gpus." *Game Programming Gems 5* (2005): 499-505.
- [20] Harris, Mark J., and Anselmo Lastra. "Real-time cloud rendering." *Computer Graphics Forum*. Vol. 20. No. 3. Oxford, UK and Boston, USA: Blackwell Publishers Ltd, 2001.
- [21] Gardner, Geoffrey Y. "Visual simulation of clouds." *ACM Siggraph Computer Graphics*. Vol. 19. No. 3. ACM, 1985.
- [22] Elinas, Pantelis, and Wolfgang Stürzlinger. "Real-time rendering of 3d clouds." *Journal of Graphics Tools* 5.4 (2000): 33-45.
- [23] Unbescheiden, Matthias, and Andrzej Trembilski. "Cloud simulation in virtual environments." *Proceedings. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium (Cat. No. 98CB36180)*. IEEE, 1998.
- [24] Reeves, William T. "Particle systems—a technique for modeling a class of fuzzy objects." *ACM Transactions On Graphics (TOG)* 2.2 (1983): 91-108.
- [25] Wang, Niniane. "Realistic and fast cloud rendering." *Journal of graphics tools* 9.3 (2004): 21-40.

- [26] Hnaidi, Houssam, et al. "Feature based terrain generation using diffusion equation." *Computer Graphics Forum*. Vol. 29. No. 7. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, **2010**.
- [27] Parberry, Ian. "Designer worlds: Procedural generation of infinite terrain from real-world elevation data." *Journal of Computer Graphics Techniques* 3.1 (**2014**).
- [28] Smelik, Ruben M., et al. "A survey of procedural methods for terrain modelling." *Proceedings of the CASA Workshop on 3D Advanced Media In Gaming And Simulation (3AMIGAS)*. **2009**.
- [29] Frank, Elias, and Niclas Olsson. "Procedural city generation using Perlin noise." (**2017**).
- [30] Doran, Jonathon, and Ian Parberry. "Controlled procedural terrain generation using software agents." *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* 2.2 (**2010**): 111-119.
- [31] Wells, William D. "Generating enhanced natural environments and terrain for interactive combat simulations (genetics)." *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*. ACM, **2005**.
- [32] Bevilacqua, Fernando, Cesar Tadeu Pozzer, and Marcos Cordeiro d'Ornellas. "Charack: Tool for real-time generation of pseudo-infinite virtual worlds for 3d games." *2009 VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*. IEEE, **2009**.
- [33] Archer, Travis. "Procedurally generating terrain." *44th annual midwest instruction and computing symposium, Duluth*. **2011**.
- [34] Kelly, George, and Hugh McCabe. "A survey of procedural techniques for city generation." *The ITB Journal* 7.2 (**2006**): 5.
- [35] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Sanal\\_ger%C3%A7eklik](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sanal_ger%C3%A7eklik) (Nisan **2019**)
- [36] <https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>(Nisan **2019**)
- [37] <http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html> (Nisan **2019**)
- [38] [https://en.wikipedia.org/wiki/Morton\\_Heilig](https://en.wikipedia.org/wiki/Morton_Heilig) (Nisan **2019**)
- [39] [https://en.wikipedia.org/wiki/HTC\\_Vive](https://en.wikipedia.org/wiki/HTC_Vive) (Nisan **2019**)
- [40] <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>(Nisan **2019**)
- [41] [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity\\_\(game\\_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine)) (Nisan **2019**)
- [42] [https://github.com/ValveSoftware/steamvr\\_unity\\_plugin](https://github.com/ValveSoftware/steamvr_unity_plugin) (Nisan **2019**)
- [43] [https://en.wikipedia.org/wiki/Perlin\\_noise](https://en.wikipedia.org/wiki/Perlin_noise)(Mayıs **2019**)
- [44] <https://flafla2.github.io/2014/08/09/perlinnoise.html> (Mayıs **2019**)

- [45] <https://docs.unity3d.com/Manual/SL-SurfaceShaders.html> (Haziran **2019**)
- [46] <https://docs.unity3d.com/Manual/ShadersOverview.html> (Haziran **2019**)
- [47] <https://docs.unity3d.com/Manual/SL-Blend.html> (Temmuz **2019**)
- [48] <https://docs.unity3d.com/Manual/SL-CullAndDepth.html> (Temmuz **2019**)
- [49] <https://docs.unity3d.com/Manual/SL-SetTexture.html> (Temmuz **2019**)
- [50] <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Mathf.PerlinNoise.html> (Temmuz **2019**)
- [51] Haas, Nico. Evaluation of “In-VR-Questionnaires. BS thesis. **2017**.
- [52] Slater, Mel, Martin Usoh, and Anthony Steed. "Depth of presence in virtual environments." *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 3.2 (1994): 130-144.
- [53] Witmer, Bob G., and Michael J. Singer. "Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire." *Presence* 7.3 (1998): 225-240.
- [54] Ibáñez, Manuel López, Federico Peinado, and O. Palmieri. "Walking in vr: measuring presence and simulator sickness in first-person virtual reality games." *Proceedings of the Third Congress of the Spanish Society for Video Games Sciences*. **2016**.
- [55] Kennedy, Robert S., et al. "Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness." *The international journal of aviation psychology* 3.3 (1993): 203-220.
- [56] Brunnström, Kjell, et al. "Quality of Experience for a Virtual Reality simulator." *Electronic Imaging* 2018.14 (2018): 1-9.
- [57] Stone III, William Bruce. Psychometric evaluation of the Simulator Sickness Questionnaire as a measure of cybersickness. Diss. Iowa State University, **2017**.
- [58] Kaufmann, Bonifaz, et al. "May cause dizziness: applying the simulator sickness questionnaire to handheld projector interaction." *proceedings of the 26th annual BCS interaction specialist group conference on people and computers*. British Computer Society, **2012**.
- [59] Norman, Kent L. "Evaluation of Virtual Reality Games: Simulator Sickness and Human Factors." *GHIItaly@ AVI*. **2018**.
- [60] Van Baren, Joy. "Measuring presence: A guide to current measurement approaches." *Deliverable of the OmniPres project IST-2001-39237* (2004).
- [61] Witmer, Bob G., Christian J. Jerome, and Michael J. Singer. "The factor structure of the presence questionnaire." *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 14.3 (2005): 298-312.



- [62] Bland, J. Martin, and Douglas G. Altman. "Statistics notes: Cronbach's alpha." *Bmj* 314.7080 (1997): 572.
- [63] Hart, Sandra G., and Lowell E. Staveland. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research." *Advances in psychology*. Vol. 52. North-Holland, 1988. 139-183.

## EK - 1: KATILIMCI DEMOGRAFİK BİLGİ FORMU

Katılımcı Numarası: \_\_\_\_\_

Tarih: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_



İsim:	
Soyisim:	
Yaş:	
Cinsiyet:	Erkek ( ) Kadın ( )
Göz Bebekleri Arası Uzaklık:	_____ mm
Eğitim Durumu:	Lise( ) Lisans( ) Yüksek Lisans( ) Doktora( )
Mezun - Devam Edilen Okul:	
Meslek:	
Gözlük Kullanımı:	Var ( ) Yok ( )
Sanal Gerçeklik Teknolojisi Hakkında Genel Bilgi:	Var ( ) Yok ( )
Sanal Gerçeklik Tecrübesi:	Var ( ) Yok ( )
Yükseklik Korkusu	Var ( ) Yok ( )
İmza:	

6698 sayılı “Kişisel Verilerin Korunması Kanunu” gereğince, tez çalışması kapsamında toplanan tüm bilgilerin gizli tutulacağını ve üçüncü kişilerle hiçbir şekilde paylaşılmayacağını taahhüt ederim.

Yılmaz ÖZUZUN

Tarih - İmza

## EK - 2: NASA İŞ YÜKÜ İNDEKSİ

### (NASA Task Load Index – NASA TLX)

Katılımcı Numarası: \_\_\_\_\_

Tarih: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

İmza:

Aşağıdaki soruları “1 (en az) ve 20 (en çok)” arasında derecelendirecek şekilde size en uygun olanı belirtiniz.

Faktör	Seviye (1-20)
<b>Zihinsel Talep:</b> Verilen görevi tamamlamak için zihinsel olarak ne kadar zorlandınız (düşünürken, karar verirken, hesaplarken, hatırlarken)?	
<b>Fiziksel Talep:</b> Verilen görevi tamamlamak için fiziksel olarak ne kadar zorlandınız (iiterken, çekerken, döndürürken, kontrol ederken)?	
<b>Zamansal Talep:</b> Verilen görevi tamamlamak için verilen zaman az mıydı, yeterli miydi? Görevi tamamlamak için acele ile mi çalıştınız?	
<b>Performans:</b> Verilen görevi yerine getirip getirmediğiniz konusunda kendinizi ne kadar başarılı buluyorsunuz?	
<b>Çaba - Efor:</b> Verilen görevi kendi performans düzeyinizde gerçekleştirirken ne kadar çaba gösterdiniz? Ne kadar çok çalışmak zorunda kaldınız?	
<b>Başarısızlık Hissi:</b> Verilen görevi gerçekleştirirken ne kadar umutsuzluğa kapıldınız? Ne kadar güvensiz, rahatsız, stresli, sinirli hissettiniz?	

## EK - 3: SİMÜLATÖR RAHATSIZLIĞI ANKETİ

### (Simulator Sickness Questionnaire - SSQ)

Katılımcı Numarası: \_\_\_\_\_

Tarih: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

İmza:

Aşağıdaki durumların tecrübeniz sırasında üzerinizde oluşma derecesini belirtiniz.

	Yok	Hafif	Orta	Şiddetli
1. Genel rahatsızlık, huzursuzluk				
2. Yorgunluk, bitkinlik, tükenmişlik				
3. Baş Ağrısı				
4. Göz Yorgunluğu				
5. Odaklanma Zorluğu				
6. Artan Tükürük Salgısı				
7. Terleme				
8. Mide Bulantısı				
9. Konsantrasyon Zorluğu				
10. Kafa Dolgunluğu				
11. Bulanık Görme				
12. Sersemlemiş, Yönünü Şaşırılmış (Gözler Açık)				
13. Sersemleme, Yönünü Şaşırılmış (Gözler Kapalı)				
14. Baş Dönmesi				
15. Mide Farkındalığı				
16. Geçirme				

*Yükseklik korkusu yaşadınız mı?	Yok ( )	Hafif ( )	Orta ( )	Şiddetli ( )
----------------------------------	---------	-----------	----------	--------------

\*SSQ anketindeki 16 soruya ek olarak fazladan eklenmiş olan sorudur.

## EK - 4: ORTAMDA BULUNMA ANKETİ

### (Presence Questionnaire - PQ)

Katılımcı Numarası: \_\_\_\_\_

Tarih: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

İmza:

Tecrübeniz sırasındaki duygularınızı hatırlayarak, aşağıdaki soruları 1 (en az)-7 (en çok) olacak şekilde değerlendiriniz.

Sorular	1	2	3	4	5	6	7
1. Olayları (durumları) ne kadar kontrol edebildiniz?							
2. Çevre, başlattığınız (veya gerçekleştirdiğiniz) eylemlere ne kadar duyarlıydı?							
3. Çevre ile etkileşimleriniz ne kadar doğal görünüyordu?							
4. Çevrenin görsel yönleri sizi ne kadar içerisine çekti?							
5. Çevrenin işitsel yönleri sizi ne kadar içerisine çekti?							
6. Çevre içerisinde hareketi kontrol eden-sağlayan mekanizma ne kadar doğaldı?							
7. Hareket eden objeler ne kadar ikna ediciydi?							
8. Sanal ortamdaki deneyimleriniz, gerçek dünyadaki deneyimlerinizle ne kadar tutarlı görünüyordu?							
9. Gerçekleştirdiğiniz eylemlere cevap olarak daha sonra ne olacağını tahmin edebildiniz mi?							
10. Görüş yeteneğinizi kullanarak çevreyi ne kadar aktif olarak araştırmayı veya aramayı başardınız?							
11. Sesleri ne kadar iyi tanımlayabildiniz?							
12. Seslerin yerini ne kadar iyi belirleyebildiniz?							
13. Dokunarak sanal ortamı ne kadar aktif şekilde inceleyebildiniz veya arayabildiniz? ( <i>Sanal ortamda dokunma duygusu olmadığı için cevaplanmayacaktır</i> )							
14. Sanal ortamda dolaşmak ne kadar ikna ediciydi?							
15. Nesnelere ne kadar yakından inceleyebildiniz?							

16. Nesneleri çoklu bakış açılarıyla ne kadar iyi inceleyebildiniz?							
17. Sanal ortamda nesneleri ne kadar iyi taşıyabildiniz veya hareket ettirebildiniz? ( <i>Çalışma kapsamında değerlendirilemediği için cevaplanmayacaktır</i> )							
18. Sanal ortam deneyimi sizi ne kadar içerisine çekti?							
19. Eylemlerinizi ve beklenen sonuçlar arasında ne kadar gecikme yaşadınız?							
20. Sanal ortam deneyimine ne kadar çabuk uyum sağladınız?							
21. Sanal ortamla birlikte hareket etme ve etkileşimde bulunma konusunda ne kadar yetkin oldunuz?							
22. Görsel ekran kalitesi sizi, atanan görevleri veya gerekli etkinlikleri yerine getirme açısından ne kadar etkiledi veya rahatsız etti?							
23. Kontrol cihazları, görevlerin yerine getirilmesine veya diğer faaliyetlere ne kadar olumsuz yönde etki etti?							
24. Bu görevleri veya etkinlikleri gerçekleştirmek için kullanılan mekanizmalardan ziyade, verilen görevlere veya gerekli faaliyetlere ne kadar konsantre olabildiniz?							
25. Duyularınız (hisleriniz, algınız) bu deneye ne kadar dâhil oldu?							
26. Sanal ortam dışında meydana gelen olaylar, sanal ortam deneyiminiz sırasındaki dikkatinizi ne ölçüde dağıttı?							
27. Genel olarak, sanal deneyim ve deneysel görevler yerine, ekran ve kontrol aygıtlarını kullanmaya ne kadar odaklandınız?							
28. Zamanın akışını unutturacak düzeyde deneysel bir görevde bulundunuz mu?							
29. Nesneleri fiziksel bir etkileşim yoluyla tanımlamak (bir nesneye dokunmak, bir yüzey üzerinde yürümek veya bir duvara-nesneye çarpmak) kolay mıydı?							
30. Sanal ortam deneyiminiz sırasında, verilen göreve veya çevreye tamamen odaklandığınızı hissettiğiniz anlar oldu mu?							
31. Sanal ortamla etkileşimde kullanılan kontrol cihazlarına ne kadar kolay uyum sağladınız?							
32. Sanal ortamda (örneğin, görme, işitme, hissetme) farklı duyularla sağlanan bilgiler tutarlı mıydı?							



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ  
BİLGİSAYAR GRAFİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: ..... /09/2019

Tez Başlığı / Konusu: **HACİMSEL BULUT VE YORDAMSAL ARAZİ GERÇEKLEŞTİRİMİ İLE GERÇEKÇİ 3B SANAL ORTAM ÜRETİMİ**

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam **76** sayfalık kısmına ilişkin, **19/09/2019** tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından **Turnitin** adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **% 6** 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: \_\_\_\_\_

Öğrenci No: \_\_\_\_\_

Anabilim Dalı: \_\_\_\_\_

Programı: \_\_\_\_\_

Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

**DANIŞMANONAYI**

UYGUNDUR.

\_\_\_\_\_  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)