



**DİSİPLİNLERARASI UYGULAMA YÖNTEMİ OLARAK
İŞİN İZLEME TEKNOLOJİSİNİN DİJİTAL SANATA ETKİLERİ**

Sanatta Yeterlik Tezi

HASAN DİLİM

Eskişehir 2025

**DİSİPLİNLERARASI UYGULAMA YÖNTEMİ OLARAK
IŞIN İZLEME TEKNOLOJİSİNİN DİJİTAL SANATA ETKİLERİ**

Hasan DİLİM

SANATTA -YETERLİK TEZİ

Resim Ana Sanat Dalı

Danışman: Prof. Güldane ARAZ AY

**Anadolu Üniversitesi
Güzel Sanatlar Enstitüsü**

2025

Eskişehir

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hasan Dilim'in "Disiplinlerarası Uygulama Yöntemi Olarak Işın İzleme Teknolojisinin Dijital Sanata Etkileri" başlıklı tezi 26/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, Güzel Sanatlar Ana Sanat dalında Resim Programında Sanatta Yeterlik tezi olarak kabul edilmiştir.

Ünvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Danışman):

.....

Üye (Danışman):

.....

Üye (Danışman):

.....

Üye (Danışman):

.....

Üye (Danışman):

.....

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

FINAL APPROVAL FOR THESIS

This thesis titled “The Impact Of Ray Tracing Technology On Digital Art As An Interdisciplinary Practice” prepared and submitted by Hasan DİLİM in partial fulfillment of the requirements in “Code of Graduate School of Anadolu University ” for the Degree of Proficiency in Arts in the Department of Painting has been examined and approved on 26/06/2025

Title, Name Surname

Signature

Member (Supervisor)

.....

Member

.....

Member

.....

Member

.....

Member

.....

.....

Dean of Graduate School

ÖZET

DİSİPLİNLERARASI UYGULAMA YÖNTEMİ OLARAK IŞIN İZLEME TEKNOLOJİSİNİN DİJİTAL SANATA ETKİLERİ

Hasan DİLİM

Resim Ana Sanat Dalı

Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temmuz 2025

Danışman: Prof. Dr. Güldane ARAZ AY

Otonom sistemler, yapay zekâ, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) gibi uygulamalar ve dijital sanatı basit bir görsel araç olmaktan çıkarıp, insan algısını dönüştürerek bireylerin kendi zihinsel evrenlerini yaratmasına olanak tanıyan ve internetle küreselleşen bir alana dönüştürmüştür. Üç boyutlu algıladığımız evrenin, otonom sistemler aracılığıyla kullanıcının zihninde kendi dünyasını oluşturabilmesi, bu dönüşümün en çarpıcı yönlerinden biridir.

Bu tez çalışması, ışın izleme teknolojisinin matematiksel kesinlik ve fiziksel gerçekçilikle donatılmış bir araç olarak, sanatçıya sunduğu yeni ifade biçimlerini merkezine almaktadır. Tez, disiplinlerarası bir yaklaşımla sanat ve bilimin bir araya gelerek "gerçeklik" kavramını, güncel sanatın verileri ışığında yeniden tanımlamayı amaçlamaktadır. Araştırma, inceleme ve uygulama çalışmalarından elde edilen veriler, ışın izleme teknolojisinin gelecekteki sanatsal yaratımlara ilham veren heyecan verici bir dönemi işaret ettiğini göstermektedir. Yenilikçi sanat yaklaşımları, dış dünya ile zihinsel olguları dijitalde simüle ederek sanat ve bilimi birleştiren önemli bir gelişmedir. Bu yaklaşımı temel alan tez ise, özellikle ışın izleme teknolojisinde, görünen (gerçek) ile benzetilen (yapay) arasındaki ilişkinin sorgulanmasının ve bu iki evrenin karşılaştırılmasının bir ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Tezde yürütülen betimsel analiz ve literatür taraması, dijital benzetimin bilinen sınırlarına karşın, dijital ortamda simülasyon yaratmanın yeni olgular oluşturma potansiyeli taşıdığı ve önemli faydalar sağladığı bulgusunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, sanat ve bilim ortaklığına dayanan mevcut olguların incelenmesi, araştırmanın sonuçlarını destekleyen yeni fikirlerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Dijital Sanat, Yazılım, Işın İzleme, Otomasyon

ABSTRACT
THE IMPACT OF RAY TRACING TECHNOLOGY ON DIGITAL ART
AS AN INTERDISCIPLINARY PRACTICE

Hasan DİLİM

Department of Fine Arts

Graduate School of Anadolu University, July 2025

Supervisor: Prof. Dr. Güldane ARAZ AY

Applications such as autonomous systems, artificial intelligence (AI), virtual reality (VR), and augmented reality (AR) have transformed digital art from a mere visual tool into a globalized field that reshapes human perception and enables individuals to create their own mental universes. One of the most striking aspects of this transformation is the capacity for users, through autonomous systems, to construct their own worlds in their minds, grounded in our three-dimensionally perceived universe.

This thesis centers on the new forms of expression that ray tracing technology, as a tool endowed with mathematical precision and physical realism, offers to artists. Through an interdisciplinary approach, the thesis aims to redefine the concept of "reality" by converging art and science in light of data from contemporary art. Data obtained from research, analysis, and practical applications indicate that ray tracing technology signifies an exciting era that will inspire future artistic creations. Innovative artistic approaches represent a significant development, unifying art and science by digitally simulating both the external world and mental phenomena. The thesis, based on this approach, posits that there is a need to question the relationship between the visible (real) and the simulated (artificial), particularly within ray tracing technology, and to compare these two universes. The descriptive analysis and literature review conducted in this thesis have revealed that, despite the known limitations of digital simulation, the creation of simulations in a digital environment offers significant benefits and holds the potential to generate new phenomena. In this context, the examination of existing phenomena based on the partnership between art and science has laid the groundwork for developing new ideas that support the research findings.

Keywords: Digital Art, Software, Ray Tracing, Automation

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının içeriğini oluşturma ve planlama sürecinde, bilgi birikimini ve deneyimlerini benimle paylaşan, tezin daha etkili ve kapsamlı bir hale gelmesi için desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Güldane Araz Ay'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam ve sanatsal çalışmalarım boyunca ilham aldığım Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Resim bölümünün kıymetli hocalarına ve sanatta yeterlik öğrenci arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca sanatta yeterlik boyunca yaptığım çalışmaların online sergilenmesinde yardımcı olan Anadolu Üniversitesi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Bu süreç boyunca bana sürekli desteği olan aileme, sevgili eşime ve oğluma en içten sevgilerimi sunarım. Bu çalışmanın araştırmacılara ilham olması dileğiyle.

Hasan DİLİM

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

13/07/2025

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

(İmza)

Hasan DİLİM

STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES

I declare that this thesis is my own, original work; that I have acted in accordance with scientific ethical principles and rules throughout all stages of my work, including preparation, data collection, analysis, and presentation; that I have cited all data and information obtained within the scope of this study and included these sources in the bibliography; that this work has been scanned using the "Scientific Plagiarism Detection Program" used by Anadolu University and is "plagiarism-free." I hereby declare that I accept all moral and legal consequences should any violation of this declaration regarding my work be detected at any time.

(İmza)

Hasan DİLİM

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIM BEYANI

13/07/2025

Bu tezi hazırlarken herhangi bir üretken yapay zekâ programlarından destek almadığımı beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

(İmza)

Hasan DİLİM



DECLARATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE USE

13/07/2025

I declare that I have not received any support from any generative artificial intelligence programs in preparing this thesis. I hereby accept all moral and legal consequences should any discrepancy in this declaration regarding my work be detected at any time.

(İmza)

Hasan DİLİM



İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xv
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM	7
1. IŞIN İZLEMENİN TARİHÇESİ VE DİJİTAL SANAT İLE OLUŞTURULAN SANAT EĞİLİMLERİ	7
1.1. Dijital Sanat ile Oluşturulan Sanat Eğilimleri	11
1.1.1. Fraktal sanat (fractal art)	11
1.1.2. Veri-işleme sanatı (data-moshing art).....	12
1.1.3. Dijital kolaj sanatı (digital collage art)	13
1.1.4. Entegre sanat/karma medya sanatı (integrated art/mixed media art)	14
1.1.5. Üretken sanat (generative art).....	16
1.1.6. NFT sanatı (NFT art)	18
1.1.7. Piksel sanatı (pixel art)	19
1.1.8. Düşük-poli sanatı (low-poly art).....	19
1.2. Dijital Sanat ve Işın İzlemenin Tarihçesi.....	20
İKİNCİ BÖLÜM.....	28
2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE IŞIN İZLEME	28
2.1. Bilgisayar Destekli Tasarım Temel Üretim Mekanizmaları ve Duyusal Alan İlişkisi 29	
2.1.1. Bilgisayar grafiklerinde iki boyutlu tasarım süreçlerinde kullanılan girdiler ve uygulamalar	32
2.1.2. Bilgisayar grafiklerinde üç boyutlu tasarım süreçlerinde kullanılan girdiler ve uygulamalar	33
2.2. Bilgisayar Grafikleri Üretim Süreci ve İşleme (Render) Teknikleri	35
2.2.1. Fotogerçekçi işleme (render) teknikleri	36
2.2.1.1. Tarama çizgi (scanline rendering).....	38
2.2.1.2. Radyosite (radiosity).....	40

2.2.1.3. Işın dökümü (ray casting)	42
2.2.1.4. Işın yürüyüşü (ray marching).....	43
2.2.1.5. Foton haritalama (photon mapping).....	45
2.2.1.6. Işın izleme (ray tracing)	47
2.2.1.6.1. Özyinelemeli Işın İzleme Yöntemi (Recursive Ray Tracing).....	51
2.2.1.6.2. Geri Işın İzleme Yöntemi (Backward Ray Tracing).....	51
2.2.1.6.3. İleri Işın İzleme Yöntemi (Forward Ray Tracing)	52
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	55
3. IŞIN İZLEME UYGULAMASINDA KULLANILAN MATEMATİKSEL MODELLER VE SANATLA İLİŞKİSİ: GERÇEKLİĞİ İNŞA ETMENİN ESTETİĞİ VE BİLİMİ	55
3.1. Üç Boyutlu Sistem.....	55
3.1.1. Koordinat sistemi: Sanatın görünmez iskeleti	55
3.1.2. Nokta: Dijital piksellerin şiiri	58
3.1.3. Vektör: Yön ve hareketin dinamiği.....	59
3.1.4. Işın: Sanal dünyanın temel taşıyıcı fotonları.....	61
3.1.5. Çokgen (Polygon): Dijital formun temel yapı taşları	64
3.1.5.1. Verteks (vertex): Uzaydaki en küçük birim nokta	65
3.1.5.2. Kenar (edge): Formu şekillendiren çizgi	66
3.1.5.3. Yüzey (face): Hacim veren düzlemler	66
3.1.6. Projeksiyon ve türleri	67
3.1.6.1. Ortografik projeksiyon: Minyatür sanatının matematiksel düzlemi.....	68
3.1.6.2. Perspektif projeksiyon: Rönesans'ın mirası dijital tuvalde.....	69
3.1.7. Bilgisayar destekli tasarımda kullanılan yüzey modellemeleri (BRDF) ve estetik anlamları.....	70
3.1.7.1. Düz (flat) yüzey modellemesi: Geometrik sadeliğin ifadesi	72
3.1.7.2. Lambertian yüzey modellemesi	73
3.1.7.3. Gouraud yüzey modellemesi: Yumuşak Geçişlerin estetiği.....	75
3.1.7.4. Phong yüzey modellemesi: Gerçek zamanlı parlaklık ve vurgu.....	75
3.1.7.5. Blinn-phong yüzey modellemesi: Enerji korunumlu gerçekçilik	77
3.1.7.6. Cook-Torrance-Sparrow yüzey modellemesi.....	78
3.1.7.7. Torrance-Sparrow yüzey modellemesi: Mikro-yüzeylerin ifadesi.....	81
3.1.7.8. Oren-Nayar yüzey modellemesi: Gerçekçi mat yüzeylerin anatomisi.....	81
3.1.7.9. Minnaert yüzey modellemesi: Kumaş ve koyu yüzeylerin yumuşaklığı..	83
3.2. Renk, Aydınlanma ve Işık: Sanatın Temel Unsurlarının Dijital Anatomisi	84

3.2.1.	Renk teorileri: Sanat ve Bilimin Kesişim Noktası	85
3.2.2.	Bilgisayar grafiklerinde aydınlanma: Sanal dünyanın atmosferi	88
3.2.2.1.	Radyasyon akışı (radyant akı) (radiant flux): Işığın enerji akışı	88
3.2.2.2.	Radyans (parlaklık) (radiance): Işığın gözdeki yoğunluğu.....	89
3.2.2.3.	Parlama (irradiance): Yüzeydeki ışık miktarı	90
3.2.2.4.	Yoğunluk (intensity): Işığın gücü	90
3.2.2.5.	Yansıma (reflection): Yüzeylerin aynası.....	92
3.2.2.6.	Kırılma (refraction): Işığın ortamlar arası dansı	93
3.2.2.7.	Kırılma değeri (transmittance): Maddenin geçirgenliği ve ışığın seyahati 94	
3.2.2.8.	Kırılma indisi (ior): Malzemenin Optik Kimliği.....	95
3.2.2.9.	Fresnel: : Işığın Açıya Bağlı Yansıması	96
3.2.3.	Işık ve ışık türleri: Sahnenin duygusal mimarı.....	97
3.2.3.1.	Ambiyans ışık (ambient light): Ortamın Genel Havası.....	99
3.2.3.2.	Direksiyonel ışık (directional light): Güneşin yönü	100
3.2.3.3.	Noktasal ışık (point light): Bir Ampulün Gücü ve Gölgenin Sanatı	100
3.2.3.4.	Spot ışık (spot light): Odaklanmış drama ve vurgu.....	104
3.2.3.5.	Bölgesel ışık (area light): Yumuşak ve doğal aydınlatma	104
3.3.	Işın Çarpışma Testleri: Sanal dünyada etkileşimin anatomisi.....	105
3.3.1.	Düzlem çarpışma testi: Sonsuz yüzeylerle etkileşim	105
3.3.2.	Küre çarpışma testi: En basit formun etkileşimi	107
3.3.3.	Üçgen çarpışma testi: Karmaşık formların temeli	111
3.4.	Materyal ve Tayini: Nesnelerin görsel kimliği	112
3.4.1.	Materyal türleri: Sanal dünyanın zengin dokuları.....	114
3.5.	Tekstür ve türleri: Yüzeylere can veren haritalar.....	114
3.5.1.	UVW haritalama yöntemi	115
3.5.2.	Difüz (diffuse) tekstür: Temel renk ve ton	115
3.5.3.	Speküler (specular) tekstür: Parlaklık ve yansıma	115
3.5.4.	Pürüzlülük (roughness) tekstür: Dokunun inceliği ve ışık etkileşimi	116
3.5.5.	Normal tekstür: Yapay derinlik ve detay	117
3.6.	Çarpışma Hızlandırıcıları: Karmaşık Sahnelerde verimlilik sanatı.....	118
3.6.1.	Sınırlayıcı kutu (bounding box) çarpışma testi: Mekânsal bölümlleme. 118	
3.6.2.	K-boyutlu ağaç (kd tree) çarpışma testi: Optimize edilmiş uzay bölümlmesi.....	120
	DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	123

4. İŞİN İZLEME UYGULAMASI: BİLGİSAYAR TEKNOLOJİSİNİN SANAT ÜRETİMİNDEKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ ÜZERİNE YAPISAL VE GÖRSEL BİR ANALİZ UYGULAMADA KULLANILAN PROGRAMLAMA DİLİ VE YAPISI.....	123
4.1.1. Sanatsal Üretimde Yeni Bir Araç: Işın İzleme Uygulamasının Temelleri	123
4.1.2. Dijital Tuvalin Dokusu: İmaj Dosyasının Oluşturulması ve Renk Yönetimi	123
4.1.3. Matematiksel Şiir: Sanatın Ardındaki Soyut Yapılar	126
4.2. Uygulama Çıktılarının Yüzey Türünden Analizi	130
4.3. Uygulama Çıktılarının Işık Türünden Analizi.....	132
4.4. Uygulama Çıktılarının Materyal Türünden Analizi	134
4.4.1. Materyalin Ruhu: Yüzey Özellikleri ve Görsel İfadeler	134
4.4.2. Uygulama çıktıların materyal türünden görsel analizi.....	137
SONUÇ	140
KAYNAKÇA.....	145
ÖZ GEÇMİŞ	156

GÖRSELLER DİZİNİ

Görsel 1.1 19. yüzyılda kullanılan optik oyuncaklar.....	8
Görsel 1.2 Çernobil, Stepan Ryabchenko - 2011	9
Görsel 1.3 Mandelbrot seti	12
Görsel 1.4 Veri işleme sanatı ile ilgili bir örnek.....	13
Görsel 1.5 Kolaj örneği: Kurt Schwitters, Das Unbild, 1919.....	14
Görsel 1.6 Alberto Baumann, "Inheritance of the Twentieth Century" (1980).....	15
Görsel 1.7 Vera Molnár, (Dés)Ordres, 1974. Plotter drawing.....	16
Görsel 1.8 Piksel sanatı örneği	19
Görsel 1.9 Düşük poli sanatı örneği	20
Görsel 1.10 Moore Yasasına bağlı olarak transistör ebatlarının yıllara göre değişimi.....	21
Görsel 1.11 Pinhole camera.....	22
Görsel 1.12 Işın izleme uygulamasında sahnenin kompozisyonu	23
Görsel 1.13 Dürer'in mekanizması, 1525.....	23
Görsel 1.14 İlk ışın izleme (ray casting) algoritmalarından bir örnek.....	24
Görsel 1.15 Işın izleme yüzeye projeksiyonu.....	25
Görsel 1.16 Işın izleme tarihsel gelişim süreci.....	27
Görsel 2.1 Tomb Raider oyun karakterinin yıllar bazında poligon sayısına göre değişimi	28
Görsel 2.2 VR ve AR teknolojisinin eğitim ve simülasyon alanlarında kullanılması için önemli çalışmalar yapılmaktadır	31
Görsel 2.3 ZBrush dijital heykel	34
Görsel 2.4 Tarama ve ışın izleme görüntü üretme şablonları	36
Görsel 2.5 İki çokgenin İç ve Dış Taraması	38
Görsel 2.6 Scanline Algoritması.....	39
Görsel 2.7 Çizgi tarama ile ışın izleme yönteminin cam materyal karşılaştırması.....	40
Görsel 2.8 Gölge, Standart Doğrudan Aydınlatma ile Yarı Gölge Radyosite Arasındaki Fark	41
Görsel 2.9 Gölge idealleştirilmiş universal mafsallın ışın düşürme (Ray Casting) görüntüsü (1979).....	42
Görsel 2.10 Işın Yürüyüşü (Ray Marching)	43
Görsel 2.11 Hiper tekstür dokusu ile üretilmiş bir sahne	44
Görsel 2.12 Parçacık (foton) ve dalga teorisine göre ışının bir ortamdan diğer ortama geçişi (transition).....	45
Görsel 2.13 Gürültü (noise) ve ateş böceği (fireflies) etkisi ve filtreleme ya da yüksek örnekleme (sampling) ile imajın düzeltilmesi.....	46
Görsel 2.14 Foton haritalama yöntemi ile bir kostik (caustic) geçişi	47
Görsel 2.15 Işın izleme mekanizması.....	48
Görsel 2.16 Işığın boşlukta hareketi	49

Görsel 2.17 Işın izleme açık ve kapalı fps örneği.....	50
Görsel 2.18 Forward and backward ray tracing	52
Görsel 2.19 Tekniklerin gerçekçilik ve hesaplama maliyet durumu	53
Görsel 3.1 Kartezyen koordinat sistemi	56
Görsel 3.2 Üç Boyutlu bir Koordinat sistemi ve o sistemde temsil edilen nokta	56
Görsel 3.3 Eski zamanlarda grid kullanımı	57
Görsel 3.4 A noktasının koordinat düzleminde gösterimi	58
Görsel 3.5 Georges Seurat (1859-1891), "The River Seine at la Grande Jatte". Spring	58
Görsel 3.6 Vektör	59
Görsel 3.7 Kuark renk kuvveti	60
Görsel 3.8 Işının parametrik gösterimi	62
Görsel 3.9 Diego Rodriguez de Silva y Velasquez (1599-1660) "Las Meninas or The Family of Philip IV" (1656)	63
Görsel 3.10 Isaac Newton (1643-1727) prizma kullanarak ışığın renklerini analiz ediyor.....	63
Görsel 3.11 Poligon gösterimi	64
Görsel 3.12 Poligonlar üçgenlerden oluşur	64
Görsel 3.13 Pablo Picasso (1881-1973) "The Aficionado".....	65
Görsel 3.14 İki verteks bir araya gelerek kenarı oluşturur	66
Görsel 3.15 Kenarlar bir araya gelerek yüzeyi oluşturur.....	66
Görsel 3.16 Yüzeyler bir araya gelerek formu oluşturur	67
Görsel 3.17 Ortografik projeksiyon yöntemi.....	68
Görsel 3.18 Minyatür sanatında perspektif göz ardı edilir	69
Görsel 3.19 Leonardo Da Vinci'nin (1452-1519) perspektif çalışması	70
Görsel 3.20 Düz (flat) yüzey modellemesi	72
Görsel 3.21 Neoplastisizm'de minimalizm.	73
Görsel 3.22 Işığın yüzeyden sonra yansıması	74
Görsel 3.23 Gouraud yüzey modellemesi	75
Görsel 3.24 Phong yüzey modellemesi parametreleri	76
Görsel 3.25 Phong yüzey modellemesi	77
Görsel 3.26 Yüzey girintilerinin temsili görünümü ve yüzey normaline göre ışığın yüzeyden yansıması.....	79
Görsel 3.27 Cook-Torrance yüzey modelleme örneği (A Reflectance Model for Computer Graphics).....	80
Görsel 3.28 Oren-Nayar yüzey modellemesinin karşılaştırılması	82
Görsel 3.29 Karşılaştırmalı Lambertian ve Oren-Nayar yüzey örnekleme işleme sonucu.....	83
Görsel 3.30 Minnaert yüzey modellemesi çıktısı	83
Görsel 3.31 Gözün ışıkla etkileşimi	84

Görsel 3.32 Fotoreseptörler	85
Görsel 3.33 Farklı dalga boylarında ışık	85
Görsel 3.34 Fizikçi Hermann von Helmholtz (1821-1894)'un portresi (Ludwig Knaus,1881)	86
Görsel 3.35 Renk kroma değerleri.....	86
Görsel 3.36 Renk görme kombinasyonları	87
Görsel 3.37 Krita Uygulaması RGB Renk Paleti	87
Görsel 3.38 Radyant akı	88
Görsel 3.39 Radyans ışık katı açısı ile oluşturulmuş temsili görünümü	89
Görsel 3.40 Birim alanda oluşan parlama	90
Görsel 3.41 Işık yoğunluğunun tüketilen güç miktarına göre değişimi.....	91
Görsel 3.42 Night Scene – Peter Paul Rubens (1616-1617).....	91
Görsel 3.43 Işığın yüzey normali ile yansıması	92
Görsel 3.44 Starry Night over the Rhône – Vincent Van Gogh (1888)	92
Görsel 3.45 Işığın yüzey normali ile kırılması	93
Görsel 3.46 Işığın suda kırılması.....	94
Görsel 3.47 Kırılma indisi (ior) ve pürüzlülüğe (roughness) göre materyalin temsili gösterimi	95
Görsel 3.48 Fresnel etkisi	96
Görsel 3.49 Elektromanyetik radyasyon	98
Görsel 3.50 Ambiyans ışık ile gölgeyi dışlama.....	99
Görsel 3.51 Direksiyonel ışık	100
Görsel 3.52 Noktasal ışık	100
Görsel 3.53 Ölçüm sonunda uygulamadan alınan bir işleme örneği	103
Görsel 3.54 Noktasal ışık sayısını göre işleme zamanı	103
Görsel 3.55 Spot ışık	104
Görsel 3.56 Bölgesel ışık (Area light).....	104
Görsel 3.57 Işın izleme uygulamasında gölge yumuşatma için disk şeklinde bir soyut objeden rastgele örnekleme alınır	105
Görsel 3.58 Düzlem üzerinde bir noktanın normali ve arasındaki uzaklığı gösteren temsili görüntüsü.....	106
Görsel 3.59 Düzleme düşen ışının testi	107
Görsel 3.60 Küreye gönderilen ışınların çarpışma kuramı	108
Görsel 3.61 Ölçüm sonunda uygulamadan alınan bir işleme örneği	110
Görsel 3.62 Küre sayısını bağlı olarak işleme zamanı	111
Görsel 3.63 Üçgene gönderilen nesnenin barisentrik koordinatlarının belirlenmesi.....	112
Görsel 3.64 Still Life with Figs and Bread - Luis Meléndez (1770)	113
Görsel 3.65 Hipertekstür örneği	114
Görsel 3.66 Krita'da hazırlanan difüz tekstür haritası örneği.....	115

Görsel 3.67 Krita’da hazırlanan spekül tekstür haritası	116
Görsel 3.68 Pürüzlülük (roughness) tekstürün model üzerindeki etkisi.....	116
Görsel 3.69 Blender’da oluşturulan normal tekstür haritası.....	117
Görsel 3.70 Difüz ve spekül tekstür kullanılarak oluşturulmuş bir işleme (uygulamadan alınan örnek)	118
Görsel 3.71 Sınırlayıcı kutu hiyerarşisi sahneyi kutu biçiminde bölümlenir	119
Görsel 3.72 Sınırlayıcı kutu hiyerarşisini oluşturulma fazları.....	120
Görsel 3.73 Sınırlayıcı kutu hizalamanın yaprak biçiminde görünümü.....	120
Görsel 3.74 K-Boyutlu Ağaç yöntemi bölümlleme gösterimi.....	121
Görsel 4.1 PPM sınıfı uygulamada CImage temel sınıfından türemiştir.....	124
Görsel 4.2 Gama değerlerini ayarlamak için kullanılan GammaEncode() fonksiyonu.....	125
Görsel 4.3 CImage sınıfı imaj ile ilgili bazı temel değişkenleri barındırır.....	125
Görsel 4.4 Üç değişkenden oluşan nokta şablon sınıfı.....	126
Görsel 4.5 Üç değişkenli CVector3 sınıfı operatör yüklemeleri	127
Görsel 4.6 Vektör sınıfına ait bazı matematiksel metotlar	127
Görsel 4.7 K-Dimensional Tree (ikili ağaç) sınıfı ve metotları.....	128
Görsel 4.8 CIntersection sınıfında (örneğin üçgen çarpışma testinde) bilgilerin depolanması	129
Görsel 4.9 Oren-Nayar BRDF modeline göre çarpışma testinden elde edilen bilgilerle yüzey fonksiyonunun hesaplanması	129
Görsel 4.10 Şekil temel sınıfı	130
Görsel 4.11 Küre sınıfı şekil temel sınıfından türemiştir	130
Görsel 4.12 Üçgen sınıfı da şekil temel sınıfından türemiştir	131
Görsel 4.13 Örgü (mesh) sınıfı üçgenleri bir arada bulundurur	131
Görsel 4.14 Örgü (mesh) sınıfı ile obj dosyasından yüklenen bir modelin işlemesi (uygulamadan alınan yüksek çözünürlüklü örnek)	132
Görsel 4.15 Noktasal ve direksiyonel ışık CLight temel sınıfından türemiştir	132
Görsel 4.16 Noktasal ışık kaynağının L parametresine değer vererek oluşturulan farklı renk denemeleri (uygulamadan alınan örnek)	133
Görsel 4.17 Noktasal ışık kaynağı 1 (solda), 5 (ortada) ve 20 (sağda) adet (uygulamadan alınan örnek)	134
Görsel 4.18 Temel materyal sınıfı, üye değişkenleri ile prosedürleri.....	135
Görsel 4.19 Fiziksel materyal sınıfı materyali ile oluşturulmuş farklı materyaller (uygulamadan alınan örnek)	136
Görsel 4.20 Fiziksel materyal sınıfı materyal temel sınıfından türemiştir ve tekstür objelerini barındırır.....	136
Görsel 4.21 Eğer tekstürler materyal sınıfına dahil edilirse, ham piksel bileşene göre toplam ya da çarpım yolu ile piksel verilerine işlenir.....	137
Görsel 4.22 Farklı türde difüz (baseColor) renkleri (uygulamadan alınan örnek)	138

Görsel 4.23 Farklı türde kırılma (ior) değerleri sırasıyla 1.0 (solda), 2.0 (ortada), 3.0 (sağda) (uygulamadan alınan örnek).....	139
Görsel 4.24 Farklı türde iletim ağırlığı (transmissionWeight) değerleri sırasıyla 0.5 (solda), 0.75 (ortada), 1.0 (sağda) (uygulamadan alınan örnek)	139



GİRİŞ

Bu sanatta yeterlik tezinin amacı, dijital sanatın temelini oluşturan bilgisayar teknolojilerinin, sanatçının yaratım sürecindeki rolünü salt bir araç olmanın ötesine taşıyarak, onu nasıl disiplinlerarası bir bilgi ve uygulama alanının merkezine yerleştirdiğini ortaya koymaktır. Araştırmanın temel argümanı, özellikle ışın izleme (ray tracing) teknolojisinin, Rönesans'tan bu yana süregelen gerçekliği temsil etme arayışının modern ve en sofistike tezahürü olduğu ve bu sürecin sanat ile bilimin tarihsel birlikteliğinin kaçınılmaz bir sonucu olduğu yönündedir.

İlk çağlardan beri insanların duyu organları ile algıladığı dışsal-işsel olguların benlikte işlenmesi ve birçok etkenin (kültürel olgular, algı, öğrenim gibi...) pozitif katkılarıyla oluşan bilincin dış dünyaya aktarım süreci, öz kontrol dediğimiz giderek artan küçük refleksif yapılarla ilintili olduğu bilinmektedir. Bu refleksif yapılara hâkim olmak; alete hâkim olmak, onu gerektiği ve istenildiği gibi kullanabilme yetisi olarak da adlandırılabilir. Sanatçı istediği olguyu yüzeye aktarırken bu refleksif yapıları kullanmaktadır. Bu refleksif yapıların çalışma prensibini derinlemesine inceleyecek olursak, nöronların elektriksel sinyaller aracılığı ile iletişim kurduğu bilinen bir olgudur (Purves, 2001). Bu olgu tıpkı bilgisayarın çalışma prensibi gibi belirli protokoller aracılığı ile olmaktadır. Bilgisayar işleme teknolojilerinde tasarımcı, donanımsal ve yazılımsal sorunlarla karşılaştığından dolayı hızlı hesaplama maliyetini de en aza indirmek için çeşitli araçlar talep etmektedir. Bu tasarımcıların ve bilim insanlarının zamana bağlı olarak zorlandığı en büyük problemler arasındadır. Zaman içerisinde bu alanda çalışan mühendisler farklı algoritmalar ve denklemler tasarlanmış ve gerçek dünyadaki görüntünün fiziksel işlemlerini yazılım yoluyla ışığı simüle etmek yoluyla sanatçının görsel öğeler üretmesine olanak sağlayacak uygulamalar tasarlamıştır. (Kajiya, 1986). Bu öğelerin bir araya getirilmesiyle fiziksel dünyayı doğru paradigmlarla eşleştirmek, doğa kanunlarına bağlıdır. Bu noktada çeşitli argümanların bilgisayar üzerinde doğru görsel oluşturması için nesne bazında çeşitli ölçümler (spektrum analizi vb.) yapılmıştır. Bu ölçümlerin doğruluğu süregelen yöntemlerin geliştirilmesi ile paralellik göstermiştir. (Marschner ve diğerleri, 1999: 1). Bu bağlamda temel matematik unsurlarını (matris, vektör vb. gibi temel yapılar kullanılarak elde edilen çeşitli veri kümeleri gibi...) kullanarak bu sorunlara çözüm yolu olması açısından çeşitli varyasyonlar denemiştir.

Gerçek dünyadaki bir görselin bilgisayarda görsel temsili temel işlemler bazında (yazılım oluşturma vb.) zordur. Bu noktada bilgisayardan önce de görsel imgenin oluşturulması sorunu çeşitli araç ve tekniklerin tasarımıyla yol açmıştır. (Warnock, 1969: 1). Bu tasarım çıktılarından biri dijital sanat ile oluşturulan sanatsal ürünleri olduğunu söyleyebiliriz. Bilgisayar dünyasının matematiğe olan ilgisi çeşitli gerçekçi ürünlerin bilgisayar ortamında oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Buradaki amaç matematiğin sınırlarını da zorlayarak farklı olgular elde etmektir. Bilgisayar destekli tasarım, bu olgulara yazılımın matematikten aldığı güç ile bu dünyada olmayan farklı imgelerin üretilmesine olanak sağlamış ve lokomotif öge olmuştur. Tarihsel gelişim süreçleri göz önüne alındığında bilgisayar destekli tasarımın temel hedeflerinden biri gerçekçi ya da soyut görüntüler elde etmek olduğu bilinmektedir. Paul'a göre bu işlem bilgisayarda "hacklemek" anlamına gelmektedir. Yani sanatçının belirli koşullarda yeni algoritmalar üreterek yeni desenler ortaya çıkarmaktadır (Graham, 2004:26). İşin pratiğinde araç-üretim kapsamında en önemli iki farklı unsur göze çarpmaktadır. Biri program sınırlılığı diğeri sanatçı sınırlılığı. Program sınırlılığı mühendisin sanatçı için var ettiği program ve bunun sınırlılığıdır. Sanatçı sınırlılığı ise bu programdan elde edebileceği çeşitli varyasyon kümeleri ya da kombinasyonları kullanarak yazılımın üretime sağladığı faydadır. Peki sanatçı yazılımda var olan bir olguyu nasıl farklı kombinasyonlarla farklı bir olguya dönüştürebilir? Eğer program tasarımcısı gerçekçi dünyayı işleyecekse literatür taramasına bağlı olarak güncel bilgiyi takip edip yazılımın sınırlarını genişletmelidir. Yazılım bu noktada esnek bir yapıya sahiptir.

Grafik tasarımcı ise daha önceki sürüme bağlı olarak uygulamadaki yeni fonksiyonları kullanıp yeni bir eser elde edebilir. Bu noktadaki benzerliği klasik sanat akımlarından Hipergerçekçilik ve Empresyonizmle bağdaştırabiliriz. Bilindiği üzere, Hipergerçekçilik; ışığı ve materyali fiziksel olarak doğru tahminlenerek el ya da çeşitli araçlarla görsel ve fiziksel dünyayı kanvas ortamında gerçekleştirmek olarak adlandırılabilir. Burada sanatçı kendi gözlem-tekniklerle beraber izlenimlerine güvenerek materyal ve ışığın yansıma yapısını özümseyip gerçekçi görseller oluşturma çabasına girmesiyle sonuçlandırmasıdır. Burada aslında nitel ya da nicel olarak bir tasarımsal kurgu ortaya çıkmaktadır. Fakat yeni başarımlar yöntemleri her zaman yeni algoritmalar ile kurgulanır. Empresyonizm'de ise sanatçılar, günün farklı saatleri ve farklı global aydınlanma ortamlarını karşılaştırarak bilimin üzerinde çalıştığı türevlerinden biri olan renk oluşumunu tablolarına aktarmasıdır. Burada aslında sanatçı,

mesaj kaygısının dışında bilimsel bir ürün ortaya çıkarmaktadır. Amaç, günün belli saatlerinde ve hava şartlarında, materyallerin farklı dalga boylarında oluşturduğu ışık izlenimlerini ele almasıdır. Bu noktada Empresyonist sanatçıların görevi, fiziksel bir olgu olan ışık olgusunu renklerin nesne üzerindeki fiziksel anlamını ortaya koymak ve bu mekanizmayı olduğu gibi tuvallerine aktarma işlemidir. Görünen o ki sanatçının bu yaklaşımı belgelendirmesindeki amaç objenin kendisini zihinde tasarlaması ve bunu nesne-matematik ilişkisine dayandırmasıdır. Bu otomatik hesaplamaların disiplinler arası yaklaşımı göz ardı edilemez. Teknolojinin gelişmesine paralel ve tasarım süreçlerinin planlanmasına bağlı olarak fütüristik teknoloji kavramı sanat ve dijital mecrada son yıllarda ortaya çıkan kavramdır. Bu alanda yapılan AR-GE, inovasyon ve teknolojik planlamalar, mühendislik uygulamalarını ön başlangıç kabul ederek yeni bakış açılarının üretilmesine neden olmuştur. Bu yaklaşım ile fütüristik temalar, tasarımcıların yenilikçi ve üretken olmasını sağlamıştır. (Andrieieva, 2022: 62-64).

Yıllar içinde malzeme bilimi ve yeni bilgi paketleri kullanılarak bilim insanları tarafından çeşitli küresel aydınlatma algoritmaları geliştirilmiştir. Tıpkı rönesans dönemi sanatçılarının nesne-materyal ilişkisini gözlemleyerek gerçekçiliği ön planda tuttuğu tasarımlar gibi bilim insanları da maddenin doğal yapısını inceleyerek gerçekçi modeller oluşturmaya çalışmıştır. Bir takım ışın izleme modellerine dayalı olarak üretilen bu deneylerin sonucunda nesnenin bilgisayardaki zahiri temsilini sağlamak için matematiksel temellerin ele alındığı denklemler ileri sürülmüştür (Arvo ve diğerleri, 2006). Bu denklemler kullanılarak görüntünün fiziksel temsili bilgisayarda çeşitli veri işleme yöntemlerini kullanılmasıyla ya dosya şeklinde ya da direkt grafik arabirimlerine aktararak üç boyutlu temsili görüntülerin oluşturulması sağlanmıştır. Bu noktada bu görüntülerin gerçek dünyadaki temsili, referans resimler aracılığıyla üretilen ve model olarak anılan fiziksel nesnenin temsidir.

Üç boyutlu grafikler, bir bilgisayar monitöründe inandırıcı bir görüntü oluşturmak için görsel sanatlar, matematik, fizik ve bilgisayar programlama gibi çok çeşitli disiplinleri bir araya getiren büyüleyici bir konu olmasına rağmen bu görüntüleri oluşturmak oldukça karmaşık işlemler gerektiren hesaplama maliyetlerine bağlıdır. Bilgisayarda üretilen çoğu görüntüleri oluşturmak için harcanan zaman arttıkça foto gerçekçiliğe daha da yaklaşılmaktadır (Truong, 2015: 1). Üç boyutlu nesnelerin

bilgisayar üzerinde görünür hale getirilmesi için çeşitli türde makalelerin ve araştırmaların yazılması bu çabaların ürünüdür.

Işın izleme yöntemleri materyal temsilini çeşitli birimlere ayırıp her olguyu tek tek incelemiştir. Bu noktada mühendisler tarafından opak ve saydam malzemelerin temsili için çeşitli kombinasyonlar oluşturulmuştur fakat bu denklemler gerçek dünyadaki yansımanın bilgisayara aktarılmasında sorunlar teşkil etmiştir. (Hachisuka ve diğerleri, 2011: 1). Bu yöntemlerin sonucunu, hala günümüz sürecinde dünyadaki gerçek materyallerin temsili için oluşturulan geliştirmelere bağlı olarak ortaya çıkan materyal-matematik ilişkisi değil, materyale doğa kanunlarını da dahil edip durağan imgelerden hareketli imgelere geçilmesi için oluşturulan çabadır. Bu ivme görsel imgelerin üretilmesi için nesnenin belirli oranda işleme durumuna göre imge oluşturmak için harcanan çabanın-ihtiyacın artması anlamına gelmektedir.

Transistörlerin gelişim süreci ile oluşan hızlı grafik işleme süreçleri ile üç boyutlu görüntüleri istenilen düzeye getirmek kolay olmamıştır. Bu gelişim süreci beraberinde çeşitli yöntem ve tekniklerin deneyimlerle bir araya getirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu yöntem ve teknikler dijital çağ olarak adlandırabileceğimiz bir dönem yeni fikir-ilke ve metotların ortaya çıkmasıyla gelişmektedir. Dijital sanatı bu ilke ve yöntemlerin varlığı sonucunda oluşmuş bir akım olarak adlandırmak yanlış olmayacaktır.

Sanat ve diğer alanlardaki gelişmeler sanatı disiplinler arası bir yöntem olarak kullanmanın gerekliliğini kılmaktadır. Matematik ve diğer bilimler, çağlar boyunca sanatçıların tasarımlarında, dolaylı ya da dolaysız olarak kullanılmıştır. Bu noktada deneysel yöntemler bilim ve sanatın gelişimine sürekli yeni boyutlar kazandırarak gelişim sürecini bugünkü noktaya getirmiştir. Sanatçının sınırlılıkları tasarımın herhangi bir odak noktasından ele alınırsa bu odak noktasından hareketle buna bilgi birikimidir diyebiliriz. Tabi ki sanatçı bu bilgi birikiminden ihtiyacı olanı almaktadır.

Sanat eğitimi yoluyla alınan-verilen bu bilgi birikimleri felsefi anlamlar taşıyabilir. Sanat ürünü üretmek, sadece göze hoş gelen imgeler bütünü olarak algılamamalıdır. Sanatçı yaşamında deneyimlediği tecrübeleri objelere aktarmaktadır. Bu sihirli bir dokunuş gibi de düşünülebilir. Bir görüş, bir manifesto, bir sunum bütünlüğü ile kendi düşünce sisteminden geçirdiği düşünceler ve deneyimler dizinini nesneye atfederek izleyiciye dolaylı ya da dolaysız olarak mesaj ulaştırmaktadır. Sanat felsefesi ve sanat psikolojisi, sanat sosyolojisi gibi çalışma alanları bu noktada devreye

girmektedir. Bu da sanat eserinin disiplinler arası yaklaşımını gündeme getirmektedir. Çağımızın tüketim toplumu ile sanatçının sanat üretme ve sanatın anlam üretme ile ilişkisinde imge-sembol-mesaj silsilelerinin geometrik objeye büründüğü tarihsel süreci iyi bilmek önem kazanmaktadır.

Bilgi hem sanatta hem de dijital ortamda önemli ve etkili bir mekanizma gibi işlemektedir. Bu bağlamda dijital ortamda sanat üreten bir sanatçı için bilginin seviyesi, görsel hiyerarşisine bağlı olarak, az bilgi ile sanatçının alt dallarda tasarım hayatını sürdürmesi anlamına gelebilir. Fakat çoğu zaman bu durum böyle değildir. Artık belirli alanlarda uzmanlaşmak bu kadar büyük verinin işlenebilmesi için şart duruma gelmesi anlamında kabul edilebilir bir durumdur. Tekrardan sanatçı-zihinsel bilgi perspektifinden bakacak olursak, sanatçı adlandıramadığı olguları okuyarak, yaşayarak, gözlemleyerek öğrenir. Gözlemlere dayanarak bir bakıma sanatçının tasarımlarında rastgelelik yoktur diyebiliriz. İnsan bedeni ve ruhu, gelenek-görenek, yaşantı, deneyim, eğitim, öğrenim, toplumsal olgular-olaylar gibi pek çok noktalarla gelişip-olgunlaşır. Birey ise bu noktada toplumsal hafızayı unutmamalı, belirli öngörülere sahip olmalıdır. Geleceğin fikir tohumlarını atabilmeli, geleceği kestirilmelidir ve neden-sonuç ilişkisini iyi bilmelidir. Sanatçı, bu noktada fikir babalığı yapmaktan ziyade, bu fikri izleyicilere ulaştırabilecek araç-gereçleri vuku buldurması, şekillendirebilmesi, kullanabilme-kullandırabilme yetisine sahip olmasına bağlıdır. Edebiyatta bu bir şiirdir, akademide bir makale, sanatta ise bir fırçadır veyahut da bir bilgisayardır, tablettir diyebiliriz.

Dijital sanat ve ondan önceki imge oluşturma yöntemlerini incelediğimizde sanatçının pratikte beşerî bilimlerden sıklıkla matematik, fizik, geometri vb. kavramları referans alıp yeni bir arayış içerisinde olduğu ve bu durumu gözlemlediği söylenebilir. Örneğin, çevresel sanat tasarımı, mimari yapılara estetik öğeler atfederken mimari tasarımı sadece teknik donanım ve durağan yapılar olarak değil, sanatsal ve fonksiyonel bir forma büründürmektedir. Bu planlamaya estetik ve duygusal bir yaklaşım sunar (Zeng ve diğerleri, 2015). Bu noktalara özellikle dikkat çekmekten maksat dijital sanat araçlarını kullanan sanatçının oluşturduğu bu sürece, sayısal 1 ve 0'ların bir araya gelmesiyle parametrik formlar oluşturma-yeni yaklaşımlar oluşturma süreci olarak adlandırılabilmesidir. Bu yeni yaklaşımlar elde edilirken sanatçının yapması gereken literatür ile sıkı olması ve güncel sanatı takip etmesidir. İnternet ile dünyanın küresel köy formuna doğru evrildiği düşünülürse bu küresel köy içerisinde bulunup işlenen

kültür öğeleri, değerli hale gelmektedir. Nitekim Belting, bütün bu öğelerin sanatçının politik ve ekonomik değerlerden etkilenmesine bağlar, sanatçı ise bu öğeleri kullanıp sanat mecrasına katkı sağlar (Belting 2017). Bu işleme eski zamanlarda aylar-yıllar sürerken küresel kültür ile şu an çok kısa süre içerisinde benimsenip tüketilebilmektedir.

Dijital sanatın en temel sorunlarından biri ve tartışılan ögesi tüketim kültürü ile olan bağılılığıdır. Bazı yazarlar ise bu durumun sanatın sonu olarak ifade etse de Ranciere bu durumun ve bu düşüncelere sahip olanların ileriye dönük olarak açık bir bakış açısına sahip olmadığı noktasında ilgi tutmakta ve imge bakımından gerçekliğin olmadığını, imgelerin var olduğunu ve tekrar tekrar sunulduğunu ifade edmektedir (Ranciere, 2009:116). Biraz önceki cümlelerde bahsedilen küresel köy kapsamı içerisinde üretilen öğeler tıpkı bir terazi kefesindeki ölçülen öğeler gibidir. Dijital tasarımcı bu öğeleri kullanıp yeni bir öge tasarlama problemini çözmeye çalışır ve ağır olanı bulmak ister. Huhtamo ve Parikka, bu eylemlerin ideolojik ya da ekonomik bir kaygıdan kaynaklandığını ifade etmektedir (Huhtamo ve Parikka, 2011). Bu noktada emek kültürü ve biçimi ortaya konması gereken en önemli problemlerden biri olsa da dijital sanatta emek kapsamında biraz önce bahsettiğimiz bilgisayar diline her zaman hâkim olmayı gerektirmeyebilir.

Disiplinler arası çalışmayı gerektiren ve dijital ortamları kullanarak program dili ile yeni ürünler-kombinasyonlar ortaya koymak isteyen bir sanatçı ve tasarımcı bilgi ve dilin kaynağına hâkim olmak ve bu sınırlıkları genişletme sorumluluğuna sahip olmalıdır. Bu durumu derenin sonunda bulunup suyu kullanmak ile kaynağa sahip olup işletmek arasındaki duruma benzetebiliriz. Sanat tarihine baktığımızda sanatçıların çoğu yeni teknikler bulmalarının yanı sıra kendi boyalarını kendileri yaparak görüntü ve bıraktığı etki üzerinde baskın rol oynamışlardır. Bu noktada yazılımsal araçların kullanıldığı dijital sanat ve ilgili pratikleri irdelemek gerekir. İzleyiciye düşen görev ise bu farklılığı anlayabilmektir. Bu noktada gerekli literatür taramasına bağlı olarak bu tezin amacı ve kapsamı; yukarıda örnek olarak verilen, -suya hâkim olup akışa yön vermekle alakalıdır. Yani kapsam olarak üç boyutlu imge oluşumunun matematikle bağlantısı ve yeni görsel öğelerin oluşturulmasıdır. Sınırlar ise gerçekçi imgeler oluşturulması için disiplinler arası öğelerden gereken minimum değerlerin yazılıma aktarılması-basitleştirilmesi işlemidir. Sonrasında bu gerçekçi öğelerden istenirse soyutlanıp yeni soyut gerçeklikler kapı aralamaktır. Bu noktada tüme varım önemlidir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. IŞIN İZLEMENİN TARİHÇESİ VE DİJİTAL SANAT İLE OLUŞTURULAN SANAT EĞİLİMLERİ

Geleneksel yöntemde genellikle tasarımcılar klasik yöntem ve teknikleri barındırılan temel bilgi ve bu bilgiyi açıklayan meta veriye ihtiyaç duyar. Bu meta veri araç ve fikirleri nasıl kullanacağına dair temel bilgiler içerir. Grafik tasarım ise daha çok sanatın temel ilkelerine bağlı olarak bazı özelleşmiş teknik bilgiye ihtiyaç duyar. Örneğin temel uygulamalarda sanatçı bu özelleşmiş alt bilgilerden düzen oluştururken nesnelerin tam noktasını hesaplayabilmek için temel matematiği kullanmaktadır. Daha karmaşık düzeylerde, örneğin animasyonda pratik bilgiden çok teknik bilgiye sahip olmak ise tasarımcının işini kolaylaştırmaktadır (Zeng ve diğerleri, 2016: 704-707).

Reichardt'a göre dijital sanat, çeşitli işleme tekniklerini bilgisayar ortamında simüle eden ve yaratıcılık sorununu teknolojiyle işleyen bir sanat alanıdır (Reichardt, 1974). Christiane (2006) ve Lieser (2009) tarafından da "yeni medya sanatı" olarak adlandırılmaktadır. Dijital sanat, sanatçıların zihinlerindeki imgeleri ve referans objeleri özel programlar aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarmasını sağlamıştır. Bu süreç, imgenin "biriciklik" ve "seri üretim" gibi sorunlarını gündeme getirmiştir.

Taylor (2012)'ın belirttiği gibi, bilgisayar kullanılarak oluşturulan eserler başlangıçta kabullenme sorunları yaşasa da dijital işleme teknikleri resim, heykel, müzik/ses gibi diğer sanat alanlarına yayılmış; dijital enstalasyon ve net sanat gibi yeni terimlerin ve alanların (grafik gibi) doğmasına zemin hazırlamıştır. Manovich (2006)'e göre dijital sanatın önemi, hızlı gelişen yeni bir "norm estetiğinin" oluşmasına yol açmasıdır. (Manovich, 2006:25).

Dijital sanat, ilkesel olarak grafik arabirimlerini sanal malzeme üretimi olarak kullanan bir yöntemdir ve dijital sanatçı da bu yöntem ve teknikleri dijital ortamda uygulayan kişidir (Charlie, 2005). Seri üretim temasına dönecek olursak, sanat eleştirmenleri ve piyasa araştırmacıları bu noktaya dikkat çekmektedir. Manovich (1999), endüstriyel tasarıma dayalı fizik gücünün yerini post-endüstriyel toplumda bilgi toplumunun aldığını belirtmektedir. Seri üretimle oluşturulan eserlerde "hangisinin gerçek ya da biricik olduğu" problemi, son yıllarda NFT (Non-Fungible Token) kavramının ortaya çıkmasına ve sanatçıların bu sorununu NFT ile çözmeye çalışmasına yol açmıştır. NFT'ler, özel algoritma sistemleriyle şifrelenmiş, benzersiz üretim

mekanizmasıyla tek kopyası oluşturulan bilgi paketleridir. Bu durum, dijitalizmle daha da önem kazanan sanatın "biriciklik" kavramını ve sanatçıların imge oluşturma sürecini yeniden sorgulamasını sağlamıştır.

Şu an sanal platformlarda bu bilgi paketleri özel bir algoritma sistemi ile şifrelenmekte, bu tasarımların benzersiz bir üretim mekanizmasıyla tek kopyası oluşturulmaktadır. Kırılmayan bu bilgi paketlerinin geleceği nasıl şekillendireceği hususu zamanla ortaya çıkacaktır. Yani dijitalizmle daha da önem kazanan sanatın biriciklik kavramı ile sanatçılar bu yöntemler ile imge oluşturma sürecini tekrar irdelemeye başlamıştır.

Görsel sanatlar ve diğer üretim alanlarında (müzik/ses vb.) dijital üretimin kabulü son yarım asırda gelişmiş, çeşitli spesifik yöntemler ve varyasyonlar oluşmuştur (Christiane, 2006). 19. yüzyıldaki kaleydoskop, thaumatrope, stereoskop gibi optik oyuncaklar (Görsel 1.1) yeni medya türevleri olarak kabul edilebilir (Bak, 2020). Günümüzde dijital oyunlar ve soyut-somut malzemelerin bu geçmiş oyuncaklarla bağlantısı, farklı yaş gruplarını kapsamaları ve piyasayı ekonomik anlamda kuşatması açısından önemlidir. Dijital sanatın ilerlemesi göz ardı edilemezken, geleneksel plastik sanatlar ile arasındaki rekabet devam etmektedir. Bazı sanatçılar gelenekseli tercih ederken, diğerleri dijital üretimin pratikliği, kolaylığı ve geri alınabilirliği sayesinde bu yöntemle sanat piyasasında yer almayı düşünmektedir. Bu rekabet, yeni yöntemler ortaya çıktıkça bir öncekini sorgulayarak devam edecektir.

Görsel 1.1

19. yüzyılda kullanılan optik oyuncaklar



Kaynak: <http://brightbytes.com/collection/toys.html>

Son yıllarda bilgisayar grafiklerinin akademik yönelimlerinden ziyade ekonomik ilişkisi de dikkat çekmektedir. Pratikliği, ticari yönetiminin yer etmesi ve zaman

maliyetini azaltması nedeniyle görselleştirme yöntemleri (sanal gerçeklik), film endüstrisi, oyun ve eğlence biçimleri gibi ticari alanlarda önemini korumuştur (Wald, 2004). Gerçek dünyanın görselleştirilmesi ve fiziksel dünyanın simülasyonu dijital sanatı daha da önemli hale getirmiştir (Arvo ve diğerleri, 2003). Sektör, film prodüksiyonu kalitesinde, yazılı ve görsel tasarım kadrosuyla bir ticarethane durumuna gelmiştir. Yüksek bütçeli dijital oyunlar ve prodüksiyonlar için geniş kadrolar (tasarımcıdan programcıya, senaristten sanat yönetmenine) istihdam edilmekte, üretim süreleri 1-5 yılı bulabilmektedir.

Dijital sanat kendi içinde uzmanlaşmış alt dallara ayrılmış ve profesyonelleşmiştir. Dijital sanat matematiksel temellere dayanarak fraktallar ve algoritmik sanat gibi alanları veya tarama yoluyla elde edilmiş ürünleri kullanarak çeşitli harmanlamalar ve görsel çıktılar üretilmesini sağlamıştır (Christiane, 2006). Bu durum, sanatın disiplinler arası bir uygulama yöntemi olduğunu ve küresel bir algılama stratejisine hitap ettiğini göstermektedir. Matematik, fizik, kimya, mühendislik, coğrafi araştırmalar gibi temel alanlarla birleşen sanat, kendini farklı pazarlara açma prensibini elde etmiş ve farklı mecralarda ifade etme yeteneği kazanmıştır. Disiplinler arası sanat, kendine has, olmazsa olmaz bir sanatsal kültür alanı haline gelmiştir. Bu kültürel alan farklılığı, düşünce ve mesajların farklı yollarla, bilimsel paradigmaları bir araya getirerek ifade edilmesini sağlamıştır (Görsel 1.2: Çernobil örneği).

Görsel 1.2

Çernobil, Stepan Ryabchenko - 2011



Kaynak: <https://www.wikiart.org/en/stepan-ryabchenko/chernobyl>

Bilimin dijital sanatta yeni yollar oluşturması ve evrenin bilimsel paralellikleri, sanatçının farklı bir üslup ve anlatım ifadesi bulmasına neden olmuştur. Bilimin kuralları ile sanatçının mesajlarının, dijitalleşmenin hazır ve çabuk ürün oluşturma etkisiyle birleşerek bir "meta veri evreni" yaratması dikkat çekici bir olgudur. Ancak, sanatçının bu veri evreninde kendi üslubunu ve felsefe, psikoloji gibi alt disiplinlerle bağlarını ifade etmede zorlanmasına neden olmuştur.

Bilginin logaritmik artışı, sanatçının kendi özgün üslubunu bulma sürecinde zorluklar yaratabilir. Bu "veri evreninde" kaybolmamak için sanatçının sürekli öğrenmesi, farklı disiplinlerden beslenmesi ve özellikle kendi 'öz'üyle (iç dünyasıyla, felsefesiyle, psikolojisiyle) bağ kurması büyük önem taşımaktadır. Sanatçının bu bilgi akışını yönetebilmesi ve yeni teknik/yöntemlere açık olması, özgün ve kalıcı eserler üretebilmesi için anahtardır. Yeni potansiyel kimlikler geliştiren sanatçı, sanat eseri ve müşteri arasındaki yüzyıllık ilişkiyi de yeni baştan sorgulayarak güncel dinamiklere uyum sağlamalıdır.

Teknik açıdan dijital sanat, çeşitli bilgisayar elementlerinin (program, mikro denetleyici, sistem) birleştirilmesinde önem arz eder. Sayısallaştırılmış metin tabanlı veriler veya ham müzik verileri doğrudan sanat eseri olarak kullanılamamaktadır; belirli bir işlemde geçtikten sonra kullanılabilir hale gelmektedir (Wands, 2006). Ancak bu eserler, bilgisayar üzerinde ham olarak kalsalar veya yazıcı, hoparlör gibi arabirimler sayesinde gerçek dünyaya aktarılsalar da dijital sanat olarak adlandırılabilir (Christiane, 2006).

Sanat, sanat eseri ve algılayıcı (izleyici) arasındaki mesaj trafiği yüzyıllardır sürmektedir. Yeni teknik ve yöntemlere açık olmak, onları sorgulamak, bilimsel alan yazındaki yerini belirlemek ve bilgiyi işlemek, her zaman kazançlı bir potansiyel kimliği beraberinde getirmiştir. Bu potansiyel ile sanatçı, sanat eseri ve müşteri kavramları yüzyıllar boyunca sorgulanabilen bir eylem mekanizması sağlamakta ve bilginin depolanması bilime hizmet etmektedir. Günümüzde daha fazla disiplinler arası çalışma yöntemine ihtiyaç vardır ve sanatın da bu yöntemlerle farklı alanlara yönelmesi beklenmektedir. Bu noktada sanat ve bilimin birleştirici gücünü sorgulamak önemlidir; zira sanatçının kendi alanında özelleşmiş, disiplinler arası bir literatür bilgisine olan ihtiyaçı, geniş sanatsal alanların oluşmasına yol açmaktadır.

Dijital sanat, sanatçının zihnindeki imgeleri bilgisayar ortamına aktarmasını, animasyon ve görselleştirme gibi yeni ifade biçimlerini deneyimlemesini sağlar. NFT gibi kavramlar ise dijital eserlerin "biriciklik" sorununa çözüm arayışı sunarak, sanatçılar için yeni ekonomik ve telif hakları modelleri yaratmaktadır. Dijital üretimdeki pratiklik, kolaylık ve geri alınabilirlik gibi avantajlar, sanatçıların piyasada yer edinmelerine yardımcı olabilir. Sanatçı, bu dönüşen piyasa dinamiklerini anlayarak yeni kariyer yollarını ve ticari iş birlikleri potansiyelini değerlendirmelidir.

1.1. Dijital Sanat ile Oluşturulan Sanat Eğilimleri

Kişisel bilgisayarlar evlere girdikten sonra dijital sanatın yayılması ve üretim şekli değişmiş ve baş döndürücü şekilde bu değişim devam etmektedir (artist.com, 09.01.2023). Yapay zekâ ile üretilen çalışmalar dakikalar içinde üretilebilir hale gelmiş, işleme teknik ve yöntemler sayısal deklarasyonlarla çeşitlenmiş, internet aracılığı ile şeffaf bir hale gelmiştir (Arcana, 2018: 61). Bununla birlikte tüketim sanatı da ortaya çıkmıştır.

Dijital sanat gerçek dünyayı simüle etmesinin yanı sıra çeşitli tekniklerin de ortaya çıkması ile kabullenışı zor bir sanat alanı olarak (yukarıda da bahsedilmişti) hala önümüzde durmaktadır. Sanat eseri işlemesi ve üretimi yönünde bir devrim oluşturmuştur (artincontext.org, 09.01.2023). Bu devrimlerden birini Andy Warhol Temmuz 1985'te yapmıştır. Warhol, Temmuz 1985'te New York'taki Lincoln Center'da tanıtımı yapılarak Commodore Amiga üzerinde dijital sanat yapmasıyla ünlenmiştir. Bu gelişme, diğer alanların da konsept tasarımı ve bir prototip olarak başlangıç olarak kabul edilmesinde önemli bir noktadır (Arcana, 2018: 61). Bu noktada sanatçının üretim mekanizması ve son ürün elde etme potansiyelinin oldukça fazla olduğu kanısına varılabilir. Bu hızlı üretim mekanizması kısa zaman içerisinde farklı sanat eğilimlerinin pratiklerinin doğmasına sebep olmuştur. Bu sanat eğilimleri dijital sanatın sınırlarının ne denli geniş olduğu kanısına da varmamıza neden olur. Öyle ki gelişen teknoloji ile dijital sanat, sahip olduğu geniş üretim mekanizmaları sayesinde (robotik kodlama vd.) ve klasik sanattaki aynı tekniği işleyebilmesinden dolayı klasik sanatın dijital sanatın bir alt dalı haline geldiğini akla getirecek kadar genişletmiştir.

1.1.1. Fraktal sanat (fractal art)

Fraktal sanat, girdi olarak matematiğin kullanıldığı ve belirli desenlerin tekrarlamalarına yer veren dijital görüntüleme yöntemlerinden biridir. Genellikle

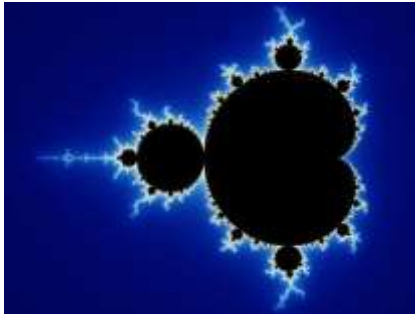
animasyonlarla ifade edilen ve izleyiciye eserin sanki sonsuz bir döngüdeymiş hissini veren, içerisinde matematiksel deklarasyonlar barındıran sanat yöntemlerinden biridir.

Fraktal sanat, 1980'lerden sonra gelişim sürecine dahil olmuştur (Bovill, 1996:153) Yeni medya sanatında matematiğin güzelliği ile üretici sanatında bir araya geldiği soyut sanat olarak da adlandırılabilen fraktal sanat, 1970'li yıllarda bilgisayar bilimcisi Benoit Mandelbrote'un ünlü fraktal görüntülerden bir dizi oluşturmasıyla ve diziye Mandelbrot seti adını vermesiyle tanınmaktadır (senarius.fr, 05.05.2023)

Fraktal sanat (özellikle batı dünyasında) az da olsa elle çizilmiştir. Yazılım yoluyla oluşturulan ürünler parametrelerin geliştirilmesi, uzun hesaplamalar için değerlendirme ve ürünün son halinin değerlendirilmesi gibi aşamalardan geçmektedir. Ürün oluşturulurken değerlendirme safhasında ise yazılım gözden geçirilmektedir ve tasarımcı esere isterse rötuş (post-processing) işlemi uygulamaktadır (Conner, 2009). Bu ürünler genellikle günümüzde basit yazılımlarla oluşturulmaktadır. Ya da yazılımcının kendisi çeşitli bilgisayar dilleriyle kendi aracını hazırlamaktadır. Bunlardan en çok bilineni Julia seti ve Mandelbrot (Görsel 1.3-1.4) tekniğidir (Burger ve Starbird, 2005: 475).

Görsel 1.3

Mandelbrot seti



Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Mandelbrot_set

1.1.2. Veri-işleme sanatı (data-moshing art)

Günümüzde sanat, teknoloji ile iç içe geçmiş çeşitli üretim yöntem ve tekniklerinin oluşmasına zemin hazırlamakla beraber kendisini sürekli yenileyerek farklı tarzda sanat ürünleri oluşmasına sebep olmuştur.

Bilgisayar bitlerle ifade edilen sayı setlerini kullanmaktadır (newatlas.com, 05.05.2023). Veri-işleme ise aslında 2000'lerin başında video uzantısı olan Divx'in bazı veri işleme ya da kaybıyla ya da kodek (codec) sorunu ile oluşan görüntüler (Görsel 1.4) ile ortaya çıkması ile değer kazanmıştır. Bu hasarlar bazen jpeg gibi dosyalarda da göze çarpmaktadır. Jpeg dosyalarının çözme (decode) ya da şifreleme (encode) edilmesi (kuantizasyon işlemi ve huffman algoritmasının yanlış kullanımı ya da eksik dosya biçimi) ile oluşabilen bu hasarlar ilginçtir ki bir sanat alanının oluşmasına sebep olmuştur. Zamanla bu hasarlar kontrol edilebilir hale gelmiştir. Sanatçılar bu kusurları işleyerek dijital video ya da görüntülerle enteresan eserler oluşturmuştur (newatlas.com, 05.05.2023). Sanatçılar bu yöntemle verileri bilerek-manipüle ederek işleyip çeşitli efekt ve görseller meydana getirmişlerdir. Görüntüden ziyade daha çok videolarda kullanılmaktadır. Bunun nedeni, videoların daha fazla görüntü biçimlerine sahip olmasıdır. (ciit.edu.ph, 09.01.2023).

Görsel 1.4

Veri işleme sanatı ile ilgili bir örnek



Kaynak: <http://datamoshing.com/2016/06/15/how-to-glitch-jpg-images-with-data-corruption/>

1.1.3. Dijital kolaj sanatı (digital collage art)

Kolaj; daha önceki asırlarda da kullanılan ve üzerinde çeşitli yöntem ve tekniklerin bir araya gelip bir ürün oluşturabildiği sanatsal ürün yaratma tekniklerinden biridir. Klasik yöntemde kolajda yöntem; farklı form ve biçimdeki malzemelerin bir araya getirilmesidir. Dijital kolaj ise bu yöntemlerin sayısal bir makinede oluşturulan dalıdır. Şu an için klasik yöntemlerden tek farkı; üretim mekanizması olarak platformun bilgisayar ya da diğer işleme cihazlarına dayanması ya da hibrit olarak kullanılmasıdır.

Dijital kolajı daha geniş anlamıyla tanımlayacak olursak; herhangi hareketsiz bir görüntünün bir imaj yazılımı desteği ile kesilip biçilerek bir kompozisyon oluşturulması işlemi diyebiliriz. Daha önce bahsettiğimiz plastik sanatlarda kullanılan malzemelerden farkı yöntem ve malzeme olarak dijital ortamda hazırlanmasıdır (Görsel 1.5).

Görsel 1.5

Kolaj örneği: Kurt Schwitters, Das Undbild, 1919



Kaynak. <https://www.wikiart.org/en/kurt-schwitters/the-and-picture-1919>

Buna bağımlı olarak fotoğraf manipülasyonu olarak adlandırılan işlem tekniği ise, adından da anlaşılacağı üzere, tek bir görüntünün kompozisyonunun değiştirilmesi ve çeşitli katmanların kullanılarak üstü üste, yan yana ya da çeşitli kompozisyon yöntemlerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulmasıdır (blackcproduction.com, 05.05.2023). Bilgisayar dünyasında gerçekçi çevre tasarımları oluşturmak için kullanılan yöntemlerden mat-boyama (matte-painting) yöntemi de bu tekniğe dahil edilebilir.

1.1.4. Entegre sanat/karma medya sanatı (integrated art/mixed media art)

Görsel sanatlar alanında karma medya-entegre sanat olarak adlandırılan sanat biçimi; birden fazla girdilerin (medya-ortam ve diğer malzemelerin) kullanıldığı sanat alanı olarak adlandırabileceğimiz bir ifade yöntemi olarak tanımlayabiliriz (Vaughan, 2000), (tate.org: 09.01.2023).

Karma medya; kolajlar, asamblajlar ve diğer sanat alanları (heykel vb. gibi) farklı ortamların kullanıldığı yöntemlerden biridir. Bu sanatı yaratmak için kullanılan malzemeler arasında çeşitli materyalleri sayabiliriz (Görsel 1.6). Bu malzemelerin arasında kâğıt, atık malzemeler, tekstil ürünleri, ahşap, buluntu nesneleri sayılabilir, fakat bu malzemelerin biçimleri sınırlı değildir (Sugiarto ve diğerleri, 2021:7).

Görsel 1.6

Alberto Baumann, "Inheritance of the Twentieth Century" (1980).



Kaynak:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alberto_Baumann_Eredit%C3%A0_del_ventesimo_secolo_1980_cm_100x100.jpg

Karma sanatın kullanım alanını geniş olması onun sınırlarını zorlamak anlamına gelmemektedir. Bilakis malzeme alanının görsel malzemelerle artması ve kompozisyon oluşturulması (örneğin yağlı boya resim tekniği gibi malzemelerin sınırlı olması gibi.) oluşan ürünün geniş yelpaze olmasını sağlamaktadır. Karma medya sanatı iki veya daha fazla elementin tek bir ürün olarak oluşması anlamına gelmektedir. Ancak bu ürün dijital sanatın çıktı olarak kullanılması ile de birleşerek (fotoğraf, resim vb.) alanını genişletmiş olması sınır problemini ortadan kaldırmaktadır.

Karma sanatın pozitif yöntemlerinden biri sanatçıya deney yoluyla eser oluşturmasının yanı sıra çeşitli tasarım ve kompozisyonlara öncülük sağlaması açısından önemli olmasıdır. (ciit.edu.ph, 09.01.2023).

1.1.5. Üretken sanat (generative art)

Üretken sanatın temel taşlarından biri; birçok sistemi içerisinde bulundurması (müzik, edebiyat, bilgisayar vb. gibi.) ve tamamen ya da kısmen özerk bir yapıya sahip olmasıdır. Disiplinler arası da olabilen üretken sanat matematik ve birçok prosedürleri içerisinde barındırır. Yapay zekâ ile oluşturulan görüntüler de bu alana girebilmektedir. Üretim mekanizmasında oluşturan insan olmasından ziyade yapay olarak oluşturulmuş varlık terimi kullanılır. Daha geniş bir manada bağımsız bileşenlerin seçiminde insandan ziyade otonom sistemlerin tercihidir (Görsel 1.7).

Görsel 1.7

Vera Molnár, (Dés)Ordres, 1974. Plotter drawing.



Kaynak: https://dam.org/museum/artists_ui/artists/molnar-vera/des-ordres/

Bu üretim mekanizmasında orijinallik tartışılabilir. Çünkü algoritmaların ve üretim mekanizmasının seçiminde otonom sistemlerin kullanılması beraberinde üretici-olusturucu kişi sorunsalını meydana getirir. Üretken sanat görsel bir işleme yöntemi olmasının yanı sıra müzik (örnek sanatçılar olarak John Cage, Brian Eno) ve mimari alanlarda (Michael Hansmeyer) uygulama bulmuştur (magazine.artland.com, 05.05.2023).

Üretken sanat teknoloji ile birlikte anılsa da temelleri daha erken dönemlere dayanmaktadır (Çakıcıoğlu İlhan, 2022:78). İlerleyen süreçlere bakıldığında, üretken sanatı diğer sanat alanları ile bağdaştıracak olursak bu sanat akımlarının içerisinde Dadaizm ve Sürrealizm'den bahsedebiliriz. Fütürizm ve Bauhaus'ta gözlemlenen

makine estetiğinden de bahsedebiliriz. Sonrasında Analitik Kübizmin gibi alanlara da taşınmıştır (crysalis.art, 20.09.2024).

Bu sanat akımları üretken sanatta olduğu gibi (otonom sistemler) öngörülemezlik ve rastgeleliği ifade biçimi olarak kullanır. Bu noktada sanatçılar-tasarımcılar, 1950'lerde analog sistemleri kullanarak bir dizi mekanik sistemlerle dijital malzemeler üretmişlerdir. Bu mekanizmalar 1960'lerden sonra oluşacak olan dijital sanat öncülerinin habercisiydi. Bu noktada bu öncülerin temel üreticileri şaşırtıcı bir şekilde sanatçılar değil bilim adamları ve mühendislerdi. 1970'lerde üretken sanat, bilgisayar laboratuvarlarından kaynak malzeme olarak çıkıp sanatçıların ifade yöntemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır (magazine.artland.com, 05.05.2023).

Üretken sanatı temel alan yapay zekâ ile oluşturulan görseller belli metinsel parametrelerin (doğal dil işleyicileri - NLP) bir araya getirilmesi işlemine dayanır. Program metinsel girdileri parçalara ayırır (stemming, lemmatization vb.), önceden betimlenmiş olan metinler arasındaki ilişkiyi kurar ve daha önceden işlenmiş görselleri (trained data) verilen kelime öbeğine en yakın şekilde işler.

Bu noktada kullanıcıdan bağımsız olan bu işleme süreci üretken sanat ile bağlantı gösterir fakat kullanıcı kelimeleri daha açık bir şekilde betimledikçe ve parametre sayısı arttıkça tasarımcı istediği imgeye yaklaşır.

Krita, Photoshop gibi yapay zekâ eklentileri (plug-in), tasarımın sınırlarını daha da esnek hale getirmektedir. Bu sebeple hemen hemen her ince detay işlenebilmektedir. Üretilen görseller, daha önce planlanan görsellerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu görseller farklı ışık, kombinasyon, renk yönetimleri ile bu varyasyonları hemen hemen sınırsız hale getirmektedir.

Yapay zekâ ile oluşturulan görsellerin etik kısmı ise tartışmalıdır. Çünkü yapay zekâ görsellere (datasets) internet üzerinden erişir. Her ne kadar bu görseller belirli görsel arşiv sitelerinden alınsa da bazı görseller ve modeller tasarımcıların internette paylaştığı çalışmalardan alınmaktadır. Örneğin bir portre işlenince, portrenin temel noktaları olan kaş, göz, burun, dudak, saç vb. kısımları bölümleme (segmentation) işlemine tabi tutulur. Daha sonradan bu bölümlmeye tabi tutulan kısımlar farklı portrelerden elde edilen bölümlmelerle birleştirilince daha önce hiç var olmamış portreler üretilmektedir.

Galanter'e göre üretken sanat; yapay zekâ ile bağlantılı olarak rastgelelik, tahmin edilemeyen süreçler (belirsizlik), yordamsız üretim, fen bilimleri gibi izlenebilen-tahminlenebilen (sinyalizasyon) yöntemleri, izleyiciye bağlı simülasyon, zaman algısı ve üretimin doğal olması olarak sınıflandırmaktadır (Çakıcıoğlu İlhan, 2022:80).

1.1.6. NFT sanatı (NFT art)

Değiştirilemez token kavramı (Non-fungible tokens), son zamanlarda dijital sanatın bir üretim mekanizması olarak karşımıza çıktı. Bir anda yayılan bu yöntem rekor eser satışları ile gündeme gelerek ekonomik ticaret olarak finansal bir çıkış yakalamıştır. Dijital sanatın gelişim yöntemlerinden biri olarak sanat piyasasına etkilemiş ve daha önceden var olan ve güncelliğini koruyan biriciklik kavramına yeni bir olgu katmıştır. Yeni iletişim tekniklerini ortaya çıkmasıyla beraber insanlar duygusal yönlerini ya da duygu durumlarını üretilen ya da ürettikleri yeni ve çeşitli görsel ya da sembolik ifade biçimleriyle aktarmaya başladılar. Sosyal medyanın yeni arz-talep dengesi yeni görsel üretim mekanizmalarını oluşmasına ve görsel imgelerin lisanslanması sorununu beraberinde getirmiştir. NFT sanatı ve üretilen eserler, blok zinciri (block-chain) teknolojisi ve kripto para piyasası ile karakterize edilmeye başlandı (Bsteh, 2021: 1).

Robertson, sanatı ve bir nebze de olsa sanat eserini bir veri, sosyo-ekonomik gösterge ya da kültürel sermaye olarak tanımlamıştır (Robertson, 2005). Bu göstergeler zamanla sanatçı ile izleyici arasındaki mesaj döngüsünde bir yöntem geliştirdi ve bu durumda toplumsal göstergeler olarak ifade edilmeye başlandı. Her zamanki gibi sanat çevresinde görsel telif durumu ortaya çıkmıştır. Hem tek sanat eseri zincirleme veri şifreleme yönetimiyle farklı bir biricikleşme yöntemine hem de medya üzerinde dolaşan sayısız kopyanın durdurulması istemi ortaya çıktı. Bu nedenle dijital eserlerin orijinalliğini korumak maksadıyla NFT'ler ortaya çıkmıştır (Bsteh, 2021: 1).

Terim olarak kripto teknoloji blok zincir şifreleme (kriptolama) yöntemini kullanır. Bu yüzden bu teknoloji ile üretilen dosyalar sadece sahibine ait olan bir dosyadır. Sınırlı sayıdadır ve dijital sanat alanında kullanılmaktadır (Franceschet ve diğerleri, 2020, s. 1). Sanat eserini oluşturan ham (raw) ya da işlenmiş-harmanlanmış dosya biçimleri değiştirilemez belirteçler (NFT) teknolojisi kullanılarak şifreleme yapılmaktadır. Bu bir tür lisanslama yöntemidir ve kanıt görevi işlevini yerine getirir.

Sahiplik sertifikası olarak da söylenebilmektedir (Dean, 2021). Sonuçta NFT kriptolama yöntemi ile dijital nesne üzerinde benzersiz bir nesne oluşturulmuştur (Bsteh, 2021: 3).

1.1.7. Piksel sanatı (pixel art)

80li yıllarda Atari 2600, Nintendo Entertainment System, Sega Genesis ve ilk bilgisayar (Commodore vb.) gibi grafikleri işeyip oyun haline getiren ve günümüzde de kullanılan, sayısal veri işleme yeteneğine sahip, hareketli görsel imgeler ve kontrol mekanizması (kullanıcı etkileşimi) sunan konsollar ortaya çıktı. Bu mekanizmalar milyonlarca insana ulaşmış ve kendi kültürünün oluşmasına neden olmuştur. İşte ilk zamanlar ortaya çıkan bu nostaljik cihazlar piksel denilen RGB setleri görüntü depolama veri yöntemleri ile kullanıcıya ulaştırılıyordu (Görsel 1.8).

Görsel 1. 8

Piksel sanatı örneği



Kaynak: <https://x.com/pixeldiffusion>

Oluşan bu grafikler, çözünürlük olarak adlandırdığımız bu RGB veri setlerini monitör ve/veya TV ünitesine gönderip imaj oluşmasını sağlamaktadır. Bu RGB veri setlerinin büyüklüğü çözünürlük ile alakalıdır. Piksel sanatı sonradan bu nostaljiden yararlanılarak oluşturulmaya başlanan dijital sanattır (adobe.com, 10.01.2023).

1.1.8. Düşük-poli sanatı (low-poly art)

Düşük poligon sanatı ya da kısaca poligon sanat, video oyun endüstrisinde üç boyutlu nesneler oluşumunda kullanılan işleme yöntemlerinden kurgulanmaktadır. Zamanla gelişen dijital mekanizmaları mimari yapısı ve işlem kapasitesi-hızı oyunlarda ya da diğer alanlar da gösterim biçimini iyileştirmiştir. Piksel sanatı gibi düşük veri

setleri ile oluşturulan poligon sanatı basit geometrik yapıların tanımlanmasında (Görsel 1.9) ve görselleştirilmesinde kullanıldı (displate.com, 10.01.2023).

Görsel 1.9

Düşük poli sanatı örneği



Kaynak: <https://blog.displate.com/low-poly-art/>

Poligon sanatının miras aldığı geometrik sanatın kendi stilini 20. yüzyılda ortaya çıkan kübizmden miras aldığı söylenebilir (Low ve diğerleri, 2021). Geometrik sanat genellikle matematiğe atfedilse de bazı eserlerde sanatçının müdahalesi ile kendini şiirsel biçimde ifade etmektedir. Fakat günümüzdeki kullanımı analitik ya da programatiktir. Kübistlerin ve fovistlerin eserlerinde konuya olan önemi vurgulamaması ve bireysel dışavurumu desteklemesi ile bir nevi öznel bakış açısına dönüşümü, modernizm ve post-modernizme benzerliği ile alakalıdır. (Laporte, 1949:243-246).

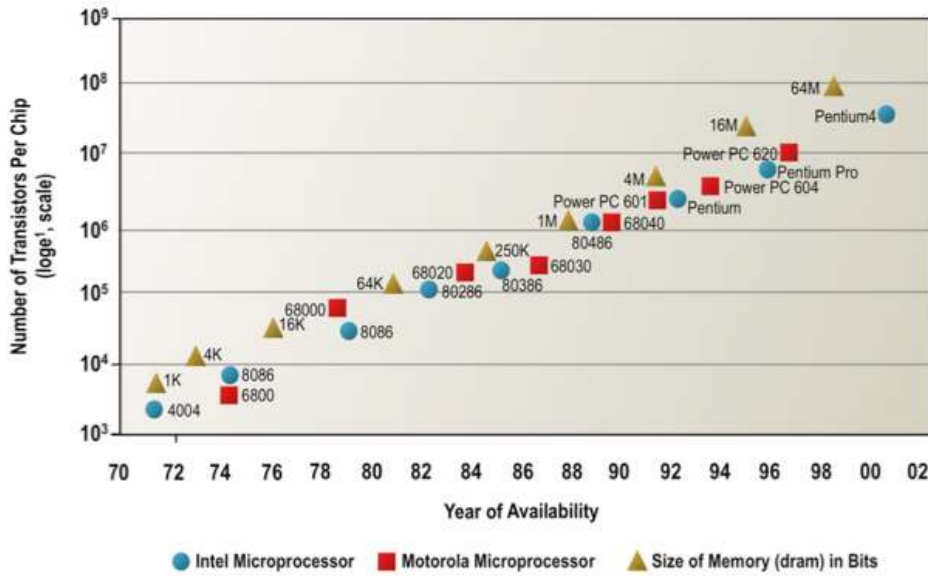
1.2. Dijital Sanat ve Işın İzlemenin Tarihçesi

Bilgisayar grafiklerinde fiziksel dünyanın temsili gerçeklik yanılsamasını oluşturmada önemli bir etkidir. Chiaroscuro ile oluşturulan bir resim, sahneyi dramatize eder ve ışık gölge kontrastı oluşturur. Rembrandt ve Rubens bu alanda ustadır. Bir resmin bu denli sahneyi dramatize etmesi, çeşitli temel etkenlere bağlıdır. Bunlar ışığın difüzyonu, aydınlatma etkisi, yansıma, kırılma, tonlama vb. gibi çeşitli fiziksel etkenlerin bilgisayar ortamında görüntülenmesi ile ilgili sorunu beraberinde getirmiştir. Bu tarz görüntülerin oluşturulması için tanımlanan çeşitli varyasyonlar donanım sorununu da beraberinde getirdi. (Appel, 1968: 1).

1960 yıllarında kullanılan yöntemler o zamanki işlem hızına sahip donanımlarda bugünkü itibarıyla kullandığımız üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinden nokta ve çizgi elemanlarını kullanırdı. O dönemlerde en fazla kullanılan yöntem, yarım tonlamalı (half-tone) yöntemi idi (Appel, 1968: 1). Yine o dönemlerde donanımın sahip olduğu işlem yöntemini geliştirmek ve daha gerçekçi görüntülerin işlenmesine olanak sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi gerekiyordu ve bu maliyetli bir yöntem idi (Warnock, 1969: 6). Önceleri renklendirme, gölgeleme, doku ve ışık efektleri bilgisayar grafik kullanıcıları tarafından kullanılamazdı. O zaman akla şu problem geliyordu: Bilgisayar grafiklerinin güncel durumu göz önünde bulundurulduğunda, mevcut teknolojinin bilgisayar grafiklerinin gücünü artırması için neler yapılabilirdi?

Görsel 1.10

Moore Yasasına bağlı olarak transistör ebatlarının yıllara göre değişimi



Kaynak: https://itlaw.fandom.com/wiki/Moore%27s_Law

Zaman geçtikçe transistörler küçüldü ve bilgisayarların hesap yapma gücü arttı. Transistörler küçüldükçe bilgisayar donanımına giren transistor parçacık sayısı da arttı. Bilgisayar donanımında Moore Yasası (Görsel 1.10) olarak adlandırılan ve bütünleşmiş elemanların lineer olarak zaman içerisinde artması (transistörlerde küçülme), değişime ışık yakmıştır (Ergen, 2023:5).

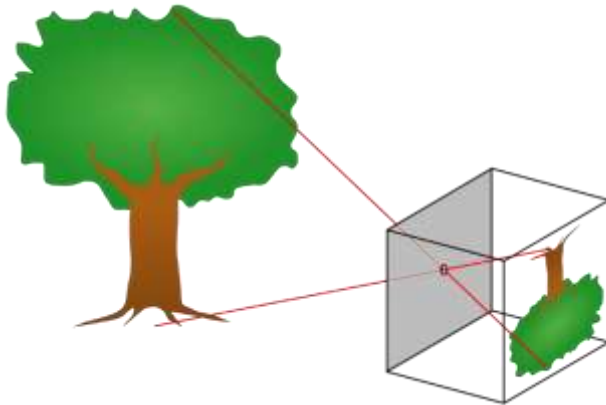
Şu anki transistor büyüklüğü 2-4 nanometre civarındadır. Zamanla bu boyut problemi belki de kendini kuantum mekanizmasına bırakacaktır (polularmechanics.com, 12.08.2022). Bu da bilgisayarların daha hızlı işlem yapma gücüne sahip olması anlamına gelmektedir.

Dijital çizimlerin mevcut gösterim donanımlarında hızlandırılması ve iyileştirilmesi için çeşitli yöntem ve deneyler geliştirildi. Bunların içerisinde yarım tonlamalı yönteminin geliştirilmesi de vardır (Appel, 1968: 3).

Yapılan ilk denemeler ışın izleme yöntemlerini barındırmaktadır. Bu deney rastgele ışın gönderip çizim üzerindeki testler ile temsili bir görüntü oluşturmayı kapsar. Bu yöntem ile ışık yoğunluğuna sahip bölgelerde sembolik elemanlar oluşturulursa fotoğrafa yakın bir görüntü elde edilebilecekti (Appel, 1968: 3). İlk zamanlar bu görüntüleme yöntemleri ışın izleme yönteminin mekanizmasına benzer bir yapıda olan ve kapalı kutu içerisine yerleştirilmiş bir cismin yine aynı kapalı kutuda oluşturulan delikten ışık girip ışığa duyarlı bir sensör plak aracılığıyla görüntülemeyi oluşturulabiliyordu. Bu noktada bu plak üzerinde negatif bir görüntü oluşmaktadır (Görsel 1.11). Daha sonraki gösterim benzetim yöntemleri bu sistemi kullanıp geliştirdi.

Görsel 1.11

Pinhole camera

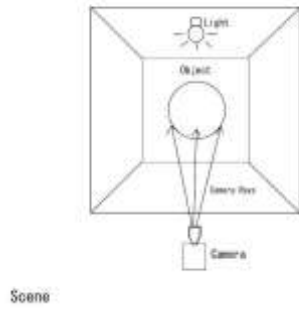


Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Pinhole_camera_model

Işın izleme, ışın aktarımı olarak tanımlanabilir (Görsel 1.12) (Haines ve diğerleri, 2019: 7).

Görsel 1.12

Işın izleme uygulamasında sahnenin kompozisyonu



Kaynak: Yazar

Işın izleme denilince sanatta Albrect Dürer'in tahta kesimi düzeneği akla gelir. Dürer, bir düzeneği geliştirerek ışın izlemede tarama (rasterization) yakın bir benzetim kurduğu söylenebilir. Bu mekanizma ışın izleme yöntemine oldukça benzemektedir. Buradaki benzetim Görsel 1.13'ten de anlaşılacağı gibi ışın yerine bir sicim düzeneği oluşturularak fotonun yerini sicimin almasıdır.

Görsel 1.13

Dürer'in mekanizması, 1525



Kaynak: <https://blogs.nvidia.com/blog/what-is-path-tracing/>

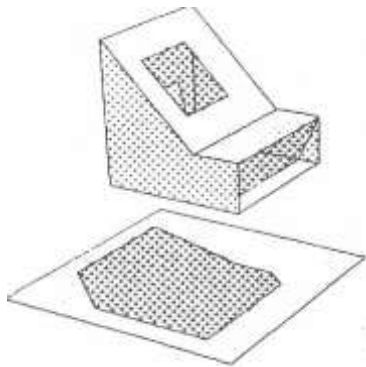
Bu görselde kanvas yerine bir çerçeve ve kaçış noktaları ile perspektife göre bir görsel oluşturma çabası içerisinde olduğu görülür. Dürer'in ayrıca burada perspektifi çözümlmek için de bu yöntemi kullandığı söylenebilir.

Bu noktada ışın izleme ile sanatın temel alanlarından olan perspektif olgusunun bilimsel bir yönle çözüm üretmeye odaklandığı söylenebilir. Belki de Dürer ışığın yapraklar arasından süzülüp gölge oluşturmalarını temel alarak bu düzeneği kurmayı planlamıştır. Işın izlemede bu kavram birincil gölge oluşturma ışını olarak adlandırılmaktadır.

Appel ışın izleme yöntemlerinde ışın düşürme (ray casting) denklemini ortaya atan ilk kişi olarak adlandırılır (Wald, 2004: 10). Bu tarzda bir görüntüleme yönteminin önemi, Arthur Appel tarafından 1968'de gizli yüzey algoritması (hidden surface removal) fikrinin ortaya atılmasıydı (Wald, 2004: 10). Appel, dijital bir çizici (plotter) üstünde gölge oluşumunu sağlayan bir sistem geliştirdi (Görsel 1.14). Bu sistemde gölgelendirme için paralel ışınlar oluşturdu ve bu yöntem resimledi. Bundan başka nesnenin sanal temsilinde materyal dokusu oluşturdu. Bu yöntem bu alanda atılan ilk adımlardan biridir. Bu noktada ışın izleme yönteminin oluşumu ve gelişimine giden adımlar atılmıştır. Appel'in attığı bu adımlar foto gerçekçiliği yakalamanın kilometre taşlarından biriydi (Görsel 1.14) (Gouraud, 1971: 1).

Görsel 1.14

İlk ışın izleme (ray casting) algoritmalarından bir örnek

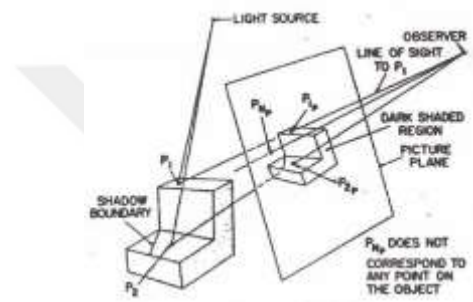


Kaynak: Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids

Işın izleme teknolojisinde kullanılan birincil ışın yöntemi ile oluşturulan gölgeleme yöntemi bugünkü kullanılan yöntemden biraz farklıydı. Ayrıca Appel oluşturduğu bu yöntemde henüz yansıma ve kırılmaları ele almamıştı (Görsel 1.15). Yalnızca göz ışınları ile gölge kavramını deneyimledi (Wald, 2004: 10-11).

Görsel 1.15

Işın izleme yüzeye projeksiyonu



Kaynak: Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids

Bu çalışma prensibi ile Appel, global aydınlanma (global illumination) sistemini de etki alanına almamıştır.

Eski dönemlerde bilgisayar grafiklerini işleme gücü siyah-beyaz görüntüler oluşturmayı sağlıyordu. Görüntüleri işlemek oldukça maliyetli idi (Warnock, 1969: 3). O dönemdeki araştırmalar bilgisayarların hesaplama gücüne oranla uzun sürmesi doğal olarak bu proses ve çalışmaları etkilemiştir.

İşleme denklemlerinin oluşturulması fikri pek eski değildir, ancak bilgisayar üzerinde bu yönetimin oluşturulması fikri yenidir. 1986'da James Kajiya, işleme denklemini bilgisayar grafikleri dünyasına tanıtmıştır. Oluşturma denklemi, bir yüzey elemanının giden ışık yoğunluğu ile sahnedeki diğer her yüzeyden gelen ışık yoğunluğu arasındaki ilişkiyi tanımlayan bütünleşmiş bir denklemdir (Truong, 2015: 4).

$$L_o(x, \omega_o, \lambda, t) = L_e(x, \omega_o, \lambda, t) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega_i, \omega_o, \lambda, t) L_i(x, \omega_i, \lambda, t) (\omega_i \cdot n) d\omega_i \quad (1.1)$$

Bu denklem pratikte analitik olarak çözülememektedir. Bu yöntemin çözülmesinde ana etken rastgele oluşturulan ışınlar ile yaklaşık tahminleme yapmaktır

(Truong, 2015: 4). Bu rastgele yön seçme yöntemi Monte Carlo simülasyonu olarak bilinmektedir. Monte Carlo simülasyonlarının çözüme yaklaşması için çok sayıda örnekleme (sampling) almak gerekmektedir (Truong, 2015: 7). Alınan bu örneklemeler ile o noktada oluşan piksel bilgi paketlerinin ortalama alınarak aydınlanma tahmini oluşturuluyordu. Bu işlem tamamen bilgisayar grafiklerine dayalı bir örneklemedir ve piksel kavramı ile ilgilidir.

Şu anki hali hazırda örnekleme yöntemleri piksel başına birden fazla örnekleme alınması yöntemine dayanmaktadır (Monte-Carlo simülasyonu). Örnekleme, genellikle kanvasın çözünürlüğüne bağlı olarak renklerde ya da nesne kenarlarında yumuşak geçişler (anti-aliasing) sağlamada faydalıdır. Bu yöntemler kullanılarak olasılık yoğunluk fonksiyonları (PDF'ler) kullanılmaktadır (Haines ve diğerleri, 2015: 12).

Işığın nesne ile etkileşimi ve düşmesinin çözülmesiyle sanatsal alanda bilgisayar grafiklerinin oluşturulması probleminin çözülmesi sanatsal alanda da kullanımı açısından önem arz etmektedir (Appel, 1968: 8). Önceki sorunların en büyüğü uzayda nesnenin bilgisayar ortamında üç boyutlu temsilini oluşturmak ve bu temsilin iki boyutlu yüzeye projeksiyonunu çözebilmektir (Warnock, 1969: 2). Bilgisayar grafiklerinde yakın zamana kadar tarama işlemi kullanılmaktaydı. OpenGL vb. yazılımlar oyun grafiklerinde bu tekniği kullanıyordu. Şu anki DirectX ve Vulkan program ara yüzleri ışın izleme yöntemlerini kendi bünyesinde barındıran modüllere sahiptir.

Üçgen şeklindeki poligon yapılarının taramada çeşitli sınırlamaları vardı. Kullanıcı etkileşimli bilgisayar grafiklerinde oluşturulan görüntüleme genellikle gerçek dünyanın simüle edilmesinde yaklaşık bir değer olarak kullanılmıştır, fakat fiziksel doğruluk payı düşüktür (Wald, 2004: 3). Bu türden tarama işlemleri kapalı formlara sahiptir ve çeşitli gölgeleme (shader) yöntemlerinin bir araya getirilerek bir imge oluşturulmasını sağlamaktadır. Işın izleme yöntemi ise lineer bir yöntemdir fakat yavaş işlem gücüne sahiptir. Bu işlem beraberinde foto-gerçekçiliği getirmektedir.

İzleyicilerde görsel algı üretimi ve gerçekçi görsel öğeleri yakalamak sanatçının geçmişten bugüne kadar sorun teşkil eden kısmıydı. Klasik yöntemlerle (örneğin yağlıboya vb.) gerçekçiliği yakalamak için sanatçılar her bir öğeyi ayrı ayrı ele almış ve sanatçı bu öğelerin resmedilmesini görünen dünyadaki imgeleri yüzeye aktarma probleminin çıkış noktası olarak ele almıştır. Öğelerin gerçekçi simülasyonu her zaman

ilgi çekmiştir. İzleyici bir çalışmayı tanımlarken nesnelerin algılanma biçimine dikkat eder. Somutlaştırma ya da soyutlaştırma yönelimine girer. Işın izleme somutlaştırma eğilimini sağlar ve ortaya konan ürünün somut yapıya ne kadar yakın olduğu ile ilgili bir arayış içerisine girmektedir (Görsel 1.16).

Görsel 1.16

Işın izleme tarihsel gelişim süreci



Kaynak: Yazar

Işın izleme genellikle sanat ilkelerinden perspektif ve materyal bilgisini konu edinen renk, kontrast ile ilgili noktaları da ele alır. Perspektifte ise kamera açısının milimetre cinsinden lens değeri ile ölçümünü ele alır. Renk ve kontrast ışığın yüzey ile etkisi yine sanatsal çalışmaların odağında olan malzeme bilgisini de gerektirir. Sanatçı bu malzemeyi renk, fırça vuruşları-biçimi ve yüzey gibi etmenlerle çözümlemeye çalışırken ışın izleme teknikleri bu malzemeyi tamamen matematiği odak noktasına alarak çözmeye çalışır ve yeterli bir denklem kurmayı gerektirir. Tabi ki de yüzey bilgisi tek başına bir bilim alanıdır ve ayrıca ele alınmak zorundadır, fakat her malzemenin fiziksel tahmini için gerekli olan geometrik yapı ve fizik bilgisi temel materyal biliminin öngördüğü temel ilkeler gözetilerek çözümlenebilmektedir. Rubens bu öğeyi ışık ve boyalarla oynayarak elde eder ve Caravaggio gibi ışık ile oynayarak değer verdiği öğeleri (malzemeleri) bu dramatik sahnede çözümleyerek estetik olguya ulaşmaktadır. Sanatçı, gerektiğinde yağlıboya malzemesine çeşitli türde elementler karıştırarak bu gerçekliği elde etme gayreti içerisinde. Bu nedenle tarihsel süreç boyunca sanatçıların gerçekçiliği olan tutkusu bilim insanlarının da problemlerinden biri olmuştur.

İKİNCİ BÖLÜM

2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE İŞİN İZLEME

Form, şekil ve nesnelerin belirli bir düzene göre tanımlanması Gestalt açısından tartışılan bir konudur (Roberts, 1963: 12). Mutlak anlamda sanat psikolojisi ve izleyici üzerinde etkisi Gestalt ile açıklansa da form bu psikoloji için iyi bir başlangıç sayılabilir. Bilgisayar destekli tasarımda üç boyutlu uygulamalar oluşturulurken bu formların en küçük yapı birimi büyük oranla üçgen ve dörtgenlerle sağlanır. Bu birimler bir araya gelip formu ve nesneyi oluşturmaktadır. Burada vurgulanmak istenen ana konu birimler bir araya gelip formu oluştururken ortaya çıkan imgenin insan üzerinde yarattığı etkidir (Görsel 2.1).

Görsel 2.1

Tomb Raider oyun karakterinin yıllar bazında poligon sayısına göre değişimi



Kaynak:

https://www.reddit.com/r/TombRaider/comments/9hx3ox/lara_croft_face_evolution_by_pedrocroft/

Bilgisayar destekli tasarımda bu birimlerin bir araya gelmesi ve yoğunluk üretmesi, köşeli formların çözünürlüğü ile alakalıdır. Az poligon sayısı ile çok poligon sayısı arasında görsel olarak fark vardır. Bu ikisi arasındaki etki sanatsal bağlamda birbirinden farklı Gestalt etki yaratmaktadır (Gao, 2008:S 895-897).

Bilgisayar ortamında oluşturulacak imgelerin teknik analizi tanımlanacak olursa, objenin belirli meta veri kümeleri ile sisteme aktarılması, yazılımcı ya da kullanıcı tarafından programlarla işlenmesi sürecini kapsar. Tasarımcı bu verileri tanımladıktan sonra istediği biçime dönüştürmek için yorumlamalar da yapabilir. Makine-insan arasındaki bu iletişim; yorumlama-değiştirme mekanizması çeşitli girdi ve çıktılarla tabir edilen arayüzlerle (fare, klavye, tablet, yazıcı vb.) dijital dönüşüm sağlamaktadır. Bu arayüzü kullanan kullanıcı ya da tasarımcı verileri bilgisayar ortamına işledikten sonra yukarıda bahsettiğimiz işlemleri harmanlayıp ürün haline getirebilmektedir (Johnson, 1963: 347).

Tasarımcı için ideal bir sanat eseri ya da görsel malzeme oluşturmak makine-insan ilişkisine dayanmaktadır. Nitekim çizim yapan bir tasarımcı genellikle tablete iyi hâkim olmak zorundadır. Bu zorunluluk, klasik yöntemde el-göz-kas vb. organların koordine bir şekilde çalışmasına benzer. (Johnson, 1963: 348). Bu noktada yazılım bilgisi, donanım bilgisi, sanal bir ortamda oluşturulacak nesnenin bilgi paketleri ve bu bilgi paketlerinin nasıl işleneceği ile ilgili temel ilke ve elemanlarının yanı sıra, işlemin temel mantığını da kavranması açısından önemlidir. Bu, temel işleme teknikleri için bir sorundur.

2.1. Bilgisayar Destekli Tasarım Temel Üretim Mekanizmaları ve Duyusal Alan İlişkisi

Dijital sanat teknikleri, şu anki ortamda medya ve yayın organlarının ana eksenini oluşturmaktadır. Oyun ve dijital yayın ortamlarında çeşitli video işleme (post-production) gibi çeşitli yöntemleri de barındırmaktadır. Bilgisayarın güncel alanlarda kullanılmasıyla birlikte sanatçılar eserlerini oluştururken ya direkt olarak bu teknolojiyi kullanmış ya da sanat eserinin ön hazırlığı olarak kullanmıştır (Popper, 1997).

Grafik tabanlı üretim süreçleri ise çeşitli temellere dayanmaktadır. Bu temeller sanat eseri üretim esaslarını aynı kılarken teknik ve malzeme üretim süreçlerinin planlanması için çeşitli mekanizmaların var olmasına bağlıdır.

Üretim mekanizmalarından bahsedecek olursak bunlar monitör gibi piksel tabanlı görüntüleme teknikleri ve baskı yoluyla alınabilen süreçleri de (üç boyutlu baskı da dahil) içerisinde barındıran geniş bir mekanizmadır. Çıktı olanakları farklı olurken ham üretim mekanizmasının genellikle bilgisayar tabanlı ya da daha çok yazılım tabanlı olması unutulmamalıdır.

Gerçek dünyada eser oluşturmak sınırsız malzeme çeşitliliğine bağlı olarak farklılık gösterir. Klasik sanat bu malzemeyi yağlıboya ya da benzeri karma tekniklerle çözümler. Bilgisayarda bu malzemeler gerçek dünyadan farklı; bir anlamda da sınırlıdır. Gerçek dünyada geçerli olan ağırlık, kütle, materyal farklılığı gibi bilgisayar ortamında olmayan bu türden fiziki elemanlar sanatçıyı karşısına sorun olarak çıkar. Bu sorunu grafik tasarımcı öğelerin büyüklüğü ya da renk vb. ile çözer. Işın izleme ise tıpkı fizikte olduğu gibi bu işi temel denklemlerle çözmeye çalışmaktadır. Artı olarak animasyon ile bir adım ön plandadır diyebiliriz fakat geleneksel sinema yöntemleri klasik yöntemler ile karma bir yol sunup bu dinamizmi çözmeye çalışmaktadır fakat bu dinamizmi oluşturmak için gereken imge oluşturma süreçleri zahmetli bir süreçtir.

Dijital sanatta sıklıkla kullanılan ve bu emek sürecini aza indirmek için oluşturulan aplikasyon tanımı; yazılımlarla oluşturulmuş ve belli görevleri (task) bir araya getirmek için tasarlanmış bilgisayar algoritmaları bütünü olarak adlandırılabilir. Sanatçı, belirli işlem paketlerini yürütmek için bu aplikasyonlardan yararlandığından bahsetmiştik. Bu işlemler, aplikasyonları oluşturan yazılım kısımları olan kod bloklarının hesaplama yaptığı bütünsel süreçlerdir.

Sanatçı, aplikasyonun türevlerine göre sanal zeminde malzeme üretir ve eser sürecini bunlarla planlar. Bu görevler sanatın temel ilkeleri göz önüne alınarak üretilmişlerdir. Örneğin aplikasyonlarda kompozisyonun temel elemanlarını belirleyen objelerin belirli bir bölgeye taşınması için kullanılan dönüştürme-taşıma (transformation) araçları gibi öğeleri ya da renklerin kolaylıkla değiştirilmesini sağlayan renk paletleri-tekerlekleri barındırabilir.

Şu bir gerçektir ki; aplikasyonların ürettiği sanatsal eleman üretim mekanizmalarının sınırlamalarına birini daha ekleyebiliriz: Sanatçı hayal ettiği girdiye ulaşmakta aplikasyonun sınırları arasında kalmaktadır...

Her ne kadar genellikle sanatçı bilgisayar dillerine aşina olmasa da program üreticileri kullanıcıya esnek bir yapı sunar. Bunlara eklenti (plug-in) adı verilir. Bu, tasarımcının hayal ettiği bir dijital öge oluşturmadaki sınırlarını kaldırmada etkili bir yoldur fakat ayrıca teorik bilgi de gerektirmektedir ve bu süreç prosesler üzerine prosesler eklenilerek elde edilmektedir.

Aplikasyonlar üretim elemanları yelpazesini günden güne arttırmaktadır fakat bir anlamda yukarıda bahsedilen durumlarda gerçek dünyadaki karşılığı, duyu organlarına hitap edecek durumda değildir.

Örneğin dijital heykel ile klasik heykel üretim mekanizmaları birbirinden oldukça farklıdır. Yukarıda da bahsettiğimiz fiziki temellerden (kütle, koku vb. gibi) yoksundur. Son yıllarda dijital iki boyutlu, üç boyutlu yazıcılar geliştirilme aşamasındadır. Fakat örneğin üç boyutlu baskıda kullanılan malzemeler sınırlıdır. Bu da grafik tabanlı üretimin (şimdilik) daha çok görsel algıya hitap ettiği sonucuna varmamıza neden olur.

Bunun dışında gerçek dünya ile iletişimi sağlayan, eğitim-öğretim, sosyal becerilerin oluşumu, psikoloji-sosyolojiden destek alan, sosyal medya, dijital oyun, tıbbi görüntüleme teknikleri, askeri, kamusal alanlar gibi çeşitli alan ve varyasyonlara grafiksel tabanlı uygulamalar-simülasyonlar dahil olmuştur. Burada sanal gerçeklik (virtual reality (VR)) artırılmış gerçeklik (augmented reality (AR))’ten de bahsetmek gerekir (Görsel 2.2).

Görsel 2.2

VR ve AR teknolojisinin eğitim ve simülasyon alanlarında kullanılması için önemli çalışmalar yapılmaktadır



Kaynak: <https://eonreality.com/putting-your-classroom-ar-vr-learning-plan-into-action/>

Bu teknolojiler, etkileşimli ortam sağlayan ve eğitim ve sosyal beceri tarafından bakıldığında birey/bireylerin de var olduğu katılım yoluyla öğrenme yaklaşımlarında devrim yaratan ve henüz yeni olan bir teknolojidir. Bu konu yeni olmasına rağmen uygulama yapısına bağlı olarak kurumsal ya da özel iştiraklerin öncülüğünde kitlesel bir program gerektirmektedir (Al-Ansi ve diğerleri, 2023: 1).

2.1.1. Bilgisayar grafiklerinde iki boyutlu tasarım süreçlerinde kullanılan girdiler ve uygulamalar

İki boyutlu görsel işleme; matematiksel koordinat sistemi kullanılarak bir x, y iki boyutlu düzlemde tasarlanan (bu çoğunlukla monitör tabanlı sistemlerde kanvas olarak adlandırılır) görsel işleme süreçleri olarak adlandırılabilir. Bu türden alanlar uygulamalar aracılığı ile sunulur ve eser üretimi bu temel yüzeyler üzerine konumlandırılır. Bu, tasarımcıların tuvalidir. Bez ve boya soyut nesnelerle gerçekleştirir. Genellikle sanatçılar hazır olarak sunulan uygulamalar aracılığı ile temel öğeleri kullanarak bu ortamda eser üretimi gerçekleştirir. Bilgisayar uygulamaları gelişim sürecine paralel olarak gün geçtikçe çeşitlilik ve gelişim göstermektedir. Bu gelişim süreçleri, çeşitli ihtiyacı karşılamak maksadıyla tümleşik görevleri yerine getiren programlar ile sağlanmaktadır.

İki boyutlu kanvas ve bu kanvas üzerinde çeşitli temel işlemleri yapan uygulamalar “işleme” ve “vektörel” tabanlı olmak üzere üretimler gerçekleştiren çeşitli programlar aracılığıyla iki bölümde incelenir.

İki boyutlu tasarım üretimi sağlayan çeşitli programlar vardır. Bu programlardan en çok kullanılanı Adobe firmasının tasarladığı Photoshop’tur. Photoshop rasterizasyon ve vektör tabanlı üretim sağlayan çeşitli araçları içerisinde barındırır. Ayrıca son dönemde ortaya çıkan yapay zekâ kavramıyla, içerisinde belirli görevleri yerine getiren tümleşik yapay zekâ araçlarını (FireFly) sunar. Gerçekten de yapay zekâ ile bu sınır ileri taşınmıştır.

Bu programlar katman (layer) tabanlıdır ve plastik malzemelerin görsel etkisini sağlayan çeşitli fırça ve kalıplara (patterns) sahiptir. İllüstrasyon, poster, logo üretimi, masaüstü yayıncılık gibi alanlarda üretim yapmak için idealdir. Ayrıca kendi içerisinde imaj düzenleme, görüntü işleme modülleri bulunmaktadır. Bu modüller klasikleşmiş açıklık, kontrast ayarlama, renk üzerinde ve byte piksel seviyelerinde oynama (leveling) gibi hazır öğelerdir. Ayrıca hızlı üretim sürecini sağlayan otomasyon sistemi, örneğin

eylem (actions) gibi çeşitli araçlara sahiptir. Program ayrıca kullanıcıya esnek bir yapı sunar. Tasarımcı kendi görev, fırça, kalıplarını üretebilir, arşivleyebilir, tekrar tekrar kullanabilir. Bu programlar ücretli ve açık kaynak kodlu olabilir.

Tarama ve vektör tekniği ile işlemeyi sağlayan bu programlara ek olarak açık kaynak kodlu ve ücretsiz olan Krita ve GIMP'ten bahsedebiliriz. Bu tip programlarla bit harita (bitmap) tabanlı çizimler yapılabilir ve Photoshop'taki gibi konsept üretimini sağlayan benzer yapılar barındırabilir. Bunların dışında daha önceki zamanlarda kullanılan ve çoğunlukla vektörel tabanlı işleme yapan programlara örnek olarak Freehand'den bahsedebiliriz. Freehand ayrıca masaüstü yayıncılıkta da kullanılmıştır. Son zamanlarda yine Adobe firmasının piyasada kullandığı vektörel ağırlıklı üretimin sağlandığı Illustrator programını da örnek verebiliriz.

2.1.2. Bilgisayar grafiklerinde üç boyutlu tasarım süreçlerinde kullanılan girdiler ve uygulamalar

Bilgisayar grafiklerinin geçmişi yakın sayılsa da üç boyutlu grafiklerin istenen bir şekilde şekil alması yakın zamana aittir. William Fetter, Boeing çalışmalarını tanımlamak için ilk defa bilgisayar grafiği terimini ortaya atan kişidir. Bilgisayar grafiklerinin kullanıcı ile etkileşimine dayanan ilk örnekleri 1963'te Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nün Lincoln Laboratuvarı'nda ortaya çıktığı öne sürülür. Bu dönemde ortaya atılan farklı türdeki örneklerle bilgisayar grafikleri alanında hızlı gelişmeler ortaya çıkmıştır. Hareketli görüntülerin ilk örneklerini Edwin Catmull ve Fred Parke tarafından oluşturulan ve üç boyutlu el modelinin animasyonu ile tamamlanan süreç olarak ifade edilmektedir. Sketchpad ise ilk üç boyutlu grafik uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır (archive.org, 15.09.2023).

Sketchpad'tan sonra çeşitli uygulamalar üretilmiştir. Fakat bugün de varlığını sürdüren uygulamalar arasında Autodesk firmasının uygulaması olan ve 90'larda ortaya çıkan 3d Studio uygulamasından bahsedilebilir. Sonrasında ismi 3ds Max olarak adlandırılmıştır (esasyrender.com, 15.09.2024).

Üç boyutlu uygulamalar günümüzde kullanım alanlarına göre farklılaşmaktadır. Kimileri animasyon, kimileri dijital heykel, kimileri video üretimi kimileri reklam sektöründe kullanılmaktadır. Fakat hepsi genel olarak Işın İzleme işleme (render) tekniğini kullanmaktadır. Bugün farklı işletim sistemlerinde kendini sürdüren ve yine Autodesk firmasına ait olan Maya, açık kaynak kodlu olan Blender, Maxon firmasına

ait Cinema 4D gibi uygulamalar düşük düzey modelleme yapan uygulamalar kapsamına alınabilir. Dijital heykel alanında Autodesk Mudbox ile yüksek poligonlu sahneleri başarı ile modellemede usta olan 2.5B kanvas sistemine sahip ZBrush'tan bahsetmek mümkün (Görsel 2.3).

Görsel 2.3

ZBrush dijital heykel



Kaynak: <https://www.scott-eaton.com/category/zbrush/page/3>

Autodesk kendi birincil yapısında Arnold Renderer işleyicilerini (engine-motor) kullanırken Blender; Cycles, Maxon Cinema 4D; Redshift işleme motorunu kullanmaktadır. Piyasada açık kaynak kodlu ve ücretli görsel işleyicileri de mevcuttur. Bunlardan en çok bilinenleri Octane, Mental Ray, V-Ray'dir. Bunlardan Octane Render açık kaynak kodludur fakat oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Mental Ray NVidia'ya aittir ve desteği 2017'de çekilmiştir (autodesk.com, 05.05.2025). Önceki yıllarda Autodesk 3ds Max programının birincil görüntü işleyicisiydi.

Bu uygulamalar prosesi hızlandırmak, üretim yapmak ve bazı iş yüklerini tanımlamak vb. gibi programın hemen hemen tüm sınırlarını ve üretim argümanlarını tanımlayan ve ayrıca kullanıcının kendi üreteceği algoritmalar için kullanılan betik diller (scripting) desteğini de sunmaktadır. Autodesk 3ds Max; Maxscript, Blender; Python, Autodesk Maya; Mel betik dillerini kendi içerisinde barındırır. Ayrıca bu

uygulamalar materyal üretimini kullanıcının kendisinin de tanımlamasını sağlayan açık kaynak kodlu OSL betik dilini de desteklemektedir. Betik diller kullanıcıya inanılmaz argüman çeşitliliği ve hızın yanında matematiksel ifadelerle yeni gölgeleyiciler (shader), model üretimi, fraktal mekanizması, materyal çeşitliliği, animasyon yöntemleri sunar. Kullanıcı burada programlama diline, programın çalışma sistemine, fen bilimleri vb. gibi alan bilgisine sahip olmalıdır. Bu bilgi ile üretilebilecek öğelerin sınırlılıkları yoktur.

Üç boyutlu tasarımcıların bilmesi gereken önemli noktalardan biri de tekstür işlemedir. Bu nokta da çeşitli tekstür işleme programları vardır. Bunlardan en bilineni Adobe Substance Painter olarak karşımıza çıkar. Önceki işleme yöntemleri Photoshop, Krita gibi iki boyutlu tekstür uygulamalarına dayanıyordu. Bu işlem sancılı bir süreçtir. Bu süreci özetleyecek olursak; üç boyutlu modelin uv haritası oluşturulur, dışa aktarılır. İki boyutlu uygulamada bu haritalama kullanılarak (projeksiyon) tahminlemeye yakın tekstürleme işlemi yapılır, işlemi kaydedilir, üç boyutlu programa aktarılır ve tatmin edici bir sonuç elde edilene kadar bu yöntemin iki boyutlu ve üç boyutlu program arasında gidip gelinmesine dayanırdı. Adobe Substance Painter ile üç boyutlu model üzerinde direkt boyama-tekstürleme işlemi yapılabilmektedir. Bu kalibrasyon ve tekstürü direkt model üzerinde görerek hazırlama işlemi sağlamakta ve hızlı ve tatmin edici bir sonuç elde etmektedir. Hali hazırda 3ds Max, ZBrush, Blender gibi uygulamalarda üç boyutlu boyama yapılabilmektedir fakat araçlar çok zayıf ve yetersizdir. Adobe Substance Painter fırça (brush) seçenekleri, hız ve farklı işleme teknikleri ile piyasaya hâkim olmuştur.

2.2. Bilgisayar Grafikleri Üretim Süreci ve İşleme (Render) Teknikleri

Bilgisayar ortamında oluşturulan katı cisimlerin tanımlaması ve bu tanımlamaların sanal ortamla paralel olarak gerçek evrende doğa kanunlarına göre tanımlanması beraberinde entegre bir süreci getirmektedir. Özellikle üç boyutlu evrende bu sürecin kontrolü ve belirli prosedürleri öğrenmek zaman almaktadır. Tasarımcı tıpkı yağlı boya yaparken öğrendiği kuramsal tekniğin yanında aletlere de hâkim olması ve kendini kas-bilinç yordamı yönünden geliştirmesi gerekmektedir (Roberts, 1963: 8). Bu noktada bu tarz işlemlerde ve özellikle gerçek dünyanın sanal dünyada varlığını sağlamak-tam olarak hâkim olmak için temel yasaları bilmek, bu işleyişin prosedürlerini bilmekle ilişkilidir.

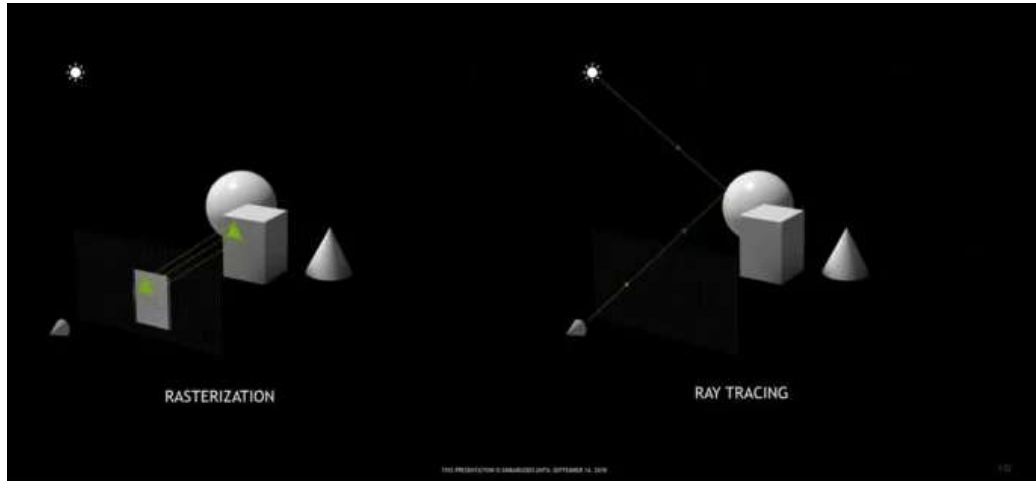
Görsel imgelerin bilgisayar dünyasına aktarılması süreci zorlu bir teknik süreçten geçmiştir (Roberts, 1963: 8). Bu tanıma çeşitli bilgisayar dillerinin gelişmesiyle kolay hale gelmiştir. İkilik düzen ile bilgiyi yorumlayan bilgisayar, zamanla yeni üst düzey programlama dillerin varoluşuyla bu işlemleri ve tanıma işlemlerini insan beyninin daha kolay anlayabileceği ifadelerle dönüşmüştür. Bu kolaylık ile daha gerçekçi imgeler daha kolay anlaşılır ve okunabilir ve aynı zamanda sistemli bir yazılımı diliyle oluşturulmaya başlanmıştır. C, C++, C#, Python gibi üst düzey programlama dilleri bu oluşumu kolaylaştıran sistemli yazılımlardır. Bu yazılımlar aslında konsol tabanlıdır. Fakat Windows, OpenGL, Vulkan, DirectX gibi kütüphanelerle veriler grafiksel verilere dönüştürülebilmektedir.

2.2.1. Fotogerçekçi işleme (render) teknikleri

Bir sahneye gerçekçilik eklemek veya bir sahnedeki belirli bölümlere dikkat çekmek için oluşturulan çeşitli işleme teknikleri vardır (Görsel 2.4). Bu bilgiler tarama sürecinden ışın izleme sürecine kadar zaman içerisinde bilgisayar grafiklerinin gelişim süreci kapsamında bakıldığında oyun endüstrisi çoğunlukla gerçekçi görseller üretmeye odaklanmıştır.

Görsel 2.4

Tarama ve ışın izleme görüntü üretme şablonları



Kaynak: <https://analyticsindiamag.com/global-tech/nvidias-real-time-ray-tracing-ai-powered-rtx-explained/>

Artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, 3d bilgisayar tarafından oluşturulan görüntülerle gerçekçi sahne görüntülerini sorunsuz bir şekilde üretmek, eğlence sektörü, sinematografi, tasarımların sanal dünyada nesne haline getirilmesi, tıbbi görüntüleme yöntemleri gibi arzu edilen ve geniş uygulama alanlarına sahip yöntemler, sanatçıların ve bilim adamlarının temel sorunlarından biridir. Zor olan görev ise imgelerin ya da form-fikir bazında düşünceyi oluşturan Gestalt etkisine sahip nesnelerin, sanal ortama aktarılması metotları ve yöntemleridir. Bu süreçler gerçekleştirilirken sanatçı problemleri süreçlerden geçer. Bu problemler; verilerin aktarılması, işlenmesi-harmanlanması, geometrik olarak ifade edilmesi, yüzey ilişkisi, kanvas gibi birbirine bağlı sorunlardır.

Veri aktarılması ve temsili, foto gerçekçi görüntüler oluşturmak için önemli faktörlerden biridir. Üç boyutlu alan oluştururken bu çevreyi üretmek ve etkileşime sokmak zor görevdir (Agusanto ve diğerleri 2003: 1).

Sinema endüstrisinde oluşturulan efektlerde gerçekçiliğe ulaşmak ise, tasarımcıların ana hedeflerinden biridir (Agusanto ve diğerleri 2003: 1). VFX işlemleri, mat-boyama, üç boyutlu işleme gibi teknikler bu alanlara da hitap etmektedir.

Fotogerçekçi işleme teknikleri, gerçek dünyanın fiziksel simülasyonunu sağladığı gibi deneme yanılma yöntemi ile yapılan bilimsel bir hipotezin doğruluğu da eser üzerinde kanıt oluşturabilir. Bu kanıtın tekrar tekrar kullanımı hem maliyet hem sanatçının karşılaşacağı riskler kapsamında bir kolaylık sağlar.

Fotogerçekçi uygulama yöntemi gerçek dünyayı temsil etmeye çalıştığı için bazı artı ve eksileri vardır. Örneğin mimari tasarımda önce eskizler çizilir ve üç boyutlu bina modellemeleri yapılır, bunu sonrasında malzeme testi vb. prosedürler izler. Bu girdilerden emin olduktan sonra oluşturulacak olan yapının gerçek dünyada imarı yapılır. Işın izlemenin artı yönleri bu şekildedir. Gerçek dünyadaki nesnelerin temsilinin bilgisayar ortamında oluşturulması bize önceden tasarlanacak metaların gerçek hayata kolaylıkla ve kontrollü bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır.

Eksi yönleri ise henüz bu metaların bilgisayar ortamında başarımı yetersizdir, fiziksel testler araştırma aşamasındadır. Ancak bize görsel olarak tatmin edecek iyi bir sunumu sağlaması zaman almaktadır. Örneğin ışın izlemede gürültü (noise) negatif durumlardan biridir. İşlem maliyeti fazla olan ışın izleme yöntemi gerçekçi fiziksel ışık kaynak ve yüzey yansımalarını sağlarken, gürültü oluşumunu engellemek için daha fazla örnekleme alınması gerekmektedir. Şu anki ışın izleme motorları gürültüyü

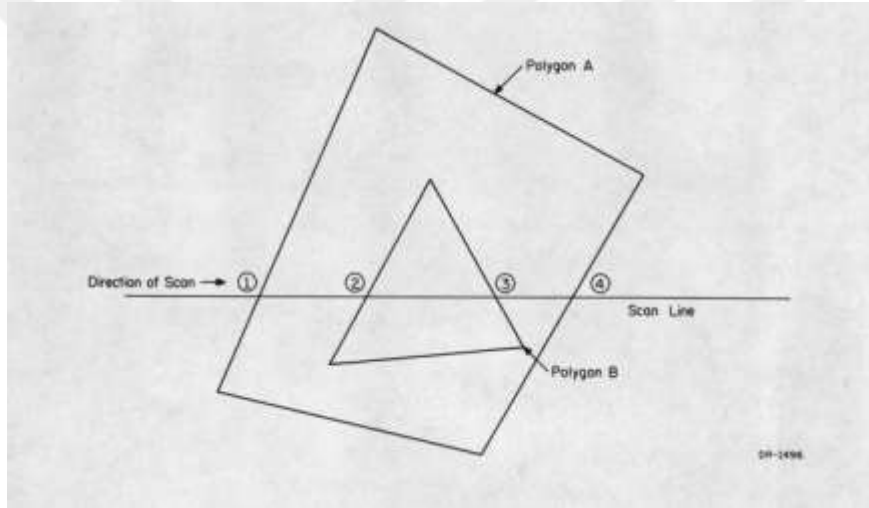
azaltmak için örneklemeleri arttırmayı ve gürültü kaldırma (denoising) uygulamalarını bir arada kullanmaya çalışmaktadır.

2.2.1.1. Tarama çizgi (scanline rendering)

Çizgi tarama yöntemi (Görsel 2.5) poligon-poligon veya piksel-piksel çalışma prensibi yerine satır-satır çalışma prensibine dayanan görünür yüzey belirleme algoritmasıdır. Tarama gerçekleştirilirken soldan sağa ya da genellikle yukarıdan aşağıya doğru bir sıralama yöntemi oluşturulur

Görsel 2.5

İki çokgenin İç ve Dış Taraması



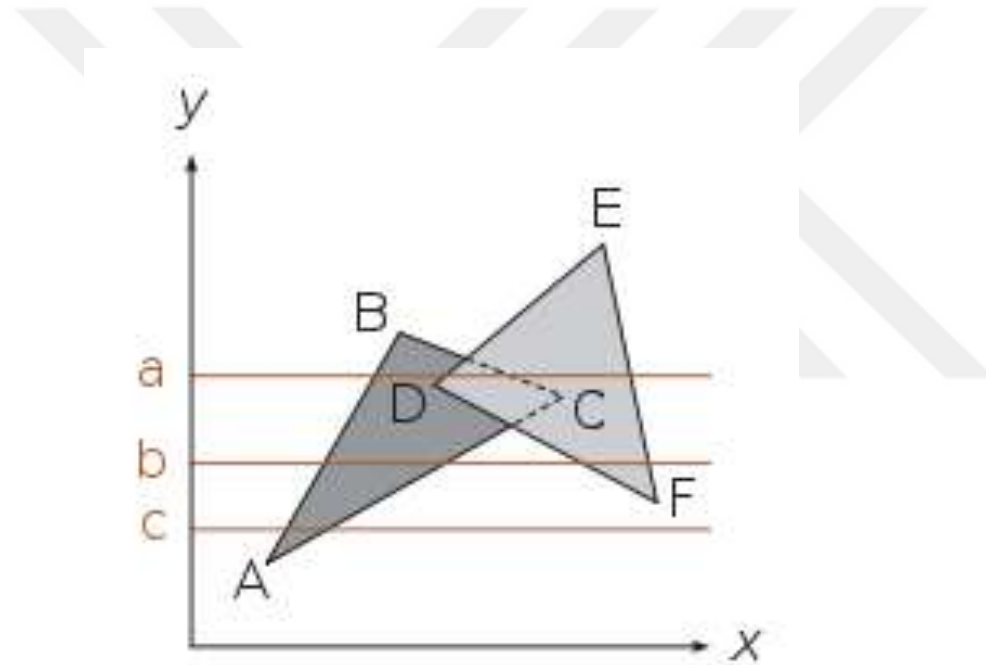
Kaynak: An Improved Procedure for Generation of Half-tone Computer Graphics Representation

Bu yöntemlerin öncüleri Wylie ve arkadaşlarıdır. Sadece üçgen yüzeylerden oluşan objelerin tasarımsal ve analitik yapısını gözlemleyebilmek için tarama algoritması geliştirmişlerdir. Algoritma, CRT (Chatode Ray Tube – Katot Işınlı Tüp) görüntüleme teknolojisi ile paralel olarak geliştirilmiştir. Appel ise imgeyi ifade etmede çizgi tarama yöntemini geliştirmiştir. Hangi yüzeylerin önde arkada olduğu ya da gözlemleyene göre görünürlüğü nicel görünmezlik olarak adlandırılan çokgen formlarını, bahsettiğimiz görünürlük problemlerini çözmeye çalışmıştır. Appel ise tasarımlarında birden çok ışık kullanmıştır. Bu da gölgeleme işleme tekniği açısından yetenekli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır (Bocjknight, 1969: 2).

Warnock kendi metodolojisini kullanırken düzlemsel yapılarda yarı tonlamalı görüntüleme tekniğini elde etmeye çalışmıştır. Yarı tonlu görüntü oluşturulurken iki önemli hususa dikkat çekmek gerekir. Sıralama yöntemleri (Görsel 2.6) oluşturulurken eğer sıralama kontrollü olmaz ise tarama kontrol verilerinin kullandığı bir şema ve büyük ebatlı görüntüleri elde etmek için kullanılacak işleme tekniklerini kullanıldığında donanım işlem gücüne bağlı olarak zaman problemi yaşanacaktı.

Görsel 2.6

Scanline Algoritması



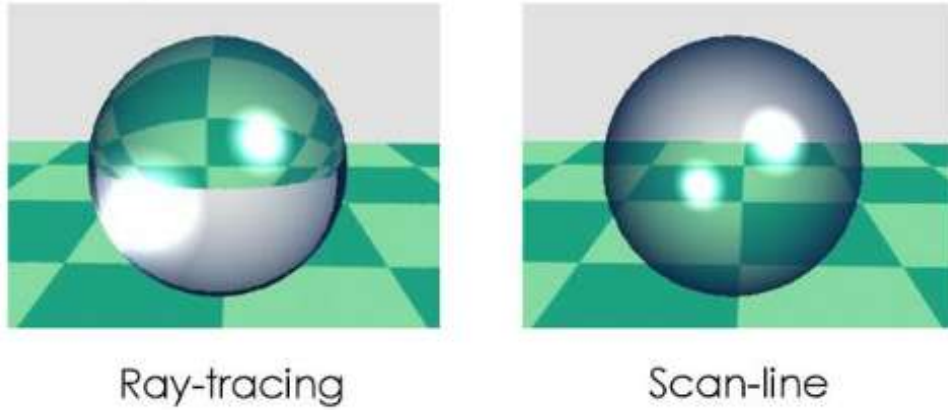
Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Scanline_rendering

Buna mukabil, büyük detaylı resimler oluşturulurken paralel olarak hesaplama zamanı da artacaktı. Bu da algoritma için iyi bir bilgisayara donanımına sahip olmayı gerektirmektedir (Bocjknight, 1969: 4). Bugün bile bu hesaplama maliyeti oldukça önemlidir. Yapay zekâ resimleri oluşturulurken şu an için güçlü bir ekran kartı şarttır. Bu işlemler yapılırken süper bilgisayarlarla oluşturulan render çiftliklerine (render farm) ihtiyaç vardır. Fakat bu yöntem ekonomik olarak abonelik gerektirir.

İşleme (render) almada bellek (RAM - Random Access Memory) önemli bir yer kaplamaktadır. İşlemede kullanılmak üzere hazırlanan bilgi paketleri, bilgisayarda bellek üzerinde saklanır. Bu yüzden teknik olarak bilgisayarın iyi bir bellek kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Buna ek olarak bellekteki bilgi paketlerinin işlenmesi için aynı zamanda iyi bir işlemciye (CPU - Central Processing Unit) ihtiyaç vardır. Belleğe yüklenen bilgi paketleri işlem yapılmak üzere işlemciye yönlendirilir. Burada işlemler yapılır ve görüntü arayüzleri ile piksel paketleri oluşturulur ve genellikle satır-satır grafik ara yüzüne aktarılır. Hızlı bir işleme sunmasına rağmen çizgi tarama yöntemi cam materyallerde başarısızdır (Görsel 2.7).

Görsel 2.7

Çizgi tarama ile ışın izleme yönteminin cam materyal karşılaştırması



Kaynak: <https://slideplayer.com/slide/13822387/>

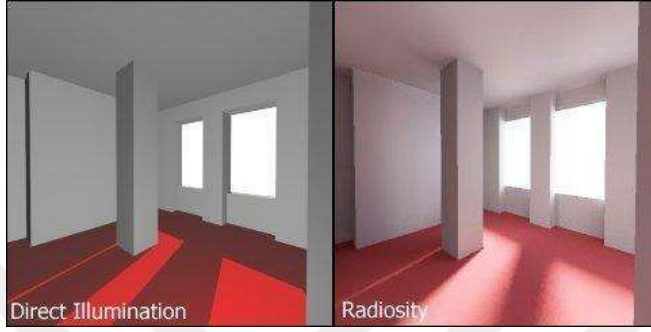
2.2.1.2. Radyosite (radiosity)

Bilgisayar ve diğer disiplinlerde radyosite kavramı bilgisayar ortamında sadece doğrudan ışığı kullanmayıp dolaylı yansıyan ışınları da hedef alan küresel aydınlanma yöntemidir. İlk olarak 1950’lerde ortaya atılan terim fizikte ısı transferi alanında hesaplamada kullanılmıştır. 1984’te Cornell Üniversitesi (Goral ve diğerleri, 1984) ve Hiroshima Üniversitesi (Nishita, Nakamae, 1984: S: 703-711) araştırmacıları bilgisayar grafikleri oluşturmak için geliştirmişlerdir.

Aşağıdaki görsel, direkt aydınlanma ile radyosite farkını göstermektedir (Görsel 2.8).

Görsel 2.8

Gölgeli, Standart Doğrudan Aydınlatma ile Yarı Gölge Radyosite Arasındaki Fark



Kaynak: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_\(computer_graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(computer_graphics))

İlk şekilde (direkt aydınlanma) keskin gölgeler göze çarpar fakat diğer şekilde (radyosite örneği) gölgeler yumuşamıştır. Başka bir ve en önemli fark diyebileceğimiz nokta ise yerdeki kırmızı rengin odanın rengine kattığı aydınlanmadır. Yerden yansıyan kırmızı nesnenin yaydığı ışık, duvarlarda da hafif tonlamalı olarak görülebilmektedir.

Özetle, direkt aydınlanmada sadece birincil ışınlar ile, yani ek yansımalar hesaplanmaya alınmadan işlem görürken radyositede her yerden yansıyan ışınlar hesaba katılmaktadır. (Haines ve diğerleri, 2019: 11).

Radyosite algoritmasının avantajlarından biri kolay olması ve diğer uygulama yöntemlerine göre daha basit olmasıdır. Bu onu küresel aydınlatma yöntemlerinde olumlu kılar, öğrenimi kolaydır. Mimari uygulamalarda odanın aydınlanmasını hesaba katmak için kullanılmaktadır. Tipik bir radyosite aydınlatma yöntemi sahne için gerekli olan tüm işlemleri (doku bilgisi, aydınlatma bilgisi, gizli yüzey ortaya çıkarma (hidden surface removal) yöntemlerini) içerisinde barındırmaktadır. Bu uygulamanın diğer yanı, güçlü bir matematik bilgisine sahip olmayı gerektirmemesidir (wikipedia.org, 10.10.2022). Ancak hareketli görüntüler elde etmek için uygun değildir. Bunun nedeni ortamdaki herhangi bir nesnenin ya da ışıktaki değişime bağlı olarak tüm sahnenin yeniden hesaplanmasını gerektirmesidir (Xing ve diğerleri, 2000:47-55).

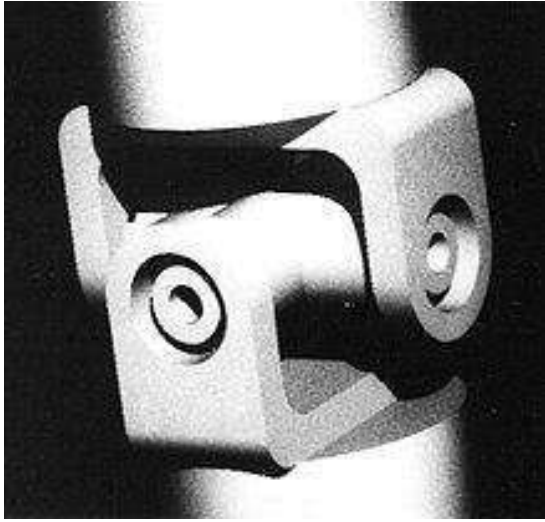
2.2.1.3. Işın dökümü (ray casting)

Işın dökümü-düşürme, ışın boyunca karşımıza çıkan nesneleri bulma yöntemidir (Haines ve diğerleri, 2019: 8). Işın düşürme terimi Scott Roth tarafından 1978-1980 yılları arasında General Motors Research Labs'tayken kullanılmıştır (Roth, 1982: 109–144). Makalesinde, bilgisayar ortamında oluşturulan katı modelleri (silindirler, bloklar gibi) matematiksel operatörleri (+: ekleme), (-: fark), (&: fark) kullanarak açıklamaktadır (wikipedia.com, 22.03.2021).

Kamera ya da izleyici tarafından pikselden gönderilen ışınları en yakın nesneye varıncaya kadar çarpışma testlerine tabi tutmaktadır. Bu çarpışma noktasından sonra ışığa bir ışın gönderilir ve gölgede olup olmadığı tahmin edilebilir (Haines ve diğerleri, 2019: 8). Bu yöntem ışın izleme yöntemine benzemektedir fakat veriyi işleme ve hesaplama yönünden farklılık göstermektedir (Görsel 2.9).

Görsel 2.9

Gölgeleştirilmiş üniversal mafsalın ışın düşürme (Ray Casting) görüntüsü (1979)



Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_casting

Işın dökümü, farklı algoritmaların oluşmasına ışık tutar. Üç boyutlu nesnelerin iki boyutlu yüzeye projeksiyonu mantığına dayanmaktadır. İzleyici-nesne-ışık ilişkisini açıklaması bakımından oldukça basit bir tasarıma sahiptir. Her ışığın yüzeyden

yansıması ve pikselde oluşan ışığın rengi ve parlaklığı gibi diğer etkenler hesaplanabilmektedir. Bu yöntem doğru bir görüntü elde etmede başarılıdır.

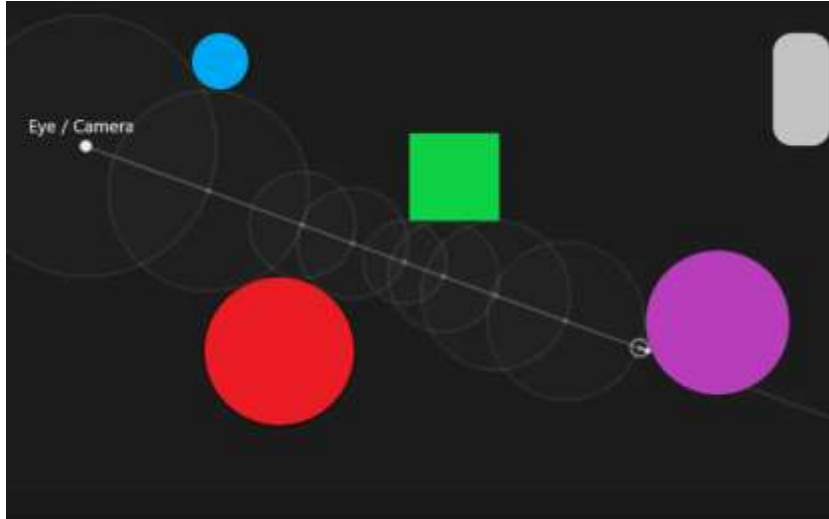
Yüksek hesaplama hızını kullanıp erken video oyunlarında bir dönem kullanılmıştır (wikipedia.org, 10.10.202). Ayrıca medikal görüntüleme yöntemlerinden olan tomografide yaygın olarak kullanılır. (Zhang ve Qingli, 2018).

2.2.1.4. Işın yürüyüşü (ray marching)

Işın yürüyüşü, sahnenin yüzeylere olan mesafesini hesaplamaya dayanan bir oluşturma tekniğidir. İlerledikten sonra henüz herhangi bir yüzeye ulaşmadıysa, ulaşana kadar veya ileri gidene kadar işlem tekrar tekrar denir. Işın yürüyüşünde ışın, lineer olarak belirli aralıklarla ilerlemektedir. Bu da ışığın bu mesafede örneklemesini gerektirir. Işın yürüyüşü belirli bir yüzeyin hacimsel gösteriminde kullanılmaktadır (Haines ve diğerleri, 2019: 13). Işın yürüyüşünde her defada çarpışma testi yapılır ve yüzeyin bilgisi alınarak o noktada bir aydınlanma işlemi yapılır (Görsel 2.10).

Görsel 2.10

Işın Yürüyüşü (Ray Marching)



Kaynak <https://gist.github.com/javiersalcedopuyo/fac64012fd36082571c07e6b46d24e70>

Işın yürüyüşünde en önemli sorun nesnelerin ışığa olan mesafesinin hesaplanmasıdır. Işın yürüyüşü ve ışın izleme (ray tracing) birbirine oldukça benzerdir. Aradaki fark, ışının, ışın yürüyüşünde ışın vektörleri boyunca ilerlemesi ile ışın için

belirli bir limit planlaması yapılmasıdır. Ayrıca kesişmeler ve mesafe denklemleri bakımından algoritmalar birbirinden farklıdır (dev.to, 05.03.2021).

Küre izlemede veya küre destekli ışın yürüyüşü, ışın ile işaretli bir mesafe fonksiyonu (Signed Distance Function - SDF) tarafından tanımlanan bir yüzey arasında bir kesişme noktası hesaplanmaktadır. SDF, yüzeyin herhangi bir bölümünü kaçırmadan mümkün olduğunca büyük adımlar atabilmek için her yineleme için değerlendirilir. Yüzeye yeterince yakın bir noktaya ulaştığında daha fazla yinelemeyi iptal etmek için bir eşik kullanılabilir (Hart, 1995).

Işın yürüyüşü genellikle parametrik formla oluşturulan modelleri işlemede başarılıdır (Görsel 2.11). Perlin tarafından hiper tekstür üretmek amacıyla kullanılmıştır (Perlin, 1989). Ayrıca işlemede zaman alan katılımcı medya (sisi, duman vb.) (Munoz, 2014) ve hacimsel işlemler (mekanik aksamalar vb.) için gayet uygundur (Han ve diğerleri, 2007).

Görsel 2.11

Hiper tekstür dokusu ile üretilmiş bir sahne



Kaynak: <https://alessandromancini.artstation.com/projects/ZJL9m>

Şu anki grafik arayüzleri ışın yürüyüşü sistemini kullanabilmektedir fakat hesaplama gücü fazla olduğundan sahnedeki poligon sayısına göre işlem maliyeti artmakta ve dolayısıyla animasyonda saniye başına düşen kare sayısı düşmektedir.

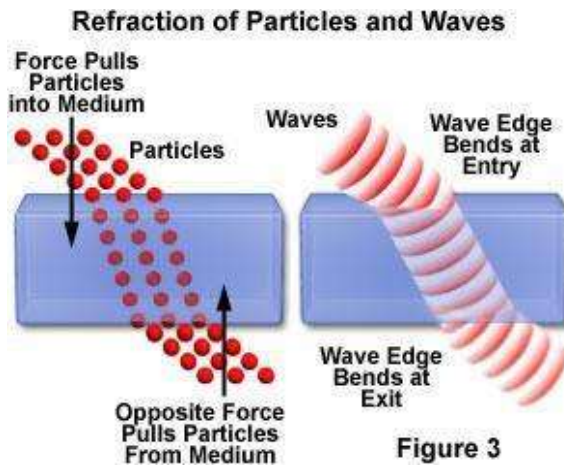
Grafik kartlarının işlem gücünü artmasıyla ve kuantum bilgisayarların kullanılabilirliği sağlandığı zaman bu problem ortadan kalkacak gibi görünmektedir.

2.2.1.5. Foton haritalama (photon mapping)

Foton haritalama, birçok yerde özellikle istatistikte kullanılan varyans teriminin azaltılmasında sapmayı kullanan bir yöntemdir. Burada veri depolaması mevcuttur. Ek olarak foton haritalama, oluşturulan sahnede geometrisinden bağımsız olarak nokta örnekleme veri yapısını kullanılmaktadır. Bu yüzden hem karmaşık hem de Lambertian olmayan yüzeylerin yansıma temsiline kullanım alanına sahiptir Foton haritalama yöntemi ikili geçiş yapısına sahiptir (Jensen ve diğerleri, 2003: 156). Bu yöntem, ışığın doğrusal bir yönde (parçacık-foton hareket varsayımıyla) ilerlediğini kullanan teoriye göre işlem yapma özelliğine sahiptir. Bundan başka ışının dalga şeklinde yayınlanmasını açıklayan teori de vardır. Fakat genellikle ışın izleme teknolojilerinde ışığın parçacık (foton) teorisi yöntemi kullanılarak aydınlanma hesaplaması yapılmaktadır (Görsel 2.12).

Görsel 2.12

Parçacık (foton) ve dalga teorisine göre ışının bir ortamdan diğer ortama geçişi (transition)



Kaynak: <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/particleorwave/refraction/index.html>

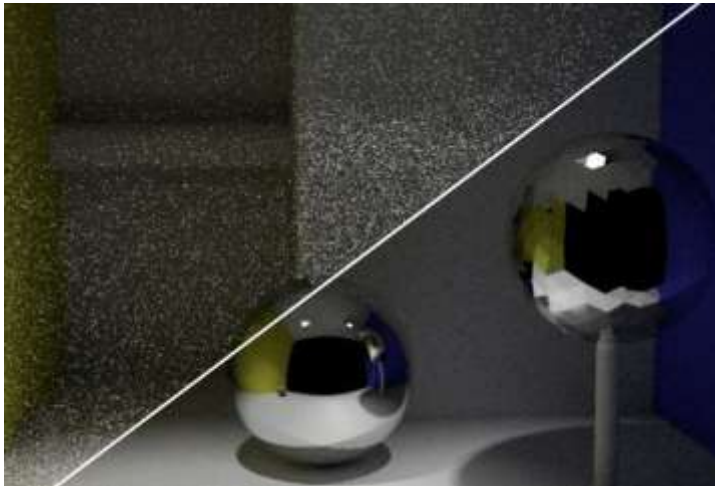
Aşamalı foton haritalama olarak da adlandırılan bu yöntemlerin ilki geçişin (pass) ışın izlemenin olduğu ve ardından herhangi bir sayıda foton izleme geçişinin

hesaplandığı çok geçişli bir algoritmadır. Her bir foton izleme geçişi aşamalı olarak hesaplanır ve giderek daha doğrusal bir hesaplama yöntemi ile küresel aydınlatama denkleminin çözümüne ulaşmaya çalışır. Daha gerçekçi görüntülere ulaşmak için sahnede foton sayısına bağlı olarak daha çok foton kullanılmalıdır. Pratikte tüm fotonların haritalanmasına gerek yoktur (Arvo ve diğerleri, 2003:12).

Foton haritalama yöntemi yüksek bellek kullandığı için doğrusal analiz ile aydınlatmaya gidilmesi ve hesaplama maliyetlerinin azaltılması daha verimli sonuçlar elde edebilmeyi sağlar. Şu an hali hazırda kullanılan Monte Carlo ışın izleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında bu yöntem kostik (caustic) oluşturmada başarılı, verimli ve etkili bir performans sağlar. Monte Carlo ışın izleme yöntemlerinin temel sorunu görüntü hesaplanırken gürültü olarak adlandırılan varyansa sahip olmasıdır (Arvo ve diğerleri, 2003:12). Oluşturulan görüntüde gürültü ve ateş böceği (fireflies) (Görsel 2.13) etkisi gibi istenmeyen etkiler oluşmaktadır. Bu türden istenmeyen etkileri önlemek için filtreleme yöntemleri ya da daha fazla örnekleme alınarak o noktada oluşan aydınlanmanın hesaplanması ile sorunun üstesinden gelinebilmektedir. Fakat bu yapılan işlemler ile işleme süresi paralel olarak artmaktadır.

Görsel 2.13

Gürültü (noise) ve ateş böceği (fireflies) etkisi ve filtreleme ya da yüksek örnekleme (sampling) ile imajın düzeltilmesi



Kaynak: <https://jo.dreggn.org/home/>

Foton haritalama, kostikleri ve speküler dağılım fonksiyonlarını başarmada kullanılan iyi ve tutarlı bir yöntemdir. İlk geçiş fotonların haritalanması ve depolanması ikinci geçiş ise görüntüyü işlemek için standart ışın algoritmasını kullanılmasıdır. Işın izleme geçişinde foton haritası, sahnenin farklı yerlerindeki aydınlanmanın hesaplanması ve bu aydınlanmanın birbirine yakın (komşu) aydınlanma tahmininin yapılmasında önemli bir rolü vardır. Bu yoğunluk tahmini ile speküler dağılımın hesaplanması önemli bir avantaj ve güç sağlar (Hachisuka ve diğerleri, 2011: 2).

Foton haritalama, 1996 yılında Jensen tarafından geliştirilen iki geçişli bir küresel aydınlatma algoritması olarak tanımlanmıştı (Hachisuka ve diğerleri, 2011: 2). Foton haritalama yöntemi, ışın izlemenin bir uzantısıdır diyebiliriz. (Christensen ve diğerleri, 2000: 8). Foton izleme yöntemi ışın izleme yönteminin bir üst yöntemidir ve gerçekçiliği artırmada kullanılabilir (Görsel 2.14).

Görsel 2.14

Foton haritalama yöntemi ile bir kostik (caustic) geçişi



Kaynak: https://pl.wikipedia.org/wiki/Photon_mapping

2.2.1.6. Işın izleme (ray tracing)

Işın izleme algoritmasını; bilgisayar ortamında oluşturulan nesnelerin görünürlüğünü sağlamak için sahnenin ışık tahmini bilgisi toplayarak görüntü elde etmeye dayanan bir dizi algoritmalar bütünü olarak tanımlayabiliriz (Truong, 2015: 2).

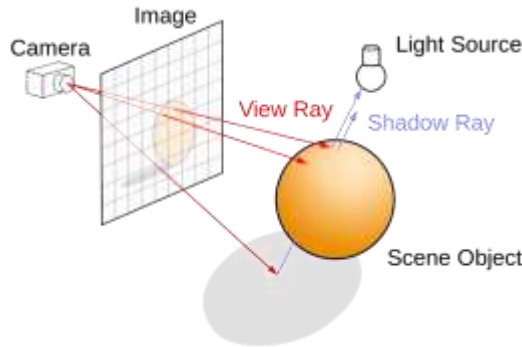
Işın izlemede, yüzeyin gölgesini oluşturan çeşitli yönden gelen ışınları belirleyip giden yön ile yüzey bilgisi işlenerek ışığın saçılma davranışını tersine çevirebiliriz.

Otuz yıl önce klasik ışın taşıma denklemlerini kullanarak nesnenin grafiksel olarak görünürlüğünü sağlanmasını araştıran çok sayıda makale yayınlanmıştır. 1990'lı yıllardaki temel algoritmalar, çift yönlü yansımayı ve bunun doğrusal denklemini ortaya çıkarmak için gerekli yöntemleri içermekteydi. Fakat bu tahminlemeler pratiğe dökülmemiştir. Bu pratikler Pharr, Jakob ve Humphreys'in kitabında tartışılmaktadır (Haines ve diğerler, 2019: 8). Işın izlemede dikkat edilmesi gereken noktalardan biri gelen ve giden ışın enerji miktarının tutarlı olması, yani enerji korunumunu sağlamasıdır.

Işın izleme tekniği, 1979'larda önerilen ve 1980'lerden sonra çeşitli yöntem ve tekniklerle fotogerçekçi görüntüler elde edilmesini tanımlamayan yüzey işleme teknikleri olarak tanımlayabiliriz. Şu an yüksek derecede poligonlu yüzeylere sahip oyunlarda ve animasyonlarda gerçekçi model oluşturmak için ana model olarak kullanılmaktadır (Ross, 2014: 3). Işın izleme yönteminde üç boyutlu sahnenin iki boyutlu bir görüntüsünü oluşturmak için kameradaki her bir pikselden sahneye ışınlar gönderilir (Görsel 2.15). Nesnelerin konumları ve yüzey bilgisi ile yüzey-ışık-gölge ilişkisi belirlenir. (Wald, 2004: 10). Optik yasası ele alındığı için bu noktada hesaplamalar yapılır ve hangi nesnelerin ışıktaki hangi nesnelerin gölgede olduğu tahmini yapılır (Üncü, 2004: 5). Sürekli çarpışma testi yapıla geldiği için zaman alan bir yöntemdir.

Görsel 2.15

Işın izleme mekanizması



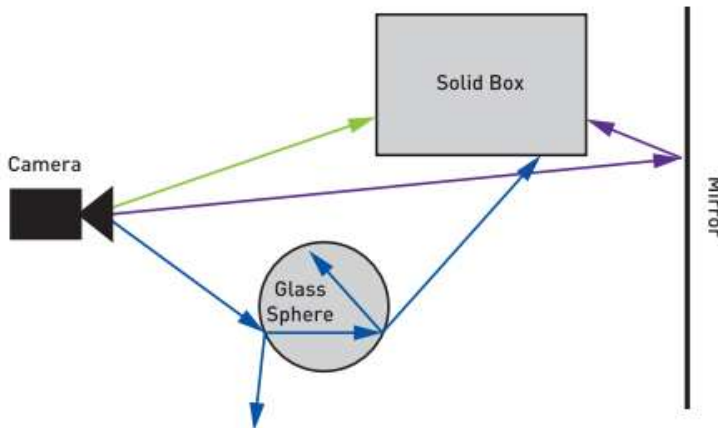
Kaynak: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ray_trace_diagram.svg

Sahneye gönderilen ışınlarla nesnelerin gölgede mi ışık alan bir konumda mı olduğu hesaplanır. Gönderilen ışığın çarpışmasından sonra sahnedeki ışığa bir kesişme noktasından ışığa doğru bir ışın daha (gölge ışını) gönderilir. Bu ışın kendine ya da herhangi bir nesneye çarparsa gölgede olduğu anlamına gelmekte ve pikseli global aydınlatma sistemi olmadığı sürece göreceli olarak siyaha ayarlanmaktadır (Truong, 2015: 3). Nesnenin konumuna göre aydınlanmanın geldiği yönü hesaplamak için sahneye çok sayıda ışın gönderilebilmektedir (Haines ve diğerleri, 2019: 10).

Fiziksel dünyada ışık yayan cisimlerden yansıyan ışıklar göze ulaşır ve görme olayı gerçekleşir (Haines ve diğerleri, 2019: 11). Fakat ışın izleme algoritmasında bu yöntem tersine çevrilmekte ve ışığa olan konumuna göre nesnenin aydınlanması hesaplanmaktadır. Bu durum fotogerçekçi görüntüler uzaklaştırmaktan biraz uzaktır fakat sonuç gayet iyidir. Işın izleme yöntemi ışıqla etkileşime giren nesnelerin kırılma-yansıma özelliklerini kullanarak yinelemeli (recursive) ışın döküm mekanizmasını kullanmaktadır. Bu, gerçek hayatta sürekli olarak yinelenir (Görsel 2.16). Fakat bilgisayarda bu işlem maliyetlidir. Bu yüzden maksimum ışın zıplama (bounces) sabiti belirlenir (Haines ve diğerler, 2019: 9).

Görsel 2.16

Işığın boşlukta hareketi



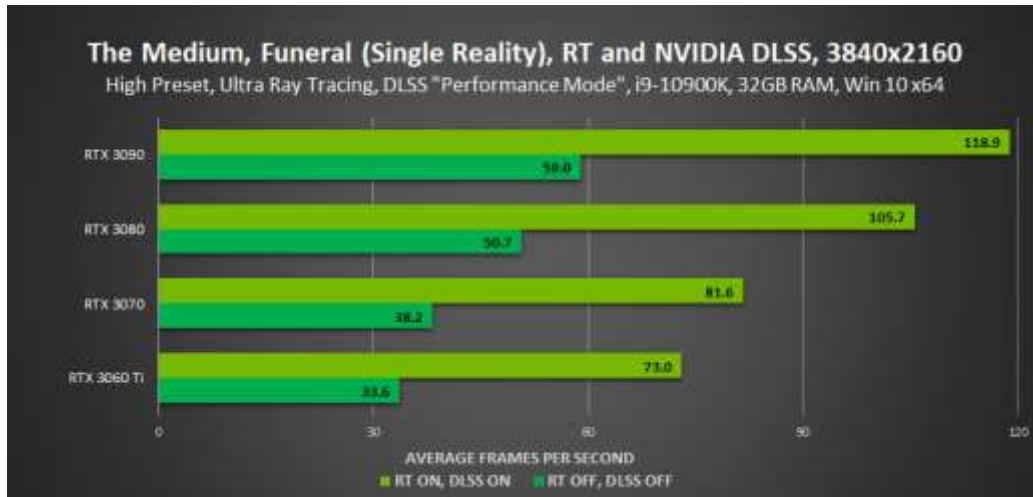
Kaynak: <https://iocscience.org/ejournal/index.php/mantik/article/download/1846/1417/5268>

Işın izlemede her bir piksel ayrı ayrı işlenmektedir. Sahnedeki nesnenin ekrandaki piksel konumunu belirlemek için her piksele ayrı ayrı işlem uygulanmaktadır (Ross, 2014: 3). Işın izleme algoritmasında belirttiğimiz sahne ışık etkileşimi ile ilgili veriler işlenir ve objelerin materyal-ışık etkileşimi bilgisine göre piksellerin rengi tayin edilebilir. İlk işlem nesnenin konum bilgisini içeren çarpışma testi, daha sonra sahnenin algoritmasının zenginliğine göre; gölge yansıma ya da kırılma ışınlarının oluşturulmasıdır (Truong, 2015: 2).

Nvidia ve AMD'nin piyasaya sürdüğü ekran kartları şu an ışın izleme teknolojisini kısmen desteklemektedir. Oyunlarda da hibrit bir şekilde ışın izleme ve tarama teknikleri sunulmaktadır. Görsel 2.17'te Nvidia ekran kartlarında ışın izlemenin kullanılıp kullanılmaması durumuna göre fps (frame per seconds) değerleri görülmektedir. Tabi ki ekran kartları ışın izlemeyi hızlandırmak için yapay zekâ destekli hızlandırma teknikleri kullanmaktadır (bknz. DLSS, Görsel 2.17). Burada ışın izlemenin yaklaşık iki kat daha yavaş olduğu gözlemlenmektedir. DLSS gibi teknolojiler fiziksel olmayan, yapay zekâ destekli tahminleme kullanmaktadır.

Görsel 2.17

Işın izleme açık ve kapalı fps örneği



Kaynak: <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/gfecnt/202110/back-4-blood-game-ready-driver/>

2.2.1.6.1. Özyinelemeli Işın İzleme Yöntemi (Recursive Ray Tracing)

Işın izleme algoritmaları gözden çıkan ışınların nesne ile etkileşimini hesaplamaktaydı. Bu işlem sahnedeki nesnelere göre tekrarlanır. Özyinelemeli ışın izleme işlemi bu algoritmayı devam ettirmektedir. Bu yöntem ile ışık-materyal ilişkisi irdelenir. Ayrıca ışının materyal ile etkileşimi gerçek dünyadaki simülasyonu -örneğin bir cam için kırılma ışığı üretmek gerekmektedir. Çünkü cam yüksek derecede kırılma oluşturabilen bir yüzeye sahiptir (Nikodym, 2010). Saydam malzemelerde kırılan ışınlar benzer bir şekilde çalışmaktadır. Yalnızca kırılma indisleri farklılığına göre ışık eğilip-bükülmektedir. Turner Whitted bu algoritmayı cam gibi saydam yüzeylere de uygulayarak farklı bir algoritma genişletti (Whitted, 1980).

Sahnede her ışığa doğru bir gölge ışını izlenir. Yüzey ile ışık arasında opak bir nesne bulunursa, yüzey gölgededir ve ışık onu aydınlatmaz. Özyinelemeli ışınlar, ışın izlemeli görüntülere daha fazla gerçekçilik katar.

Işın izleme yöntemleri tarama tekniği ile karşılaştırıldığında daha gerçekçi görüntüler oluşturması bakımından ek avantajlara sahiptir. Çünkü gerçek dünyayı simüle eden teorik denklemlere dayalıdır. Diğer algoritmalarda simüle edilmesi zor olan -örneğin cam gibi materyallerin doğal bir şekilde oluşturulmasını sağlar. Dezavantaj olarak fiziksel yasaları tahminlemede doğru bir örnekleme sağlanmasına karşılık geleneksel ışın izleme tekniklerinden farklı olarak daha az gerçekçi bir görüntü oluşturma mekanizmasına sahiptir; yani fotogerçekçilik azdır. (Goldman, 2016). Ayrıca kaynakları kullanma bakımından zaman alan bir işlemdir.

2.2.1.6.2. Geri Işın İzleme Yöntemi (Backward Ray Tracing)

Işın izleme yönteminin daha verimli oluşmasını sağlama için bir dizi teoriler türetilmiştir. Geleneksel yapıyı, yani kameradan sahneye gönderilen ışın yöntemini kullanan bu yöntemlerde aynı mantıkta hesaplanmaktadır, fakat denklemler birbirinden farklıdır. Bu yöntemlerin temeli ışın düzleminden ışının geçmesi ve o düzlem noktasından görülen nesnelerin sahne içerisindeki nesnelerle etkileşime dayanmasıdır. Işınlar bu tahminlemeyi yapar ve bilgisayar monitöründe ilgili pikselde renk oluşumu sağlanır. Geriye dönük ışık izleme yöntemi de bu tarzda çalışmaktadır (stanford.edu, 11.08.2021).

Geriye doğru ışın izlemenin dezavantajı, yalnızca belirli bir düzlemde geçen ışınların hesaplanmasıdır. Bazı durumlarda kusurlu görüntüler (glitch) elde

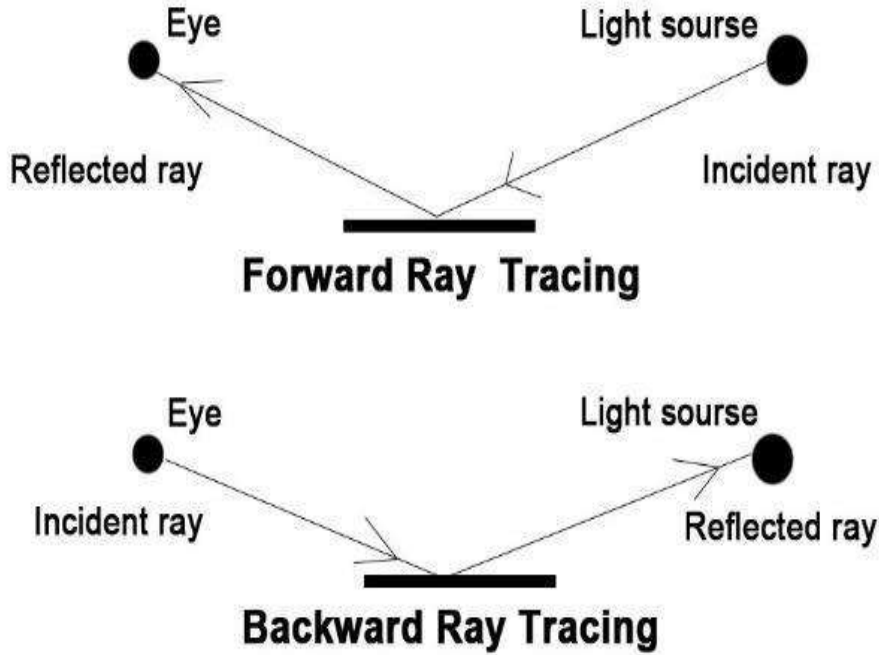
edilmektedir. Ayrıca bu sistemde merceğin yansıması doğru olarak hesaplanamamaktadır. Bazı durumlarda, bu varsayım kusurludur. Örnek verecek olursak gerçek dünyada bir ışığın altında bulunan bir cam, zemininde kostik dediğimiz ışıklar oluşur. Kostik dediğimiz yapı ışığın saydam cisimden geçerken belirli noktalarda yoğunlaşmasıdır. Geriye dönük ışın izleme yöntemi bu görüntüyü elde etmeyi tam olarak sağlamamaktadır (stanford.edu, 11.08.2021). Kısacası geriye doğru ışın izleme yöntemi kostik gibi ışık olaylarını oluşturmada başarılı değildir fakat en çok kullanılan ve en kolay metodolojik yapıya sahip ışın izleme yöntemlerinden biridir diyebiliriz.

2.2.1.6.3. İleri Işın İzleme Yöntemi (Forward Ray Tracing)

İleri ışın izleme yöntemi, fiziksel materyal işlemede en yakın görüntü elde eden yöntemdir. Işık kaynağından yayılan fotonlar nesneye çarpar ve renk bilgisi sahne ile etkileşimli olarak doğru bir şekilde belirlenir ve göze gelir. Hesaplama maliyeti açısından oldukça verimsiz olan bu teknik göze girmeyen ışınları da hesaba kattığından (Görsel 2.18) dolayı şu an için kullanılmayan bir yöntemdir (stanford.edu, 02.08.2021).

Görsel 2.18

Forward and backward ray tracing



Kaynak: <https://www.educba.com/ray-tracing-algorithm/>

Sonuç olarak baktığımızda her bir yöntem kendi avantaj ve dezavantajlarına sahiptir. Amaç, yeni üretim modellerine nazaran simülasyonda yanlışları en aza indirmektir. Taramadan ışın izleme yöntemine doğru giderken gerçek dünyadaki nesnelerin bilgisayar ortamında görselleştirilmesi ve bilimsel kurallara göre davranışı modellenirken modellerin doğruluk payını arttırma eğilimlidir fakat buna nazaran hesaplama maliyeti artmaktadır (Görsel 2.19).

Görsel 2.19

Tekniklerin gerçekçilik ve hesaplama maliyet durumu



Kaynak: *Yazar*

Sanatsal bağlamda bu yöntemlerin kullanımı tartışılacak olursa tasarımlar gerçek dünya ile evrende olmayan nesnelerin ya yalnız ya da hibritleşmiş durumdaki sunumudur. Bu noktada Rönesanstan Modernizme ve Postmodernizm süreçlerine kadar konudan bağımsız ve yeni bir tüketim evreni oluşmaktadır. Globalleşen dünyada

kültürler optimum düzeyde birleşirken işlenen konular t rp lenmekte ve yeni harmanlar oluşmaktadır. Fakat entropi kuramına göre bu yeniliklerin sınırı vardır. Sonuç olarak her metot kendi içerisinde doğruluk amacıyla keşfedilmiştir. Fakat doğruluk sağlarken zaman mefhumu önemlidir. Bugün bilim insanları keşif ya da deney yaparken zamana ihtiyaç olması bu durumun kendi içerisinde bir çelişki barındırmadığı sonucuna varılabilir. Yani  retim-keşif ya da bir meta verisi üretilse dahi bu üretim gerçekleştirilirken doğruluk payı ve zaman kaygısı her zaman ön planda en önde olmuştur. Sanatçı da buna ek olarak estetik kaygı ve altında yatan sosyal, kültürel ya da psikolojik nedenleri iyi kavramak zorundadır. Bu da sanatçının bir nevi biraz önce bahsettiğimiz bilgi ve yaşantı ile arasındaki bağla ilintilidir.

Fotogerçekçi tasarımlar yaparken resmin temel ilkeleri, ışığın doğası ve matematiği önemlidir. Matematik bilmeyen bir sanatçı bu işi vücut uzuvları ve beynine güvenerek çıkarımlar yapar ve eserine yansıtır. Fakat bu çıkarımları k ğıda dökmek hem sanatını icra ederken ne yaptığı konusunda belgesel bir kanıt sunar hem de işini kolaylaştırıp kendisine zaman sağlar. Bu noktada tasarımda kullanılan öğelerin belirlenmesi ve altında yatan sebeplerini netleştirilmesi önemlidir. Burada diğer disiplinlerden beslenmek son derece makuldür. Sanatçının ne yaptığı konusunda altında yatan nedenleri, araçları bilmesi önemlidir. Bu noktada bu kurallardan bahsetmek önemlidir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. IŞIN İZLEME UYGULAMASINDA KULLANILAN MATEMATİKSEL MODELLER VE SANATLA İLİŞKİSİ: GERÇEKLİĞİ İNŞA ETMENİN ESTETİĞİ VE BİLİMİ

Sanat tarihi boyunca, sanatçılar sürekli olarak algıladıkları gerçekliği iki boyutlu yüzeylere aktarmanın ve derinlik yanılsaması yaratmanın kadim sorunuyla boğuşmuşlardır. Rönesans'ın perspektif keşfinden beri, bu sanatsal arayışın temelinde hep bir matematiksel sistem ve bilimsel gözlem yatmıştır. Bugün ise, bilgisayar grafikleri ve özellikle ışın izleme teknolojisi, bu köklü sanatsal mücadelenin en çağdaş ve sofistike tezahürlerinden birini sunuyor. Bu bölümde, bir ışın izleme uygulamasının ardındaki matematiksel ve fiziksel modelleri derinlemesine incelerken, bu denklemlerin ve algoritmaların sanatçıya gerçekliği dijital bir tuvalde nasıl yeniden inşa etme, manipüle etme ve dönüştürme konusunda eşsiz ifade araçları sunduğunu, geçmişin büyük ustalarının eserleriyle paralellikler kurarak ele alacağız.

3.1. Üç Boyutlu Sistem

Üç boyutlu düzlem, en, boy ve derinlik gibi temel unsurları içeren, algıladığımız fiziksel uzayın soyut bir modelidir. Geleneksel sanatta, bir heykeltıraşın hacimli formu veya bir ressamın perspektif kullanarak yarattığı derinlik yanılsaması, iki boyutlu bir yüzeyde üç boyutlu bir gerçekliği çağrıştırmaya çalışır.

Işın izleme uygulaması, bu derinlik kavramını, her bir objenin uzaydaki fiziksel koordinatları ve yüzey üzerindeki kesin yerleşimleriyle tanımlayarak, sanal bir dünyanın matematiksel olarak kusursuz bir kopyasını yaratır. Sanatsal anlamda, bu üç boyutlu sistem; gerçek dünyadaki nesnelerin iki boyutlu dijital tuvale projeksiyonunu tanımlayan temel bir çerçevedir. Bu, Rönesans ustalarının çizimlerinden, minyatür sanatının bilinçli düzlemsel estetiğine kadar uzanan sanatsal yaklaşımların, dijital bir ortamda nasıl yeniden yorumlandığına dair çarpıcı bir örnektir.

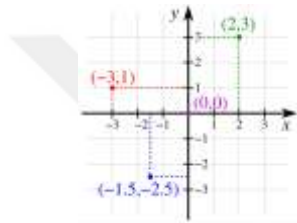
3.1.1. Koordinat sistemi: Sanatın görünmez iskeleti

Geometri literatüründe bir objenin uzaydaki çok boyutlu konumlarını belirleyen koordinat sistemi, sanatın mekânsal düzenlemesine dair köklü bir düşünsel mirası taşır. Filozof René Descartes ve matematikçi Pierre de Fermat'nın ortak dehasından doğan Kartezyen koordinat sistemi, sanatçının sanal bir uzayda bir nesnenin konumunu mutlak

bir kesinlikle tanımlamasını sağlar. Her bir eksenin (x, y, z, w...) (Görsel 3.1) sayısal değerlerle ifade edilmesi, nesnelerin orijin noktasına göre (Görsel 3.2) nasıl konumlandığını, tıpkı bir mimarın titiz çizimleri gibi, matematiksel bir kesinlikle belirler. Bu hassasiyet, dijital heykeltıraşlıktan mimari görselleştirmelere kadar uzanan sanatsal disiplinlerde, nesnelerin uyumlu ve estetik bir düzen içinde yerleştirilmesi için temel bir zemin sunar.

Görsel 3.1

Kartezyen koordinat sistemi

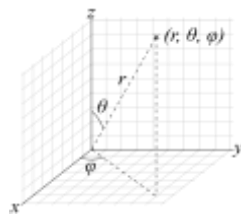


Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian_coordinate_system

Bu boyuttaki eksen sistemine bir örnek verecek olursak; nesnenin x eksenini için bir değer (x_1), y eksenini için bir değer (y_1) tanımlanır. Bu sayısal tanımlar nesnenin ya da noktanın ($P(x_1, y_1)$) düzleme doğrusal uzaklığıdır. Bundan ayrı olarak nesne eksi (-) ya da art (+) değerler alabilir. Bu da nesnenin, örneğin x eksenine göre orijin dediğimiz başlangıç noktasının ($x = 0, y = 0, \dots$) sağında ya da solunda olmasını belirler. Aynı işlem, y eksenini için de geçerlidir (Görsel 3.2). (caliper.com, 22.03.2021).

Görsel 3.2

Üç Boyutlu bir Koordinat sistemi ve o sistemde temsil edilen nokta

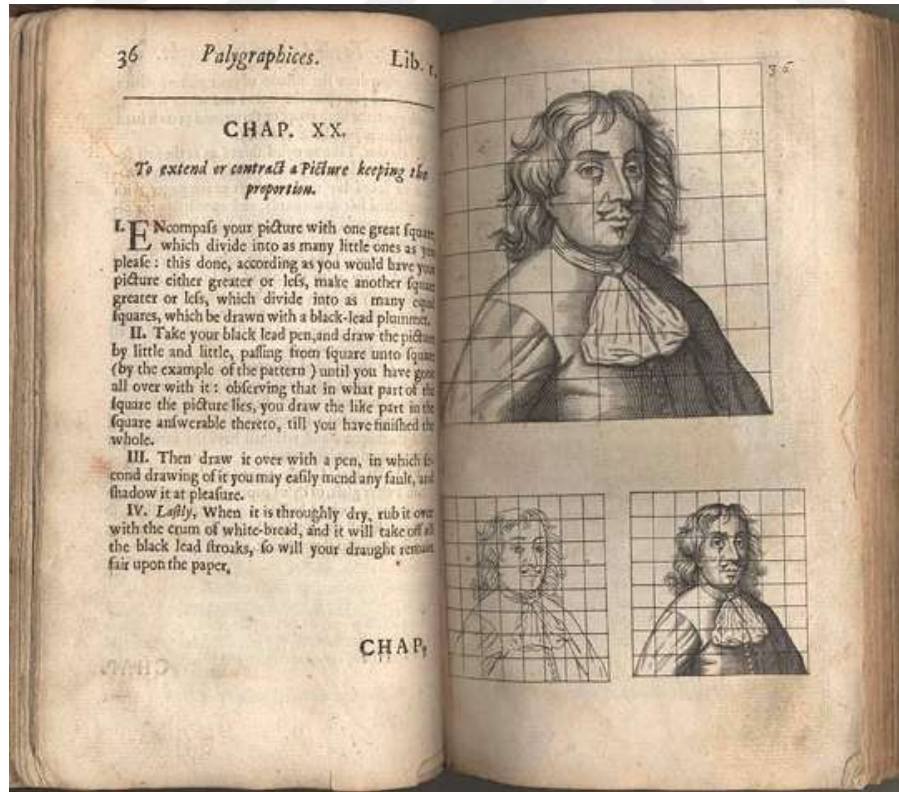


Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate_system

Öklid, Galile, Minkowski gibi bilim insanlarının katkılarıyla gelişen koordinat sistemleri, nesnelerin uzaydaki benzersiz konumunu belirleme kolaylığı sağlamıştır. Bu kolaylık, Orta Çağ'daki coğrafi keşifler ve Rönesans dönemindeki kartografi gibi alanlarla birlikte Batı sanatında da derin izler bırakmıştır. Sanat tarihçisi Rees'in de belirttiği gibi, kartografi ve sanatın ortak noktaları vardır (Rees, 1980: 1). Örneğin, kökeni Eski Mısır'a dayanan ve Batı sanatında Albrecht Dürer gibi sanatçılar tarafından da benimsenen grid çizim sistemi (Görsel 3.3), resimsel alanları bölümlere ayırarak kompozisyonun oluşturulmasında ve resmin projeksiyonunda doğruluğu sağlamıştır (Williamson, 1986: 6). Günümüz grafik tasarımında da koordinat sistemleri, nesneler arasındaki mesafenin uyumu, hizalama ve orantı gibi estetik kaygıların matematiksel doğrulukla çözülmesinde kritik bir rol oynar. Böylece sanatçı, "göz kararı" yerine bilimsel bir kesinlikle estetik bir mizanpaj sunar.

Görsel: 3.3

Eski zamanlarda grid kullanımı



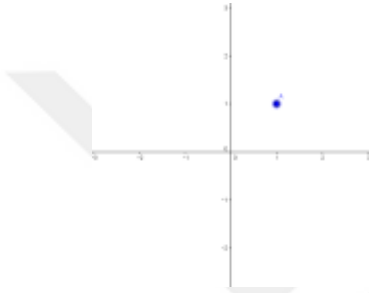
Kaynak: <https://www.katrinaaxford.com/the-grid-system.html>

3.1.2. Nokta: Dijital piksellerin şiiiri

Matematikte uzaysal bir konumu ifade eden nokta, dijital sanatta en temel yapı taşı olan pikselin soyut karşılığıdır. İki veya üç boyutlu uzayda belirli değerlerle tanımlanan bu noktalar (Görsel 3.4), bir araya gelerek geometrik objeleri (vektörler, çizgiler, ışınlar) oluşturur.

Görsel: 3.4

A noktasının koordinat düzleminde gösterimi



Kaynak: *Yazar*

Sanatsal bağlamda, noktaların bir araya gelerek görüntüyü oluşturması, 19. yüzyılın sonlarında ortaya çıkan Noktacılık (Pointillism) akımının öncüsü Georges Seurat'ının (Görsel 3.5) bilimsel gözlem ve bilinçli disiplinle doğayı aktarma prensiplerine çarpıcı bir paralellik sunar.

Görsel 3.5

Georges Seurat (1859-1891), "The River Seine at la Grande Jatte". Spring



Kaynak: <https://www.riseart.com/guide/2582/a-brief-history-of-pointillism?srsId=AfmBOorH2kRay1jX4d4aYYjTYu5BcfcMB8JpIWm9ID7O1YGhqG0jzGcc>

Seurat, optik kuralları bilinçli olarak uygulayarak, küçük renk noktacıklarının izleyicinin gözünde birleşerek daha zengin renkler ve formlar oluşturmasını hedeflemiştir. Bu yaklaşım, dijital sanatta piksellerin bir araya gelerek karmaşık görüntüler oluşturmasıyla şaşırtıcı bir benzerlik taşır. Sanatçı, bilinçdışı bir sezgiyle dahi olsa, aslında matematiğin sunduğu temel prensiplerden faydalanarak sanatsal bir etki yaratmaktadır.

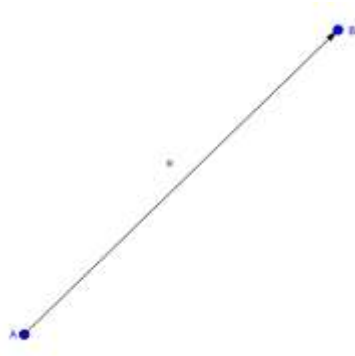
Nokta modellemelerinin sanatla ilişkisi eski dönemlere kadar yansısı da resimsel öğelerin yüzeye aktarımı belli matematiksel analize dayanmaktadır.

3.1.3. Vektör: Yön ve hareketin dinamiği

Vektör, iki veya daha fazla boyutlu uzayda bir noktanın konumundan veya belirli bir başlangıç noktasından uzaydaki başka bir noktaya olan yön olarak temsil edilen değer olarak tanımlayabiliriz (Görsel 3.6).

Görsel 3.6

Vektör



Kaynak: *Yazar*

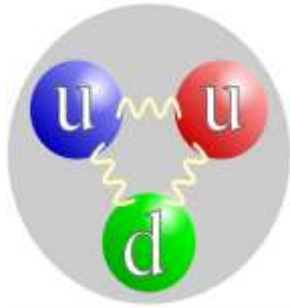
Vektör, skaler bir yapı olmaktan ziyade nokta geometrisinden farklı olarak yönü ve büyüklüğü (şiddeti) olan bir matematiksel olgudur. Yön ve büyüklük olgusu durağanlıktan yani potansiyel olmaktan çok kinetik vurguyu yani hareketsel bir olguyu ifade eder.

Örneğin A noktasından B noktasına hareket eden bir aracın konumu; yön, hız ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Buradaki kavramlar vektör olgusu ile açıklanabilmektedir. A, B noktalarına ait x, y, z bileşenleri gibi gerçek sayılar ya da koordinat olarak adlandırılan matematiksel değerlerle tanımlanır. x, y ve z bileşenleri, belirli bir noktaya ulaşmada cismin ne yönde ilerleyeceğinin temsili olarak kullanılır. Vektörlerin temel olarak başlangıç noktası is orijindedir (orijin: koordinat sisteminde başlangıç noktası). Bu nedenle başlangıç noktası boyutlara göre, örneğin üç boyutlu sistemde $[0, 0, 0]$ olarak tanımlanır (Cross, 2013: 13).

Hareketi temsil etmesi nedeniyle sanatta birçok kavrama eşlik etmektedir. Grafikte hareketli görüntülerin oluşturulmasında çokça kullanılan bir terimdir. Ayrıca sanatı temsil eden kavramlardan ışığın yönü, renk vibrasyonu ve oluşumu gibi terimler de kuark temelli parçacık fiziği modeline göre (Görsel 3.7) vektör ile temsil edilebilmektedir (gsu.edu, 23.11.2024).

Görsel 3.7

Kuark renk kuvveti



Kaynak: <https://en.wikipedia.org/wiki/Quark>

Sanatta gerçekçi modeller oluşturmak için vektör matematiğini iyi anlamak hayati bir araçtır. Bir sanatçı, belirli oranlarda renk karışımları yaparken rengin vibrasyonunu objenin vektörel büyüklüğüne göre hassas bir şekilde ayarlayabilir; bu, geleneksel resimde renklerin göz kararı ayarlanması yerine dijitalde matematiksel bir kesinlik kazanır.

Işığın yönünü ayarlama, üç boyutlu uzayda zenit ve azimut açılarıyla obje üzerindeki ışık-konum tespitini yapma yeteneği, dijital yazılımların sanatsal ifade

gücünü artıran temel unsurlardır. Nokta ürünü (dot product) ışığın nesne ile yaptığı açığı belirlerken, çapraz ürün (cross product) ise iki vektörden üçüncü bir eksendeki vektörü bulmaya yarar; bu da sanatçıya sanal bir ortamda ışıklandırmayı, kompozisyonu ve formasyonu hassas bir şekilde kontrol etme imkânı sunmaktadır (Shirley, 2018: 4).

3.1.4. Işın: Sanal dünyanın temel taşıyıcı fotonları

Geometride yarım çizgiyi ifade eden ışın, ışın izleme uygulamasının temelini oluşturan, sanal dünyadaki ışık teorilerinin bir temsilidir. Bir ışının başlangıç noktası, yönü ve üzerindeki herhangi bir nokta arasındaki parametrik ilişki (Formül 3.1), ışığın sanal bir sahnede nasıl yol aldığını ve objelerle nasıl etkileşime girdiğini belirler. Özellikle t parametresinin çarpışma mesafesini temsil etmesi, ışık ve nesneler arasındaki etkileşimin temelini oluşturur. Epsilon (ϵ) değeri gibi küçük sayısal toleranslar, yüzey çarpışma (self-intersection) hatalarını gidererek, dijital görüntülerin fiziksel olarak inandırıcı olmasını sağlar (Pohl ve diğerleri, 2020: 401-412).

İki boyutlu $y = mx + b$ parametrik form olarak kullanılır. Parametrik bir çizgi, A ve B noktalarının ağırlıklı ortalaması olarak gösterilebilir:

$$P(t) = (1 - t)A + tB \quad (3.1)$$

Bir ışın üzerinde belirli bir nokta hesaplanacaksa ışının başlangıç noktası ve ışın üzerinde bir t noktası belirlenir ve $t \in [0, 1]$ arasında değerler alır.

Bunu yukarıdaki denklemdeki gibi P noktasına döndüren bir $P(t)$ fonksiyon grubu olarak anlayabiliriz. Parametre gerçek bir sayı değeri aldığı anda ise $t \in [-\infty, +\infty]$ arasında değerler alabilir ve P olarak adlandırdığımız nokta, t değiştikçe çizgi boyunca bir değer elde edilir (Haines ve diğerleri, 2019: 15).

Formülde t noktası ışın izlemede çarpışma mesafesini temsil eder.

Işın vektör gibi geometrik bir eleman gibi algılansa da aslında bir çizgi üzerindeki herhangi bir noktayı temsil etmek için kullanılır. Işın izlemede ise teorik olarak fotonu temsil eder.

Görsel 3.8

Işının parametrik gösterimi



Kaynak: <https://www.physicsforums.com/threads/understanding-the-motion-of-a-bead-on-a-rotating-rod.718575/>

Yukarıdaki görselde (Görsel 3.8) aslında L noktası, çarpışma noktasını göstermektedir. Normalde çizgi, sonsuz uzunlukta bir olguyu temsil eder, epsilon (ϵ) değeri yüzey ile çizgi parçası arasındaki mesafe olarak tanımlanmakla birlikte matematikte genellikle hata payı olarak da adlandırılan küçük oranda bir sayısal değeri ifade eder. Işın izleme sisteminde epsilon değeri yüzey çarpışma (self-intersection) hatalarının giderilmesinde kullanılmaktadır (Pohl ve diğerleri, 2020:401-412).

Işın uygulama olarak nesneler arasındaki uzaklığı hesaplamada, nesnelerin ışıkla olan etkileşimi ve fiziksel olarak doğru ışık-yüzey ilişkisini hesaplamada kullanılmaktadır. Örneğin ışık kaynağına birbirinden uzak iki nesnenin alacağı aydınlanma değeri mesafe-yüzey ilişkisine bağlı olarak değişmektedir.

Sanatsal bağlamda ışığın kompozisyon üzerindeki etkisi sanatçılar bakımından göz ardı edilmeyen bir unsur olmasına göre ister düz yüzey ister kabartmalı rölyef ister üç boyutlu heykel olsun ışık, vazgeçilmez unsurlardan biridir. Sanatçının ışığı simüle etmesindeki amaç sanatçının bir değere ya da objeye atıfta bulunmasından ve onu istediği izlenime yüceltmesinden kaynaklanır.

Sanatsal bağlamda, ışığın kompozisyon üzerindeki etkisi yüzyıllardır sanatçıların göz ardı etmediği vazgeçilmez bir unsurdur. Işın izleme, mesafe ve yüzey ilişkisine bağlı olarak nesnelerin alacağı aydınlanma değerini fiziksel olarak doğru bir şekilde hesaplayarak, sanatçının ışığı bir ifade aracı olarak kullanmasına olanak tanır. İster düz bir yüzey ister kabartmalı bir rölyef ister üç boyutlu bir heykel olsun, ışık, sanatçının eserine ruh katan temel bir bileşendir. Sanatçının ışığı simüle etmesindeki amaç, belirli bir objeye veya değere vurgu yaparak onu istenilen izlenime yüceltmektir.

Empresyonistlerin ışığı renkle, Fovistlerin renk ve formla, Rönesans dönemi sanatçıların ise formla zaman ve mekân kavramını bir arada temsil etmesi, ışığın sanatsal ifade tarihindeki merkezîyetini gösterir. Diego Velázquez'in "Las Meninas"ında (Görsel 3.9) ışığın kompozisyonu nasıl düzenlediği veya Isaac Newton'ın prizma deneyinde (Görsel 3.10) ışığın bilimsel olarak nasıl analiz edildiği, aynı temel olgunun farklı disiplinlerce nasıl ele alındığını göstermektedir. Işığın ruh üzerindeki etkisi, renklerle olan ayrılmaz ilişkisi ve görünenin psikolojisi, sanatçılara izleyicinin ruh hali üzerinde derin ve kültürel anlamlar taşıyan etkiler yaratma gücü verir.

Görsel 3.9

Diego Rodriguez de Silva y Velasquez (1599-1660) "Las Meninas or The Family of Philip IV" (1656)



Kaynak: <https://www.amazon.co.uk/Fine-Arts-Reproduction-Rodriguez-Velasquez/dp/B004F4S0D6>

Görsel 3.10

Isaac Newton (1643-1727) prizma kullanarak ışığın renklerini analiz ediyor



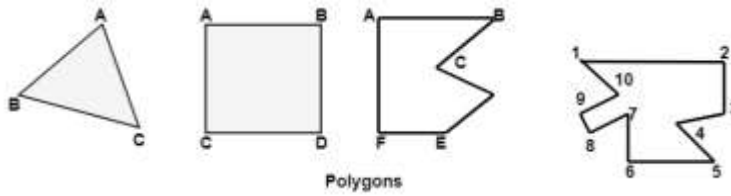
Kaynak: https://www.art.com/products/p53562551327-sa-i6411388/sir-isaac-newton.htm?srsId=AfmBOorboP6NBh6YJXxKrcavcwAjYlqxpXJ0y6HTmPBmHkrczEGYb_88

3.1.5. Çokgen (Polygon): Dijital formun temel yapı taşları

Üç boyutlu tasarımda örgü (mesh) olarak adlandırdığımız model yapıları, temelinde çokgenler denilen özel şekil sınıflarından oluşmaktadır. Verteks, kenar ve yüzey gibi özel yapıların bir araya gelmesiyle oluşturulan kapalı formlar (Görsel 3.11-3.12), dijital heykeltıraşlığın ve mimarinin alfabesini oluşturur. Çokgenlerin kenar sayısına göre iç bükey veya dış bükey şekillerde olabilmesi, organik ve inorganik her türlü karmaşık formun dijital ortamda inşa edilmesini sağlar.

Görsel 3.11

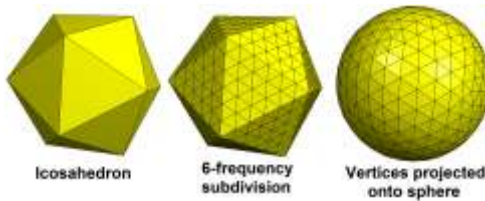
Poligon gösterimi



Kaynak: javatpoint.com

Görsel 3.12

Poligonlar üçgenlerden oluşur



Kaynak:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geodesic_icosahedral_polyhedron_example.png

Çokgenler kenar sayısına göre oluşturulan, iç bükey ya da dış bükey şekillerdir.

Sanatsal bağlamda, çokgenler doğrudan poligon sanatı ile karşılaştırılabilir. 20. yüzyılın başlarında Pablo Picasso ve Georges Braque'ın Kübizm akımında geometrik

desenleri kullanarak nesneleri parçalayıp yeniden birleştirmeleri, poligon sanatının öncüllerinden sayılabilir (Görsel 3.13) (Lowp ve diğerleri, 2021). Poligon sanatı, çokgenlerin ışıkla etkileşimine göre farklı tonlarla renklendirilerek nesne modelleri oluşturmaya dayanmaktadır. Bilgisayar grafiklerinde bu renklendirme, yüzey modeline göre düz (Görsel 3.20) veya yüzey normali ile ışık arasındaki açının interpolasyonuna göre geçişli (gradyal) olabilmektedir. Bu yaklaşım, sanatçının, formun geometrik sadeliği üzerinden ekspresif bir ifade gücü arayışının dijital bir yansımasıdır; tıpkı Piet Mondrian'ın Neo-Plastisizm'deki (Görsel 3.21) minimalizmi ve form-renk bütünlüğünü hedeflemesi gibi...

Görsel 3.13

Pablo Picasso (1881-1973) "The Aficionado"



Kaynak: <https://www.artchive.com/artwork/the-aficionado-pablo-picasso-1912/>

Poligon sanatı çokgenlerin ışıkla etkileşimine göre farklı tonlarla renklendirilerek nesne/nesneler modeli oluşturmaya dayanmaktadır. Poligon renklendirmesini bilgisayar grafiklerinde, yüzey modeline göre düz ya da yüzey normali ile ışık arasında açının o noktadaki enterpolasyona göre geçişli (gradyal) şeklinde görmekteyiz.

3.1.5.1. *Verteks (vertex): Uzaydaki en küçük birim nokta*

Üç boyutlu uzayda bir noktayı temsil eden ve matematiksel bir konuma sahip en küçük üç boyutlu sistem birimi olan verteks geometrik olarak noktaya karşılık gelir. Bilgisayar grafiklerinde bir verteks; normal, tanjant veya UV gibi ek parametreler içerebilir (Görsel 3.14). Bu yapılar analitik olarak bir araya gelerek kenarları (edge)

oluşturur. Bu, dijital modelleme sürecinde, sanatçının bir heykeldeki en ince ayrıntıyı dahi, noktasal hassasiyetle kontrol etmesini sağlar.

Görsel 3.14

İki verteks bir araya gelerek kenarı oluşturur



Kaynak: Yazar

3.1.5.2. Kenar (edge): Formu şekillendiren çizgi

Kenar, uzayda yer kaplayan bir doğru parçasını ifade eder; iki nokta arasındaki doğru parçasıdır (Görsel 3.15). Tıpkı bir mimarın taslağındaki çizgiler gibi, kenarlar da bir araya gelerek çokgenleri, yani kapalı formları oluşturur. Bu, dijital formasyonun temel taşıdır ve sanatçının karmaşık yapıları inşa etmesindeki mantıksal ilerlemeyi göstermektedir.

Görsel 3.15

Kenarlar bir araya gelerek yüzeyi oluşturur



Kaynak: Yazar

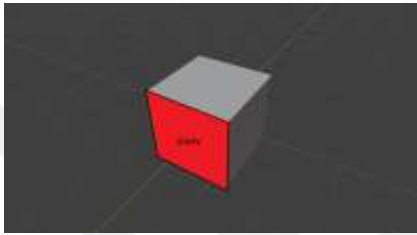
3.1.5.3. Yüzey (face): Hacim veren düzlemler

Yüzey, farklı sayıda kenarın bir araya gelmesiyle oluşan yapıdır (Görsel 3.16). Yüzeyler, üçgen, dörtgen veya daha fazla kenarlı olabilirler. Animasyon veya alt yüzey

bölümlemesi (subdivision surface) gibi algoritmalar için yüzeylerin dörtgen olması, genellikle topolojinin düzgünlüğünü sağlayarak daha akıcı ve estetik formlar elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Yüzeylerin bir araya gelerek örgüyü, yani üç boyutlu objeyi oluşturması, bir heykeltıraşın küçük parçaları birleştirerek büyük bir forma ulaşması sürecine benzer.

Görsel 3.16

Yüzeyler bir araya gelerek formu oluşturur



Kaynak: *Yazar*

3.1.6. Projeksiyon ve türleri

Üç boyutlu bir sahnenin oluşturulmasında çeşitli görüntü alanları (space) vardır. Bu alandan alana geçiş denilen mekanizmada değerleri, bir dizi matematiksel işleme tabi tutmak gerekir. Örneğin nesnenin bulunduğu alandan (object space) görüntü alanına (image space) geçiş için işlem yapmak gerekmektedir. Bu geçişler (transformasyonlar) yapılırken matris yapıları kullanılır. Matrisler, toplu halde üç boyutlu nesnenin uzaydaki yerini tanımlamamızı ve hareket (transformasyon) işlemlerinde daha kolay işlem yapmamızı sağlar.

Nesne uzayında, tüm elemanlarla birlikte geometri mevcuttur. Bu dönüşüm başlangıçta bir kamera ile konumlandırılır. Üç boyutlu geometriyi iki boyutlu görüntüye Üç boyutlu bir sanal sahnenin iki boyutlu bir görüntüye dönüştürülmesi olan projeksiyon işlemi, sanat tarihinde perspektif olarak bilinen temel bir illüzyonun dijital karşılığıdır.

Nesne uzayından (object space) görüntü uzayına (image space) geçişte kullanılan matris yapıları, üç boyutlu objelerin uzaydaki yerlerini tanımlamayı ve hareket (transformasyon) işlemlerini kolaylaştırmayı sağlamaktadır (Barksy ve diğerleri, 2003:

1). Bu sayede sanatçı, sanal kamerasını konumlandırarak, izleyiciye sunacağı kompozisyonu titizlikle belirleyebilmektedir.

Projeksiyon modelleri farklı tiplerde olabilmektedir Projeksiyonun:

- Perspektif projeksiyon
- Ortografik projeksiyon
- Balık gözü projeksiyon
- Ultra geniş açılı projeksiyon
- Omnimaks projeksiyon
- Panoramik projeksiyon
- Silindirik projeksiyon
- Küresel projeksiyon

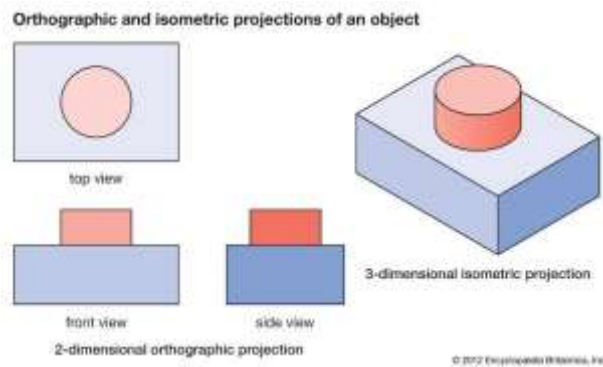
gibi türleri vardır. (f9.ijs.si, 02.08.2021). Bunlardan en çok kullanılanları ortografik ve perspektif projeksiyon yöntemleridir.

3.1.6.1. Ortografik projeksiyon: Minyatür sanatının matematiksel düzlemi

Ortografik projeksiyon, üç boyutlu nesneleri, çizim düzlemine paralel çizgilerle eşleştirerek (Görsel 3.17) temsil eden bir yöntemdir (britannica.com, 22.03.2021).

Görsel 3.17

Ortografik projeksiyon yöntemi



Kaynak: <https://www.britannica.com/technology/orthographic-projection-engineering>

Bu projeksiyon, nesnenin şematik ve basit bir görünümünü sunar, ancak derinlik veya perspektif algısı oluşturmaz. Sanat tarihinde, minyatür resimler bu tür bir perspektiften yoksun oluşlarıyla ortografik projeksiyona örnek teşkil eder (Görsel 3.18) (Khanian, 2019). Bu durum, sanatçının, mekânsal derinliği değil, anlatımsal veya sembolik içeriği ön plana çıkardığı bilinçli bir estetik tercihi yansıtır.

Görsel 3.18

Minyatür sanatında perspektif göz ardı edilir



Kaynak: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/minyatur-sanati>

Ortografik projeksiyon genellikle üç boyutlu tasarımların önden, yandan ya da yukarıdan düzenli bir kompozisyon halinde görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Şekli daha iyi anlamamızı, şeklin şematik-basit olarak görüntülenmesini sağlar. Genellikle okullarda geometri derslerinde kullanılmaktadır. Fakat bu projeksiyon yönteminde bahsettiğimiz gibi perspektiften söz edemeyiz.

3.1.6.2. Perspektif projeksiyon: Rönesans'ın mirası dijital tuvalde

Perspektif, gerçek dünyadaki gibi nesnelerin uzaklaştıkça küçülmesini ve derinlik algısı oluşturmalarını sağlayan (Johnson, 1963: 348) temel bir sanatsal ilkedir. Resim

sanatında 15. yüzyılda Floransa'da ilk defa sanatsal bir ortamda kullanılan perspektif (Marcussen, 2010: 73-88), gerçeğe yakın imgenin oluşturulmasında kilit rol oynamıştır.

Leonardo da Vinci'nin perspektif çalışmaları (Görsel 3.19), bu geometrik ifadenin sanatsal gücünü gözler önüne serer.

Görsel 3.19

Leonardo Da Vinci'nin (1452-1519) perspektif çalışması



Kaynak: <https://www.britannica.com/art/linear-perspective>

Perspektif, objelerin ufka doğru küçülmesine neden olurken, renklerdeki kromanın (canlılık) azalması, genellikle hava kalitesi ve atmosferik partikül yoğunluğu gibi fiziksel faktörlerle ilişkilidir. Bu, sanatçının ışın izleme uygulamasında, sadece geometrik projeksiyonu değil, aynı zamanda atmosferik etkileri de simüle ederek daha inandırıcı ve sanatsal açıdan zengin görüntüler oluşturmasını sağlamaktadır.

3.1.7. Bilgisayar destekli tasarımda kullanılan yüzey modellemeleri (BRDF) ve estetik anlamları

Aydınlatmadaki temel konulardan biri, ışığın çevre ile nasıl etkileşim kurduğudur. Araştırmacılar bu alanda çeşitli araştırma girişimlerine girmiştir fakat tam olarak bu modeller verimli değildir. Bu nokta da oluşturulan görselleştirmelerde temel modeller kullanılmaktadır. Hesaplama gücü maliyeti nedeniyle bu modeller çoğu uygulamada kullanılmaktadır (Losasso, 1);

Aydınlatmadaki temel konulardan biri, ışığın çevreyle nasıl etkileşim kurduğudur. Çift Yönlü Yansıma Dağılım Fonksiyonları (BRDF) modelleri (Bilgili, 2011: 10), sanal evrende nesnelerin ışıkla etkileşimini çözmek ve fotogerçekçi modeller oluşturmak için kullanılan matematiksel yöntemlerdir. Bu fonksiyonlar (Formül 3.2), bir yüzeyden

yansıyan ışık ile gelen ışık arasındaki oranı inceleyerek, materyallerin görünümünü fiziksel olarak doğru bir şekilde tahmin etmeye çalışmaktadır (Matusik ve diğerleri, 2003: 1). Yüzey modelleme tekniği ışığı iki yönlü olarak inceleyen bir olgudur (Formül 3.2) (Askhimin ve diğerleri, 2000: 1).

BRDF fonksiyonel tanım olarak; Yansıtılan ışığın, gelen ışığa oranına diyebiliriz. Bilgisayar ortamında ışığın yansımalarını çift yönlü olarak ele alan dağılım fonksiyonlar kümesine BRDF adı verilmektedir. Bu fonksiyon kümesinde gelen ve yansıyan ışık oranlarını kullanan enerji korunum yasası ile kullanılır.

Formülize edilecek olunursa;

$$f_r(\omega_i, \omega_r) = \frac{\partial L_r(\omega_r)}{\partial E_i(\omega_i)} = \frac{\partial L_r(\omega_r)}{L_i(\omega_i) \cos \theta_i \partial \omega_i} \quad (3.2)$$

ile tanımlanabilir.

Burada L ışın yönündeki birim katı açı başına düşen güç veya ışına dik izdüşüm alanı birimi başına düşen parlaklığı (radyans), E ışınım veya birim yüzey alanı başına düşen güçtür (irradiyans), θ_i , ω_i ile yüzey normali n arasındaki açıyı, indeks i gelen ışığı, indeks r yansıyan ışığı temsil etmektedir.

Bu formülize biçimlerini matematiksel ifadesini ilk kez 1965 yılında Nicodemus kullanmıştır (Bilgili, 2011: 4). BRDF modelleri analitik ve olgusal olmak üzere iki kısımda incelenmektedir (Kurt, 2007: 1).

BRDF;

- Negatif Olmama
- Enerji Korunumu
- Karşılıklı Olma

parametrelerini karakterize etmelidir (Kurt, 2007: 11).

Negatif olmama terimi; enerji korunumu kapsamında yansıma değerinin matematiksel olarak mutlaka 0 ila 1 arasında olması demektir. Yani gelen ve giden ışığa değerleri 0 ila 1 arasında olmalıdır. Ayrıca bu parametreler negatif olmamalıdır.

Enerji korunumu ise enerjinin kayba uğramamasıdır. Yani bir yüzeyden yansıyan ışığın toplam enerji miktarı, yüzeye gelen ışın miktarından fazla olamaz. Burada yüzeyin özelliğine göre gelen ışık yansıtılır, kırılır ve enerji işlemi olarak soğurulur.

Karşılıklı olma prensibine göre gelen ve giden ışının vektörel değeri birbirleriyle değiştirildiğinde değer olarak aynı olmalıdır (Kurt, 2007: 11-12).

BRDF modellerinin Negatif Olmama, Enerji Korunumu ve Karşılıklı Olma (Kurt, 2007: 11) gibi fiziksel parametreleri karakterize etmesi, sanatçının yarattığı dijital eserlerde inandırıcılığı artırır. Plastik sanatlarda, Caravaggio gibi ustaların eserlerinde tek ışık kaynağının nesnelerin yüzey bilgisine bağlı olarak ışığı doğru yansıtma (parlama) miktarı büyük önem taşır. Dijitalde ise bu miktar, difüz, speküler, yüzey pürüzlülüğü, yüzeyin metalik yapısı, alt yüzey yansımaları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak farklılık gösterir. Sanatçı, bu faktörleri bilerek ve manipüle ederek, eserlerinde gerçeğe yakın dokular ve ışık etkileşimleri yaratır; bu da izleyicinin esere olan estetik bağını güçlendirmektedir.

Farklı nesneler, farklı ışık şiddeti ile baz alındığında (gerçekçi çalışmalar göz önüne alındığında) hatalar ortaya çıkabilmektedir. Bu hataları dışlamak için materyal bilgisi ve ışığın doğası ile bunlar arasındaki etkileşim iyice bilinmelidir. Yani sanatçı eserlerinde gerçeğe yakın uygulamalar üretmesi için yüzeyin ne kadar enerji aldığını ne kadarını yansıttığını ve ne kadarını kırdığını, kısacası yüzeyin ışıkla etkileşime dayalı fizik kurallarını barındıran modellemeleri-tahminlemeleri bilmesi şarttır.

3.1.7.1. Düz (flat) yüzey modellemesi: Geometrik sadeliğin ifadesi

Düz yüzey modellemesi, basit poligonların renklendirilmesinde kullanılır (Görsel 3.20).

Görsel 3.20

Düz (flat) yüzey modellemesi



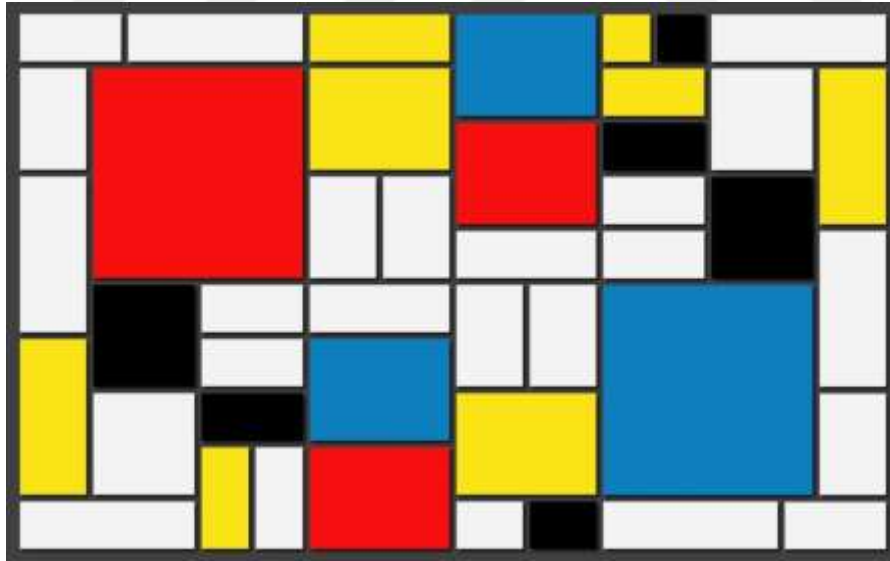
Kaynak: <https://en.wikipedia.org/wiki/Shading>

Bu yöntemde, yüzeyin ışığa uzaklığına bakılmaksızın her yüzey aynı renk ve parlaklık değerine sahiptir

Bilgisayar grafiklerinde hesaplama maliyeti en düşük olan bu modelleme, sanatsal bağlamda Poligon Sanatı'nın minimalist ve ekspresif yaklaşımıyla örtüşmektedir. Bu ekspresif yöntem, Dışavurumculuk, Noktacılık ve İzlenimcilik gibi akımlarda ve bazı grafiklerden türemiş sanatsal yaklaşımlarda form-renk uygulamalarına benzer bir yapıdadır. Renkler bütünleşik olarak form şeklinde uygulanır; sanatçı fırça darbesiyle tek renk atar, genellikle ton geçişleri olmaz. Piet Mondrian'ın nesneleri basitleştirip minimalizm kavramına yakın bir üslup ortaya koyması ve Neo-Plastisizm ekolünün ilkelerini yayınlarken (Fallahzadeh, 2019: 1-18) bu bağlamdaki eserlerinde minimalizme atıfta bulunması (Görsel 3.21), düz gölgelendirmenin sanatsal karşılıklarını güçlendirir.

Görsel 3.21

Neoplastisizm'de minimalizm.



Kaynak: <https://cairoscene.com/artsandculture/neo-plasticism-a-new-outlook>

3.1.7.2. Lambertian yüzey modellemesi

Lambertian yüzey modellemesi, Lambert yasasına göre, gelen ışık ile giden ışık için yüzeyin aynı miktarda ışık yansıtması prensibine dayanır. Bu model, mat malzemelerin görünümünü simüle etmede başarılıdır (Matusik 2003). "Mükemmel

yüzey" olarak adlandırılan bu yüzeyler gerçek doğada bulunmasa da (zira gerçek dünyadaki yüzeyler mikroskobik girinti çıkıntılara sahiptir), bilgisayar grafiklerinde Lambertian yüzeyler bu idealize edilmiş matlığı temsil etmektedir (Görsel 3.22).

Görsel 3.22

Işığın yüzeyden sonra yansıması



Yüzeye iletilen ışık çevreye yeniden yayılmadan önce yüzeyin içerisindeki asılı parçacıklar arasında dağılır ve yüzeyden ayrılır veya bir kısmı enerji olarak yüzeyin içerisine iletilir. Lambertian yüzey mükemmel yüzeyi temsil etmektedir.

Lambertian yüzey modeli mat malzemelerin görünümünü simüle etme yaklaşık bir değere sahiptir. Temelde yüzey yansıtma dağınık bileşenini yani difüz yüzeyleri temsil etmede başarılıdır (Matusik 2003).

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = \frac{k_d}{\pi} \quad (3.3)$$

Burada k_d yüzeyin albedosudur. Uygulamada Lambertian yüzey modellemesi basit olarak şu şekilde çözülmüştür.

Lambertian yüzey modellemesi;

$$I = K_a + K_d f_{att}(N \cdot L) \quad (3.4)$$

şeklinde de hesaplanabilir. Bu denklemin hesaplama maliyeti son derece düşüktür ve sonuçlar kolaylıkla kullanılabilir ancak nesnenin plastikmiş gibi algılanmasına neden olmakta ve temel yansıma kuralları hesaplanamamaktadır (Losasso, 1). Lambert yüzey modellemesi için $K_d \leq 1$ ise enerji korunum yasasını karşılamaktadır (Kurt, 2007: 14).

Sanatta, sanatçı Mondrian'ın "ustaları taklit etmek" ilkesinde olduğu gibi (Fallahzadeh, 2019: 1-18), mükemmelliğe ve gerçekçiliğe uzanmak ister. Grafik tasarımda öne çıkan ve poster kavramının mesajı altında yatan yegâne mükemmeliyet istemi de buna paraleldir. Lambertian gibi mükemmel yüzeylerin temsili, mükemmeliyet paradigmasına bağlı olarak gerçek dünyada entropi kavramı ile negatif düşüş eğilimindedir. Bu zıtlık, son zamanların postmodernizm kavramında da bireyselliğe dayalı mükemmeliyet istemi ve biçimin kendi metasını sorgulamasına neden olur.

3.1.7.3. Gouraud yüzey modellemesi: Yumuşak Geçişlerin estetiği

Adını Henri Gouraud'dan alan Gouraud gölgeleme, çokgen ağlarla (mesh) temsil edilen yüzeylerin sürekli gölgelenmesini üretmek için bilgisayar grafiklerinde kullanılan bir interpolasyon yöntemidir (Gouraud, 1971).

Uygulamalarda Gouraud gölgelendirme, her üçgenin köşelerindeki (verteks) aydınlatmayı hesaplayarak ve üçgen tarafından kapsanan her piksel için elde edilen renklerin doğrusal interpolasyonu şeklinde sürekli bir aydınlatma yöntemi gerçekleştirir (Görsel 3.23). Bu teknik, bir ressamın renkleri tuval üzerinde karıştırarak elde ettiği kademeli ton geçişlerinin dijital ortamdaki karşılığı gibidir ve sanal nesnelere daha organik, doğal bir görünüm kazandırmaktadır.

Görsel 3.23

Gouraud yüzey modellemesi



Kaynak: https://tr.wikipedia.org/wiki/Gouraud_g%C3%B6lgelendirme

3.1.7.4. Phong yüzey modellemesi: Gerçek zamanlı parlaklık ve vurgu

Phong aydınlatma modeli, bilgisayar grafiklerinde çeşitli yüzeyleri modellemede başarılı olmasının yanı sıra gerçek zamanlı Phong aydınlatma modeli, bilgisayar

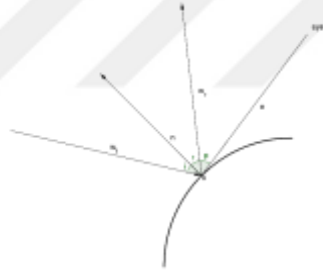
grafiklerinde çeşitli yüzeyleri modellemede başarılı olmasının yanı sıra gerçek zamanlı görüntülemeye de oldukça sık kullanılan ünlü bir aydınlatma modelidir (Görsel 3.25).

Phong, teorik olarak Lambertian varsayımlarını değiştirmemiş olsa da çokgenlerin yüzeyleri boyunca interpolasyonunu tanımlayan denklemi (Formül 3.5) ile doğrusal yayılmanın yeniden üretilmesi önemli bir bileşendir. Phong speküler bileşeninin parametreleri (Görsel 3.24) arasında yer alan ns üssü (Formül 3.6), yansımayı daha keskin ve parlak bir düzeye çevirerek veya daha mat bir görünüm kazandırarak sanatçıya yüzeyin parlaklığını kontrol etme imkânı sunar. Bu modelin yüzeylere kolayca uygulanabilmesi ve görsel açıdan kayda değer görüntüler elde edebilmesi (Losasso, 2), onu dijital sanatta yaygın olarak kullanılan bir araç haline getirmiştir.

$$I = k_a + k_d f_{att}(N \cdot L) + k_s f_{att}(E \cdot R)^n \quad (3.5)$$

Görsel 3.24

Phong yüzey modellemesi parametreleri



Kaynak: *Yazar*

Phong speküler bileşenin parameterelerini (Görsel 3.24) şu şekilde parametrize eder:

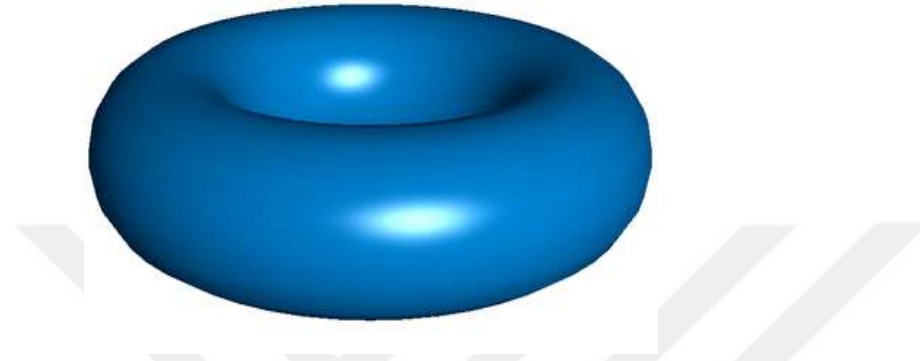
$$f_r(\omega_i, \omega_o) = k_s \cos p^n \quad (3.6)$$

Burada k_s speküler yansıma katsayısıdır, p gözlemci ile yansıyan ışın arasındaki açı, n üssü ise speküler vurgununu değerini ifade eden skaler bir değerdir. n değeri arttıkça yansımayı daha keskin ve parlak düzeye, azaldıkça daha mat bir görünüme çevirmektedir. Burada k_a ambiyansı, k_d difüzü ve k_s speküler renk bileşenini temsil etmektedir. Renk bileşenleri herhangi bir formatta olabilir. Buradaki formüle göre

bileşenler üç bölümde ele alınır. Bunlar; ambiyans, difüz ve speküler bileşenlerdir. Son renk (Görsel 3.25) bu üç alanın toplamıyla elde edilir (3.5).

Görsel 3.25

Phong yüzey modellemesi



Kaynak: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phongshading00.png>

Phong enterpolasyonunun avantajlarından biri, yüzeylere kolay bir şekilde uygulanabilmesi ve görsel açıdan kayda değer görüntüler elde edebilmesidir (Losasso, 3).

3.1.7.5. Blinn-phong yüzey modellemesi: Enerji korunumlu gerçekçilik

Lewis ve Blinn, Phong modelinin enerji korunumunu sağlayamaması nedeninden dolayı eşitliği değerlendirmeden geçirmişlerdir (Lawrence 2006)

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = k_s \frac{n+2}{2\pi} \cos^n \alpha \quad (3.7)$$

Burada n yüzey normalini, α yüzey normali n ile ω_o ile ω_i arasındaki yarım vektör arasındaki açıdır. Eşitlik bu hali ile gerçek materyali daha iyi tanımlamaktadır. Phong modeli plastik ve dielektrik yüzeyleri tanımlamada iyi bir modeldir. Phong ve Lambertian modelleri difüz ve speküler bileşeni modellemede birlikte kullanılır.

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = \frac{k_d}{\pi} + k_s \frac{n+2}{2\pi} \cos^n \alpha \quad (3.8)$$

Ayrıca bu modelleme basit hesaplama olanağı sunar. Basitliği nedeni ile çoğu grafik programlarında yansıma modeli olarak kullanılır.

3.1.7.6. Cook-Torrance-Sparrow yüzey modellemesi

Bir BRDF modelinin fiziksel olarak makul olması için daha önce de belirttiğimiz gibi bazı şartları yerine getirmesi gerekir. Bunlar:

- Karşılıklı olma (reciprocity): Gelen ve giden ışığın yönleri değiştirildiğinde bile brdf değeri aynı kalmalıdır.

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = f_r(\omega_o, \omega_i,) \quad (3.9)$$

- Negatif olmama: Giden ışımının gelen ışımaya oranı 0 ila 1 arasında olmalıdır. Hem ışımaya hem de parlama değerleri negatif olamaz.

$$f_r(\omega_i, \omega_o) \geq 0 \quad (3.10)$$

- Enerji korunumu: (Nesne ışık yayan bir nesne olmamak şartıyla) enerji korunumuna göre yansıyan ışının enerji miktarı gelen ışının enerji miktarından büyük olamaz.

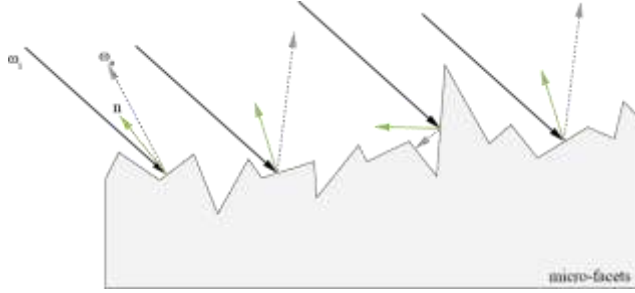
$$\int_{\Omega} f_r(\omega_i, \omega_o) \cos \theta_i \, d\omega_i \leq 1 \quad (3.11)$$

Bir BRDF modelinin fiziksel olarak makul olması için bahsettiğimiz gibi Karşılıklı Olma (reciprocity), Negatif Olmama ve Enerji Korunumu gibi şartları yerine getirmesi gerekir (Kurt, 2007: 11). Fiziksel açıdan doğru reflektans modellerinin oluşturulması, foto gerçekçilik açısından hayati öneme sahiptir (Blinn, 1977). Torrance ve Sparrow'un analitik modeli, yüzeyin ayna benzeri (Fresnel) mikro yüzeylere sahip olduğunu varsayan bir yaklaşım geliştirmiştir (Torrance ve diğerleri, 1967). Cook, Torrance ve Sparrow'un, mükemmel Lambert yüzeyine karşı ortaya attıkları bu model, nesnelerin pürüzlü yüzeylere sahip girinti-çıkıntılarla desteklendiği ve doğadan ilham alan daha gerçekçi bir yaklaşım sunmaktadır.

Cook-Torrance modeli (Formül 3.12), ışığın mikro yüzeyler tarafından engellenmesi (gölgeleme) ve yansıyan ışığın maskelenmesi gibi olasılıkları hesaba katarak (Formül 3.13), Phong veya Lambert modellerine göre daha geniş bir materyal temsili elde etmiştir (Görsel 3.27, Lawrence, 2006). Bu, sanatçının sadece idealize edilmiş yüzeyleri değil, aynı zamanda günlük hayattaki kusurlu ve dokulu yüzeyleri de dijital ortamda inandırıcı bir şekilde yaratabilmesine olanak tanır. Ancak Monte Carlo gibi fiziksel olarak işleme algoritmaları bağlamında doğrudan örneklenememesi, hesaplama maliyetini artırır.

Görsel 3.26

Yüzey girintilerinin temsili görünümü ve yüzey normaline göre ışığın yüzeyden yansımaları



Kaynak: Yazar

Bir ışık kaynağından gelen ışık (ω_i), yüzeyde bir (p) noktasına varana kadar şu olasılıklarla karşılaşabilir (Görsel 3.26). Işık;

- P'ye ulaşmadan mikro yüzeyler tarafından engellenir (gölgeleme).
- P'den yansıyan ışık mikro yüzeyler tarafından engellenir (maskeleme).
- P'den yansıdıktan sonra çevreye yansır.

Cook-Torrance modeli;

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = d \frac{k_d}{\pi} + s \frac{F}{\pi} \frac{DG}{(n \cdot \omega_i)(n \cdot \omega_o)} \quad (3.12)$$

Burada d ve s difüz ve spekül yansımanın miktarını kontrol eden skaler parametreyi, k_d yüzey albedosunu, F ışığın her pürüzsüz mikro yüzeyden nasıl dağıldığını açıklayan Fresnel terimini, D mikro yüzeylerini dağılımını, G gölgeleme ve maskeleme efektlerini açıklayan geometrik terimi temsil etmektedir.

Geometri terim;

$$G = \min \left\{ 1, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot V)}{(V \cdot H)}, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot L)}{(V \cdot H)} \right\} \quad (3.13)$$

Burada H yarım vektörü, N yüzey normalini, L gelen ışık vektörünü, V yansıyan ışık vektörünü tanımlamaktadır. Yukarıda bahsedilen p noktasında oluşabilecek olasılık eylemlerinden ilk ikisini tanımlayan formülde; ilk terim maskelemeyi, ikinci terim gölgelemeyi parametrize eder.

Cook ve Torrance mikro yüzeylerin dağılımı için genellikle Beckman dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılır.

$$D = \frac{1}{m^2 \cos^4 \alpha} e^{-[(\tan \alpha)/m]^2} \quad (3.14)$$

Burada; m speküler vurgunun şeklini kontrol eden dağılımın kök ortalama kare (RMS) eğimini, α normal ile yarım vektör arasındaki açıyı temsil eder. Blinn, mikro yüzeylerin dağılımı için Gaussian dağılım fonksiyonunu önermektedir. Walter ve arkadaşları standart Beckmann dağılım fonksiyonuna kıyasla bazı yüzeylere daha yakın bir eşleşme sağlayan yeni bir mikro-yüzey (micro-facet) modeli geliştirmiştir (Walter, 2007).

Fresnel terimi ise;

$$F = \frac{1}{2} \frac{(g - c)^2}{(g + c)^2} \left\{ 1 + \frac{[c(g + c) - 1]^2}{[c(g - c) + 1]^2} \right\} \quad (3.15)$$

Burada;

$$c = \cos(\theta) = V \cdot H \quad (3.16)$$

$$g^2 = n^2 + c^2 - 1$$

ile ifade edilir.

Işık-madde etkileşiminin fiziksel görüntülere daha fazla yaklaştırdığı (Görsel 3.27) için Phong veya Lambert modellerine göre daha geniş bir materyal temsili elde etmiştir (Lawrence, 2006).

Görsel 3.27

Cook-Torrance yüzey modelleme örneği (A Reflectance Model for Computer Graphics)



Kaynak: A Reflectance Model for Computer Graphics

3.1.7.7. *Torrance-Sparrow yüzey modellemesi: Mikro-yüzeylerin ifadesi*

Lambertian modelinin yüzeyi basit bir ayna olarak kabul etmesinin aksine, K. E. Torrance ve E. Sparrow, yüzeyin pürüzlülüğünü de hesaba katarak çift yönlü yansıma modeline yeni bir yüzey algoritması katmışlardır ve bunu geometrik optiğe göre tamamlamışlardır (Mesiter ve diğerleri, 1998: 2). Torrance ve Sparrow modeli, yüzeyin belirli bir dağılıma göre sonsuz speküler uzunlukta boşluklardan oluştuğunu varsaymaktadır. Bu mikro-yapılar, ışığın geliş açısına göre nasıl yansıtılacağını ve o bölgedeki ışık miktarının nasıl değişeceğini belirlemektedir. Formül (Formül 3.17), geometrik zayıflama fonksiyonu (G), Fresnel (F) ve kırılma indisi (n) gibi terimlerle yüzey ilişkisini tanımlamaktadır. Bu sayede sanatçı, ışığın bir yüzey üzerindeki dağılımını, iniş-çıkışları ve gölgedeki nüansları daha incelikli bir şekilde kontrol edebilir, bu da esere fiziksel gerçekliğe daha yakın bir doku kazandırmaktadır.

Torrance ve Sparrow modeli şu şekilde çalışır. Yüzey belirli bir dağılıma göre sonsuz speküler uzunlukta v şeklinde boşluklardan oluşur. Dağılım dediğimiz bu kısım Gaussian modeline dayanmaktadır. Yama adı verilen bu boşluklar ışığın gelişine göre (zenit açısı) yansıma kuralını tanımlayıp ve o bölgedeki ışık miktarı buradaki dağılım, iniş-çıkış, tepe noktalarına göre ya gölgede kalacak ya da ışığın o noktadaki yüzey ile ilişkisinden doğan bir değere göre şekil almaktadır. Formül; yüzey ilişkisi ile tanımlayabileceğimiz ve formülde kullanılan G ; Geometrik Zayıflama Fonksiyonu, göz ile yansıma arasındaki ilişki fresnel; F , kırılma indisi n üssü ve speküler olarak yansıyan ışığın yüzey ile oluşturduğu geliş açısı ile tanımlanmaktadır (Mesiter ve diğerleri, 1998: 3).

$$f_r \propto \frac{F(\theta_i, \theta_r, \emptyset, n) \cdot G(\theta_i, \theta_r, \emptyset) \cdot e^{-c^2 a^2}}{\cos \theta_i \cos \theta_r} \quad (3.17)$$

Formülde i , r , speküler gelen ve yansıyan terimini, F fresnel, G ise speküler yansımanın yoğunluğunu belirleyen terimdir.

3.1.7.8. *Oren-Nayar yüzey modellemesi: Gerçekçi mat yüzeylerin anatomisi*

Oren ve Nayar, sıklıkla kullanılan Lambertian aydınlatma modelini geliştirerek yeni bir yüzey modellemesi önermişlerdir. Bu modelleme, pürüzlü yüzeyleri modellemede başarı göstermesine rağmen, hesaplama açısından azimut ve zenit açılarını da hesaba katmasından dolayı daha maliyetli bir formüldür (Losasso, 7). Oren ve Nayar, Lambertian yüzeyinin mükemmel yüzeyine karşılık, yüzeylerin mikro

çukurlara (micro-facet) sahip olduğunu varsayar ve bu fark, iki modelde yüzeyin gölge işlemesine bağlı olarak değişir.

Oren-Nayar BRDF modeli (Formül 3.18), piksel başına hesaplanabilir bir modelleme türüdür ve yüzeylerin pürüzlü olmasından dolayı ışığın yüzeye ilişkisinden doğan yansımakarşılıklı yansımaya, gölgeleme gibi ileri düzey geometrik ve radyometrik işlemleri hesaba katmaktadır (Bagher ve diğerleri, 2012). Görsel 3.28'da karşılaştırmalı olarak görüldüğü gibi, Oren-Nayar yüzey pürüzlülüğü (sigma değişkeni ile ayarlanabilen) sayesinde daha gerçekçi mat yüzeyler elde edilir. Sanatçı, bu modelle, gerçekçi mat yüzeylerin detaylarını, tıpkı geleneksel resimde bir kumaşın veya toprağın dokusunu işler gibi, dijital ortamda yaratabilir.

Görsel 3.28

Oren-Nayar yüzey modellemesinin karşılaştırılması



Kaynak: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oren-nayar-vase2.jpg>

Oren-Nayar yüzey modellemesi, aşağıdaki formül ile parametrize edilmiştir

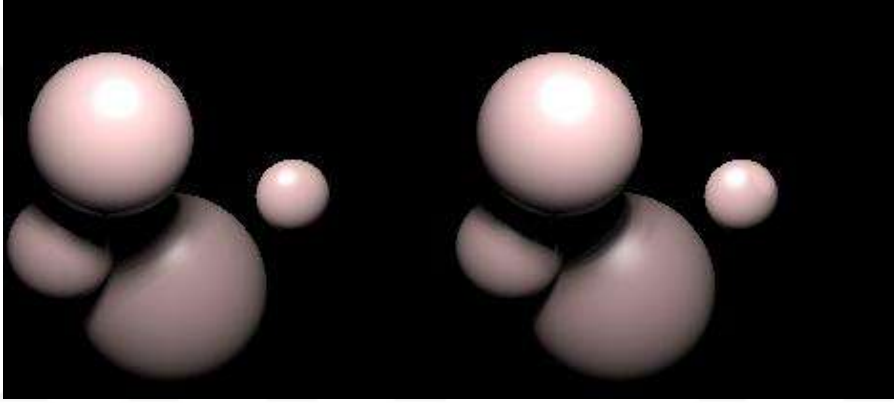
$$f_r(\omega_o, \omega_i) = \frac{\rho}{\pi} (A + B \max(0, \cos(\Phi\omega_i - \Phi\omega_o)) \sin(\alpha) \tan(\beta)) \quad (3.18)$$

Lambert'in modelinin aksine yüzeylerin pürüzlü olmasından dolayı ışığın yüzeye ilişkisinden doğan oluşan yansımakarşılıklı yansımaya, gölgeleme gibi ileri düzey geometrik ve radyometrik işlemleri hesaba katmaktadır (Bagher ve arkadaşları, 2012).

Uygulamadan alınan örnek olan Görsel 3.29’da aynı sahnenin farklı yüzey modellemesi ile alınan işleme görseli görülmektedir. Oren-Nayar yüzey modellemesi daha önce de bahsettiğimiz gibi Lambertian yüzeyinin mükemmel yüzeyine karşılık yüzeylerin mikro çukurlara sahip olduğunu (micro-facet) varsayar. Bu fark iki modelde yüzeyin gölge işlemesine bağlı olarak değişir. Oren-Nayar yüzey pürüzlülüğü sigma değişkeni ile ayarlanabilmektedir.

Görsel 3.29

Karşılaştırmalı Lambertian ve Oren-Nayar yüzey örnekleme işleme sonucu



Kaynak: *Yazar*

3.1.7.9. Minnaert yüzey modellemesi: Kumaş ve koyu yüzeylerin yumuşaklığı

Minnaert, belirli bir bakış açısından koyu yüzeyler elde etmek için fonksiyona koyulaştırıcı modüller (karartma faktörleri) eklemiştir. Minnaert yüzey modellemesi, özellikle kumaş yüzeylerde başarılı sonuçlar verir (Görsel 3.30).

Görsel 3.30

Minnaert yüzey modellemesi çıktısı



Kaynak: <http://www.cs.uns.edu.ar/cg/clasespdf/SRM.pdf>

Optimize edilmiş ve hesaplama maliyeti fazla olmayan bu model (Formül 3.19), sanatçıya tekstil gibi karmaşık dokuların dijital simülasyonunda esneklik sağlamaktadır (Losasso, 7). Bu, dijital sanatta materyallerin sadece görsel değil, aynı zamanda "dokunsal" bir his uyandırması arayışının bir parçasıdır.

$$I = k_{datt} (N \cdot L) * (N \cdot L)^k (1 - N \cdot E)^{1-k} \quad (3.19)$$

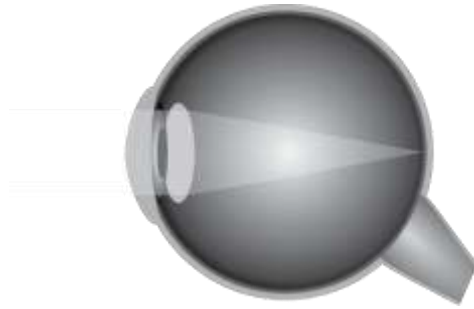
Denklemin ilk kısmı formülden de anlaşılacağı üzere Lambertian faktörüdür ve bu faktör yüzey karartması olarak tanımlanmaktadır (Görsel 3.30) (Losasso, 7).

3.2. Renk, Aydınlanma ve Işık: Sanatın Temel Unsurlarının Dijital Anatomisi

İnsan gözünde (Görsel 3.31) bulunan foto-reseptör alıcılar (koni ve çubuk hücreleri), ışığa duyarlı hücrelerdir. Retina'da yer alan L, S, M tipi koni hücreleri farklı dalga boylarına duyarlıdır ve bu üç mekanizmanın ortak etkinliği bir rengin algılanmasına neden olmaktadır (sciencedirect.com, 11.05.2025).

Görsel 3.31

Gözün ışıqla etkileşimi

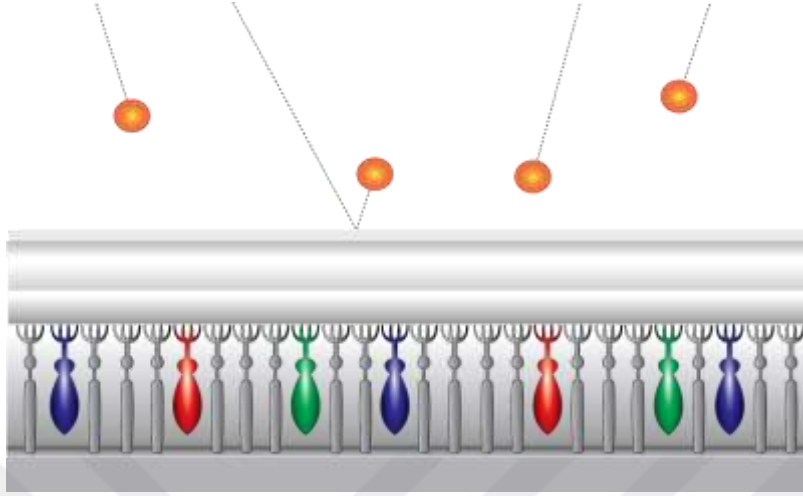


Kaynak: *Yazar*

Çubuk hücrelerinin ışık yoğunluğunu (siyah-beyaz-gri tonları) algılaması (Haines ve diğerleri, 2019: 11), dijital görüntüleme'deki renk ve ışık modellerinin ilham kaynağıdır.

Görsel 3.32

Fotoreseptörler



Kaynak: Yazar

Görsel 3.33

Farklı dalga boylarında ışık



Kaynak: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Linear_visible_spectrum.svg

İnsan gözün 380-700 nm arasındaki farklı dalga boylarındaki ışığı algılayabilmektedir (Görsel 3.32- Görsel 3.33).

3.2.1. Renk teorileri: Sanat ve Bilimin Kesişim Noktası

Renk oluşumu ile ilgili temel teorilerden ilki, Thomas Young tarafından ortaya atılan ve ışığın retinadaki üç fiber yapı (koni hücreleri) ile etkileşime girmesiyle oluştuğu varsayılan Trikromasite Renk Görüş Teorisi'dir.

1860'ta Hermann von Helmholtz (Görsel 3.34) ve James Clerk Maxwell tarafından geliştirilen bu teoriye göre, renkler üç ana rengin (Kırmızı-Yeşil-Mavi) karışımıyla elde edilmektedir (Johansson, 2004: 4).

Görsel 3.34

Fizikçi Hermann von Helmholtz (1821-1894)'un portresi (Ludwig Knaus, 1881)



Kaynak: <https://www.timeshighereducation.com/books/book-of-the-week-helmholtz-life-science-david-cahan-university-chicago-press>

Bu renkler, bilgisayar ortamında, ışığı temsil eden fiziksel uygulamalarda ve tasarımlarda eklemeli renkler olarak adlandırılmaktadır. Renklerin anlamlarının kültürel kodlarla bağı kabul edilse de dalga boylarının insan psikolojisi üzerindeki etkileri (Golmohammadi ve diğerleri, 2021; Hiramatsu ve diğerleri, 2006) ve biyolojik bağlantıları (Ash, 2017), renklerin sadece estetik değil, aynı zamanda duygusal ve psikomotor davranışları etkileyen güçlü birer araç olduğunu göstermektedir (Görsel 3.35). Örneğin, Eliot ve arkadaşlarının yaptığı araştırmalarda, deneklerin mutluluğu sarı, iğrenmeyi yeşil ve öfkeyi kırmızı ile ilişkilendirmesi (Elliot, 2017: 28), renklerin görsel iletişimi ne denli güçlü kıldığını açıklar.

Görsel 3.35

Renk kroma değerleri



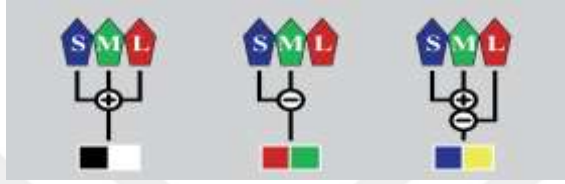
Kaynak: Yazar

Renk teorilerinden bir diğeri olan Rakip Süreç Teorisi, Evald Heiring tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriye göre, koni reseptörleri üç karşıt renk çiftinin (mavi/sarı, kırmızı/yeşil ve siyah/beyaz) birbirine bağlanarak renk oluşumuna katkıda bulunduğunu

izah etmektedir (Görsel 3.36). Renk körlüğü ve diğer renk oluşumlarını hesaba katan fenomenolojik gözlemlere dayandığı için Trikromasite teorisinin açıklayamadığı bazı görüşlere açıklık getirmesiyle daha tutarlı bir teori olarak karşımıza çıkar (Johansson, 2004: 4).

Görsel 3.36

Renk görme kombinasyonları



Kaynak: Yazar

Bu iki teori, bilgisayar destekli tasarımda ve plastik sanatlarda eklemeli (additive), çıkarmalı (subtractive) veya pigment odaklı renk paletleri oluşturmanın temelini oluşturur. Tasarımcı, renk paletlerini (Görsel 3.37) kromatik doğrusal bir düzende, dairesel, isteğe bağlı veya karışık-gruplandırılmış şekilde kullanılabilmektedir (Bleicher, 2023).

Görsel 3.37

Krita Uygulaması RGB Renk Paleti



Kaynak: https://docs.krita.org/en/reference_manual/dockers/advanced_color_selector.html

Sonuçla bu iki teori tıpkı ışığın fiziksel açıdan ortaya konulan teorileri gibi farklı da olsa kendi arasında tutarlı sonuçlar elde etmektedir. Trikromasite Renk Görüş Teorisi

renk olayının oluşumunu açıklarken Rakip Süreç Teorisi fotoreseptörlerin nöral bağlanma biçimine göre renk oluşumunu açıklamaktadır (Johansson, 2004:5).

3.2.2. Bilgisayar grafiklerinde aydınlanma: Sanal dünyanın atmosferi

Üç boyutlu bir sanal ortamda görüntünün gerçekçi olarak sunulabilmesi için, görüntünün her bir bölgesinde oluşan pikseller için iyi bir aydınlatma modelinin belirlenmesi gereklidir. Bilgisayar grafiklerinde yüzey-ışık ilişkisini çözen ve gölgelendiriciler (shaders) olarak adlandırdığımız (DirectX, OpenGL, Vulkan gibi grafik arabirimleri içinde çözümlenen) çeşitli yazılım birimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu birimler, gelişim sürecine göre matematiksel olarak çeşitli değişimlerden geçerek, daha doğru ve gerçekçi görüntüler oluşturabilmek için farklı alanlarda araştırmalar yapılmasına sebep olmuştur. Bu gölgelendiriciler, yansımayı, kırılmayı, ışığı ve materyali içerisinde barındıran bir grup küme fonksiyondur (Whitted, 1980: 1).

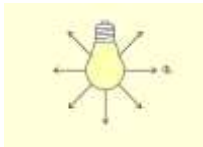
Aydınlatma modelleri; ışık kaynağı ile ışığın gücü, yönü, renk özelliği, yüzey ilişkisi ve yüzeyin materyal yapısı gibi bir grup fonksiyonla belirtilmektedir. Gölgeleme hesaplamaları mikroskobik düzeyde, yerel ve global yüzeyde yapılabilir. Fizikte aydınlanma için çeşitli fonksiyonlar tanımlanmıştır.

3.2.2.1. Radyasyon akışı (radyant akı) (radiant flux): Işığın enerji akışı

Birim zamanda bir yüzeyden geçen toplam enerji olan radyasyon akışı (Formül 3.20, Görsel 3.38), uygulamalı bilimlerde simülasyonlarında ve animasyonlarda gerçekçi fiziksel şartların tanımlanması ve simüle edilmesi için kullanılır.

Görsel 3.38

Radyant akı



Kaynak: https://www.erco.com/en_us/designing-with-light/lighting-knowledge/photometry/radiant-flux-7527/

Sanatçı, bu kavramı anlayarak, bir sahnedeki toplam ışık enerjisini ve onun görsel etkisini daha bilinçli bir şekilde yönetebilmektedir.

$$\Phi_e = \frac{\partial Q_e}{\partial t} \quad (3.20)$$

Burada ∂Q_e yansıtılan yayılan radyant enerjiyi, ∂t zamanı temsil eder. Kısacası birim zamanda yayılan radyant enerji olarak tanımlanabilmektedir.

Radyant akı genellikle uygulamalı bilimler simülasyonlarında ya da animasyonlarda gerçekçi fiziksel şartların tanımlanması-yakınlaştırması (bilgisayar destekli tasarım, mimarlık, biyomedikal optik vb) ve simüle edilmesi için kullanılmaktadır.

3.2.2.2. Radyans (parlaklık) (radiance): Işığın gözdeki yoğunluğu

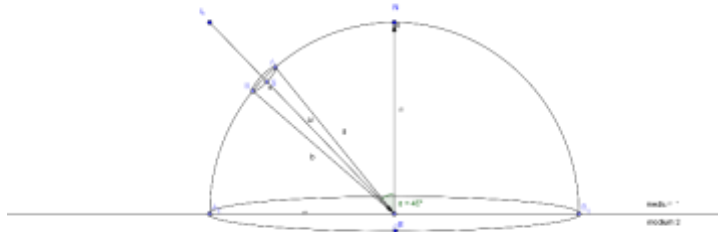
Öngörülen alan başına bir katı açı (solid angle) başına bir yüzey tarafından yayılan, yansıtılan, iletilen veya alınan radyasyon akışı olan radyans (Formül 3.21, Görsel 3.39), ışığın gözdeki algılanan parlaklığını ifade etmektedir.

$$L_{e,\Omega} = \frac{\partial^2 \Phi_e}{\partial \Omega \partial A \cos \theta} \quad (3.21)$$

Burada Φ_e radyasyon akışını, $\partial \Omega$ katı açıyı (solid angle), $\partial A \cos \theta$ projeksiyon alanını temsil etmektedir (Görsel 3.39).

Görsel 3.39

Radyans ışık katı açı ile oluşturulmuş temsili görünümü



Kaynak: Yazar

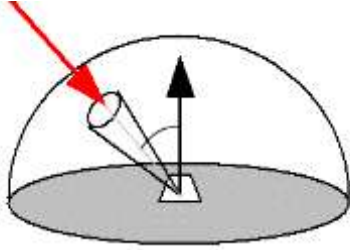
Geometrik optiğin temel yasalarından birisi ışığın boşlukta (vakum) yayılırken (ki bu noktada saçılma-soğurma gibi etkiler göz ardı edilmiştir) gücünün-parlaklığının değişmemesidir. Ayrıca geometrik yasalara göre ışık doğrusal olarak ilerler (Jensen ve diğerleri, 2003: 89). Bunun dışında ışığın dalga şeklinde yayılmasını öngören teoriler de vardır. Foton teorisi ışın izlemede en çok kullanılan yöntemlerdendir. Dalga teorisi ise fizikte girişim gibi deneylerin gözlemlenmesinde tutarlı sonuçlar vermekle beraber foton teorisinden sonra kullanılan bir diğer teoridir.

3.2.2.3. Parlama (irradiance): Yüzeydeki ışık miktarı

Birim alan başına bir yüzey tarafından alınan radyasyon akışı olan parlama (Formül 3.22, Görsel 3.40), mimari tasarımlarda ışığın nesne üzerinde yayıldığı alanı ve etkisini göstermede kullanılır. Sanatçı, bu parametreyi manipüle ederek, bir yüzeyin ne kadar "aydınlanmış" göründüğünü kontrol edebilir.

Görsel 3.40

Birim alanda oluşan parlama



Kaynak: <https://groups.csail.mit.edu/graphics/classes/6.837/F00/Lecture17/Slide17.html>

$$E_e = \frac{\partial \Phi_e}{\partial A} \quad (3.22)$$

Burada $\partial \Phi_e$ radyasyon akışını, ∂A ise birim alanı temsil eder. Mimari tasarımlarda ışığın nesne üzerinde yayıldığı alana göre etkisini göstermede kullanılır.

3.2.2.4. Yoğunluk (intensity): Işığın gücü

Birim katı açıdaki radyasyon akış yoğunluğunun ölçüsü olan yoğunluk üç boyutlu tasarımda ve ışın izleme uygulamalarında ışığın temel parametrelerinden biridir. Işığın

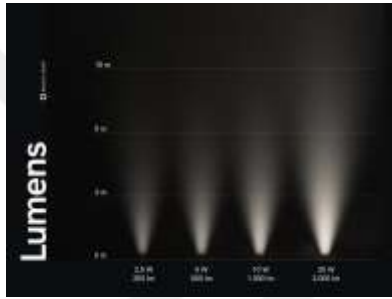
renge dışında, sahnenin parlaklığını ve dramatik etkisini belirleyen ikinci önemli faktördür (Formül 3.23, Görsel 3.42).

$$I(\omega) = \frac{\partial \Phi}{\partial \omega} \quad (3.23)$$

Burada $\partial \Phi$ radyasyon akış değerini, $\partial \omega$ ise katı açı (solid angle) değerini temsil eder (Görsel 3.41).

Görsel 3.41

Işık yoğunluğunun tüketilen güç miktarına göre değişimi



Kaynak: <https://beneito-faure.com/en/products/ufo-lens/>

Gilles Deleuze'e göre bu olgu sanatta önemli bir olgudur ve izleyiciler üzerinde metafizik bir etki bırakmaktadır (Görsel 3.42) (Deleuze, 2006).

Görsel 3.42

Night Scene – Peter Paul Rubens (1616-1617)



Kaynak: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peter_Paul_Rubens_-_Night_Scene_-_WGA20423.jpg

Caravaggio'da bu etkiyi kullanarak kontrast oluşturmuş ve asıl önemli olanı vurgulamak için ışığın yoğunluğundan yararlanmıştır. Rubens ise aynı olguyu eserlerinde mücevher gibi işlemiştir. Işın izleme, sanatçıya bu yoğunluğu hassas bir şekilde kontrol etme gücü vererek, izleyici üzerinde istenen duygusal ve estetik etkiyi yaratma imkânı sunmaktadır.

3.2.2.5. *Yansıma (reflection): Yüzeylerin aynası*

Bir ortama gelen radyasyon akışının aynı ortama iletilmesi olan yansıma (Formül 3.24, Görsel 3.43), sanatçıların uzun süredir ilgisini çeken bir fenomendir.

Görsel 3.43

Işığın yüzey normali ile yansıması



Kaynak: Yazar

Aynalar, yansıtıcı yüzeye sahip nesneler, su, deniz, göl gibi manzara öğelerini resmetmede sanatçılar bu fenomeni farklı şekillerde yorumlamışlardır. Fizik temel prensipleri yansıma konusunda değişmez olsa da sanatçılar gözleme dayalı olarak bu olguyu eserlerine farklı aktarmışlardır (Görsel 3.44, Vincent Van Gogh'un "Yıldızlı Gece"si).

Görsel 3.44

Starry Night over the Rhône – Vincent Van Gogh (1888)



Kaynak: <https://www.vincentvangogh.org/starry-night-over-the-rhone.jsp>

Croucher ve diğerlerine göre, ressamalar yansımayı kullanırken birebir tasvir etmekten ziyade, farklı şekillerde yansımalar kullanarak, bunun fark edilmeyen bir ayrıntı olduğunu ileri sürerler (Croucher ve diğerleri, 2002). Bu etki, V. Van Gogh'un aşağıdaki görselinde açıkça görülebilir. Dijital ışın izleme, bu yansıma prensibini fiziksel doğrulukla simüle ederek, sanatçıya yansıtıcı yüzeylerin estetiği üzerinde tam kontrol sağlar.

Yansıtılan akışın gelen alkış miktarına oranı 0 ila 1 arasında yer alır. Bu değere yansıma değeri (reflectance) adı verilmektedir.

$$\vec{R} = \alpha \vec{I} + \beta \vec{N} \quad (3.24)$$

$\vec{R}$, $\vec{I}$ ve $\vec{N}$ nin doğrusal kombinasyonudur (Görsel 3.44).

Yansıtıcı yüzeyler sanatçıların ilgisini çekmiştir. Aynalar, yansıtıcı yüzeye sahip nesneler, su, deniz, göl gibi manzara öğelerini resmetmede farklı davranmışlardır. Fizik temel prensipleri yansıma konusunda değişmezdir fakat sanatçılar izleme yolu ile bu olguyu eserlerine farklı aktarmıştır.

3.2.2.6. *Kırılma (refraction): Işığın ortamlar arası dansı*

Geometrik optikte kırılma, ışığın bir ortamdan başka bir ortama geçerken, ortamın kırılma indisine göre yönünde olan değişimi ifade etmektedir. Buradaki kırılma, Snell Yasası'na göre tarif edilebilir (Formül 3.25). Kırılan ışık ile gelen ışık arasındaki oran 0 ila 1 arasında değer almaktadır. Bu oran, ortamdan ortama geçişle farklı değerler alır; örneğin havadan cam yüzeye geçen ışık bir miktar bükülür (Görsel 3.45).

Görsel 3.45

Işığın yüzey normali ile kırılması



Kaynak: Yazar

Her ortamın farklı kırılma indisi vardır, bu da malzeme fiziğiyle açıklanmaktadır. Sanatçı, bu kırılma indislerini manipüle ederek, sanal ortamdaki objelerin ışığı nasıl büküğünü ve bu bükülmenin estetik etkilerini kontrol edebilir, böylece cam, su gibi şeffaf materyallere gerçekçi bir görünüm kazandırır.

Buradaki kırılma değeri ya da kırılma açısının oranı, ortamdan ortama geçiş ile farklı değerler almaktadır. Örneğin havadan cam yüzeye geçen ışık bir miktar bükülür. Snell Yasasına göre bu durum kırılma indisi ile orantılıdır. Her ortamın farklı kırılma indisi vardır. Bu durum malzeme fiziği ile açıklanabilmektedir.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \eta_{ti} = \frac{\eta_i}{\eta_t} \quad (3.25)$$

Burada i gelen ışığı, t iletim ortamını η_i ortam i 'nin kırılma indisi, η_t ortam t 'nin kırılma indisini verir.

3.2.2.7. *Kırılma değeri (transmittance): Maddenin geçirgenliği ve ışığın seyahati*

Absorbans (absorbance) veya geçirgenlik, fizikte spektrofotometri alanında kullanılan değerlerdir. Bu durum, radyans değeri ile de anlamlıdır. Kırılma ile ışık nesnenin içine doğru ilerler (örneğin cam gibi) (Görsel 3.46). Daha karmaşık yapıdaki ışık-materyal etkileşiminin fiziksel doğruluğunu belirlemede kullanılır. Sadece tekil görüntülerde (hareketsiz imgeler) bir etkisi olmasa da simülasyonlarda maddenin durumu (örneğin mumun erimesi veya su damlacığının buharlaşması) konusunda yardımcı olabilir. Sanatçı, geçirgenlik parametresini kullanarak, şeffaflık ve iç ışık dağılımı gibi görsel efektleri ince ayarlarla oluşturabilmektedir.

Görsel 3.46

Işığın suda kırılması



Kaynak: <https://www.bbc.co.uk/bitesize/articles/z4mts82>

3.2.2.8. Kırılma indisi (ior): Malzemenin Optik Kimliği

Kırılma indisi (IOR), ışığın ortamdan ortama geçtiği anda hız değişimindeki oranı temsil eder (Formül 3.26). Işık farklı bir ortama geçtiğinde doğrusal olarak bir miktar bükülmektedir. Bu bükülme, materyal yapısına göre çeşitlilik göstermektedir. Genellikle nesnenin yoğunluğuna göre kırılma indisi artar (digital-beings.com, 10.03.2021). Örneğin, üç boyutlu tasarımda havanın kırılma indisi 1.0 iken, camın kırılma indisi yaklaşık 1.33-1.45 arasında hesaplanır (Görsel 3.47). Sanatçı, bu değerlerle oynayarak, bir pırlantanın göz kamaştırıcı parıltısından bir bardak suyun dingin şeffaflığına kadar geniş bir yelpazede optik yanılsamalar yaratabilir.

Kırılma indisi;

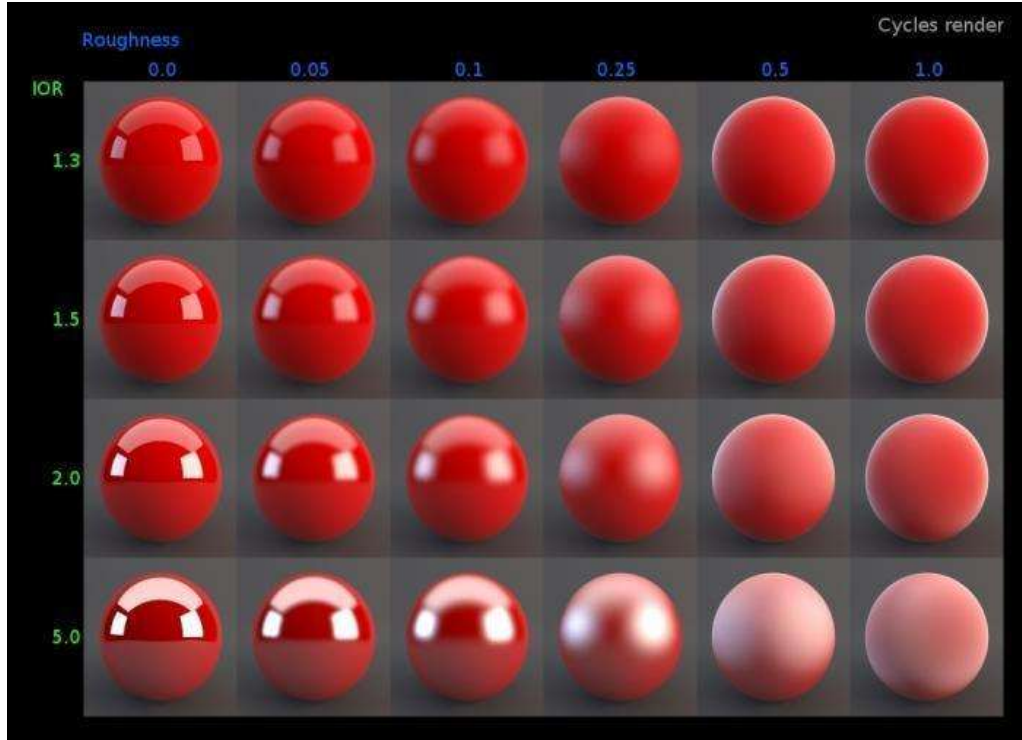
$$n = \frac{c}{v} \quad (3.26)$$

ile hesaplanır.

Burada n kırılma indisini, c ışık hızını v ise ortamdaki ışığın faz hızını verir.

Görsel 3.47

Kırılma indisi (ior) ve pürüzlülüğe (roughness) göre materyalin temsili gösterimi



Kaynak: <https://digital-beings.com/blog/index-refraction-ior>

3.2.2.9. Fresnel: : Işığın Açıya Bağlı Yansıması

Objelerin materyal bilimine göre, her obje farklı özellikte yansıma ve kırılma özelliğine sahiptir. Ne kadar ışığın yansıtılacağı, materyalin yüzey, soğurma, kırılma indisi ve moleküler yapısına göre farklılık göstermektedir. Işığın gelme ve yansıma açısına göre ışığın yayılma miktarındaki değişiklikler arz eder.

Örneğin, ışığın dik ya da eğik olması yansıma kuvvetine etki eder; ışık 90 derecelik açı ile gelirse yansıması da bir o kadar kuvvetli olur (Görsel 3.48).

Görsel 3.48

Fresnel etkisi



Kaynak: <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/introduction-to-shading/reflection-refraction-fresnel.html>

Yansıyan ve kırılan ışık miktarı Fresnel denklemleri olarak adlandırılan bir dizi matematiksel işlemlerle açıklanmaktadır (scratchapixel.com, 11.08.2021). Schlick'in yaklaşımına göre paralel ve dik gelen ışık için iki ayrı Fresnel denklemi (Formül 3.27) kullanılarak, bu ikisinin ortalaması (Formül 3.28) alınarak yansıyan ışığın gerçek oranı elde edilir. Işık-madde etkileşimini fiziksel görüntülere daha fazla yaklaştırdığı için Fresnel etkisi, Phong veya Lambert modellerine göre daha geniş bir materyal temsili elde etmiştir (Lawrence, 2006). Bu, sanatçının dijital ortamda materyallerin

görünümünü daha inandırıcı hale getirmesini sağlar; örneğin, metalik bir objenin kenarlarına yaklaştıkça daha parlak görünmesi gibi...

Işık, fizikte paralel ve dik olarak adlandırılan ve kendi içerisinde birbirine dik-polarize olarak adlandırılan birbirine dik dalgalardan oluşur. Fresnel formülünde her dalga için ayrı formül kullanılmaktadır. Çözümü bulmak için paralel ve dik olan bu dalgalar için iki farklı denklem oluşturulur ve bu sonuçların ortalaması alınır (scratchapixel.com, 11.08.2021).

Paralel ve dik olmak üzere gelen ışığın iki fresnel denklemi Schlick'in yaklaşımına göre:

$$F_{R\parallel} = \left(\frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} \right)^2 \quad (3.27)$$

$$F_{R\perp} = \left(\frac{n_1 \cos \theta_2 - n_2 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_2 + n_2 \cos \theta_1} \right)^2$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. İkisinin ortalamasını alarak yansıyan ışığın gerçek oranını elde ederiz.

$$F_R = \frac{1}{2} (F_{R\parallel} + F_{R\perp}) \quad (3.28)$$

n_1 , n_2 terimleri iki ortamın kırılma indisleridir ve $\cos \theta_1$ ve $\cos \theta_2$ terimleri sırasıyla gelme ve kırılma açılarıdır. Daha önce belirtildiği gibi, enerjinin korunumu nedeniyle, kırılan ışığın oranı basitçe şu şekilde hesaplanabilir:

$$F_T = 1 - F_R \quad (3.29)$$

3.2.3. Işık ve ışık türleri: Sahnenin duygusal mimarı

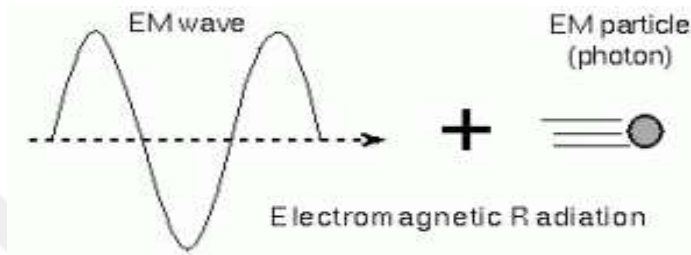
Işığın nasıl yayıldığı ile ilgili fizikte en önemli iki teori, parçacık (foton) yayılım teorisi ve dalga yayılım modelidir. Parçacık modeli, ışığın belirli bir enerjiye sahip fotonlardan meydana geldiğini ileri sürer ve her ortamda bu fotonların hızı sabittir (Ersoylu, 1997: 10). Dalga modeli ise, ışığın su dalgası şeklinde ilerlediğini varsayar (Ersoylu, 1997: 10). Fotonun enerjisi ile frekansı arasındaki bağ (Formül 3.30) ışığın rengini verir.

$$E = h * f \quad (3.30)$$

Burada E fotonun enerjisi, h Planck sabiti, f ise frekansıdır. Fotonun enerjisi ile frekansı arasındaki bağ ışığın rengini verir.

Görsel 3.49

Elektromanyetik radyasyon



Kaynak: <https://ibphysics.org/topic12/>

Dalga modeli genellikle girişim deneylerini açıklamada başarılıdır (Görsel 3.49).

Bilgisayar grafiklerinde aydınlanma, bir sahnede ışıkların istenen efekti elde etmek için yerleştirilmesi anlamına gelir. Işığın simülasyonu, fotogerçekçi olmayan işlemler için olduğu gibi fiziksel görünümüne yaklaştırma şeklinde olan işlemlerden de yararlanılabilir. Sahnenin farklı yerlerine yerleştirilen ışık kaynakları belirli parametreleri değiştirilerek farklı ışık türleri ile aydınlanma kontrol edilebilmektedir.

Ortamdaki ışığın doğru konum ve parametrelerle temsili, sahneye dramatik bir etki katar ve insanlar üzerinde farklı duygusal bir ruh hali ile bireye göre farklı etkiler oluşturmaktadır. Yağlıboya eserlerdeki rengin insan üzerindeki etkisi gibi, ışığın rengi ve davranışa etkisi, sanatsal estetikte önemli bir örnektir (Tian, 2022).

Ortamdaki ışığın doğru konum ve parametrelerle temsili sahneye dramatik bir etki katar. İnsanlar üzerinde farklı duygusal bir ruh hali ve bireye göre farklı etkiler oluşturmaktadır.

Nitekim yağlıboya eserlerdeki rengin insan üzerindeki etkisi araştırma konularına obje olmuştur. Yapılan araştırmalarda ışığında ışık kuramları bölümünde bahsettiğimiz gibi bireyin bu renklerden farklı duygular ürettiği (Tian, 2022) ve buna mukabil farklı

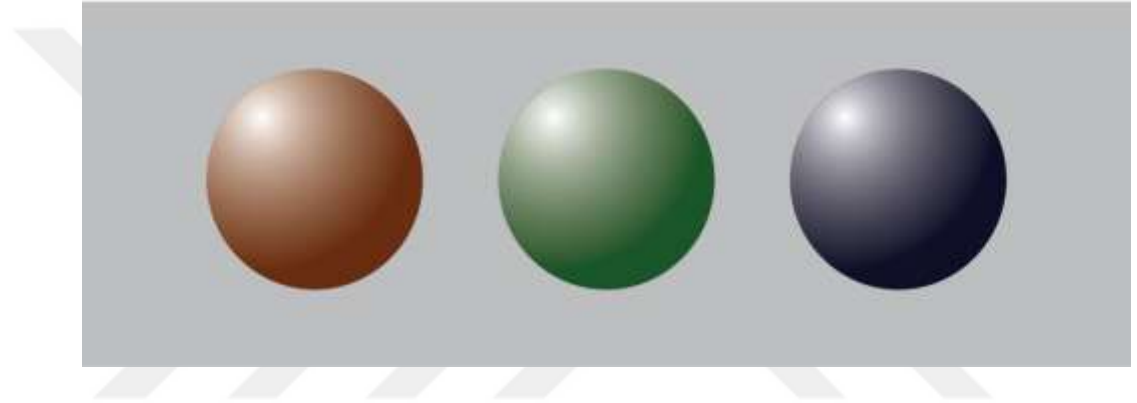
psikomotor davranışlar geliştiği söylenebilir. Buradaki estetik öge örneklemelerinden biri ışığın rengi ve davranışa etkisidir.

3.2.3.1. *Ambiyans ışık (ambient light): Ortamın Genel Havası*

Ambiyans ışık birçok farklı ışık miktarından gelerek oluşan ortam ışığı olarak adlandırılır (Görsel 3.50).

Görsel 3.50

Ambiyans ışık ile gölgeyi dışlama



Kaynak: Yazar

Genellikle basit ışık hesaplamalarında bu renk sabit bir renk olarak tanımlanır. Her malzeme için ortam ışığı katsayı olarak hesaplanmaktadır (Ross, 2014, 13).

$$I_{amb} = I_a * R_a \quad (3.31)$$

Burada I_a ortamdaki ışığın yoğunluğu, R_a ise malzeme için ortam yüzey katsayısıdır.

Genellikle basit ışık hesaplamalarında sabit bir renk olarak tanımlanır ve her malzeme için ortam ışığı katsayı olarak hesaplanır (Ross, 2014, 13). Ambiyans ışık tüm noktalarda sabittir, herhangi bir uzaklık ya da açı ile bağlantılı değildir (washington.edu, 25.11.2024). Global aydınlanmada kullanılarak, bir sahnenin genel atmosferini ve ruh halini kolayca ayarlama imkânı sunar.

3.2.3.2. *Direksiyonel ışık (directional light): Güneşin yönü*

Direksiyonel ışık, sonsuz uzakta bir kaynaktan yayılan ışığı temsil eder ve güneş ya da ay ışığını benzetimde idealdir (Görsel 3.51). Gelen ışığın bir yönü ve kaynağın uzaklığı göz önüne alındığında, bu ışık kaynağı tarafından oluşturulan tüm gölgeler paraleldir. Direksiyonel ışıkta ışık şiddetinde azalma olmamaktadır, yani ters kare yasası geçerli değildir. Bu, sanatçıya bir sahneye belirli bir günün saatini veya mevsimini çağrıştıran güçlü, yönlü bir aydınlatma sağlama imkânı sunmaktadır.

Görsel 3.51

Direksiyonel ışık



Kaynak: Yazar

3.2.3.3. *Noktasal ışık (point light): Bir Ampulün Gücü ve Gölgenin Sanatı*

Gerçek dünyada tam olarak olmasa da bilgisayar grafiklerinde sıkça kullanılan ve hesaplaması en kolay olan ışık türü noktasal ışıktır (Görsel 3.52).

Görsel 3.52

Noktasal ışık



Kaynak: Yazar

Işık, üç boyutlu uzayda bir nokta şeklinde pozisyona sahiptir ve bu nokta kaynağından her yöne eşit şekilde ışık yayılmaktadır. Işık şiddeti mesafenin karesine oranla azalmaktadır (ters kare yasası - wikipedia.org, 02.05.2024). Bu tür ışıkların sert geçişli gölgeler oluşturması, sanatsal bir tercih meselesidir. Uygulamanın noktasal ışıkta davranışını ölçmek için yapılan hata ayıklama (debug) modunda işleme (render) testleri (Görsel 3.53, Görsel 3.54 ve ek tablolar), objelerin ayrıntılı parametrik değerlerini ve ışık sayısı arttıkça yumuşak gölgelerin nasıl oluştuğunu göstermektedir. Sanatçıya, ışığın sertliği ve gölgelerin yumuşaklığı üzerinde hassas kontrol sağlamaktadır.

Işık etrafa yaydığı $1/d^2$ 'nin bir fonksiyonudur. Bunun anlamı mesafe azaldıkça ışık şiddeti de mesafenin karesine oranla azalma eğilimi göstermesidir. Buna fizikte “ters kare yasası” (inverse-square law) adı verilir (wikipedia.org, 02.05.2024). Dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri bu tür ışıkların hesaplanması sonucu oluşan gölgelerin sert geçişli olmasıdır.

Uygulamanın noktasal ışıkta davranışını ölçmek için hata ayıklama (debug) modunda işleme (render) alınmıştır. Bu işleme sırasında ölçülen objelerin ayrıntılı parametrik değerleri ve açıklamaları aşağıdaki tablolardaki gibidir.

Sahne ışıklandırması: *Sahne noktasal ışık kaynağı kullanılmıştır, 4 adet sahne işleme yapılmıştır. Sahne sırasıyla, 1, 10, 100 ve 100 adet ışıkla zaman ölçümü yapılmıştır.*

Parametre	Değer	Açıklama
<i>float radius</i>	10.0f	Sabit yarıçap kullanılmıştır.
<i>point3<float> light_position</i>	[0.0f, 30.0f, 40.0f]	İlk başta sabit bir pozisyon değeri belirlenip yumuşak gölge oluşturmak için bölge ışığına benzetmek amacıyla yarıçapına oranla mersenne twister rastgele sayı üretim fonksiyonu kullanılarak sahte örnekleme alınmıştır.
<i>float intensity</i>	{}	Işık sayısına bağlı olarak parlaklık izometrik olarak sahneye uyarlanmıştır
<i>L</i>	{ 0.05f, 0.05f, 0.05f }	Parlaklığa bağlı olarak beyaz tonlamada ışık kullanılmıştır.

Model bilgisi: Mesh model sayısı sadece ışığın zamana göre değişmesi ölçüleceği için sabit tutulmuştur.

Parametre	Değer	Açıklama
<i>class mesh</i>	*.obj	Örgü (mesh) obj dosya formatından sahneye aktarılmıştır. Sadece Cornell box örgüsü için kullanılmıştır. Obj dosyası ve diğer içeriklerin parametreleri xml formatındaki ayrıştırmadan alınmıştır. Obj dosyasından üçgen değerler alınmıştır ve standart kütüphane vektör değişkeninde depolanmıştır.
<i>class physical_material</i>	var	Evrensel ortak bileşenler kullanılmıştır. Tablo, parametrik küre tablosundan sonra verilmiştir.

Model bilgisi: Parametrik küre sayısı sadece ışığın zamana göre değişmesi ölçüleceği için sabit tutulmuştur. Sahnede 4 adet parametrik küre kullanılmıştır

Parametre	Değer	Açıklama
<i>class sphere</i>	Dosyasız parametrik form	Küre sınıfı matematiğe dayalı parametrik değerlerle oluşturulmuştur. Dosyadan yüklenmez.
<i>class physical_material</i>	var	Evrensel ortak bileşenler kullanılmıştır. Tablo, bir sonraki tabloda verilmiştir
<i>float radius</i>	{10.0f, 5.0f, 7.0f, 3.0f }	Sabit değer

Materyal bilgisi: Evrensel değerler kullanılmıştır. Tekstür kullanılmamıştır.

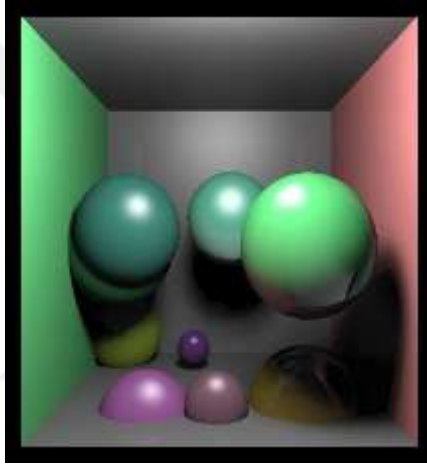
Parametre	Değer	Açıklama
<i>float transmission_weight</i>	[0.01f, 1.0f]	Mat ve cam yüzeyleri temsilen mersenne twister rastgele sayı oluşturma algoritmasını kullanır.
<i>float ior</i>	[1.0f, 2.0f]	Mersenne twister rastgele sayı oluşturma algoritmasını kullanır
<i>float roughness</i>	[0.1f, 1.0f]	0 ila 1 arasında değer alır. mersenne twister rastgele sayı oluşturma algoritmasını kullanır

<i>class brdf</i>	{ }	Sabit. Oren-Nayar yüzey modelini kullanır. Sigma: 0.8f
<i>color3<float> base_color</i>	{0.75f, 0.5f, 0.5f }	Sabit.

Sahneden alınan ve 1000 ışıkla ölçümü yapılan işleme görüntüsü ve zamana bağlı tablo Görsel 3.54 ve Görsel 3.55’de verilmiştir.

Görsel 3.53

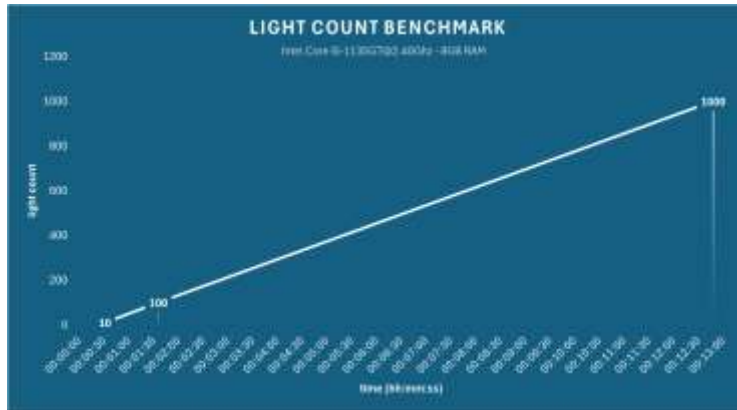
Ölçüm sonunda uygulamadan alınan bir işleme örneği



Kaynak: Yazar

Görsel 3.54

Noktasal ışık sayısını göre işleme zamanı



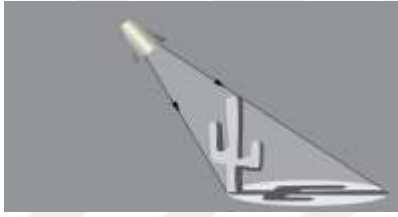
Kaynak: Yazar

3.2.3.4. *Spot ışık (spot light): Odaklanmış drama ve vurgu*

Spot ışık, genellikle noktasal ışık ile aynı aydınlanma özelliklerine sahiptir. Mesafeye göre ışık şiddeti azalmaktadır. Ancak spot ışığı noktasal ışıktan ayıran birkaç özellik vardır: bir yönü vardır ve koni biçiminde bir aydınlanmaya sahiptir (Görsel 3.55). Koninin açısı (cut-off angle) da ayarlanabildiği için daha geniş yüzey aydınlatması yapılabilir (math.hws.edu, 25.11.2024). Tiyatro sahnesindeki ışıklandırmaya benzer şekilde, spot ışıklar belirli bir objeyi veya alanı öne çıkararak kompozisyona odaklanma ve hiyerarşi katabilir, böylece sahneye dramatik bir etki sağlar.

Görsel 3.55

Spot ışık



Kaynak: Yazar

3.2.3.5. *Bölgesel ışık (area light): Yumuşak ve doğal aydınlatma*

Bölgesel ışıpta, cismin etrafa ışık yaydığı kabul edilir (Görsel 3.56).

Görsel 3.56

Bölgesel ışık (Area light)



Kaynak: Yazar

Cismin tipi küre, dikdörtgen, kare veya herhangi bir iki ya da üç boyutlu şekil olabilir. Noktasal ya da direksiyonel ışık kaynağından onu ayıran en önemli farkı, yumuşak gölge oluşturmastır. Işın izlemede kullanılan en gerçekçi ışık tipidir. Uygulama anti-aliasing ve bölgesel ışığı şu an için doğrudan desteklemese de disk şeklinde bir ışık kaynağıyla yapılan rastgele örnekleme (Görsel 3.57) ile yumuşak gölge oluşturma imkânı sunmaktadır. Bu, sanatçıya, fiziksel dünyadaki doğal ışıklandırmaya en yakın sonuçları elde etme imkânı sunar, bu da bir sahnede daha organik ve inandırıcı bir atmosfer yaratılmasına yardımcı olmaktadır.

Görsel 3.57

Işın izleme uygulamasında gölge yumuşatma için disk şeklinde bir soyut objeden rastgele örnekleme alınır



Kaynak: Yazar

Disk sınırlıkları diskin yarıçapına bağlıdır. İstikrarlı bir ışık kaynağı olması açısından bu çaptan örneklemeler alınmıştır.

3.3. Işın Çarpışma Testleri: Sanal dünyada etkileşimin anatomisi

Işın izleme uygulamalarında, kameradan ya da gözden gönderilen ışınların sanal ortamdaki nesnelerle nasıl etkileşime girdiğini belirlemek için ışın çarpışma testleri kullanılır. Bu noktada, düzlem, küre veya üçgen çarpışma testleri gibi yaygın türler mevcuttur.

3.3.1. Düzlem çarpışma testi: Sonsuz yüzeylerle etkileşim

Matematikte düz, iki boyutlu, sonsuz uzanan bir yüzey olan düzlem, ışın izlemede genellikle zemin veya duvar gibi büyük yüzeyleri temsil etmek için kullanılmaktadır. Düzlemin genel denklemi (Formül 3.32) veya normal ve yüzey üzerindeki bir nokta ile

tanımı (Formül 3.33) üzerinden, ışının düzlemlle kesişme noktasının hesaplanması (Formül 3.34-3.36), ışığın bu yüzeylere nasıl düşeceğini ve yansıyacağını belirlemektedir (siggraph.org, 25.11.2024). Sanatçı, bu sayede sanal bir sahnenin "zeminini" veya "arka planını" fiziksel olarak doğru bir şekilde oluşturabilir.

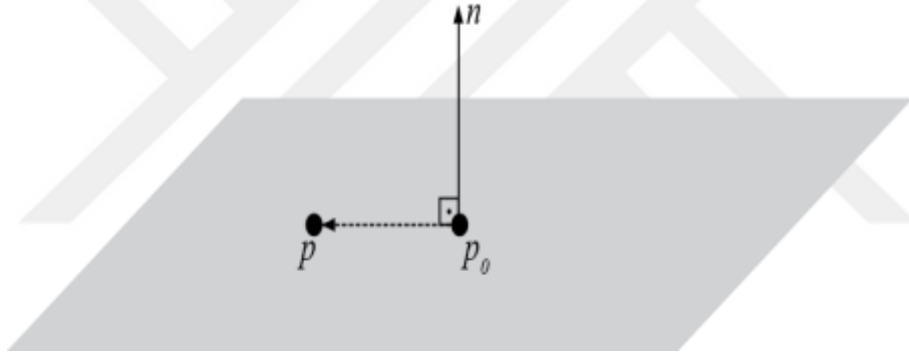
$$ax + by + cz + d = 0 \quad (3.32)$$

Düzlem vektör formunda sadece bir normal n ve yüzey üzerinde bulunan bir nokta p ile de tanımlanabilir (Görsel 3.58).

$$n \cdot (p - p_0) = 0 \quad (3.33)$$

Görsel 3.58

Düzlem üzerinde bir noktanın normali ve arasındaki uzaklığı gösteren temsili görüntüsü



Kaynak: Yazar

Işın üzerinde bir nokta ise;

$$r(t) = r_o + td \quad (3.34)$$

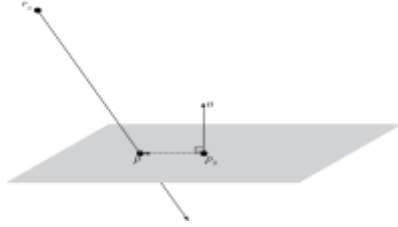
ile hesaplanır, $r(t)$ aynı zamanda noktalar bütünü olarak şu şekilde de ifade edilebilir:

$$r(t) = (r_{ox} + td_x), (r_{oy} + td_y), (r_{oz} + td_z) \quad (3.35)$$

Burada r_o ışının orijin noktası, d ışının yönü, t ise ışın üzerinde bir noktadır.

Görsel 3.59

Düzleme düşen ışının testi



Kaynak: Yazar

Eğer $r(t)$ denklem (2) de p 'nin yerine konursa;

$$\begin{aligned} n \cdot (r(t) - p_0) &= 0 \\ n \cdot (r_0 + td - p_0) &= 0 \\ n \cdot td + n(r_0 - p_0) &= 0 \\ t &= \frac{-n(r_0 - p_0)}{n \cdot t} = \frac{n(p_0 - r_0)}{n \cdot t} \end{aligned} \quad (3.36)$$

denklemini ile ışın üzerinde bir nokta hesaplanmaktadır. Bu da bize ışının düzleme çarpma noktasını vermektedir (Görsel 3.59) (siggraph.org, 25.11.2024).

3.3.2. Küre çarpışma testi: En basit formun etkileşimi

Küreler, kesişimleri hesaplamak için kullanılan en basit nesnelerden biridir (Ross, 2014: 9). Üç boyutlu Öklid uzayında belirli bir noktadan (orijin) r (yarıçap) mesafesinde bulunan tüm noktalar kümesi olarak adlandırılan kürenin denklemi (Formül 3.37), ışın üzerindeki bir nokta denklemiyle birleştiğinde (Formül 3.38), bu ikinci dereceden polinomun çözümü (Formül 3.41) bize ışının küreye giriş ve çıkış noktalarını vermektedir. Uygulamada farklı küre sayısına bağlı olarak işleme zamanının değişimi (ek tablolar), kürelerin basit geometrisine rağmen sahne karmaşıklığının performansı nasıl etkilendiğini gösterir. Bu testler, sanatçıya, yuvarlak formların ışıkla olan dinamik etkileşimini hassas bir şekilde simüle etme imkânı sunmaktadır.

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 \quad (3.37)$$

ile hesaplanır. Işın üzerindeki bir nokta denklem x, y, z 'nin yerine konursa;

$$(r_{ox} + td_x)^2 + (r_{oy} + td_y)^2 + (r_{oz} + td_z)^2 - r^2 = 0 \quad (3.38)$$

Kareleri genişletip t 'leri bir yerde toplarsak;

$$(d_x^2 + d_y^2 + d_z^2)t^2 + 2(r_{ox}d_x + r_{oy}d_y + r_{oz}d_z)t + r_{ox}^2 + r_{oy}^2 + r_{oz}^2 - r^2 = 0$$

Görüldüğü üzere bu ikinci dereceden bir polinomdur.

$$At^2 + Bt + C = 0 \quad (3.39)$$

Burada;

$$\begin{aligned} A &= (d_x^2 + d_y^2 + d_z^2) \\ B &= 2(r_{ox}d_x + r_{oy}d_y + r_{oz}d_z) \\ C &= r_{ox}^2 + r_{oy}^2 + r_{oz}^2 - r^2 \end{aligned}$$

Bu polinomun diskriminantı;

$$\Delta = B^2 - 4AC \quad (3.40)$$

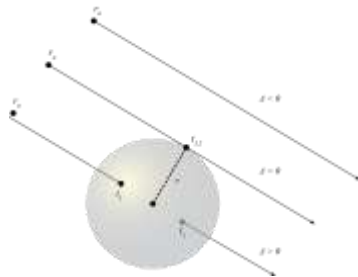
ile hesaplanabilir. Denklemin çözüm kümesi;

$$t_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{\Delta}}{2A} \quad (3.41)$$

$\Delta < 0$ ise ışın küreyi es geçmekte, $\Delta = 0$ ise ışın küreye teğet geçmekte, $\Delta > 0$ ise ışın küreyi iki noktada kesiyor demektir (Görsel 3.60). Bunlardan biri ışığın nesneye girişi, diğeri nesneden çıkış noktasıdır. Yakın olan nokta hesaba alınmaktadır (northeastern.edu, 15.11.2024).

Görsel 3.60

Küreye gönderilen ışınların çarpışma kuramı



Kaynak: Yazar

Uygulamada farklı küre sayısına bağlı olarak uygulamanın davranışını ölçmek için hata ayıklama modunda işleme alınmıştır. Objelerin ayrıntılı parametrik değerleri ve bu parametrelere bağlı açıklamaları aşağıdaki tablolardaki gibidir.

Model bilgisi: Mesh model sayısı sadece parametrik küre sayısına bağlı olarak zaman içerisinde değişimi gözlemleneceği için farklı sayılarda işleme alınmıştır.

Parametre	Değer	Açıklama
<i>class mesh</i>	*.obj	Örgü (mesh) obj dosya formatından sahneye aktarılmıştır. Sadece Cornell box örgüsü için kullanılmıştır. Obj dosyası ve diğer içeriklerin parametreleri xml formatındaki ayrıştırmadan alınmıştır. Obj dosyasından üçgen değerler alınmıştır ve standart kütüphane vektör değişkeninde depolanmıştır.
<i>class physical_material</i>	var	Evrensel ortak bileşenler kullanılmıştır. Tablo, parametrik küre tablosundan sonra verilmiştir.

Model bilgisi: Sahnede her bir işlemede farklı olmak kaydıyla zaman ölçümü yapılmış ve sahnede buna bağlı olarak sırasıyla 1, 10, 100, 1000 adet parametrik küre kullanılmıştır

Parametre	Değer	Açıklama
<i>class sphere</i>	Dosyasız parametrik form	Küre sınıfı matematiğe dayalı parametrik değerlerle oluşturulmuştur. Dosyadan yüklenmez.
<i>class physical_material</i>	var	Evrensel ortak bileşenler kullanılmıştır. Her kürede farklı materyal kullanılmıştır Tablo, bir sonraki tabloda verilmiştir
<i>float radius</i>	[2.0f, 10.0f]	Mersenne twister'den elde edilen sabit alt üst aralıkta rastgele değerler belirlenmiştir.

Materyal bilgisi: Evrensel değerler kullanılmıştır. Tekstür kullanılmamıştır.

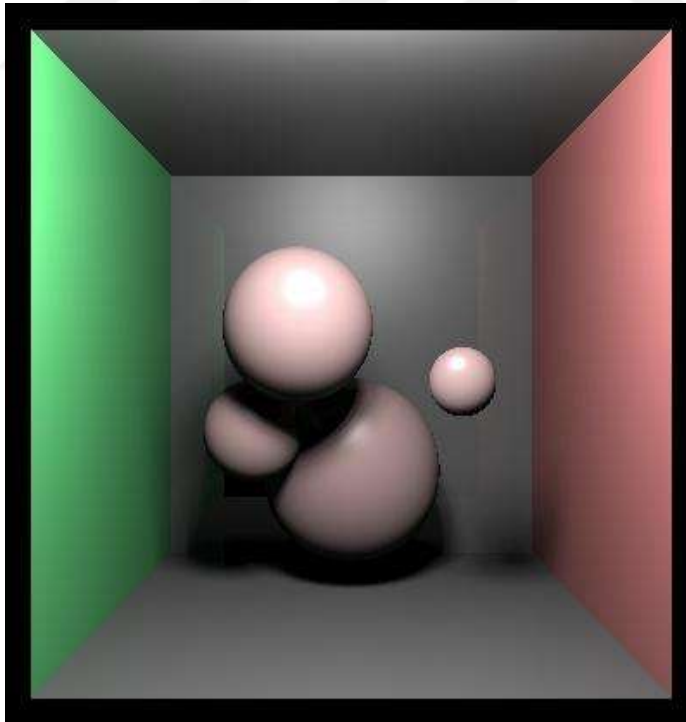
Parametre	Değer	Açıklama
<i>float transmission_weight</i>	[0.01f, 1.0f]	Mat ve cam yüzeyleri temsilen mersenne twister rastgele sayı oluşturma algoritmasını

<i>float ior</i>	[1.0f, 2.0f]	kullanır.
<i>float roughness</i>	[0.01f, 1.0f]	Mersenne twister rastgele sayı oluşturma algoritmasını kullanır
<i>class brdf</i>	{}	0 ila 1 arasında değer alır. mersenne twister rastgele sayı oluşturma algoritmasını kullanır
<i>color3<float> base_color</i>	[0.01f, 0.5f]	Sabit. Oren-Nayar yüzey modelini kullanır. Sigma: 0.8f
		Mersenne twister'den elde edilen rastgele değerlerle rgb renk bileşenleri kullanılmıştır.

Sahneden alınan ölçüm (100 küre) Görsel 3.61'te verilmiştir

Görsel 3.61

Ölçüm sonunda uygulamadan alınan bir işleme örneği

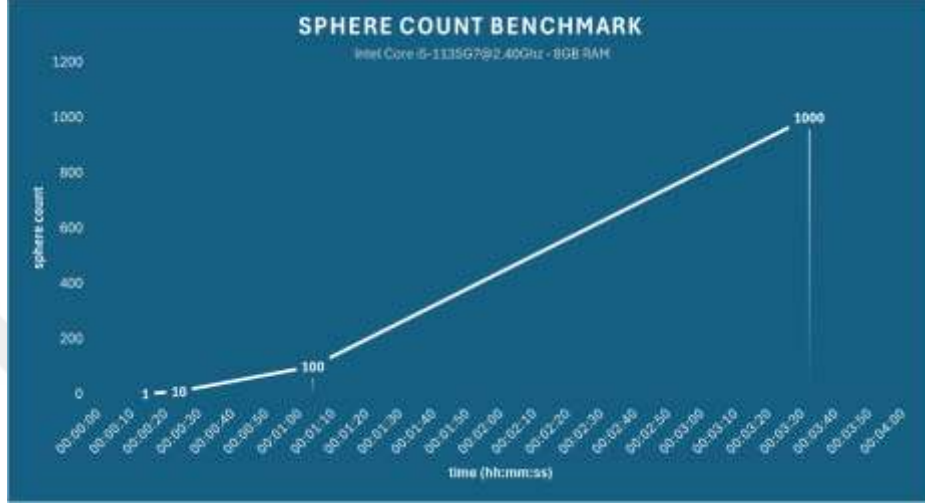


Kaynak: Yazar

Sahnenin zamana bağı grafik ise Görsel 3.62’da verilmiştir.

Görsel 3.62

Küre sayısını bağı olarak işleme zamanı



Kaynak: Yazar

3.3.3. Üçgen çarpışma testi: Karmaşık formların temeli

Üçgen, düzlem üzerinde üç noktadan oluşan kapalı bir form, yani bir çokgendir. Işının üçgeni kesip kesmediği, barisentrik koordinatlar (Formül 3.42-3.44) ve Möller-Trumbore metodu kullanılarak hızlıca hesaplanabilmektedir (washington.edu, 25.11.2024). Üçgenler, karmaşık 3D modellerin (mesh) temel yapı taşları olduğundan, bu testin verimli çalışması, detaylı sanatsal modellerin başarılı bir şekilde işlenmesi için hayati öneme sahiptir.

Üçgeni düzlem üzerinde üç noktadan oluşan kapalı form, bir çokgendir. Üçgeni ışının kesip kesmediği barisentrik koordinatlar kullanılarak hesaplanabilmektedir. Üçgen köşe noktaları P_0 , P_1 , P_2 olmak üzere barisentrik koordinat kullanarak üçgen içerisindeki bir nokta;

$$\begin{aligned} p(b_0, b_1, b_2) &= b_0 P_0 + b_1 P_1 + b_2 P_2 \\ b_0 + b_1 + b_2 &= 1 \\ b_0 &= 1 - b_1 - b_2 \end{aligned} \tag{3.42}$$

b_0 'ın yerine yukarıdaki denklemi konursa;

$$p(b_1, b_2) = (1 - b_1 - b_2)P_0 + b_1P_1 + b_2P_2 \quad (3.43)$$

Dolayısıyla;

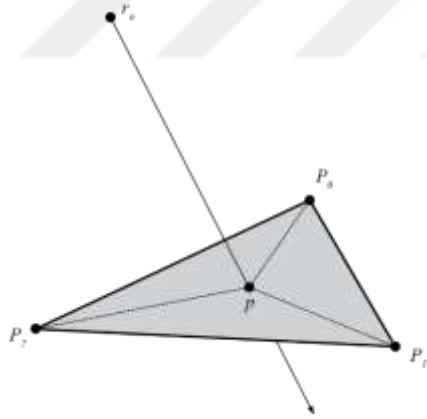
$$\begin{aligned} r_o + td &= (1 - b_1 - b_2)P_0 + b_1P_1 + b_2P_2 \\ r_o + td &= P_0 + b_1(P_1 - P_0) + b_2(P_2 - P_0) \end{aligned} \quad (3.44)$$

olur.

Geri kalan kısım Möller-Trumbore metodu kullanılarak (Görsel 3.63) hızlıca hesaplanabilir (washington.edu, 25.11.2024).

Görsel 3.63

Üçgene gönderilen nesnenin barisentrik koordinatlarının belirlenmesi



Kaynak: Yazar

3.4. Materyal ve Tayini: Nesnelerin görsel kimliği

Materyal, bir nesnenin ışıkla etkileşimi sonucunda yüzey üzerindeki belirli parametrik öğelerin birleşimiyle nesnenin görünüşünü tanımlayan temel bir unsurdur. Her nesne, yüzey yapısına göre ışıkla etkileşimde bulunmaktadır. Kâğıt, cam, plastik gibi farklı nesneler ışığa farklı tepki verir ve yüzey örüntüsü ile yapısı ayrı ayrı

karakterdedir. Yüzeyin reflektans değeri, kırılma indisi, rengi, yüzey yapısı gibi bir dizi parametre, materyal bileşenlerini oluşturur.

Işık çarpışma testleri ile nesnenin o noktadaki rengi, materyal yapısına bağlı olarak parametrik hesaplamalarla elde edilir. Işık yüzeylerde farklı davranır; parlak yüzeyler ışığı belirli bir dağılımla yansıtırken, mat ya da pürüzlü yüzeyler daha dağınık ve geniş bir şekilde yansıtır (Haines ve diğerleri, 2019: 11). Sanatçılar, farklı araçlarla nesnelerin gerçekçi görüntülerini elde etmede çeşitli teknikler geliştirmişlerdir (Görsel 3.64, Luis Meléndez'in "İncir ve Ekmekle Natürmort"u gibi). Sanatçı, üç boyutlu tasarımın gerçekçi modellemelerini oluştururken her bir nesneyi farklı ışık ve koşullarda ayrı ayrı analiz etmekte ve görsel çıktıyı oluştururken farklı tasarım süreçlerinden geçirmektedir. Bu noktada, her bir materyalin bu bölümde saydığımız parametrik değerlere göre farklı ışık ortamlarında farklı yansımalar oluşturduğu söylenebilir. Işığın kuvveti, örneğin Fresnel üzerinde farklı etkiler sağlarken, materyalin ışığın rengine bağlı olarak farklı algılandığını da söyleyebiliriz.

Görsel 3.64

Still Life with Figs and Bread - Luis Meléndez (1770)



Kaynak: <https://www.nga.gov/artworks/111627-still-life-figs-and-bread>

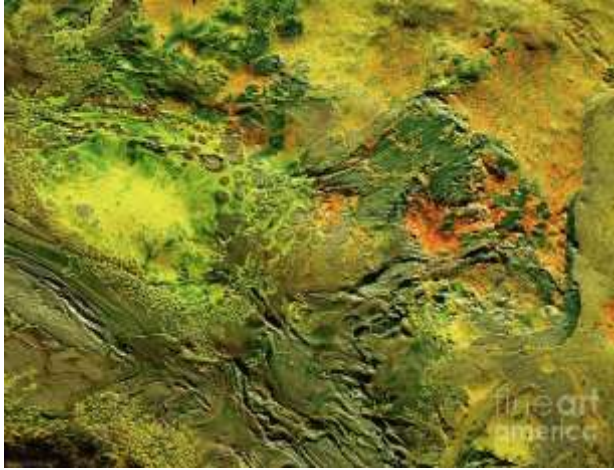
3.4.1. Materyal türleri: Sanal dünyanın zengin dokuları

Doğada çeşitli türde materyaller vardır. Bilgisayar destekli tasarımda, yüzey modellemelerine bağlı olarak difüz, speküler, metalik, pürüzlülük gibi temel parametrik bileşenlerle ifade edilirler. Her parametre topluluğu, farklı algoritmaların birleşimiyle oluşur. Tasarımcılar, bu farklılıkları temel bazı bileşenlerle temsil etme yoluna gitmiştir.

Prosedürel olarak oluşturulan tekstürler matematiksel temellere dayanır (Görsel 3.65). Örneğin Perlin, 1989’da hipertekstürün matematiksel temellerini oluştururken bu parametrik ifadelerden yararlanmış ve hipertekstür akımına da katkı sağlamıştır.

Görsel 3.65

Hipertekstür örneği



Kaynak: *fineartamerica.com*

3.5. Tekstür ve türleri: Yüzeyle can veren haritalar

Tekstür, dijital sanatta ve özellikle üç boyutlu dijital sanatta çok kullanılan terimlerden biridir. Tekstür, bir maddenin yüzeyini tanımlamakta kullanılan imgeler veya algoritmalar bütünüdür. Üç boyutlu dijital sanatta kullanılan çeşitli sayıda tekstür türleri vardır: difüz (diffuse), speküler (specular), normal, çıkıntı (bump), yer değiştirme (displacement), pürüzlülük (roughness), oyuk (cavity), çevresel perdeleme (ambient occlusion) vb. Tekstürler, yüzeyin veya materyalin ışığa karşı genel etkileşimini tasarlamak üzere kullanılmaktadır ve piksel olarak adlandırılan temel bileşenlerden oluşmaktadır. İmaj dosyalarına göre farklı türde piksel okuması yapılabilmektedir

(örneğin: JPG, BMP, PPM, PNG gibi). Bu tez boyunca oluşturulan tekstürler BMP dosya formatı olarak tasarlanmıştır.

3.5.1. UVW haritalama yöntemi

UVW haritalama yöntemi veya eşleme koordinatları, bir imajın üç boyutlu bir yüzeye projeksiyonu olarak adlandırılır. Eksen sayısına göre u, v, w olarak adlandırmalar alır ve bu eksenler x, y, z eksenlerine denk gelir (autodesk.com, 05.03.2021). Kartografyada da kullanım alanına sahip olan bu yöntem, sanatçının iki boyutlu bir tekstürü karmaşık 3D objelerin yüzeylerine "giydirmesini" sağlar.

3.5.2. Difüz (diffuse) tekstür: Temel renk ve ton

Difüz tekstür, bilgisayar grafiklerinde yüzeyin albedosunu (ışığı ne kadar yansıttığını) tanımlamak için kullanılan tekstürlenme yöntemlerindendir (Görsel 3.66). Gölge veya speküler yansıma olmadan modelin temel renk bileşenini tanımlayan bu tekstürler, modelin dış görünümünü veren ve en çok özen gösterilen boyama yöntemidir. Tıpkı bir ressamın tuvale attığı ilk renk katmanları gibi...

Görsel 3.66

Krita'da hazırlanan difüz tekstür haritası örneği



Kaynak: Yazar

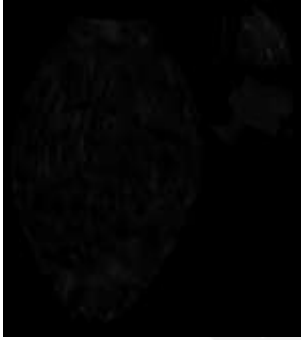
3.5.3. Speküler (specular) tekstür: Parlaklık ve yansıma

Speküler tekstür ise, modelin hangi bölgelerinin ışığı yansıtmada duyarlı olduğunu tanımlayan tekstürlerdir. Işık nesnelerde yansırken bazı nesnelerin belirli kısımlarının ışığa daha duyarlı olduğunu görürüz; speküler tekstür de bu yansılamayı

bize verir (Görsel 3.67). Genellikle siyah-beyaz bir boyamadan elde edilir. Siyah kısımlar ışığın az yansıdığı veya hiç yansımadığı alanları temsil ederken, beyaz kısımlar ışığın yansıdığı veya nesnenin o bölgesinin parlak olması gerektiği bilgisini taşıyan bölgelerdir. Gri bölgeler ise orta derecedeki yansımayı tanımlar.

Görsel 3.67

Krita'da hazırlanan spekülüler tekstür haritası



Kaynak: Yazar

3.5.4. Pürüzlülük (roughness) tekstür: Dokunun inceliği ve ışık etkileşimi

Pürüzlülük tekstürü, modelin alanlarının ışığa karşı duyarlılığını tanımlamada kullanılır. Yani ışığın modelin hangi alanında daha fazla yoğunluğa sahip olmasını veya hangi alanlarda daha az tepki vermesini çözmek için kullandığımız tekstür yöntemlerinden biridir (Görsel 3.68).

Görsel 3.68

Pürüzlülük (roughness) tekstürün model üzerindeki etkisi



Kaynak: <https://leahmorrellgamedesigner.wordpress.com/2020/09/29/learning-substance-painter/>

Bu yöntem de diğer siyah beyaz tekstür yöntemleri gibi, yüzey üzerinde 0 ve 1'lerin veya belirli minimum-maksimum renk aralığının (koyu ve açık değerlerin) interpolasyonu yöntemi ile yüzey üzerinde aydınlanma yapılmasını sağlar. Pürüzlü yüzeylerin speküler ışığı nasıl ve ne derecede yansıttığını gösterir.

3.5.5. Normal tekstür: Yapay derinlik ve detay

Normal tekstür, mavi, yeşil ve magenta tonlarında, daha ağırlıklı olarak mavinin baskın olduğu tekstür türleridir (Görsel 3.69).

Görsel 3.69

Blender'da oluşturulan normal tekstür haritası



Kaynak: *Yazar*

Bu tekstür haritaları, yüzey (model) üzerinde hangi bölgelerin girintili ve çıkıntılı olduğunu bildiren ve aynı zamanda yapay bölgelerin ışığa karşı duyarlılığını belirten bilgi dizisine sahiptir. Normal tekstür haritaları, bize yapay bir girinti-çıkıntı hissi verir fakat gerçek bir girinti-çıkıntı oluşturmaz. Gözün o kısımda gerçekten de girinti-çıkıntı varmış gibi algılamasına neden olmaktadır.

Oyunlarda sıkça kullanılan tekstür tiplerinden biridir. Oyun tasarımcıları, yüksek poligonlu modellerden normal haritaları oluşturup bunları düşük poligonlu modellerin yüzeyine işleyerek, modelin gerçekten de yüksek poligonluymuş gibi algılanmasını sağlarlar.

Bu yöntem, oyunlarda veri tasarrufu sağlamak amacıyla kullanılır, çünkü sahnede ne kadar çok poligon olursa işlem maliyeti o kadar artacak ve uygulama bir o kadar da

yavaşlayacaktır. Bu, sanatçının detayları ekonomik bir şekilde ifade etmesini sağlayan bir illüzyon sanatıdır (Görsel 3.70).

Görsel 3.70

Difüz ve speküler tekstür kullanılarak oluşturulmuş bir işleme (uygulamadan alınan örnek)



Kaynak: Yazar

3.6. Çarpışma Hızlandırıcıları: Karmaşık Sahnelerde verimlilik sanatı

Işın izleme uygulamasında, her bir üçgen için hesaplama maliyeti üçgen sayısı arttıkça doğrusal olarak artmaktadır. Bazı model-çarpışma testleri saatlerce hatta günlerce sürebilmektedir. Bu yüzden bu işlemi hızlandırmak için araştırmacılar bazı algoritmalar üretmişlerdir. Bu hızlandırıcılar, bir sanatçının büyük ve detaylı bir dünyayı, gerçek zamanlıya yakın bir performansla yaratmasına olanak tanımaktadır.

3.6.1. Sınırlayıcı kutu (bounding box) çarpışma testi: Mekânsal bölümlleme

Işın izleme uygulamasında ışın-üçgen kesişme testleri için hızlandırma yapısı olarak genellikle Sınırlayıcı Kutu Hiyerarşisi (BVH) olarak adlandırılan yöntem kullanılmaktadır (Truong 2015: 14). Eksen Hizalı Sınırlama Kutuları (AABB), ışın izleme uygulamalarında yaygın kullanılan bir yöntemdir. AABB'ler, görüntü düzlemini kutulara bölerek o noktalarda tarama işlemi yapar (rose-hulman.edu, 11.03.2021). AABB'ler, minimum ve maksimum olarak iki değerle tanımlanır ve bu kesişimler, bir boyutlu olarak tanımlanan (örneğin minimum x değeri) çizgi-düzlem kesişim testlerinden oluşur (Formül 3.45, 3.46).

AABB'ler ya da kutucuklar iki sınıra sahiptir. Bunlar maksimum ve minimum sınırlarıdır. Bu sınırlar, kutunun iki zıt köşesidir (rose-hulman.edu, 11.03.2021).

AABB, minimum ve maksimum olarak altı değerle $(x_i, y_i, z_i, x'_i, y'_i, z'_i)$ tanımlanır. Bu kesişimler bir boyutlu olarak tanımlanan (örneğin minimum x değeri) çizgi-düzlem kesişim testlerinden oluşmaktadır. Her sınırlayıcı düzlem, ışın bileşeni ile test edilir. Sonuçta bu testten bir t değeri elde edilir (rose-hulman.edu, 11.03.2021).

Örneğin ışın;

$$r = e + td \quad (3.45)$$

ise, minimum sınırdaki x değeri için bir sınırlayıcı kutu değeri;

$$\min_x = e_x + td_x t = \frac{\min_x - e_x}{d_x} \quad (3.46)$$

ile hesaplanmaktadır.

Işın izlemede düğüm olarak adlandırılan hiyerarşik yapılar vardır. Bu yapılar, alt düğümlerle bağlanabilir, yani kümeleme işlemine tabi tutulabilir. Eğer üst düğüm bir ışını geçirirsa alt düğümü test etmeye gerek kalmaz. Bu nedenle testlerde hızlı performans sağlamaktadır (Truong, 2015: 15).

Görsel 3.71'de sınırlayıcı kutu görselleştirmesi görülebilir; BVH'deki her düğüm şekilde yeşil renklidir. Sınırlayıcı kutu hiyerarşisinin çok fazla geometriye sahip alanlarda daha karmaşık olarak yoğunlaştığı görülebilir

Görsel 3.71

Sınırlayıcı kutu hiyerarşisi sahneyi kutu biçiminde bölümlendirir

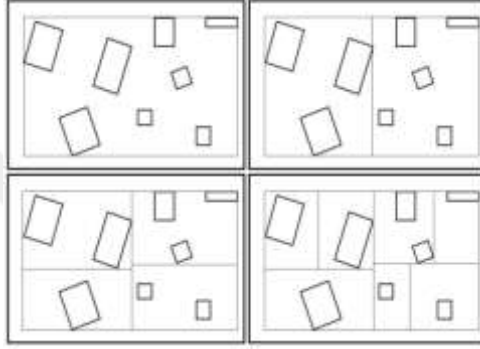


Kaynak: Physically Based Rendering - Implementation of Path Tracer

Sınırlayıcı Kutu Hiyerarşisi oluşturulurken ikili ağaç (Görsel 3.72, 3.73) yöntemine benzer diziler kullanılır ve bölümlmeler yapılır. Kötü şekilde yapılan bölümlmeler performansı doğrudan etkiler (Truong, 2015: 15-16). Bu, sanatçının, karmaşık ve detaylı sahnelerde dahi, makul işleme süreleriyle çalışabilme imkânı sunar.

Görsel 3.72

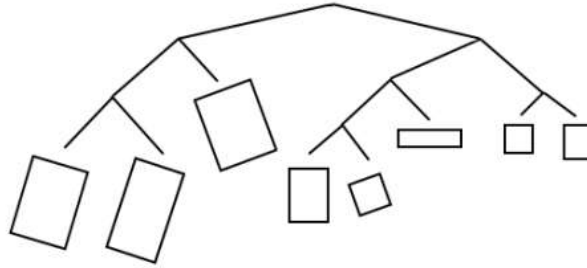
Sınırlayıcı kutu hiyerarşisini oluşturulma fazları



Kaynak: Physically Based Rendering - Implementation of Path Tracer

Görsel 3.73

Sınırlayıcı kutu hizalamanın yaprak biçiminde görünümü



Kaynak: Physically Based Rendering - Implementation of Path Tracer

3.6.2. K-boyutlu ağaç (kd tree) çarpışma testi: Optimize edilmiş uzay bölümlemesi

İkili Uzay Bölümleme (BSP - Binary Space Partitioning) ağaçları, belirli bir alanı düzlemlere ve alt düzlemlere ayırır. İlk kutucuk tamamen sahneyi kapsayan kutucuktur. Nesneler bölümlendirmelere, yani gruplandırılmaya başlanır. Bu gruplama özel

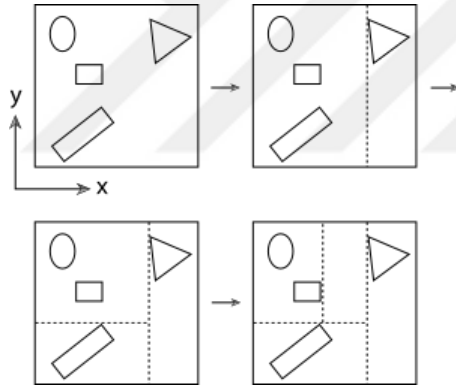
bölümleme yöntemidir ve alt parçacığın mekânsal olarak bölümlemesine kadar gidmektedir (pbr-book.org, 11.03.2021).

Bölme işlemi ağaç dallanmasına benzer; maksimum alt bölümlemeye ya da tek nesne bölümlemesine ulaşınca kadar devam etmektedir (Görsel 3.74). BSP ağaçları, düzensiz nesneleri konumlandırmada iyi bir yöntemdir (pbr-book.org, 11.03.2021).

BSP ağaçları, kd ve sekizli olmak üzere iki yöntemle de oluşturulabilir. Kd ağaç yöntemi, sahnedeki hesaplamayı, yani görüntü işleme süresini dramatik olarak düşürmektedir (pbr-book.org, 11.03.2021). Bu algoritmalar, sanatçının sanal heykellerini veya mimari tasarımlarını, yüzey geometrisindeki karmaşıklığı performanstan ödün vermeden temsil etmesine olanak tanımaktadır.

Görsel 3.74

K-Boyutlu Ağaç yöntemi bölümleme gösterimi



Kaynak: Physically Based Rendering - Implementation of Path Tracer

Bölme işlemi ağaç dallanmasına benzer. Maksimum alt bölümlemeye ya da tek nesne bölümlemesine ulaşınca kadar devam eder. BSP ağaçları düzensiz nesneleri konumlandırmada iyi bir yöntemdir (pbr-book.org, 11.03.2021).

Bu kısma kadar anlatılan bilgiler, uygulamanın analitik yapısını oluşturmak için gerekli olan temel bilgileri içerir. Bu bilgiler, bir ışın izleme uygulamasını oluşturmak için muhakkak gereklidir. Bu bilgileri kategorize edecek olursak; koordinat sistemi ve ilgili alt başlıklar, iki boyutlu tasarımcının (grafiker vb.) bilmesi gereken bileşenlerdir. Geometrik temeller (vektör, nokta, verteks, kenar vb.) bilgileri, üç boyutlu tasarımcının

bilmesi gereken bileşenlerdir. Üç boyutlu tasarımcı, iki boyutlu tasarımcının bilmesi gereken bilgilere ek olarak bu bilgileri de bilmelidir. Son kısma kadar gelen bilgiler ise daha teknik bir seviyeyi barındırır: ışık ve ona ait alt türevler, ışın izleme uygulaması için gerekli olan temel bilgilerdir.

Araştırmacılar, bu temel bilgiler ışığında (ek olarak kaynak kodunu inceleyerek), teorik bilgiyi uygulamada oluşturulanlarla birlikte sentezleyip disiplinler arası sanatsal bağlar kuracak ve bu temel bilgilere dayanarak, ışın izleme mantığını kavradıktan sonra geliştirmeler yapabileceklerdir. Bu, sadece mühendislik başarısı değil, aynı zamanda sanatın geleceğini şekillendiren bir yaratım sürecidir



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. IŞIN İZLEME UYGULAMASI: BİLGİSAYAR TEKNOLOJİSİNİN SANAT ÜRETİMİNDEKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ ÜZERİNE YAPISAL VE GÖRSEL BİR ANALİZ UYGULAMADA KULLANILAN PROGRAMLAMA DİLİ VE YAPISI

4.1.1. Sanatsal Üretimde Yeni Bir Araç: Işın İzleme Uygulamasının Temelleri

Sanat tarihinde, teknolojik yenilikler her zaman yeni ifade biçimlerinin ve estetik algıların kapısını aralamıştır. Fotoğraf makinesinin icadından sentetik boyaların keşfine kadar her ilerleme, sanatçının elindeki imkanları genişletmiş, yaratıcı süreci yeniden tanımlamıştır. Günümüzde ise bilgisayar teknolojileri, bu değişimin en dinamik alanlarından birini temsil etmektedir. Elinizdeki bu "ışın izleme uygulaması"nın teknik analizi, bilgisayarın artık sadece bir araç olmanın ötesine geçerek, sanat eserinin doğrudan üreticisi ve biçimlendiricisi haline geldiğini göstermektedir. Uygulama linki sonuç bölümünde verilmiştir.

Uygulamanın C++ programlama dili temelinde inşa edilmesi, hız ve algoritmik gücün, sanatsal çıktıya ulaşmadaki merkezîyetini vurgular. Tıpkı bir ressamın fırça darbelerinin veya bir heykeltıraşın kalemin keskinliğinin önem taşıması gibi, burada da güçlü algoritmalar, görsel dünyanın detaylı ve hassas bir şekilde simüle edilebilmesini sağlar.

Görselleştirme için Windows'un kendi kütüphanesinin kullanımı, sanatçının veya geliştiricinin, dijital tuval üzerinde çalışırken tanıdık arayüzlerle bütünleşme arayışının bir yansımasıdır.

4.1.2. Dijital Tuvalin Dokusu: İmaj Dosyasının Oluşturulması ve Renk Yönetimi

C++ standart kütüphanesi konsol tabanlı yapıya sahip olduğu için görselleştirme imkânı sunmamaktadır. Genellikle görselleştirme için *DirectX*, *Direct2D*, *OpenGL*, *Vulkan*, *Qt* gibi yardımcı kütüphaneler kullanılmaktadır.

Uygulamada görselleştirme için Windows'un kütüphanesi görsel hataları gidermede yardımcı olması açısından uygulamaya eklenmiştir. Ayrıca ek olarak dosyayı saklamak için imaj dosyalarından ppm imaj dosya yapısı internet kaynaklarından analiz edilmiş ve bu imaj yapısı ile ilgili bir sınıf oluşturulmuştur. Sanatsal bir üretimde görsel

kalitenin temelini, imajın dijital olarak nasıl saklandığı ve işlendiği belirler. Bu uygulamada PPM (Portable Pixmap) imaj dosya yapısının tercih edilmesi, temel ve şeffaf bir piksel erişimi sağlayarak, her bir noktanın sanatsal kontrole tabi tutulmasına imkân tanınmasıdır. Ayrıca kullanıcı dostu ve basit bir yapısı vardır.

PPM dosyasında ve uygulamanın tabanında 'unsigned char' tipindeki vektörlerin, her bir kırmızı (R), yeşil (G), mavi (B) piksel elemanı için 0 ila 255 arasında değerleri depolanması (Görsel 4.1), geleneksel renk paletlerinin dijital dünyadaki karşılığı gibidir. Sanatçı, bu sayısal değerler aracılığıyla renklerin inceliklerini, tıpkı bir pigmenti karıştırır gibi hassas bir şekilde yönetebilir.

Görsel 4.1

PPM sınıfı uygulamada CImage temel sınıfından türemiştir

```
namespace NFileType
{
    class CPPM : public CImage
    {
    public:
        CPPM();
        ~CPPM();
    };
}
```

Kaynak: Yazar

PPM dosyası işlendikten sonra gama kodlama fonksiyonunun (Görsel 4.2) kullanımı, ham dijital görüntünün, izleyicinin gözü için en doğal ve estetik olarak hoş görünen değerlere (burada 2.2) ayarlanmasını sağlar. Bu, tıpkı bir fotoğrafçının karanlık odada ışık ve kontrast ayarlarıyla oynayarak görüntüyü son haline getirmesi gibi, dijital ortamda renk dengesinin ve parlaklığının sanatsal denetimini ifade eder.

'Float' türünden 'int' formatına dönüşüm, bu süreçte hassas renk geçişlerinin ve tonlamaların korunmasına olanak tanır, böylece dijital piksel verisi, nihai görsel deneyimi optimize eder.

CImage temel sınıfının (Görsel 4.3) genişlik, yükseklik ve piksel formatı gibi parametreleri barındırması, dijital tuvalin boyutlarını ve çözünürlüğünü belirlemede sanatçıya esneklik sunmaktadır. Her bir baytın doğru depolanması, sanat eserinin

bütünlüğünü korumak açısından hayati öneme sahiptir; zira en küçük bir hata dahi, görsel bütünlüğü bozarak eserin sanatsal etkisini tamamen değiştirebilir.

Görsel 4.2

Gama değerlerini ayarlamak için kullanılan GammaEncode() fonksiyonu

```
int CPPM::GammaEncode(float color, float displayConstant)
{
    return int(pow(NMath::Min(1.0f, NMath::Max(0.0f, color * displayConstant)), 1.0f / 2.2f) * 255.0f);
}
```

Kaynak: Yazar

Dikkat edilirse gama fonksiyonunun bir diğer amacı, *float* türünden oluşturulan rengin ilk önce minimum ve maksimum fonksiyonları ile 0.0 ile 1.0 arasında bir değere sabitlendikten sonra *int* formatına dönüştürülmesidir. Burada *int* tipi değişken daha sonra 0 ile 255 arasında bir değere sabitlenir. En son da bu değer vektör *unsigned char* yapısında depolanır.

Ayrıca *CImage* (Görsel 4.3) temel sınıfı genişlik (*width*), yükseklik (*height*), bpp (*bits per pixel*) ve piksel formatı üye değişkenlerini barındırır. Varsayılan olarak bpp değeri 24 bit ve piksel formatı *RGB* dir.

Görsel 4.3

CImage sınıfı imaj ile ilgili bazı temel değişkenleri barındırır.

```
public:
    unsigned int width, height;
    unsigned short bpp;
    unsigned short numChannels;
    EPixelFormat pixelFormat;

public:
    std::vector<unsigned char> pixels;
```

Kaynak: Yazar

Yükseklik ve genişlik; *unsigned int* tipinden numerik değişkendir. bpp ve numChannels *unsigned short* tipindedir. pixels değişkeninin büyüklüğü ise; genişlik, yükseklik, bpp yapısı ve piksel formatına göre bir değer alır. Piksel sayısı daha önce de belirttiğimiz gibi bayt sayısı her bir kanal için 1 bayt (*8 bit unsigned char*) olarak tanımlanmış olup bu bayt sayısı genişlik, yükseklik, kanal başına düşen byte sayısı ve kanal sayısının çarpımı ile elde edilip vektör yapısında depolanır. Bu depolamanın doğru belirtilmesi, oluşturulan imajın dosya görüntüleyicilerinde doğru olarak gösterilmesi için önemlidir. Bir baytın piksel değişkenine eksik ya da fazla yazılması görüntüyü tamamen değiştirir ve görüntünün dosya görüntüleyicisinde doğru ya da hiç görüntülenememesine sebep olmaktadır.

4.1.3. Matematiksel Şiir: Sanatın Ardındaki Soyut Yapılar

Sanatın sadece estetik bir ifade değil, aynı zamanda matematiksel ve geometrik bir düzen içerdiği fikri, Rönesans perspektif çalışmalarından modern soyut sanata kadar uzanan bir tarihe sahiptir.

Bu ışın izleme uygulamasında, nokta (Görsel 4.4), vektör, renk ve ışın şablon sınıflarının oluşturulması, bu matematiksel yapının dijital sanattaki yansımasıdır. Bu sınıflar, karmaşık geometrik formülleri ve ışık hesaplamalarını basit, yönetilebilir bir yapıya dönüştürerek, sanatçının yaratıcılığını teknik detayların yükünden kurtarır. Ortak değişken yapıları, sanatçıya 'float' veya 'int' gibi farklı hassasiyetlerde çalışabilme esnekliği sunarken, operatör yüklemeleri (Görsel 4.5) ve matematiksel metotlar (Görsel 4.6), karmaşık aritmetik işlemleri sezgisel bir biçimde gerçekleştirmeyi mümkün kılmaktadır.

Görsel 4.4

Üç değişkenden oluşan nokta şablon sınıfı

```
template <typename T>
class CPoint3
{
public:
    CPoint3() : x(), y(), z() {}
    CPoint3(T t) : x(t), y(t), z(t) {}
    CPoint3(T x, T y, T z) : x(x), y(y), z(z) {}
    ~CPoint3() {}
};
```

Kaynak: Yazar

Işın izlemenin *'float'* türünden kayan noktalı sayıları kullanması, ışık, gölge ve yüzey etkileşimlerinin daha önce de bahsettiğimiz gibi yüksek hassasiyetle hesaplanmasını sağlar; bu da elde edilen görüntülerin foto gerçekçiliğini artırır. Görüntü işleme sürecindeki bu maliyetli aritmetik işlemlerin ve algoritmaların optimize edilmesi, sanatsal bir eserin yaratılma süresini kısaltarak, sanatçının daha fazla deneme yapmasına ve yaratıcı vizyonunu daha hızlı gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır.

Bu sınıfların inşası (constructors) ile örneğin iki ya da üç boyutlu uzayda temsil edilen değişkenlerin vektör ya da nokta türünden değişkenlerin her bir elemanına varsayılan olarak sıfır değeri, aynı değere sahip ya da farklı değerlere sahip değişkenler oluşturulabilmektedir.

Görsel 4.5

Üç değişkenli CVector3 sınıfı operatör yüklemeleri

```
bool operator==(const CVector3& v) const { return v.x == x && y == y && z == z; }
bool operator!=(const CVector3& v) const { return v.x != x || y != y || z != z; }

CVector3& operator+=(const CVector3& v) { return CVector3(x+v.x, y+v.y, z+v.z); }

CVector3& operator-=(const CVector3& v) { return CVector3(x-v.x, y-v.y, z-v.z); }
CVector3& operator+=(const CVector3& v) { return CVector3(x+v.x, y+v.y, z+v.z); }
CVector3& operator/=(const CVector3& v) { return CVector3(x/v.x, y/v.y, z/v.z); }

CVector3& operator*(const CVector3& v) { return CVector3(x*v.x, y*v.y, z*v.z); }
CVector3& operator/=(const CVector3& v) { return CVector3(x/v.x, y/v.y, z/v.z); }

CVector3& operator*(const CVector3& v) { return CVector3(x*v.x, y*v.y, z*v.z); }
CVector3& operator/=(const CVector3& v) { return CVector3(x/v.x, y/v.y, z/v.z); }

CVector3& operator*(const CVector3& v) { return CVector3(x*v.x, y*v.y, z*v.z); }
CVector3& operator/=(const CVector3& v) { return CVector3(x/v.x, y/v.y, z/v.z); }

CVector3& operator*(const CVector3& v) { return CVector3(x*v.x, y*v.y, z*v.z); }
CVector3& operator/=(const CVector3& v) { return CVector3(x/v.x, y/v.y, z/v.z); }
```

Kaynak: Yazar

Görsel 4.6

Vektör sınıfına ait bazı matematiksel metotlar

```
// methods
template <typename T>
inline T LengthSquared(const CVector3& v) { return v.x * v.x + v.y * v.y + v.z * v.z; }

template <typename T>
inline T Length(const CVector3& v) { return sqrt(LengthSquared(v)); }

template <typename T>
inline CVector3& Normalize(const CVector3& v) { return v / Length(v); }

template <typename T>
inline T Dot(const CVector3& v1, const CVector3& v2) { return v1.x * v2.x + v1.y * v2.y + v1.z * v2.z; }

template <typename T>
inline T AbsDot(const CVector3& v1, const CVector3& v2) { return fabs(v1.x * v2.x + v1.y * v2.y + v1.z * v2.z); }

template <typename T>
inline CVector3& Cross(const CVector3& v1, const CVector3& v2)
{
    return CVector3&T(
        (v1.y * v2.z) - (v1.z * v2.y),
        (v1.z * v2.x) - (v1.x * v2.z),
        (v1.x * v2.y) - (v1.y * v2.x));
}
```

Kaynak: Yazar

Matematiksel metotlar tekrar eden işlemlerin oluşturduğu yordamlardır. Bu yordamlar ışın izleme uygulamasında oldukça sık kullanılmaktadır. Işın izleme uygulamasının oldukça maliyet gerektiren kısımları bu aritmetik işlemler, yani yordamların barındırdığı algoritmalarlardır. Uygulamada en çok kullanılan işlemler vektör, nokta, renk aritmetiği ve çarpışma testleridir.

Uygulamada işleme sürelerini yüzde olarak hesaplayan, işleme boyunca ne kadar sürenin geçtiği ve ne kadar sürenin kaldığını saniye türünden tahmin eden ve konsola yazan bir hesaplama bulunmaktadır. Bu süreler dikkate alındığında şekil sayısı (üçgen, küre vb.) ve ışık sayısına bağlı olarak işleme süreleri arasında korelasyon farklılıkları bulunmaktadır. Bu süreleri azaltmak için bir dizi hızlandırıcı algoritmalar tanımlanmıştır.

Algoritmik Fırça Darbeleri: Çarpışma Testleri ve Hızlandırıcılar

Bir ressamın tuvale fırça darbesi atarken veya bir heykeltıraşın malzemeyi şekillendirirken gösterdiği ustalık, dijital sanatta **çarpışma testleri** ve hızlandırıcı algoritmalar aracılığıyla karşılık bulur. Uygulamada kullanılan düğüm (node) bazlı hızlandırmalar ve ikili ağaç sistemi (K-Dimensional Tree - Görsel 4.7), karmaşık sahnelerin işleme sürelerini kısaltırken, ışınların objelerle nasıl etkileşime girdiğini de hassas bir şekilde belirlemektedir. Bu algoritmalar, ışığın bir yüzeye çarpması, yansımaları veya kırılması gibi fiziksel olayları matematiksel olarak simüle ederek, sanal dünyayı inandırıcı kılmak için temelini oluşturur.

Görsel 4.7

K-Dimensional Tree (ikili ağaç) sınıfı ve metotları

```
class KDTree
{
public:
    KDTree();
    ~KDTree();

    KDTree* Build(std::vector<CShape*>& s, int depth);
    bool hit(KDTree* node, Ray* ray, Intersection* iact);

public:
    KDTree* left;
    KDTree* right;
    CRos<float> box;
    bool leaf;
    std::vector<CShape*> shapes;
};
```

Kaynak: Yazar

Bir ışının yüzeyle çarpışma noktasının tespiti, o noktanın normali ve barisentrik koordinatlarına bağlı olarak tekstür koordinatlarının hesaplanması ve CIntersection sınıfında depolanması (Görsel 4.8), sanal dünyadaki her pikselin, fiziksel gerçekliğe yakın bir biçimde renk ve ışık bilgisi taşımasını sağlar. Elde edilen bu bilgilerle, Oren-Nayar BRDF modeli gibi yüzey fonksiyonlarının (Görsel 4.9) kullanılması, bir materyalin ışığı nasıl yansıttığını ve dağıttığını detaylıca modelleyerek, sanal ortamdaki objelerin inandırıcı bir dokuya sahip olmasına olanak tanır. Bu, sanatçının ışığı ve yüzey dokusunu, tıpkı fiziksel dünyada olduğu gibi, manipüle etme yeteneğini dijital alana taşır.

Görsel 4.8

CIntersection sınıfında (örneğin üçgen çarpışma testinde) bilgilerin depolanması

```

Intersection = ray(thit);
Intersection = Math::Normalize(
    Math::Vector::Float(normals[0].x, normals[0].y, normals[0].z) * b0 +
    Math::Vector::Float(normals[1].x, normals[1].y, normals[1].z) * b1 +
    Math::Vector::Float(normals[2].x, normals[2].y, normals[2].z) * b2);

Intersection.uv = uv[0] * b0 + uv[1] * b1 + uv[2] * b2;
Intersection.thit = thit;
Intersection.ray_epsilon = 1e-04 * thit;
Intersection.shape = const_cast<Triangle*>(this);

```

Kaynak: Yazar

Çarpışma testinde elde edilen bilgi ile yüzeyin ışınla yaptığı açıya oranla materyal bilgisi ile ışığın kuvveti belirli bir aritmetiğe göre hesaplanır (Görsel 4.9) ve renk bilgisi bu noktanın koordinatına bağlı olarak imaja projeksiyon edilir, ilgili piksel noktasının bilgisi piksel değişkenine atanır.

Görsel 4.9

Oren-Nayar BRDF modeline göre çarpışma testinden elde edilen bilgilerle yüzey fonksiyonunun hesaplanması

```

//MyVec::Color::Float::Color::F(const Math::Vector::Float& uv, const Math::Vector::Float& n1, CIntersection* i) const
{
    float cos_theta_d1 = Math::Dot(n1, i->ray);
    float cos_theta_d2 = Math::Dot(n1, i->ray);
    float theta = atan(cos_theta_d2);
    float theta_d1 = atan(cos_theta_d1);
    float alpha = Math::Rho(theta, theta_d1);
    float beta = Math::Rho(theta, theta_d2);
    float cos_d1_d2 = Math::Dot(n1, uv);
    return color * (1/(1 + (1 + Math::Rho(0.04, cos_d1_d2)) * sin(alpha) * tan(theta)));
}

```

Kaynak: Yazar

4.2. Uygulama Çıktılarının Yüzey Türünden Analizi

Sanatın temel unsurlarından biri, formu ve hacmi algılamaktır. Bu ışın izleme uygulamasında küre (CSphere), üçgen (CTriangle) ve örgü (CMesh) gibi şekil sınıfları, dijital heykelin veya mimarının temel yapı taşlarını oluşturur. CShape temel sınıfı (Görsel 4.10) aracılığıyla objelerin pozisyonu ve materyal bilgisi yönetilirken, her bir şeklin kendine özgü kesişme yordamları (Görsel 4.11) ve örgü sınıfının OBJ gibi 3D model dosyalarını yükleyebilmesi, sanatçıya sınırsız bir form yaratma ve içe aktarma (import) özgürlüğü tanır.

Görsel 4.10

Şekil temel sınıfı

```
class CShape
{
public:
    CShape() : material(nullptr) {}
    virtual ~CShape() {}

    virtual NMath::CPoint* MidPoint() const = 0;

    virtual bool Intersect(NMath::CRay* ray, CIntersection* isect) const = 0;
    virtual bool IntersectP(NMath::CRay* ray) const = 0;
    virtual NPhysic::CColor* Color* f(const NMath::CVector* v, const NMath::CVector* w, CIntersection* isect) const = 0;

public:
    NMath::CPoint* position;
    CMaterial* material;
    CColor* color;
};
```

Kaynak: Yazar

Küre sınıfı temel olarak kürenin yarıçap ve bazı kesişme yordamlarını içerir. Yordamlar sınırlayıcı kutu kesişmesi ve küre kesişme fonksiyonlarıdır (Görsel 4.11).

Görsel 4.11

Küre sınıfı şekil temel sınıfından türemiştir

```
class CSphere : public CShape
{
public:
    CSphere();
    CSphere(float radius, const NMath::CPoint* position, CMaterial* material);
    ~CSphere();

    NMath::CPoint* MidPoint() const;

    bool Intersect(NMath::CRay* ray, CIntersection* isect) const;
    bool IntersectP(NMath::CRay* ray) const;

    NPhysic::CColor* Color* f(const NMath::CVector* v, const NMath::CVector* w, CIntersection* isect) const;

public:
    float radius;
};
```

Kaynak: Yazar

Üçgen sınıfı ise (Görsel 4.12) üçgenin köşe noktaları, yüzey normal ve uv koordinatlarını içerir. Ayrıca kesişme yordamları, normal hesaplamaları ve bazı üçgene ait özel hesaplamaları içermektedir.

Görsel 4.12

Üçgen sınıfı da şekil temel sınıfından türemiştir

```
class CTriangle : public CShape
{
public:
    CTriangle();
    CTriangle(NMath::CPoint3<float> v_points[3], CMaterial* material);
    CTriangle(NMath::CPoint3<float> v_points[3], NMath::CVector3<float> v_normals[3], CMaterial* material);
    CTriangle(NMath::CPoint3<float> v_points[3], NMath::CVector3<float> v_normals[3], NMath::CPoint2<float> v_uv[3], CMaterial* material);
    ~CTriangle();

    NMath::CPoint3<float> MidPoint() const;

    float Area();

    NPhysic::CColor3<float> f(const NMath::CVector3<float>& wo, const NMath::CVector3<float>& wi, CIntersection* isect) const;

    bool Intersect(NMath::CRay<float>& ray, CIntersection* isect) const;
    bool IntersectP(NMath::CRay<float>& ray) const;

    void CalculateVertexNormals();
    NMath::CVector3<float> CalculateFaceNormal();

public:
    NMath::CPoint3<float> points[3];
    NMath::CVector3<float> normals[3];
    NMath::CPoint2<float> uvs[3];
};
```

Kaynak: Yazar

Örgü sınıfı (Görsel 4.13), üçgenleri toplu olarak barındıran ve şeklin formunu oluşturan özel bir sınıftır. Obj üç boyutlu model dosya türüne ait nesnelerin yüklenmesini sağlayan yordamı içermektedir.

Görsel 4.13

Örgü (mesh) sınıfı üçgenleri bir arada bulundurur

```
class CMesh
{
public:
    CMesh();
    CMesh(std::string filename, CMaterial* material);
    ~CMesh();

    bool LoadFromObj(std::string filename, CMaterial* material);

public:
    std::vector<CTriangle*> triangles;
};
```

Kaynak: Yazar

Görsel 4.14'te yüksek çözünürlüklü obj dosyasının uygulamadan alınan görüntüsü görülmektedir.

Görsel 4.14

Örgü (mesh) sınıfı ile obj dosyasından yüklenen bir modelin işlemesi (uygulamadan alınan yüksek çözünürlüklü örnek)



Kaynak: Yazar

4.3. Uygulama Çıktılarının Işık Türünden Analizi

Işık, bir sanat eserinin ruhunu belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Bu uygulamada noktasal ve direksiyonel ışık kaynaklarının (Görsel 4.15) kullanılması, sanal bir sahneyi aydınlatmada temel estetik tercihlere olanak tanımaktadır.

Görsel 4.15

Noktasal ve direksiyonel ışık CLight temel sınıfından türemiştir

```
class CLight
{
public:
    CLight() : intensity(0) {}
    virtual ~CLight() {}

    virtual NPhysic::CColor3<float> Sample(const NMath::CPoint3<float>& p, NMath::CVector3<float>* wi) const = 0;

public:
    NMath::CPoint3<float> position;
    NPhysic::CColor3<float> L;
    float intensity;
};
```

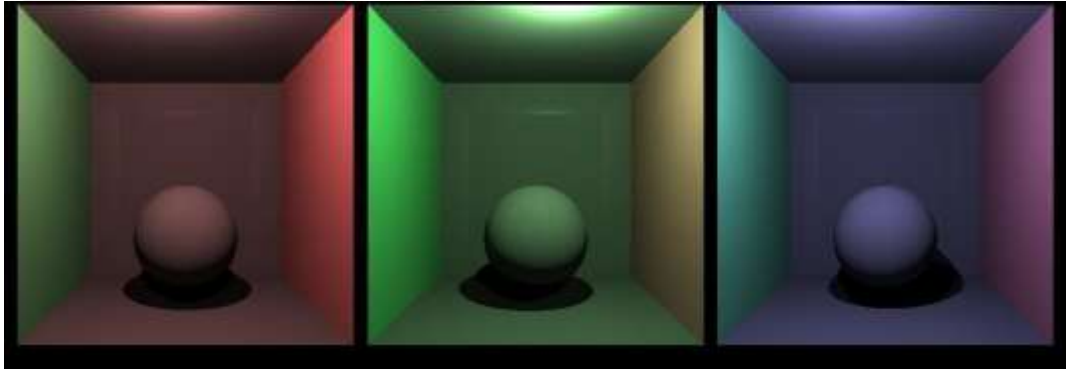
Kaynak: Yazar

Işığın rengi (Görsel 4.16), yoğunluğu ve pozisyonu gibi parametrelerin ayarlanabilmesi, tıpkı bir fotoğraf stüdyosunda veya bir tiyatro sahnesinde ışıklandırma yapılır gibi, sahnenin atmosferini ve dramatik etkisini değiştirmeye imkân verir. Özellikle, noktasal ışık kaynaklarının dağıtılmasıyla yumuşak gölgeler elde edilmesi, sanatsal bir eserde derinlik ve gerçekçilik yaratmanın kritik bir yönüdür; bu, ışığın sertliğini ve yumuşaklığını kontrol ederek görsel hikâye anlatımına katkıda bulunur.

CLight temel sınıfı ışığın rengi (L), ışığın yoğunluğu (*intensity*) ve ışığın uzayda pozisyonunu (*position*) barındırır. Işığın pozisyonu ışığın üç boyutlu uzayda konumunun belirlendiği ve x, y, z değişkenlerini barındıran *CPoint* türünden bir türemiş sınıftır. Işığın rengi, 0.1 ila 1.0 arasında kayan noktalı sayı değeri alır ve *CColor* sınıfından r, g, b değişkenlerini barındırır. Işığın yoğunluğu ise *float* tipinden olup hesaplamada ışığın rengi ile çarpılarak değerlendirmeye katılır.

Görsel 4.16

Noktasal ışık kaynağının L parametresine değer vererek oluşturulan farklı renk denemeleri (uygulamadan alınan örnek)



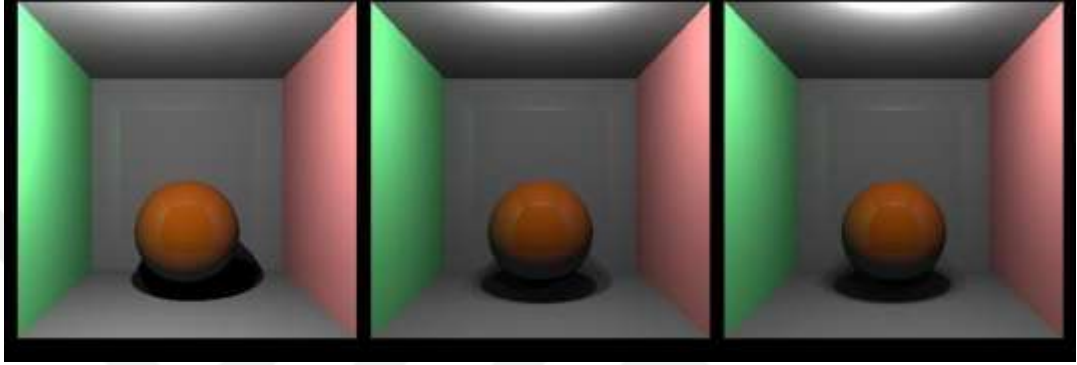
Kaynak: Yazar

Işın izleme sınıfında noktasal ve direksiyonel ışık kaynağından başka bölgesel ışık kaynağı da vardır. Ancak uygulamaya eklenmemiştir. *CLight* temel sınıfından türeyen iki ışık kaynağı da uygulamada sert gölge türüne sahiptir ancak noktasal ışık kaynaklarının matematiksel işlemlerle belirli bir çember etrafında rastgele oluşturulan pozisyonlarda dağıtılması ile yumuşak gölgeler elde edilebilmektedir. Bu işlem, bölgesel ışık kaynağının yüzeyinden (örneğin küre şekilli ışık kaynağı) rastgele

örnekleme alınmasına eşdeğer bir benzetim oluşturmaktadır. Şekilde farklı sayılarda noktasal ışık kaynağının oluşturduğu gölgelemeye dikkat edilirse noktasal ışık kaynağı sayısındaki artış gölge kenarlarında yumuşamaya da katkı sağlamaktadır (Görsel 4.17).

Görsel 4.17

Noktasal ışık kaynağı 1 (solda), 5 (ortada) ve 20 (sağda) adet (uygulamadan alınan örnek)



Kaynak: Yazar

4.4. Uygulama Çıktılarının Materyal Türünden Analizi

4.4.1. Materyalin Ruhü: Yüzey Özellikleri ve Görsel İfadeler

Bir objenin yüzeyi, onun karakterini ve çevresiyle olan etkileşimini tanımlar. Bu ışın izleme uygulamasında materyal sınıfları, dijital objelere adeta bir "ruh" kazandırır. Renk ve renk dönüşüm sınıfları (CColor3) aracılığıyla renklerin interpolasyonu ve dönüşümleri, sanatçıya sonsuz bir palet sunarken, PPM ve BMP imaj sınıfları ile tekstürlerin desteklenmesi, objelere gerçekçi dokular ve desenler eklemeyi mümkün kılmaktadır.

Renk ve renk dönüşüm sınıflarından renk bilgisi CColor3 olarak isimlendirilen bir sınıf ile tanımlanmıştır. CColor3 sınıfı, CVector3 ve CPoint3 sınıfına benzer yapıdadır. Operatör yüklemeleri de aynı olmakla birlikte sadece değişken isimleri ve metotları farklıdır ($x, y, z - r, g, b$, gibi...). Metotlar, her sınıfa öz işlemlerin türüne bağlı olarak birbirinden ayrılır. Örneğin CColor3 ögesinin metotları genellikle renk interpolasyonu ve renk dönüşümleri ile özelleştirilmiş renk işlemleridir.

İmaj dosyası sınıfları ise bir önceki başlıkta bahsettiğimiz gibi ppm ve bmp imaj sınıfını tanımlar. Materyal sınıfında tekstür dosyaları bmp türünden dosyaları destekler. Dışarı aktarmada ise ppm dosya formatını kullanmaktadır.

Temel materyal sınıfının (Görsel 4.18) difüz, speküler bileşeni, pürüzlülük, kırılma indisi ve iletim ağırlığı gibi parametreleri barındırması, her bir yüzeyin ışığa nasıl tepki vereceğini belirler. BRDF modellemelerinin (CLambertian, COrenNayar) entegrasyonu, ışığın yüzeyden nasıl yansyacağını matematiksel olarak doğru bir şekilde simüle ederek, gerçekçi yüzey özelliklerinin (plastik, cam, ayna, mat yüzeyler vb.) elde edilmesini sağlamaktadır.

Görsel 4.18

Temel materyal sınıfı, üye değişkenleri ile prosedürleri

```
class CMaterial
{
public:
    CMaterial() : brdf(nullptr), transmissionWeight(0.0f), ior(0.0f), roughness(0.0f) {}
    virtual ~CMaterial() { delete brdf; }

    virtual NPhysic::CColor3<float> f(const NMath::CVector3<float>& wo, const NMath::CVector3<float>& wi, CIntersection* isect) const = 0;

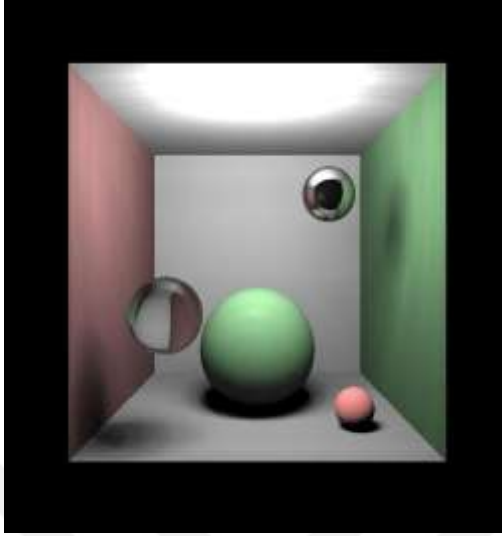
public:
    CBRDF* brdf;
    NPhysic::CColor3<float> baseColor;
    NPhysic::CColor3<float> specularTint;
    float ior;
    float roughness;
    float transmissionWeight;
};
```

Kaynak: Yazar

Materyal sınıfı ayrıca yüzey bilgisinin tanımlandığı BRDF modellemelerinde bir üye de bulundurur. Üçüncü bölümde bahsedilen bu modellemelerden brdf sınıfında iki farklı örnekleme (CLambertian ve COrenNayar) tanımlanmıştır. Tek bir brdf sınıfından türediği için uygulamaya istenirse ek yüzey modellemeleri tasarlanabilir ve uygulamaya entegre edebilir.

Görsel 4.19

Fiziksel materyal sınıfı materyali ile oluşturulmuş farklı materyaller (uygulamadan alınan örnek)



Kaynak: Yazar

İlk önceleri uygulamada nesnelerin materyal tanımı, her bir öge için (*örneğin altın, plastik, bakır, ayna, cam gibi...*) ayrı ayrı tanımlanmıştı. Daha sonra bu öğeler birleştirilip çok amaçlı tek materyal sınıfı altında (*CPhysicalMaterial*) (Görsel 4.19) toplanmıştır. Kullanıcıya düşen sadece bu parametreleri değiştirip, istenilen yakın bileşeni elde etmektir. Parametrelerin değiştirilebilir olması uygulamaya esneklik katmaktadır.

CPhysicalMaterial sınıfı (Görsel 4.20) tekstür objelerini barındırır. İstenirse difüz, pürüzlülük ve normal tekstür objeleri piksel hesaplamalarına katılabilir.

Görsel 4.20

Fiziksel materyal sınıfı materyal temel sınıfından türemiştir ve tekstür objelerini barındırır

```
class CPhysicalMaterial : public CMaterial
{
public:
    CPhysicalMaterial();
    ~CPhysicalMaterial();

    NPhysic::CColor3<float> f(const NMath::CVector3<float>& wo, const NMath::CVector3<float>& wi, CIntersection* isect) const;

public:
    CTexture* baseColorTexture;
    CTexture* roughnessTexture;
    CTexture* normalTexture;
};
```

Kaynak: Yazar

CPhysicalMaterial sınıfının (Görsel 4.20) çeşitli parametrelerle (baseColor - Görsel 4.22, specularTint, roughness, ior - Görsel 4.23, transmissionWeight - Görsel 4.24) farklı materyal türlerini benzetimini yapabilmesi, sanatçıya dijital dünyada adeta bir siymacı gibi deney yapma özgürlüğü vermektedir. Tekstürlerin (Görsel 4.21) piksel hesaplamalarına dahil edilmesi, bir yüzeyin görsel zenginliğini artırırken, her bir parametrenin ayarlanabilir olması, sanatçının yaratıcı vizyonunu en ince detayına kadar uygulamasına olanak tanır. Bu, dijital ortamda dokunsal ve optik özelliklerin manipülasyonu yoluyla, izleyici üzerinde derin bir etki yaratmanın kapılarını aralar.

CTexture sınıfı ise tekstürlerin depolandığı ve CImage sınıfından türeyen ve bmp türünden dosyaları destekleyen temel sınıftır. Bmp dosyaları uygulamaya yüklendikten sonra bmp başlığında (*header*) verilen bilgiler doğrultusunda ham piksel verisi elde edilir ve piksel değişkenine atanır. Daha sonra bu piksel değişkeninden *GetTexel()* yordamıyla elde edilen piksel brdf fonksiyonundan elde edilen veri ile işleme tabi tutulur (Görsel 4.21).

Görsel 4.21

Eğer tekstürler materyal sınıfına dahil edilirse, ham piksel bileşene göre toplam ya da çarpım yolu ile piksel verilerine işlenir

```
if (baseColorTexture != nullptr)
{
    int x = (int)(isect->uv.y * (baseColorTexture->height - 1));
    int y = (int)(isect->uv.x * (baseColorTexture->width - 1));
    f += baseColorTexture->GetTexel(x, y);
}
else
{
    f += baseColor;
}

if (roughnessTexture != nullptr)
{
    int x = (int)(isect->uv.y * (roughnessTexture->height - 1));
    int y = (int)(isect->uv.x * (roughnessTexture->width - 1));
    float cosTheta = NMath::Dot(isect->n, u1);
    f += roughnessTexture->GetTexel(x, y) * powf(NMath::Max<float>(0.0f, fabsf(cosTheta)), 100.0f * roughness);
}
else
{
    float cosTheta = NMath::Dot(isect->n, u1);
    f += powf(NMath::Max<float>(0.0f, fabsf(cosTheta)), 100.0f * roughness);
}
```

Kaynak: Yazar

4.4.2. Uygulama çıktılarının materyal türünden görsel analizi

Daha önce de bahsettiğimiz gibi her nesneye ait materyal sınıfı tayin etmekten ziyade, uygulamada farklı parametrelerle farklı materyal türlerinin oluşturabileceği

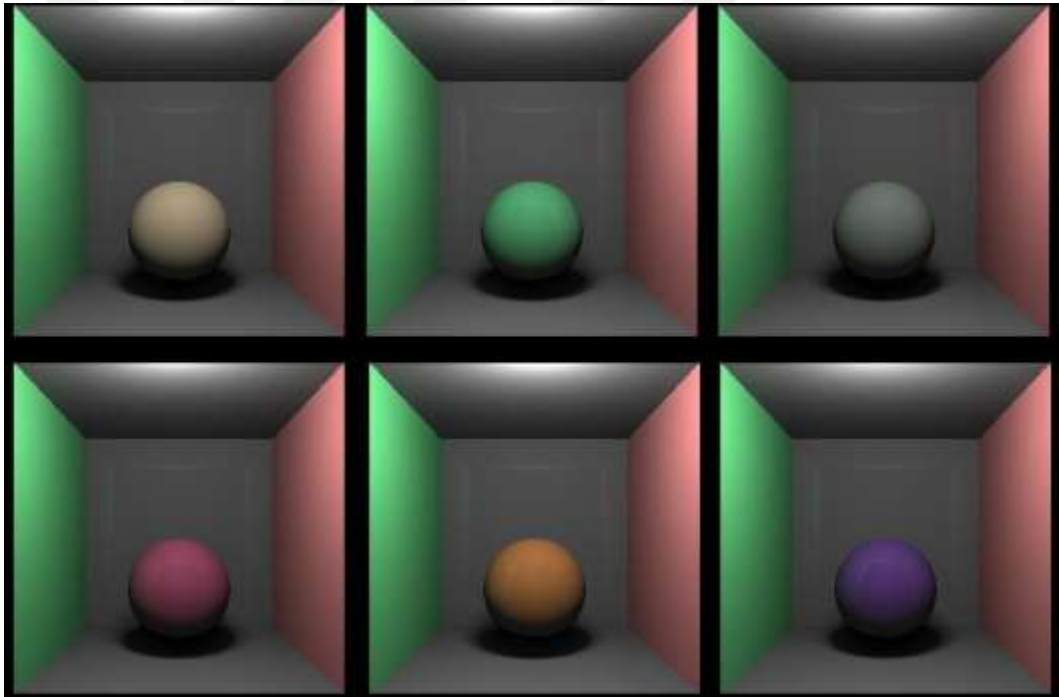
fiziksel materyal sınıfı tanımlanmıştır. Kullanıcı bahsettiğimiz değişkenleri değiştirerek farklı materyaller elde edilebilmektedir.

CPhysicalMaterial sınıfı plastik, cam, ayna, mat yüzeyler vb. gibi maddelerin benzetimini sağlayabilecek bir yapıya sahiptir. *CMaterial* sınıfında belirtilen değişkenlerin farklı kombinasyonları ile istenilen materyal elde edilebilmektedir.

Uygulamada materyalin difüz rengi *baseColor* (Görsel 4.22) bileşeni ile düzenlenebilmektedir. Renk türünden oluşturulan sınıfta her kanala *float* türünden 0.0 ile 1.0 arasında değer atanabilmektedir.

Görsel 4.22

Farklı türde difüz (baseColor) renkleri (uygulamadan alınan örnek)



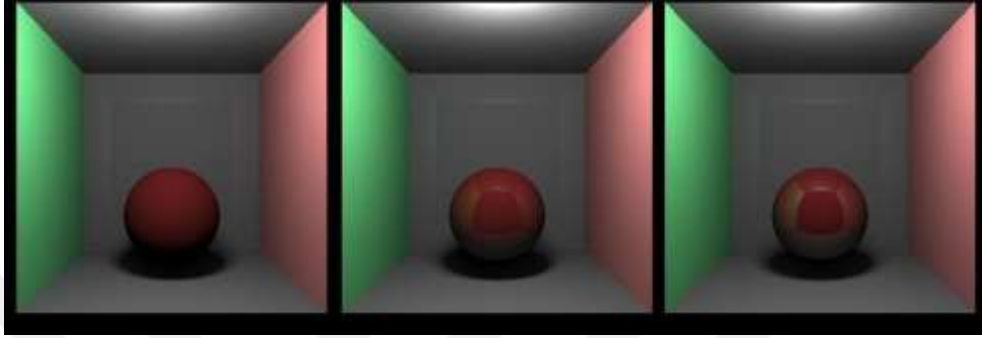
Kaynak: Yazar

Speküler yansıma rengi *specularTint* değişkeni ile, yüzeyin pürüzlülüğü yani ışığın yüzeyden yansıdıktan sonra parlama oranı ve yoğunluğu; *roughness* değeri ile tanımlanabilmektedir. Kırılma değeri ışığın ortamdan ortama geçerken Snell yasası kullanılarak elde edilen değeridir. Materyallerin kırılma indisleri birbirinden farklıdır.

Kırılma indisine bağılı görsel aşağıdadır (Görsel 4.23).

Görsel 4.23

Farklı türde kırılma (ior) değerleri sırasıyla 1.0 (solda), 2.0 (ortada), 3.0 (sağda) (uygulamadan alınan örnek)

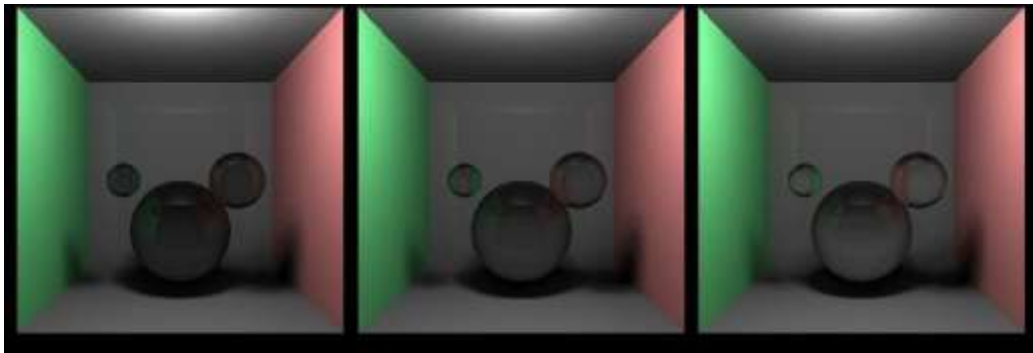


Kaynak: Yazar

Yüzey geçirgenliği ise iletim ağırlığı (*transmissionWeight*) değişkeni ile parametrize edilmiştir. Şekilde dikkat edilecek olursa iletim ağırlığı sayısı 1.0'a doğru yaklaştıkça, materyal cam özelliği göstermektedir (Görsel 4.24).

Görsel 4.24

Farklı türde iletim ağırlığı (transmissionWeight) değerleri sırasıyla 0.5 (solda), 0.75 (ortada), 1.0 (sağda) (uygulamadan alınan örnek)



Kaynak: Yazar

SONUÇ

Dijital sanat internet aracılığıyla evlerimize, işyerlerimize ve diğer mecralara girmiştir. Bilgisayar diliyle oluşturulan ve ekran ya da benzeri çıktı ürünlerini ile adından son zamanlarda sıklıkla söz ettiren ve kendine has yöntem ve uygulamalarla çeşitli görselleştirme tekniklerini bir arada barındıran dijital sanat, klasik yöntemlerle çakışması yani biricikliğin sorgulamasına imkân sağlamıştır. NFT ile bu durumu aşmaya çalışan dijital sanatın her alanda (disiplinler arası) kullanımı söz konusudur. Nitekim son yıllarda müzelere gitmeden klasik sanat eserlerini sanal ortamda oluşturulan dijital müzelerle ve VR-AR teknolojileriyle gezmeye fırsat bulduğumuz dijital sanat, evlerimize misafir olmaya da başlamıştır.

Işın izleme uygulamasının yapısal ve görsel analizi, bilgisayar teknolojilerinin sanat üretim sürecinde ne denli dönüştürücü bir rol oynadığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Geleneksel sanat pratiklerinin arkasındaki temel fiziksel ve estetik prensiplerin, algoritmik ve matematiksel yapılar aracılığıyla dijital bir platforma taşınması, sanatçıya yeni ifade biçimleri ve kontrol düzeyleri sunmaktadır.

Dijital sanatın varlığı ile imge oluşturma evreleri farklılaşmaya başlamıştır. Çeşitli yazılım ve araç desteği ile insanlar izleyicilere ulaşmanın farklı yollarını aramaya başlamış, bu noktada dijital platformun araç çeşitliliği ile sanat eserleri, internet gibi araçlarla toplumun çoğu kısmına ulaşmıştır. Bu noktada yeni medyumlar, sayısal görüntüler ortaya çıkmıştır. Video oyunları, film, askeri ve tıp görüntüleme alanlarında da kullanılmaya başlanan ışın izleme teknolojisi, sanat eseri üretme için kullanılan güçlü yöntemlerden biri olmuştur.

Artık sanat eseri sadece bir fırça darbesi veya bir kalemin iziyle değil, aynı zamanda kod satırları, matematiksel modeller ve algoritmik mantıkla da şekillenmektedir. Bu durum, sanatın tanımını ve üretim süreçlerini sürekli olarak yeniden gözden geçirmemizi gerektirirken, aynı zamanda dijital çağda sanatın sınırsız potansiyelini de gözler önüne sermektedir. Sanat tarihi, bilgisayar teknolojisiyle birlikte gelişmeye ve evrilmeye devam eden bu heyecan verici dönemi, yaratıcılığın ve inovasyonun bir sonraki durağı olarak kaydedecektir.

Tezin bütününde yapılan kuramsal incelemeler, tarihsel analizler ve en önemlisi, sıfırdan inşa edilen C++ tabanlı ışın izleme uygulaması ile elde edilen bulgular, bu

argümanı güçlü bir şekilde desteklemiş ve bilgisayar ile sanat ilişkisine dair derinlemesine sonuçlar ortaya koymuştur.

Araştırmanın kuramsal ve tarihsel bulguları, dijital sanatın ve fotogerçekçi görüntüleme tekniklerinin köklerinin, sanat tarihinin köklü estetik ve bilimsel arayışlarında yattığını kanıtlamıştır. Albrecht Dürer'in perspektif mekanizması, Leonardo da Vinci'nin ışık ve gölge üzerine yaptığı analitik çalışmalar, Empresyonistlerin ışığın anlık etkilerini ve renk teorisini bilimsel bir titizlikle tuvallerine aktarma çabaları ve Kübistlerin formu geometrik temel birimlerine ayırması, günümüz bilgisayar grafiklerinin temelini oluşturan matematiksel ve algoritmik mantığın tarihsel öncülleri olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda, tezin en önemli sonuçlarından biri; bir BRDF yüzey modelinin matematiksel formülü ile Caravaggio'nun kumaş dokusundaki ışık kırılmalarını betimleme biçimi arasında, temelde aynı fiziksel gerçekliği anlama ve yorumlama çabasının yattığını göstermesidir. Dolayısıyla, ışın izleme teknolojisi ani bir teknolojik sıçrama değil, sanatçının "göz kararı" ve sezgisel yetenekleriyle binlerce yıldır çözmeye çalıştığı ışık, form, materyal ve perspektif problemlerinin, matematik ve fizik diliyle kesin ve hesaplanabilir bir forma dönüştürülmüş halidir.

Bu tezin en özgün ve temel bulgusu, kuramsal bilgiyi pratiğe dönüştüren ve araştırmanın ana kanıtını oluşturan ışın izleme uygulamasının bizzat geliştirilmesi sürecinde elde edilmiştir. Bu uygulama, sadece tezin iddialarını test eden bir araç olmamış, aynı zamanda bir "dijital sanat eseri" üretim sürecinin anatomisini ortaya koyan yapısal bir analiz işlevi görmüştür. Koordinat sistemlerinden vektör matematiğine, ışın-nesne çarpışma testlerinden (küre, üçgen) BRDF yüzey modellerine (Lambertian, Oren-Nayar vb.) kadar her bir bileşenin sıfırdan kodlanması, fotogerçekçilik olarak adlandırılan büyüünün aslında ne denli rasyonel, ölçülebilir ve manipüle edilebilir matematiksel modellerin bir bütünü olduğunu somut bir şekilde kanıtlamıştır. Bu süreç, "program sınırlılığı" ve "sanatçı sınırlılığı" arasındaki diyalektiği de netleştirmiştir: Ticari yazılımların sunduğu arayüzlerin sınırlarına takılan sanatçının aksine, medyumunun temel diline (kod, matematik, fizik) hâkim olan sanatçı, bu sınırları aşma, kendi araçlarını yaratma ve dolayısıyla kendi ifade olanaklarını sonsuzlaştırma potansiyeline sahip olmaktadır. Tıpkı kendi boyasını üreten eski ustalar gibi, kendi "gölgelendiricisini" (shader) yazan dijital sanatçı da materyali ve ışığı en temel seviyede kontrol etme gücüne erişmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen nihai sonuçlar aşağıdaki gibi üç ana grupta özetlenebilir:

Sanatçının Rolünün Dönüşümü; Dijital çağda sanatçı, artık sadece estetik bir vizyona sahip olan bir uygulayıcı değil, aynı zamanda farklı disiplinlerden beslenen bir araştırmacı, mühendis ve teorisyendir. Özellikle ışın izleme gibi fiziksel temelli teknolojilerde yetkinlik, sanatçının temel matematik, fizik ve programlama bilgisine sahip olmasını, yani disiplinlerarası bir okuryazarlığı gerektirmektedir.

Gerçekliğin Yeniden İnşası; Fotogerçekçilik, mutlak bir amaç olmaktan çok, sanatçının bilinçli olarak seçip bir araya getirdiği algoritmik ve matematiksel modellerden oluşan bir palettir. Tezde geliştirilen uygulama, materyallerin pürüzlülük (roughness), kırılma indisi (IOR) veya ışık kaynaklarının yoğunluk ve konum gibi parametrelerinin değiştirilmesiyle, tek bir sahnenin ne kadar farklı estetik ve duygusal atmosferler yaratabileceğini göstermiştir. Bu, sanatçıya sadece gerçekliği taklit etme değil, onu bilinçli olarak yeniden inşa etme, bozma veya abartma (hipergerçeklik) gücü vermektedir.

Yeni Bir Estetik ve Pedagoji İhtiyacı; Tezde incelenen fraktal sanat, veri-işleme sanatı veya üretken sanat gibi eğilimler, bilgisayarın sadece bir temsil aracı değil, aynı zamanda kendi estetiğini yaratan otonom bir sistem olabildiğini göstermektedir. Bu durum, sanat eğitiminde, geleneksel atölye pratiğinin yanı sıra algoritmik düşünme, kodlama ve bilimsel prensipleri içeren yeni pedagojik modellere olan ihtiyacı acil kılmaktadır.

Görüldüğü üzere dijital tasarım üretiminde kullanılan aplikasyonların hemen hemen tümü yazılım ve eklenti varyasyonlarını da arkasına alarak kullanıcının üretim kapasitesini ve hayal gücünü esere yansıtmada önemli katkılar sağlamıştır. Son yıllarda nöral ağ kavramının geliştirildiği ve tasarım sürecine yeni katkılar sağlamasının yanı sıra dijital sanat eserinin biriciklik kavramı ile özgünlük olgusunu da sorgulamamızı sağlayan yapay zekâ kavramı görsel üretim yollarını farklılaştırmıştır. Dijital tasarım üretim süreci disiplinler arası yöntemleri de yanına alarak güçlenmiştir.

Dijital tasarım üretim yollarından biri olan ışın izleme teknolojisi, üç boyutlu foto-gerçekçi görüntüler elde etmek için kullanılan ve yeni teknolojik imkânlarla daha da iyi sonuçlar vermeye başlayan ve sanat alanına da yönelen yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Işın izleme teknolojisi şimdilik işlemelerde (render) ve oyun

endüstrisinde kullanılmaya başlamıştır. Bunu dışında tıp ve medikal cihaz görüntüleme ile askeri alanlarında da kullanılan bu teknoloji, dijital alanın imkân ve olanaklarını kullanır. Algoritmalar ve kullanılan araç-donanım yapısı farklılaşma gösterse de minimum düzeyde oluşturulan yazılımlar aynı çatı üzerine kurulmuştur. Işın izleme uygulamaları github vb. gibi web alanlarında çeşitli kullanıcılar tarafından yazılım halinde sunulmaya başlamıştır. Işın izleme teknolojisinin artı yanı algoritmasının kolay oluşu ve fotogerçekçi bir izleme sunmasıdır. Dezavantajı ise ne yazık ki yüksek maliyetli işlem gücüne sahip olmasıdır. Teknolojinin ve transistörlerin küçülmesiyle ve daha hızlı işlem gücüne sahip CPU-GPU üretimi ile bu teknoloji her alanda kullanıma hazır duruma geleceği öngörülmektedir.

Bu tez kapsamında hazırlanan uygulama ham ışın izleme yöntemini kullanır. Uygulamaya “<https://github.com/hdilim/CRayTrace>” adresinden ulaşılabilir. Çeşitli kaynak kodların incelenmesi ve literatür taraması ile oluşturulan uygulama, bir tür derleme mahiyetindedir. Yazılım oluşturulurken karmaşık işleme uygulamalarını en basite indirgeyip başlangıç için kolaylık sağlamasıdır. Teknoloji ve bilgisayarların gelişen donanım altyapısı ile hızlandırma işlemleri uygulamayı ileri noktalara götürülebilir ve çıktı oluşumu, gerçek zamanlı görüntüleme ile animasyon oluşturulması sağlanabilir. Yeni sürülen kuantum işlemesi ile bu maliyet yükü ortadan kalkabilir. Fakat bu teknoloji henüz başlangıç aşamasındadır.

Uygulamanın bir diğer yeniliği ise modüler yapısıyla (C++ abstract sınıf kullanımıyla) eklentilere destek sunmasıdır. Kişi kendi materyalini kendisi oluşturabilir, ışık kaynaklarını yönetebilir, farklı biçimde ışık kaynakları oluşturabilir, pikseller üzerinde algoritmalar geliştirebilir ve parametrik yapılar ekleyip yazılıma kendi ya da daha önce oluşturulan BRDF yapılarını uyarlayıp – gölgelendirici modülü ekleyebilir. Yani uygulama esnek şablon niteliğindedir. En önemli özelliklerinden biri ise render motorlarının karmaşık yapısını basit bir anlatıma indirgeyip bu noktada ilerlemek isteyen araştırmacı-tasarımcı için başlangıç noktası oluşturmasıdır. Burada bilimin de ortaya koyduğu özelleşmiş durumlar ve ortaya konulan yapısal bütünlükten bahsetmek gerekir. Bilimin öngördüğü yeni veriler, farklı teoremler ve yöntemler, özelleşmiş alanlardaki tanımlar-eşitlikler, sanatın teknik araç ve gereçleri ile bütünlüğün bir araya getirdiği evrensel mesaj kavramının meydan getirilmesi ile öngörülemeyen bir güç

kavramı doğmaktadır. Bu süreçlerde özellikle bilgi oluşumunun disiplinler arası bağlantısından bahsetmek gerekir.

Sonuç olarak, bu sanatta yeterlik çalışması, ışın izleme teknolojisini sanatsal bir üretim yöntemi olarak ele alarak, bilgisayar ekranının aslında boş bir tuval olmadığını; aksine, fiziksel dünyanın kurallarının matematiksel denklemlerle yazıldığı, derinlikli, programlanabilir ve sonsuz potansiyele sahip bir evren olduğunu ortaya koymuştur. Bu evrende sanat yapmak, sadece bir imge yaratmak değil, aynı zamanda bir simülasyonu, bir sistemi ve bir gerçekliği inşa etmektir. Bu inşa sürecinde başarılı olacak olan sanatçı ise, elindeki dijital fırçanın sadece rengini değil, o rengi oluşturan fotonların izlediği yolu ve çarptığı yüzeyin moleküler yapısını da hayal edebilen ve yönetebilen kişidir. Bu tez, bu yeni sanatçı tipinin kuramsal çerçevesini çizmiş ve pratik bir örnekle potansiyelini gözler önüne sermiştir.

KAYNAKÇA

Al-Ansi A. M., Jaboob M., Garad A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open* 8. Elsevier Ltd.

Agusanto, K. Li, L. Chuangui, Z. Sing, N. W. (2003). Photorealistic rendering for augmented reality using environment illumination. Nanyang Technological University. Singapore.

Appel, A. (1968). Some techniques for shading machine renderings of solids. IBM Research Center. USA.

Andrieieva, Y. (2022). Style directions of graphic design of the first third of the xx century: Modernism and Avangardism. *Humanities Science Current Issues*.

Arcana, R. (2018). Digital technology: It's role in art creativity. *Journal of Commerce and Trade*.

Arvo, J., Dutre, P., Keller, A., Jensen, H W., Owen, A, Pharr M. (2003). Monte carlo ray tracing. Siggraph 2003 Course 44.

Ash, C., Dubec, M., Donne, K. et al. (2017). Effect of wavelength and beam width on penetration in light-tissue interaction using computational methods. *Lasers Med Sci* 32, 1909–1918. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2317-4>

Bagher, M. M., Soler, C., Holzschuch, N. (2012). Accurate fitting of measured reflectances using a shifted gamma micro-facet distribution. *Eurographics Symposium on Rendering*. Vol 31 Number 4.

Bak, M. (2020). Playful Visions: Optical Toys and the Emergence of Children's Media Culture. 10.7551/mitpress/12386.001.0001.

Barksy B. B., Hornl D. R., Klein, S. A., Pang, J. A., Yu, M. (2003). Camera models and optical systems used in computer graphics: Part I. Object-based techniques. Computer Science Division. School of Optometry. Bioengineering Graduate Group. University of California, Berkeley, California. USA.

Belting, H. (2005). Image, Medium, Body: A New Approach to Iconography. *Critical Inquiry*, Volume 31, Number 2. DOI: <https://doi.org/10.1086/430962>

Computer-based art in folklore illustration: Development of mixed media digital painting in education context

Sugiarto, E. Kurniawati D. W., Febriani M., Fiyanto A., Imawati R. A.. (2021). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1098, Computer and Communication Engineering. Citation E Sugiarto et al 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1098 032017. DOI 10.1088/1757-899X/1098/3/032017

Bilgili, A. (2011). Copula tabanlı yeni bir yansıma modeli. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uluslararası Bilgisayar Anabilim Dalı Doktora Tezi.

Bleicher, S. (2023). Color theory making sense of color. eBook ISBN: 9781003242741.

Blinn, J. F. (1977). Models of light reflection for computer synthesized pictures. ACM SIGGRAPH Computer Graphics.

Bocjknight W. J. (1969). An improved procedure for generation of half-tone computer graphics representation. Coordinated Science Laboratory.

Bovill, C. (1996). Fractal geometry in architecture and design. Boston: Birkhauser. ISBN 0-8176-3795-8

Bruno, Lc. (2003). Math and mathematicians: The history of math discoveries around the world. baker. Lawrence W. Detroit: U X L. ISBN 978-0-7876-3813-9. OCLC 41497065.

Bsteh, S. (2021). From painting to pixel: understanding NFT artworks. Erasmus University Rotterdam

Burger, E., B., Starbird, M., P. (2005). The heart of mathematics: An invitation to effective thinking. Springer. ISBN 1-931914-41-9.

Charlie, G. (2005). Art time and technology, Berg. ISBN 97-1-84520-135-7

Christensen, N., J. (2000). A practical guide to global illumination using photon maps, Siggraph 2000 Coruce 8.

Christiane, P. (2006). Digital art. Thames & Hudson.

Cook R., L., Torrance, K., E. (1982). A reflectance model for computer graphics. Lucasfilm Ltd. and Cornell University.

- Cross, D. (2013). Fundamentals of ray tracing.
- Croucher, C. J., Bertamini, M., & Hecht, H. (2002). Naive optics: understanding the geometry of mirror reflections. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(3), 546.
- Çakıcıoğlu İ, F. (2022). Üretken sanatta müzikal sistemlerin kullanımı. Atatürk Üniversitesi Yayınları, Atatürk Üniversitesi.
- Dean, S. (2021). \$69 million for digital art? The NFT craze, explained. Retrieved: The Los Angeles Times: <https://www.latimes.com/business/technology/story/2021-03-11/nft-explainer-crypto-trading-collectible>.
- Deleuze, G. (2006). Kıvrım: Leibniz ve Barok. (H. Yücefer, Çev.) İstanbul: Bağlam Yayınları.
- Donald, K. (2011). VI: Digital artists and the new creative renaissance.
- Ergen İ. (2023). Deneyim tasarımının grafik tasarımı üzerindeki etkisi. *Journal of Arts*
- Ersoylu, M. (1997). Katı cisimlerin yapıcı katı geometrisinde ışın izleme yöntemi kullanılarak modellenmesi ve görüntülenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Fallahzadeh, A., & Yousof, G. S. (2019). Piet Mondrian, early Neo-Plastic compositions, and six principles of Neo-Plasticism. *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*.
- Franceschet, M., Colavizza, G., Smith, T., Finucane, B., Ostachowski, M. L., Scalet, S., Hernández Sebastián. (2020). Crypto Art: A decentralized view. https://doi.org/10.1162/leon_a_02003
- Glassner, (2015). A. S. An introduction to ray tracing. Morgan Kaufmann Publishers. ISBN-13 : 978-1493300501.
- Goldman R. (2016). Lecture Notes. Department of Computer Science. Rice University.
- Golmohammadi R, Yousefi H, Safarpour Khotbesara N, Nasrolahi A, Kurd N., (2021). Effects of Light on Attention and Reaction Time: A Systematic Review. *J Res*

Health Sci. 2021 Oct 31;21(4):e00529. doi: 10.34172/jrhs.2021.66. PMID: 36511225; PMCID: PMC8957666.

Goral C., Torrance, K. E., Greenberg, D., P., Battaile, B. (1984). Modeling the interaction of light between diffuse surfaces. *Computer Graphics*, Vol. 18, No. 3.

Gouraud, H. (1971). Continuous shading of curved surfaces. *IEEE Transactions of Computers*, Vol C-20, No:6.

Graber, C.; Guillou, J. F. (1999). *The Impressionists*. CLB, 1999, ISBN 10: 1858336716 ISBN 13: 9781858336718

Graham, P. 2004, "Hackers & Painters: Big Ideas from Computer Age. O'Reilly Media.

Hachisuka, T., Ogaki, S., Jensen, H., W. (2011). *Progressive photon mapping*. UC San Diego, The University of Nottingham.

Haines, E., Möller, T., A. (2019). *Ray tracing gems*. Nvidia

Han J., Ki K., Oh, K. GPU Ray Marching for Real-Time Rendering of Participating Media" 2007 International Conference on Computational Science and its Applications (ICCSA 2007), Kuala Lumpur. Malaysia. doi: 10.1109/ICCSA.2007.46.

Hart, John. (1995). Sphere Tracing: A Geometric Method for the Antialiased Ray Tracing of Implicit Surfaces. *The Visual Computer*. 12. 10.1007/s003710050084.

Heinrich, J., & Weiskopf, D. (2013). State of the art of parallel coordinates. *Eurographics (state of the art reports)*.

Hiramatsu C. et al., (2023). Influence of colour vision on attention to, and impression of, complex aesthetic images. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 290, no. 2006.

Hurlbert AC, Ling Y. (2007) Biological components of sex differences in color preference. *Curr. Biol.* 17,R623–R625. (doi:10.1016/j.cub.2007.06.022

Huhtamo, E. & Parikka, J. (2011). *Media Archaeology: Approaches, Applications, and Implications*. Berkeley: University of California Press. <https://doi.org/10.1525/9780520948518>

Jensen, H., W., Christensen, P. (2007). High quality rendering using ray tracing and photon mapping. University of California and Pixar Animation Studios.

Jensen, H., W. (2002). A practical guide to global illumination using ray tracing and photon mapping. University of California, San Diego.

Johansson, L. (2004). Human color vision

Johnson, T., E. (1963). Sketchpad III: A computer program for drawing in three dimensions. Mechanical Engineering Department, Massachusetts Institute of Technology, USA.

Kajiya, J., T. (1986). Rendering equation. California Institute of Technology, USA.

Khanian, M. (2019). 3d reconstruction using generalized perspective photometric stereo.

Kurt, M. (2007). Bilgisayar Grafiklerinde Yeni Bir Işıklandırma Modeli. Ege Üniversitesi, Uluslararası Bilgisayar Anabilim Dalı.

Kwon, Y., J. (2009). Lecture 2. Introduction to ray tracing.

Laporte, P., M. (1949). Cubism and science, *J. Aesthet. Art Crit.* 7 (3).

Lawrence, J., D. (2006). Acquisition and representation of material appearance for editing and rendering. Princeton University, Department of Computer Science.

Leiser, W. (2009). Digital art. Langenschedit: h. f. ullman.

Losasso, F. (2005). Surface reflection models. NVIDIA

Low, P., E., Wong, L., K., See, J., Ruisheng N. (2021). Pic2PolyArt: Transforming a photograph into polygon-based geometric art, *Signal Processing: Image Communication*, Volume 91, 116090, ISSN 0923-5965, <https://doi.org/10.1016/j.image.2020.116090>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923596520302149>)

Manovich L., (1999). New Media: a User's Guide. Article. <https://manovich.net/index.php/projects/new-media-a-user-s-guide>

Manovich L., (2006). Image Future. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8298.003.0008>

Marcussen, M. (2010), To Kirsti: 'from Art History with Love...' Perspective: Then and Now, and Artistic Practice. *Centaurus*. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0498.2009.00165.x>

Marschner, S., R., Westin, S., H., Lafortune, P., F., Torrance, K., E., Greenberg, D., P. (1999). Image-based BRDF measurement including human skin. Cornell University.

Matusik, W., Pfister, H., Brand, M., Mcmillan, L. (2003). A data-driven reflectance model. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.

Meister, G., Wiemker R., Monno R., Spitzer, H., Strahler, A. (1998). Investigation on the Torrance-Sparrow specular BRDF model. Boston University, USA.

Mihaylov, V. (2013). Rendering metals and worn or weathered metallic objects. Technical University of Denmark, Department of Applied Mathematics and Computer Science.

Montes R., Urena C. (2012). An overview of BRDF models. Dept. Lenguajes Sistemas Informaticos, University of Granada, Spain.

Munoz A. (2014) Higher Order Ray Marching. *Computer Graphic Forum*. Volume: 33. Number: 8 Doi: <https://doi.org/10.1111/cgf.12424>.

Nikodym T. (2010). Ray tracing algorithm for interactive applications. Czech Technical University.

Nishita, T., Nakamae, E. (1984). Half-tone representation of 3-d objects with smooth edges by using a multi-scanning method. *Journal of IPSJ*, Vol.25, No.5.

Low, P-E., Wongl-K., See J., Ruisheng Ng. (2021). Pic2polyart: Transforming a photograph into polygon-based geometric art. *Signal Processing: Image Communication*, Volume 91, 116090, ISSN 0923-5965, <https://doi.org/10.1016/j.image.2020.116090>.

Perlin K. and Hoffert E M. (1989). Hypertexture. *SIGGRAPH Comput. Graph.*

Pharr, M. (2017). Physically based rendering - From theory to implementation. Morgan Kaufmann Publishers. ISBN-13: 978-0128006450.

Phong, B., T. (1977). Illumination for computer generated pictures. University of Utah.

Pohl, D., Panneer, S., Vembar, D., Marshall, C. (2020). 15 years later: A historic look back at Quake 3: Ray Traced. 10.15439/2020F3.

Purves D, Williams S., M. (2001). Neuroscience: 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates

Ranciere, J. (2009). A few remarks on the method of Jacques Ranciere. *parallax*, vol. 15, no. 3.

Redmon, J. (2011). Ray tracing. A Thesis of Faculty of the Computer Science Department of Middlebury College.

Rees, R. (1980). Historical links between cartography and art. *Geographical Review*, 70(1), 61–78. <https://doi.org/10.2307/214368>

Reichardt, J. (1974). Twenty years of symbiosis between art and science. UNESDOC.

Roberts, L., G. (1963). Machine perception of three dimensional objects. Massachusetts Institute of Technology, USA.

Robertson, I. (2005). Understanding international art markets and management. London, New York Routledge.

Ross, B., J. (2014). Ray tracing basics. Dept. of Computer Science, Brock University.

Roth, S., D. (1982). Ray casting for modeling solids. *Computer Graphics and Image Processing*, doi:10.1016/0146-664X(82)90169-1.

Sampson, D. (2017). Georges Seurat à Port-En-Bessin. *Queen's Quarterly*, vol. 124, no. 1. EBSCOhost.

Sari, A., Y. (2008). Acceleration techniques analysis for GPU ray tracing. B.S. Computer Science Engineering, Yeditepe University.

Sevgili, A. (2010). Ray tracing with CUDA. A Thesis of the Graduate Institute of Science and Engineering of Fatih University.

Shirley P. (2018). Ray Tracing in one weekend.

Taylor, G., D. (2012). The soulless usurper: Reception and criticism of early digital computing in the experimental arts. Berkeley, CA: University of California Press.

Thorstenson C., A, Elliot A., J., Pazda A., D., Perrett D., I., Xiao D. (2018). Emotion-color associations in the context of the face. *Emotion*. 2018 Oct;18(7):1032-1042. doi: 10.1037/emo0000358. Epub 2017 Nov 27. PMID: 29172620.

Tian, W. (2022). Emotional information transmission of color in image oil painting. *Journal of Intelligent Systems*, 31(1), 428-439. <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0026>

Truong, V. (2015). Physically based rendering - Implementation of path tracer. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Information Technology Thesis.

Üncü, İ., S. (2004). Işın izleme ve ışın etkinlik yöntemleriyle aydınlatmanın bilgisayar ortamında benzetimi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Vaughan, W. (2000). Encyclopedia of artists: art movements, glossary, and index. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-521572-4.

Vince, J. (2001). Cartesian coordinates. In: Essential Mathematics for Computer Graphics fast. Essential Series. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3685-9_5

Wald, I. (2004). Realtime ray tracing and interactive global illumination. Computer Graphics Group, Saarland University, Germany.

Wands, B. (2006). Art of digital age. Thames & Hudson.

Warnock, J., E. (1969). A hidden surface algorithm for computer generated half tone pictures. Utah University, USA.

Whitted, T. (1980). An improved illumination model for shaded display. Bell Laboratories. New Jersey, USA.

Wynn, C. (2000). An introduction to BRDF-based lighting. NVIDIA Corporation.

Xing, C., Sun, J. & Grimsdale, R.L. (2000). An accelerated incremental radiosity algorithm. *J. Comput. Sci. & Technol.* 15, <https://doi.org/10.1007/BF02951926>

Yun Gao Y. (2008). Non-stable form using in environmental art design from the view of Gestalt aesthetics. 2008 9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, Kunming. doi: 10.1109/CAIDCD.2008.4730705.

Zeng Y., Zhang Y. and Wang, R. (2016). The Application of Smart 3D Modeling for Design Graphics of Environment Art Design Teaching, 2016 Eighth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), Macau, China. doi: 10.1109/ICMTMA.2016.173.

Zubaroğlu, A. (2014). GPU accelerated radio wave propagation modeling using ray tracing. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.

<https://www.adobe.com/creativecloud/design/discover/pixel-art.html>

<https://www.andrews.edu/~rwright/Precalculus-RLW/Text/01-01.html#:~:text=Ren%C3%A9%20Descartes%20first%20published%20the,and%20a%20vertical%20y%2Daxis.>

<https://web.archive.org/web/20080310082944/http://design.osu.edu/carlson/history/timeline.html#1960>

<https://artincontext.org/what-is-digital-art/>

<https://artist.com/art-recognition-and-education/the-digital-art-movement>

<https://www.blackproduction.com/single-post/2018/01/19/what-is-digital-collage>

<https://www.britannica.com/technology/orthographic-projection-engineering>

<https://www.caliper.com/glossary/what-is-a-coordinate-system.htm#:~:text=A%20coordinate%20system%20is%20a,reference%20point%2C%20called%20the%20origin.>

<https://ciit.edu.ph/5-current-and-emerging-digital-arts-and-design-trends/>

<https://www.crysalis.art/crysalis-ai-art-research/a-whirlwind-history-of-generative-art-from-molnr-to-hobbs>

<https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/1997-98/ray-tracing/types.html>

https://courses.cs.washington.edu/courses/csep557/10au/lectures/triangle_intersection.pdf

<https://courses.washington.edu/arch481/1.Tapestry%20Reader/4.Rendering/4.Shading/1.Ambient.html>

<https://dev.to/javiersalcedopuyo/ray-marching-in-unity-2kno>

<https://digital-beings.com/blog/index-refraction-ior>

<https://blog.displate.com/low-poly-art/>

<https://www.easyrender.com/a/a-brief-history-of-3d-visualizations-the-ins-and-outs#:~:text=Sketchpad%20was%20the%20first%20program,available%20for%20the%20personal%20computer.>

<https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/cone-opsin>

https://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics

[https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_\(computer_graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(computer_graphics))

https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_casting

http://www-f9.ijs.si/~matevz/docs/PovRay-3.50b/povdoc_182.html

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Forces/color.html>

<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/3DSMax-Modifiers/files/GUID-78327298-4741-470C-848D-4C3618B18FCA-htm.html>

<https://magazine.artland.com/generative-art/>

<https://math.hws.edu/graphicsbook/c7/s2.html#:~:text=A%20spotlight%20is%20a%20kind,is%20specified%20as%20a%20vector.>

<https://math.hws.edu/graphicsbook/c7/s2.html#:~:text=A%20spotlight%20is%20a%20kind,is%20specified%20as%20a%20vector.>

<https://newatlas.com/art-technology-digital-datamoshing/48152/>

<https://www.oreilly.com/library/view/the-digital-matte/9781118078044/c08-anchor->

l.xhtml#:~:text=Camera%20projection%20shines%20an%20image,to%20receive%20the%20projected%20image.

http://www.pbr-book.org/3ed-2018/Primitives_and_Intersection_Acceleration/Kd-Tree_Accelerator.html

<https://www.popularmechanics.com/technology/a23353/1nm-transistor-gate/#:~:text=Currently%20transistors%20are%20around%2010,prevent%20them%20from%20working%20properly.>

<https://www.rose-hulman.edu/class/csse/csse451/AABB/#:~:text=AABB%20intersection&text=AABBs%20are%20defined%20by%20two,bounding%20planes%20of%20the%20box.>

<https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/introduction-to-shading/reflection-refraction-fresnel>

<https://www.senarius.fr/en/2020/12/10/how-to-make-art-with-mathematics-fractal-art/>

<http://www.sharecom.ca/greenberg/collage.html>

https://education.siggraph.org/static/HyperGraph/raytrace/rayplane_intersection.htm

<https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biology/transmittance-to-absorbance.html>

<https://www.tate.org.uk/art/art-terms/m/mixed-media>

https://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication_3_25881_36.pdf

<https://www.wtamu.edu/~cbaird/sq/2023/11/22/when-does-light-travel-in-a-straight-line/>

ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hasan Dilim

Yabancı Dil: İngilizce

Doğum Yeri / Yılı:

E-Posta:

ORCID Numarası:

Eğitim Bilgileri:

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Resim-İş Öğretmenliği
(2007-2011)

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Resim ASD (2012-
2018)

Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Resim ASD (2019-*)

Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, Bilgisayar Teknolojileri, Bilgisayar
Programcılığı (2024-*)

Mesleki Deneyimi: Basın Yayın Halkla İlişkiler

2012/Grafiker/Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

Yayımları:

DİLİM H. Bilim ve Sanatın Perspektifinden Dijital Resimde Alt Yüzey
Yansımaları (Sub-surface Scattering) Uluslararası Sanat ve Estetik Dergisi , no.5,
pp.101-110, 2020 (Peer-Reviewed Journal)

DİLİM H. Baolon Zhang'ın Dijital Resimde Superman Eserinin Üç Boyutlu
Model Oluşturma Evreleri, Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Dergisi , vol.17, no.46, pp.265-278, 2020 (Peer-Reviewed Journal)

DİLİM H. Rembrandt Van Rjin'in Eserlerinde Aynasal Yansıma, Mustafa Kemal
Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi , vol.4, no.6, pp.91-99, 2020 (Peer-Reviewed
Journal)

EREN A., DİLİM H., Yazılımsal Bir Dijital İllüstrasyon Tekniği: Ascii İllüstrasyon JOURNAL OF SOCIAL, HUMANITIES AND ADMINISTRATIVE SCIENCES (JOSHAS) , vol.8, no.56, pp.1264-1270, 2022 (Peer-Reviewed Journal) PlumX Metrics

DİLİM H., Üç Boyutlu Tasarımın Tarihsel Gelişim Süreci ve Dijital Sanata Katkıları Mustafa Kemal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, vol.8, no.14, pp.179-188, 2024 (Peer-Reviewed Journal)

Sanatsal Faaliyetleri (Sergi, Konser, Gösteri vb.):

“Özgürlükten Ölümsüzlüğe” Online Sergi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi – 2020, Hatay

“24 Kasım Öğretmenler Günü Karma Sergisi”, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi – 2021”, Hatay

“Uluslararası Davetli 15 Temmuz Demokrasi Plastik Sanatlar Sanal Sergisi”, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi – 2021, Hatay

“Eğitim Bilimlerinde Çağrılı Uluslararası Sergisi” Online, Dokuz Eylül Üniversitesi – 2022, İzmir

“Hatay Ressamları Sergisi”, Hatay, 2023, Hatay

"Hatay İçin" Uluslararası Davetli ve Jürili Çevrimiçi Karma Görsel Sanatlar Sergisi”, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi (Çevrimiçi) – 2025, Hatay

“1873’ten 2025’e İlhan KOMAN “Akdeniz” Ulusal Çevrimiçi Karma Sergi”, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Ağrı, 2025

“2025 İlkbahar - Kişisel Sergi – II”, Yer:Çevrimiçi - 2025

“15 Temmuz: Zaferin Adı Türkiye” Online Sergi – 2025, Hatay

Görev Aldığı Projeler:

Bilimsel Araştırmalar Projesi, 22.A.002, “Eğitim Fakültesi Binası İç ve Dış Mekânsal Tasarımlar”, Araştırmacı, 2021-2025