

**BİLGİSAYAR ANİMASYONUNDA PROSEDÜRELİZM: BİR MEDİKAL ANİMASYON  
UYGULAMASI**

**Emin BAKAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çizgi Film (Animasyon) Anasanat Dalı**

**Danışman: Prof., Hikmet Sofuoğlu**

**Eskişehir**

**Anadolu Üniversitesi**

**Güzel Sanatlar Enstitüsü**

**Aralık, 2016**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Emin BAKAN'ın “Bilgisayar Animasyonunda Prosedüralizm: Bir Medikal Animasyon Uygulaması” başlıklı tezi 12 Aralık 2016 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, **Çizgi Film (Animasyon) Anasanat Dalı Yüksek Lisans** tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Hikmet SOFUOĞLU

Üye : Prof. Dr. Baran TOKAR

Üye : Yrd. Doç. Sebahattin ÇALIŞKAN

Prof. Sıdıka Sibel SEVİM  
Anadolu Üniversitesi  
Güzel Sanatlar Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

Bilgisayar Animasyonunda Prosedüralizm: Bir Medikal Animasyon Uygulaması

Emin BAKAN

Çizgi Film (Animasyon) Anasanat Dalı

Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Aralık, 2016

Danışman: Prof., Hikmet Sofuoğlu

Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak gelişen bilgisayar animasyon teknikleriyle günümüzde birçok alanda animasyon filmi üretmek mümkün hale gelmiştir. Bu alanlardan biri de medikal animasyon alanıdır. Özellikle mikro ölçekte elektron mikroskobu kullanılarak hareketsiz ve siyah-beyaz olarak belli belirsiz fotoğraflanabilen bu alan, bilgisayar animasyon yöntemleriyle detaylı bir şekilde oluşturularak hareketlendirilebilmektedir.

Eğitimsiz bir göz ile bu mikro ölçekli alan incelendiğinde rastlantısal bir yapıda olduğu düşünülebilir. Ancak, burada meydana gelen olguların temelini kimya ve fizik kurallarının sonsuz tekrarlarının oluşturduğu bilinmektedir. Öte yandan, bilgisayarlar söz konusu olduğunda, rastlantı kavramının sınırlandırılmış olarak kullanıldığı görülür. Bilgisayarlar kesin verilerin hesaplanması üzerine çalıştıklarından, rastlantı kavramının yapay ve sınırlandırılmış olarak yaratılması gerekmektedir. Bu noktada, bahsedilen kaotik alanın bilgisayar ortamında tekrar üretimi ve kontrol edilmesi söz konusu olduğunda, prosedürel bilgisayar animasyon araçları bir gereklilik haline gelmektedir.

Bu çalışmada rastlantı kavramı, bilimsel bir değer ve sanatsal bir bakış açısı olarak incelenmiştir. Ardından bilgisayar animasyonunda içerik üretmek için bu rastlantısal alanın sınırlandırılması ve kontrolü için prosedürel animasyon süreçleri araştırılmıştır.

Çalışmanın uygulama filminde ise, prosedürel animasyon araçları kullanılarak beyin hücrelerinin birbirleri arasındaki iletişim mekanizması ve bu mekanizmanın genel olarak uyarıcı etkisinde ne şekilde işlediği konulu animasyon filmi yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Animasyon, Prosedüralizm, Medikal, Sahte rastlantısal,  
Rastlantı

## **ABSTRACT**

Proceduralism in Computer Animation: An Application of Medical Animation

Emin Bakan

Department of Animation

Anadolu University, Graduate School of Fine Arts, December, 2016

Supervisor: Prof., Hikmet Sofuoğlu

It has been possible today to make animation films in numerous fields by using computer animation techniques growing in parallel with technological developments. One of these fields is medical animation. Being suitable to be vaguely photographed in black and white and without any motion by using an electron microscope on the micro scale, this field can be animated by being elaborately produced by means of computer animation techniques.

When analyzed this micro-scaled field with an uneducated eye, it may be considered that it's in a random structure. However, it is known that the infinite repetitions of chemistry and physics laws are the basis of these cases. Moreover, it is evident that the concept of randomness is used limitedly when it comes to computers. Since their operating systems are programmed to calculate certain data, the concept of randomness requires to be built artificially and limitedly. At this point, the procedural computer animation tools become a necessity in terms of reproducing and controlling the mentioned chaotic field in a computer environment.

The concept of randomness has been researched as both a scientific value and an artistic perspective in this study. Later, it has been analyzed the procedural animation processes in limiting and controlling this random space to produce content through computer animation.

Furthermore, an animation film on the communication mechanism between neurons and on how this mechanism generally works in the presence of an stimulus has been produced by using the procedural animation tools in the application film of the study.

**Keywords:** Animation, Proceduralism, Medical, Pseudo-random, Random

## TEŐEKKÖRLER

Öncelikle araştırma konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurarak bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Hikmet Sofuoğlu'na teşekkürlerimi sunarım. Araştırma uygulama filmimin storyboardunu hazırlarken benden yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Sinem Ilgın'a, başta Yrd. Doç. Sabahattin Çalışkan ve Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Taş Alicenap olmak üzere tüm bölüm hocalarıma, bu zorlu araştırma sürecinde benden desteğini bir an için bile esirgemeyen eşim Esra Albayrak Bakan ve küçük kızım Derin Bakan'a, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen ablam Türkan Şahin'e ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

12.12.2016

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tez/proje çalışmasının bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumunda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan bilimsel intihal tespit programıyla 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 sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Emin BAKAN

## İÇİNDEKİLER

BİLGİSAYAR ANİMASYONUNDA PROSEDÜRELİZM: BİR MEDİKAL ANİMASYON UYGULAMASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜRLER.....	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Sorun .....	1
1.1.1 Rastlantısallık.....	1
1.1.2 Prosedüralizm.....	10
1.1.3 Prosedüralizm'in bilgisayar animasyonunda kullanım alanları 11	
1.1.3.1 Prosedürel animasyon ve parçacık sistemler .....	11
1.1.3.2 Prosedürel doku .....	14
1.1.3.3 Prosedürel modelleme.....	16
1.1.4 Medikal animasyon.....	21
1.1.4.1 Medikal animasyonun ortaya çıkışı ve gelişimi .....	22
1.1.4.2 Medikal animasyonun kullanım alanları.....	24
1.2 Amaç .....	25
1.3 Önem.....	25
2. YÖNTEM.....	26
3. BULGULAR VE YORUM.....	27
3.1 Medikal Animasyon Uygulaması Örneği.....	27

3.1.1 Storyboard .....	28
3.1.2 Beyin modeli .....	41
3.1.3 Beyin hücresi modeli .....	48
3.1.4 Beyin hücreleri arası sinyal iletimi detay sahneleri.....	56
4. SONUÇ.....	69
KAYNAKÇA .....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	75

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Hans Arp - İsimsiz (1917) .....	3
Şekil 1.2. Prosedürel noise dokusu .....	5
Şekil 1.3. Renkli prosedürel noise dokusu .....	6
Şekil 1.4. Perlin Noise.....	7
Şekil 1.5. Kaos programıyla yapılmış fraktal bir desen .....	8
Şekil 1.6. Perlin noise tabanlı çeşitli fraktal noise haritaları.....	8
Şekil 1.7. Bir mendalbulb cismi.....	9
Şekil 1.8. L-system kullanılarak Cinema 4D programıyla oluşturulmuş bir ağaç... 10	
Şekil 1.9. Ateş, Duman Simülasyonu.....	12
Şekil 1.10. Prosedürel (sol) ve bitmap (sağ) doku yöntemi ile oluşturulmuş küpler .....	16
Şekil 1.11. Nokta, Kenar, Yüzey .....	17
Şekil 1.12. Pixar Hacimsel Saç Modelleme.....	18
Şekil 1.13. Prosedürel köprü modeli .....	19
Şekil 1.14. World Machine adlı programdan bir ekran görüntüsü .....	20
Şekil 1.15. City Engine adlı programdan bir ekran görüntüsü.....	20
Şekil 3.1. Storyboard 1. Kare: Beyin modeli görülür .....	28
Şekil 3.2. Storyboard 2. Kare: Kamera beyin modelinin etrafında döner. ....	29
Şekil 3.3. Storyboard 3. Kare: Beyin modeli karşıdan görünür. ....	29
Şekil 3.4. Storyboard 4. Kare: Beyin modeline hızla yaklaşılır.....	30

<b>Şekil 3.5.</b> Storyboard 5. Kare: Beyin hücresi görünür.....	30
<b>Şekil 3.6.</b> Storyboard 6. Kare: Beyin hücresinin akson kısmına yaklaşılr.....	31
<b>Şekil 3.7.</b> Storyboard 7. Kare: Kamera akson üzerinde, akson ucuna doğru hareket eder.....	31
<b>Şekil 3.8.</b> Storyboard 8. Kare: Akson ucu ve dendrit görünür.....	32
<b>Şekil 3.9.</b> Storyboard 9. Kare: Akson ucuna gelen elektrik sinyali görünür.....	32
<b>Şekil 3.10.</b> Storyboard 10. Kare: Akson ucundan çıkarak dendrit ucuna gelen elektrik sinyali görünür.....	33
<b>Şekil 3.11.</b> Storyboard 11. Kare : Sinyal iletimi yapılan aralığa hızlı yaklaşılır..	33
<b>Şekil 3.12.</b> Storyboard 12. Kare: Akson ucu kesit olarak görünür. ....	34
<b>Şekil 3.13.</b> Storyboard 13. Kare: Akson ucu kesitindeki veziküller ve elektrik sinyalleri görünür.....	34
<b>Şekil 3.14.</b> Storyboard 14. Kare: Elektrik sinyallerinin vezikülleri ittiği görünür..	35
<b>Şekil 3.15.</b> Storyboard 15. Kare: Hormon keseciklerinin akson ucunun alt kısmı ile kaynaştığı ve veziküllerin içindeki hormonların dışarıya çıktığı görünür.....	35
<b>Şekil 3.16.</b> Storyboard 16. Kare: Hormonların dendrit ucundaki kanallara yapıştığı ve elektrik sinyalinin iletildiği görünür.....	36
<b>Şekil 3.17.</b> Storyboard 17. Kare: Hormonların dendrit ucundaki alıcılardan kurtularak akson ucundaki geri dönüş kanalına yöneldiği görünür.....	36
<b>Şekil 3.18.</b> Storyboard 18. Kare: Hormonların akson ucundaki geri dönüş kanalına bağlı veziküle döndüğü görünür.....	37
<b>Şekil 3.19.</b> Storyboard 19. Kare: Vezikülün akson ucu geri dönüş kanalından ayrıldığı görünür.....	37
<b>Şekil 3.20.</b> Storyboard 20. Kare: Beyin modeli yeşil bir dumanın içinde görünür.	38

<b>Şekil 3.21.</b> Storyboard 21. Kare : Beyin modeline hızlı yaklaşılır.....	38
<b>Şekil 3.22.</b> Storyboard 22. Kare : Akson ucu etrafındaki uyarıcı moleküllerle birlikte görünür.....	39
<b>Şekil 3.23.</b> Storyboard 23. Kare : Elektrik sinyallerinin vezikülleri ittiği görünür. Bu esnada uyarıcı molekülleri akson ucunun etrafında görünmeye devam etmektedirler.....	39
<b>Şekil 3.24.</b> Storyboard 24. Kare : Veziküllerin akson ucunun alt kısmı ile kaynaştığı ve veziküllerin içindeki hormonların dışarıya çıktığı görünür. Dendrit ucundaki bazı alıcıların uyarıcı tarafından kapatıldığı ve elektrik sinyallerinin, hormonlar bu alıcılara ulaşmadan iletildiği görünür.....	40
<b>Şekil 3.25.</b> Storyboard 25. Kare : Hormonların uyarıcıların bağlanmadığı alıcılara bağlandığı görünür.....	40
<b>Şekil 3.26.</b> Storyboard 26. Kare : Hormonların dendrit üzerindeki geri dönüş kanalına döndüğü görünür. Bu esnada elektrik sinyalleri uyarıcı etkisiyle hala iletildiği görünür.....	41
<b>Şekil 3.27.</b> Storyboard 27. Kare : Vezikülün geri dönüş kanalından ayrıldığı görünür. Elektrik sinyali uyarıcılar sayesinde hala iletilmektedir.....	41
<b>Şekil 3.28.</b> Bir kürenin düşük ve yüksek polygonlu hali.....	42
<b>Şekil 3.29.</b> Beyin modeli. Yüksek polygon (solda), düşük polygon (sağda) .....	43
<b>Şekil 3.30.</b> Beyin modeli için Cinema 4D programında yapılan ışıklandırma .....	44
<b>Şekil 3.31.</b> Işığın normal ve SSS etkisindeki davranışı .....	45
<b>Şekil 3.32.</b> SSS yöntemiyle alınan test renderı. Render süresi 2 saat 10 dakika .....	45
<b>Şekil 3.33.</b> Beyin modeline uygulanan materyal uygulaması .....	46
<b>Şekil 3.34.</b> Fresnel shaderın kameraya göre ürettiği kesirli sayılar. Sayılar temsilidir.....	47

<b>Şekil 3.35.</b> Fresnel shader ile ilave renk verilmiş (solda) küre ve fresnel shader kullanılmadan renklendirilmiş (sağda) iki küre .....	48
<b>Şekil 3.36.</b> Beyin hücresinin yapısı . .....	49
<b>Şekil 3.37.</b> Beyin hücresinin Zbrush ile yapım aşamaları. ....	50
<b>Şekil 3.38.</b> Beyin hücresi fresnel shaderı kullanımı.....	51
<b>Şekil 3.39.</b> Beyin hücresi absorbtion distance kullanımı.....	52
<b>Şekil 3.40.</b> Farklı f değerleriyle fotoğraflanan bir kompozisyon.....	53
<b>Şekil 3.41.</b> Uygulama filminden alan derinliği efekti ile alınmış bir ekran görüntüsü .....	54
<b>Şekil 3.42.</b> Dendrit (altta) ve Akson terminali (üstte) .....	55
<b>Şekil 3.43.</b> Signal yazılımı ile hareketlendirilen elektrik sinyalleri.....	56
<b>Şekil 3.44.</b> Akson terminali için Cinema 4D programında çizilmiş eğriler .....	57
<b>Şekil 3.45.</b> Akson terminali boolean operatörü uygulanmış hali. RAE işlemi .....	58
<b>Şekil 3.46.</b> Akson terminali modelinin bitmiş hali .....	59
<b>Şekil 3.47.</b> Dendrit modeli .....	60
<b>Şekil 3.48.</b> Akson terminali ve dendrit modelleri materyal kaplanmış halleri .....	61
<b>Şekil 3.49.</b> Parçacıkların dağılmasının önlemek için kullanılan küre nesnesi .....	63
<b>Şekil 3.50.</b> Parçacıkların dendrit kanallarına yönlenmesi.....	64
<b>Şekil 3.51.</b> Parçacıkların attractor modifier ile dendrit kanallarından ayrılması .	64
<b>Şekil 3.52.</b> Parçacıkların akson terminali geri dönüş kanalından vezikül içine girişi. ....	65
<b>Şekil 3.53.</b> Cinema 4D içinde parçacıklar için kullanılan materyal.....	65

<b>Şekil 3.54.</b> Elektrik sinyalleri için gerekli olan maskenin materyali .....	66
<b>Şekil 3.55.</b> Elektrik sinyalleri için gerekli olan maskenin render edilmiş hali.....	67
<b>Şekil 3.56.</b> Uygulama filminden elektrik sinyallerinin görüldüğü bir sahne.....	67
<b>Şekil 3.57.</b> Dendrit kanallarına bağlanan uyarıcı ve hormonlar .....	68

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Sorun

Bilgisayar görüntüsü, geleneksel ortamlarda üretilen görüntüden üretim yöntemleri açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Plastik sanatlarda sanatsal değer üretmek için kullanılan araçlar, doğaları gereği rastlantısal sonuçlar ortaya koyabilmektedirler. Bir ressamın tuvale bıraktığı fırça izleri her seferinde birbirinden farklılık gösterir. Aynı durum sinema için de geçerlidir. Yönetmen kurgulanmış bir sahnede, planlanmış bir sahneyi çekerken, öngörülemeden durumlarla karşılaşabilir. Bu tür rastlantısal olarak ortaya çıkan durumlar sinematik anlatımda olumlu sonuçlar doğurabilmektedir. Bilgisayar görüntüsü söz konusu olduğunda, görüntü oluşturmak için kullanılan araçlar üzerinden düşünüldüğünde aynı rastlantısal sonuçları yaratmak için fazladan araçların kullanılması gerektiği görülmektedir.

### 1.1.1 Rastlantısallık

Abdülbaki Güçlü ve d., Felsefe Sözlüğü'nde rastlantıyı belirsizlik kavramları ile ilişkilendirerek açıklar; “gündelik yaşamda sıklıkla “şans” ya da “olasılık” kavramlarının yerine de kullanılan rastlantı, önceden bilinmeyen ya da kestirilemeyen beklenmedik bir biçimde ortaya çıkan durumları betimler.” (Güçlü, Uzun, Uzun, & Yolsal, 2003, s. 1203). Bununla birlikte A. Güçlü, rastlantı sözcüğünü rastlantısallık (accidentalism) kavramı ile ilişkilendirerek şu tanımlamayı yapar; “Rastlantısallığın (accidentalism) evrendeki olayların rastlantısal olduğunu bu yüzden olayların akışının önceden bilinemeyeceğini ya da nedensel olarak açıklanamayacağını savunan görüş.” (Güçlü, Uzun, Uzun, & Yolsal, 2003, s. 728).

Diğer yandan Abraham Moles “Belirsizin Bilimleri” kitabında kesinliğe karşı belirsizliği olumlar: Moles'e göre “İnsan kültürünün göstergesi, insanın dünyayı gittikçe daha çok sayıda boyutlar dizisine sokmasını sağlayan kesinliktir; hassasiyet tutkusuna yol açan şey, ölçmenin hâkimiyetidir. Moles'e göre Fizikçiler bu tutkuya ilk kapılan kişiler olarak bize ölçmenin ve kesinliğin iyi olduğunu savunmuşlar ve bu düşüncelerini bir ideolojiye dönüştürmüşlerdir. Bu ideolojiye göre kesinlik iyi ve bunun karşıtı olan belirsiz, kaba ve kötüdür. Bu durumda belirsiz yalnızca

belirliliğin karşıtı değil, üstelik kötüdür. Çünkü belirli olmak iyidir ve dolayısı ile belirsiz olan tüm şeyler düşünceye layık değildir (Moles, 2012, s. 21).

Lily Diaz'ın "Sanat ve Tasarımda Şans, Rastlantı ve Belirsizlik Yöntemleri" adlı araştırmasında rastlantı, öngörülebilirliği bulunmayan sonuçlara gönderme yapılan bir nitelik olarak tanımlanır. Araştırmada Lily Diaz'ın alıntılıdığı Gregory Bateson'a göre; rastlantısallık kaynağı olmayan mekanik ya da organik hiç bir sistem "yeni"yi üretemez: "[...] hem evrimde hem de düşüncede stokastik süreç içerisinde (olasılıklı bir süreç) yeni rastlantısallık dışında hiçbir yerde ortaya çıkmaz (Diaz, 2011, s. 23).

Sanat ve tasarımda sanatçılar rastlantı ve belirsizliği, yeni değişkenler, yeni sorunlar ve yaratıcı süreç için yeni parametreler ortaya çıkarmak amacı ile bilinçli olarak kullanmışlardır. Sanat ve tasarımda rastlantısallığın kullanımı, hedef yönelimli bir davranış olarak, verili bir sonucun üretilmesi amaçlandığında ortaya çıkar. Tasarımda sonuç, verili bir parametre kümesi içindeki bir değişimin etkilenmesi olarak ele alınmalıdır. Tasarım sürecinin başlangıcında gerçek değişimin ne olacağı bütünü ile bilinmez durumdadır. Bu nedenle tasarımcı her zaman yeni buluşlara karşı hazırlıklı olmalıdır.

20. yüzyılın başlarında Dada akımı ile birlikte sanatçılar rastlantısallığı, geleneksel sanat anlayışını eleştirmek amacı ile üretimlerinde kullanmışlardır. Dada hareketinin sanat eseri, estetik yüce gibi amaçlı üretimlerden çok, rastlantısallık üzerinde durduğu söylenebilir. Örneğin Hans Arp, nesnelere rastlantısallığın doğasına göre düzenleyerek ve farklı renkli kâğıtları birbirlerine yapıştırarak resimler oluştururken, şair Tristan Tzara da şapkasının içine attığı, içinde sözcükler yazılı kâğıtları çekerek şiirler derlemiştir. Belirsizliğin bu şekilde kullanımı özgün çalışmalar ortaya koyar, çünkü sanatçıya beğenilerinden ve alışkanlıklarından kurtulmasına olanak sağlar. Diğer yandan, bu çalışma yöntemlerinin 1. Dünya Savaşı'nda insanlığı kitle ölümlerine sürükleyen, dünyanın akılcı ve çıkarıcı anlayışına karşı bir eleştiri olduğu söylenebilir.



*Şekil 1.1. Hans Arp - İsimsiz (1917)*

**Kaynak:** 14 Temmuz 2016 tarihinde <https://www.nga.gov/exhibitions/2006/dada/artwork/index-main.shtm#null> sitesinden alınmıştır.

Hans Arp istediği forma ulaşmada yetersiz kaldığında “şans kanunlarını” (law of chance) keşfetmiştir. Yırtarak zemine rastgele attığı kâğıt parçalarından oluşturduğu kompozisyonların, bilinçli olarak düzenlenemeyeceklerinin farkına varmıştır. Arp sanatçının kendisi olumsuzlaması ile birlikte bilinçaltının yaratıcılığına ulaşılabilineceğini savunarak, rastlantısallığın felsefi ilkelerini araştırmaya koyulmuştur (Diaz, 2011, s. 23). Yapıtlarında rastlantısallığı kullanan bir diğer sanatçı Andy Warhol’dur. Reklamcılığa yönelik çizimlerinde Warhol, lekeli çizgi tekniğini mürekkep emmeyen ıslak kâğıtlar üzerine basarak, rastlantısallığı araç üzerindeki denetimi kaldırma yolu ile kullanmıştır.

Rastlantısallık kavramı sadece sanat alanında değil, çeşitli bilim alanlarında çalışan birçok araştırmacının da uğraş konusu olmuştur. Bilgisayar teknolojilerinin gelişiminden önce, tamamen mekanik süreçlerle bu sayılar üretilmeye çalışılmıştır. “Bir Kaynak Olarak Rastlantısallık” makalesinde Hayes, bütünüyle rastlantısal sayılardan oluşturulmuş dizeleri bulma çalışmalarını kronolojik olarak şu şekilde

sıralamaktadır: İngiliz biyometrisyen W. F. R. Weldon ve eşi Florance Tebb, olasılık yasaları üzerine bir sunum için, uzunca bir süre zar atarak bu sayıları not etmişlerdir. 26.306 zar atımından oluşan bu veri yığını 1900 yılında inceleyen Karl Pearson bu sonuçlarda 5 ve 6 sayısının diğer sayılara göre daha fazla tekrar ettiğini, sonuçların saf rastlantısal değerlerden uzak olduğunu görmüştür.

1901 yılında Lord Kevin bir kâse içerisine koyduğu küçük kâğıtların üzerine numaralar yazmış ve bu kâsedan çektiği numaraları bir yere not ederek, tekrar kâsenin içine atarak bir dize sayı üretmeyi denemiştir. Ancak, kâğıtları tekrar karıştırmanın daha iyi bir yolunu bulamadığı için çıkan sayı dizesinden memnun kalmamıştır.

1925 yılında, L. H. C. Tippett yaptığı deneyde Lord Kevin ile benzer sonuçlara ulaşmıştır. Yaptığı her set çekimin bir önceki seçime benzer sonuçlar çıkarma eğilimi olduğunu görmüştür. Tippett iki yıl sonra daha gelişmiş bir karıştırma yöntemi kullanarak yaptığı 41,600 haneli rastgele sayı tablosu da yine bir önceki çalışmasına benzer sonuçlar vererek saf rastlantısal sonuçlara ulaşamamıştır.

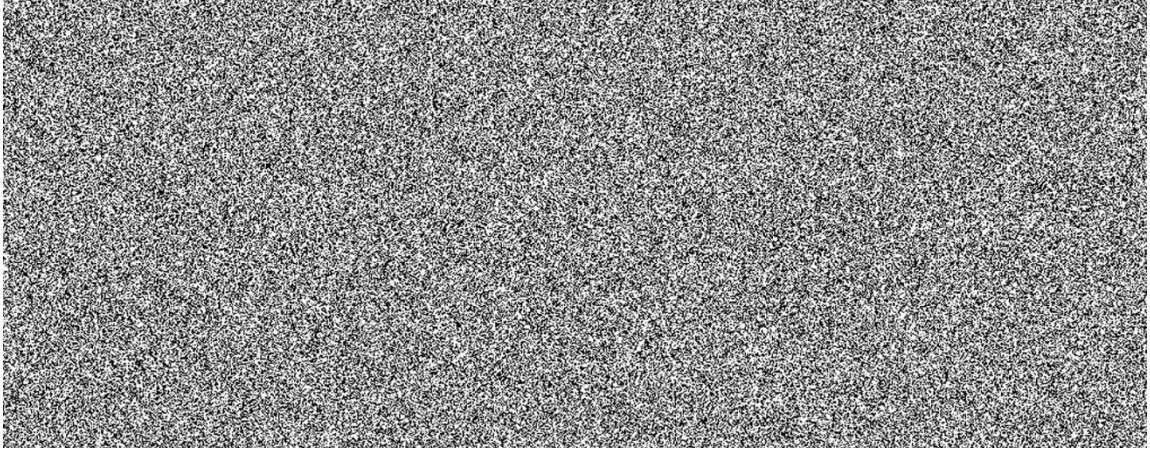
1955 yılında Rand Corporation adlı şirket bir çarkifelek kullanarak, her saniye bir sayı seçecek şekilde elektronik bir devre kurmuş ve 1.000.000 sayılık bir yayın çıkarmıştır. Bu çalışma esnasında ilk çıkan sayı dizeleri belirgin bir örüntü içerdiğinden, pek çok ayarlama yapılma gereği duyulmuş ancak tatmin edici sonuca ulaşamamıştır (Hayes, 2001, s. 300).

Bilgisayar çağıyla birlikte bu sayıları üretmek için başlangıç noktası olarak kullanılan mekanik süreçler, dijital tabanlı hale gelmişler ve rastlantısal olarak oluşturulan sayılar farklı kullanım alanları yaratmışlardır.

İnsan üretimi olan bilgisayarlarda rastlantı kavramı sınırlandırılmış olarak görülmektedir. Bu sınırlandırılmış rastlantısallık sözde-sahte rastgelelik (pseudo random) olarak adlandırılır. Bingöl'e göre bilgisayarlar kesin (deterministic) bir yapıda çalıştıkları için gerçek anlamda rastgele sayı üretemezler (Bingöl, 2016). Ancak bilgisayarların sağlıklı çalışması için, işlemlerin belirli bir sıraya göre düzenlenmesi gerekmektedir. Hayes bu konuda şu örneği vermektedir: Aynı anda bir web sitesine bağlanan birden çok kullanıcıya, bilgisayarlar aynı anda birden fazla veriyi işleyemeyeceği için, web sitesinin bağlı olduğu sunucu tarafından rastgele bir bekleme süresi atanması gerekmektedir (Hayes, 2001, s. 301). Bilgisayar

bilimlerinde gerekli olan bu rastlantısal modellemelerin atası Stanislaw Ulam'ın Monte Carlo metodu olarak görülmektedir. Bu metot, 1947 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin New Mexico eyaletindeki Los Alamos National Laboratory'e ait ENIAC adlı bilgisayar ile nükleer reaksiyonların muhtemel etkileriyle ilgili bir deney için kullanılmıştır (Metropolis, 2016). Günümüzde Monte Carlo metodu sayısal analiz, doğal olayların simülasyonu, atom ve molekül fiziği, nükleer fizik, deneysel aletlerin simülasyonu, hücre simülasyonları, borsa modellemeleri, dağılım fonksiyonları gibi alanlarda kullanılmaktadır (Bingül, 2016).

Bilgisayar bilimlerinde elde edilen bu rastlantısal matematiksel değerler kümesi noise (gürültü) olarak adlandırılmaktadır. Bu noise değerleri -1 ila 1 frekans aralığında rastgele seçilmiş virgüllü sayılar dizisi olarak tanımlanabilir (Moore, 2016). Bu değerler; -1 = siyah, 1 = beyaz şeklinde ifade edilerek görüntüleme aygıtlarıyla görselleştirildiğinde, tekrar etmeyen dokular oluşturulabilir.



*Şekil 1.2. Prosedürel noise dokusu.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.*

Şekil 1.2.'de görülen noise dokusu, noise generator (gürültü üretici) tarafından RGB kanallarının her birine aynı değer atanarak oluşturulmuştur. RGB kanallarının her biri ayrı noise generator tarafından beslendiğinde şekil 1.3.'deki gibi bir sonuç elde edilir.

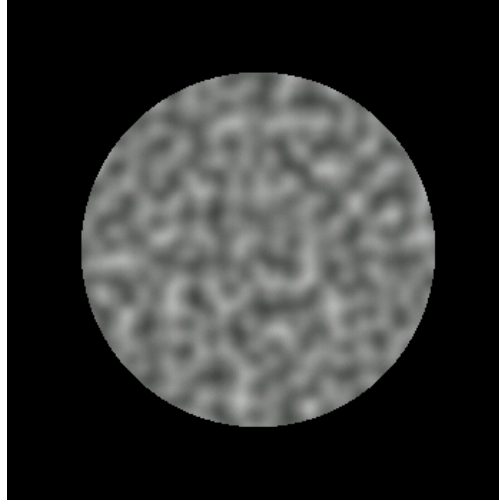


*Şekil 1.3. Renkli prosedürel noise dokusu.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.*

Noise değerleri seed (tohum) denen belirli bir değere göre üretilir. Örnek olarak, bir nesnenin XY koordinat sisteminde rastgele hareket etmesi ve bu hareket esnasında hareketle bağlantılı olarak renk değiştirmesi istendiğinde, seed değerleri aynı kalırsa istenen sonuca ulaşılabilir. Bu seed değeri gerçek anlamda rastlantısallık içerebilecek tek değerdir. Li ve diğerleri seed değeri ile ilgili şu açıklamaları kullanmışlardır:

“... Eğer tıpatıp aynı seed değeri sağlanırsa, tamamen aynı dizi elde edilir. 1980’lerde Blum tarafından seed değerinin en can alıcı rolü şöyle açıklanmıştır. Blum sahte rastlantısal sayıların aslında rastgele sayılar olmadığını, seed değerinin; bir galon boyaya düşüp karıştırılan bir damla pigment gibi rastlantısallığı bu sayılar içerisine yayan ya da seyrelten bir şey olarak tanımlar (Li, ve diğerleri, 2016, s. 7).

Günümüzde sinema sektöründe kullanılan görsel efektlerin yapımında da bu noise prosedürlerin kullanıldığını görülmektedir. İlk olarak Ken Perlin tarafından, 1983 yılında Tron filminde kullanılmıştır. Bu film için doku çalışmaları yapan Perlin, her şeyin “makine” gibi görünmesinden rahatsız olmuş, bu yapay görünümü kırmak için kendi adıyla anılan “Perlin Noise” prosedürünü geliştirmiştir (Perlin, 2016).



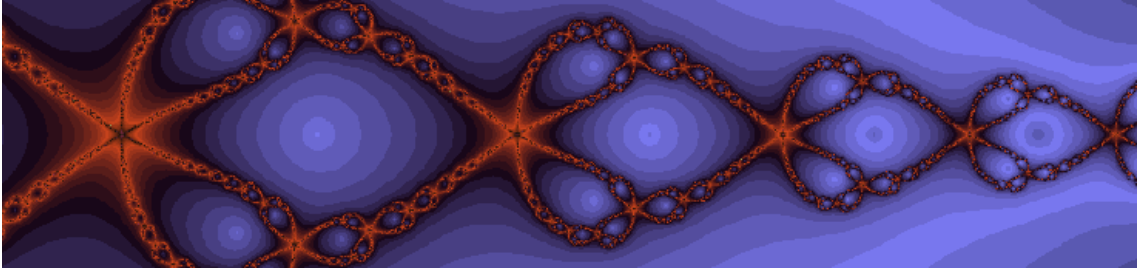
**Şekil 1.4.** Perlin Noise.

**Kaynak:** 28 Kasım 2016 tarihinde [http://http.developer.nvidia.com/GPUGems/gpugems\\_ch05.html](http://http.developer.nvidia.com/GPUGems/gpugems_ch05.html) sitesinden alınmıştır.

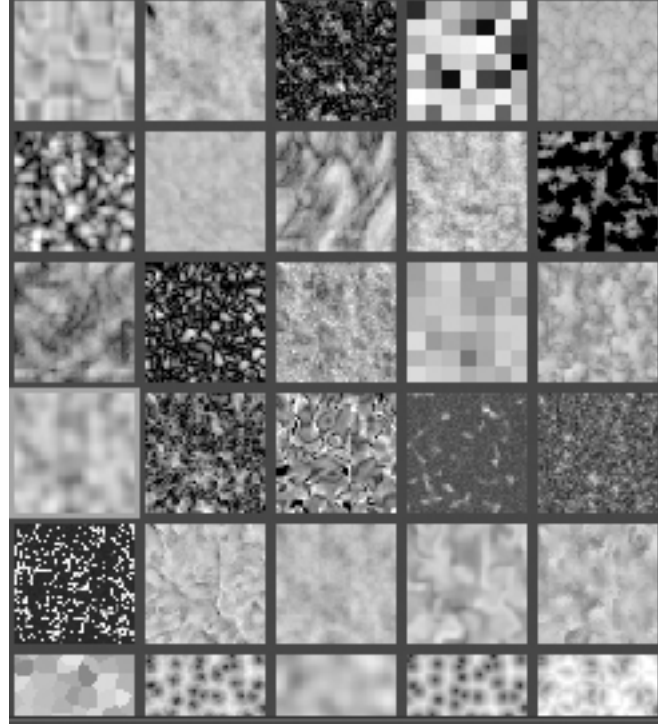
Perlin Noise (Şekil 1.4.) ile birlikte, bu dokuları üretmek için kullanılan rastgele değerler arasında özel matematiksel prosedürler ile bir uyum oluşturulmuştur. Böylece birbirleriyle yumuşak geçişli, organik görünümlü dokular oluşturulması olanaklı hale gelmiştir (Zucker, 2016).

Perlin noise ile oluşturulan bu dokular, bilgisayar üretimi görüntüde sahterastlantısal prosedürlerin başka alanlarda da kullanımının önünü açmıştır. Perlin noise günümüzde fractal noise olarak da adlandırılmaktadır. Fraktal, farklı ölçeklerde birbirini tekrar eden bir şekildir. 1980 yılında Benoit Mandelbrot tarafından IBM şirketinde çalışırken rastlantısal olarak bulunmuştur. Mandelbrot, iki bilgisayar arasındaki haberleşmenin telefon hatları üzerinden sağlanması amacıyla yürütülen projede, telefon hatlarındaki gürültünün sinyal akışını bozduğunu hatta bazen bağlantının tamamen kopması sorunu ile karşılaşmıştır. Bu gürültünün tanımlanarak filtrelenmesiyle ilgili çalışma yapan Mandelbrot, gürültüyü grafiksel bir şekle çevirmiştir. Daha sonra bu grafik şekillerin üzerine yaptığı araştırmalarda, şekillerin günlük, saatlik veya saniyelik kesitlerinin birbirine çok benzer geometrik şekiller oluşturduğunu görmüştür (IBM, 2016). Zwar'a göre, fraktal geometrilere ne kadar yaklaşılsa yaklaşılsın bu örüntü yapısını kaybetmez (Zwar, 2016). Fraktal bir geometrinin yapısını anlamak için ağaç örneği üzerinden gidilebilir. Bir ağacın fraktal yapısı incelendiğinde birkaç nokta göze çarpar. Ağacın küçük bir parçası, bütün bir ağacın küçük kopyası gibidir. İkinci bir

nokta ise, ağaç büyük ve karmaşık bir yapı olmasına karşın, formunu basit bir işlemin birden çok tekrarından alır (Fractal Foundation, 2016). Fraktallar noise dokularıyla birlikte kullanıldığında ortaya çok çeşitli, organik görünümlü karmaşık yapıli örüntüler (pattern) çıkabilmektedir (Şekil 1.5.).



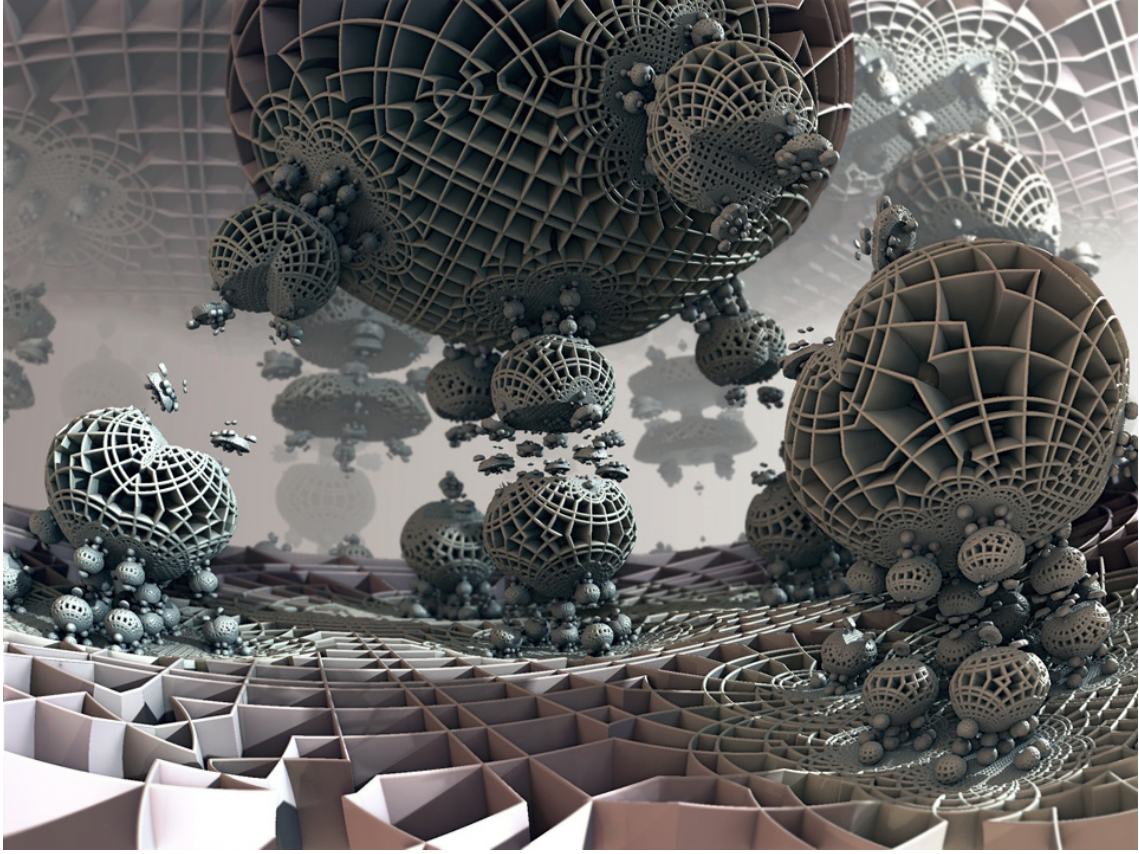
*Şekil 1.5. Chaos programıyla yapılmış fraktal bir desen.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.*



*Şekil 1.6. Perlin noise tabanlı çeşitli fraktal noise haritaları  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.*

Fractal dokuların 2 boyutlu düzlemde oluşturduğu dokular, araştırmacıların ilgisini çekmiş ve kartezyen koordinat sistemine aktarılmak istenmiştir. 1988 yılında Amerikalı bir Matematikçi Rudy Rucker tarafından, oluşturulan bir algoritmayla bu amaç kısmen başarılı olmuş, 2009 yılında Daniel White ve Paul Nylander tarafından Rucker'ın algoritmasının geliştirilmiş bir haliyle oluşturulmuş

başka bir algoritma ile fraktal geometrinin kurucusu olarak görülen Benoit Mandelbrot'un anısına Mandelbulb ismi verilmiştir (Haggett, 2016). Şekil 1.7.'de bir Mandelbulb cisimleri görülmektedir.



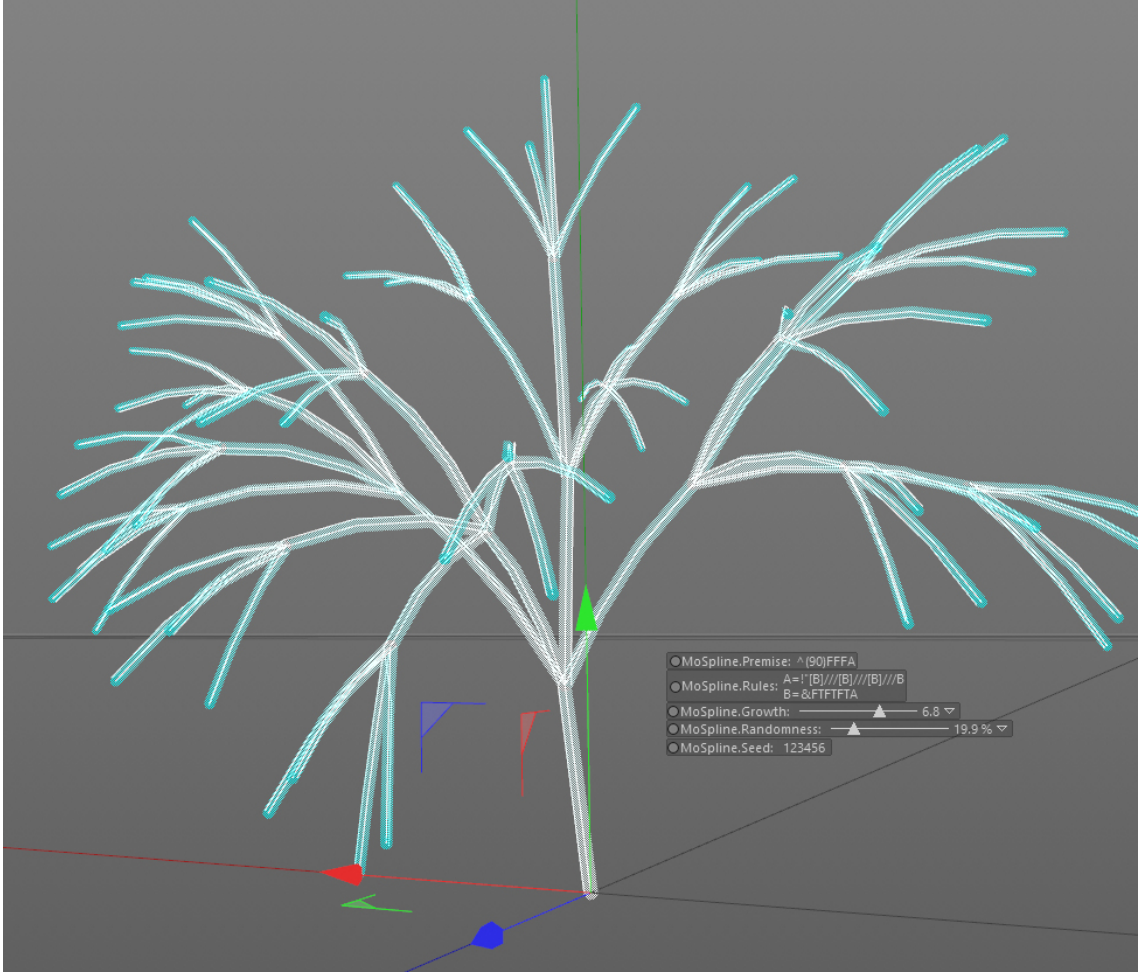
*Şekil 1.7. Bir mandelbulb cismi.*

**Kaynak:** 28 Kasım 2016 tarihinde <http://mandelbulb.com/3d-fractal-art-mandelmorphs/> sitesinden alınmıştır.

Çok boyutlu yapılara sahip Mandelbulb cisimleri, sahte-rastlantısal sayıların bilgisayarlı görüntülemeye ulaşılabilecek en karmaşık şekillerin üretilebilmesini sağlamıştır. Mandelbulb görüntüleri üreten bir programı kullanan kullanıcı, neredeyse tamamen rastlantısal denecek görüntüleri sanatsal bakış açısıyla üretir. Kullanıcı bu cisimleri üreten formüllere kontrollü olarak müdahale etse de, sonuçlardan tam olarak emin olamaz.

1968 yılında teorik biyolog ve botanikçi olan Macar Aristid Lindenmayer tarafından geliştirilen L-system programlama diliyle özellikle ağaç gibi dallanan modellerin daha denetimli bir şekilde oluşturulmasının temelleri atılmıştır (Mizuno, 2016). Sistem temel olarak programlama diline önceden tanımlanmış belirli harfler ve sembollerin bir sıra ile yazılmasına dayanır. Şekil 1.8.'de Cinema 4D'nin Mospline

aracının kullanımıyla oluşturulmuş L-system temelli bir ağaç modeli görünmektedir.



**Şekil 1.8.** L-system kullanılarak Cinema 4D programıyla oluşturulmuş bir ağaç.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

### 1.1.2 Prosedüralizm

Prosedür, bilimde belli bir sonuca erişmek için bir plana göre izlenen yol, metot olarak tanımlanır (Türk Dil Kurumu, 2016). Prosedüralizm ise, belli bir bilgisayar programının, bilgisayar destekli görüntü oluşturmak amacıyla prosedürel yöntemler kullanma işlemidir. Rosebush, bilgisayarlı görüntü üretiminde kullanılan prosedüralizmi şöyle tanımlamaktadır:

“Sanat eseri yaratma söz konusu olduğunda, sanatçı bir dizi kurallar belirler ve bu kurallara göre bilgisayara hesap yaptırarak sonucu da bilgisayara düzenlettirmesi, yani benim prosedüralizm dediğim şey, 20. yüzyıl sonunda sanattaki en önemli fikirlerden biridir. Bu durumda prosedüralizm yaratıcı sürecin özü olarak değerlendirebiliriz; çünkü

sanatçı doğrudan tuval üzerinde çalışmak yerine, tuvali üreten bir yöntem üzerinde çalışır.” (Berghel, 2016, s. 98).

Bu prosedürel yöntemleri, fiziksel olarak içinde yaşadığımız dünyanın basitleştirilmiş simülasyonlarına benzetmek olasıdır. Örneğin, akan bir sıvının bilgisayar görüntüsü üretilmek istendiğinde, yer çekimi, sıvının yoğunluğu, sıvıyı oluşturan parçacıkların büyüklüğü vb. gibi etmenler gereklilik halinde simülasyona eklenerek, çıkarılabilir. Sonuç rastlantısaldır. Kullanıcı çıkan sonuçları inceleyerek ihtiyaç duyulması halinde gerekli düzenlemeleri yaptıktan sonra sonuca ulaşılır.

### **1.1.3 Prosedüralizm’in bilgisayar animasyonunda kullanım alanları**

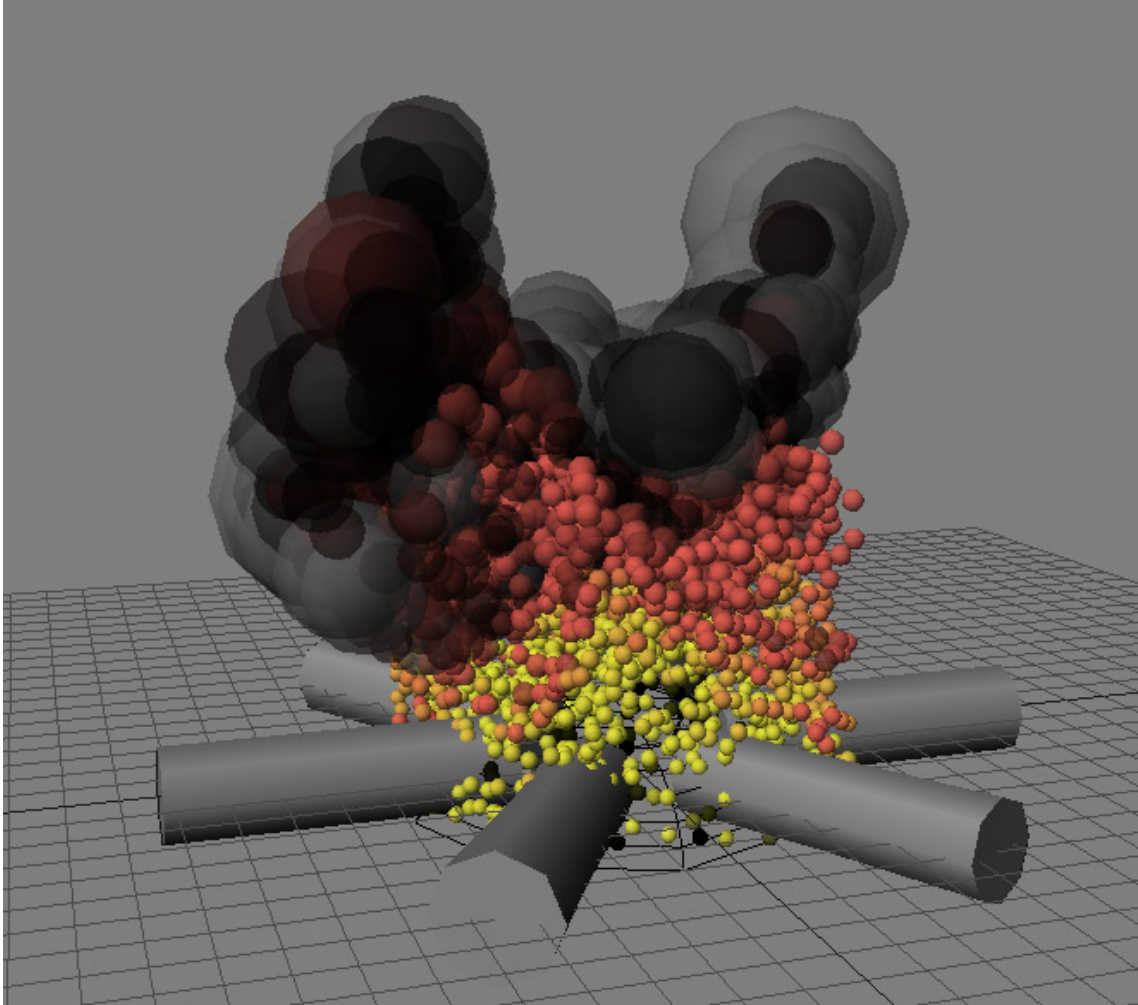
Günümüzde prosedürel yöntemler bilgisayar animasyonlarında birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle birden çok nesnenin bir araya gelerek oluşturduğu parçacık sistemlerde, yüksek detaylara sahip dokuların ve birden çok nesnenin tekrarını içeren modellerin oluşturulmasında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

#### **1.1.3.1 Prosedürel animasyon ve parçacık sistemler**

Prosedürel animasyon yöntemleri tek bir nesnenin animasyonunda kullanılabilirdiği gibi, bu nesneyi temel alan parçacık sistem animasyonları için de kullanılır. Parçacık ve parçacık sistemlerinin bu alanda kullanımının iki nedeni vardır. İlk olarak mermi gibi küçük nesnelerin ya da duman, yağmur, ateş gibi belli bir şekle sahip olmayan sıkıştırılabilir nesnelerin modellenmesi (Reeves, 1983, s. 359) ve basit dinamik bir sistem sağlamasıdır. Bir parçacık bu dinamik yapıyı kazandıktan sonra, aynı özellikleri taşıyan bir parçacık sistemin içinde birbirleriyle etkileşime girerek daha karmaşık yapıların modellenmesine olanak sağlar (Hughes, ve diğerleri, 2014, s. 996). Temel yapı taşı 3 boyutlu düzlemdeki belirli bir nokta olan parçacıklar, bir araya gelerek parçacık sistemlerini oluştururlar. Bu sistemlerin prosedürel animasyon yöntemleri ile birlikte günümüzde kullanım alanları şu şekildedir.

Parçacık simülasyonlarının en çok kullanıldığı alanlardan birisi ateş/patlama efektleridir. Özellikle bu çeşit animasyonların oluşturulmasında kullanılan türbülans prosedürü, parçacıkları belli noktalarda bir araya getirerek bu yapıların

oluşturulmasını sağlar. “Gerçel Zamanlı Ateş simülasyonunda Parçacık Sistemlerin Kullanımı” adlı makalesinde Somasekaran diğer önemli etkenleri; aydınlatma değeri; çıkan ateşin etraftaki diğer nesnelere ne kadar aydınlatacağı, şeffaflık değeri; parçacığın sahnede ne kadar görüneceği, renk bilgisi; parçacığın ilk yanma anındaki rengi ile daha sonraki evrelerde sıcaklığının düşmesi sonucu alacağı renk değeri olarak açıklamaktadır (Somasekaran, 2005, s. 10).



*Şekil 1.9. Ateş, duman simülasyonu.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.*

Şekil 1.9.'da bir ateş simülasyonu görünmektedir. Burada türbülans efekti ile parçacıklar öbek öbek bir araya gelerek hacim oluşturmakta, ilk doğuş anlarında sarı olan parçacıklar, simülasyonun orta kısımlarında turuncu hale gelerek daha sonrasında koyu kahve ve en sonunda siyaha dönerek bütünü ile şeffaf konuma geçmektedirler. Bu esnada boyut olarak büyüyen parçacıklar duman efekti yaratmaktadır.

Prosedürel animasyon yöntemleri, parçacık sistem simülasyonları ile birlikte kumaş benzeri esnek yapıların oluşturulmasında da kullanılır. Özellikle karakter animasyonlarında gerekli olan karakterin hareketine bağlı olarak biçimlerini değiştirebilen kumaş gibi nesnelere animasyonları bu simülasyonlarla sağlanır. Ayrıca yırtılma kopma gibi efektlerin oluşturulmasında da bu simülasyonlar kullanılır.

Birbirine bağlı yapıların simülasyonlarında da prosedürel animasyon yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. “Birbirine Bağlı Nesnelere Gerçekçi Animasyonları” makalesinde Hahn, bu konuyu şu şekilde açıklamaktadır; “... birbirine bağlı (rigged body) veya bağlı olmayan birden çok nesnenin yerçekimi, rüzgâr gibi çeşitli doğa olaylarından etkilenmesini gerektiren gerçekçi bir animasyonun, klasik animasyon teknikleriyle yapımı pratikte mümkün olmamaktadır.” (Hahn, 1988, s. 299). “Bilgisayar Animasyonu: Algoritmalar ve Teknikler” kitabında Parent ise, nesnelere etkileyen doğal fenomenlerin, inandırıcı bir animasyon elde etmek için gerekli olduğunu savunur; “Gerçekçi bir hareket, bir nesnenin sürekli karşı karşıya gelinen yerçekimi, rüzgâr, akışkanlık, sürtünme gibi güçlere verdiği tepki ile oluşur.” (Parent, 2008, s. 246). Prosedürel animasyon tekniklerinin bu doğal güçlerin tekdüze yapısını kırmak için de kullanılması mümkündür.

Sıvı simülasyonları sadece su gibi akışkan animasyonları oluşturmakta değil, aynı zamanda toz, bulut, duman ve yoğunluğu yüksek, çamur, lav vb. gibi sıvıların oluşturulmasında da kullanılır. Sıvı simülasyonlarının diğer parçacık simülasyonlarından farkı, parçacık olarak nesnelere tek tek animasyonları yerine, parçacıkların bir araya gelerek oluşturdukları kümelerin animasyonlarının yapılabilmesidir. 2. Dünya Savaşından sonrasında çeşitli doğa olaylarının tahminlerinde kullanılan bu simülasyonlar, günümüzde görsel efekt üretim sürecinde bilimsel kesinlik içermeyen, görsel doygunluğa yönelik sahnelerin üretilmesinde kullanılmaktadır (Griggs, 2012, s. 82). Sıvı simülasyonlarında, binlerce parçacığın birbirleriyle olan etkileşimi söz konusu olduğundan, özel prosedürlere ihtiyaç duyulmuştur. Günümüzde kullanılan 3 boyutlu animasyon programları daha çok genel amaçlara hizmet ettiği için, bu alanda özelleşmiş

eklentiler veya sadece sıvı simülasyonları odaklı yazılmış bağımsız çalışan programlar geliştirilmiştir.

Yapay zeka ve kalabalık animasyonları parçacık simülasyonlarıyla yapılabilecek bir diğer animasyon biçimidir. Parçacık simülasyonlarında kullanılan, parçacığın simülasyonu yapılan durumun koşullarına göre belirlenmiş prosedürler, kalabalık animasyonu için de farklı şekillerde oluşturularak, parçacığın belli durumlarda önceden tanımlanmış şekillerde davranmasına neden olabilir. Simülasyonu yapılmış parçacık daha sonra karakter olarak tanımlanır ve sahne oluşturulur. Kalabalık animasyonları küçük ölçekte yıllardır kullanılmasına rağmen sinemada ilk defa Lord of the Rings: The Two Towers filminde kullanılmıştır. Filmde geçen savaş sahnesi binlerce yaratıktan (ork) oluşan bir ordunun insan ırkının savunmasında olan bir kaleye saldırısını konu alır. Bu sahne o zamana kadar yapılmış en karmaşık simülasyonların olduğu sahne olma özelliğini de taşır. Weta Digital adlı animasyon şirketinin, Massive adlı yapay zekâ ve kalabalık animasyonlarına yönelik ürettiği programın kullanıldığı ilk filmidir. Program film içerisinde birçok savaş sahnesini otomatik olarak oluşturmakta kullanılmıştır. Karakter başına her biri yaklaşık 1 saniye uzunluktaki 350 hareket dosyası kullanılmıştır. Bu hareket dosyaları program tarafından karakterin içinde bulunduğu duruma göre çağırılmıştır. Karakterlerin program içerisinde belli durumlara göre karar verebilmelerini sağlayan sanal beyinleri vardır. Karakterin beyini gelişmiş ise, içinde bulunduğu şartları da göz önünde bulundurarak savaş esnasında karşı tarafa üstün gelebilmesi olasılığı daha yüksek olur. Program her çalıştırıldığında farklı sonuçlar üretir. Hatta bu sonuçlar bazen yönetmenin istediği sahneyi, çeşitli durumları değiştirilerek, kazanması istenen grubun lehine durumlar yaratarak sağlandığı olmuştur. Filmin yönetmeni Peter Jackson, bir savaş sahnesinin simülasyonu sırasında iki büyük grubun birbiriyle savaşırken, sonradan gelen küçük bir grup savaşçının bu savaşı görüp, korkup kaçtıklarına şahit olduğunu söylemiştir (Koeppel, 2002, s. 40,41).

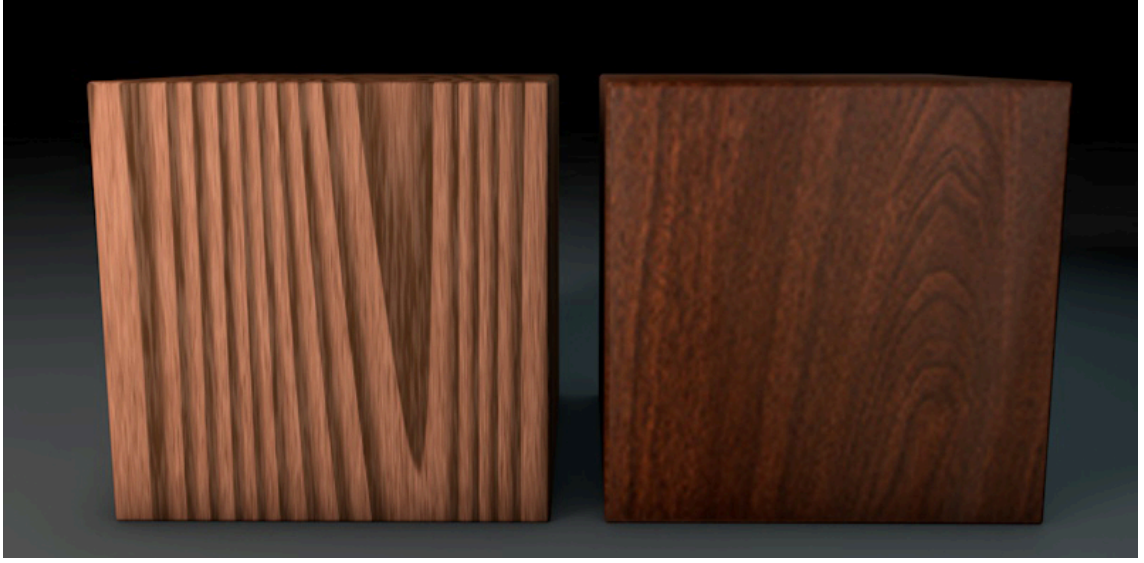
### **1.1.3.2 Prosedürel doku**

3 boyutlu bilgisayar animasyon programları ile üretilen modellerin, daha gerçekçi üretilmesi için dokularla kaplanması (texture mapping) gerekir. Bu

dokular genellikle fotoğraf ya da bilgisayarda boyama yapılarak oluşturulmuş bitmap<sup>1</sup> dosyaları olarak günümüzde kullanılmaktadırlar. Bitmap dosyaları her bir pixelin, renk kodlarını içererek oluşturulmuş dosyalardır. Pixel sayısı artırılarak oluşturulan dokunun çözünürlüğü artırılabilir. Bu durum bilgisayar animasyonunda sorun yaratmaktadır. Kullanıcı her zaman oluşturduğu dokunun, 3 boyutlu animasyon programındaki kameraya olan uzaklığını kontrol etmek durumundadır. Eğer kullandığı bitmap dokunun boyutu, gerektiğinden küçükse, doku bozulmaları oluşur. Ters durumda, kullandığı bitmap dokusunun boyutu gereğinden büyük ise, kullanılan bilgisayarın ekran kartı üzerinde kapladığı alan artar ve sahne üzerinde çalışması zorlaşır, bazı durumlarda kullandığı 3 boyutlu animasyon programının çökmesi söz konusu olabilir. Prosedürel doku yöntemleri son yıllarda bu alanda ortaya çıkmış yeni algoritmalar ve programların bu algoritmalara yer vermesi ile bitmap tabanlı dokuların yerine de kullanılmaya başlanmıştır. Prosedürel dokulandırma yöntemleri fraktal yapıya sahip olduklarından, ne kadar yaklaşılırsa yaklaşılsın özelliklerini kaybetmezler. Ayrıca bir formül aracılığı ile oluşturulduklarından, renk, tekrar sayısı, büzülme vb. gibi değişkenler ile hızlı bir şekilde, çok farklı yapıda dokular oluşturulmasına olanak sağlarlar. Prosedürel dokuların bir başka avantajı ise, bilgisayar hafızasında çok az yer kaplamalarıdır. Günümüzde kullanılan görüntüleme standartlarına göre monitörler genel olarak her bir piksel için 24bit renk üretebilmektedirler. 1024x1024 pixellik bir bitmap dokusu sıkıştırılma olmaksızın bilgisayar hafızasında 3 mb. yer kaplamaktadır. Yüzlerce nesneyi içeren bir animasyon filmi düşünüldüğünde, bitmap doku dosyalarının bilgisayar hafızasında çok alan işgal etmesi kaçınılmaz olacaktır. Öte yandan prosedürel dokular bilgisayar hafızasında 1-2 kb. yer kaplayarak bu soruna çözüm olabilmektedirler. Şekil 1.10.'da prosedürel yöntem ve bitmap yöntemiyle oluşturulmuş 2 ağaç küp görülmektedir.

---

<sup>1</sup> Bitmap: Bilgisayar ekranındaki görüntülerin gösterilebilmesi için, ekrandaki en küçük görüntü birimi olan piksellerin her birine atanacak rengin bilgisini içeren dosyalara verilen genel ad.



*Şekil 1.10. Prosedürel (sol) ve bitmap (sağ) doku yöntemi ile oluşturulmuş küpler.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.*

Prosedürel dokuların kullanımı arttıkça sadece bu alanda özelleşmiş programlar da üretilmiştir. Bunlardan biri Allegorithmic firması tarafından üretilen Substance Designer programıdır. Bir çeşit görsel programlama yöntemi olan ağ (node) tabanlı yapısıyla hemen hemen her türlü doku prosedürel olarak üretilebilmektedir.

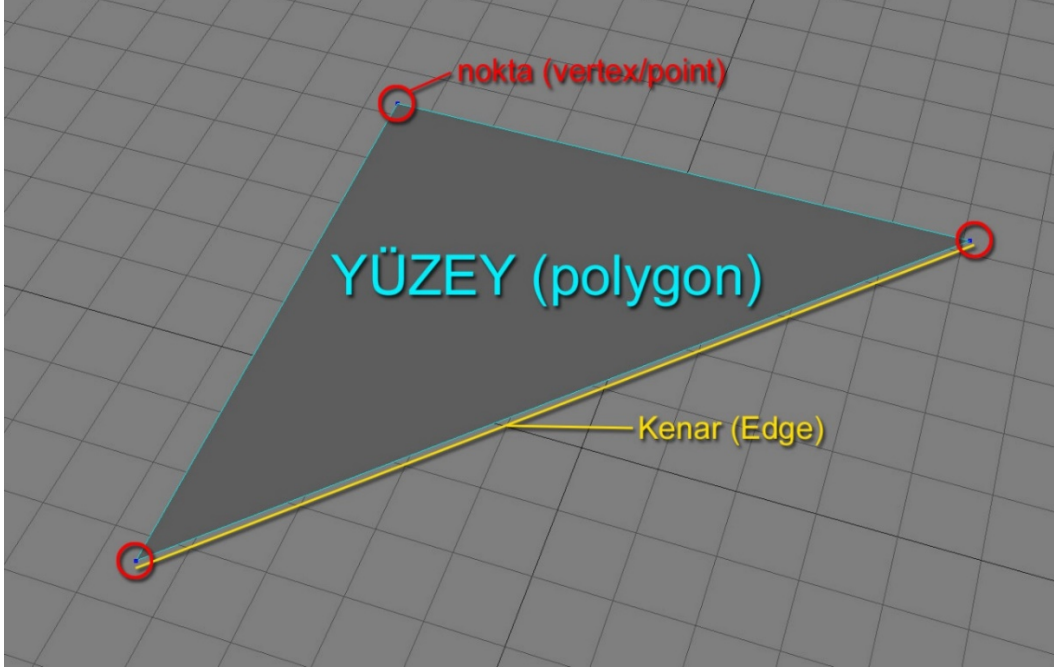
### **1.1.3.3 Prosedürel modelleme**

Prosedüralizmin bir diğer kullanım alanı da ateş, patlama gibi sınırları belli olmayan nesnelerin üretiminde kullanılan parçacık sistemlerin kontrolüdür. Bu sistemler tek bir parçacık içerebildiği gibi, birden çok parçacığa da sahip olabilir. Grafikselle olarak ekranda 2 boyutlu noktalar olarak da görünebilen parçacıklar, kendi içlerinde çok karmaşık yüzeyler, karakter animasyonları da barındırabilirler (Somasekaran, 2005, s. 1). Polygon<sup>2</sup> tabanlı nesnelerin yapısı incelendiğinde, en alt birim olarak nokta (point/vertex) denen yapı taşları görünür. Bu noktaların en az iki tanesi yan yana gelerek kenar (edge), 3 tanesi yan yana gelerek yüzeyleri (polygon) meydana getirirler (Şekil 1.11.). Parçacık simülasyonlarında noktalar ve onların birbirleriyle olan etkileşimleri söz konusu olduğundan, bu sistemleri 3 boyutlu model üretme amacıyla da kullanmak mümkün olabilmektedir. Bu

---

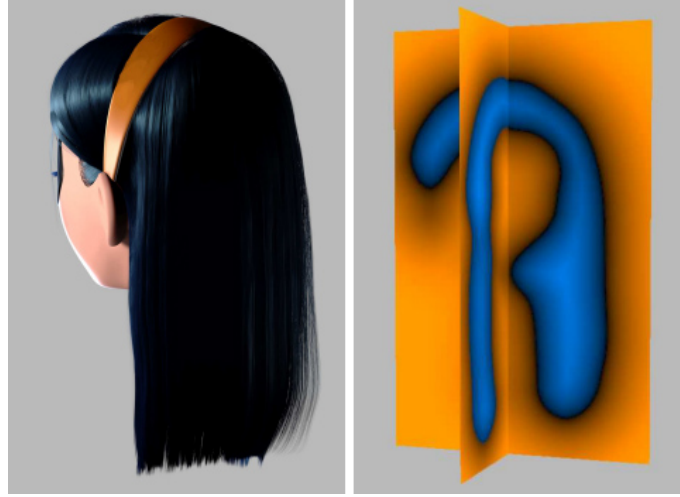
<sup>2</sup> Polygon: En az 3 noktanın bir araya gelerek oluşturdukları yüzey.

doğrultuda üretilen yüzeyler simülasyondan beslenen yapılar olduğu için, geleneksel modelleme yöntemleri ile yapılamayacak, etkileşimli, dinamik yüzeyler oluşturmak mümkün hale gelmektedir.



Şekil 1.11. Nokta, kenar, yüzey.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Günümüz bilgisayar teknolojileri, 10 yıl öncesiyle karşılaştırıldığında oldukça mesafe kat etmiş olsa da saç ve kürk simülasyonları performans konusunda hala bilgisayarları zorlamaktadır. Birbirine bağlı birçok parçacığın bir araya gelerek oluşturduğu tek bir saç teli, ortalama bir insansı karakterin 40.000 adet saç teli olduğu düşünüldüğünde, oldukça yüksek bir işlem hacmi gerektirmektedir. Buna ek olarak saçın rüzgâr, her bir saçın birbiriyle olan etkileşimi, yerçekimi gibi etmenler eklenince animasyonu yapılan sahne oldukça karışık bir hale gelebilmektedir. Özellikle uzun saç simülasyonları bilgisayar grafiğinde hala geliştirilmekte olan zor konulardan birisidir. Pixar Animasyon Stüdyoları saç animasyonu alanında yıllardır çizgi film sektörüne öncülük etmektedir. 2004 yılında yayınlanan “The Incredibles” animasyon filminde Pixar “hacimsel saç modelleme” tekniğini geliştirmiştir. Karakterin kafasına bağlanan birbirine dik iki yüzeye boyanan saç şekli özel bir yöntem (voxelization) ile hacim kazandırılmıştır. Simülasyona giren bu hacim objesi en son adımda saç tellerine dönüştürülmüştür (Petrovic, Henne, & Anderson, 2016) (Şekil 1.12.).

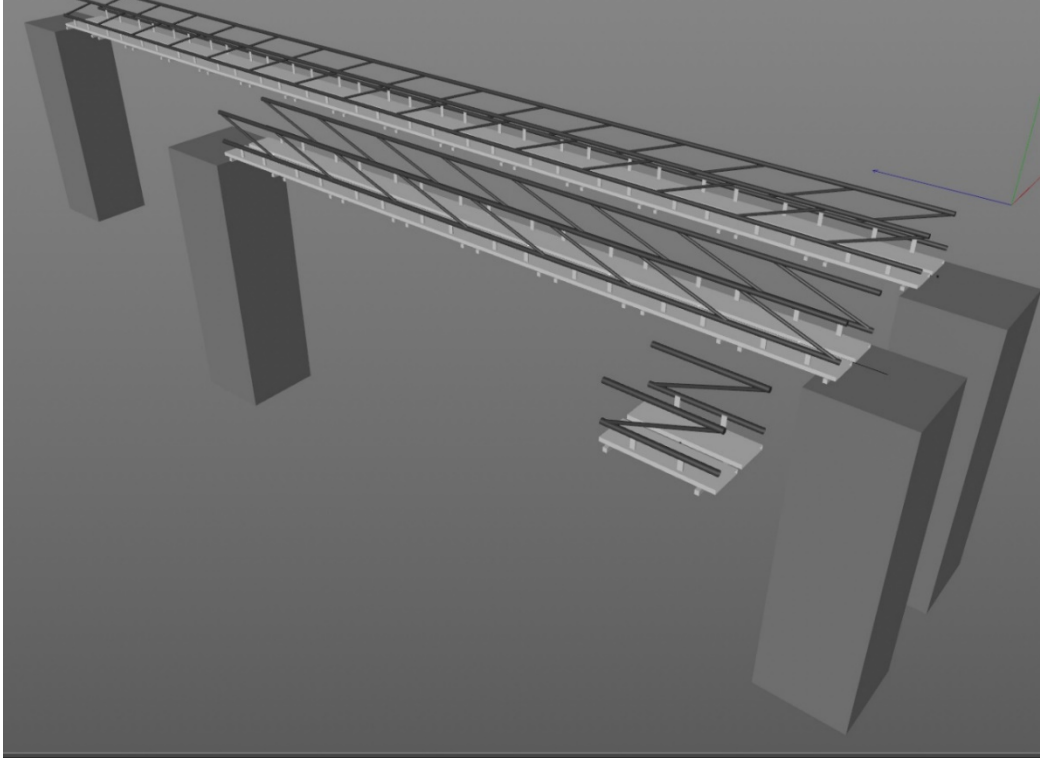


**Şekil 1.12.** Pixar Hacimsel Saç Modelleme.

**Kaynak:** 07.06.2016 tarihinde <http://graphics.pixar.com/library/Hair/paper.pdf> elektronik makalesinden alınmıştır.

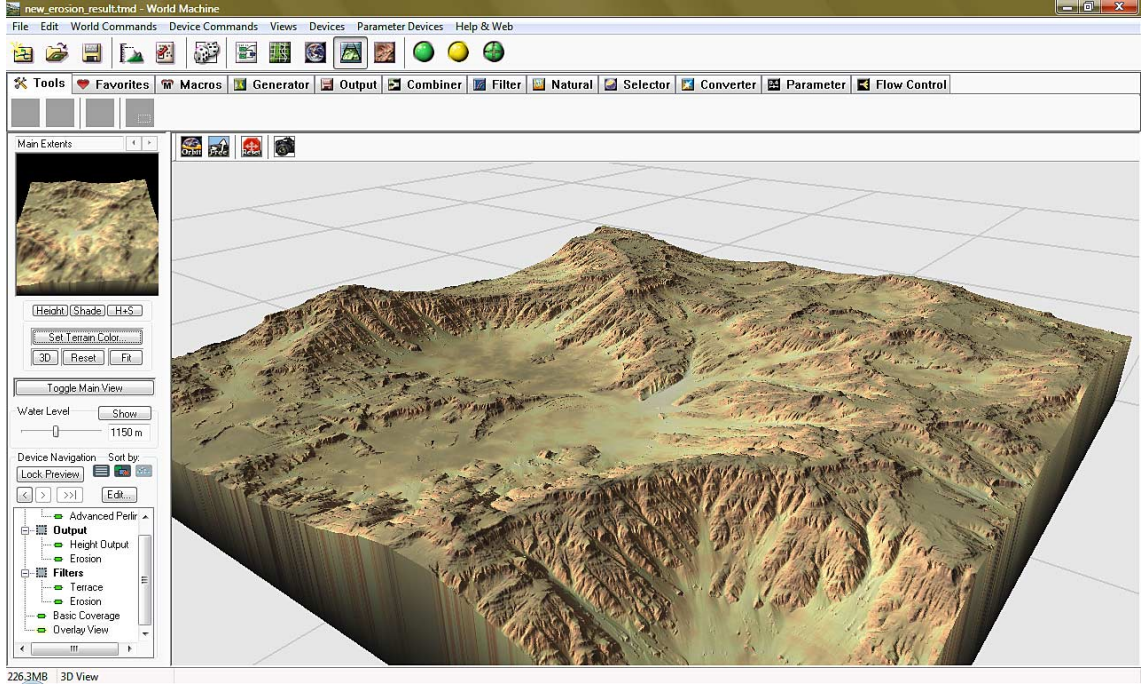
Polygon tabanlı modelleme yöntemleriyle ortaya çıkan model durağan bir yapıya sahiptir. Modeli oluşturan işlemler (extrude, bevel, cut vb.) üst üste yığılarak istenen şekle ulaşılır. Bu yöntem organik formlar (insan, hayvan vb.) için uygun bir modelleme biçimi olsa da çok parçalı modellerin üretiminde ve özellikle üretilen modelin daha sonra başka bir sahnede kullanımında bazı sorunlara neden olabilmektedir. Örneğin, polygon modelleme ile yapılmış bir köprü modeli, kullanılacağı yere göre modellenmek zorundadır. Üzerine kurulacak iki tepenin birbirine uzaklığı, bu uzaklığa göre köprünün üstüne gerilecek köprü taşıma halatları, köprü üzerindeki aydınlatma elemanlarının konumları gibi değişkenler modellemeye başlamadan önce hesaplanarak, bu doğrultuda model oluşturulur. Aynı model daha farklı aralıklı iki tepe üzerinde kullanılmaya çalışılırsa, modele fiziksel (kesme, silme, boyutuyla oynama, sündürme vb.) olarak müdahale edilmesi gerekebilir. Hatta bazı durumlarda yapılan bu müdahaleler, modelin kullanılamaz hale gelmesine neden olarak, modelin mevcut duruma göre tekrar üretilmesini gerektirebilir. Prosedürel modellemede ise, modelin genelinden çok en küçük birim tekrarı yapan kısmı ile uğraşılır. Bu birim, kullanılan program içerisinde belirlenen prosedürlere göre istenen ölçüde tekrar edebilir, bu tekrar sırasında yine belirlenen prosedürlere göre boyut ve/veya şekil değiştirebilir. Bu nedenle prosedürel modelleme yöntemleriyle üretilmiş bir model, birçok sahnede uyumlu bir şekilde kullanılabilir. Modelin genelinde bir değişiklik yapılması gerektiğinde, sadece en

küçük yapı taşı üzerinde yapılan değişiklik, modelin tümüne yansır. Böylece kullanıcı ufak değişikliklerle çok farklı görünen modelleri kısa sürede üretebilir. Şekil 1.13.'de prosedürel modelleme yöntemiyle oluşturulmuş basit bir köprü modeli görünmektedir.

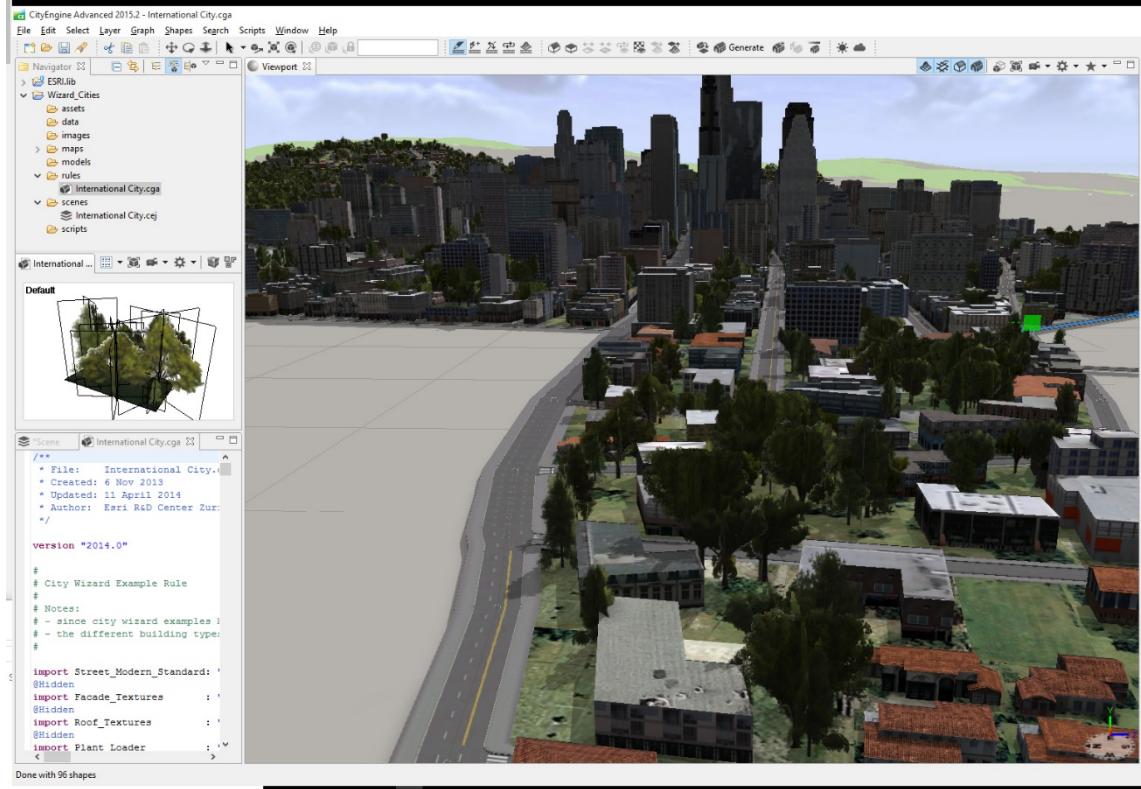


*Şekil 1.13. Prosedürel köprü modeli.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.*

Günümüzde prosedürel modelleme yöntemleri özellikle ağaç, hücre gibi birçok parçadan oluşan organik nesnelerin, mimari modellerin ve şehir gibi birçok nesneden oluşan kalabalık model topluluklarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde bahsi geçen prosedürel yöntemler, kullanılan başlıca 3 boyutlu animasyon programlarının (MAXON Cinema 4D, Autodesk 3D Max, Autodesk Maya vb.) içerisinde kendilerine yer bulmaktadırlar. Bunun yanında, yapısal olarak prosedürel yöntemler üzerine kurulmuş animasyon programları da bulunmaktadır. Bu alanda en yaygın olarak kullanılan program SideFX firması tarafından üretilen Houdini 'dir. Bunun yanında özel işler için geliştirilmiş programlar da bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Perlin noise tabanlı yeryüzü şekilleri (dağ, vadi vb.) oluşturmakta kullanılan World Machine ve şehir modelleri üretmek için kullanılan City Engine adlı program gösterilebilir.



Şekil 1.14. World Machine adlı programdan bir ekran görüntüsü.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.



Şekil 1.15. City Engine adlı programdan bir ekran görüntüsü.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

#### 1.1.4 Medikal animasyon

Medikal animasyon, belli konularda belirli bir kitleye yönelik yapılan kısa eğitici filmlerdir. Bu filmler genel olarak şu başlıkları konu alır;

- İlaç ya da medikal araçların karmaşık veya özgün mekanizmaları,
- Alışılmadık hastalıkların fizyopatolojisi,
- Medikal ürünlerin görselleştirilmesi zor yararları,
- Medikal eğitim,
- 3 Boyutlu stereoskopik<sup>3</sup> medikal animasyonlar.

Medikal animasyonlar hedef aldıkları kitleye göre farklı yapılarda olabilirler. Örnek olarak, bir deri hastalığı düşünülecek olursa, bu hastalığı, hastaya anlatmak için yapılan bir filmin, tedavi için gerekli olan ilacın uygulanan yerde hücre bazında ne gibi etkileri olacağına dair doktoru bilgilendirme amacıyla olan bir filme göre farklı bir anlatıma sahip olacaktır. Bu noktadan hareketle, medikal animasyonların hedef aldığı kitleler şöyle sıralanabilir;

- Hasta veya hasta yakınları,
- Hemşire, ilaç mümessilleri, fizyoterapist vb. gibi ara tıp elemanları,
- Eczacı ve Doktorlar.

Video paylaşım siteleri (Youtube, Vimeo vb.) üzerinde medikal animasyonlar ile ilgili araştırma yapıldığında bir çok örnek ile karşılaşılacaktır. Bu videoların genel olarak konu odaklı, estetik açıdan düşük kalitede olduğu görülmektedir.

Diğer taraftan medikal animasyon alanında uzmanlaşmış, filmleriyle hedef aldığı izleyici kitlesini bilgilendirdiği kadar, estetik anlamda üst düzey yapıtlar üreten kuruluşlar da vardır. 1992 yılında Jeff Johnson tarafından kurulan Hybrid Medical Animation bu alanda başarılı yapıtlar üreten kuruluşlardan biridir. Ayrıca Random42, 3FX Medical Animation, Ghost Productions, Polygon Medical Animation, XVIVO Scientific Animation, AXS Studio gibi kuruluşlar medikal animasyon alanında başarılı işler üretmektedirler.

---

<sup>3</sup> Stereoskopik: Özel bir gözlük ile, izleyiciye izlediği filmin içindeki nesnelere derinlik hissi ile göstermeye yarayan, görüntüleme tekniği.

#### **1.1.4.1 Medikal animasyonun ortaya çıkışı ve gelişimi**

Bilgisayar teknolojilerinin animasyon alanında kullanılmaya başlanmasıyla medikal alanda da animasyon örnekleri görülmeye başlanmıştır. Bilgisayarlı medikal animasyon teriminin ilk defa kullanımı, 1975 tarihli Science dergisinde yayınlanan Texas A&M Üniversitesi Kimya, Biyokimya ve Biyofizik Departmanında çalışan bir gurup araştırmacının ürettiği “Karmaşık Makromoleküllerin Görselleştirilmesi” adlı çalışmada olmuştur (Collins, Cotton, Hazen, Meyer, & Morimoto, 1975). Daha sonrasında iyice büyüyen medikal animasyon sektörü, bu alanda verilen eğitimin farklı bir yöntemi haline gelmiştir.

Bugün ise gelişen teknoloji ile 3 Boyutlu modelleme ve 3 Boyutlu çıktı teknolojileri bu çalışmaları bir adım daha ileri taşımıştır. “[...] 1970’ler ve 1980’lerin başında (mikro işlemciler gibi) teknolojik gelişmeler ve (pürüzlü yüzey üretimi – bump mapping) 3 Boyutlu çıktılarının gerçekçiliğini arttıracak tekniklerde ilerlemeler yaşanmıştır. George Lucas gibi film yapımcıları, fantastik filmlerinde 3 Boyutlu çıktı ürünü malzemeler kullanmaya başlamış ve çekilmesi mümkün olmayan sahneleri mümkün hale getirmiştir. 1980’lerin başında ilk Silicon Graphics Workstation donanımının piyasaya sürülmesi ile donanım alanında da büyük gelişmeler yaşanmıştır. 1990’larda 3 Boyutlu yazılım daha da güçlenmiş ve Windows, Macintosh ve Amiga cihazlarında çalışabilecek daha ucuz sürümleri üretilmiştir. 3D Studio Max gibi yazılımlar, programcı olmayan kişilerin bile rahatlıkla erişebileceği hale gelerek modelleme ve animasyon süreçlerini kısmen otomatikleştirir. Fiyatlardaki görece düşüş ve kullanım kolaylığındaki artış, 3 Boyutlu bilgisayar grafiklerinin kullanım alanını genişletir ve tıp eğitimine giriş yapmasını mümkün kılar.” (Vernon & Peckham, 2002, s. 143). Tıp eğitiminde bu tür sanal model kullanımı üretimi pahalı olmakla birlikte anatomik modellere göre daha dayanıklı olması, kolay paylaşılması ve elektronik olarak ucuz ve kolay yayılması bakımından önemlidir. Sanal modeller sayesinde öğrenciler hastaları tehlikeye atmadan bilgisayar ortamında cerrahi müdahale deneyimi kazanmaktadır. Ayrıca 3 Boyutlu modelleme ve animasyon filmler gerçekte filme alınması mümkün olmayan sahnelerin görselleştirilmesini de mümkün kılmaktadır (Vernon & Peckham, 2002, s. 147).

Hareketli medikal filmler ve animasyonların kullanımı ise; “ 1920’lerde Amerikan Cerrahlar Koleji (ASC) ile Eastman Kodak’ın işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. ASC hareketli medikal filmleri cerrahi eğitimin merkezine koymuştur. Bu filmler başka türlü görselleştirilmesi ya da çekilmesi mümkün olmayan ardışık cerrahi görüntüleri bolca animasyon kullanarak bir araya getirmiştir. Böylece bir eğitim aracı olarak benimsenmiş ve hekim-film yapımcıları tarafsız bilimsel gerçeklikleri sanatsal temsillerle yeniden ifade etmişlerdir.” (Ostherr, 2012, s. 352). İki şirketin ortaklığı süresince 1926-1929 yılları arasında tıp biliminin teknik fotoğraf becerileriyle bulunduğu 15 film çekilmiştir. Filmleri tanıtmak için hazırlanan broşürlerde medikal filmlerin eğitime kattığı değerler vurgulanırken, filmlerin üretim aşamasında doktorların yapımdan post prodüksiyona kadar her aşamada yer aldıkları belirtilmiştir. Kimi tamamen animasyon, kimisi de animasyonla hareketlendirilmiş görüntü dizileri için bu filmlerin tanıtım broşürlerinde sıklıkla yer verilen “Doğal ve Zor Animasyonlar” ifadesi vardır. Bu ifade daha sonra filmlerde de yer almıştır (Ostherr, 2012, s. 352-353). ACS ve Eastman ortaklığında yapılan filmlerin her biri için birtakım tanıtıcı malzemeler hazırlanmıştır ve bu malzemelerin her birinde yer alan görüntülere türlerini anlatan tanımlayıcı ifadeler eklenmiştir. “Bu ifadeler üzerinde oynama yapılmamış fotoğrafik görüntüler içeriyorsa “gerçek fotoğraf”, “gerçek Motion Picture” ve “doğrudan fotoğraflama”; mikroskop üzerinden alınan görüntüler içeriyorsa “fotomikrografi” ve “mikrosinema”; elle çizilen görseller içeriyorsa da “canlandırılmış (animated) çizimler” ya da “animasyonlar” olarak sınıflandırılmıştır. Bunun yapılmasındaki amaç görsellerin taşıdığı değeri bir hiyerarşiye oturtmak değil, filmlerde uygulanan medikal görselleştirmenin ne kadar yenilikçi formlar içerdiğini vurgulamaktır. [...] Nasıl ki x-ray gibi geleneksel görüntüleme teknikleriyle çıplak gözle görülmeyen iç organ patolojileri görünür kılınıyorsa, filmlerde kullanılan animasyonla da yaşayan bedenlerin içyapıları görsel hale getirilmektedir.” (Ostherr, 2012, s. 355). Eastman ve ACS ortaklığındaki filmlerde her ne kadar görüntülerin türleri üzerlerinde belirtilse de zaman zaman geçişler arasındaki çizgiler belirsizleştirilmiş ve fotoğrafla animasyon geçişleri o kadar ustaca yapılmış ki izleyiciler görüntüyü gerçekten bir doktorun gözünden izliyor etkisi yaratılmıştır (Ostherr, 2012, s. 356). Bugün ise animasyon teknolojisinde 3

boyutlu bilgisayar teknolojileri, 4D sinema sistemleri ve benzeri gelişmelerle ayrıntılı görüntüler oluşturma olanakları giderek artmış ve kolaylaşmıştır.<sup>4</sup>

#### **1.1.4.2 Medikal animasyonun kullanım alanları**

Günümüzde medikal animasyon birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlardan en yaygınlarından birisi sağlık hizmeti müşterisi konumunda olan kişilerin eğitimine yönelik çalışmalardır. Gelişen teknoloji ve internet sayesinde tüketici sınıfını oluşturan insanların, satın alacakları hizmetin içeriğine erişmeleri internet sayesinde mümkün olmaktadır. İnternet üzerinde özellikle estetik cerrahi alanında yapılan ameliyatların, dışarıdan vücuda verilen kozmetik kimyasalların etki mekanizmaları gibi hastayı bilgilendirme amaçlı medikal animasyonlara da sıklıkla rastlanmaktadır. Yapılan araştırmalarda, bu tarz hedef kitlesi hasta ve hasta yakınlarına yönelik olan animasyonların yapılan cerrahi müdahale sonrası memnuniyeti attırdığı görülmüştür (See, ve diğerleri, 2011, s. 241).

Tıp alanında çalışan kişiler yüzyıllardır çeşitli nedenlerden ötürü kadavra gibi üzerinde pratik yapacakları fiziksel modellere ulaşmada zorlanmışlardır. Rönesans ile bu koşullar biraz daha olumlu yönde iyileşmiş olsa da günümüzde bu alanda eğitim alan kişi sayısına göre oranlandığında kadavra sayısının yetersiz olduğu görülmektedir (Hürriyet Haber, 2016). Son yıllarda ortaya çıkan oyun teknolojileri ve Oculus Rift gibi sanal gerçeklik görüntüleme aygıtları ve kontrol cihazları ile bilgisayar animasyonunun birleşmesinden doğan simülasyon yazılımları sayesinde, tıp eğitiminde eksik kalan kadavra üzerinden eğitim yapılması süreci bilgisayar ortamına kaydırılarak, bu alandaki eksik doldurulmaya çalışılmaktadır. Günümüzde insan vücudu bilgisayarlı görüntüleme araçlarıyla milimetrik kesitler halinde taranarak, bilgisayar ortamına 3 boyutlu model olarak aktarılabilen ve alanında uzman kişiler tarafından incelenerek teşhis koyulabilmektedir.

Medikal animasyonlar insan vücudunda meydana gelen çok sayıda mikroskobik süreçlerin görselleştirilmesinde de kullanılmaktadır. Bu süreç hücreler arası organellerin etkileşimi, DNA transkripsiyon, enzimlerin moleküler eylemleri,

---

<sup>4</sup> Araştırmanın bu kısmı Ocak 2016'da proje yöneticisi Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Taş Alicenap ve araştırmacı Arş. Gör. Emin Bakan tarafından tamamlanan, 1409E392 proje numaralı "Medikal Animasyon Üretim Süreci Kapsamında 'BOTOKS' Uygulaması Örneği" adlı BAP projesinden özetlenmiştir.

patojenler ve beyaz kan hücreleri arasındaki etkileşim ya da her türlü hücre sel veya hücre içi etkileşimleri konu alabilir. Normal şartlarda neredeyse ışık hızında gerçekleşen bu eylemler izleyici tarafından daha iyi algılanabilmesi için geniş bir zamana yayılabilir.

Medikal animasyonlar, eczacılık sektöründe de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin bir hastalığa karşı geliştirilmiş ilacın, mikroskobik düzeyde etki mekanizmaları medikal animasyon ile gösterilebilir. İlaç şirketleri günümüzde medikal animasyon pazarının en büyük müşterileri haline gelmişlerdir.

## 1.2 Amaç

Bu araştırmanın amacı medikal animasyon alanında prosedürel animasyon yöntemlerini kullanarak, bir eğitim filmi gerçekleştirmektir.

Bu eğitim filmi ile beyin hücrelerinin birbirleri arasındaki sinyal alış-veriş mekanizması ve bir uyarıcı (alkol, nikotin vb.) etkisinde genel olarak bu mekanizmanın nasıl bozulduğunun görselleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçla;

- Beyin hücrelerinin birbirleri arasındaki sinyal alış-veriş mekanizması, mikroskobik düzeyde ayrıntılı dokularla birlikte hareketli bir biçimde nasıl modelleneyecektir?
- Beyin hücrelerinin rastlantısal bir biçimde dallanan yapısı hangi modelleme yöntemiyle gerçekleştirilecektir?
- Bu eğitim filminde kullanılan modellerin renk ve dokuları, izleyici tarafından kolaylıkla anlaşılabilir bir biçimde hangi prosedürel araçlarla oluşturulacaktır?

## 1.3 Önem

Bu araştırma, ülkemizde üzerinde yeterince çalışılmamış bir alan olan medikal animasyon üretimine yönelik ilginin arttırılması ve bir örnek oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Özellikle ülkemizde medikal animasyonun gelişmesinin ve yaygınlaşmasının, bu konuda yapılacak akademik ve bilimsel çalışmalarla mümkün olabileceği ve bu çalışmanın medikal animasyon sanatçıları

ile sağlık alanında görev yapan hekim ve teknisyenlere görsel bir kaynak olarak katkıda bulunabileceği düşünülmüştür.

Böylelikle hem animasyon hem sağlık alanında çalışanlar, bilgisayar animasyon üretim sürecine katılarak, rastlantısal üretim süreçleri ile birlikte disiplinler arası yaratıcı yaklaşımlar sunabilecektir.

## 2. YÖNTEM

Bu araştırmada yöntem olarak tarama modeli kullanılacaktır. Karasar'a göre "Tarama modeli geçmişte ya da halen var olan bir durumu var olduğu şekliyle betimlemeyi amaçlayan araştırma yaklaşımlarını içerir. Araştırmaya konu olan bu olay, birey ya da nesne kendi koşulları içinde ve olduğu gibi tanımlanmaya çalışılır." (Karasar, 2011:77).

Bu araştırmada medikal animasyon, rastlantısallık ve prosedüralizm konusunda geçmişten günümüze üretilmiş önemli bilgi, tanım, fikirsel açılımlar ve örneklemeler, tarihsel kronolojik sıralarına uyularak "Ne idi", "Nedir" "Ne ile ilgilidir", ve "Nelerden oluşmaktadır" gibi tarama modeline özgü sorulara yanıt aranmıştır.

Medikal animasyon, rastlantısallık ve prosedüralizm konusunda derlenecek bilgiler doğrultusunda bu araştırmanın uygulama filmi için gerekli olan modeller ve hareketlendirme süreçleri prosedürel yöntemler ile oluşturulacaktır. Bu filmin üretim süreci, rastlantısal sonuçlar üretmek amaçıyla çeşitli prosedürel araçların kullanımına olanak sağlayan 3 Boyutlu animasyon programlarını kapsayacaktır.

Bu araştırmanın uygulama filmi, MAXON Cinema 4D 17 Studio, Insydium LTD. X-Particle 3.5 (Cinema 4D eklentisi), Grayscalegorilla Signal 1.0 (Cinema 4D eklentisi), Pixologic ZBrush 4.7, Adobe Photoshop CC 2015, Adobe After Effects CC 2015 ve Adobe Audition CC 2015 programları ile yapılacaktır.

Bu araştırmada mikroskobik düzeydeki organik dokuların karmaşık yapılarının geleneksel 3 Boyutlu modelleme yöntemleriyle üretilmesinin oldukça zor olduğu dşnlmştir. Bu bağlamda MAXON Cinema 4D yazılımı, içinde bulundurduğu birçok prosedürel fraktal noise dokuları ve bu dokuları diğer programlara

(Autodesk Maya, Autodesk 3D MAX vb.) göre görece daha hızlı bir şekilde render<sup>5</sup> edebilmesi özelliği nedeni ile tercih edilmiştir. Ayrıca doku üretmek için kullanılan bu fraktal noiseler, organik kamera hareketi, çoklu nesnelerin rastlantısal hareketi gibi animasyon üretim süreçlerinde de görüntü estetiğine katkıda bulunmaktadır. Bunun yanında MAXON Cinema 4D Studio yazılımının sunduğu olanaklar aracılığıyla render süresi birden çok bilgisayara bölünerek düşürülmesi amaçlanmıştır.

### **3. BULGULAR VE YORUM**

#### **3.1 Medikal Animasyon Uygulaması Örneği**

Bu eğitim filmi, beyin hücrelerinin birbirleri arasındaki sinyal alış-veriş mekanizması ve bir uyarıcı (alkol, nikotin vb.) etkisinde bu mekanizmanın nasıl bozulduğunu görselleştirmeyi amaçlamaktadır.

Amerikan Sağlık Enstitüsü (National Institutes of Health) web sitesinde, beyin hücresinin (neuron) yapısı ve çalışma mekanizması şu şekilde açıklanmaktadır; Beyin hücreleri dört bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; hücrenin yaşamsal yapıtaşlarını içeren soma, soma etrafında bulunan ve gelen sinyalleri alan dendritler, somadan gelen sinyallerin iletiminden sorumlu terminal butonlar ve terminal butonlarla somayı birbirine bağlayan aksondur. Terminal butonlar ve dendritler birbirleriyle sinaptik bağları oluşturarak sinyal iletimini sağlarlar. Yetişkin bir bireyin beyininde yaklaşık olarak 1 trilyon beyin hücresi bulunur. Bu hücrelerin birbiriyle olan iletişimi ile düşünme, hareket etme, denge kurma, hissetme gibi olgular gerçekleştirilir.

Beyin hücreleri arasında sinaptik bağlardan söz edilse de, sinir hücreleri birbirlerine temas etmezler, bunun yerine sinaptik aralık denen bölgede kimyasal yolla iletişime geçerler. Bu iletişimin normal işleyişi şu şekilde gerçekleşmektedir: Beyin hücresinin uyarılması sonucu, soma bölgesinde bulunan mitokondride üretilen elektrik sinyali, akson boyunca iletilerek akson terminallerine ulaşır. Akson terminalinin en ucunda bulunan akson ucuna kadar gelen bu sinyal, yine bu bölgede bulunan vezikül olarak isimlendirilen ve içinde hormonlar bulunan kesecikleri harekete geçirir ve veziküller bu bölgenin dışına doğru itilirler. Sonrasında akson

---

<sup>5</sup> Render: Bilgisayar ortamında oluşturulmuş sahnelerin işlenerek görüntülenmesine verilen addır.

uclarının dış zarı ile kaynaşan veziküller içerisindeki hormonları sinaptik aralığa salarlar. Sinaptik aralıkta gezinen bu kimyasallar, diğer beyin hücresinin dendrit alıcılarına ulaşarak sinyalin iletimini sağlamış olurlar. Sinyal iletimini gerçekleştiren bu hormonlar geldikleri akson ucunun kenarlarında bulunan geri dönüş kanalları vasıtasıyla ulaşır ve bu esnada vezikül içine alınarak turlarını tamamlamış olurlar (National Institutes of Health, 2016).

Bu sinyal iletim mekanizması, çeşitli uyarıcılar etkisiyle farklı şekillerde çalışabilir. Bu araştırma filminin ikinci bölümünde uyarıcılarının sinyal iletim mekanizmasının normal işleyişini genel olarak nasıl etkilediği konu alınmıştır.<sup>6</sup>

Araştırmanın uygulama filmi, prosedürel yöntemlerin yoğun olarak kullanımıyla oluşturulduğu için modelleme, animasyon ve doku kaplama işlemleri bir arada geliştirilmesi gerekmiştir. Örneğin, bir modeli oluşturmak için kullanılan araçlar, animasyon esnasında da kullanılabilir. Bu nedenle, araştırmanın bu kısmında izlenen süreçler bir arada anlatılmıştır.

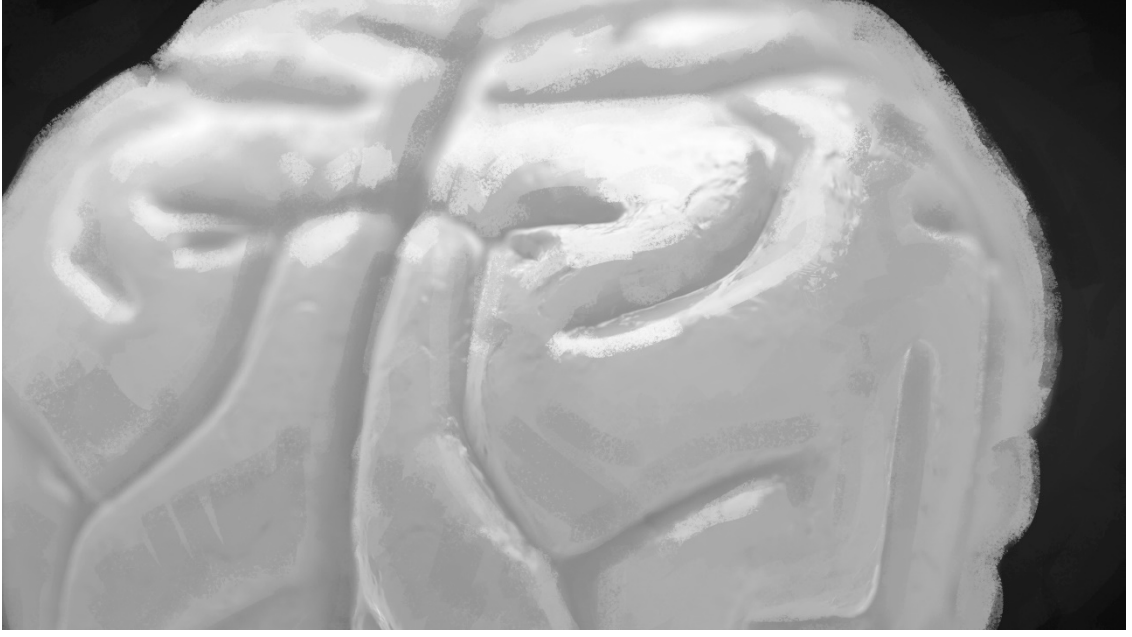
### 3.1.1 Storyboard

Araştırma filmi üzerinde çalışmaya başlamadan önce filmin storyboard'ı Doç. Dr. Sinem Ilgın'ın danışmanlığında oluşturulmuştur.

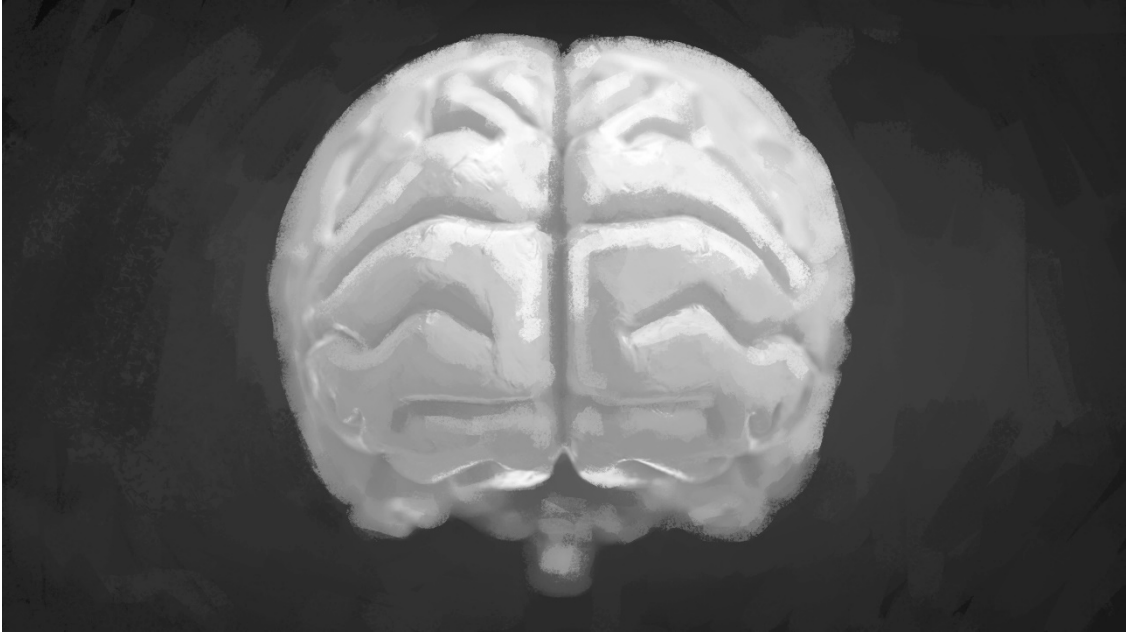


*Şekil 3.1. Storyboard 1. Kare : Beyin modeli görülür.*

<sup>6</sup> Araştırmanın bu aşamasında özellikle bir uyarıcı (alkol, nikotin vb.) etkisinde bu mekanizmanın nasıl bozulduğuna ilişkin bilgileri almak amacı ile Anadolu Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Farmasotik Toksikoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi Doç.Dr. Sinem Ilgın'dan bilgi alınmıştır.



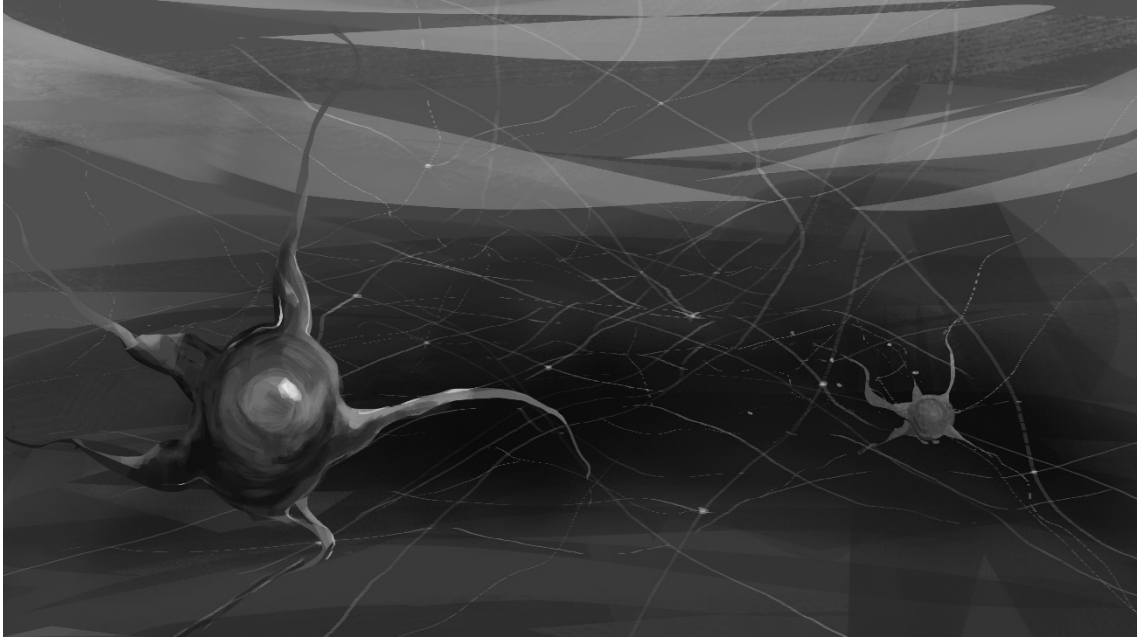
*Şekil 3.2. Storyboard 2. Kare : Kamera beyin modelinin etrafında döner.*



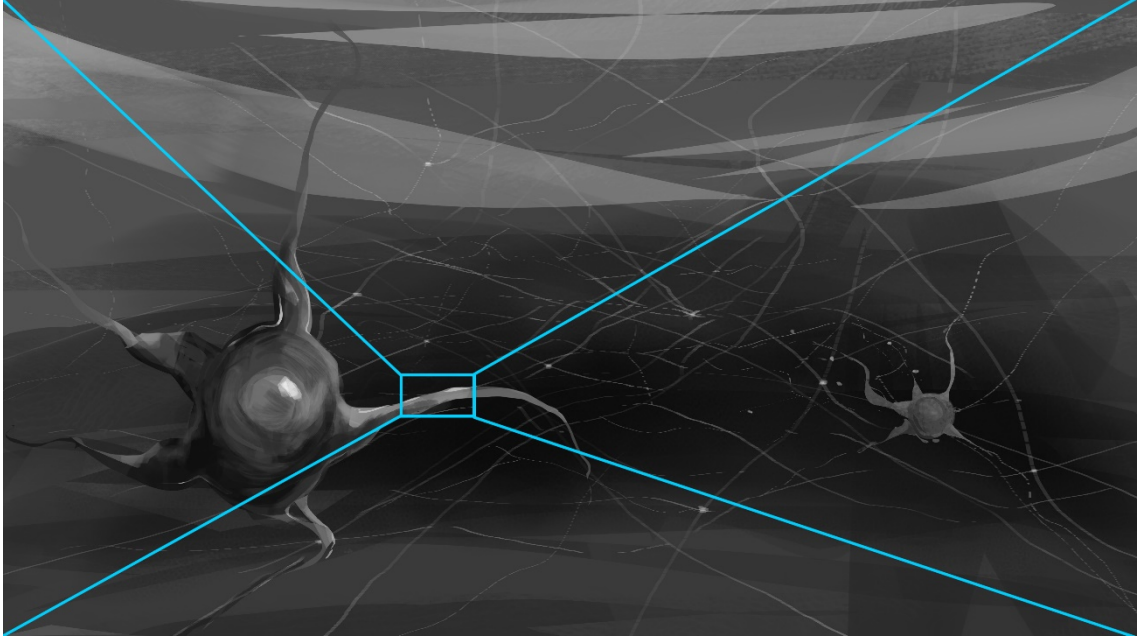
*Şekil 3.3. Storyboard 3. Kare : Beyin modeli karşıdan görünür.*



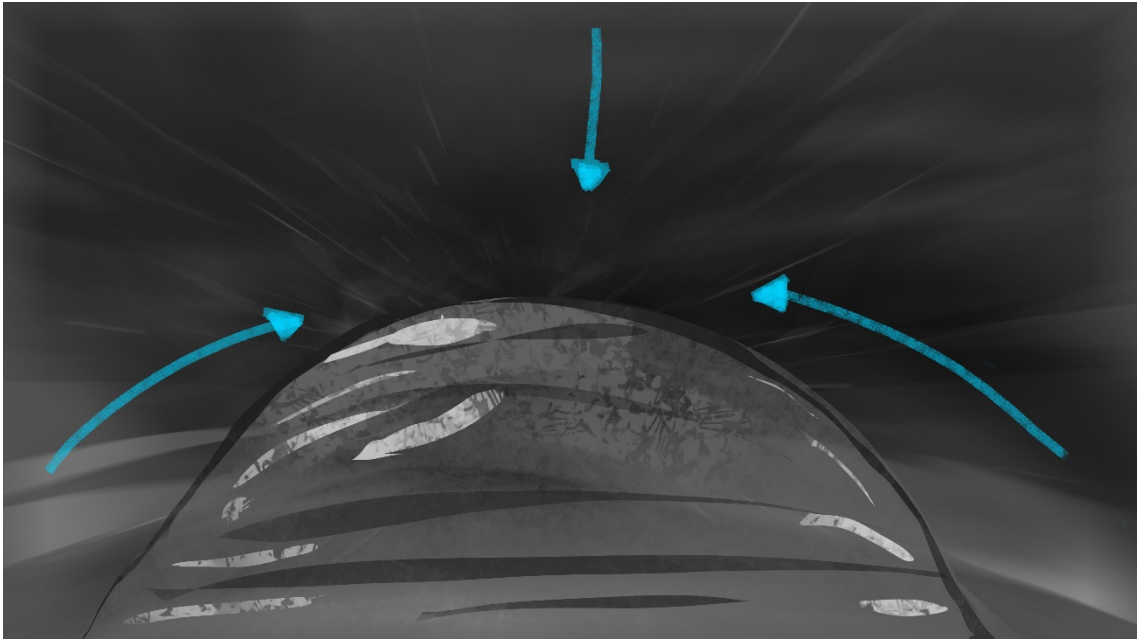
*Şekil 3.4. Storyboard 4. Kare : Beyin modeline hızla yaklaşılr.*



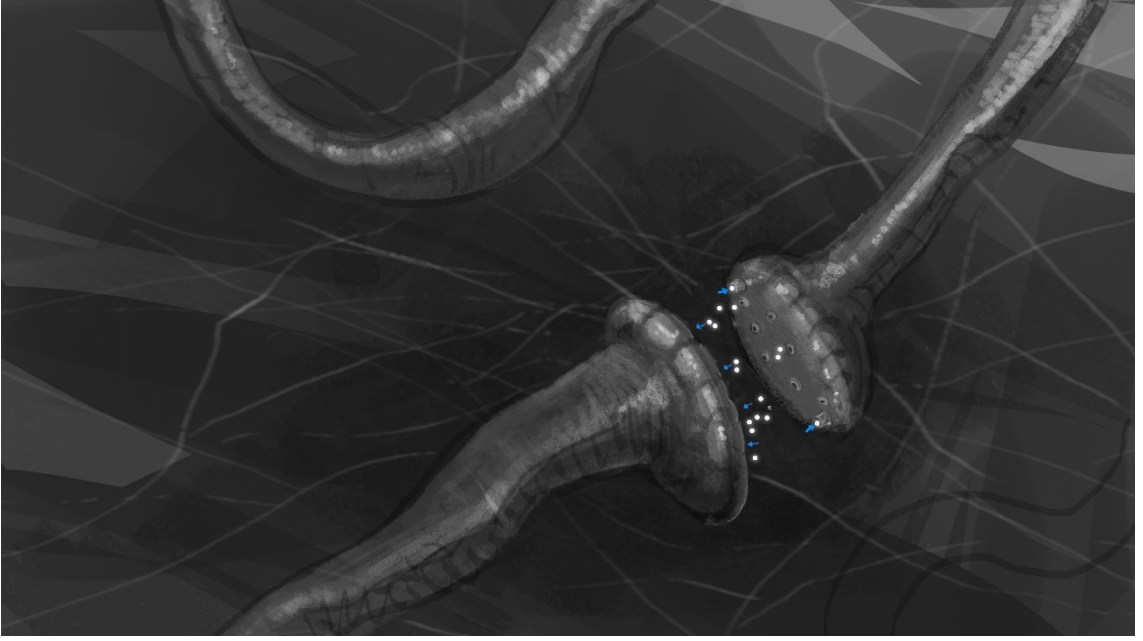
*Şekil 3.5. Storyboard 5. Kare : Beyin hücresi görünür.*



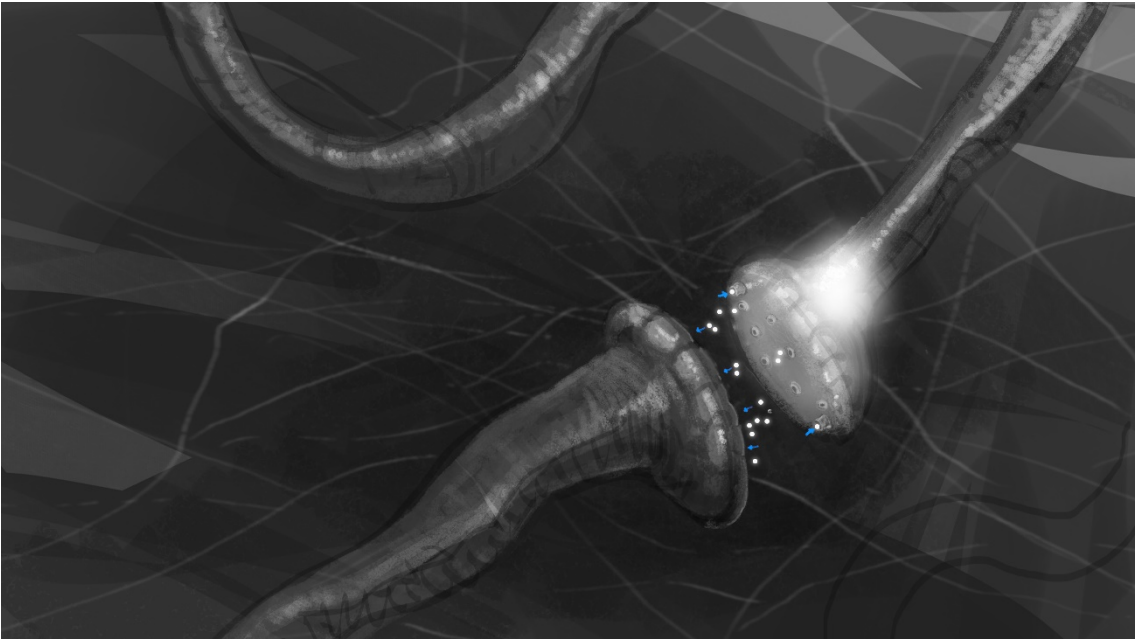
*Şekil 3.6. Storyboard 6. Kare : Beyin hücresinin akson kısmına yaklaşılr.*



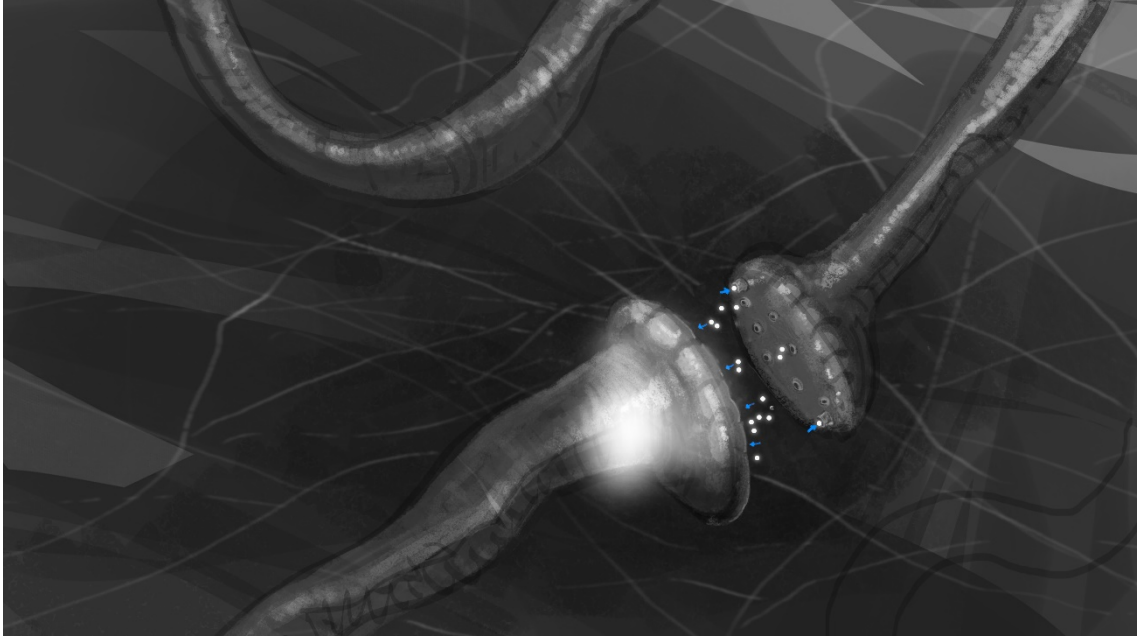
*Şekil 3.7. Storyboard 7. Kare : Kamera akson üzerinde, akson ucuna doğru hareket eder.*



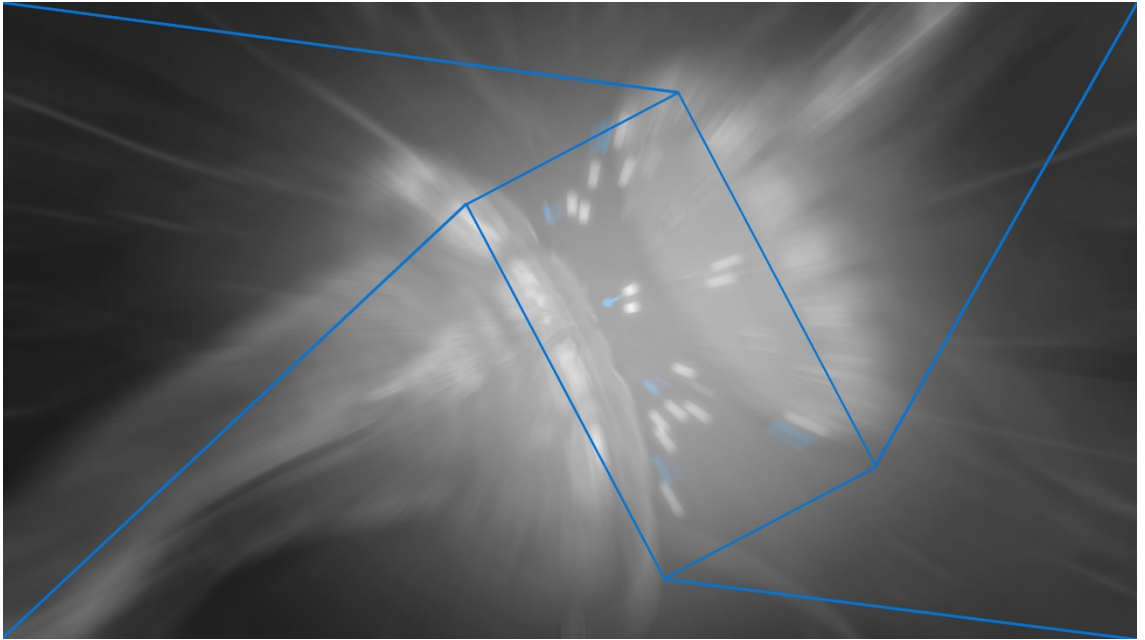
*Şekil 3.8. Storyboard 8. Kare : Akson ucu ve dendrit görünür.*



*Şekil 3.9. Storyboard 9. Kare : Akson ucuna gelen elektrik sinyali görünür.*



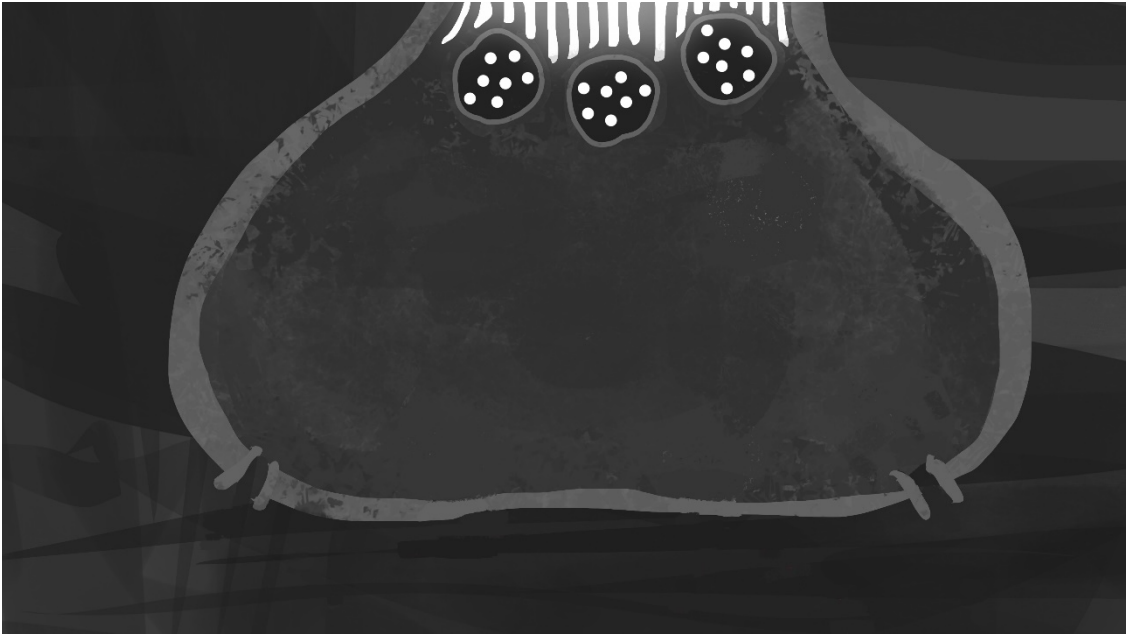
Şekil 3.10. Storyboard 10. Kare : Akson ucundan çıkarak dendrit ucuna gelen elektrik sinyali görünür.



Şekil 3.11. Storyboard 11. Kare : Sinyal iletimi yapılan aralığa hızlı yaklaşılır.



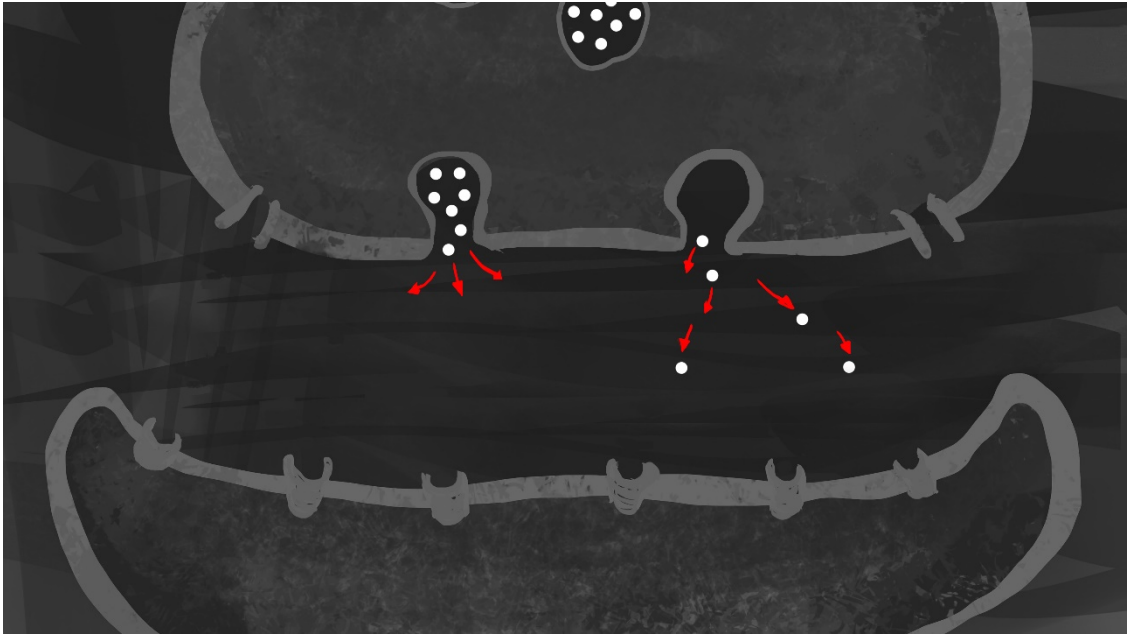
Şekil 3.12. Storyboard 12. Kare : Akson ucu kesit olarak görünür.



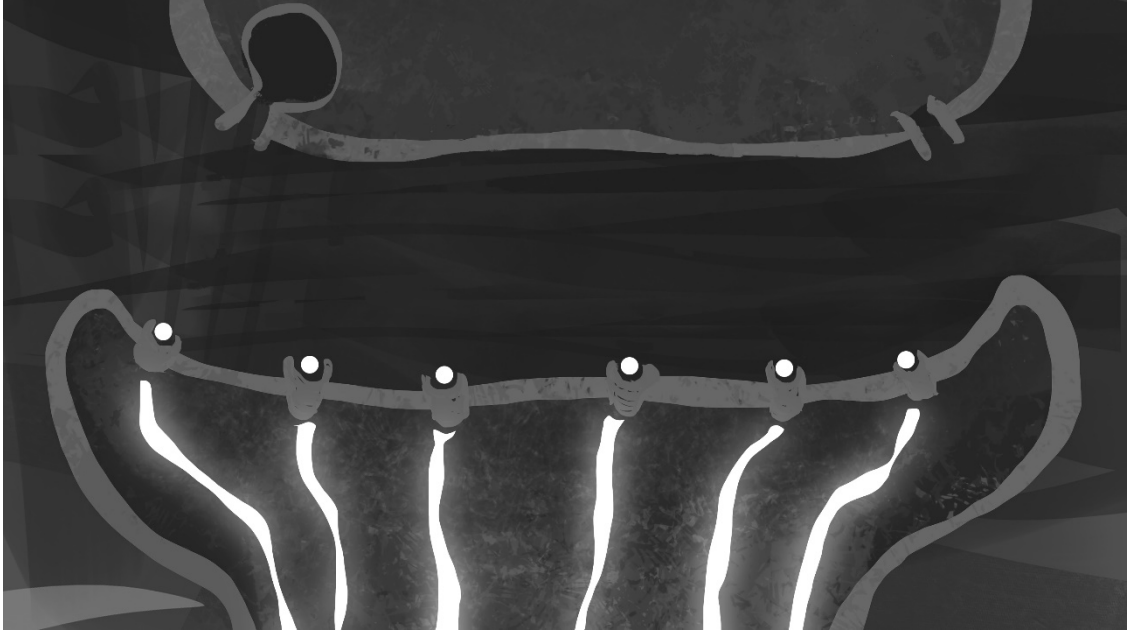
Şekil 3.13. Storyboard 13. Kare : Akson ucu kesitindeki veziküller ve elektrik sinyalleri görünür.



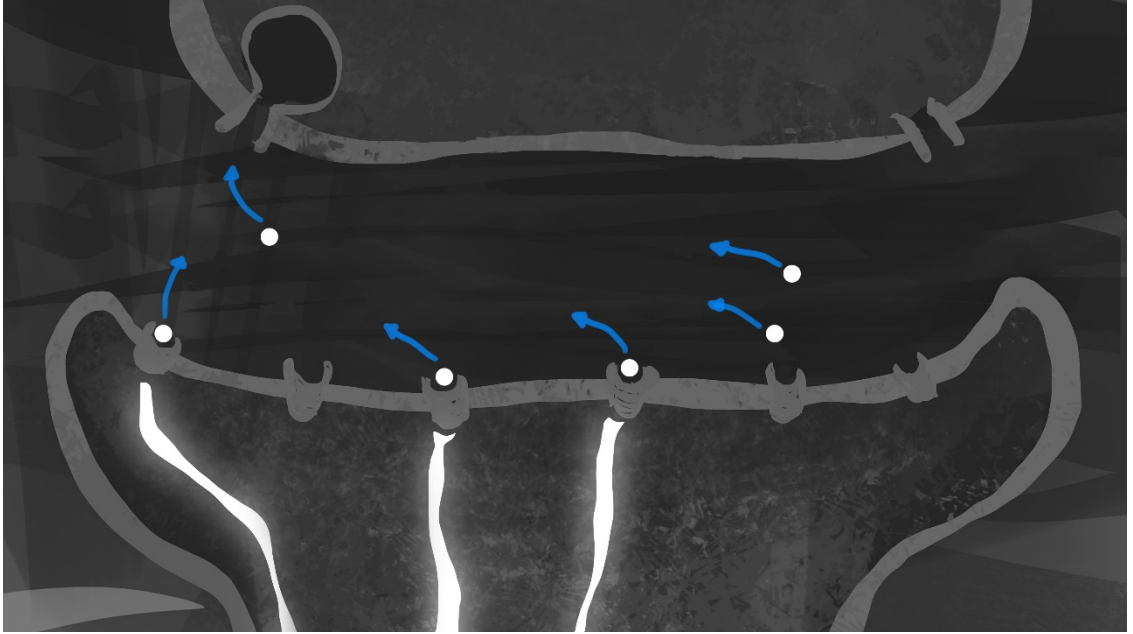
Şekil 3.14. Storyboard 14. Kare : Elektrik sinyallerinin vezikülleri ittiği görünür.



Şekil 3.15. Kare : Hormon keseciklerinin akson ucunun alt kısmı ile kaynaştığı ve veziküllerin içindeki hormonların dışarıya çıktığı görünür.



Şekil 3.16. Storyboard 16. Kare : Hormonların dendrit ucundaki kanallara yapıştığı ve elektrik sinyalinin iletildiği görünür.



Şekil 3.17. Storyboard 17. Kare : Hormonların dendrit ucundaki alıcılardan kurtularak akson ucundaki geri dönüş kanalına yöneldiği görünür.



Şekil 3.18. Storyboard 18. Kare : Hormonların akson ucundaki geri dönüş kanalına bağlı veziküle döndüğü görünür.



Şekil 3.19. Storyboard 19. Kare : Vezikülün akson ucu geri dönüş kanalından ayrıldığı görünür.



**Şekil 3.20.** Storyboard 20. Kare : Beyin modeli yeşil bir dumanın içinde görünür.



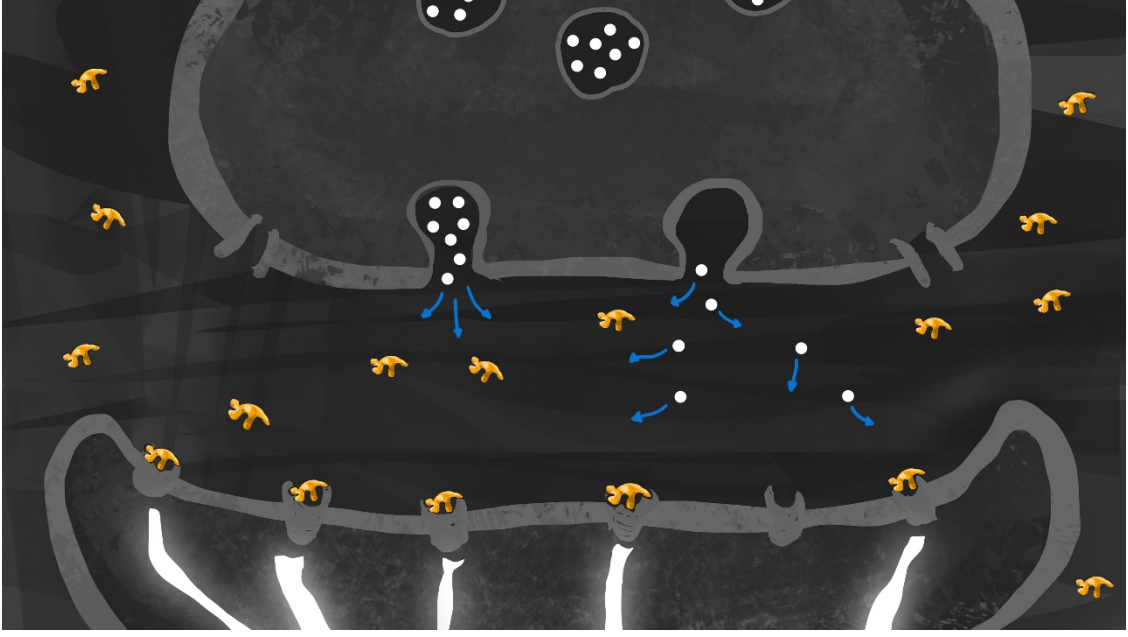
**Şekil 3.21.** Storyboard 21. Kare : Beyin modeline hızlı yaklaşılır.



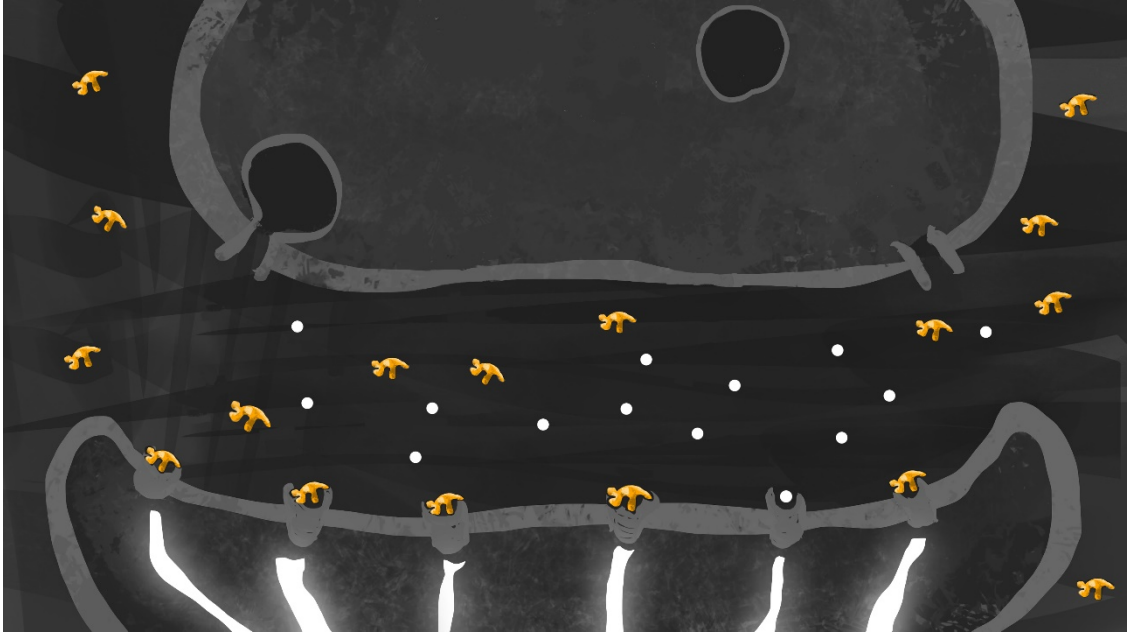
Şekil 3.22. Storyboard 22. Kare : Akson ucu etrafındaki uyarıcı moleküllerle birlikte görünür.



Şekil 3.23. Storyboard 23. Kare : Elektrik sinyallerinin vezikülleri ittiği görünür. Bu esnada uyarıcı molekülleri akson ucunun etrafında görünmeye devam etmektedirler.



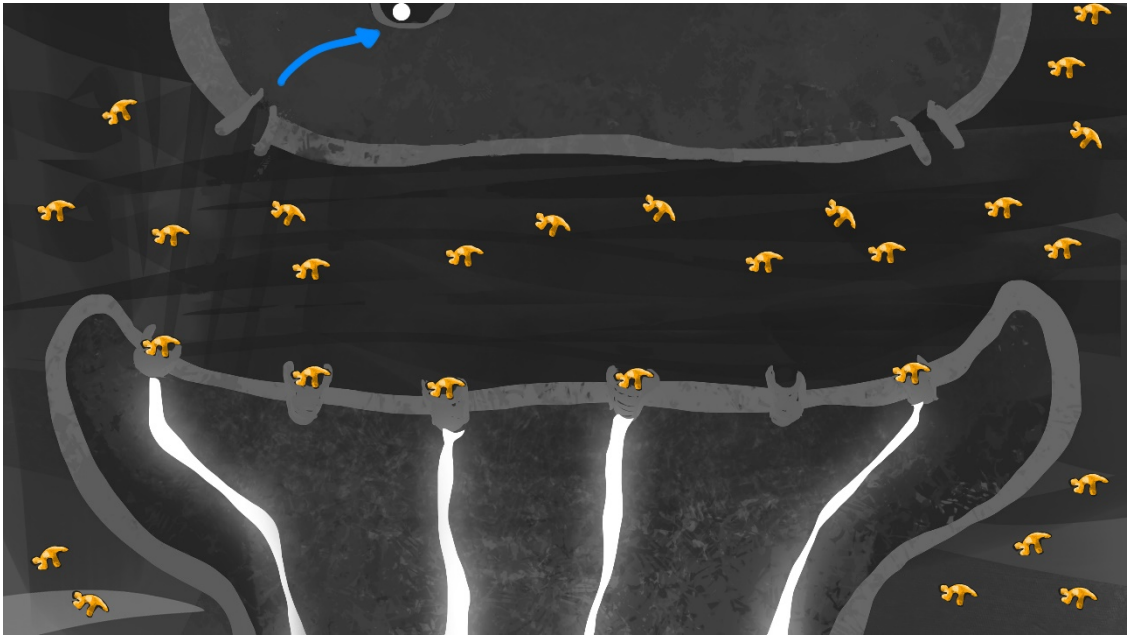
Şekil 3.24. Storyboard 24. Kare : Veziküllerin akson ucunun alt kısmı ile kaynaştığı ve veziküllerin içindeki hormonların dışarıya çıktığı görünür. Dendrit ucundaki bazı alıcıların uyarıcı tarafından kapatıldığı ve elektrik sinyallerinin, hormonlar bu alıcılara ulaşmadan iletildiği görünür.



Şekil 3.25. Storyboard 25. Kare : Hormonların uyarıcıların bağlanmadığı alıcılara bağlandığı görünür.



Şekil 3.26. Storyboard 26. Kare : Hormonların dendrit üzerindeki geri dönüş kanalına döndüğü görünür. Bu esnada elektrik sinyalleri uyarıcı etkisiyle hala iletildiği görünür.

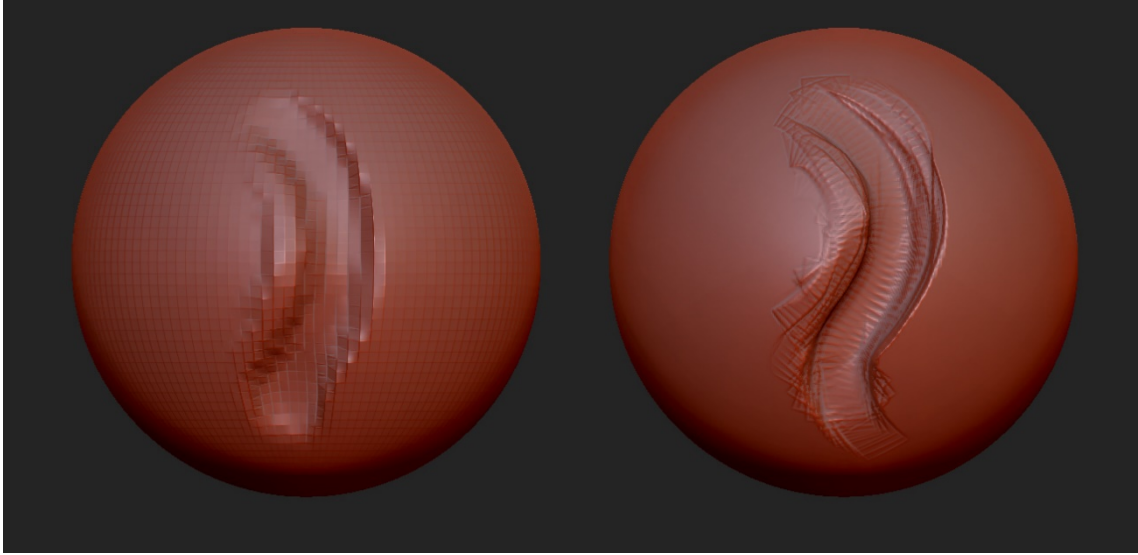


Şekil 3.27. Storyboard 27. Kare : Vezikülün geri dönüş kanalından ayrıldığı görünür. Elektrik sinyali uyarıcılar sayesinde hala iletilmektedir.

### 3.1.2 Beyin modeli

Pixologic Zbrush programı klasik poligon modelleme yöntemlerinden farklı olarak çok yoğun polygone yoğunlukları ile çalışmayı gerektirir. Kullanıcı program

içerisinde bulunan çeşitli fırçalar ve bu fırçalara bağlı alpha maplerle<sup>7</sup> çalıştığı yüzey üzerine fırça vuruşları yaparak modelleme işlemini gerçekleştirir. Modelin polygon yoğunluğu düşük ise fırça izlerinde kırıklar oluşur. Şekil 3.28.'de bir kürenin düşük ve yüksek polygon hali görünmektedir.

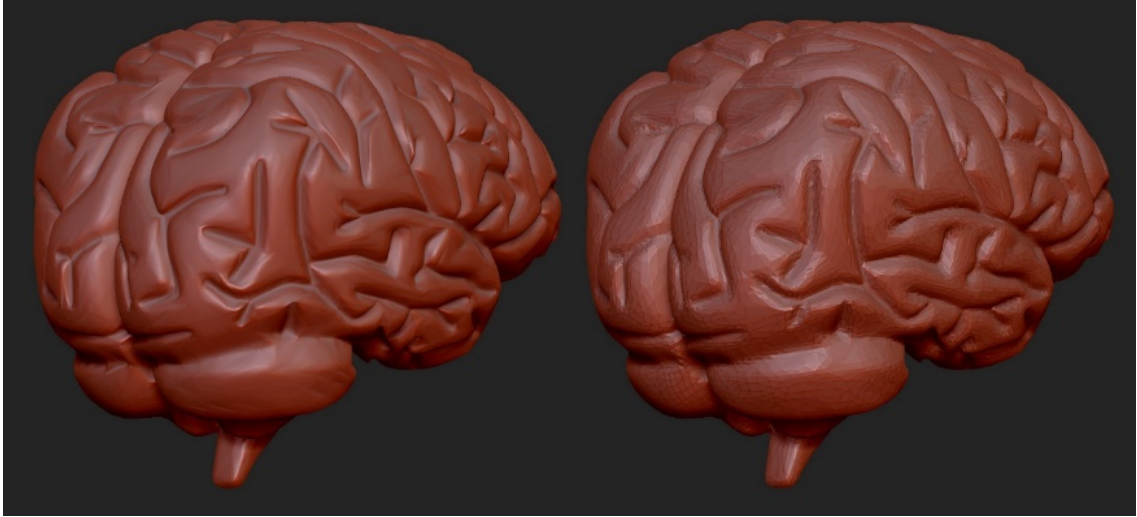


**Şekil 3.28.** Bir kürenin düşük ve yüksek polygonlu hali.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

Bu araştırma uygulamasında kullanılan beyin modeli Zbrush ile modellenmiş olup yaklaşık 400.000 polygon'dan oluşmaktadır. Bu haliyle üzerinde işlem yapılması oldukça zor olan modelin polygon yoğunluğunun kontrollü olarak düşürülmesi gerekmiştir. Bunun için Zbrush içinde bulunan polygon azaltma aracı olan Decimation Master aracı kullanılmıştır. Bu sayede beyin modelinin polygon sayısı 14.000'e kadar, genel olarak modelin şekli korunmuş bir şekilde düşürülmüştür (Şekil 3.29.).

---

<sup>7</sup> Alpha map: Siyah-beyaz görüntü dosyası. Kullanılan alpha mapin siyah beyaz renk bilgisine göre yüzey kabartılır veya oyulur.



**Şekil 3.29.** *Beyin modeli. Yüksek polygon (solda), düşük polygon (sağda).*  
**Kaynak:** *Emin Bakan arşivi.*

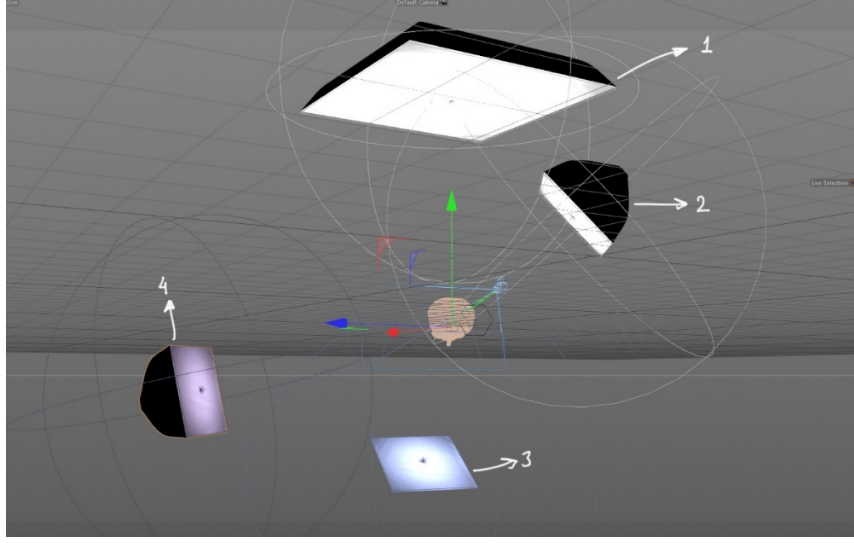
Hazırlanan model Wavefront OBJ formatında<sup>8</sup> Cinema 4D programına aktarılmıştır.

3 boyutlu programlarda hazırlanan sahneler render işlemine girmeden önce ışık, kullanılan objelerin materyalleri, çekim açıları, kamera hareketleri gibi düzenleme işlemlerinden geçmesi gerekir. Beyin modeli Cinema 4D programının içine alındıktan sonra ilk önce ışık ayarlamaları yapılmıştır. Bu sahnede 4 adet area light<sup>9</sup> ile model çeşitli açılardan aydınlatılmıştır (Şekil 3.30.).

---

<sup>8</sup> OBJ formatı: Wavefront Technologies şirketi tarafından geliştirilmiş, üç boyutlu programlar arası model paylaşımı için kullanılan endüstri standartlı haline gelmiş dosya formatı.

<sup>9</sup> Area light: 3 boyutlu animasyon programlarında kullanılan, ışığın tek bir noktadan değil geniş bir alandan dağılım gösterdiği bir ışık cinsi. Tek bir noktadan aydınlatan elektrik ampulüne karşı geniş bir aydınlatma alanına sahip floresan ışığı area light'a örnek olarak gösterilebilir.



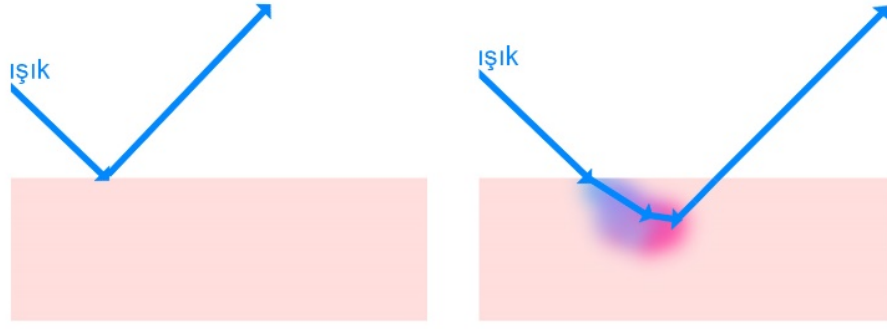
**Şekil 3.30.** Beyin modeli için Cinema 4D programında yapılan ışıklandırma.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

Şekil 3.30.'da görülen 1 numaralı ışık kaynağı, modelin ıslak görünmesi için gerekli olan specular reflection<sup>10</sup> sağlaması için yerleştirilmiştir. Şekil 3.30'da görülen 2 numaralı ışık ana ışık kaynağıdır. 3 ve 4 numaralı ışıklar ise modele renk vermesi için kullanılmıştır.

Işıklandırmanın ardından beyin modelinin organik bir şekilde görünmesi için materyal kaplama aşaması uygulanmıştır. Bu araştırmada, ilk yapılan denemelerde Sub Surface Scattering<sup>11</sup> (SSS) yöntemi ile oldukça gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. SSS yöntemi bir yüzeye gelen ışık parçacığını geri yansıtmadan önce, belirli bir süre yüzeyin içine girmesini ve yüzeyin bu sayede ışınmasını sağlamak amacıyla kullanılır (Şekil 3.31.).

<sup>10</sup> Specular reflection: 3 boyutlu programlarda cilalı/ıslak yüzeyleri simüle etmek için kullanılan materyal özelliği. Genel olarak ışık parçacıkları geldiği açıyla yansımaları temeline dayanır. Eğer yüzey pütürlü ise yansıyan ışık farklı açıyla yansıtacağından yüzey mat görünür.

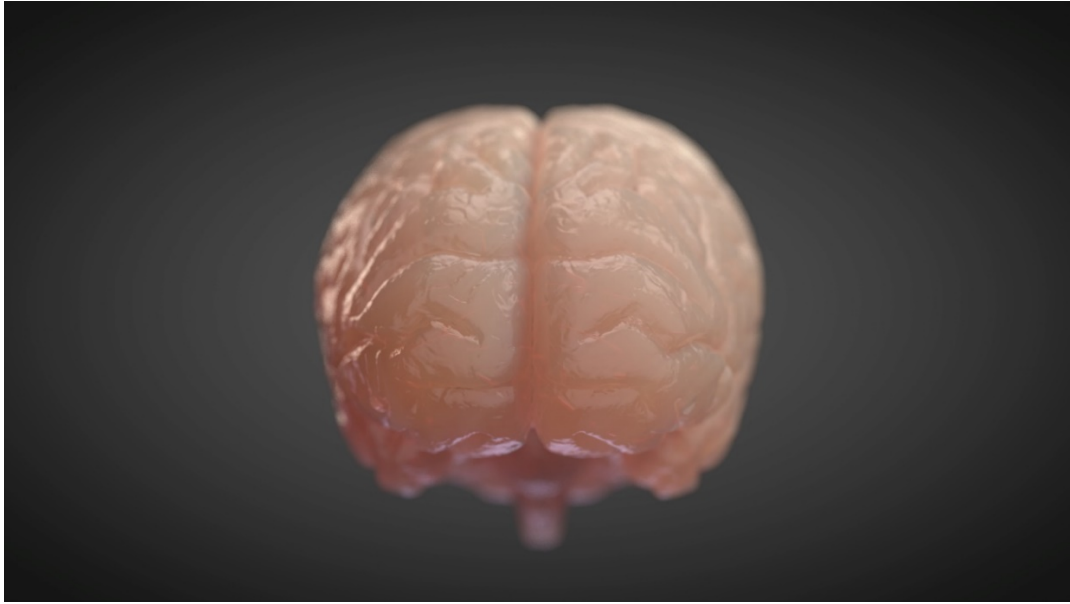
<sup>11</sup> Sub Surface Scattering: Özellikle yarı saydam (translucent) yüzeyleri simüle etmekte kullanılan yöntem.



**Şekil 3.31.** Işığın normal ve SSS etkisindeki davranışı.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Bu yöntem sayesinde insan derisi, süt, jöle vb. yarı saydam materyaller gerçekçi bir şekilde 3 boyutlu programlarda üretilebilmektedir.

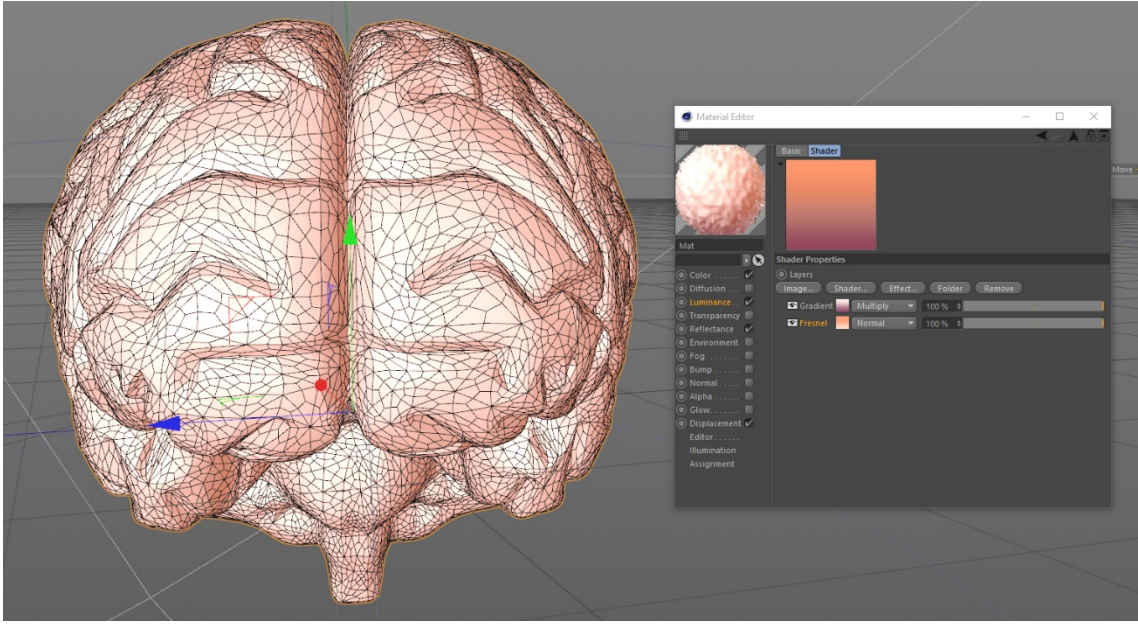
SSS yöntemi gerçekçi sonuçlar üretilmesini sağlasa da render süreleri açısından oldukça uzun zaman almaktadır. Bu araştırmada gerçekleştirilen testlerde kare başına 2 saat 10 dakikalık render süreleriyle karşılaşılmıştır. Bu yüzden SSS yönteminden vazgeçilmiştir.



**Şekil 3.32.** SSS yöntemiyle alınan test renderi. Render süresi 2 saat 10 dakika.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Üstte bahsedilen sorun nedeniyle beyin modeli için gerekli olan doku farklı yöntemlerle elde edilmiştir. Şekil 3.32. incelendiğinde genel olarak beyin modelinin üst kısımlarının açık ten rengi, alt kısımlarının ise koyu mor olduğu görülmektedir. Işık kaynağından gelen beyaz ışık modelin içinden geçerken SSS yöntemi sayesinde,

modelin içinde kaydettiği mesafe oranınca mavileşir ve modelin yüzey rengi olan ten rengini morlaştırır. Yazar bu etkiyi SSS yöntemi olmadan verebilmek için Cinema 4D programında var olan prosedürel dokulardan birisi olan “Gradient map” kullanmıştır. Modelin UV Map’inin Flat projection yöntemiyle açılmasından sonra beyin materyalinin Luminance kanalına bu gradient map atanmıştır. Böylece modelin altta kalan kısmı mor, üst kısmı ise ten rengi olacak şekilde SSS yöntemine yakın bir sonuç elde edilmiştir (Şekil 3.33.).



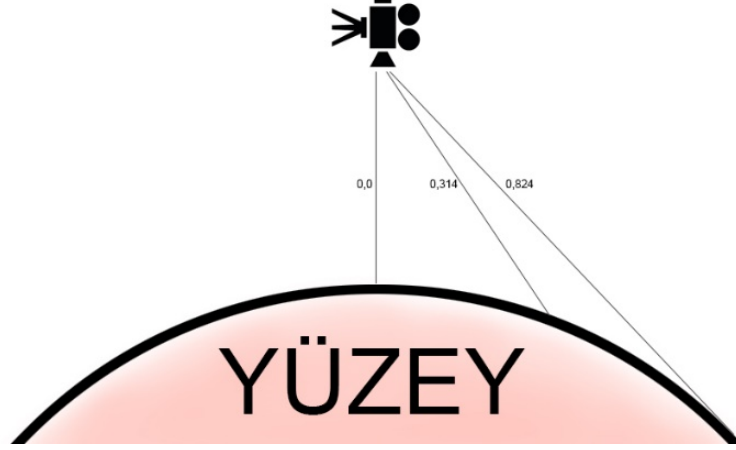
**Şekil 3.33.** Beyin modeline uygulanan materyal uygulaması.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

SSS yöntemiyle alınmış test renderı incelendiğinde, beyin nesnenin kameraya göre kenarlarında kalan yüzeylerinin daha açık renkte olduğu görülmektedir. Bu etki sahnede kullanılan ışığın nesnenin içinden geçerken şiddetini azaltması neticesinde aydınlatma değerinin (intensity) düşmesi neticesinde gerçekleşmektedir. Bu etkiyi SSS yöntemi olmadan elde edebilmek için bu araştırmada kullanılan Cinema 4D yazılımı içerisindeki prosedürel shader<sup>12</sup> olan fresnel shaderı kullanılmıştır.

Fresnel, nesnelerin kameraya olan açılara göre 0 ila 1 arası kesirli sayı değerleri üretmek için kullanılan bir shader türüdür. Nesneye 90 derecelik açıyla

<sup>12</sup> Shader: Bilgisayar grafiğinde, nesnelerin render yazılımı tarafından ekrana çizilebilmesi için, nesnenin renk, saydamlık, yansımaya vb. bilgilerine verilen genel isim.

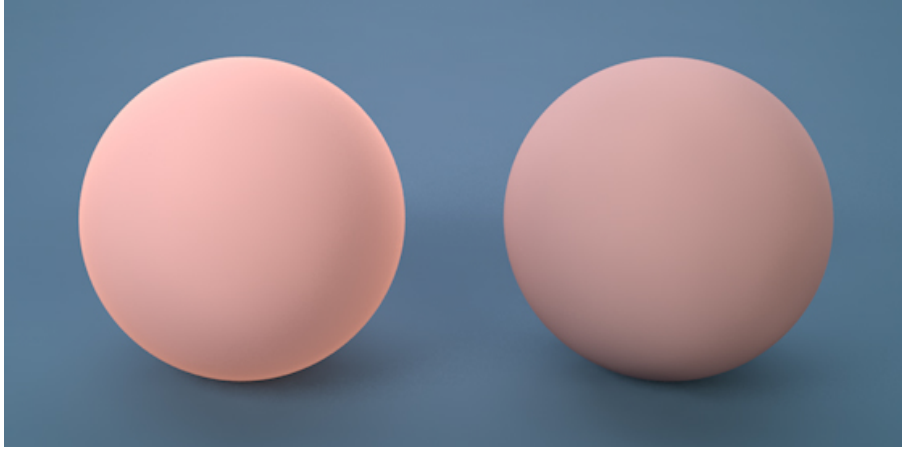
duran bir kamera düşünüldeğinde 0 sayısı, 180 derecelik açıda ise 1 sayısı üretilir (Şekil 3.34.).



**Şekil 3.34.** Fresnel shaderın kameraya göre ürettiği kesirli sayılar. Sayılar temsilidir.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Bu açılar arasında kalan (90..., ...150..., ...169, ...180) açılarda ise kesirli sayılar üretilir. Daha sonra bu üretilen sayılar, nesne materyalinin kullanılmak istenen kanalıyla (renk, yansıma, saydamlık vb.) çarpılarak kameraya bağımlı materyal düzenlemeleri yapılabilir.

Yuvarlak hatlı nesnelere için fresnel shaderı nesnelere renk kanalına tanıtıldığında nesnenin kenarlarından ortasına doğru geçişli bir şekilde renklendirme için kullanılabilir. Ayrıca fresnel shaderı yansımaları yüzeylerde de oldukça fazla kullanılmaktadır. Örneğin, bir pencere camına dik olarak bakıldığında yansıma, yandan bakıldığı kadar güçlü görünmez. Bu gibi durumlarda gerçekçi yansımalar elde etmek için de fresnel shaderı kullanılabilir. Şekil 3.35.'de birinin materyal ışıma kanalına (solda) fresnel shader uygulanmış iki küre görülmektedir.



**Şekil 3.35.** *Fresnel shader ile ilave renk verilmiş (solda) küre ve fresnel shader kullanılmadan renklendirilmiş (sağda) iki küre.*

**Kaynak:** *Emin Bakan arşivi.*

Polygon modelleme yöntemleriyle modellenen nesnelere, bu yöntemin doğası gereği düşük detay seviyesinde olurlar. Yüzelelere detay kazandırmak materyal atama kısmında bazı ayarlamaların yapılması gereklidir. Bu araştırmanın uygulaması için Zbrush programında modellendikten sonra polygon sayısı düşürülerek Cinema 4D programına alınan beyin modeli, yakından incelendiğinde yüzey detayından yoksun oldu görülmektedir. Beyin modelinin ayrıntı düzeyini arttırmak için displacement map kullanılmıştır.

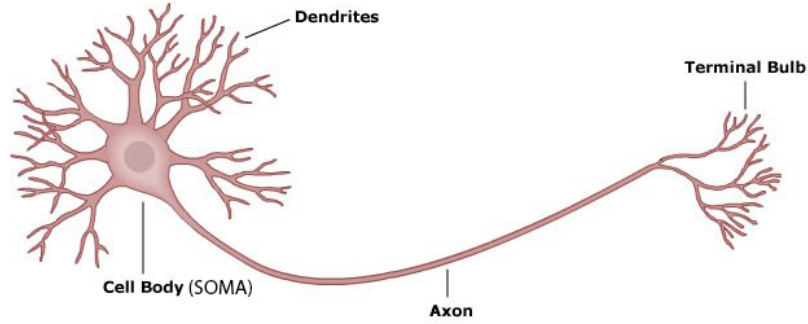
Displacement map render aşamasında modelin polygon sayısını arttırarak bağlı olduğu dokuya göre yüzey detaylandırmak için kullanılmaktadır. Bu dokular resim tabanlı olabildiği gibi prosedürel olarak üretilmiş noise mapler de olabilmektedir. Çalışma yöntemi olarak displacement map, bağlı olduğu doku dosyasının siyah-beyaz değerine göre yüzeyi biçimlendirir.

Bu araştırmanın uygulamasında kullanılan beyin modeli materyal kanallarından biri olan displacement kanalına Cinema 4D programı içinde bulunan bir fractal noise çeşidi olan “spurl” atanarak bu detaylar eklenmiştir.

### **3.1.3 Beyin hücresi modeli**

Bu araştırmanın uygulamasında kullanılan beyin hücresi modeli üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki soma denilen hücre çekirdeğinin de içinde bulunduğu hücrenin yaşamsal yapılarının bulunduğu gövde kısmı, gövde üzerinde bulunarak hücreye gelen elektrik sinyali alan dendritler ve gelen sinyali diğer beyin

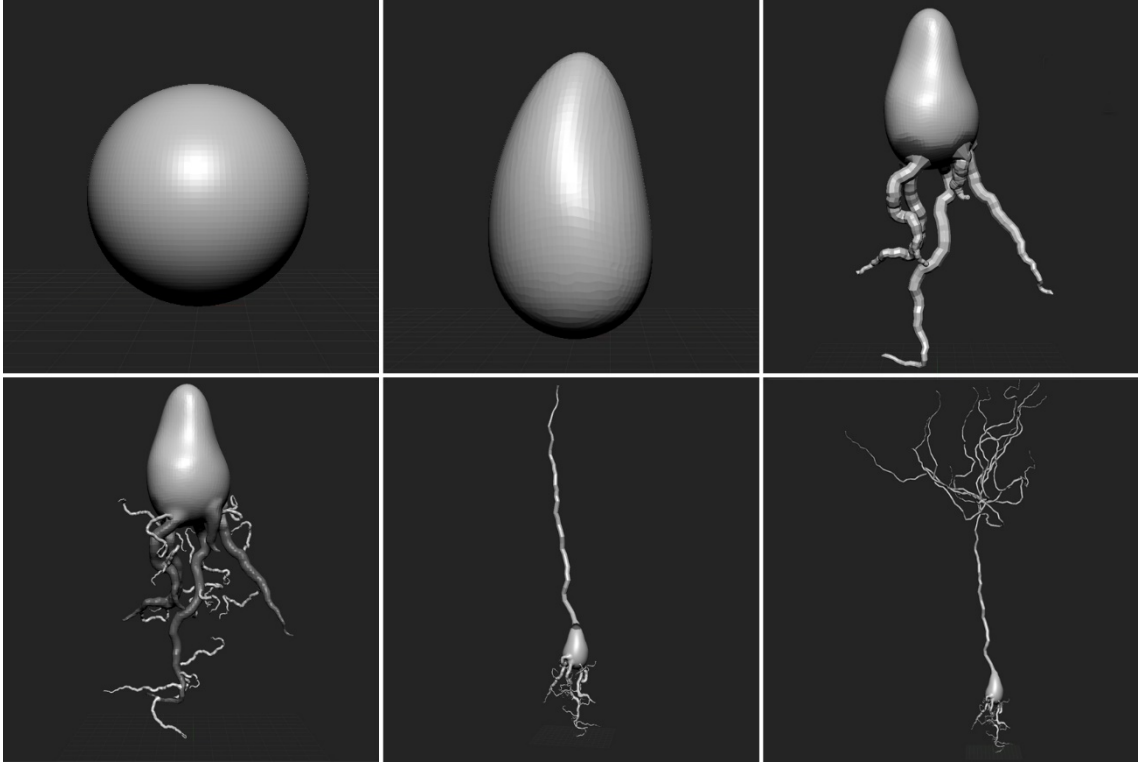
hücre sine ilet en akson bölümüdür. Beyin hücre sinin akson bölümünün en uç noktasında dendrit benzeri akson terminalleri bulunur (Şekil 3.36.).



Şekil 3.36. Beyin hücre sinin yapısı.

Kaynak: 8 Haziran 2016 tarihinde [https://online.science.psu.edu/bisc004\\_activewd001/node/1907](https://online.science.psu.edu/bisc004_activewd001/node/1907) sitesinden alınmıştır.

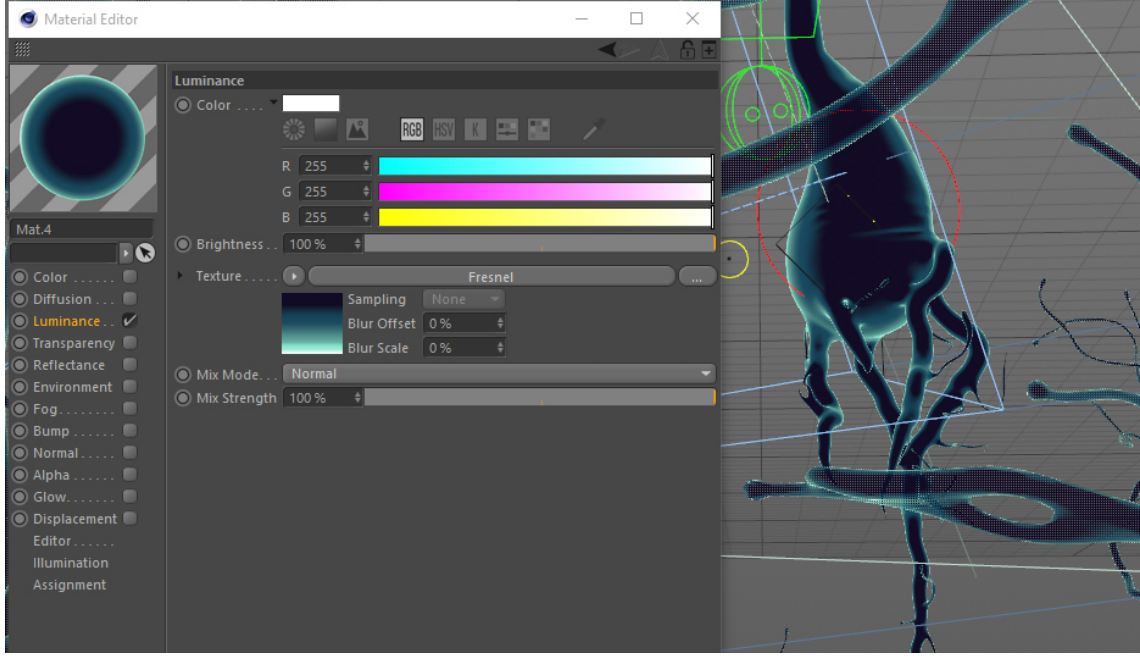
Beyin hücre sinin soma bölümü Zbrush programıyla modellendikten sonra dendrit ve Akson terminalinde bulunan akson terminalleri için yine Zbrush programında bulunan Fibermesh aracı kullanılmıştır. Fibermesh aracı genellikle saç yapımında kullanılmasına rağmen içinde bulundurduğu kontrol parametreleri sayesinde prosedürel olarak dallanan yapıların modellenmesinde de kullanılmaktadır. Beyin hücre sinin gövdesi modellendikten sonra üst kısmı Zbrush içinde bulunan maskeleme aracı ile seçilmiş, sonrasında Fibermesh aracı tek bir kol çıkaracak şekilde ayarlanmıştır. Ardından gövde üzerinden rastgele yüzeyler yine maskeleme aracıyla seçilmiş ve bu seçili alanlardan dendritlerin ana kolları çıkarılmıştır. Bu ana kollar tekrar maskelenerek dendritlerin yan kolları yine Fibermesh aracıyla oluşturulmuştur. Akson terminalleri için Fibermesh aracı dendritleri oluşturmakta kullanılan yöntemler tekrarlanarak oluşturulmuştur (Şekil 3.37.).



**Şekil 3.37.** *Beyin hücresinin Zbrush ile yapım aşamaları.*  
**Kaynak:** *Emin Bakan arşivi.*

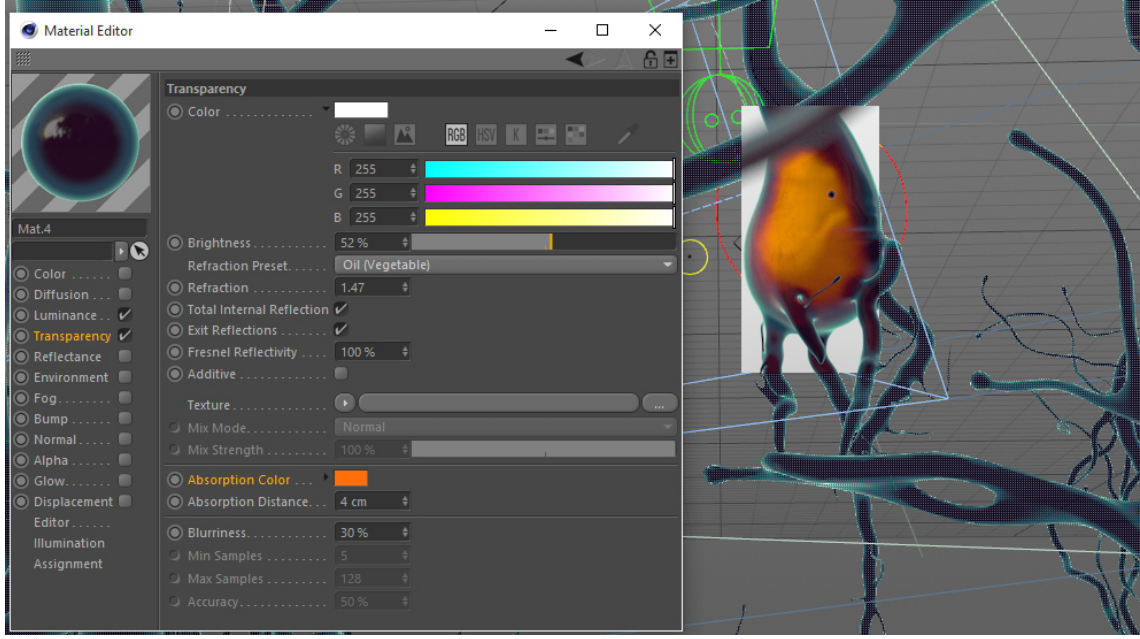
Beyin hücresi Zbrush programında modellendikten sonra aynı program içerisindeki Decimation Master aracıyla polygon sayısı azaltılarak Wavefront OBJ formatında Cinema 4D programına aktarılmıştır.

Elektron mikroskobu ile oluşturulmuş görüntüler incelendiğinde genellikle, objelerin kenarlarından içe doğru kararan renk skalasına sahip görseller göze çarpmaktadır. Bu noktada araştırmacı bu etkiyi yaratmak için fresnel shaderı, beyin hücrelerinin materyali için çıkış noktası olarak kullanmıştır. Bunun yanında elektron mikroskobuyla fotoğraflanan görüntülere, bilgisayar yazılımlarıyla renklendirilerek izleyicinin sahnedeki farklı nesnelere birbirlerinden daha rahat ayırabilmesi için müdahale edildiği görülmektedir. Şekil 3.38.'de beyin hücresini renklendirmekte kullanılan fresnel shader görülmektedir.



**Şekil 3.38.** *Beyin hücresi fresnel shaderı kullanımı.*  
**Kaynak:** *Emin Bakan arşivi.*

Beyin hücresinin soma bölümünün içinde hücre çekirdeği (nucleus) bulunmaktadır. Bu kısmın gösterilebilmesi için beyin materyalinin saydam bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle önce materyal saydamlaştırılmış ancak beyin modelinin soma kısmı ile birlikte akson ve dendrit kısımları da aynı etkiye maruz kaldıklarından istenen sonuç elde edilememiştir. Bu nedenle materyalin saydamlaştırılması yerine yine materyale ait saydamlık kanalındaki “absorbtion distance” özelliği kullanılmıştır. Bu özellik nesnenin sahne üzerindeki boyutlarına göre kalınlığını hesaplayarak, nesnenin kameraya göre kalın olan kısımlarını absorbtion distanceda belirtilen rengi verir. Bu sayede sahnedeki beyin hücresi modelinin içinde başka bir yapı varmış izlenimi edinilmiştir. Ayrıca görsel olarak da sıcak soğuk renkler bir arada kullanılarak sahneye bütünlük kazandırılmıştır (Şekil 3.39.).



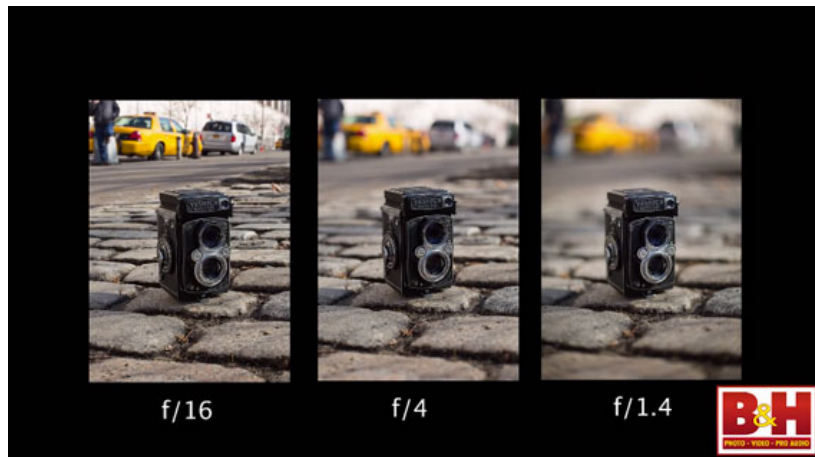
**Şekil 3.39.** Beyin hücresi absorbtion distance kullanımı.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

Beyin hücresi materyalinin displacement kanalı ve bu kanala bağlanan Stupl fraktal noise dokusu ile mikro deformasyonlar yaratılmak suretiyle yüzey detaylandırılmıştır.

Bu araştırmanın uygulamasında, beyin hücrelerinin toplu olarak görüldüğü sahnede, birbirleri arasında sinyal alışverişi olan 2, arka ve ön planda ise sahnedeki boşlukları doldurmak amaçlı 80 adet olmak üzere, toplamda 82 adet beyin hücresi modeli bulunmaktadır. Her ne kadar beyin hücresi modelleri Zbrush programından Cinema 4D programına aktarılırken polygon sayısı düşürülmüş olsa da 82 adet beyin hücresi modeli yüzey detaylarını arttırmak için kullanılan displacement map yöntemi ile render edilemeyecek kadar ağır bir sahne oluşturmuştur. Bir model displacement map ile detaylandırıldığında, render işlemi sırasında polygon sayısı belirlenen miktarda arttırılarak displacement mape bağlı doku dosyasından gelen siyah beyaz bilgisine göre yüzey fiziksel olarak deforme edilir. Polygon sayısı ne kadar çok arttırılırsa bu deformasyonlar o kadar detaylı görünür. Bu araştırmanın uygulamasında kullanılan beyin hücresi modeli yaklaşık 108.000 polygondan oluşmaktadır. Displacement mapin düzgün gözükebilmesi için bu polygon sayısını 4 kat arttırmak gerekmiştir. Bu da her bir kat için bir önceki polygon sayısının 4 katına denk gelmektedir. Displacement mapin doğru sonuç vermesi için araştırma

uygulama filminde kullanılan her bir beyin hücresi için render işlemi sırasında yüzey detay seviyesinin 20.736.000 polygona çıkması gerekmiştir. Toplam beyin hücresi sayısı 82 olduğundan, sahnede bulunan toplam polygon sayısı 1.700.352.000 seviyesine ulaşmıştır ki bu rakam, sahnede kullanılan animasyonlarla birlikte, herhangi bir 3 boyutlu animasyon programının işleyebileceği bir rakam değildir. Bu nedenle sahnenin ana öğeleri olan, birbirleri arasında sinyal alışverişinde bulunan hücreler dışında displacement map yöntemi kullanılmamıştır. Bunun yerine render maliyeti olarak daha düşük işlem gücü gerektiren Bump map yöntemi ile geriye kalan 80 beyin hücresi modeli detaylandırılmıştır.

Bump map yöntemi displacement map yöntemi ile temelde aynı şekilde çalışmasına rağmen yüzey polygon sayısının arttırmaz. Bunun yerine bağlı olduğu doku dosyasına göre yüzeyde deformasyon izlenimi yaratır. Bu yöntemle detaylandırılmış modellerin yüzeyleri fiziksel olarak deformasyona uğramadıklarından özellikle kenar kısımlarında detay kayıpları görülmektedir. Bu nedenle araştırmacı, sahneleri alan derinliği (dept of field) ile render etmiştir. Alan derinliği yöntemi, mercek kullanan görüntüleme aletlerinin (fotoğraf makinası, video kamera vb.) merceklerinin aldığı ışıkla doğru orantılı olarak artan bir görüntü efektidir. Fotoğraf makinalarında bulunan "f" ayarı sayesinde odaklanan fotoğraf öznesinin önünde veya arkasında bulunan nesnelere bulanık olarak görüntülenebilmektedir. Şekil 3.40.'da farklı f değerlerine göre çekilmiş bir kompozisyon görülmektedir.



Şekil 3.40. Farklı f değerleriyle fotoğraflanan bir kompozisyon.

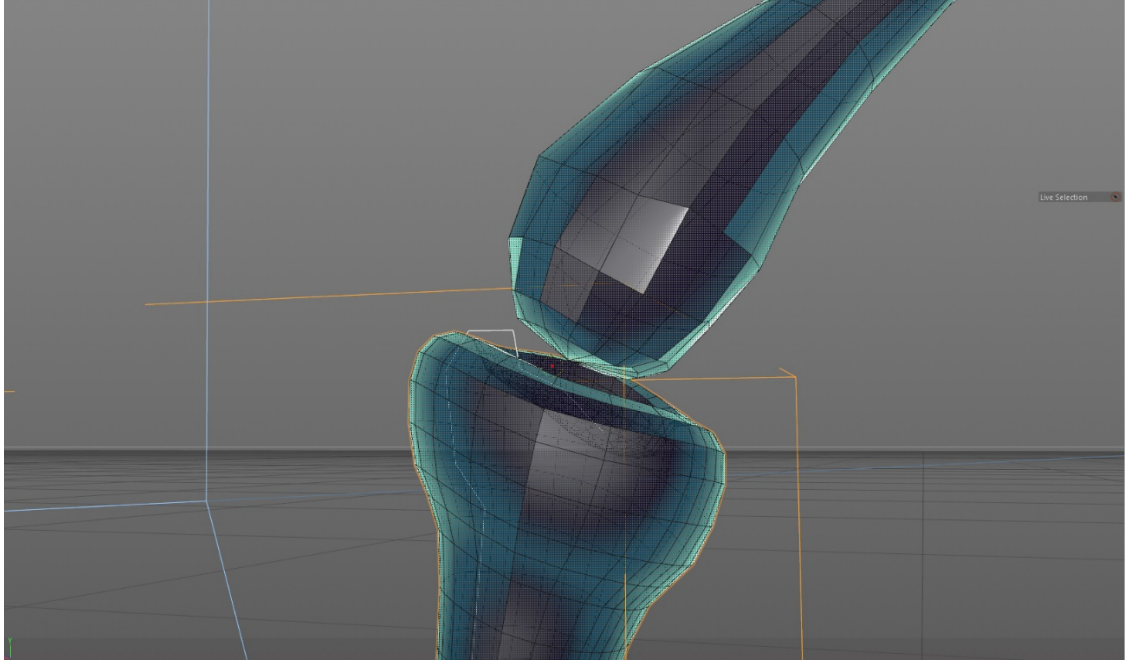
Kaynak: 14 Haziran 2016 tarihinde <http://www.nucleo.com.au/depth-of-field/> adresinden alınmıştır.

Alan derinliği yöntemi sayesinde, bu sahnenin odak noktasını oluşturan beyin hücresi modelinin önü ve arkasında bulunan diğer modeller, bump map yöntemi ile detaylandırılmış, bu modellerin eksik olan kenar detayları gizlenmiştir (şekil 3.41.).



**şekil 3.41.** Uygulama filminden alan derinliği efekti ile alınmış bir ekran görüntüsü.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

Bu araştırmanın uygulamasında beyin hücrelerinin toplu olarak görüldüğü bu sahnenin ilerleyen bölümlerinde ise 2 beyin hücresinin birbiri arasındaki iletişimi görselleştirilmiştir. Bu sahne için, sinyali gönderen beyin hücresinin dendritlerinden birine denk gelecek şekilde diğer beyin hücresinin akson uçlarından birisi hizalanmıştır. Prosedürel olarak üretilmiş olan bu uçlar yeterli detay seviyesinde değillerdir. Bu yüzden Cinema 4D içerisinde bulunan heykel modelleme araçları (sculpting tools) ile bu uç uca gelen dendrit ve akson uçları detaylandırılmıştır (şekil 3.42.).



**Şekil 3.42.** Dendrit (altta) ve akson ucu (üstte).  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

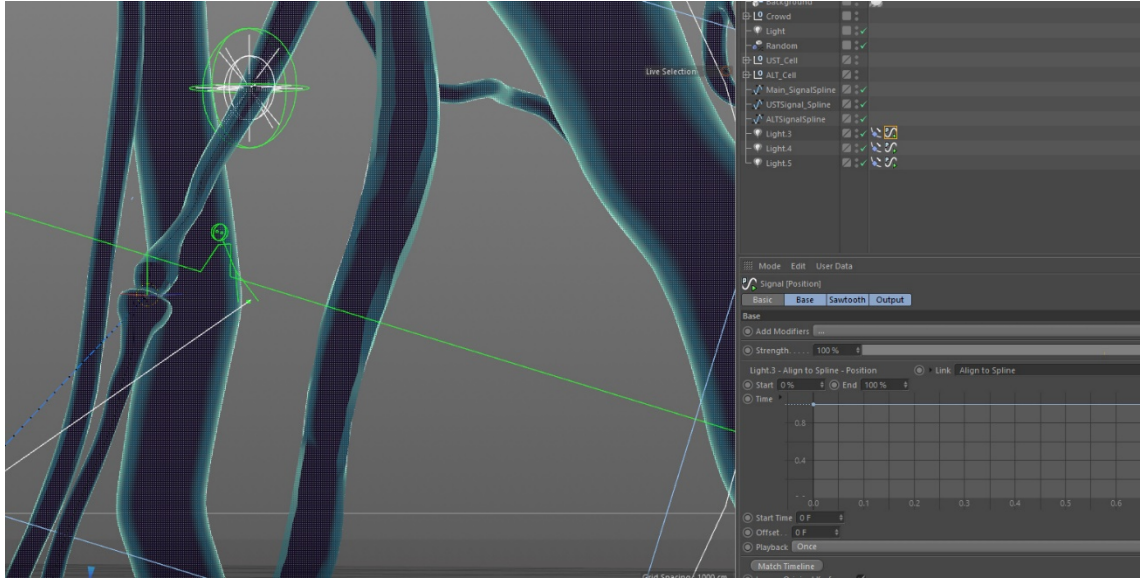
Bu detaylandırma çalışması ardından elektrik sinyali olarak kullanılmak üzere iki adet noktasal ışık (point light) yaratılmıştır. Bu aşamada ışıkların dendrit ve akson ucu üzerinde hareket etmeleri için bu bölümler üzerine, her birinin izleyecekleri yol boyunca eğri objesi (spline) çizilmiştir. Daha sonra bu eğrilere, noktasal ışıkların üzerlerinde hareket edecekleri kontrol nesnelere olarak tanımlanması için “align to spline” tag<sup>13</sup> özelliği verilmiştir. Elektrik sinyali olarak tanımlanan bu noktasal ışıkların animasyonları ise bir Cinema 4D eklenti yazılımı olan Signal eklentisi ile yapılmıştır.

Signal eklentisi Cinema 4D içinde bulunan sayı ile ifade edilmiş herhangi bir değere, trigonometrik fonksiyonlar (sinüs, kosinüs, tanjant vb. ) ile hareket kazandırmak için kullanılan bir yazılımdır.

Cinema 4D programı içerisinde bulunan her eğri nesnesinin bir başlangıç, bir de bitiş noktası bulunur. Bu uzunluk program içerisinde “%” cinsinden ifade edilmektedir. %0 ile eğri nesnesinin başlangıç noktası, %100 ile ise bitiş noktası betimlenmektedir. Bu değer kullanılan her bir noktasal ışık için Signal yazılımıyla

<sup>13</sup> Tag: Cinema 4D programı içerisinde bulunan nesnelere farklı nitelikler atamak için kullanılan araçlardır.

hareketlendirilmiştir. Böylece bu eğriye bağlı olan noktasal ışık kaynağının eğri üzerinde hareketi sağlanmıştır (Şekil 3.43.).

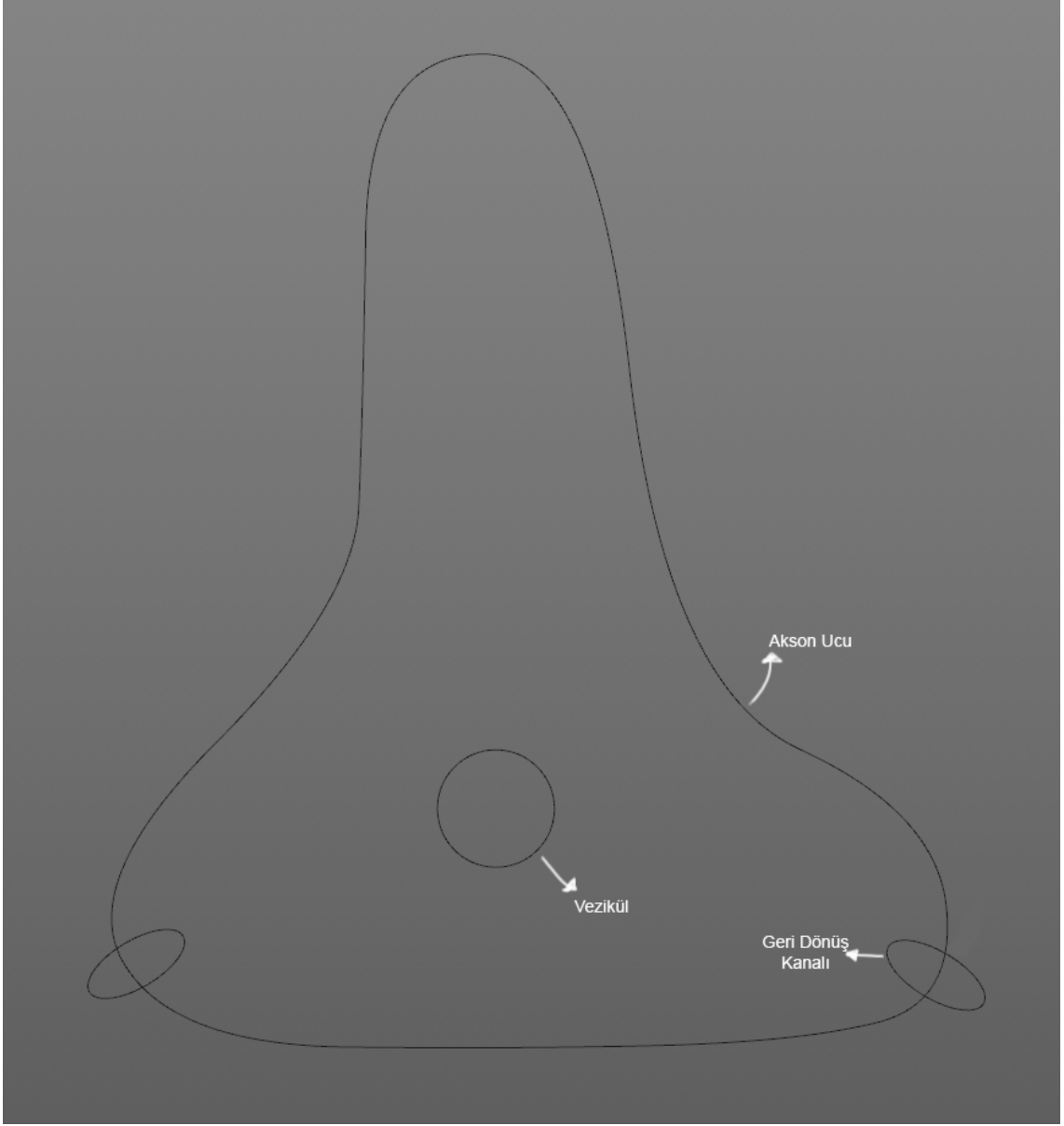


Şekil 3.43. Signal yazılımı ile hareketlendirilen elektrik sinyalleri.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

### 3.1.4 Beyin hücreleri arası sinyal iletimi detay sahneleri

Bu araştırmanın uygulamasında iki beyin hücresinin arasındaki sinyal iletimi animasyonu, birbirine bağlı ve birbirleriyle etkileşimli birden çok animasyonun bir arada kullanımıyla mümkün olmuştur.

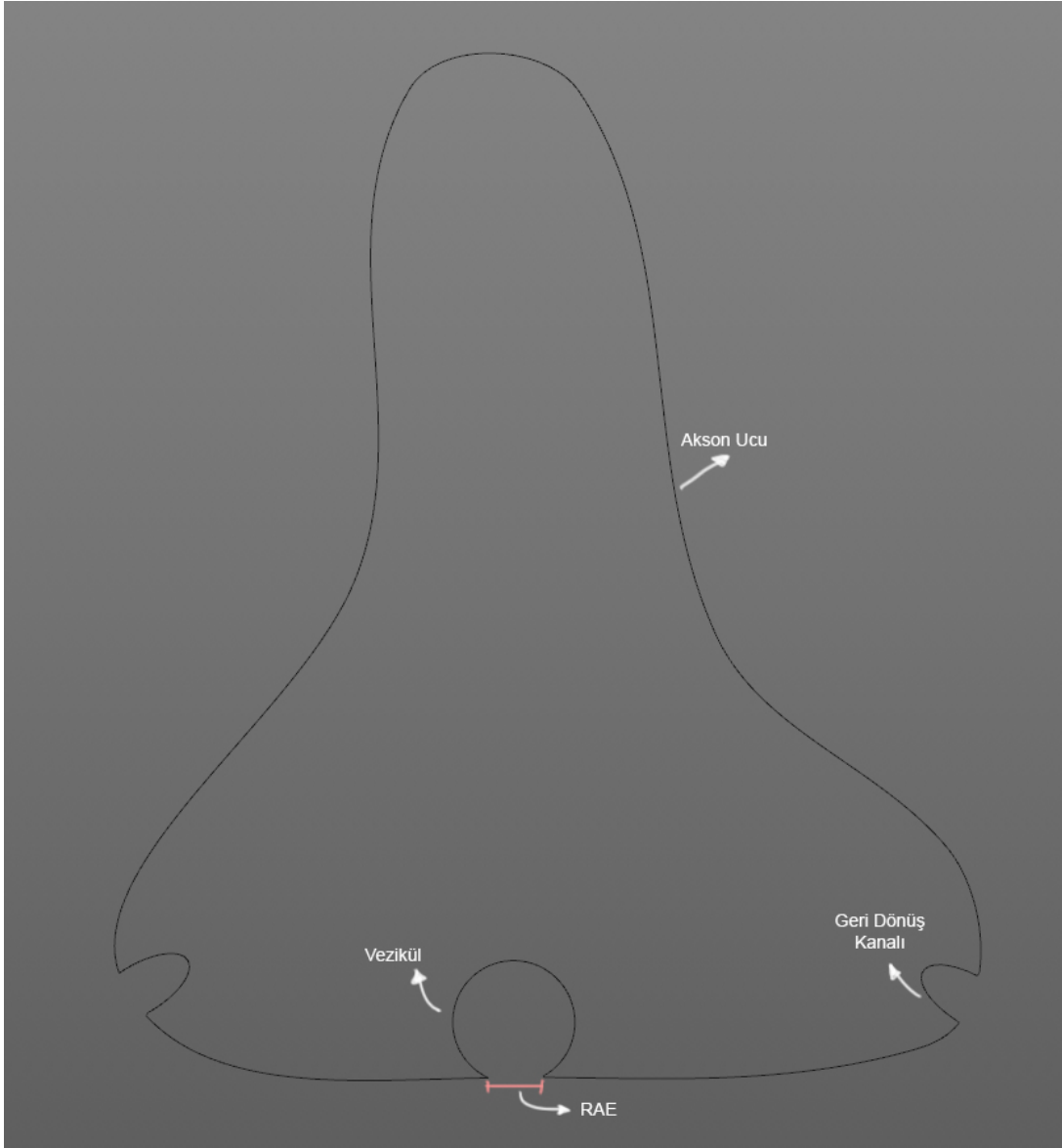
Akson terminali ve dendirit için Cinema 4d içinde bulunan eğri (spline) aracıyla kesitler çizilmiştir. Şekil 3.44.'de akson içi için çizilmiş eğriler görünmektedir.



**Şekil 3.44.** Akson terminali için Cinema 4D programında çizilmiş eğriler.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

Bahsedilen modeller, modelleme yöntemi olarak aynı yapıda olmakla birlikte, iç ve dış kısım olarak iki parçadan oluşmaktadırlar. Bu sahnede araştırmacının karşılaştığı en önemli sorunlardan birisi olan vezikül dış çeperi ile akson terminali dış çeper kısmının birbirlerine yaklaştıklarında kaynaşarak vezikülün içindeki hormonları dışarı salma animasyonu olmuştur. Bu mekanizmaya reseptör aracılı endositoz (RAE) işlemi denmektedir. RAE animasyonunun

yapılabilmesi için boolean operatörü<sup>14</sup> kullanılmıştır. Şekil 3.44.de görünen eğri nesnelere modelin ana gövdesini oluşturan akson terminali eğrisinden geri dönüş kanalı eğrisinin çıkarılması suretiyle akson terminali modelinin kesit eğrisi oluşturulmuştur. Daha sonra “vezikül” eğrisi akson terminali kesit eğrisine eklenerek, dört parçadan oluşan bu model tek bir nesneye indirgenmiştir. Şekil 3.45.’de kullanılan boolean operatörü sayesinde vezikül eğrisinin akson terminali eğrisi ile kaynaşması (RAE) görülmektedir.

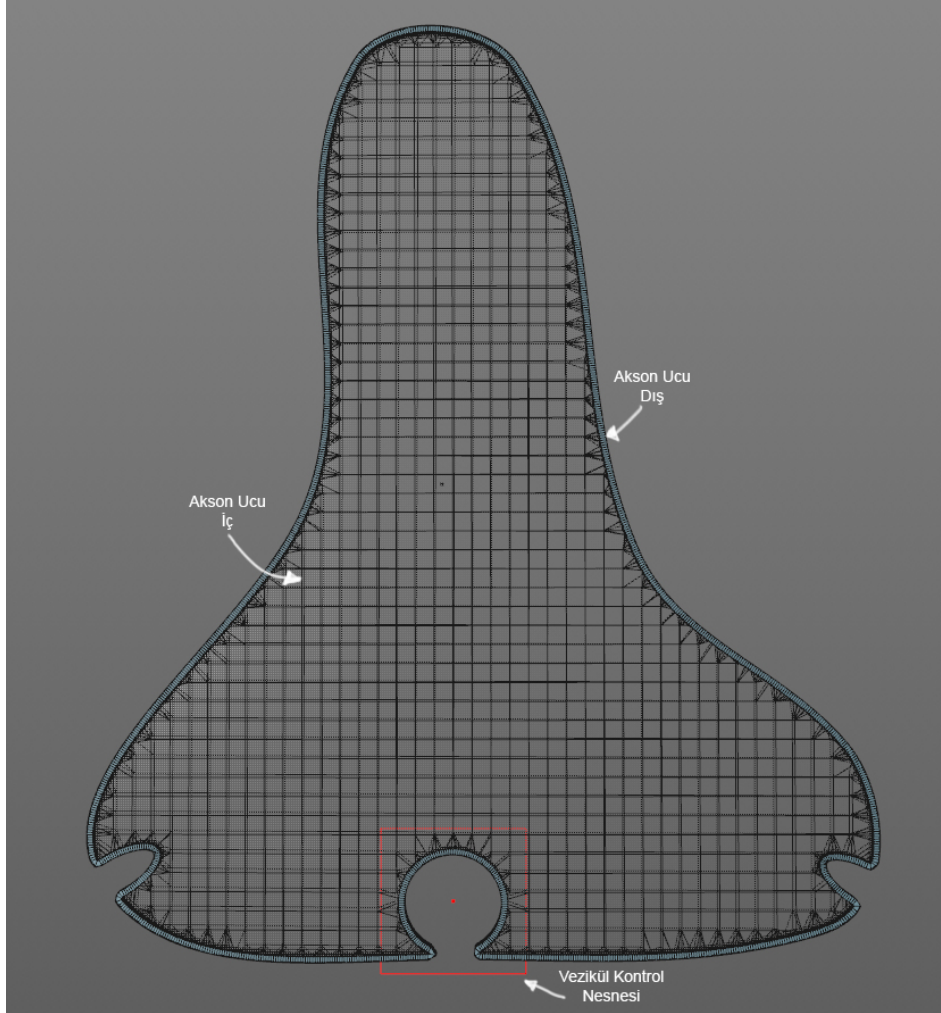


**Şekil 3.45.** Akson terminali boolean operatörü uygulanmış hali. RAE işlemi.

**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

<sup>14</sup> Boolean operatörü: 3 boyutlu animasyon programlarında bir nesneyi diğer bir nesneden çıkarmak veya birleştirmek için kullanılan modelleme aracı.

Vezikülün akson terminali duvarı ile birleşme işlemi mekanizması üstte bahsedildiği yöntemle çözüldükten sonra, akson terminalinin iç kısmını oluşturmak amacıyla ikinci bir model olarak çoğaltılmıştır. Birbirinin tıpatıp kopyası olan iki modelden birine Cinema 4D içerisinde bulunan cloth operatörü<sup>15</sup> atanarak dış kenarları oluşturulmuştur. İkinci modele ise, extrude operatörü<sup>16</sup> atanarak akson terminali nesnesinin iç kısmı oluşturulmuştur. Akson terminali modelini oluşturmaktaki son aşama olarak iç ve dış yapı olarak iki modelden oluşan modelin vezikül eğrisini bir kontrol objesiyle birbirine bağlama adımı olmuştur. Bu sayede sadece kontrol nesnesini hareket ettirerek, iç ve dış vezikül eğrisinin animasyonunu yapmak mümkün hale gelmiştir (Şekil 3.46.).



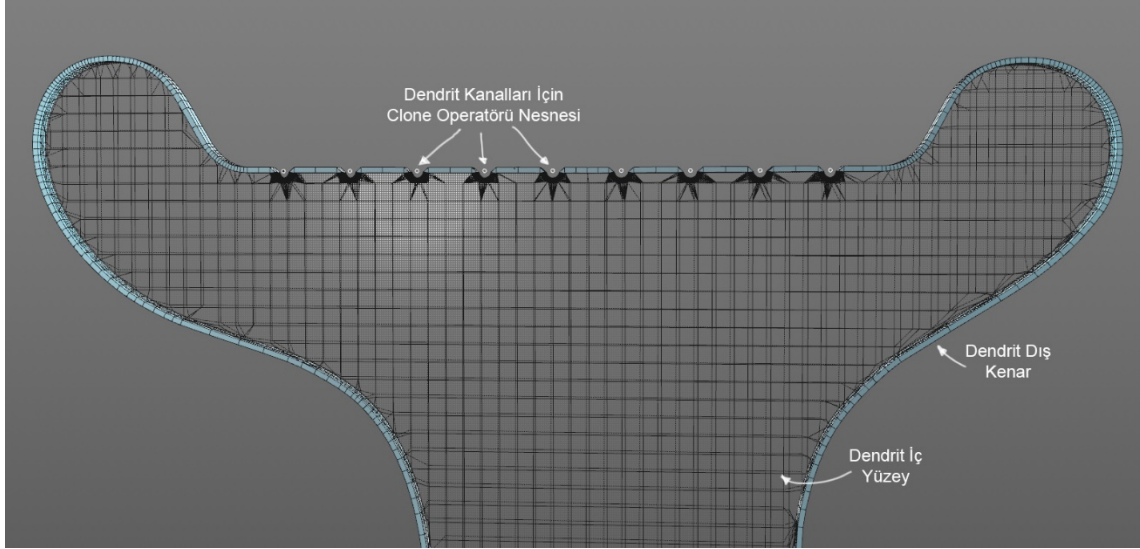
**Şekil 3.46.** Akson terminali modelinin bitmiş hali.

**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

<sup>15</sup> Cloth operatörü: Cinema 4D programı içinde bulunan genellikle kumaş simülasyonlarında kullanılan araçtır. İçinde bulundurduğu ayarlarla uygulanılan modele et kalınlığı vermek için de kullanılır.

<sup>16</sup> Extrude operatörü: Cinema 4D içinde bulunan, eğrileri üç boyutlu yüzeylere çevirmek için kullanılan araçtır.

Bu araştırmanın uygulamasında yer alan dendirit modeli için akson terminali modelinde uygulanan modelleme yöntemlerinin benzerleri kullanılmıştır. Fark olarak vezikülden saçılan hormonların bağlanacağı kanallar için daire eğrisi (circle spline) clone operatörü<sup>17</sup> ile eşit aralıklarla çoğaltılmış ve dendirit gövde nesnesinden bu daire eğrileri çıkartılmıştır (Şekil 3.47.).

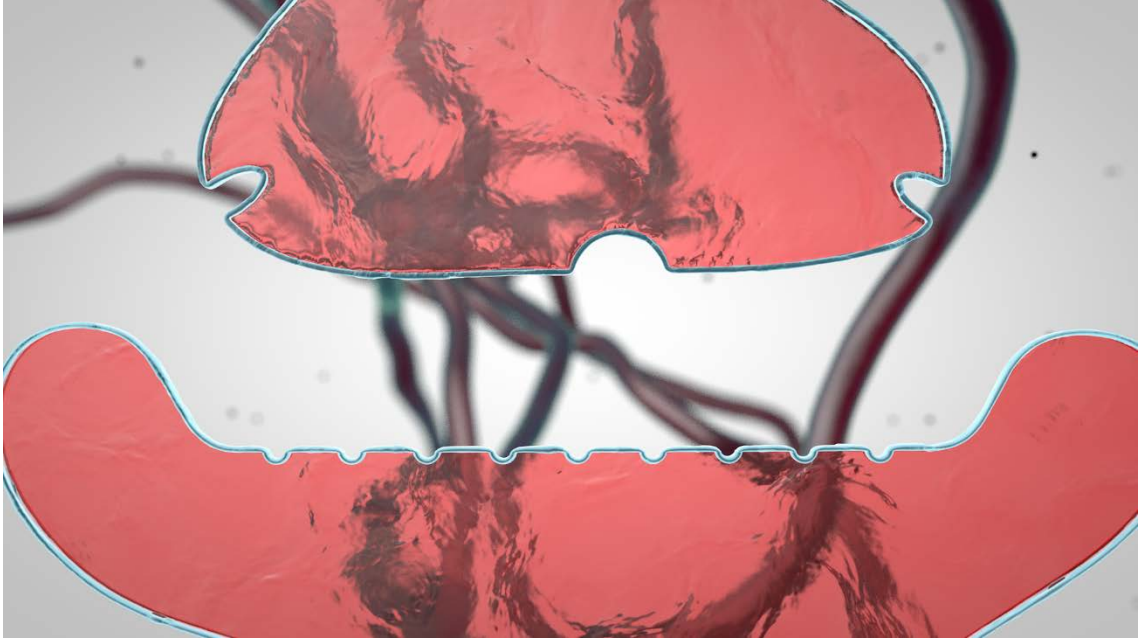


**Şekil 3.47.** Dendirit modeli.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Modelleme işleminden sonra dendirit ve akson terminali modeli için materyal hazırlama işlemine geçilmiştir. Bu modellerin dış kısımları için beyin hücrelerinin toplu olarak görüldüğü sahnedeki fresnel shader tabanlı bir materyal hazırlanarak displacement map yöntemi ile detay kazandırılmıştır. Modellerin iç kısımları için ise, saydam bir materyal hazırlanmış ve transparency kanalındaki absorbtion color değişkenine sıcak renkler atanarak bir önceki sahne olan beyin hücrelerinin toplu olarak görüldüğü sahnedeki renklere uyacak şekilde materyal düzenlenmiştir. Bunun yanında yine displacement map kullanılarak yüzey detayı yaratılmıştır. Displacement map yöntemi bu gibi saydam yüzeylerde kullanıldığında, sahnede kullanılan kameraya gelen ışığı kırıldığı için, modellerin arkasından geçen nesnelerin silüetlerinde de deformasyonlar yaratarak sahne görselliğini olumlu yönde arttırmıştır. Bu deformasyon efektini yaratabilmek için

<sup>17</sup> Clone operatörü: Cinema 4D içinde bulunan, bir nesnenin belirli bir miktarda kopyalarını oluşturmada kullanılan araç.

transparency kanalındaki refraction<sup>18</sup> değeri varsayılan değer olan 1,00'dan 1,35'e çıkarılmıştır. Bu sahnenin arka planında ise bir önceki sahnede bulunan beyin hücrelerinden biri kullanılarak alan derinliği etkisi arttırılmıştır. Yine aynı şekilde alan derinliği efektini arttırmak için Cinema 4d içindeki hazır objelerden biri olan küre (sphere object) nesnesi clone operatörü ve bu operatöre atanan random efektörü<sup>19</sup> ile noktasal partiküller eklenmiştir. Şekil 3.48.'de bu sahnenin Cinema 4D ile render edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 3.48. Akson terminali ve dendrit modelleri materyal kaplanmış halleri.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Araştırmanın uygulamasının bu bölümünde, vezikülün içindeki hormonların dendrit kanallarına elektrik sinyallerini iletmesi ve uyarıcı etkisinde dendrit kanallarında meydana gelen sinyal iletim bozuklukları iki farklı sahne içinde gösterilmektedir. Bu hormonların yapımı için bir Cinema 4D eklentisi olan X-Particles yazılımı kullanılmıştır.

X-Particles Cinema 4D içerisinde çalışan parçacık simülasyonlarını yapmakta kullanılan bir eklenti yazılımıdır. Problemlerin çözümü için soru-cevap yönteminin

<sup>18</sup> Refraction: Işığın kırılma katsayısı.

<sup>19</sup> Random efektörü: Cinema 4D içinde clone operatörü ile çoğaltılan nesnelerin tek düzey yapısını kırmak için kullanılan rastlantısallık aracı. Random efektörü sayesinde, clone operatörü ile çoğaltılmış nesnelerin her birinde farklı sonuçlar yaratacak şekilde boyut, pozisyon ve rotasyon özellikleri tek bir değişken ile ayarlanabilmektedir. Ayrıca random efektörü bu değişkenlerin animasyonlarının yapılabileceği araçları içinde bulundurur.

kullanıldığı bu yazılım, vezikülden saçılan hormonların dendrit kanallarının ucuna yapışması ve sonrasında “akson terminali geri dönüş kanalına” geri dönmesi animasyonun oluşturulmasında kullanılmıştır. Sahnelerin ilkinde önce emitter<sup>20</sup> nesnesiyle 9 adet parçacık yaratılmıştır. Bu parçacıklar çok az bir kalınlığı olan vezikül nesnesinin kenarlarından taşmaması için, parçacıkları kapsayacak büyüklükte başka bir küre nesnesi yaratılmış ve bu küre nesnesine parçacıkların çarparak belirli bir alan içerisinde kalması için collision tag<sup>21</sup> özelliği verilmiştir. Yaratılan yeni collision tag özelliği taşıyan bu küre nesnesi, vezikül nesnesini ile birlikte hareket etmesi için constrain tag<sup>22</sup> kullanılarak vezikül kontrol nesnesine bağlanmıştır.

Vezikül içinden çıkan parçacıkların dendrit sinyal iletim kanallarına bağlanması için daha önce dendrit kanallarının modellenmesinde kullanılan clone nesnesi, bu parçacıkların hedef pozisyonu olarak belirlenmiştir. Bunun için daha önce bahsedilen X-Particle soru-cevap sistemi kullanılmıştır. Parçacıklar bu clone nesnesini oluşturan 9 daire eğrisinin (circle spline) her birinin belirli bir uzaklığına gelince bu noktalara doğru çekileceklerdir. Ancak bu etkinin gerçekleşebilmesi için parçacıkların vezikül nesnesinin içinden çıktıklarında aşağı doğru çekilmesi gerekmektedir. Bu noktada X-Particle yazılımına her parçacığın o andaki pozisyonu sorulmuş ve alınan cevap belli bir değerin altındaysa o parçacığa gravity modifierından<sup>23</sup> etkilenmesi talimatı verilmiştir. Böylece vezikülden ayrılan parçacıklar dendrit yüzeyine doğru yaklaşmış ve belirli bir noktadan sonra her bir parçacık en yakın dendrit kanallarına yönelmiştir.

Bu mekanizmanın bir sonraki adımında, dendrit kanallarında duran hormonların belirli bir zaman sonra akson terminali geri dönüş kanalına dönmeleri gerekmiştir. Bu animasyon için, sahnede kullanılan parçacık simülasyonuna attractor modifier<sup>24</sup> tanımlanmıştır. X-Particle soru cevap sistemi ile simülasyonun hangi zamanında olunduğu sorgulanarak, alınan cevap, simülasyon zamanının belli

---

<sup>20</sup> Emitter: Parçacık sistemlerinde kullanılan, parçacık yaratmakta kullanılan nesne. Bu araştırmanın uygulamasında, parçacıkların yaratımından sorumlu emitter nesnesi küre olarak seçilmiştir.

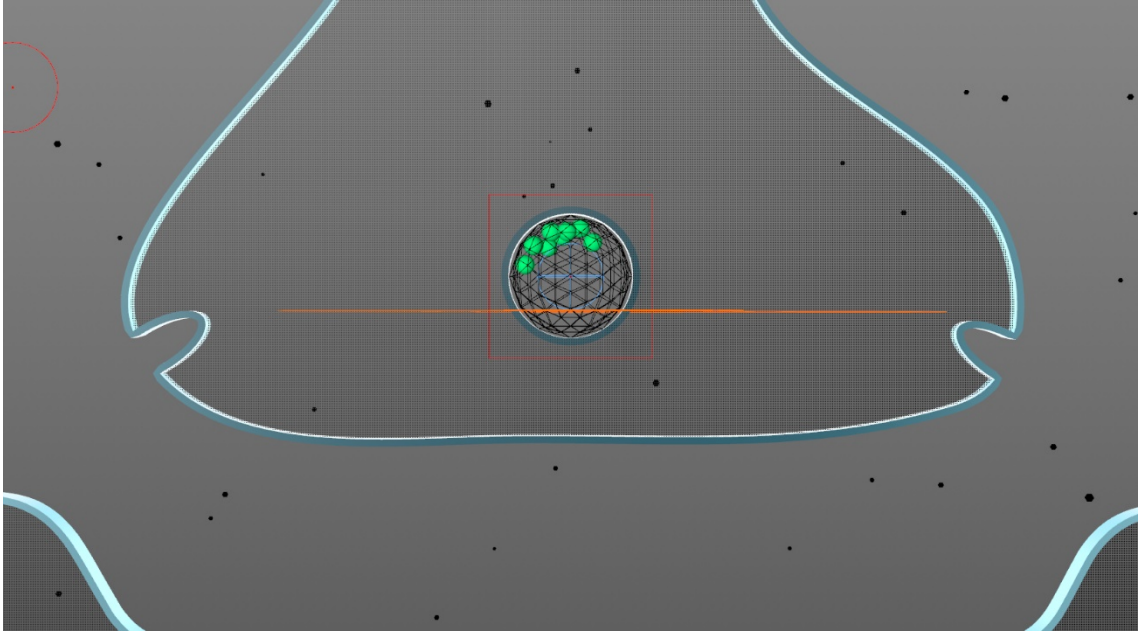
<sup>21</sup> Collision tag: Parçacıkların bir yüzeyin içinden geçmesini engellemek için kullanılan nesne özelliği.

<sup>22</sup> Constrain tag: 3 boyutlu animasyon yazılımlarında, iki nesnenin pozisyon, boyut veya rotasyon özelliklerini birbirlerine bağlamak için kullanılan yöntem.

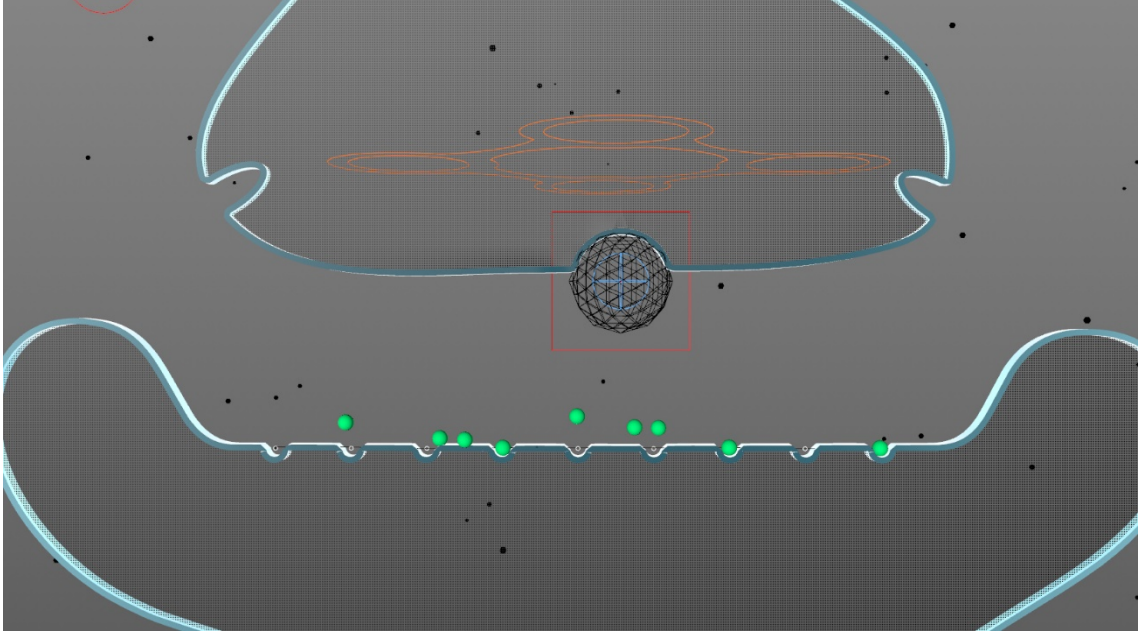
<sup>23</sup> Gravity modifier: X-Particle eklenti yazılımı içerisinde üretilen parçacıkları etkileyen çeşitli güçlerden birisi. Yerçekimi gücü.

<sup>24</sup> Attractor modifier: X-Particle eklenti yazılımı içerisinde üretilen parçacıkları bir noktaya çeken veya bir noktadan iten güç.

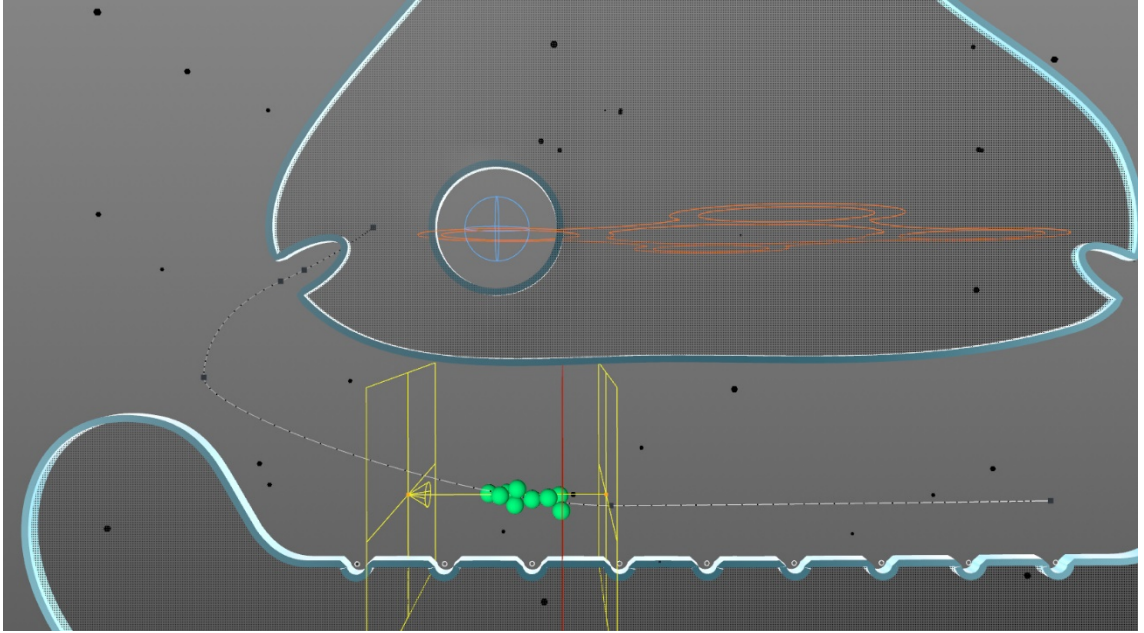
bir süresinin üzerinde ise, attractor modifierın etki alanı içerisinde bulunan parçacıklar, attractor modifier nesnesine doğru çekilirler. Bu noktada parçacıkları dendirit kanalları üzerine düşüren gravity modifier, soru-cevap sistemi içerisinde var olan bir seçenek sayesinde iptal edilerek parçacıkların iki farklı güçten etkilenmesinin önüne geçilmiştir. Dendirit kanalları üzerinden geçirilen attractor modifier nesnesi parçacıkları toplar ve akson terminali geri dönüş kanalından içeri girerek parçacıkları veziküle ulaştırır. Şekil 3.49-3.52'de, anlatılan bu aşamaların Cinema 4D programı içerisinde alınmış ekran görüntüleri bulunmaktadır.



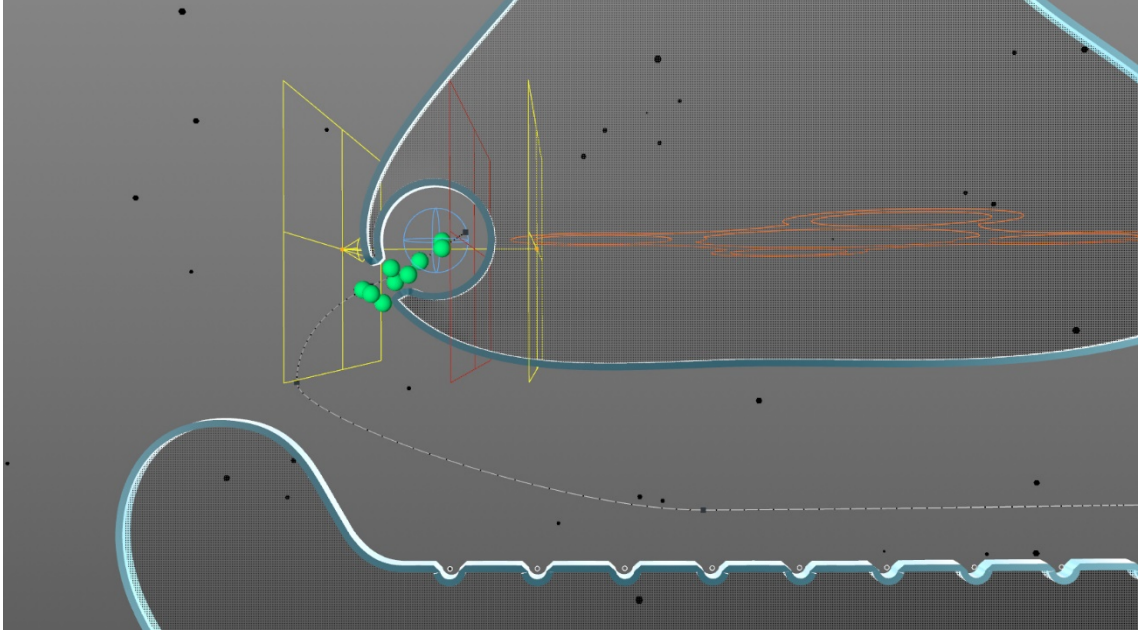
**Şekil 3.49.** Parçacıkların dağılmasının önlemek için kullanılan küre nesnesi.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.



**Şekil 3.50.** Parçacıkların dendirit kanallarına yönelmesi.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

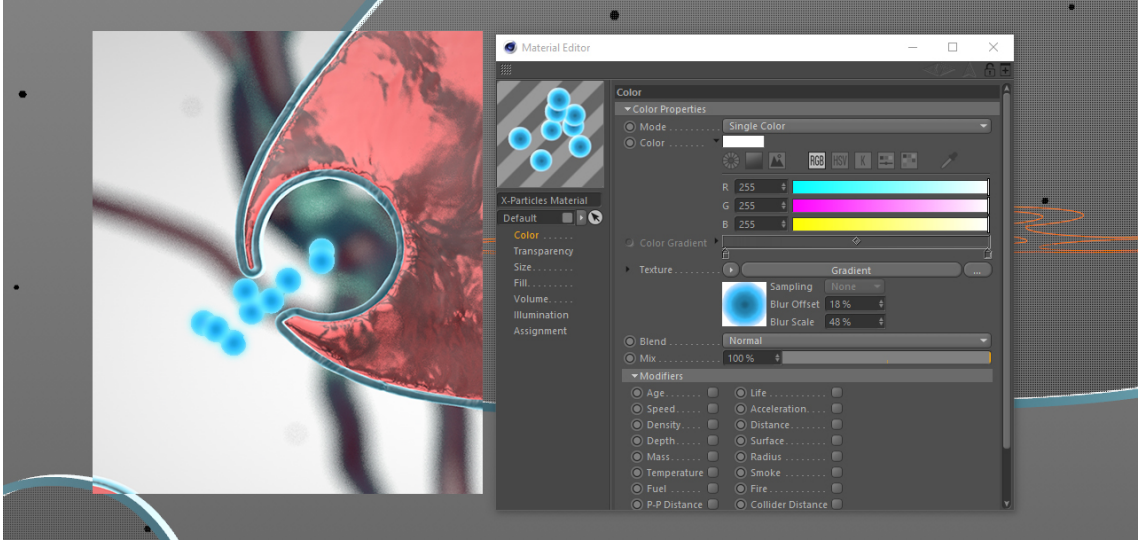


**Şekil 3.51.** Parçacıkların attractor modifier ile dendirit kanallarından ayrılması.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.



Şekil 3.52. Parçacıkların akson terminali geri dönüş kanalından vezikül içine girişi.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

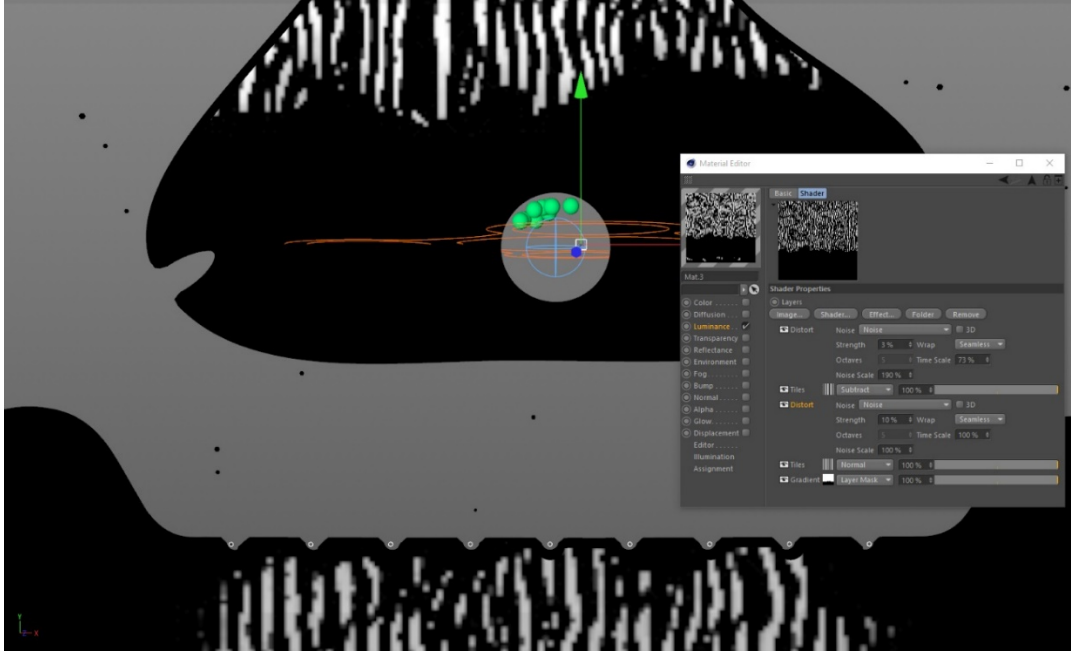
Animasyonu yapılan parçacıklar son aşamada X-Particle eklenti yazılım ile kullanılan parçacık materyali ile render edilmiştir (Şekil 3.53.).



Şekil 3.53. Cinema 4D içinde parçacıklar için kullanılan materyal.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

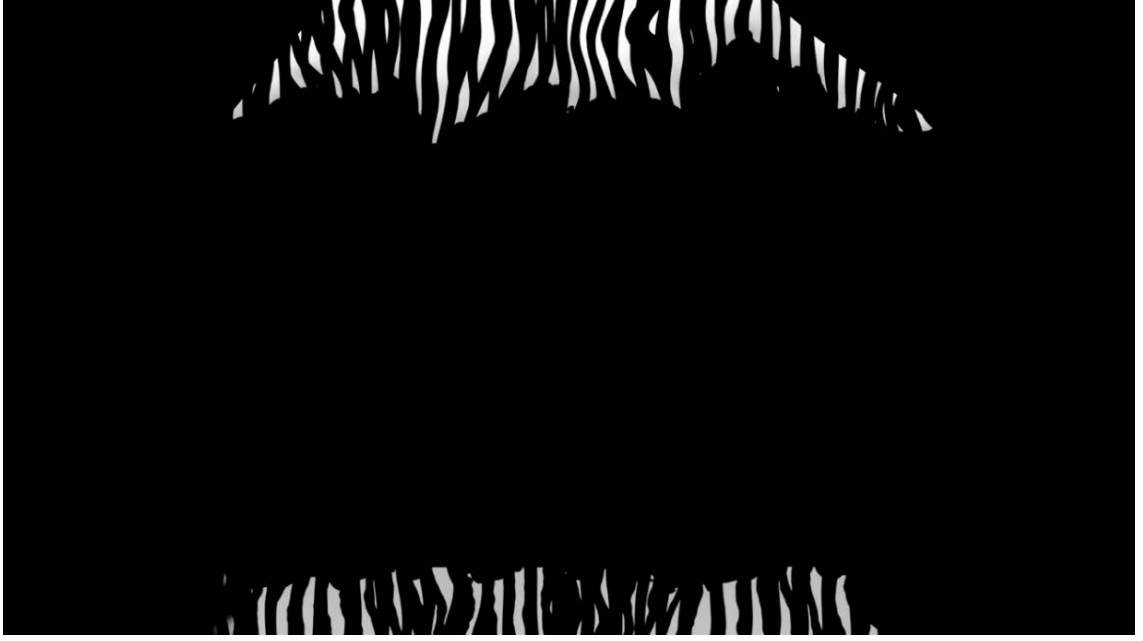
Araştırmanın uygulamasında bu sahnesinin son aşamasında ise akson terminaline gelen ve hormonlar sayesinde dendirite iletilen elektrik sinyallerinin görselleştirilmesi çalışması yapılmıştır. Bunun için sahnede gerekli olan animasyonlar yapıldıktan sonra sahne dosyası ikinci bir kopya olarak çoğaltılmıştır.

Ardından sahnedeki bütün materyaller silinmiş ve iki yeni materyal yaratılmıştır. Bu materyallerin ilki, akson terminali ve dendirit iç yüzeylerine atanmıştır. Materyalin ışıma (luminance) kanalına atanan çeşitli fraktal noiseler ile Y ekseninde uzanan çizgiler ve bu çizgileri materyal editör içinde verilen çeşitli efektler ile bu çizgilerin animasyonu prosedürel olarak sağlanmıştır (Şekil 3.54.). İkinci materyaller ise, sahnedeki diğer nesnelerin siyah görünmesi için oluşturulmuştur.



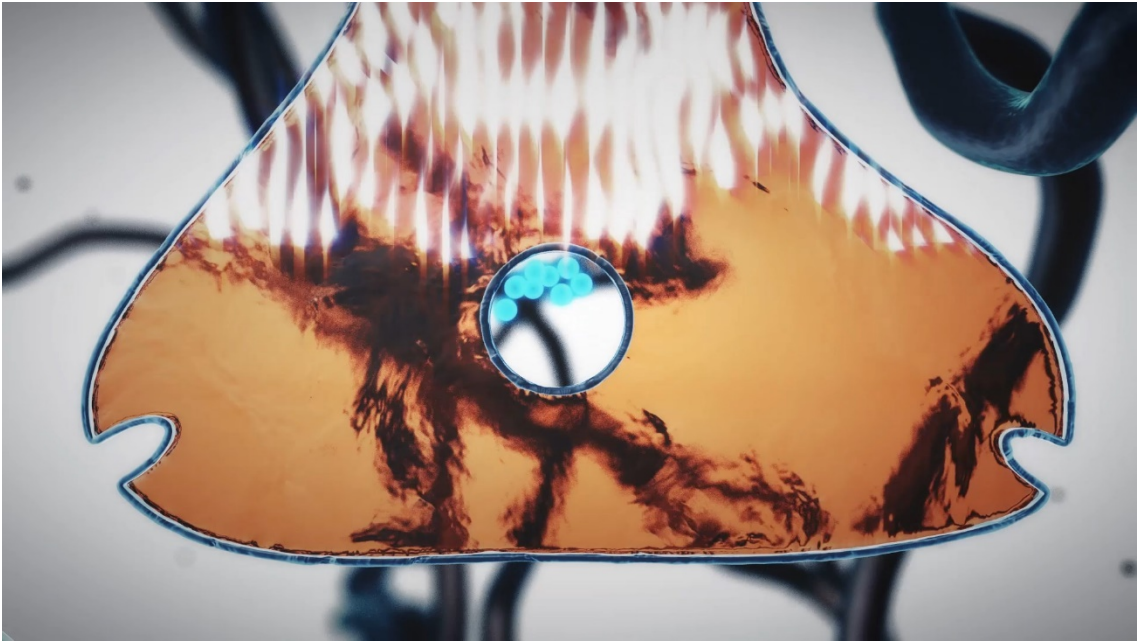
Şekil 3.54. Elektrik sinyalleri için gerekli olan maskenin materyali.  
Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Bu sahnenin renderı alındığında şekil 3.55.'deki görüntü elde edilir.



**Şekil 3.55.** Elektrik sinyalleri için gerekli olan maskenin render edilmiş hali.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

Bu araştırmanın uygulamasının kurgu aşamasında şekil 3.55.'deki siyah beyaz görüntü maske olarak kullanılmış olup bahsi geçen elektrik sinyal efektlerinin modelin ilgili yerlerinde doğru zamanda gözükmesi için kullanılmıştır. Şekil 3.56.'da anlatılan yöntem ile oluşturulmuş uygulama filminden bir kare görülmektedir.



**Şekil 3.56.** Uygulama filminden elektrik sinyallerinin görüldüğü bir sahne.  
**Kaynak:** Emin Bakan arşivi.

Uygulama filminde yer alan uyarıcı etkisinde akson ve dendirit arasındaki sinyal iletimi animasyonu sahnesi temelde üstte anlatılan yöntemlerle üretilmiş olup bazı yönlerden farklılıklar içermektedir.

Bu sahnede görünen uyarıcılar Cinema 4D programı polygon modelleme araçlarıyla oluşturularak iki clone objesiyle çoğaltılmıştır. Bu clone objelerinden ilki hücreler arası sıvının içinde serbest olarak dolaşımda bulunan uyarıcı parçacıkları için kullanılmıştır. Diğer clone nesnesi ise, dendirit kanallarını tıkayarak hormonların bağlanmasını engelleyen uyarıcı parçacıkları için kullanılmıştır. Bu noktada parçacık simülasyonuna da müdahale edilmiştir. Simülasyonda emitter tarafından üretilen parçacıklar RAE işleminden sonra dendirite doğru gravity modifier vasıtasıyla hareket ederken, target modifierın etkisine girerek uyarıcılar tarafından tıkanmış olan dendirit kanallarına bağlanma eğiliminde oldukları görünmüştür. Bu nedenle, parçacıkların yaratılma aşamasında X-Particle eklenti yazılımının bir özelliği olan gruplandırma özelliği kullanılmıştır. Bu özellik sayesinde yaratılan parçacıklar iki guruba ayrılarak sadece bir gruptaki parçacıkların dendirit kanallarına bağlanması sağlanmıştır (Şekil 3.57.).



Şekil 3.57. Dendrit kanallarına bağlanan uyarıcı ve hormonlar.

Kaynak: Emin Bakan arşivi.

Üstte bahsedilen yöntemlerle hazırlanan sahneler render edildikten sonra Adobe After Effects programında kurgulanmış ve renk düzenlemeleri (color

correction) yapıldıktan sonra ses efektleri eklenerek araştırmanın uygulama filmi tamamlanmıştır.

#### 4. SONUÇ

Son yıllarda bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte kolaylıkla üst düzey animasyon programlarına ulaşılarak birçok animasyon filmi üretilmektedir. Bu teknolojik gelişmeler, çeşitli tanıtım filmleri, eğitim videoları gibi marka imajını olumlu yönde etkileyen tıp alanında ürün geliştiren firmalar için hazırlanmış medikal animasyon filmlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Önceleri daha çok alanında uzman kişiler için yapılan medikal animasyon filmleri, günümüzde hasta bilgilendirmek için daha basit düzeyde içeriklere sahip filmler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür filmlerle hasta, yapılacak cerrahi müdahalenin aşamalarını, iyileşme sürecinde nelere dikkat etmesi gerektiğini veya bu süreçte alması gereken ilaçların vücuduna etkileri gibi bilgileri daha anlaşılır bir şekilde kavrayabilmektedir.

Medikal animasyon, tıp alanında eğitim gören öğrencilerin ve bu alanda pratik yapması gereken doktorların da eğitiminde kullanılmaktadır. Halen kadavra üzerinden verilebilen bu eğitimler, kadvraya ulaşımın zor olması ve alternatif olarak kullanılan basit ameliyat modellerinin yeterli olmaması nedeniyle yarım kalmaktadır. Bu noktada alana özgü üretilmiş medikal animasyonlar eğitimin sürdürülmesi için önemlidir. Ayrıca medikal animasyonlar, çeşitli kontrol ve görüntüleme araçları ve sensörlerle oluşturulmuş simülasyon yazılımları, eğitim alan kişinin, cerrahi operasyonlarda gerekli olan el-göz koordinasyonunu sanal hasta üzerinden deneyimlemesine olanak sağlamaktadır.

Medikal animasyon sıklıkla mikroskobik düzeyde olguların görselleştirilmesinde kullanılmaktadır. Genellikle güçlü mikroskoplarla bu olguların gözlenmesi, moleküler ve daha alt düzeylerde yetersiz kalmaktadır. Bu sorunun aşılmasında temel bilimler (kimya, fizik vb.) ve medikal animasyon araçlarının bir arada kullanımı bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bir hastalığın fizyolojik yapısı veya bu hastalık için üretilmiş ilacın çalışma mekanizması gibi olgular medikal animasyonlar ile anlatılabilmektedir. Yapılan bu animasyonlar genellikle olay örgüsünün basitleştirilmiş bir kurgusuyla anlatılır.

Özellikle ilaç sektöründe araştırma-geliştirme yapan firmalar bu sayede ürünlerinin tanıtımını yapabilmektedirler.

Medikal animasyon filmleri toplumu bilinçlendirmek için de kullanılabilirler. Bu tür filmleri, halka açık alanlarda ya da toplu taşıma araçlarında (tren, feribot, otobüs vb.) görmek mümkündür. Bu nedenle hayati önem taşıyan acil durumlarda toplumsal bilinç oluşturulmaktadır.

Yüksek teknoloji ürünü medikal görüntüleme sistemleri (ultrason, MRI, 3 Boyutlu tarayıcı vb.) yardımıyla oluşturulan 3 Boyutlu görüntüler ve bilgisayar animasyon programları aracılığıyla diş implantları, protez kol, kemik rekonstrüksiyon vb. gibi medikal uygulamalar ile hastaya özel uzuvların tekrar oluşturulması veya tedavisi sağlanmaktadır. Ayrıca adli tıp alanında zarar görmüş bedenlerin bütünlüğünün sağlanması, suç alanı yeniden oluşturulması, kan lekesi yapı analizi (bloodstain pattern analysis) simülasyonlarında da bilgisayar animasyonlarından yararlanılmaktadır.

Sonuç olarak, Dünya'nın en büyük sektörlerinden biri olan medikal alanda, marka bilinirliği, ürün geliştirme, simülasyon uygulamaları gibi ürünlerle bilgisayar animasyonunun etkin kullanımının Türkiye'ye önemli katkılarda bulunacağı açıktır. Medikal animasyon, tıp bilimi ve animasyon sanatını bir araya getirerek oluşturulmuş disiplinler arası bir alandır.

İnsan hayatı söz konusu olduğundan hedef aldığı kitle düşünüldüğünde, medikal alanda üretilen animasyon filmlerinin bilimsel doğruluk içermesi gerekmektedir. Dünya'da bu alanda eğitim veren disiplinler arası kurumlar bulunmasına karşın ülkemizdeki bu alandaki çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Ülkemizde üretilen medikal animasyon filmleri genellikle, üretilecek konunun uzmanı ve animatörün bir araya gelmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu alanda hem animasyon hem de temel tıp eğitiminin verildiği disiplinler arası eğitim kurumlarının kurulması sektörün sağlam temeller üzerine inşa edilmesi için mutlaka gereklidir.

Medikal animasyon basit anlamda bilimsel bir görselleştirme süreci olmaktan çok, yaratıcı süreçleri kapsamaktadır. Medikal animasyon sanatçıları özellikle moleküler ve daha alt düzeyde, sınırları kesin olmayan bir alanda çalışmaktadırlar. Ancak elektron mikroskoplarıyla görüntülenebilen bu alan,

mikroskobun verimli çalışabilmesi için hareketsizdir. Ayrıca alınan görüntüler renk bilgisi içermez. Nesnelere birbirinden ayırmak için sonradan renklendirilen görüntüler, gelişen medikal animasyon yöntemleriyle bu amacı yaratıcı süreçlerle birleştirip farklı bir gerçekliğin doğmasına neden olmuştur. Bu alanda filmler üreten animatör, genel mekanizma ve temel bilimlere bağlı kalmak koşulu ile özgürce model, doku ve animasyonlar üretebilir. Bu noktada, prosedüralizmin rastlantısal sonuçları, bu yapay gerçekliği görsel anlamda genişleterek, arasından seçim yapmamıza olanak sağlaması yönünden en önemli medikal animasyon üretim araçlarının başında yer almaktadır.

## KAYNAKÇA

- Berghel, H. (2016, Mart 23). *Judson Rosebush on Computer Graphics and Animation*. IEEE Computer Society: <http://www.computer.org/csdl/mags/co/2014/12/mco2014120095.pdf> adresinden alındı
- Bingül, A. (2016, Nisan 1). *C Programlama Dili'ne Giriş*. Gaziantep Üniversitesi: <http://www1.gantep.edu.tr/~bingul/c/?ders=24> adresinden alındı
- Collins, D. M., Cotton, F. A., Hazen, E. E., Meyer, E. F., & Morimoto, C. N. (1975). Protein Crystal Structures: Quicker, Cheaper Approaches. *Science*, 1047.
- Diaz, L. (2011). By chance, randomness and indeterminacy methods in art and design. *Journal of Visual Art Practice*, 10(1), 21-33.
- Fractal Foundation. (2016, Nisan 6). *Branching Fractals*. Fractal Foundation: <http://fractal.foundation.org/OFC/OFC-1-1.html> adresinden alındı
- Griggs, M. (2012). Understand Fluid Dynamics Systems. *3D World*(160), 82.
- Güçlü, A., Uzun, E., Uzun, S., & Yolsal, Ü. H. (2003). *Felsefe Sözlüğü*. Ankara: Bilim ve Sanat Yayınları.
- Haggett, M. (2016, Nisan 6). *About*. Mandelbulb: <http://mandelbulb.com/about/> adresinden alındı
- Hahn, J. K. (1988, Ağustos). Realistic Animation of Rigid Bodies. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 299. Haziran 17, 2014 tarihinde [http://www.utdallas.edu/atec/midori/Handouts/procedural\\_animation\\_files/J\\_Hahn\\_SIGG88.pdf](http://www.utdallas.edu/atec/midori/Handouts/procedural_animation_files/J_Hahn_SIGG88.pdf) adresinden alındı
- Hayes, B. (2001, Nisan 1). Randomness As A Resource. *American Scientist*, 300-304. American Scientist: <http://www.americanscientist.org/issues/pub/2001/4/randomness-as-a-resource/2> adresinden alındı
- Hughes, J. F., Dam, A. V., Mcguire, M., Sklar, D. F., Foley, J. D., Feiner, S. K., & Akeley, K. (2014). *Computer Graphics Principles And Practise* (3 b.). Ohio, Willard: Addison-Wesley.
- Hürriyet Haber. (2016, Haziran 19). *On yılda üç kişi kadavra olmak istedi*. Hürriyet: <http://www.hurriyet.com.tr/on-yilda-uc-kisi-kadavra-olmak-istedi-38425461> adresinden alındı
- IBM. (2016, Nisan 6). *Fractal Geometry*. IBM at 100: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/fractal/> adresinden alındı
- Koepfel, D. (2002). Massive Attack. *Popular Science*(261), 40-41.
- Kuenzli, R. E. (1987). Introduction. *Dada and Surrealist Film* (s. 10). içinde New York: Willis Locker & Owens.

- Li, X., Leung, L., Kwan, A. C.-T., Zhang, X., Kahanda, D., & Anshel, M. (2016, Nisan 1). *Post-Quantum Key Exchange Protocols*. Cornell University Library: <http://eprint.iacr.org/2014/599.pdf> adresinden alındı
- Metropolis, N. (2016, Nisan 1). *The Beginning Of The Monte Carlo Method*. Stanford University: <http://jackman.stanford.edu/mcmc/metropolis1.pdf> adresinden alındı
- Mizuno, R. (2016, Nisan 6). *Branching: L-system Tree*. Ryoichi Mizuno - Scientific Computer Graphics: <http://www.mizuno.org/applet/branching/> adresinden alındı
- Moles, A. (2012). *Belirsizliğin Bilimleri: İnsan Bilimleri İçin Yeni BİR Epistemoloji*. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.
- Moore, H. (2016, Nisan 4). *What is noise?* Stanford University: [http://web.stanford.edu/~hyatt4/research/school\\_projects/CS448X/What\\_Is\\_Noise.html#WhatIsNoise](http://web.stanford.edu/~hyatt4/research/school_projects/CS448X/What_Is_Noise.html#WhatIsNoise) adresinden alındı
- National Institutes of Health. (2016, Aralık 1). *The Brain: Understanding Neurobiology*. National Institutes of Health: <https://science.education.nih.gov/supplements/nih2/addiction/guide/lesson2-1.html> adresinden alındı
- Ostherr, K. (2012). Operative Bodies: Live Action and Animation in Medical Films of the 1920s. *Journal of Visual Culture SAGE Publications*, 11(3), 352-377.
- Parent, R. (2008). *Computer Animation: Algorithms & Techniques* (2 b.). Massachusetts: Morgan Kaufmann Publishers.
- Perlin, K. (2016, Nisan 4). *History*. Noise Machine: <http://www.noisemachine.com/talk1/4.html> adresinden alındı
- Petrovic, L., Henne, M., & Anderson, J. (2016, Haziran 19). *Volumetric Methods for Simulation and Rendering of Hair*. Haziran 23, 2014 tarihinde Pixar: <http://graphics.pixar.com/library/Hair/paper.pdf> adresinden alındı
- Reeves, W. T. (1983). A Technique for Modelling a Class of Fuzzy Objects. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*(17), 359-375.
- See, L.-C., Chang, Y.-H., Chuang, K.-L., Lai, H.-R., Peng, P.-I., Jean, W.-C., & Wang, C.-H. (2011). Animation program used to encourage patients or family members to take an active role for eliminating wrong-site, wrong-person, wrong-procedure surgeries: Preliminary evaluation. *International Journal of Surgery*, 241-247.
- Somasekaran, S. (2005). *Using Particle Systems to Simulate Real-Time Fire*. The University of Western Australia, School of Computer Science and Software Engineering.
- Türk Dil Kurumu. (2016, Mart 23). *Güncel Türkçe Sözlük*. Türk Dil Kurumu: [http://www.tdk.org.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.56f27d1cd158f3.00012565](http://www.tdk.org.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.56f27d1cd158f3.00012565) adresinden alındı

- Vernon, T., & Peckham, D. (2002). The Benefits of 3D Modelling And Animation in Medical Teaching. *Journal of Audiovisual Media in Medicine*, 25(4), 142-148.
- Zucker, M. (2016, Nisan 4). *The Perlin Noise Math FAQ*. Internet Archive: <https://web.archive.org/web/20150607183420/http://webstaff.itn.liu.se/~stegu/TNM022-2005/perlinnoiselinks/perlin-noise-math-faq.html>  
adresinden alındı
- Zwar, C. (2016, Nisan 6). *Fractal Noise - A new look at an old friend*. Creative Cow: [https://library.creativecow.net/articles/zwar\\_chris/fractal\\_noise.php](https://library.creativecow.net/articles/zwar_chris/fractal_noise.php)  
adresinden alındı