



**GLİOMA BEYİN TÜMÖRÜ MODELİNİN  
FİZİK BİLGİLİ SİNİR AĞI İLE ÇÖZÜMÜ**

**Berrin ŞENLİK**

**Yüksek Lisans Tezi  
Matematik Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Harun SELVİTOPI**

**2025**

**Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GLİOMA BEYİN TÜMÖRÜ MODELİNİN FİZİK BİLGİLİ SINIR AĞI İLE  
ÇÖZÜMÜ**

**Berrin ŞENLİK**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Harun SELVİTOPI**

**Anabilim Dalı: Matematik**

**Erzurum**

**2025**

**Her hakkı saklıdır**

T.C.  
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TEZ ONAY FORMU

---

**GLİOMA BEYİN TÜMÖRÜ MODELİNİN FİZİK BİLGİLİ SINIR AĞI İLE  
ÇÖZÜMÜ**

Doç. Dr. Harun SELVİTOPI danışmanlığında, Berrin Şenlik tarafından hazırlanan bu çalışma 12 / 06 / 2025 tarihin de aşağıdaki jüri tarafından Matematik Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği ile (3/3)** kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İbrahim Yücel ÖZBEK *İmza* :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Işıl Karabey AKSAKALLI *İmza* :

Üye : Doç. Dr. Harun SELVİTOPI *İmza* :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

**Doç. Dr. Bünyamin ÖZGERİŞ**  
Enstitü Müdürü

\*Bu tez çalışması ..... tarafından ..... nolu proje ile desteklenmiştir.

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

12 / 06 / 2025

İmzası

Berrin ŞENLİK

## ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# GLİOMA BEYİN TÜMÖRÜ MODELİNİN FİZİK BİLGİLİ SINIR AĞI İLE ÇÖZÜMÜ

Berrin ŞENLİK

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Matematik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Harun SELVİTOPI

Yapılan çalışmaları incelediğimizde görüyoruz ki, tıp ve biyoloji alanındaki problemleri Fizik Bilgili Sinir Ağı Yöntemi (FBSA) ile matematiksel olarak modellenmektedir. İnsanların hayatını tehdit eden beyin tümörlerinin erken tanı ve teşhisi için FBSA kullanılmıştır. Bu çalışmada beyin tümörü hücrelerini zaman ve konum olarak yayılımını ifade eden doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemleri temel alarak problemleri bir ve iki boyutta FBSA çözümleri ele alınmıştır.

**2025, 45 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Beyin, Glioma Beyin tümörü, FBSA

## **ABSTRACT**

MS. Thesis

### **SOLUTION OF GLIOMA BRAIN TUMOR MODEL USING PHYSICS INFORMED NEURAL NETWORK**

Berrin ŞENLİK

Erzurum Technical University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Maths

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Harun SELVİTOPI

When we examine the studies conducted, we observe that problems in the fields of medicine and biology are mathematically modeled using the Physics-Informed Neural Networks (PINN) method. PINNs have been used for the early diagnosis and detection of brain tumors, which pose a serious threat to human life. In this study, the problem is addressed by solving one- and two-dimensional cases using PINN based on nonlinear partial differential equations that describe the spatial and temporal spread of brain tumor cells.

**2025, 45 page**

**Keywords:** Brain, Glioma Brain tumors, PINN

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmaları boyunca yol göstericiliği, bilgi ve tecrübeleriyle beni destekleyen, süreçteki sabrı ve desteğiyle her zaman yanımda olan yüksek lisans tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Harun SELVİTOPI' ye, bu uzun ve meşakkatli yolculukta verdiği değerli katkılar için en derin şükranlarımı sunarım.

Tez jürimde yer alan ve değerli fikirleri ile katkı sunan Prof. Dr. İbrahim Yücel ÖZBEK ve Dr. Öğr. Üyesi Işıl KARABEY hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, eğitim hayatım boyunca bana inanan, sürekli destek olan ve her zaman varlıklarıyla arkamda duran, yüksek lisans sürecimde çocuğumla yakından ilgilenen ve tezimi bitirmeye yakın vefatı ile beni derinden üzen canım babam Metin KUŞELİ' ye, aynı fedakarlıkları gösteren canım annem Bilgin KUŞELİ' ye, değerli eşim Serkan ŞENLİK' e ve bu süreçte anne sen ders çalış deyip çocukluk yıllarından vefakarlık yapan biricik oğlum Saltuk Eymen ŞENLİK' e, her konuda yanımda olan abilerime, ablama, diğer yarım dediğim yeğenim Merve BAYRAMOĞLU' a ve diğer yeğenlerime hayatımda oldukları için sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım

**Berrin ŞENLİK**  
**Haziran 2025**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                              | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>ÖZET</b> .....                                                            | i            |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                        | ii           |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....                                                        | iii          |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....                                                     | iv           |
| <b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....                                  | v            |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....                                                 | vi           |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....                                               | viii         |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....                                                        | 1            |
| 1.1. Beynin Genel Yapısı ve Bölümleri .....                                  | 3            |
| 1.2. Beyin Tümörünün Tarihi.....                                             | 5            |
| 1.3. Beyin Tümörü ve Çeşitleri .....                                         | 6            |
| 1.3.1. Birincil beyin tümörleri.....                                         | 6            |
| 1.3.2. Metastatik beyin tümörleri .....                                      | 8            |
| 1.3.3. Beyin tümörü tipleri .....                                            | 8            |
| <b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....                                              | 15           |
| <b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....                                           | 20           |
| 3.1. Fizik Bilgisi Sinir Ağları Modeli ile Tarihi.....                       | 20           |
| 3.2. Fizik bilgili sinir ağları modeli.....                                  | 24           |
| 3.3. İki Boyutta Fizik Bilgisi Sinir Ağı Modeli .....                        | 26           |
| 3.4. Fizik Bilgili Sinir Ağları Modelinin Avantajları ve Dezavantajları..... | 29           |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA</b> .....                              | 30           |
| <b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....                                            | 42           |
| <b>KAYNAKLAR</b> .....                                                       | 43           |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| $\partial\Omega$ | Sınır Şartı          |
| $\Delta x$       | Adım Boyutu          |
| $C_{\max}$       | Maksimum Yoğunluk    |
| $R$              | Reel Sayılar         |
| $U_{\max}$       | Maksimum Yoğunluk    |
| $\varepsilon$    | Yayılım Parametresi  |
| $\theta$         | Ağ Parametresi       |
| $\mu$            | Difüzyon Katsayısı   |
| $\rho$           | Günlük Çoğalma Oranı |
| $\Omega$         | Tanım Bölgesi        |

### Kısaltmalar

|      |                            |
|------|----------------------------|
| FBSA | Fizik Bilgili Sinir Ağı    |
| KDD  | Kısmi Diferansiyel Denklem |
| YSA  | Yapay Sinir Ağı            |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Beyindeki nöron hücrelerinin (sinir ağları) görseli .....                                                                                                                                                    | 1  |
| Şekil 1.2. 2020 yılı en çok görülen 10 kanser (Yaşa standardize hız/100.000 kişide). ....                                                                                                                               | 2  |
| Şekil 1.3. Cinsiyete göre en sık görülen kanserlerin yüzde dağılımları (T.C. Sağlık Bakanlığı Veri Tabanı 2020). ....                                                                                                   | 2  |
| Şekil 1.4. Beynin genel yapısını ve bölümlerinin görseli .....                                                                                                                                                          | 3  |
| Şekil 1.5. Beyin de meydana gelen tümörlere ait aksiyel ve sigittal (Dandıl 2015). ....                                                                                                                                 | 6  |
| Şekil 1.6. Astrosit şekli ( <a href="https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1">https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1</a> ). ....         | 9  |
| Şekil 1.7. Oligodendrogliom şekli ( <a href="https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim-noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1">https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim-noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1</a> ). .... | 10 |
| Şekil 1.8. Ependimal hücreler ( <a href="https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1">https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1</a> ). ....     | 10 |
| Şekil 1.9. Glial tümörleri ( <a href="https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1">https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1</a> ). ....        | 11 |
| Şekil 1.10. Medulloblastoma tümörü ( <a href="https://www.oaepublish.com/article/s/jtgg.2018.21">https://www.oaepublish.com/article/s/jtgg.2018.21</a> ). ....                                                          | 12 |
| Şekil 1.11. Meningiom tümörü ( <a href="https://norosirurji.dergisi.org/pdf/pdf_TND_703.pdf">https://norosirurji.dergisi.org/pdf/pdf_TND_703.pdf</a> ) ....                                                             | 12 |
| Şekil 3.1. Glioblastoma beyin tümörü (Murari et al. 2025). ....                                                                                                                                                         | 24 |
| Şekil 3.2. x konumuna t zamanına bağlı FBSA modeli ( <a href="https://www.canva.com/">https://www.canva.com/</a> ) ....                                                                                                 | 25 |
| Şekil 3.3. (x, y) konumuna ve t zamanına bağlı FBSA modeli ( <a href="https://www.canva.com/">https://www.canva.com/</a> ) ....                                                                                         | 27 |
| Şekil 4.1. Fizik bilgini sinir ağı modelinin farklı zamanlarda ( $t = 0, 0.5, 1$ ) yaptığı tahminleri ve analitik (sayısal) çözümlerle karşılaştırılması. ....                                                          | 32 |
| Şekil 4.2. 10.000 iterasyonda modelimizin veri hata değerleri. ....                                                                                                                                                     | 33 |
| Şekil 4.3. 10.000 iterasyonda modelimizin fiziki hata değerleri ....                                                                                                                                                    | 33 |
| Şekil 4.4. 10.000 iterasyonda modelimizin toplam hata değerleri. ....                                                                                                                                                   | 33 |
| Şekil 4.5. FBSA modelinin $t=1, t=50, t=100$ zamanlardaki analitik çözümü. ....                                                                                                                                         | 36 |
| Şekil 4.6. FBSA modelinin $t=700, t=800, t=1000$ zamanlardaki analitik çözüm. ....                                                                                                                                      | 36 |
| Şekil 4.7. 10.000 iterasyonda modelimizin fizik hata değerleri ....                                                                                                                                                     | 37 |
| Şekil 4.8. 10.000 iterasyonda modelimizin veri hata değerleri. ....                                                                                                                                                     | 37 |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.9.</b> 10.000 iterasyonda modelimizin toplam hata değerleri.....                                                             | 37 |
| <b>Şekil 4.10.</b> 30.000 iterasyonda modelimizin veri hata değerleri.....                                                              | 39 |
| <b>Şekil 4.11.</b> 30.000 iterasyonda modelimizin fizik hata değerleri .....                                                            | 39 |
| <b>Şekil 4.12.</b> 30.000 iterasyonda modelimizin toplam hata değerleri.....                                                            | 40 |
| <b>Şekil 4.13.</b> 2-Boyutlu Glioma Tümör Büyüme Modelinin FBSA yöntemi ile $t = 1$ (sol)<br>ve $t = 50$ (sağ) gün için çözümü. ....    | 40 |
| <b>Şekil 4.14.</b> 2-Boyutlu Glioma Tümör Büyüme Modelinin FBSA yöntemi ile $t = 100$<br>(sol) ve $t = 700$ (sağ) gün için çözümü. .... | 40 |
| <b>Şekil 4.15.</b> 2-Boyutlu Glioma Tümör Büyüme Modelinin FBSA yöntemi ile $t = 800$<br>(sol) ve $t = 1000$ (sağ) gün için çözümü..... | 41 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 1.1.</b> Beyin tümörlerinin evrelerine göre özellikleri ( American Brain Tumor Association 2015; Dandıl 2015).....            | 8  |
| <b>Çizelge 1.2.</b> Astrositomların evrelerine göre çeşitleri ve özellikleri ( American Brain Tumor Association 2015; Dandıl 2015) ..... | 9  |
| <b>Çizelge 4.1.</b> Farklı iterasyon sayılarının farklı katmanlara göre zaman ve hata miktarları karşılaştırılması. ....                 | 34 |



### 1. GİRİŞ

Günümüzün en sık görülen ve ölüm oranı fazla olan hastalıklardan biri kanserdir (Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı Dergisi 2021). Kanser, hücrelerin yer aldığı dokuda kontrolsüz şekilde artarak meydana gelen doku kitlesidir.



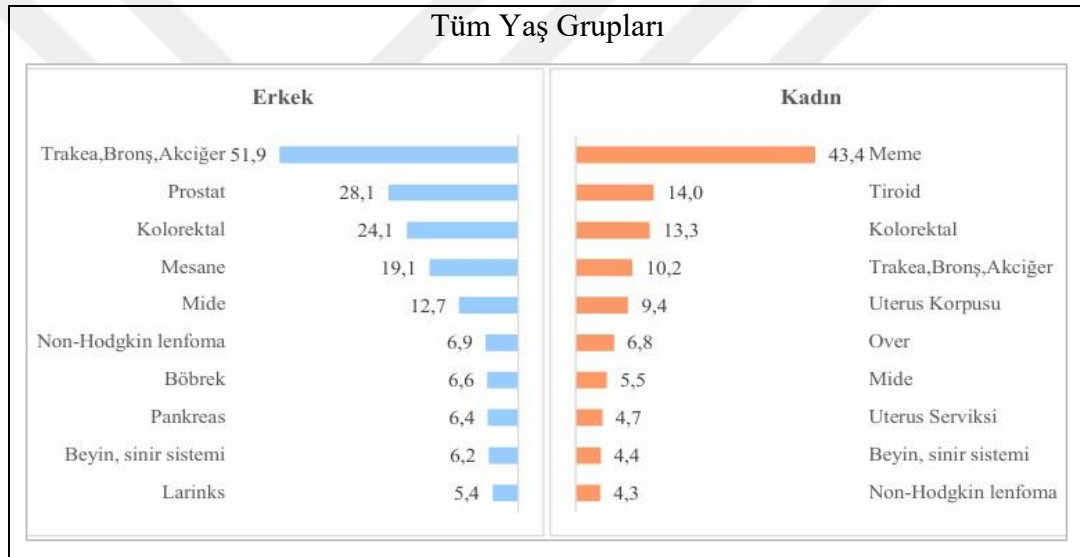
**Şekil 1.1.** Beyindeki nöron hücrelerinin (sinir ağları) görseli

Birkaç durumda ise kitlelerin vücudumuzdaki başka organlara da dağıldığı hastalık grubunun yaygın ismidir. Bu hastalık sağlıksız beslenme, çok fazla sigara kullanımı ve alkol tüketimi, havanın kirli olması, yiyeceklerdeki katkı maddeleri gibi çevresel faktörlerden dolayı gün geçtikçe de ölüm oranını artırmaktadır (Dandıl 2015).

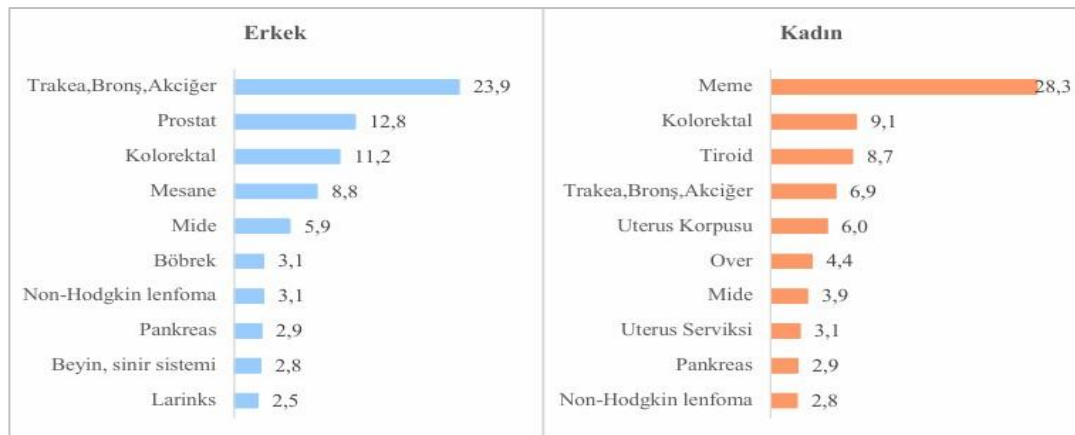
Kanserli hücrelerin kontrolsüz bir şekilde gelişmesi sonucunda tümör oluşumu meydana gelir (Özügürlü 2015). Beyin de oluşan tümör kontrolsüz şekilde artıp vücut için en önemli organlardan biri olan beyinin işleyişini engellemektedir (Mohsen et al. 2018). Beyinde oluşan tümör kafatasına baskı yaparak sağlıklı hücrelerin zarar görmesine sebep olur. Beyin tümörleri iyi huylu beyin tümörleri ve kötü huylu beyin tümörleri olarak ikiye ayrılmaktadır. İyi huylu beyin tümörleri mikroskopla bakıldığında normal görümlü ve yavaş büyüyen hücrelerden oluşur. Kötü huylu beyin tümörü ise hızlı büyüyen hücrelerden oluşmaktadır (American Brain Tumor Association 2015).

## 1. GİRİŞ

Beyin tümörünün hasta kişilerin beyinde oluşan bozuklukları öğrenmek amacıyla 111 hasta incelenerek araştırma yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda hastalarda en çok karşılaşılan belirtiler baş ağrısı, nöbetler, zayıflık, duyuşsal kayıp, afazi, görsel- uzamsal işlev bozukluğu, bilişsel işlev bozukluğu, artan kafa içi basınçtır. En yaygın belirti baş ağrısı kalitesi gerginlik tipi (%40 – %80) ve onu takip eden migrendir (%10). Nöbetlerden frontal nöbet, primer ve metastatik beyin tümörlerinin en yaygın semptomları arasındadır. Nöbetler, primer beyin tümörleri olan hastaların yüzde 50 ile 80’ ini ve metastatik tümörlü hastaların yüzde 10 ile 20 sine etki eder. Farklı yaşta birçok kişiyi etkileyebilmektedir. Beyin tümörünün her kişide gösterdiği etki ve tedavi süresi değişik olabilir (Aswathy 2017).

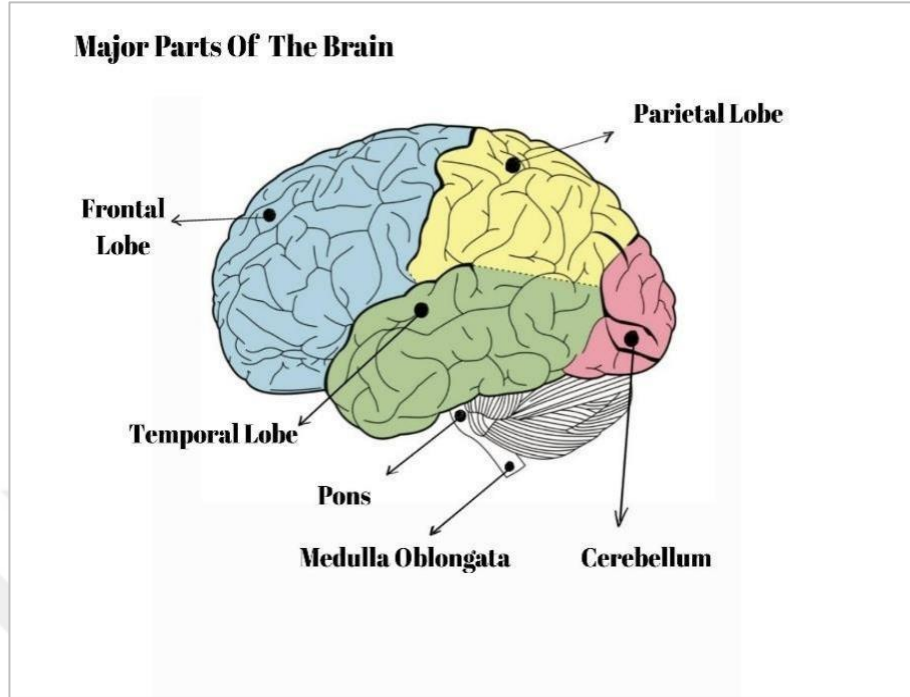


**Şekil 1.2.** 2020 yılı en çok görülen 10 kanser (Yaşa standardize hız/100.000 kişide).



**Şekil 1.3.** Cinsiyete göre en sık görülen kanserlerin yüzde dağılımları (T.C. Sağlık Bakanlığı Veri Tabanı 2020).

### 1.1. Beynin Genel Yapısı ve Bölümleri



**Şekil 1.4.** Beynin genel yapısını ve bölümlerinin görseli

Beyin, birbirine benzeyen aynı işi gören hücre toplulukları tarafından bir araya gelerek dokuların oluşmasına yardımcı olmaktadır. Bu dokular omuriliği destekleyen sinir sistemlerinden meydana gelerek beyinin oluşmasını sağlamaktadır. Ayrıca beyin yumuşak bir yapıya sahiptir (American Brain Tumor Association 2015).

Tam olarak tanımlamak istersek vücudumuzun sinir merkezi diye biriz. İçerisinde milyarlarca nöron vardır. Vücudumuz ve çevremizden bize farkında olduğumuz ya da olmadığımız bir sürü hareket, duygu ve düşünce hakkında bilgi vermektedir. Aynı anda birçok şey yapabilir. Araba sürerken aksam yapacağı sunumu aklından tasarlaya bilmektedir. Bunları aynı anda yapabiliriz. Çünkü beynimiz aynı anda birçok şeyi düşünmemizi sağlayacak bölümlerden oluşmaktadır. Hepsi hayatımızın her anını yönetmek için görevlendirilmiştir (Facts 2012).

Beynimiz benliğimizi, duygularımızı, vücut fonksiyonlarımızı ve hareketlerimizi kontrol etmektedir. Beynimizin bölümlerini ve işleyişini öğrenmemiz bize beyin tümörlerinin tanı ve tedavisi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır (American

## 1. GİRİŞ

---

Brain Tumor Association 2015). Beynimizin ön kısmı büyük beyindir (serebrum). Bu kısım sağ ve sol diye iki bölüme ayrılmaktadır. Sağ ve sol yarım küreler aralarındaki sinir lifleri ile birbirleri arasında bilgi alışverişi yapmaktadır. Aralarındaki bağlantıya corpus callosum denir (Facts 2012).

Şekil 1.4 de yukardaki şekil beynimizin önemli bölümlerini göstermektedir (American Brain Tumor Association 2015).

**Frontal (ön) Lobe:** Beynin ön tarafında, gözlerin hemen üzerinde yer almaktadır. Bu kısımda istemli yaptığımız hareketleri, konuşma becerileri, hafıza ve bunlara benzer yüksek bilişsel becerileri ayarlamakta görev alır (Facts 2012; Dandıl 2015).

**Parietal (yan) Lobe:** Ön lobun arka kısmında yer almaktadır. Tat alma, dokunma gibi duysal girdileri ve görsel bilgileri işleme gibi görevini yerine getirmekte görev alır (Facts 2012; Dandıl 2015).

**Temporal (şakak) Lobe:** Beynin her iki yan taraflarında bulunur. Kıvrımlı bir yapıya sahiptir ve orda anıları saklar. Bazı görsellerin gerçekleştiği ve işitsel bilgilerin yorumlandığı yerdir (Facts 2012; Dandıl 2015).

**Occipital Lobe:** Beynin arka bölümünde yer almaktadır. Renk, şekil ve diğer görsel anlamdaki bilgilerin anlaşılması ve yorumlanması bu kısımda meydana gelmektedir (Facts 2012; Dandıl 2015).

**Pons:** Beyin sapının bulunduğu bölgede yer alır. Omurilik soğanı ile ön beyin arasında sinir iletimini sağlayan kısımdır (Facts 2012).

**Medulla Oblongata (Omurilik soğanı):** Beyin sapının bir parçasıdır. İstemsiz olarak meydana gelen kusma, hapşırma gibi bedensel hareketler için önemli bir bölgedir (Facts 2012; Dandıl 2015).

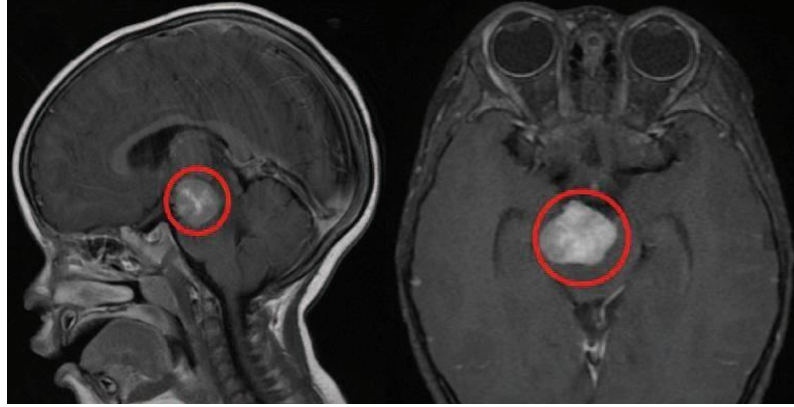
**Cerebellum (beyincik):** Beyin ile beyin sapı arasında olup beyinin ikinci büyük kısmı olarak adlandırılmaktadır. Bilinçli olarak yapılan hareketleri koordine etmekle görevlidir. Omurilik ve beyinin diğer kısımlarından iletilen bilgilerini toplayarak motor becerilerini ayarlamaktadır. Yeni motor becerileri öğrenmede görev almaktadır. (Facts 2012).

### 1.2. Beyin Tümörünün Tarihi

Beyin tümörleri son yıllarda daha sık görülmektedir. Dahası beyin tümörleri yüksek gelişmişlik düzeyine sahip ülkelerin ölüm oranları ile bağlantılıdır. Dünya Sağlık Örgütü kırk yılı aşkın süre öncesinde yayınlanan ilk kılavuzda Merkezi Sinir Sistemleri (CNS) tümörlerinin gruplandırılmasında öncülük yapmıştır. Bu sınıflandırmalar doktorlara hastalığın önceden öngörülmesine ve tedavi hakkında bilgi edinmelerine katkı sağlamaktadır. Zamanla yapılan sınıflandırmalar yeterli olmamıştır. 2016 yılında gelen güncellemelerle tümör belirteçlerin eklenmesiyle sonuca varılmıştır.

Tümörler Birimini oluşturmak için 1983'te ilk adımı Dr. Edward Laws attı ve Nörolojik Cerrahlar Kongresinin başkan adayı oldu. Beyin tümörüne özel bir alt kısma ihtiyaç olduğunu söyleyerek Dr. Mark Rosenblum' u bu birime aldı. Birçok toplantı yapıldı. Bu toplantıların amacı nöro-onkoloji alanında nöro cerrahlara yardımcı olup AANS VE CNS gibi kuruluşlara bir alt birimin kurulmasını sağlamaktır. Bu çabalar sayesinde 1994 yılında Amerikan Nöroloji Akademisinde Nöro -Onkoloji bölümü kurulurken 1995 yılında Nöro-Onkoloji Derneği kuruldu. 2011 yılında İki Yıllık Tümör Uydu Sempozyumları düzenlenmiştir. Bu sempozyumlar tümör bölümündeki araştırmaların gelişmesinde etkili olmuştur. 2021 yılında WHO tarafından yayınlanan kılavuzda CNS 5 tümörlerin genetik faktöründen doğan ihtiyaçlarını daha da geniş bir alana yayılmıştır (WHO 2021; Parney et al. 2024).

### 1.3. Beyin Tümörü ve Çeşitleri



**Şekil 1.5.** Beyin de meydana gelen tümörlere ait aksiyel ve sigittal (Dandıl 2015).

Beyin tümörü kontrolsüz hücrelerin çoğalması sonucunda oluşur. Her yaşta insanın hayatında karşılaşılabilecek ihtimali olan bir hastalıktır. Hastalığın insan vücuduna etkisi ve tedavi süreçleri farklılık gösterebilir. Tümör beynin herhangi bir kısmında değişik şekilde ve farklı boyutta olabilir. Kanser hastalığı kişinin ölümüyle sonuçlanabilir. Beyin tümörü tedavisinde kemoterapi, radyasyon ya da her ikisi birlikte kullanılır. Beyin tümöründe hastalığın erken teşhisi hayati önem taşır (Labouvie-Vief 2015). Beyin tümörü temel olarak iki çeşittir. Birincil beyin tümörleri ve metastatik beyin tümörleri.

#### 1.3.1. Birincil beyin tümörleri

Birincil beyin tümörleri, beyin veya merkezi olarak omurilik kanalında başlar ve genel olarak vücudun başka kısımlarına yayılma gerçekleştirmez (American Brain Tumor Association 2015).

Glioma, meningioma ve bunun gibi daha fazla kısımlara ayrılabilen türleri vardır. Bu türler tümörün bulunduğu yere, büyüme hızına ve boyutuna bağlıdır. Bunlar hastanın hayatta kalmasını ve hastanın prognozunu önemli şekilde etkilemektedir (Şimşek 2013). Genel olarak bilinen belirtilerden motor becerilerindeki eksiklikler, baş ağrıları, nöbetler ve görsel bozukluklar başlıca yer alan etkilerdir. Tedavi yöntemi olarak manyetik rezonans görüntüleme (MRG), bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları doğru tümör

sınıflandırması için bu teknikler kullanılır (Kuytu 2025). Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme çok iyi ayrıntı verdiği için tümörlerin teşhis ve takibinde daha sık kullanılmaktadır (Duşak vd 2014). GBM, astrositom, medulloblastom ve ependimom birincil beyin tümörlerinden bazılarıdır (Dandıl 2015).

Beyin tümörleri karakterine göre iyi huylu (Benign) ve kötü huylu (Malignant) olarak iki gruba ayrılmaktadır (American Brain Tumor Association 2015). İyi huylu beyin tümörleri, beynin hayatımızı etkileyecek bölgelerinde yer alabilir. Bu durumda olan tümörler belli kenarlara sahip olduğundan dolayı yayılması ender görülür ve yavaş büyümektedirler. Bu tümöre sahip hastalar kanser olmasalar bile tedavi altında olmalıdırlar. Çünkü zamanla kötüleşme ihtimalleri olabilmektedir (About Brain Tumors Association 2015). Tedavilerin de genel olarak cerrahi dekompresyon uygulanmaktadır (Şimşek vd. 2013).

Kötü huylu beyin tümörleri: Bu tümörlerin beyin ve omurga içine yayılabilen kanserli hücrelerden meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu tümörler hızlı büyüyen, zarar verici ve hayatı olumsuz etkileyecek şekildedir. Kötü huylu beyin tümörleri beyine ve omuriliğe dağılım gösterebilir. Fakat nadiren başka organlara yayılabilir. Tümörün agresif ve kötü huyluluk düzeyini anlamak için sınıflandırma yapmak iyi bir yöntem olarak seçilmektedir (American Brain Tumor Association 2015). Bu yöntemler uygun tedavi yöntemleri kullanarak sonuçların öngörmesine yardım etmektedir (Dandıl 2015).

Tümörler sınıf olarak I, II, III ve IV e ayrılır. Tümörleri derecelerine göre sınıflandırma yaparken en az kötü huylu olandan en yüksek olanına göre ayrılır. Dünya Sağlık Örgütü verilerindeki sınıflamaya göre I en az kötü huylu iken IV en fazla kötü huyludur (American Brain Tumor Association 2015). Aşağıdaki tabloda kötü huylu tümörlerin sınıflandırmaları ve özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 1.1.** Beyin tümörlerinin evrelerine göre özellikleri

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Evre I<br/>Tümör</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Evre III<br/>Tümör</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Yavaş büyüyen hücreler</li><li>• Mikroskop altında nerdeyse normal görünüm</li><li>• Genellikle uzun süre hayatta kalma</li><li>• Tedavi yapıldıktan sonra nadiren daha yüksek derecede tekrar etmesi</li><li>• Ploistik astrositom, kraniofaringiom, gangliositom, gangliogliom.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Aktif bir şekilde anormal hücre oluşturma</li><li>• Mikroskop altında anormal hücre görünümü</li><li>• Komşu normal beyin dokusuna sızma eğilimi gösterir.</li><li>• Tümörün tekrar etmesi eğilimi yüksektir.</li><li>• Anaplastik astrositom, anaplastik oligodendrogliom, anaplastik gangliom, anaplastik ependimom</li></ul> |
| <b>Evre II<br/>Tümör</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Evre IV<br/>Tümör</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Göreceli olarak yavaş büyüyen</li><li>• Mikroskop altında normal hücreye benzer görünüm</li><li>• Bitişğinde olan dokulara yayılır</li><li>• Yüksek dereceli tümör olarak yeniden ortaya çıkabilir.</li></ul>                                                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Hızlı artan anormal hücreler</li><li>• Mikroskop altında çok fazla anormal hücreler görünümü</li><li>• Yeni kan damarları oluşturarak hızlı büyüme</li><li>• Merkezinde yer alan ölü hücre alanları (nekroz) bulunur.</li></ul>                                                                                                 |

### 1.3.2. Metastatik beyin tümörleri

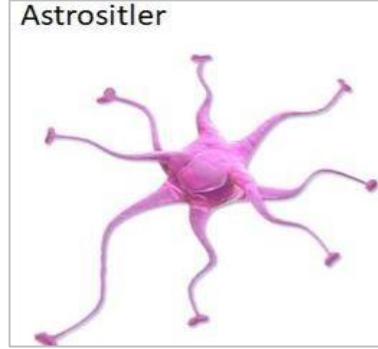
Metastatik beyin tümörü; vücudun başka yerlerinde başlayıp beyine hareket eden kanser türüne denir. Meme, akciğer, kolon ve cilt kanserlerine benzer kanser çeşitleri sürekli beyine kan yoluyla veya doğrudan yayılmaktadır. Bu tümörler kötü huylu beyin tümörüdür.

Beyindeki bölgelerin yanlış çalışmasından meydana gelir. En yaygın belirtisi baş ağrısı ve nöbetlerdir (American Brain Tumor Association 2015).

### 1.3.3. Beyin tümörü tipleri

Beyin tümörleri iyi huylu veya kötü huylu tümör olup olmadıklarına ve meydana geldiği yere ve yapısına göre adlandırılmaktadır (Dandıl 2015).

### Astrositom (Astrocytoma)



**Şekil 1.6.** Astrosit şekli (<https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1>).

Astrositomer, beynin destekleyici yapısını meydana getiren birleştirici olduğu düşünölen tümörlerdir. Tümör hücrelerinin mikroskop altında incelendiğinde ne kadar normal veya anormal olduğunu ifade etmek için derecelendirme yapılır. WHO astrositomer dört evreye ayırmıştır (American Brain Tumor Association 2015; Dandıl 2015; Strong et al. 2015).

**Çizelge 1.2.** Astrositomerin evrelerine göre çeşitleri ve özellikleri ( American Brain Tumor Association 2015; Dandıl 2015).

|                         |   |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|---|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Piloeytic Astrositom    | → | <b>Evre I</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Belli kenarları vardır.</li><li>• Bulunduğu kısımda kalırlar.</li><li>• Tüm gliomaların yaklaşık %5- %6 sını oluşturur.</li><li>• Ameliyat yapılarak başarılı iyileşmeye genellikle sağlanır.</li><li>• İyi huyludur.</li></ul>                                                 |
| Diffuse Astrositom      | → | <b>Evre II</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Tümörlü hücreler ve normal hücrenin birleşmesi ile anormal hücreler oluşur.</li><li>• Güvenli şekilde tümörlü bölge temizlenmek istense de genellikle ameliyattan sonra bölgesel radyasyon gerekli olabilir.</li><li>• İlerleyen durumda da kemoterapi uygulanabilir.</li></ul> |
| Anaplastic Astrositom   | → | <b>Evre III</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Anaplastic kötü huylu anlamına gelmektedir.</li><li>• Karışık hücreye sahip ve dağılma eğilimindedir.</li><li>• Bu evredeki tümörler erkeklerde kadınlardan daha fazla görülür.</li><li>• Tedavi olarak ilk ameliyat önerilir.</li></ul>                                        |
| Glioblastoma Multiforme | → | <b>Evre IV</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Glioblastomer etrafındaki beyin bölgelerine dağılır.</li><li>• Bu tümörler kan kaynağı ile beslenirler.</li></ul>                                                                                                                                                               |

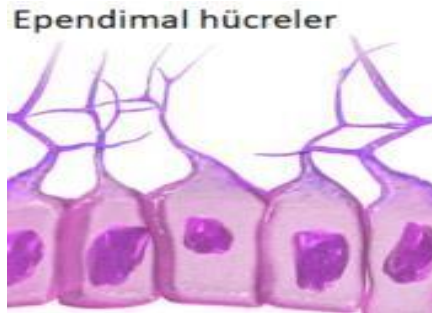
### Oligodendrogliom (Oligodendroglioma)



**Şekil 1.7.** Oligodendrogliom şekli (<https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1>).

Oligodendrogliomların primer beyin tümörlerinin sadece %4 ünü meydana getirdiği tahmin edilirken, gliomaların %25-%33 ünü meydana getirdiği düşünülmektedir. WHO yüksek dereceli (EVRE III) ve düşük dereceli (EVRE II) olarak iki sınıfa ayırmıştır. Oligodendrogliomların tedavisinde ilk yapılan kemoterapidir (Stronget al. 2015; Dandıl 2015; McNeil 2016)

### Ependimoma (Ependymoma)



**Şekil 1.8.** Ependimal hücreler (<https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1>).

Ependymomalar beyin boşluklarını ve omurilik kanalını içine alan gelişmemiş hücrelerden oluşmaktadır. Bu tümörler kist veya mineral kireçlemesi bulunduran kırmızı ve gri yumuşak tümörlerdir. Dört kısma ayrılmaktadır.

## 1. GİRİŞ

1. Subependymomas (Evre I): Yavaş büyüme göstermektedirler.
2. Myxopapillary ependymomas (Evre II): Omurganın kol altındaki kısımda yavaş büyüyen tümörlerdir.
3. Ependymomas (Evre II): Mikroskopla bakıldığında Ependymoma hücreleri küçük hücrelere ayrılabilirler.
4. Anaplastic ependymomas (Evre III): Bu tümörler yetişkinlerde beyinde yer alıp hızlı büyüyorken, çocuklarda beyincikte bulunurlar (Strong 2015; McNeill 2015).

### Glioma

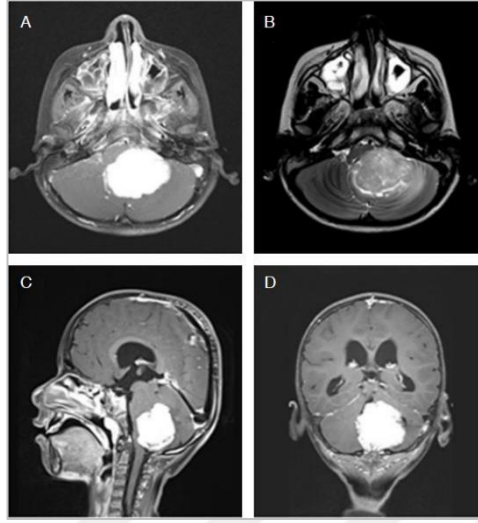
Genel olarak beyin dokusundan meydana gelen tümörler için kullanılan terimdir. Glialar, nöronları bulunduğu kısımda tutmaya çalışarak çeşitli görevleri yerine getirmek için katkıda bulunurlar. Glial hücreler üçe ayrılır.



**Şekil 1.9.** Glial tümörleri (<https://doktorfizik.com/sinir-sistemi/norobilim/noron-ve-glia-hucreleri/?amp=1>).

1. Astrocytes: Yıldız şekline benzer yapıları vardır.
2. Oligodendrocytes: Nöronların yalıtımını hızlı ve güvenli bir şekilde sağlayan kısa kollu hücrelerdir.
3. Ependymal hücreler: Beynin boşluklarında yaşayıp ependymomalara yol açar. Tümörler bazen bu farklı hücrelerin birleşimiyle karma gliomaları oluşturur (Strong 2015).

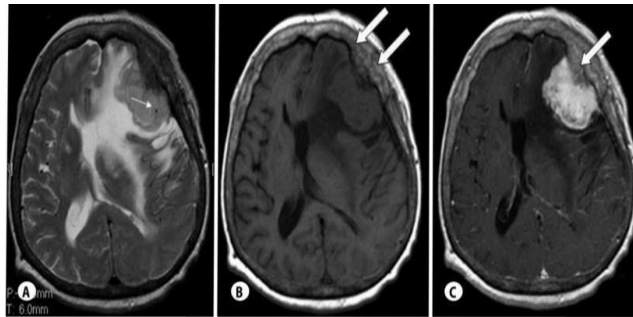
### Medulloblastoma



**Şekil 1.10.** Medulloblastoma tümörü (<https://www.oaepublish.com/article/s/jtgg>. 2018. 21).

Çocuklarda sıklıkla görülen kafatasındaki tümörlerin dörtte birini oluşturan kötü huylu tümörlerdir. Çocuklarda en çok 4-7 yaş arasında karşılaşılmaktadır. Bu kötü huylu tümörler beyincikte büyümektedir. Kusma, uyuşukluk, baş dönmesi, görme problemleri başlıca problemlerdir (Strong et al.2015). Tedavisinde ihtimal varsa ameliyat yapılır, diğer durumda kemoterapi ya da radyoterapi kullanılır (Dandıl 2015; Strong 2015).

### Meningioma



**Şekil 1.11.** Meningiom tümörü ([https://norosirurji.dergisi.org/pdf/pdf\\_TND\\_703.pdf](https://norosirurji.dergisi.org/pdf/pdf_TND_703.pdf) )

Beyin ve omuriliği saran katmanlardan oluşmaktadır. Tüm primer tümörlerin yaklaşık %13-%26 sini meydana getiren iyi huylu tümördür. Meningiomlar yavaş büyüdükleri için belirtiler anlaşılana kadar büyüme gösterebilirler. Bu tümörler nadiren

çocuklarda görülürken genellikle orta yaş bayanlarda görülmektedir (Güçlü et al. 2015). Tümörlerin bulundukları yere göre farklı belirtiler gösterir. En bilinen belirtiler başlıca; nöbetler, baş ağrısı, bir tarafında zayıflık, kafa karışıklığı ve kişilik bozukluklardır (American Brain Tumor Association 2015).

### Kraniyofaringiyom (Craniopharyngioma)

Bu tümör hipofiz ile hipotalamus arasında bulunan küçük hücre topluluklarının meydana gelmesinden oluşan kötü huylu tümördür. Bu tümörün yaş aralığı 14 yaşına kadar olanlar ve 45 yaşından büyük olan kişilerden oluşmaktadır. Tümörün temizlenmesi için ilk akla gelen operasyon ameliyattır ve sonrası için ışın tedavisi kullanılabilir. (American Brain Tumor Association 2015)

### Diğer beyin tümörleri

Özelliklerini verdiğimiz tümör çeşitleri dışında birçok tümör çeşidi bulunmaktadır. Aşağıda diğer tümör isimleri sıralanmıştır.

- Pinel ,
- Nörofibromatosis,
- Hipofiz tümörleri,Lipom ,
- Akustik Nörom,
- Kordom,
- Optik gliom,
- Kistler,
- Pseudotumor cerebri,
- Gangliositom,
- Gliomtosis cerebri ,
- Kondrom ,
- Koroid pleksis tümörleri,
- Hemangiperisitom ,
- Tuberous sclerosis ,
- Nörositom central,
- Glomus,
- Nöroblastom cerebral,
- Atypical Teroid Rhabdoid,
- Primitive Neuroectodermal Tumor,Pseudotumor ,
- Dysmbryoplastic Neuroepithelial Tumor,
- ceberi,Schwannoma,
- Kafatası tümörleri,Omurilik tümörleri,
- Germinom,
- Teratom ,
- Kondrosarkom,
- Jugulare,Hemangioblastom,
- Koroid pleksis tümörler,
- Vestibular schwannoma (Dandil 2015).

### Çocukluk dönemi beyin tümörleri

Çocukluk dönemi beyin tümörleri çocukların ölümüne sebep olan önemli bir kanser türüdür. Çocuklarda en çok rastlanan sert kitleli tümörlerdir. Bu tümörlerde iyi huylu ve kötü huylu olabilirler. Belli hücreler yaş, köken, cinsiyet ve etnik köken yapılarına göre farklılık gösterebilir. En yaygın çocukluk beyin tümörleri aşağıda ifade edilmiştir (Muskens et al. 2019, Thorbinson and Kilday 2021).

- Beyin sapı glioma
- DNT
- Kistler
- Ependimom
- Koroid pleksis tümörler
- Medulloblastom
- Neurofibromatosis
- Oligodendrogliom
- Kraniofaringiom
- Optik gliom
- PNET
- Üreme hücresi tümörleri

### 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fizik bilgili sınır ağı, doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemler ile tanımlanan herhangi problemin fizik yasalarına uygun olup olmadığını sağlayarak öğrenmeyi sürecini desteklemek için eğitilmiştir. İki farklı probleme dayalı çözümler üretilmektedir. Veriye bağlı ve kısmi diferansiyel denklemlerin veriye dayalı keşfidir. Sürekli zaman ve ayrık zaman olarak farklı iki algoritmaya değinilmiştir (Raissi et al. 2019).

Son dönemde Türkiye 'de sağlık alanında ki ilerlemeleri ve bu alanlardaki uygulamaları ifade etmektedir. Devletin sağlıkla ilgili aldığı kararları ve toplumda hastalığın nasıl yayıldığı ve bundan kimlerin etkilendiği gibi uygulamaları belirtmektedir (Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı Dergisi 2021).

Mohsen et al. (2017), derin öğrenme kavramı ve yapısı hakkında genel bir bakış açısı ile yorumlayarak bu çalışmaya yaklaşmıştır. Sınıflandırıcının MR' deki beyin tümörlerini tanımladığı sınıflandırma için DNN öğrenmesine dayanan öneriler verilmiştir. Ayrıca DNN sınıflandırıcılara kıyasla yüksek doğruluk gösterdiği tespit edilmiştir.

Beyin tümörü tanısı alan bireyler ve aileleri için beyin tümörleriyle ilgili endişe, korku, bilgi eksikliği ve belirsizlikler karşısında onlara destek olmayı amaçlamaktadır. American Brain Tumor Association (ABTA), hastalara ve yakınlarına bilgi, kaynak ve destek sağlayarak bu zorlu süreçte yalnız olmadıklarını hatırlatmaktadır. Tedavi süreçleri, hastalık hakkında temel bilgiler ve hasta-deneğim paylaşımları ile rehberlik sunmaktadır. Aynı zamanda ABTA'nın web sitesi ve iletişim bilgileri aracılığıyla daha fazla yardım alınabileceği belirtilmiştir (Labouvie-Vief 2015).

Kötü huylu beyin tümörleri çeşitlerinden olan gliomanın yoğunluk değişimi matematiksel modelinin sayısal çözümü yapılmaktadır. Doğrusal heterojen difüzyon lojistik yoğunluk modelinin sayısal çözüm yapılırken kullanılan bir yöntemdir. Bu model sayısal çözümü yapılan tümörün beyin boyunca yayılmasının reaksiyon-difüzyon ilerleyişi beyindeki beyaz ve gri madde birleşimine göre değişebileceğini tahmin

etmektedir. İki sayısal yöntem önerilmiştir. Birincisi geri Euler ve ikincisi ise zamandaki ortalama ile uzaysal değişkenin ayrıklaştırılmasında ileri farklar yöntemleri kullanılmıştır (Özügurlu 2015).

Beynin yapısını, beynin nasıl işlediğini ve nörolojik hastalıklar üzerine güncel ve temel olarak alınan bilgileri bilimsel olarak öne sunmaktadır. Daha çok da beynin yapı bakımından, işleyişi açısından, nörolojik hastalıklar hakkında güncel ve bilime dayalı açıklamalarda bulunulmuştur. Özel olarak da nörodejeneratif hastalıkları konu alarak anlatmaktadır (Facts 2012).

Ailesinde beyin tümörü hastalığına sahip olan bireylere destek olmak için yazılmıştır. Hastalıktan doğan endişeleri, korkuları ve hastalık konusundaki bilgisizlikten doğan sıkıntılara destek amaçlı yazmıştır. Aynı zamanda hastalık konusunda yardım etmek için bilgi vererek onlara rehberlik etmek istemektedir (American Brain Tumor Association 2015).

Bireylerin hayatları boyunca bilişsel süreçler ve duyuşsal tepkilerin gelişim seyrinin yaşam boyu değişimini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Gerginlik durumlarında kişinin bilişsel olarak etkilediğinde doğacak sonuçlar hakkında birkaç sonuca değinilmektedir. Diğer bir durum olarak da sosyal çevrenin kişide yarattığı olumlu ve olumsuz etkiler tartışılmaktadır. En önemlisi stresle başa çıkmak için kişinin kendisindeki duygusal dengesini nasıl sürdürdüğü tartışılmaktadır (Labouvie-Vief 2015).

Kuytu (2025) bilim haritalanması kullanılmıştır. Bilimsel olarak akademik karmaşık ve çok boyutlu ağları çözümlmek için kullanmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım ile bilimsel yayınlar, yazarlar, dergiler ve anahtar kelimeler arasında bağlantı kurmayı hedefler.

Duşak (2014) bu çalışmasında, birincil beyin tümörlerine tanı konulması ve sınıflandırılmasında MR spektroskopisinin faydasını incelemektedir. Konvansiyonel yöntemlerin problemi çözmek için yetersiz kaldığı durumlarda, bu teknik biyokimyasal veriler sağlayarak tümör yapısıyla ilgili detaylı bilgi vermektedir. Yapılan analizler,

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

---

özellikle nöroglial ve ekstraksiyel tümörlerin ayırt edilmesinde etkilidir. MR spektroskopisinin tanı olarak doğruluğun artırabilecek gibi olduğunu göstermektedir.

McNeill (2016) beyin tümörleriyle ilgili detaylı bir analiz yaparak bu tümörlerin çeşitli sebeplerle büyüyebileceğini ve tümörler arası semptomik farklılıklar olduğunu ifade etmektedir. Genetik düzlemde elde edilen yeni bulguların, İlerde tercih edilecek tedavi yöntemlerine de katkısı olacağını eklemiştir. İlerlemeci ve geleceğe dönük araştırmalar yapılmasını önermiştir.

Lawal et al. (2022), fizik bilgili sinir ağları (FBSA) konusundaki makalelerden bazılarını incelenmiştir. Araştırılan konudaki yeterliliği ve çeşitliliği artırmak ve eğitim maliyetlerini azaltmak için tekniklerinin geliştirilmesi adına var olan yöntemler belirlenmeye çalışılarak alandaki sınırlamalar ve gelecekteki araştırmacılara önerilerine yer vermiştir.

Aswathy et al. (2017) MRI görüntüleri radyoloğa tümörün bulunduğu bölgeyi ve kapladığı alanı diğer tarama yöntemleriyle karşılaştırıldığında doğru bir şekilde tanımlamasına yardımcı olacağından bahsedilmiştir.

Dandıl (2015) bu tez çalışmasında, MR görüntülerini ve aynı zamanda MR spektroopi (MRS) verilerini kullanıp radyologlarının görüntüleme işlemlerinde onlara yardımcı olacak beyin tümörü tespiti yapan bilgisayar temelli yaklaşımı ileri sürmüştür. Bu tez çalışmasında ilk olarak kullanılan teknikte iyi huylu ve kötü huylu ayrımı yapan görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır.

Parney et al. (2024) bu çalışmada kırk yıl önce beyin cerrahlarının eğitilmesi için kurulan beyin tümörleri cerrahisine katkıda bulunulmasını ve tarihi süreci anlatmaktadır.

Primer beyin tümörleri genellikle beyin içinde belirli bir alanda hızla yayılarak insanların yaşamını tehdit etmektedir. Bu çalışmada bu tümörlerin görülme sıklığı, sınıflandırılması ve tedavisi gibi birçok bilgi verilmektedir (Şimşek et al. 2013).

Beyin tümörlerinin kontrolsüz çoğalan hücrelerden oluştuğunu ve bunların içerisinde primer ve metastatik beyin tümörlerinin anlatıldığı ifade edilmektedir. Bu tümörlerin tedavi yöntemleri anlatılmaktadır (Strong et al. 2015).

Çocukluk beyin tümörlerinin karşılaşmasında farklı kökenler, ırklar ve toplumsal farklılıklar değişkenlik gösterebilir. Bu çalışma ile ifade edilen farklılıklar gözetilerek pediatrik gliom ve medulloblastom risk faktörleri incelenmiştir (Muskens et al. 2019).

Bu çalışmada beyin tümörleri çeşitlerinden olan çocukluk çağı beyin tümörünün en fazla görülen çeşitlerinden olan medulloblastomlar, yüksek dereceye sahip glioma ve ependimomlar incelenerek gelişen yeni tedavilerle çözüm bulmak amaçlanmıştır (Thorbinson and Kilday 2021).

Yapay sinir ağları kullanılarak adi diferansiyel denklemler ile kısmi diferansiyel denklemlerin eğitilmesi ve çeşitli problemler ile çözülmesi gösterilmiştir. Galerkin sonlu elemanlar yöntemi ile sonuçlar karşılaştırılmıştır (Lagaris et al.1998).

Yu J et al. (2022), bu çalışmada fizik bilgili sinir ağları kullanılarak (FBSA) kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü ele alınmıştır. Gradyanla geliştirilen fizik bilgili sinir ağları kullanılarak sonuçların doğruluğunu daha iyi hale getirilmek istenmiştir. Dahası bu yöntemle RAR yöntemi eklenmiştir.

Rodrigues (2024), fizik bilgili sinir ağları yöntemini kullanarak tümörlerin büyümesini Verhulst ve Montroll modellerini kullanarak birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu şekilde yapılan deneylere model tahminleri eklendiği için daha iyi ve doğru sonuçlar alındığı ifade edilmiştir. Modele fiziksel bilgiler eklenerek yapılan bu iki çalışmanın olumlu ve olumsuz sonuçları ortaya konularak biyolojik açıdan büyüme sürecinin modellenmesinde önemli rol aldığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü ile yapılan matematiksel modelleme beyin tümörlerinin erken tanı ve teşhisi için önemlidir. Düşük dereceli beyin tümörlerinin çözümünde Burgess ve genişletilmiş Kolmogorov kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar için analizler yapılmaktadır (Murari et al. 2025).

Beck et al. (2012), yüksek dereceli kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bazen çözüme ulaşmakta zorlanılmakta ve bunun önüne geçmek için birkaç derin öğrenme yöntemi öne sürülmüştür. Kullanılan modellerin sonuçları karşılaştırılıp ispatlarının mantığı anlaşılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada yapay zekanın yardımıyla kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü incelenmiştir. Bir ortamdaki kirlilik ve ortamdaki madde taşınımı denkleminin analizine fizik bilgili sinir ağı ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçların doğruluğu sonucunda iyi bir yöntem olduğu düşünülmüştür (Tuna vd. 2024).



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Fizik Bilgili Sinir Ağları Modeli ile Tarihi

Diferansiyel Denklemler kimya, biyoloji, mühendislik, fizik, finans ve okyanus bilimi gibi bilim içeren alanlarda farklı problemleri modellemek üzere matematik kullanılır. Diferansiyel denklemler, adi diferansiyel denklem ve çok değişkenli kısmi diferansiyel denklemler olmak üzere ikiye ayrılır. Diferansiyel denklemlere her zaman pratik çözüm bulmak kolay değildir veya bazen imkansızdır. Bu yüzden nümerik yöntemlere başvurulmuştur (Schiassi et al. 2021).

Lagaris et al. (1998) yılında diferansiyel denklemleri ve kısmi diferansiyel denklemleri çözmek amacıyla geliştirilen Yapay Sinir Ağlarını (YSA) tanıttılar. Bu yöntemde diferansiyel denklemlerin tahmin çözümü iki kısma ayrılıp bunların toplamını aldılar. İlk kısımda başlangıç ve sınır şartlarını ayarlayabilen bir parametre ortada yokken ikinci kısım ilk kısmı etkilemeyecek şekilde tasarlandı. Bu yöntem uygulanırken ayarlanabilir ağırlıklar ile birlikte ileri beslemeli ağlar kullanıldı. Bu ağlar birinci ve ikinci kısmı karşılamak için eğitilip kısmi diferansiyel denklemler için kullanılmaktadır. 2011 yılında yeni bir yöntem olan Diferansiyel Polinom Sinir Ağı geliştirdi. Bu yöntem çok parametrelili fonksiyonları tahmini olarak çözebilme ve kesirli polinom türev toplamını bulmaya yol açtı. Ladislav 2013 yılında ise karmaşık matematiksel problemler için kullanılabileceğini göstererek 2015 yılında zaman tahminleri ve karşılaştırma için tercih edilen bir katmanlı yenilenen sinir ağını ortaya çıkardı. Benchmark tarafından yapılan belli aralıkta yirmi dört ardışık deney ile birlikte D-PNN ve RNN eğitildi. Buna rağmen istenildiği gibi olmadı.

Raissi 2017 yılında gizli fizik modeli fikrini arkadaşları ile öne sürdüler. Bu model hem verimli öğrenme hem de fizik kanunlarından yararlanılabilecek öğrenme yaklaşımıdır. Raissi, Perdikaris ve Karni adakis Fizik Bilgili Sinir Ağını (FBSA) tanıttı. Raissi 2018 yılında “veri odaklı çok adımlı sinir ağı” adı altında başka bir yöntem ileri sürdüler. Bu yöntem ile etkileşimlerini doğru şekilde öğrenip, gelecekteki olayları öngörebilme ve çekim noktalarını tanımını ifade etme anlamında yardımcı olur. Raissi, 2019 yılında doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemlerle alakalı ileri ve ters problemlerin çözümü için kullanılan bir derin öğrenme yöntemi olarak adlandırılmıştır

(Raissi et al. 2019). 2020 yılında Jagtap, Kawaguchi ve Karniadakis tarafından aktivasyon fonksiyonları yönteme eklenerek çözüm için doğruluk artırılmıştır.

Çok değişkenli kısmi diferansiyel denklemlerin (KDD) çözümünde çok kullanılan sinir ağı yöntemi Fizik Bilgili Sinir Ağlarıdır (FBSA) (Lawal et al. 2022). Fizik Bilgili Sinir Ağları KDD' ler ile ilgili problemleri çözmek için kullanılan makine öğrenmesi tekniğidir (Lawal 2022; Yu J et al.2022). Fizik Bilgili Sinir Ağları, aynı zamanda sinir ağları ile fizik kanunlarının birleşmesi sonucu oluşan derin sinir ağıdır. Sinir ağları ve fiziksel yasalar birleşerek FBSA sistemin modelini oluşturur. Oluşan bu model sistemin hızlı bir şekilde çalışmasını sağlamıştır. Veri verilir üzerinde ağı eğitilmesi gerçekleşir. Diğer bir şekilde de bu sistemi modellemek için ağı çalıştırıp kaybın hesaplaması gerekir. Kayıp fonksiyonları için KDD'e ihtiyaç vardır. Sınır koşullarımız ve başlangıç koşullarımız önemlidir. Çünkü belirlenen sınır koşulları ağı beslemeli ve fizik yasalarına uymalıdır. Böylece uyana kadar ağı eğitilip hata en aza indirilmelidir.

FBSA sağlık hizmetleri, mühendislik ve hava modelleme gibi birçok alanda diferansiyel denklem çözümü için kullanılmaktadır (Lawal et al. 2022). FBSA, beyin tümörlerinin büyüme desenlerinden meydana gelen verileri karşılaştırarak tahmin etmeye çalışır. Verhulst ve Montroll modellerini eğitmek ve değerlendirmek hastalığa sebep olan tümörün büyüme ölçümlerini içeren veri setleri kullanılır. Hasta verilerine, fizyolojik kısıtlamalar ekleyip tedavi yaklaşımlarını iyileştirmek için FBSA'na ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece kişiye özgü tedavi önerisi ve olumlu sonuçlar almaya yardımcı olacaktır (Rodrigues 2024; Murari et al. 2025).

Karmaşık problemleri modellemek için Kısmi diferansiyel denklemlere (KDD) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu problemlerin matematiksel modeli genel olarak yüksek boyutlu ve doğrusal değildir. Bu yüzden sayısal olarak çözümleri kolay olmayabilir. Doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemler için çok bilinen yaklaşım modellerinden bazıları; sonlu elemanlar yöntemi, sonlu fark yöntemi, sınır elemanlar yöntemi, sonlu hacimler yöntemi, spektral galerkin yöntemi gibi yöntemlerdir.

Yukarıda bahsettiğimiz geleneksel yöntemlerden farklı olarak matematiksel modellerin karmaşık problemleri çözmek için Fizik Bilgili Sinir Ağlarına ihtiyaç duyulabilir. Çünkü FBSA kısmı diferansiyel denklemlerin hem modellenmesini hem de tahmini çözümünü yapmaya çalışan bir yapay sinir ağıdır. Çözümü sabit tutmak yerine, sınır koşulu, başlangıç koşulu ve fizik parametrelerine bağlı olarak farklılık gösteren parametrik KDD' ler vardır. Her parametre için farklılık göstereceğinden maliyetlidir. Bu sorunu çözmek için FBSA kullanmak daha iyidir (Beck et al. 2012).

Kendine özgü yapısıyla birçok farklı kanser çeşidi vardır. Glioma ve glioblastom birincil kanser türleri çeşitlerindendir ve agresif yapıları vardır. On yıl ya da daha fazla zamandır glioma gibi beyin tümörleri ile ilgili matematiksel modelleme ve elde edilen bu modelleri çözmek adına çalışmalar yapılmaktadır. Homojen olmayan yapıları olduğu için tümörlerin hareketleri değişkenlik göstermektedir. Bu değişiklikleri daha iyi anlama ve tahmin etmek için FBSA kullanılır (Raissi et al. 2019).

FBSA, yapay sinir ağlarının gelişmiş hali olup model sadece ağı eğitmez aynı zamanda fiziksel sistemleri ifade eden kısmi diferansiyel denklemlerle de öğrenme gerçekleştirir (Raissi et al. 2019). Yapay sinir ağlarını tanıtlarak, çalışmamızın temelini teşkil eden FBSA ile ilgili detaylı bilgi sunulmuştur.

Yapay sinir ağları üç ana katmandan oluşmaktadır (Schiassi et al. 2021). Yapay sinir ağları verilere göre yaparken öğrenmeyi, FBSA modelimiz hem veri hem de fiziksel temelli öğrenme gerçekleştirir. FBSA modelimiz zamana ve konuma değişken ile bağlı olarak aldığı verileri modelimizin fiziksel modeli anlamaya ve tahminde bulunmasına yardımcı olmaktadır (Tuna vd. 2024).

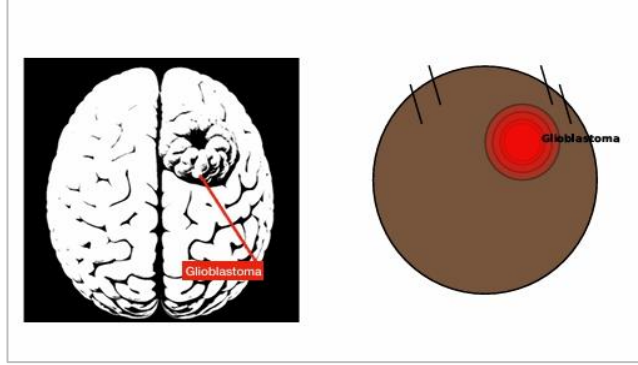
FBSA modelimiz için kullandığımız başlangıç ve sınır koşulları, fizik yasalarını gözeterek çözümün benzersiz ve doğru olması açısından oldukça önemlidir. Başlangıç ve sınır koşulları veri olarak kayıp fonksiyonu içerisinde kullanılmaktadır. Amaç hem gözlemlenen veriye uyan hem de fizik kurallarını ihlal etmeyen çözümler bulmaktır.

FBSA öğrenmeyi belli aşamaları geçerek öğrenir. Yapay sinir ağından elde ettiğimiz çıktımız çözmek istediğimiz fiziksel denklemlerle karşılaştırma yapılarak kısmi

diferansiyel denklemi sağlayıp sağlamadığına bakılır. Sağlamıyorsa eğitilerek hata minimize edilmektedir. Sınır koşulları ağımızın belli alanda nasıl hareket edeceğine zorlanmakta ve başlangıç koşuluna da uymaya zorlamaktadır. FBSA modelimiz eğitimi yapılırken ağırlıkları ayarlanıp toplam kayıp fonksiyonunu en aza indirmeye çalışırız. Ağırlıklar ve ağırlık öğrenme oranlarında değişiklik yapılarak optimize edilerek devamlı güncelle yapılarak hata fonksiyonunun türevi alınıp ağırlıklar aşağıya doğru güncelle yapılmaktadır ve gradyan inişi olarak adlandırılmaktadır. Fakat bu her zaman istenene sonucu vermekte yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden Adam gibi optimizasyon yöntemleri kullanılmakta ve Adam yöntemi öğrenme oranını otomatik (direkt) olarak ayarlamaktadır. Daha karmaşık denklemlerin ve yüksek boyutlu alanlardaki daha ayrıntılı ve fizik yasalarına uyan hesaplamalar yapmak için fazla yerleşim noktasına ihtiyaç duyar (Raissi et al. 2019).

Modelimiz daha çok kapsamlı dağılım yapmak için Gauss başlangıç durumu ve Neumann başlangıç koşulunu kullanmaktadır. Gauss başlangıç durumu olarak ifade edilir. Özellikle beyin tümörleri ve bunun gibi özel süreçlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Beyin tümörünün merkezde yoğun bir hal alıp yayılmasını ifade etmek için tercih edilir. Neumann sınır koşulu ise çözüm fonksiyonunun sınırlardaki hareketlerinin nasıl farklılaştığını ve diğer değişle türevlerini ifade eder (Raissi et al. 2019). FBSA kısmı diferansiyel denklemin çözümünde kullanılan makine öğrenimidir. Kısmi bilgili sinir ağırları hem veriyi eğitir hem de fizik yasalarına uymasını sağlamaktadır. Yapay sinir ağırlarının ağırlık eğitmesiyle oluşan çözüm fonksiyonu fiziksel olarak eğitilir ve bunun için kısmi türevler alınmaktadır. Kayıp fonksiyonları elde edilerek toplam kayıp hesaplanır ve minimize etmeye çalışılır. Gerçek çözüme yakın olana kadar belirli iterasyonlara bu döngü devam eder. (Raissi et al. 2019)

## 3.2. Fizik bilgili sinir ağıları modeli



Şekil 3.1. Glioblastoma beyin tümörü (Murari et al. 2025)

Fizik Bilgili Sinir Ağı (FBSA) modeli, temel anlamda beyinin beyaz madde ve gri madde kısımlarında meydana gelen bir alanda normalleşen beyin tümörlerinin yukarıdaki temsili glioblastoma geometrik şeklindeki gibi tümörün yoğunluğunu zamansal( $t$ ) ve mekânsal ( $x$ ) gelişimini tamamlayan model olarak aşağıda belirtmektedir.

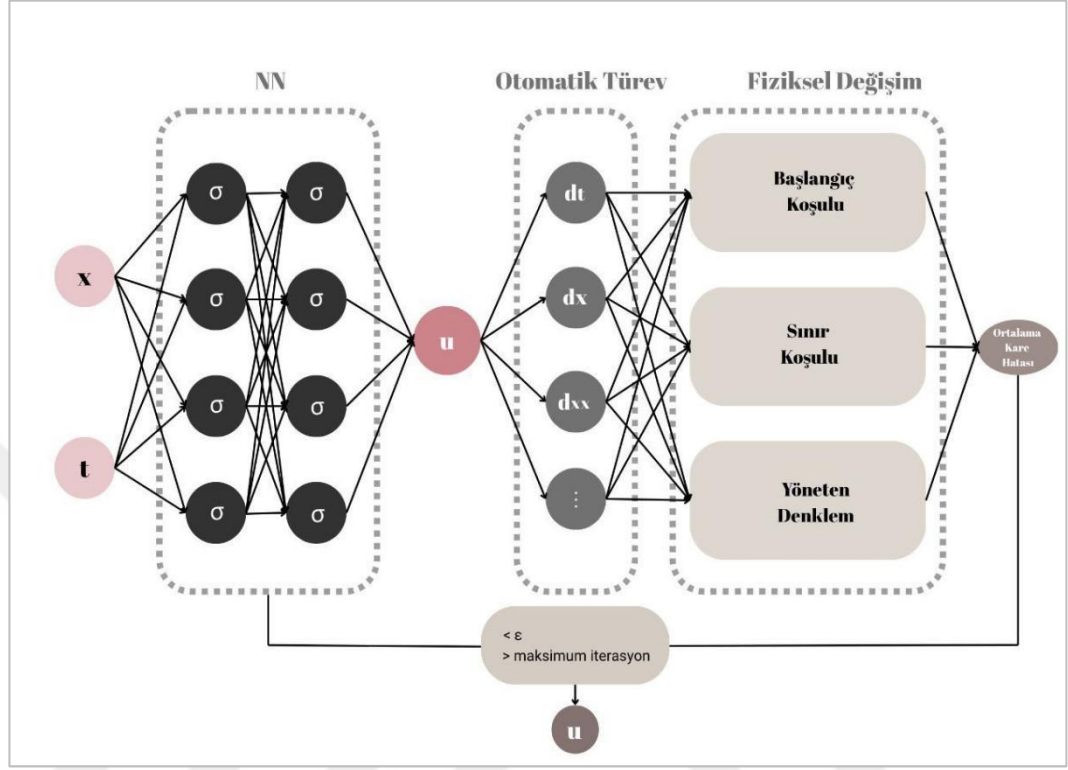
$$u: [0, T] \times \Omega \rightarrow \mathcal{R}$$

Genel olarak modelimiz şu şekildedir

$$\begin{aligned} u_t + \mathcal{N}_x[u] &= 0 & t \in [0, T], & \quad x \in \Omega \\ u(0, x) &= h(x) & & \quad x \in \Omega \\ u(x, t) &= g(x, t), & t \in [0, T], & \quad x \in \partial\Omega \end{aligned} \quad (3.1)$$

Konumsal olarak bölgeyi belirten  $\Omega \in \mathbb{R}^n$ , sınırıyla birlikte  $\partial\Omega$  ile tanımlanmaktadır.  $T$  zaman aralığını belirtmektedir ve  $n$ , sınır  $\partial\Omega$  üzerinde dış normal vektörünü belirttiği ifade edilmiştir ve alt indisler türevi alındığını belirtmektedir. Fizik Bilgili Sinir Ağları modeli ile belli konum (beynin herhangi bir noktası) ve zamanda ne kadar tümör hücresi olduğunu tahmin edip belli zaman aralıklarında tahminler yapmaktadır. Sınır ve başlangıç koşullarımız kısmi diferansiyel denklemimizin sayısal çözümünü modellemek için çok büyük öneme sahiptir.  $\mathcal{N}_x[.]$  doğrusal olmayan türevlenebilir bir işlemci. Yapay sinir ağıımızda kullandığımız parametreler ( $\theta$ ) çok önemlidir. Belirttiğimiz koşullar eğitim verisi olarak alınarak kayıp fonksiyonumuzda

kullanılmaktadır. Sinir ağıımız  $f_\theta(x, t)$ , çıktımızı  $u(x, t)$  tahmin etmeye başlar. (Belirli konum ve zamanda tümör hücre sayısını tahmin etmek isteyebilir).



Şekil 3.2. x konumuna t zamanına bağlı FBSA modeli (<https://www.canva.com/>)

$$r_\theta(x, t) := \frac{\partial}{\partial t} f_\theta(x, t) + \mathcal{N}_x[f_\theta(x, t)] \quad (3.2)$$

KDD kalıntısı  $r(x, t)$  ile gösterilmektedir. Sinir ağıımızı konum ve zamana göre türevleri otomatik şekilde alınmasında FBSA modelinin rolü çok fazladır.  $\mathcal{L}_r(\theta)$  kayıp terimi ifade etmektedir.  $L_i(\theta), i = 1 \dots M$  veri ölçümler, sınırlar gibi belirli terimleri ifade etmektedir. Diferansiyel denklemin kalıntı (residual) terimi için ifade edilen kayıp fonksiyonu aşağıda ifade edilmiştir.

$$\mathcal{L}_r = \frac{1}{\mathcal{N}_r} \sum_{i=1}^{\mathcal{N}_r} [r(x_r^i, t_r^i)]^2, \quad (3.3)$$

Başlangıç koşulu (Initial condition):

$$\mathcal{L}_{u_b} = \frac{1}{N_b} \sum_{i=1}^{N_b} [u(x_b^i, t_b^i) - g_b^i]^2, \quad (3.4)$$

Sınır koşulu (Boundary condition):

$$\mathcal{L}_{u_0} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} [u(x_0^i, 0) - h_0^i]^2, \quad (3.5)$$

Denklemimizde  $\{x_0^i, h_0^i\}_{i=1}^{N_0}$  başlangıç verisini,  $\{(x_b^i, t_b^i), g_b^i\}_{i=1}^{N_b}$  sınır verisini ve  $\{(x_r^i, t_r^i), 0\}_{i=1}^{N_r}$  kalıntı verisidir. Belirli alan içinde verilmiş rassal (rastgele) bir diziyi ifade eden bir dizi belirleme noktası verilmiştir.

Toplam hata denklemi

$$\mathcal{L}(\theta) = \mathcal{L}_r + \mathcal{L}_{u_b} + \mathcal{L}_{u_0} \quad (3.6)$$

Toplam hata hesaplandıktan sonra minimize edilmesi gerekmektedir. Hem fizik yasalarına uyması hem de daha iyi öğrenme gerçekleştirmesi için döngüye girerek belirli iterasyonlar da çalıştırılıp gerçek değere yakınsaması beklenir (Wang et al. 2021).

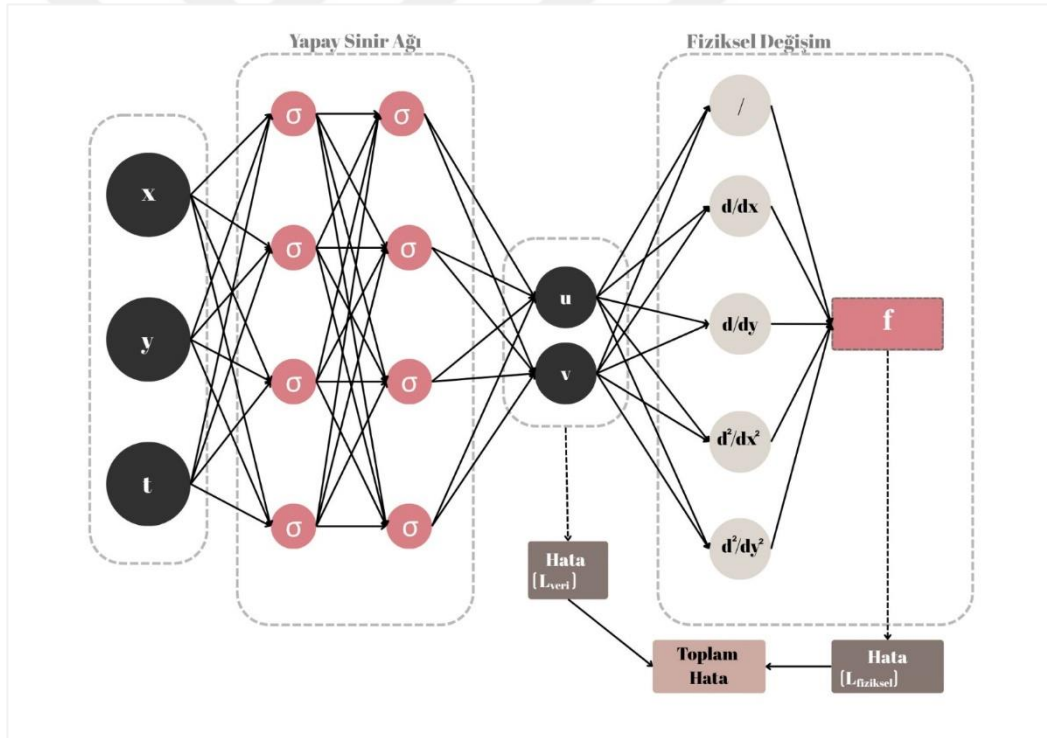
### 3.3. İki Boyutta Fizik Bilgili Sinir Ağı Modeli

İki boyutta Fizik Bilgili Sinir Ağları girdi olarak iki konumdan (x, y) ve bir zamandan (t) oluşmaktadır. Konumlar beyinde ki tümörlerin hangi noktada yer aldığını ifade eder. Sinir ağlarımız için parametrelerimiz önemlidir.  $\theta$  ağ parametremizi ifade etmektedir. Girdileri alıp katmanlar ve aktivasyon fonksiyonları yardımıyla tahmini bir çıktı elde edilmektedir. Bu çıktımız  $u_\theta(x, y, t)$  olarak ifade edilmektedir.

Genel olarak modelimiz şu şekildedir

$$\begin{aligned} u_t + \mathcal{N}_x[u] + \mathcal{N}_y[u] &= 0, & (x, y) \in \Omega \subset \mathbb{R}^2, \quad t \in [0, T] \\ u(0, x, y) &= h(x, y), & (x, y) \in \Omega \\ u(x, y, t) &= g(x, y, t), & (x, y) \in \partial \Omega, t \in [0, T] \end{aligned} \quad (3.7)$$

Bu modelimiz  $\Omega \subset \mathbb{R}^2$  üzerinde iki boyutta tanımlanan bir alanı ifade etmektedir. Aynı zamanda başlangıç-sınır değerli ve kısmi diferansiyel denklemlere sahip problemleri ele almaktadır.  $u$  fonksiyonunun zamana göre kısmi türevi  $u_t$  ile ifade edilmektedir.  $\mathcal{N}$  kolay ve karmaşık fonksiyonlar için türevsel operatördür.  $t = 0$  anında başlangıç değeri  $h(x, y)$  ve çözümün belirli alanda düzgün hareket etmesini sağlayan sınır koşulumuz  $g(x, y, t)$  dir.



Şekil 3.3.  $(x, y)$  konumuna ve  $t$  zamanına bağlı FBSA modeli (<https://www.canva.com/>)

FBSA de kullandığımız başlangıç ve sınır koşulları modelimizin eğitilmesi için çok önemlidir. Çözümümüz fiziksel gerçeği sağladığı için çözümün benzer olma hali ortadan kalkıp doğru sonuçlarla karşılaşılmaktadır. Girdilerimizin belirli parametrelerle ve aktivasyon fonksiyonlarıyla ağda eğitilerek çözüm fonksiyonu olan  $u(x, y, t)$  oluşturulur.

Bu çıktı oluştuğunda modelin fiziksel olarak doğru olup olmadığını sağlamak için diferansiyel denklemler kullanılmaktadır. Otomatik türev dediğimiz kısımda gerçekleşip kısmi diferansiyel denklemin artık (residual) değeri hesaplanır. Bununla birlikte başlangıç ve sınır kayıpları da hesaplanarak toplam hata hesaplanıp optimizasyon algoritması ile minimize edilmeye çalışılır.

Fiziksel denklem kaybı

$$\mathcal{L}_r = \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_r} \left[ \frac{\partial u_\theta}{\partial t}(x_i, y_i, t_i) + \mathcal{N}_x[u_\theta] + \mathcal{N}_y[u_\theta] \right]^2, \quad (3.8)$$

Başlangıç koşulu:

$$\mathcal{L}_{IC} = \frac{1}{N_{IC}} \sum_{i=1}^{N_{IC}} [u_\theta(0, x_i, y_i) - h(x_i, y_i)]^2, \quad (3.9)$$

Sınır koşulu:

$$\mathcal{L}_{BC} = \frac{1}{N_{ic}} \sum_{i=1}^{N_{ic}} [u_\theta(t_i, x_i, y_i) - g(x_i, y_i, t_i)]^2, \quad (3.10)$$

Toplam kayıp

$$\mathcal{L}_{toplama} = \lambda_r \mathcal{L}_r + \lambda_{IC} \mathcal{L}_{IC} + \lambda_{BC} \mathcal{L}_{BC} \quad (3.11)$$

Toplam kaybımızı hesaplıyorken  $\lambda$  ağırlık katsayılarıdır. Bu katsayılar sabit olup toplam kayba katkı sağlamak için kullanılmıştır. FBSA modeli yüksek boyutlu ve karmaşık problemler çözmede çok kullanılmaktadır. Çünkü hem kısmi diferansiyel denklemini hem de başlangıç ve sınırlar çok iyi anlayacak biçimde öğrenme sunmaktadır (Wang et al. 2022).

#### 3.4. Fizik Bilgili Sinir Ağları Modelinin Avantajları ve Dezavantajları

FBSA modelinin avantajları

- Fiziksel sistemlerin çözümlenmesinde kullanılan bilindik yöntemlerle birlikte derin öğrenme yardımıyla bir araya getirip uygulanan güçlü bir yöntemdir.
- Fiziksel yasaları ağıma yerleştirerek hem veriyi hem de fiziksel yasaları öğrenmemize yardımcı olmaktadır.
- Eksik verilen sınır ve veriler olduğu durumlara rağmen problemlerin çözülmesinde kolaylık sağlamaktadır.
- Karmaşık ve çok değişkenli diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılması çözümler için birçok fayda sağlamaktadır.
- FBSA sadece ileri beslemeli ağları değil ters problem çözümünde de oldukça başarılıdır.
- Tıp ve biyoloji alanında, mühendislik, finans, matematik ve fizik gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Kısmi Bilgili Sinir Ağı Modeli hayatımızdaki birçok problemi çözmemize yarasa da dezavantajları vardır.

- Kullanılan geleneksel yöntemlere göre kıyaslanırsa daha karmaşık ve daha zordur.
- Maliyet içeren bir yöntemdir.
- Eğitim sırasında kullanılan fiziksel uygunluk, veri uygunluğu ve fiziksel uygunluk birbirleriyle uyum sağlamalıdır.
- Kullanılan parametreler ile birlikte uygun ağ mimarisi kullanılmalıdır.
- Karmaşık problemler karşısında verimlilik açısından azalma sağlayabilir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, FBSA yöntemi kullanılarak adi ve diferansiyel denklemlerin çözümleri elde edilmiştir. Bahsi geçen formdaki problemlerin çözümünü elde etmek için ilk önce fizik bilgili sinir ağları yöntemi tanıtılmıştır.

İlk olarak Örnek 1. de verilen bir boyutlu ısı denklemi ele alınmıştır. Bahsi geçen diferansiyel denklem zaman bağımlı bir diferansiyel denklem olup, gerçek çözümü mevcut olan bir problem şeklindedir. Bu problemin FBSA çözümü elde edilmiş ve gerçek çözümü ile kıyaslanmıştır. FBSA yönteminde kullanılan iterasyonlar ile elde edilen hatalar grafiklerle sunulmuş ve tartışılmıştır.

Örnek 2. de Glioma tümörünün bir boyutlu uzayda matematiksel modeli sunulmuştur. Sunulan başlangıç-sınır değer probleminin fizik bilgili sinir ağı yöntemi ile çözümü elde edilmiştir. Bahsi geçen matematiksel model bir boyutlu doğrusal olmayan modelin FBSA çözümü elde edilmiştir. Bir boyutlu Glioma tümör modelinin Python ortamında SciPy kütüphanesinde odeint fonksiyonu kullanılarak sayısal çözümü elde edilmiştir. Elde edilen FBSA çözümü ile Python SciPy kütüphanesi kullanılarak elde edilen çözümler kıyaslanmıştır. Ek olarak literatürde farklı sayısal yöntemler kullanılarak elde edilen çözümlerle de kıyaslanmış ve FBSA ile çok yakın çözümler elde edildiği gözlemlenmiştir. FBSA çözüm aşamasında kullanılan iterasyonlar ve Python SciPy kütüphanesi kullanılarak elde edilen çözümler arasında hatalar grafiklerle ifade edilmiştir.

Örnek 3. de iki boyutlu zaman uzayı göz önünde bulundurularak Glioma tümör büyüme modelinin kısmi diferansiyel denklemler kullanılarak zaman bağımlı olarak matematiksel modeli verilmiştir. Bahsi geçen matematiksel modelin FBSA yöntemi ile çözümleri sunulmuştur.

#### ÖRNEK 1.

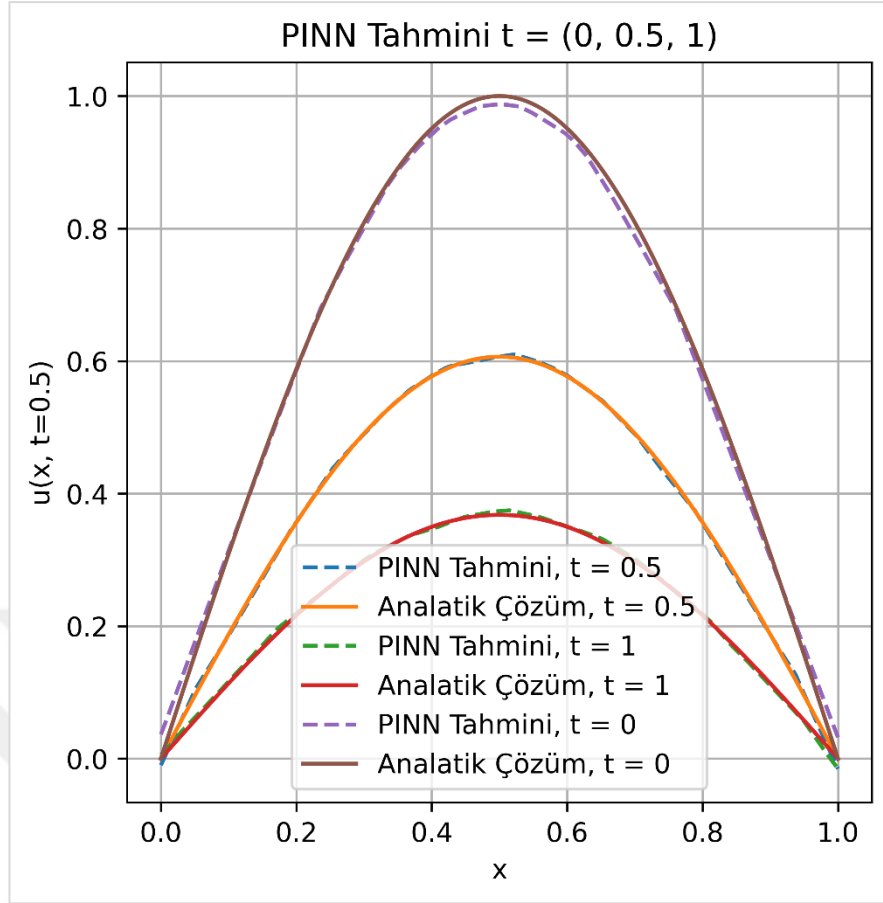
Bu çalışmada bir boyutlu kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan difüzyon katsayısı değişkenine bağlı bir boyutlu Fizik Bilgili Sinir Ağı yöntemi ele alınmıştır.

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$$

Bu denklem Fizik Bilgili Sinir Ağları yardımıyla bir boyutlu kısmi diferansiyel denklem olup uzamsal olarak tanım kümesi  $x \in [0,1]$ , zamansal olarak  $t \in [0, T]$  kullanılmıştır.

Başlangıç koşulu  $u(x, 0) = \sin(\pi x)$  ve sınır koşulu olarak  $u(0, t) = u(1, t) = 0$  sınırları alınmıştır. Difüzyon katsayısı (tümörün yayılma katsayısı) olarak  $\mu = 1$  alınmıştır. Model yapısında 8 katman ve her katmanda 128 nöron kullanılmış olup başlangıç aktivasyon fonksiyonu olarak  $\tanh$  kullanılmıştır. Girdi olarak konuma ve zamana bağlı  $x, t$  içerirken çıktı  $u(x, t)$  içerir.

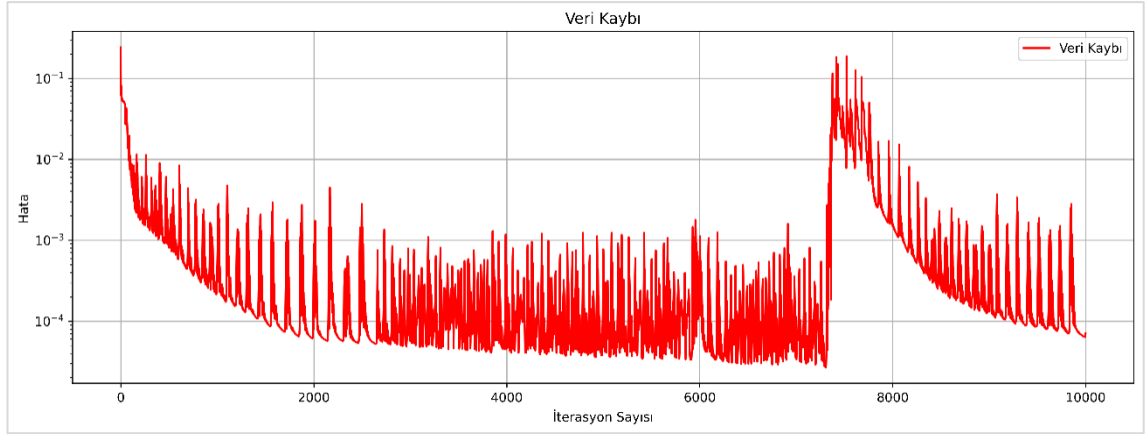
Eğitim yapıldığı zaman (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) 'da ki denklemler kullanılarak kısmi diferansiyel denklemden gelen kalıntı kaybı, sınır koşulu ve başlangıç koşulu kaybımızı hesaplarız. Gauss dağılımı ve Neumann sınır koşulu ile düzenli dağılan 1000 nokta kullanılarak 10.000 iterasyon boyunca eğitilmiştir. Eğitim sırasında iç nokta türevler alınıp tahminler yapılırken işlem sürecini hızlandırmak için GPU veya CPU kullanılır. Bu denklemin çözümünde CPU kullanılmıştır. FBSA modelimizin eğitimi sırasında veri sayısını artırmak için bir fonksiyon girilmiştir. Adam optimizasyonu eğitim sırasında ağırlıkları ve öğrenme oranlarını değiştirip veri kaybını ve fiziksel kaybı minimize etmek için kullanılmıştır.



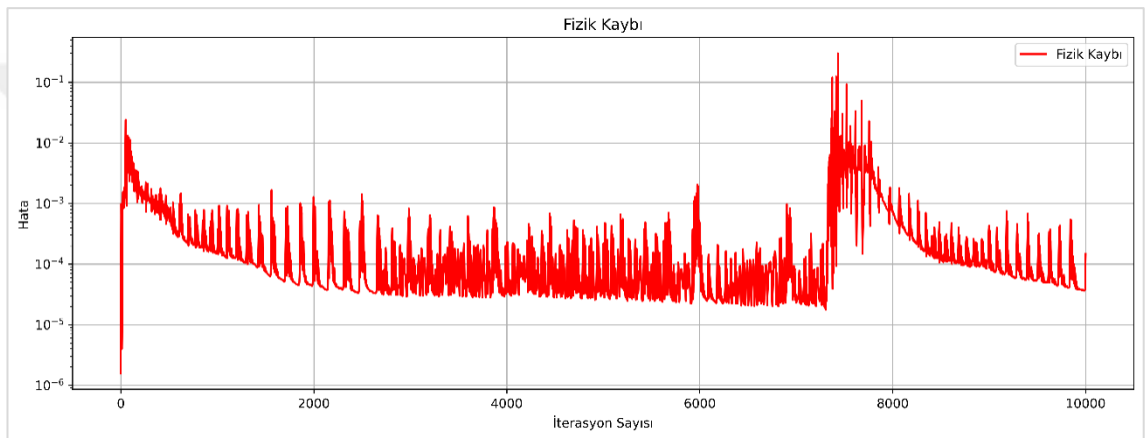
**Şekil 4.1.** Fizik bilgili sınır ağı modelinin farklı zamanlarda ( $t = 0, 0.5, 1$ ) yaptığı tahminleri ve analitik (sayısal) çözümlerle karşılaştırılması.

Yukardaki grafiğimizde  $t = 0, t = 0.5, t = 1$  zamanların da elde ettiğimiz tahmini çözüm ile gerçek çözüm grafikleri verilmiştir. Bu eğitim sonucunda modelde ki ağ parametrelerin doğru alınıp alınmadığını anlamak için hata değerlerimize bakarak tahmini sonucumuz sayısal çözümle karşılaştırılır ve değerlendirilir. Yukarıda Şekil 4.1 de belli zaman aralıklarında yapılan görselleştirmeler kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünün sayısal çözüme oldukça yakın olduğunu görsel olarak sunmuştur.

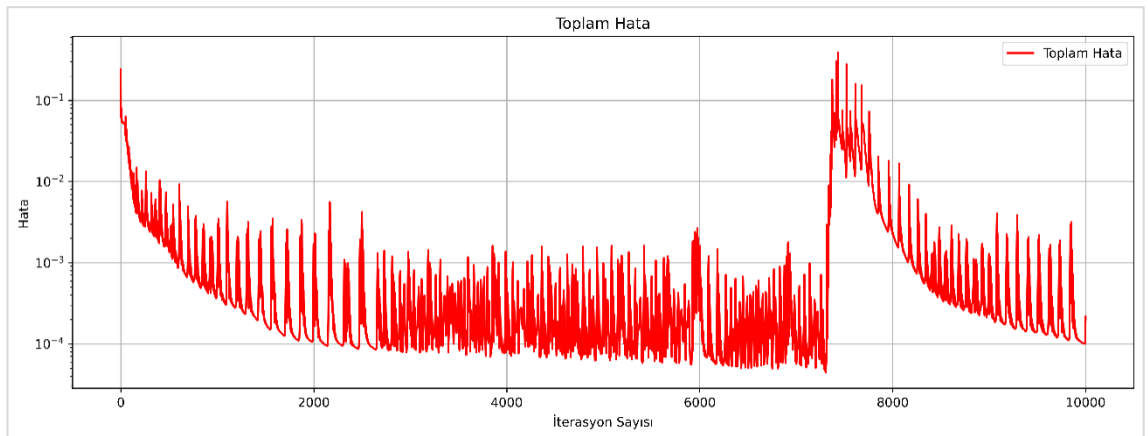
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.2. 10.000 iterasyonda modelimizin veri hata değerleri



Şekil 4.3. 10.000 iterasyonda modelimizin fiziki hata değerleri



Şekil 4.4. 10.000 iterasyonda modelimizin toplam hata değerleri

İterasyon sayısı

**Çizelge 4.1.** Farklı iterasyon sayılarının farklı katmanlara göre zaman ve hata miktarları karşılaştırılması.

|        | 3000  |                       | 6000  |                       | 15000  |                       |
|--------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|--------|-----------------------|
| Katman | Zaman | Hata                  | Zaman | Hata                  | Zaman  | Hata                  |
| 6      | 22.73 | $9.67 \times 10^{-5}$ | 54.02 | $9.57 \times 10^{-5}$ | 145.23 | $2.62 \times 10^{-5}$ |
| 7      | 24.78 | 0.0001                | 59.57 | 0.007                 | 161.49 | $5.43 \times 10^{-5}$ |
| 8      | 28.13 | 0.0008                | 66.55 | $4.95 \times 10^{-5}$ | 178.30 | 0.0001                |
| 9      | 31.93 | 0.0006                | 74.69 | $8.43 \times 10^{-5}$ | 198.88 | 0.0514                |

## ÖRNEK 2.

Bu çalışmada bir boyutlu kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan difüzyon katsayısı değişkenine bağlı tek boyutlu Fizik Bilgili Sinir Ağı yöntemi ele alınmıştır.

$$C_t = \mu'_x C_x + \mu_x C_{xx} + p C(x, y, t) \left( 1 - \frac{C(x, y, t)}{C_{max}} \right)$$

Modelin girdileri konumlara ve zamana bağlı (x, t) olup çıktımız yani çözüm fonksiyonumuz C (x, t) olmakta ve uzay sınırları sırasıyla  $t \in [0.1]$  ,  $x \in [0,50]$  aralıklarında ele alınmıştır.

Başlangıç koşulu

$$\omega(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\varepsilon}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_0}{\varepsilon}\right)^2}$$

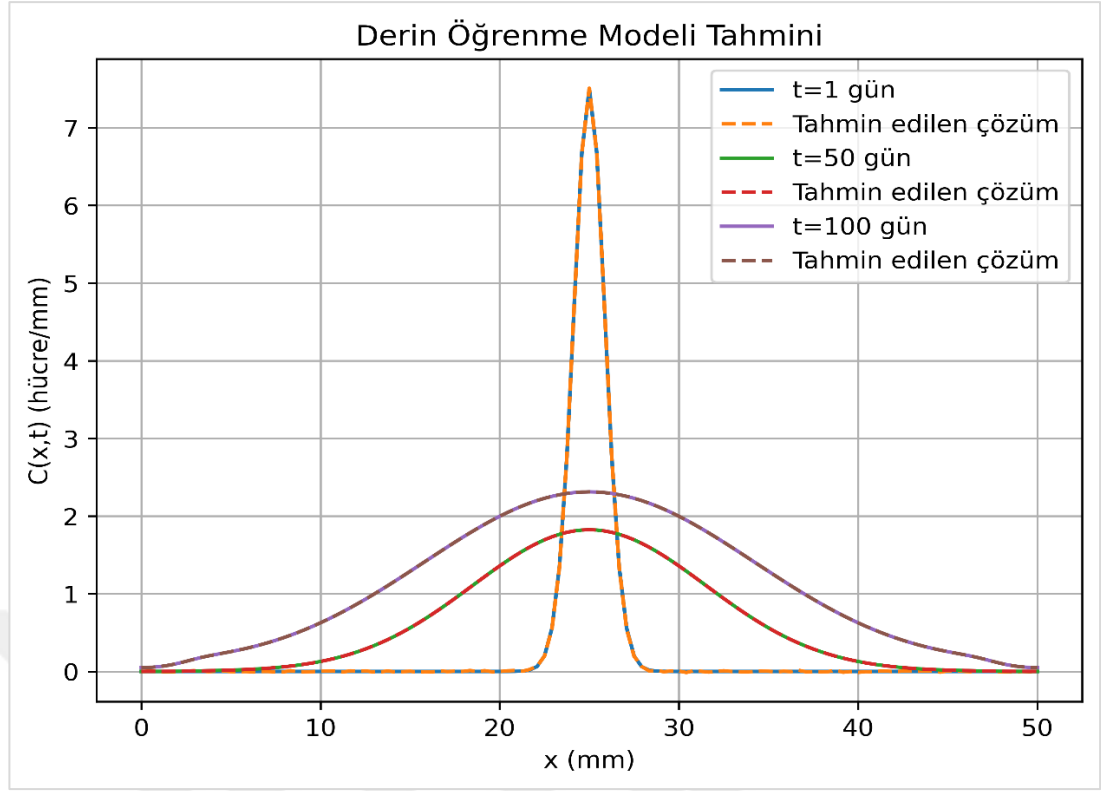
kullanılmaktadır .  $\varepsilon = 0.01$  ve  $x_0 = 25$  mm 'dir

Model yapısında 4 gizli katman ve her katmanda 64 nöron kullanılmıştır. Her alt alan için zaman aralığını  $\Delta t = 0.02 \approx 28.8$  dir. Grid noktalarını  $L_x = L_y = 50$  alıp grid üzerindeki nokta sayısını  $N_x = N_y = 101$  alınmıştır. Model için difüzyon katsayısı

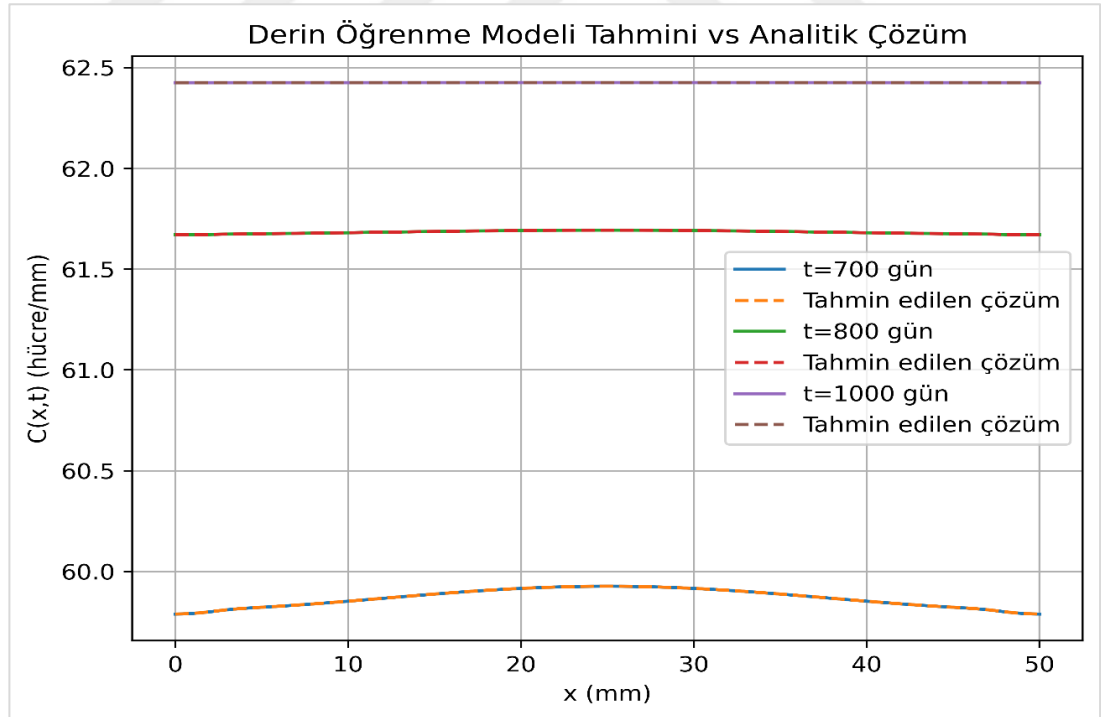
$$\mu_x = \begin{cases} 0.13, & 0 \leq x < 7.5 \\ 0.65, & 7.5 \leq x < 42.5 \\ 0.13, & 42.5 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

Tümörün zaman içinde büyümesini ve yayılmasını tahmin etmek için yayılma katsayısı  $p = 0.01 \text{ day}^{-1}$ , taşıma kapasitesi  $k = 1$  şeklinde olup tümörün maksimum yoğunluğu  $C_{max} = 62.5 \text{ cell/mm}$  ve  $\Delta x = 0.5 \text{ mm}$  alınıp ağ oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak *Relu* ve *tanh* kullanılmıştır. Yayılma ve difüzyon, tümörlerin nasıl yayılma ve büyüme gerçekleştirdiğini bilmemiz konusunda büyük öneme sahiptir.

Fizik Bilgili Sinir ağı yöntemi kullanılarak tümör büyümesi tahmin edilmiştir. Bu yöntem kullanıldığında başlangıçta tümörün sahip olduğu şekle göre bir Gauss dağılımı tanımlanıp başlangıç koşulu olarak tercih edilmiştir. Gauss başlangıç koşulumuz istenilen zamanlarla güncellemeler yapılmıştır. Eğitim sırasında iç nokta türevler alınıp tahminler yapılırken işlem sürecini hızlandırmak için GPU veya CPU kullanılır. Bu denklemin çözümünde CPU kullanılmıştır. Adam optimizasyonu eğitim sırasında ağırlıkları ve öğrenme oranlarını değiştirip veri kaybını ve fiziksel kaybı minimize etmek için kullanılmıştır. FBSA modelimizin eğitimi sırasında veri sayısını artırmak için bir fonksiyon girilmiştir. Fonksiyondaki iç noktalar fiziksel denklemlerin öğrenilmesi ifade etmiştir modelleme sürecinde. Modelimizi optimize etmek için 10000 iterasyon kullanarak toplam hata minimize edilmiştir. (3.8), (3.9), (3.10) ve (3.11) genel yapısı verilen denklemler kullanılarak Şekil 4.7 ve 4.8 'da  $\mathcal{L}_r$ ,  $\mathcal{L}_{IC}$  ve  $\mathcal{L}_{BC}$  hataları hesaplanmıştır. Bu hataların toplamından toplam hata Şekil 4.9'da elde edilmiştir.

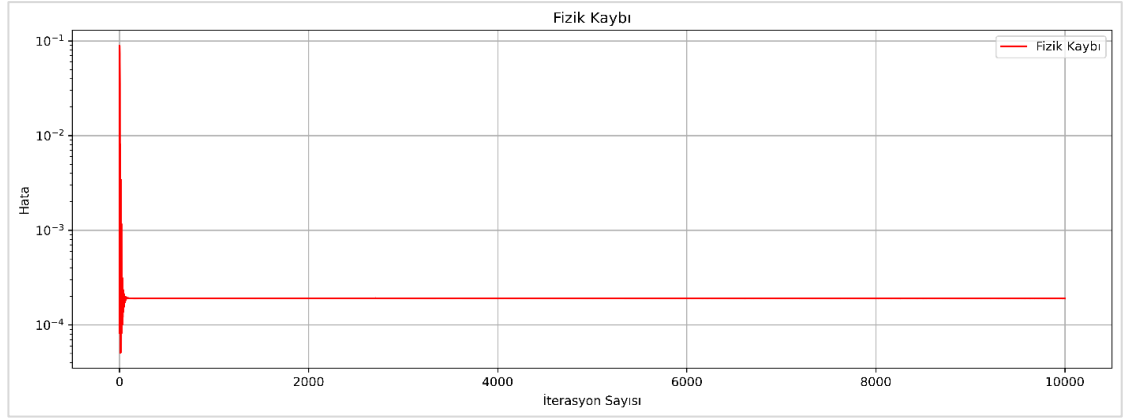


Şekil 4.5. FBSA modelinin  $t=1$ ,  $t=50$ ,  $t=100$  zamanlardaki analitik çözümü

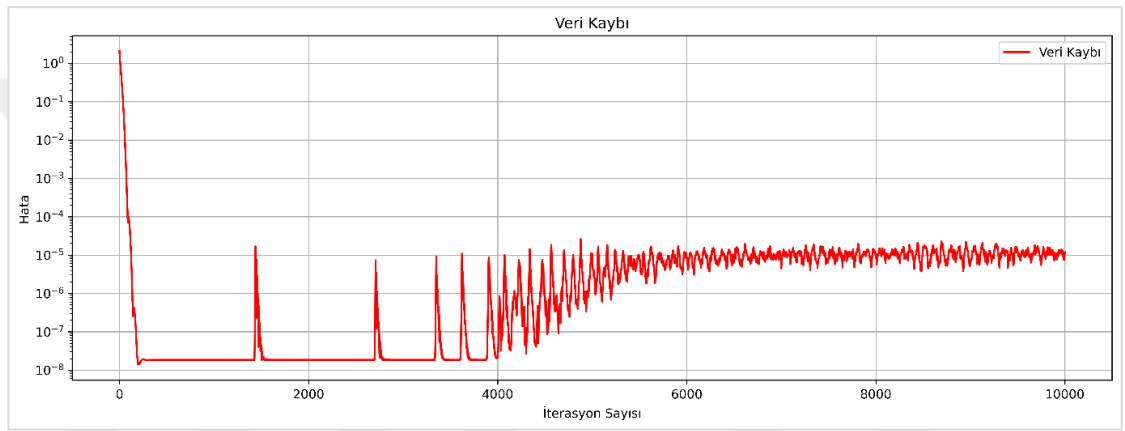


Şekil 4.6. FBSA modelinin  $t=700$ ,  $t=800$ ,  $t=1000$  zamanlardaki analitik çözümü

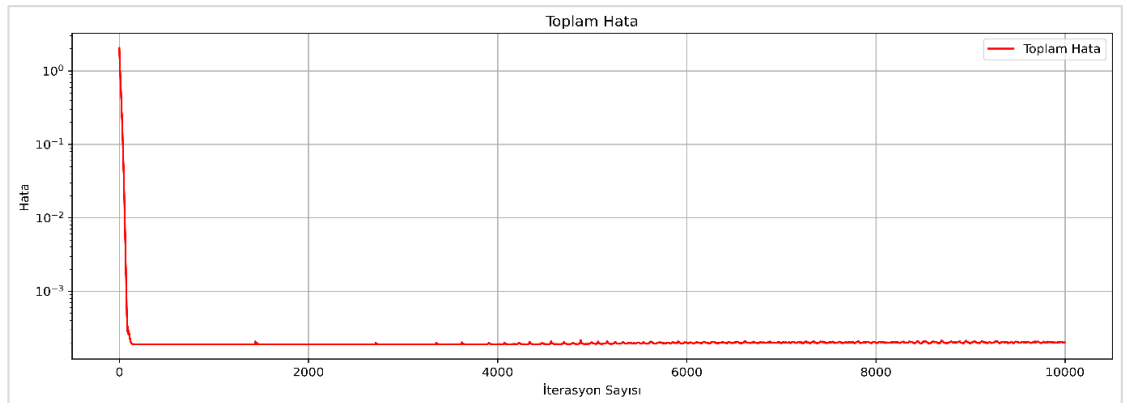
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.7. 10.000 iterasyonda modelimizin fizik hata değerleri



Şekil 4.8. 10.000 iterasyonda modelimizin veri hata değerleri



Şekil 4.9. 10.000 iterasyonda modelimizin toplam hata değerleri

## ÖRNEK 3.

Bu çalışmada yüksek boyutlu kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan difüzyon katsayısı değişkenine bağlı iki boyutlu Fizik Bilgili Sinir Ağı yöntemi ele alınmıştır.

$$u_t = \mu_x u_x + \mu_y u_y + \mu(x, y) (u_{xx} + u_{yy}) + p u(x, y, t) \left(1 - \frac{u(x, y, t)}{C_{max}}\right)$$

Modelin girdileri konumlara ve zamana bağlı  $(x, y, t)$  olup çıktımız yani çözüm fonksiyonumuz  $u(x, y, t)$  olmakta ve uzay sınırları sırasıyla  $t \in [0,1]$ ,

$$(x, y) = [0.50] \times [0.50] \text{ aralıklarında ele alınmıştır.}$$

Başlangıç koşulu

$$\omega(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\varepsilon}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_0}{\varepsilon}\right)^2}$$

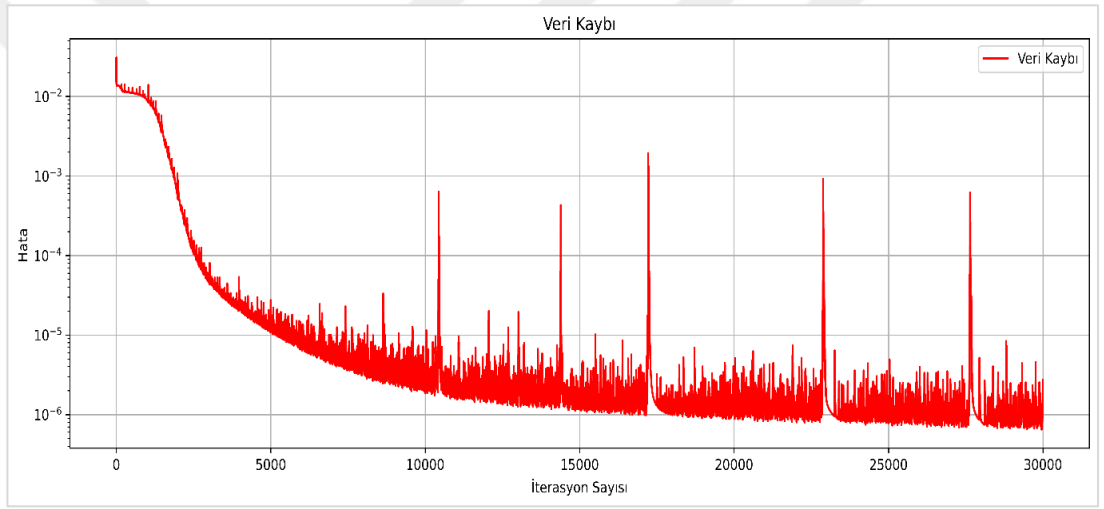
kullanılmaktadır.  $\varepsilon = 0.01$  ve  $x_0 = 25$  mm' dir. Model yapısında 4 gizli katman ve her katmanda 64 nöron kullanılmıştır. Her alt alan için zaman aralığını  $\Delta t = 0.02 \approx 28.8$  noktalarını  $L_x = L_y = 50$  alıp grid üzerindeki nokta sayısını

$N_x = N_y = 101$  alınmıştır. Model için difüzyon katsayısı

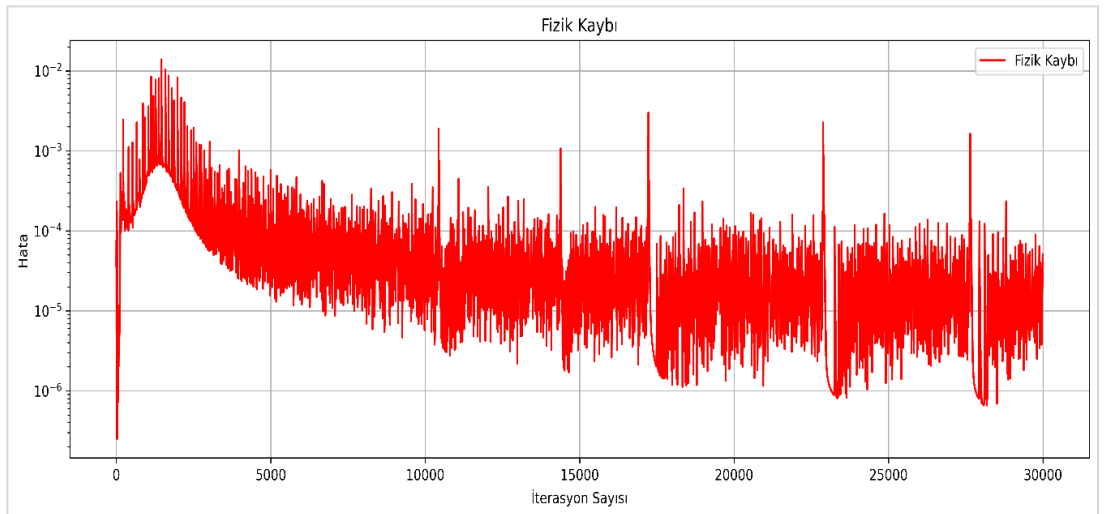
$$\mu_x = \begin{cases} 0.13, & 0 \leq x < 7.5 \\ 0.65, & 7.5 \leq x < 42.5 \\ 0.13, & 42.5 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

Tümörün zaman içinde büyümesini ve yayılmasını tahmin etmek için yayılma katsayısı  $p = 0.01 \text{ day}^{-1}$ , taşıma kapasitesi  $k = 1$  şeklinde olup tümörün maksimum yoğunluğu  $C_{max} = 62.5 \text{ cell / mm}$   $\Delta x = 0.5$  alınıp ağ oluşturulmuştur. Yayılma ve difüzyon, tümörlerin nasıl yayılma ve büyüme gerçekleştirdiğini bilmemiz konusunda büyük öneme sahiptir. Aktivasyon fonksiyonu olarak *Relu* ve *tanh* kullanılmıştır.

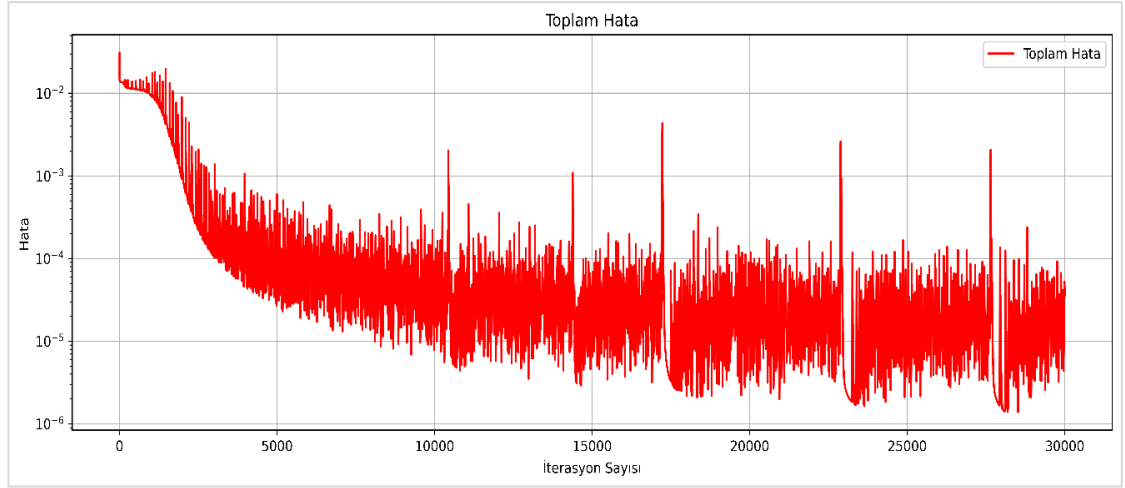
Öğrenmenin daha hızlı ve çok daha iyi sonuç verdiği için kullanılmaktadır. Eğitim sırasında iç nokta türevler alınıp tahminler yapılırken işlem sürecini hızlandırmak için GPU veya CPU kullanılır. Bu denklemin çözümünde CPU kullanılmıştır. FBSA modelimizin eğitimi sırasında veri sayısını artırmak için bir fonksiyon girilmiştir. Adam optimizasyonu eğitim sırasında ağırlıkları ve öğrenme oranlarını değiştirip veri kaybını ve fiziksel kaybı minimize etmek için kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının ağını eğitmesiyle oluşan çözüm fonksiyonu fiziksel olarak eğitilir ve bunun için kısmi türevler alınmaktadır. Kayıp fonksiyonları elde edilerek toplam kayıp hesaplanır ve minimize etmeye çalışılır. Gerçek çözüme yakın olana kadar belirli iterasyonlara bu döngü devam eder



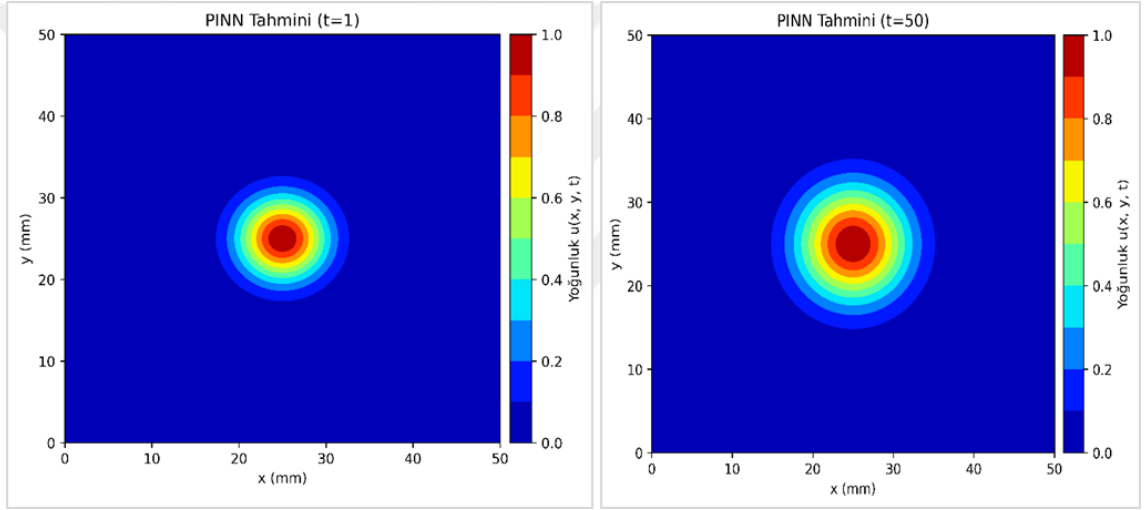
**Şekil 4.10.** 30.000 iterasyonda modelimizin veri hata değerleri



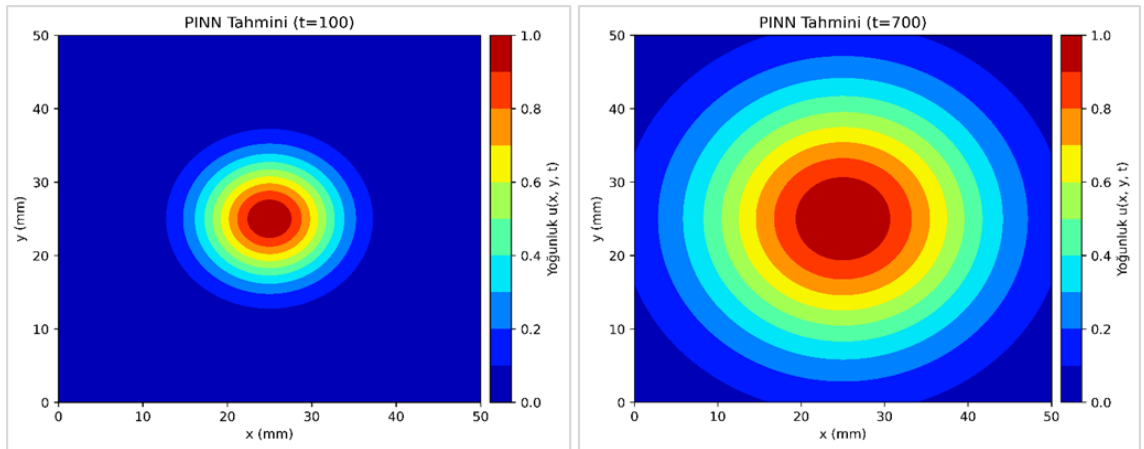
**Şekil 4.11.** 30.000 iterasyonda modelimizin fizik hata değerleri



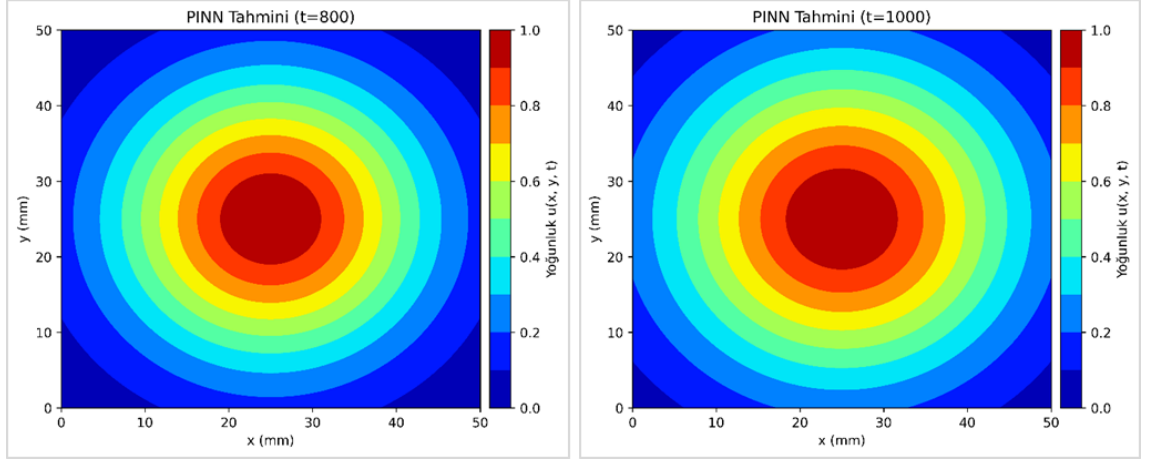
Şekil 4.12. 30.000 iterasyonda modelimizin toplam hata değerleri



Şekil 4.13. 2-Boyutlu Glioma Tümör Büyüme Modelinin FBSA yöntemi ile  $t = 1$  (sol) ve  $t = 50$  (sağ) gün için çözümü.



Şekil 4.14. 2-Boyutlu Glioma Tümör Büyüme Modelinin FBSA yöntemi ile  $t = 100$  (sol) ve  $t = 700$  (sağ) gün için çözümü.



**Şekil 4.15.** 2-Boyutlu Glioma Tümör Büyüme Modelinin FBSA yöntemi ile  $t = 800$  (sol) ve  $t = 1000$  (sağ) gün için çözümü.

Şekil 4.13 te  $t = 1$  ve  $t = 50$  gün için 2-boyutlu uzayda Glioma tümör büyüme modelinin FBSA yöntemi ile çözümünü vermektedir. Şekil 4.14-4.15 ise sırasıyla  $t = 100, 700$  ve  $t = 800, 1000$  üncü günlerdeki Glioma tümör büyüme modelinin FBSA yöntemi ile çözümünü sunmaktadır.

Şekillerden gözlemlediğimiz gibi zaman ilerledikçe tümörlü hücre sayısında azalma gerçekleşmektedir. Başlangıçta alınan Gauss başlangıç fonksiyonu zaman ilerledikçe azalmaktadır. Literatürle birlikte düşünüldüğünde ele aldığımız gerçek hayat probleminin elde edilen çözümü gerçek hayatla uyumlu olup, hem problemin 1-boyutlu halinin çözümünün literatürle uyumlu olması hemde çözümdeki azalmaya dayanarak problemin 2 –boyutlu modelinin elde edilen FBSA çözümünün doğru olduğu söylenebilir.

### 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bir ve iki boyutlu doğrusal olmayan karmaşık ve çok değişkenli kısmi diferansiyel denkleminin Fizik Bilgili Sinir Ağları modelinin uygulanmasıyla çıkan sonuçlara göre analiz edildiğinde istenen başarıya ulaşılmıştır. Elde edilen bulgular şu şekildedir:

- Belirli iterasyonlarda elde edilen belirgin sonuçların, modelimizin öğrenmesini ve fiziksel yasalara uyduğu gözlenmiştir.

- FBSA modelimiz tümörün zamana ve konuma bağlı şekil de doğru olarak tahminde bulunduğu gözlenmiştir.

- Elde edilen tahminler doğruluğu sınırlı veriler ile bile çözüleceği gösterilmektedir.

- FBSA birçok alanda fayda sağlamasına rağmen tıp alanında, beyin tümörünün erken tanı ve teşhisine yardımcı olabileceği çözdüğümüz problemlerle yönünü ve zamanını çözülebileceği gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Amerikan Beyin Tümörü Derneği. 2015. Beyin tümörleri hakkında: hastalar ve bakıcılar için bir astar. Chicago, IL, ABD: Amerikan Beyin Tümörü Derneği.
- Aswathy, S. U., Devadhas, G. G., & Kumar, S. S. 2017. MRI brain tumor segmentation using genetic algorithm with SVM classifier. *Journal of Electronics and Communication Engineering*, e-ISSN, 2278-2834.
- Beck, C., Hutzenthaler, M., Jentzen, A., & Kuckuck, B. 2020. An overview on deep learning-based approximation methods for partial differential equations. *arXiv preprint arXiv:2012.12348*.
- Cuomo, S., Di Cola, V. S., Giampaolo, F., Rozza, G., Raissi, M., & Piccialli, F. 2022. Scientific machine learning through physics-informed neural networks: Where we are and what's next. *Journal of Scientific Computing*, 92(3), 88.
- Dandıl, E. 2015. MR Görüntüleri ve MR Spektroskopi Verileri ile Yapay Öğrenme Tabanlı Beyin Tümörü Tespit Yöntemi ve Uygulaması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Dusak, A., Alkan, A., Aydagun, O., Onal, C., Mizrak, B., & Saraç, K. 2014. Primer beyin tümörleri: Proton manyetik rezonans spektroskopik analiz ve histopatolojik korelasyon. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 5(2), 233-241.
- Facts, B. 2012. a Primer on the Brain and Nervous System. United States: Society for Neuroscience.
- Kuytu, T. 2025. Brain tumors. A bibliometric analysis of forty years by science mapping. *The European Research Journal*, 11(3), 1-15.
- Korkut, S. Ö. 2021. New alternative numerical approaches for solving the glioma model and their efficiencies. *Mathematical Sciences*, 15(2), 161–171
- Labouvie-Vief, G. 2015. Integrating emotions and cognition throughout the lifespan. New York, NY: Springer.
- Lagaris, IE., Likas, A., & Fotiadis, D. I. 1998. Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equations. *IEEE transactions on neural networks*, 9(5), 987-1000.
- Lawal, Z. K., Yassin, H., Lai, D. T. C., & Che Idris, A. 2022. Physics-informed neural network (PINN) evolution and beyond: A systematic literature review and bibliometric analysis. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(4), 140.
- McNeill, K. A. 2016. Epidemiology of brain tumors. *Neurologic clinics*, 34(4), 981-998.
- Mohsen, H., El-Dahshan, E. S. A., El-Horbaty, E. S. M. ve Salem, A. B. M. 2018. Classification using deep learning neural networks for brain tumors. *Future Computing and Informatics Journal*, 3(1), 68-71.

- Murari, K., Roul, P., & Sundar, S. 2025. Physics informed neural network for forward and inverse modeling of low grade brain tumors. arXiv preprint arXiv:2504.07058.
- Muskens, I. S., Zhou, M., McCoy, L., Bracci, P. M., Hansen, H. M., Gauderman, W. J., ... & Wiemels, J. L. 2019. Neuro-Oncology Advances.
- Özüğurlu, E. 2015. A note on the numerical approach for the reaction–diffusion problem to model the density of the tumor growth dynamics. Computers & Mathematics with Applications, 69(12), 1504-1517.
- Özsarı, S. H. 2021. Değer Temelli Sağlık Hizmeti. Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı Dergisi, 4(2), 48-53
- Parney, I. F., Warnick, R. E., Lang, F. F., Rutka, J. T., Kalkanis, S., Glick, R., ... & Germano, I. M. 2024. The AANS/CNS Section on Tumors: a summary of 40 years of advocacy to advance the care of patients with brain and spine tumors. Journal of neurosurgery, 141(1), 41-47.
- Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. 2019. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. Journal of Computational physics, 378, 686-707.
- Rodrigues, J. A. 2024. Using physics-informed neural networks (PINNs) for tumor cell growth modeling. Mathematics, 12(8), 1195.
- Schiassi, E., Furfaro, R., Leake, C., De Florio, M., Johnston, H., & Mortari, D. 2021. Extreme theory of functional connections: A fast physics-informed neural network method for solving ordinary and partial differential equations. Neurocomputing, 457, 334-356.
- Strong, M. J., Garces, J., Vera, J. C., Mathkour, M., Emerson, N., & Ware, M. L. 2015. Brain tumors: Epidemiology and current trends in treatment. Brain Tumors Neurooncol, 1(1), 1-21.
- Şimşek, A. B., & Dicle, A. 2013. Primer beyin tümörü: klinik özellikler, tedavi ve bakım. Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi, 6(2), 102-113
- Thorbinson, C., & Kilday, J. P. 2021. Childhood malignant brain tumors: balancing the bench and bedside. Cancers, 13(23), 6099.
- Tuna, H. U., Sari, M., & Cosgun, T. 2024. A discretization-free deep neural network-based approach for advection-dispersion-reaction mechanisms. Physica Scripta, 99(7), 076006.
- T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Kanser Daire Başkanlığı. 2025. Türkiye kanser istatistikleri 2020. T.C. Sağlık Bakanlığı Yayınları
- T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Kanser Daire Başkanlığı. 2025. Türkiye kanser istatistikleri 2020. Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı

- Torp, S. H., Solheim, O., & Skjulsvik, A. J. 2022. The WHO 2021 Classification of Central Nervous System tumours: A practical update on what neurosurgeons need to know — a minireview. *Acta Neurochirurgica*, 164(9), 2453–2464
- Yu, J., Lu, L., Meng, X., & Karniadakis, G. E. 2022. Gradient-enhanced physics-informed neural networks for forward and inverse PDE problems. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 393, 114823
- Wang, S., Teng, Y., & Perdikaris, P. 2021. Understanding and mitigating gradient flow pathologies in physics-informed neural networks. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 43(5), A3055-A3081.

