

## 1. Ders Konuları

- Modelleme ve simülasyon ile ilgili genel kavramlar
  - o Sistem ve sistem analizi kavramları
  - Simülasyon süreci ve uygulama alanları
  - o Simülasyon tipleri: kesikli simülasyon, sürekli simülasyon
  - Örnek Simülasyon Problemleri
  - Kesikli simülasyonun temelleri
  - Sürekli simülasyonun temelleri
  - Rassal sayı üreteçleri
  - o Monte Carlo Simülasyonu
  - o Monte Carlo Simülasyonu Problemleri
  - o Rassal değişken üretimi
  - O İstatistiksel Doğrulama Teknikleri
- 

### MODELLEME

- o Modelleme bir sistemi incelemek üzere o sistemin basit bir örneği yapılması anlamına gelir. Bu örnek gerçek sistemin yardımcısı ve basitleştirilmiş bir şeklidir. Fakat modelden de gerçek sistemden alınacak sonuçlara izin verecek kadar detaylı olması beklenir.
- o Modelleme yapılırken matematiksel metotlar kullanılır

-----

### SİMÜLASYON

- o Benzetim(Simülasyon) ise bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bilgisayar ortamına aktarılarak sistemin davranışlarının bilgisayarda izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir.
- Örneğin bir uçuş simülatörü, uçuşun kurallarının bir bilgisayar üzerinde öğretilmesi için kullanılan bir simülasyon modelidir.

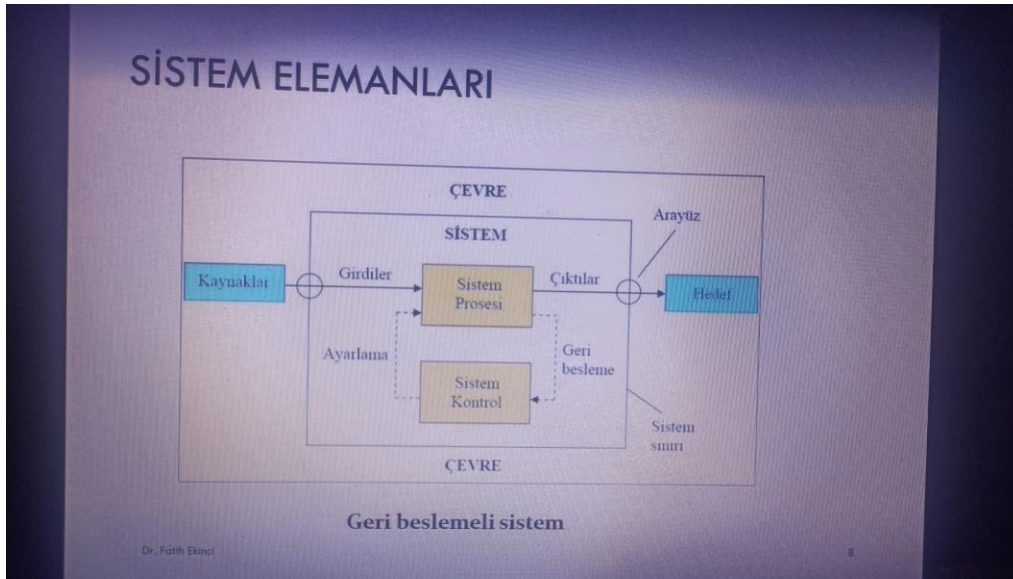
-----

## ● SİSTEM NEDİR?

- o Birbiriyle ilişkili parçaların oluşturduğu bir bütündür.
- o Elemanların ve bunların özelliklerinin arasındaki ilişkileri içeren bir elemanlar topluluğudur.
- o Belli bir amacın sağlanması için bir araya getirilmiş parçalar (elemanlar) dizisidir.
- o Bir amacın gerçekleşmesindeki araçlardır. Bu nedenle, sistemin belirli amaçları olmalı ve bunlar belli işlem ve yöntemler yardımıyla elde edilmelidir.
- o Örgütün temel bir faaliyetini yerine getirmek için bütünlük bir plana göre geliştirilmiş birbiriyle ilişkili yöntemler şebekesidir.
- o Örgütün temel amaçlarının planlı eylemlerle gerçekleştirilmesini sağlayan ilgili yöntemler grubudur.

## ● SİSTEM NEDİR?

"Belirli bir amaç doğrultusunda girdilere cevap olarak çıktı üreten, aralarında karşılıklı etkileşim olan elemanlar topluluğuna sistem denir."



## ● SİSTEM ELEMANLARI

- **Sistem elemanları:** Sistem içerisinde aralarında etkileşim olan birimlerdir (alt sistemler). Alt sistemler girdileri çıktılarına dönüştürmek için sistem sınırları içinde birbirleriyle etkileşimli olarak çalışırlar.

**Sistemin çevresi:** Sistem faaliyetlerinin oluşturduğu alanın dışında olan ve sistem tarafından kontrol edilemeyen alandır.

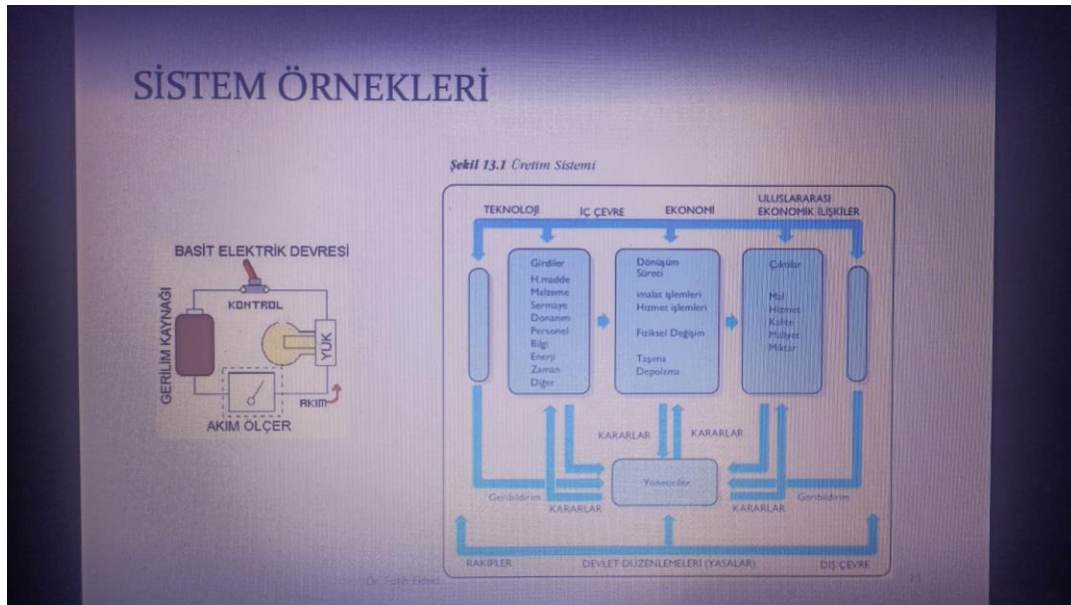
**Sistem Sınırı:** Bir sistemi diğer bir sistemden ya da çevresinden ayıran alandır. Sistemin sınırları içinde kalan elemanlar sistemin dışına göre daha kolay değiştirilebilir ve kontrol edilebilirler.

**Sistemin Girdileri:** Çevreden sisteme verilen enerjilerdir. Bir sistem tarafından talep edilen ve sistem tarafından yönlendirilen kaynaklar (veri, hizmet, malzeme, enerji vb.) sistemin girdilerini oluştururlar.

**Sistemin Çıktıları:** Sistemden dışarıya verilen enerjilerdir. Sistem faaliyetleri sonucunda üretilen ürünler (bilgi, rapor, dokümanlar, malzeme vb.) sistemin çıktıları oluştururlar.

**Sistem Geribeslemesi:** Geribeslemenin amacı kontrolü sağlamaktır. Kontrolün amacı ise, önceden belirlenmiş standartlara göre çıktıların karşılaştırmasını yapmaktır.

Geribesleme, sistemdeki karar sürecinin sistem **durumunu düzeltici gerekli eylemleri yaratmasını** sağlayan bilgi veya girdi akışıdır. Bu nedenle, sistemde devamlı akış halinde olan bir döngüyü oluşturur.



## ● SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

### ● Kavramsal ve Gerçek Sistemler

o Kavramsal sistemler, gerçek yaşantıda örneklerine rastlanabilen veya rastlanamayan teorik yapıya sahip sistemlerdir. Örneğin, tam rekabet piyasa sistemi, yönetim planları, örgüt şemaları gibi.

o Gerçek sistemler, bireyler, malzemeler ve makineler gibi fiziksel elemanlardan oluşan ve işleme konabilme gücü olan sistemlerdir.

### ● Doğal ve İnsan Yapısı Sistemler

o Doğal sistemler doğada var olan, doğanın yarattığı sistemlerdir. Örneğin, bitkiler, insanlar, güneş sistemi. Doğal sistemler aynı zamanda biyolojik veya fiziksel sistemler olarak da tanımlanabilir.

o İnsan yapısı sistemler ise insanlar tarafından yaratılan sistemlerdir. Günümüzde örgüt sisteminden uzay uçuş sistemlerine kadar uzanan çok sayıda insan yapısı geliştirilmiştir.

### ● Toplumsal ve İnsan-Makine Sistemleri

o Kapsamında insan elemanı bulunan tüm sistemler toplumsal sistem olarak kabul edilir. Örneğin, işletmeler, kamu kuruluşları ve sosyal dayanışma dernekleri gibi.

o Toplumsal sistemler belirlenen amaçlarına ulaşabilmek için şu veya bu şekilde makine ve teçhizat kullanmak zorunluluğundadır. Çünkü, yalnız insanlardan oluşan bir toplumsal sistem düşünmek geçerli değildir. Bu sebeple, toplumsal sistemleri bir bakıma insan-makine sistemleri olarak kabul etmek gerekir.

### ● Açık ve Kapalı Sistemler

o Açık sistem, çevresinden girdileri kabul eden, bunları çeşitli işlemlerden geçirdikten sonra meydana gelen çıktıları çevresine verebilen bir sistemdir. Açık sistemler, çevresiyle malzeme, enerji, işgücü ve bilgi alış verişi yapan, başka bir deyişle çevre ile ilişki kurabilen sistemlerdir.

o Kapalı sistemler ise, bir bütün olarak kendi kendine yeterli olan sistemlerdir. Bir anlamda, çevre ile ilişki kuramayan veya ilişki kurmak istese de bazı engellerle bu ilişkisi önlenen sistemlerdir.

### ● Alt Sistemler ve Süper Sistemler

o Bir sistem içinde yer alan daha küçük sistemler alt sistem olarak tanımlanır. Örneğin, tekstil endüstrisini bir sistem olarak ele alıp incelemek istersek, çok sayıdaki tekstil işletmeleri bu sistemin birer alt sistemi olurlar.

o Süper sistemler ise, büyük ve karmaşık sistemleri temsil ederler. Örneğin, insan vücudu fiziksel olarak küçüktür ancak onu oluşturan elemanlar ve bunlar arasındaki ilişkiler çok sayıda ve oldukça karmaşıktır.

---

## ● DİĞER SİSTEM AYRIMLARI

o Sistemler davranışsal özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Davranışsal özellikten amaç sistemin kendi kendini örgütleyebilme olanağı veya düzeneğinin olup olmamasıdır. Sistem bu özelliğini iki şekilde gösterebilir:

1. İç çevre örgütlemesi
2. Dış çevre örgütlemesi

## ● İÇ ÇEVRE ÖRGÜTLEMESİ

o Sistemin iç çevre örgütlemesi bilgi yaratabilmek ve kullanabilmek özelliği ile belirtilir.

1. Mekanistik sistemler
2. Uyarlanabilir (veya organizmik) sistemler
3. Yaratıcı (veya insan eylemli) sistemler

## ● DIŞ ÇEVRE ÖRGÜTLEMESİ

o Sistemin dış çevre örgütlemesi çevre ile etkileşimindeki değişik davranışları kapsar.

1. Sıkı kontrollü sistemler, belirlenmiş hedeflere yine belirlenmiş yöntemlerle ulaşmak isteyen sistemlerdir.

Örneğin, fabrika sistemi.

2. Deterministik sistemler, belirlenmiş hedeflere ulaşmak için değişik girdiler ve yöntemler kullanan sistemlerdir. Örneğin, bir malı üretmek için değişik ürün hatları ve dolayısıyla değişik malzeme ve işgücü kullanan bir örgüt.

3. Amaçlı sistemler, belirlenmiş stratejik amaçlara değişik işlemlerle ulaşmak isteyen sistemlerdir.

Örneğin, ürün çeşitlendirmesi yapmış bir örgüt.

4. Heuristik sistemler, belirlenmiş bir genel politika çerçevesinde amaçlarını seçen sistemlerdir.

Örneğin, çevreyi yeni bir fonksiyonel etken olarak geliştiren bir örgüt.

5. Anlamlı sistemler, gerek iç çevre gerekse dış çevredeki dinamik potansiyelin oluşturduğu çeşitli sistem durumlarını göz önünde tutarak kendi politikalarını seçen ve bunları formüle eden sistemlerdir.
-

## ● SİSTEM ANALİZİ

SİSTEM ANALİZİ GENİŞ ANLAMDA KARAR VERİCİNİN ALTERNATİF ÇÖZÜM YOLU ARASINDAN BİRİSİNİ SEÇEBİLMESİNE YARDIMCI OLMAK AMACIYLA YAPILAN HERHANGİ BİR DÜZENLİ ANALİTİK ÇALIŞMA OLARAK TANIMLANMAKTADIR.

BUNA GÖRE SİSTEM ANALİZİ, BELİRSİZLİK KOŞULLARI ALTINDAKİ KARMAŞIK PROBLEMLERE EN İYİ ÇÖZÜM GETİRMEYİ AMAÇLAYAN BİR YAKLAŞIMDIR.

BAŞKA BİR TANIMA GÖRE DE SİSTEM ANALİZİ, SİSTEMDEKİ ÇEŞİTLİ

<<<KARAR NOKTALARINI>>> ETKİLEYEN BÜTÜN FAKTÖRLERİN VE KISITLAMALARIN SAPTANMASI VE DEĞERLEMESİ YAKLAŞIMIDIR. BURADA BELİRTİLEN KARAR NOKTASI KENDİSİNE GELEN GİRDİLERİ KULLANARAK KARAR VEREN BİREY VEYA MEKANİZMADIR

## ● SİSTEM ANALİZİ AŞAMALARI

o Sistem analizi yaklaşımında kullanılan yöntem bilimsel yöntemdir. Bilimsel yöntemin aşamaları şöyle sıralanabilir:

1. Problemin tanımlanması
2. Hipotezin geliştirilmesi
3. Veri ve bilgilerin toplanması
4. Deneyler yoluyla hipotezin test edilmesi
5. Hipotez hakkında sonuçlara varılması

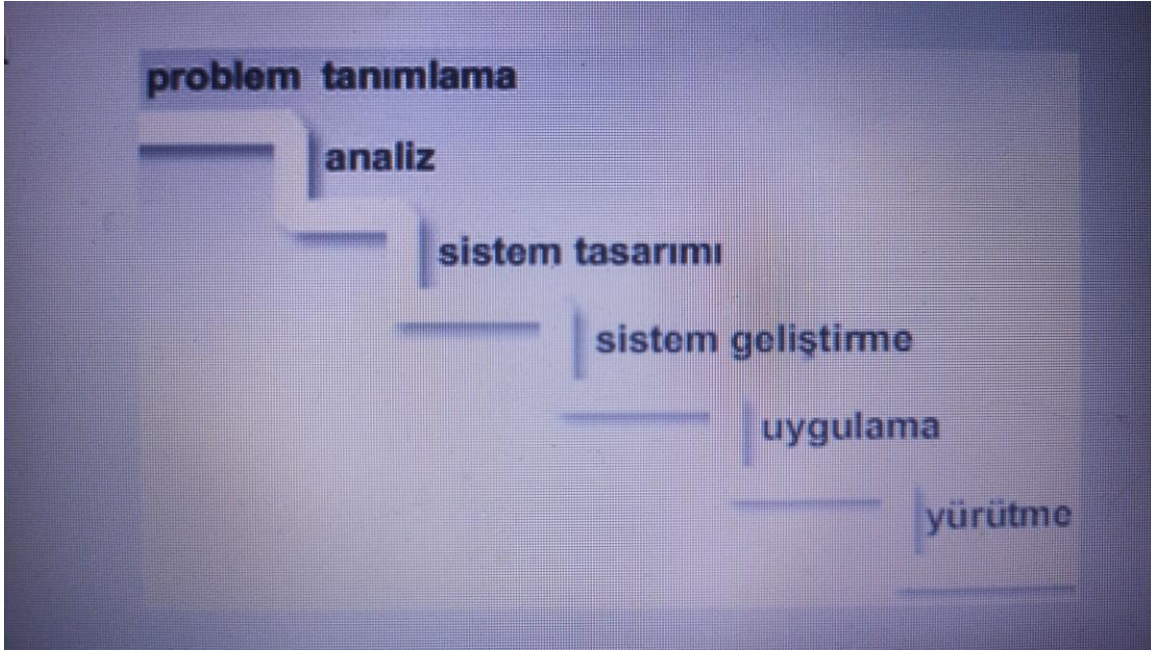
• Ancak bu aşamalar temel bilimlerde geçerlidir.

● Temel bilimlerle sosyal bilimler arasındaki farklılıklar bilimsel yöntemin, sosyal bilimler için uyarlanmasını gerektirmektedir. Bu uyarlanmış bilimsel yöntem aşamaları şunlardır (Sezgin, 1976):

1. Problemin tanımlanması
2. Problem belirtilerinin esas problemden ayrılması
3. Problemle ilgili bilgilerin toplanması
4. Toplanan bilgilerin analiz edilmesi
5. Alternatiflerin geliştirilmesi
6. Bir alternatifin seçilmesi

## 7. Verilen kararın uygulanması

---





## 2. Ders Konuları

- o Monte Carlo Tarihi
  - o Monte Carlo Çalışma Presibi
  - o Monte Carlo Uyulama Alanları
  - o Monte Carlo Simülasyon Türleri
  - o Monte Carlo Tabanlı TRIM
  - o MC TRIM Giriş
  - o MC TRIM Sistemi
  - o MC TRIM Arayüzü
  - o MC TRIM Çalışma Prensileri
  - o MC TRIM Simülasyonu Oluşturma
  - o MC TRIM Analiz
- 

### ● MONTE CARLO YÖNTEMİ

Monte Carlo (MC) yöntemi analitik çözümün zor olduğu matematik problemlerinin çözümü için geliştirilmiş istatistiksel bir benzetim tekniğidir. 1930'lu yılların sonuna doğru hızla gelişmeye başlamış bir yöntemdir. MC yöntemi ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Enerji Bakanlığı'na bağlı nükleer silah geliştirme laboratuvarları olan Los Alamos Laboratuvarında çalışan bilim insanları tarafından ortaya atılmıştır.

MC yöntemi, deneysel ve istatistiksel problemlerin çözümüne rastgele sayılarla yaklaşım yöntemini kullanır. MC yöntemi, rastgele sayıları kullanarak olasılık teorisiyle problemi simülasyonunu yaparak bulunmak istenen parametrenin yaklaşık olarak hesaplanması fikrine dayanır

Bu fikirden yola çıkarak, Nicholas Metropolis Manhattan Projesi sırasında Ulam ve Fermi'nin karşılaştıkları nötron yayılım ve çoğalma problemlerini çözmek için MC programı kullanılmıştır. MC yöntemi, parçacıkların ortam içindeki takibini, parçacık etkileşimlerini tanımlayan olasılık dağılımlarını kullanarak yapar. Birçok parçacık için akı, enerji kaybı ve soğurulan doz gibi nicelikler kaydedilir ve bu dağılımlar için ortalama değerler hesaplanır



Simülasyon, genel anlamda gerçeğin hayali canlandırılması olarak tanımlanabilir. Simülasyonun temel amacı gerçek sistemi girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek ve kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmaktır. Ayrıca, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir

Simülasyon kelimesinin kullanılışı 1940 sonlarında John Von NEUMANN ve Stanislaw ULAM'in çalışmalarına Monte Carlo Simülasyon (MCS) adı vermeleri ile başlar (1949) MCS, duyarlılık, momentler ve tam cebirsel çözümleme metodu gibi risk çözümlemesi yöntemlerindendir. Sonuçları farklı yöntemlerle karşılaştırıldığında, riski daha iyi çözümlemesinden dolayı mühendislik bilimlerinde, nükleer teknolojide, uzay sistemlerinde, istatistik analizlerde ve sosyo ekonomik sahalarda sıkça kullanılır. Böylece çok pahalı olan nükleer savunma problemleri, çok karmaşık ve deneysel işlemler başarıyla çözülebilir

Simülasyonun avantajı, esnek ve anlaması kolay bir çözüm yöntemi olmasıdır. Böylece klasik yöntemlerin sonuç üretmediği büyük karmaşık problemlerin aşamalı olarak çözümünde başarılıdır. Normal şartlarda başka yöntemde incelenmesi olanaksız olan koşulların kolayca ve çok kısa zamanda simülasyon kurgulanabilir. Modellenen sistemi değiştirmeden üzerinde yeni fikirler ve yapılar oluşturulmasına imkân verir.

Simülasyon istenildiği zaman durdurulup yeniden başlatılabildiğinden deney koşulları kontrol edilebilir. Simülasyonun avantajları kadar dezavantajları da vardır. Temel dezavantajı, optimum çözüm üretme garantisi olmadığı için değişik varyasyonlar denenmesidir. Her simülasyon modeli kendine özgüdür. Modelleme ve sonuçların çözümlemesinde yapılacak hatalar, yanlış sonuçlara sebep olabilir

MC metodunda, deneyi veya olayı, sayısal ifade ile benzetmek için temel olarak 0-1 arasında değerler alan düzgün dağılımlı sayılar kullanılır. Bu sayılar q ile gösterilir ve bilgisayar ortamında türetilir. Bir deneyde bulunabilecek değerler kümesi gelişigüzel sayı kümesi oluştururlar. Gelişigüzel sayılar kümesinde bir sayının gelme olasılığı ötekilerden farklı olabilir. Olasılıkların aynı olduğu kümeye "düzgün dağılımlı gelişigüzel sayılar kümesi" denir. Gelişigüzel sayılar, her bir rakamı aynı olasılıkla seçilmiş ve birbirinden bağımsız sayılardan oluşmuş bir kümenin elemanlarıdır. Bilgisayarda tümüyle belirli bir yöntemle göre ardı ardına oluşturulan bu sayılar gerçekte gelişigüzel olmamakla birlikte gelişigüzel sayıların istatistiksel özelliklerini içe...

Problem analitik olarak hesaplanamayacak kadar karmaşık sistemler içeriyorsa, sistemdeki rastgelelik ve olaya art arda birçok farklı fiziksel olgunun karışması söz konusu ise, bu durumda probleme kuramsal yaklaşım yalnızca Monte Carlo yöntemi ile mümkündür.

Bir problemin çözümünde, probleme katılan her fiziksel olguya ilişkin olasılık yasaları biliniyorsa, her olayın katkısı Monte Carlo örnekleme teknikleri kullanılarak hesaplanıp istenen sonuçlar elde

Günümüzde modern bilgisayarların gelişimi ile Monte Carlo yöntemi fiziğin hemen hemen tüm dallarında geniş uygulama alanı bulmuştur

Bir deney veya ölçme bir olay olarak tanımlanabilir. Bir olayın belli olasılıklarla ortaya çıkan çeşitli sonuçları vardır. Bu sonuçların her biri de bir olay olarak görülebilir. Örneğin, elektronun bir ortamla etkileşmesi bir olay, bu olayın sonuçlarından olan elastik saçılma, inelastik saçılma, bremsstrahlung da birer olaydır. Örnek olarak, elastik saçılmada elektronun belli bir açıda saçılması elastik saçılma olayının bir sonucudur

---

## ● MC TRIM SİMÜLASYON PROGRAMI

Bu derste, simülasyonu uygulamalı anlatabilmek için MC TRIM programı kullanılacaktır. Bu program iyon-atom çarpışmalarının kuantum mekaniksel işlemini kullanarak madde içinde iyonların durdurma gücünü, recoil etkileşimlerini, fonon salınımlarını ve menzillerini hesaplayan bir simülasyon programıdır.

- TRIM, hedef hasarı, saçılma, iyonizasyon ve fonon üretimi gibi iyonların enerji kayıp süreçleri ile ilgili bütün kinetik olayları ve iyonların 3 boyutlu dağılımını hesaplayabilmektedir. Hedefteki tüm hedef atom kaskatlarını ayrıntılı olarak takip edebilir. Program, herhangi bir zamanda kesintiye uğrayabilecek ve daha sonra tekrar başlayabilecek şekilde yapılmıştır. Hesaplama alanları kaydedilebilir ve gerektiğinde görüntülenebilmektedir.

İyonların hedefte dağılımı, iyonun hedefte iyonizasyonla enerji kaybı, geri tepme atomlarına aktarılan enerji, geri saçılan iyonlar ve toplam iyonlar doğru bir şekilde hesaplanabilir. Geri tepmeler için rastgele sayı üretici iyonların sayı üreticinden farklı olduğundan, TRIM'de tam hasar kaskat seçeneği kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Böylece, hesaplamaları karşılaştırmak için kullanılabilir. Geri tepme süreci, herhangi bir hedef atomun en düşük yer değiştirme enerjisinin altına düşene kadar tüm çarpışma durumları için analiz edilebilir. İyonun hedefin her bir katmanında bir çarpışmaya sahip olması sağlanabilir. Böylece her çarpışma hesaplanabilir. Bu seçenek kullanılırsa, menzil, iyonlaşma, hasar, vb. gibi değerlerin ortalama miktarı elde edilir, ancak hesaplama daha uzun sürebilir

Nötron/elektron/foton kaskatları, sadece bir hedefteki etkileşim kaskatlarını hesaplamak için kullanılır. TRIM geri tepme kaskatlarını başlatan atomlar hakkında kinetik bilgiyi içeren TRIM.DAT dosyasını girdi olarak kullanır. TRIM.DAT dosyası, nötronlar, elektronlar veya fotonlar tarafından hedef atomlara aktarılan enerjiyi hesaplayan başka bir program tarafından oluşturulur. Daha sonra TRIM bu dış bilgiyi alır ve geri tepme kaskatlarından hedefe yapılan hasarı hesaplar. TRIM, farklı iyon enerjileri, yörünge açıları veya hedef derinlikleri ile başlayarak çeşitli iyon enerjisi, açısı ve pozisyonlarını hesaplayabilir

Periyodik Tablo (PT)'yu görmek için PT'ye basmak yeterlidir. Buradan iyon, iyonun kütlesi ve enerjisi belirlenir. TRIM, iyon kütlesi için en bol izotopunun (doğal ağırlık değil) kütlesini önerir. Bu değerler En Bol İzotop (MAI-Most Abundant Isotope) olarak Periyodik Tabloda gösterilmiştir. Bununla birlikte, herhangi bir kütle ( $u = \text{amu}$ ) girilebilir. TRIM iyon enerjisi için 10 eV'den 10 GeV/amu'ya kadar herhangi bir değeri kabul edebilir. TRIM'in herhangi bir nükleer reaksiyon analizi içermediğine dikkat edilmelidir. Bundan dolayı yaklaşık 5 MeV/amu üzerindeki enerjileri olan iyonların hesaplamasına katılmayan yani elastik olmayan enerji kayıpları olabilir

giriş açısı, hedef yüzeye göre iyonun giriş açısını değiştirir. Normal olarak, iyon, sıfır derece olarak tanımlanan bir açıda x-ekseni boyunca hedef yüzeye diktir. Bu açı 0 - 89,9° arasında herhangi bir açıyla değiştirilebilir. İyon yönündeki değişimin XY düzleminde olduğu kabul edilir

Katı veya gaz hedefler için TRIM, her iki hedefi de farklı ele alır. Hedef, gaz ve katı katmanların karışımından oluşabilir. İyonların katı fazdaki atomlarla etkileşimi, gazlardaki atomlardan farklıdır. Hedef unsurlar için, hedefi oluşturan çeşitli öğeler girilebilir. PT düğmesi kullanılarak katman başına on iki hedef öğeye kadar seçilebilir. TRIM'in özel bir uygulaması, katmanların kaskatlar oluşturan iyon demetleri ile etkileşmesini takip etmektir

Katman derinlikleri ve stokiyometri (element ölçüsü), hedef elemanlar listesi ve hedef katman sayısı (en fazla sekiz katman) girildikten sonra oluşturulur. Hedef kalınlığının varsayılan birimi Angstrom'dur, ancak menüden mikron, milimetre, metre veya kilometre birimleri de seçilebilir. Her katman için, o katmanı oluşturan her bir öğenin miktarı girilmelidir. Özel çok katmanlı biyolojik hedefler, TRIM'in standart ICRU ve ICRP hedef tanımları kullanılarak karmaşık biyolojik hedeflerin sekiz katmana kadar hesaplanmasını sağlar

---

---

---

### 3. Ders Konuları:

- o Optimizasyon
- o Simülasyon & Optimizasyon
- o Uygun çözüm & optimum çözüm
- o Optimizasyon işleminde kullanılan teknikler
- o Analitik Yöntemler
- o Sezgisel Yöntemler
- o Meta-sezgisel Yöntemler
- o Doğrusal Programlama
- o DP Modellerinin Dayandığı Varsayımlar

#### ● OPTİMİZASYON

Optimizasyon, en genel anlamıyla, bir sistemde, belirli kısıtlar altında, belirlenmiş bir amaç fonksiyonunun değerinin en iyilenmesi amacıyla karar değişkenlerinin alacağı değerleri belirleme işlemidir.

-----

- Diğer bir ifade ile, istenen bir çıktıyı elde etmek amacıyla, sistem girdilerinin ve/veya bu girdilerin değerlerinin ne olacağını belirleme sürecidir.

Amaç fonksiyonunun en iyilenmesi demek, problemin türüne göre en küçüklenmesi (minimizasyon) veya en büyüklenmesi (maksimizasyon) olabilir. Örneğin bir çizelgeleme probleminin, geciken iş sayısını en küçükmek amacıyla çözülmesi bir optimizasyon problemidir.

-----

Aynı şekilde, bir montaj hattı dengeleme probleminin istasyon sayısını minimize etmek (veya hat etkinliğini maksimize etmek) amacıyla, veya bir ekonomik stok miktarı belirleme probleminin toplam maliyeti minimize etmek amacıyla çözülmesi birer optimizasyon işlemidir.



## ● SİMÜLASYON & OPTİMİZASYON

Simülasyon, girdilerin bilindiği bir sistemde, çıktının tahmin edilmesi, belirlenmesi, sürecidir.

Örneğin, siparişlerin geliş zamanının ve sistemde geçireceği sürelerin bilindiği bir üretim sürecinin simülasyonu sonucu, üretimin ne zaman tamamlanacağı, sistemdeki boş zamanlar, sistemin etkinliği vs. büyük oranda hesaplanabilir (tahmin edilebilir).

Optimizasyon ise, istenen çıktıyı elde edebilmek amacıyla, girdilerin veya bu girdilerin değerlerinin ne olacağının belirlenmesi sürecidir.

Örneğin, istenen yüzey pürüzlülüğünün elde edilebilmesi amacıyla, bir 38 yazıcının parametrelerinin ne olacağının belirlenmesi optimizasyona örnektir.

---

## ● UYGUN ÇÖZÜM & OPTİMUM ÇÖZÜM

Karar değişkeni, problem çözüldüğü zaman değeri belirlenecek olan sistem ögesidir. Yani aslında karar değişkenlerinin alacağı değerlerin belirlenme süreci, problem çözme sürecidir. Karar değişkenlerinin alacağı değerler, amaç fonksiyonunun değerinin ne olacağına etki eder. Fakat bu süreçte bazı kısıtların sağlanması gerekmektedir.

- Çözüm uzayındaki, problemin kısıtlarını sağlayan her hangi bir çözüm, uygun çözüm olarak adlandırılır.

- Optimum çözüm ise, uygun çözümler arasından, belirlenen amaca göre en iyi çözümü ifade etmektedir.
- 

## ● OPTİMİZASYON İŞLEMİNDE KULLANILAN TEKNİKLER

Optimizasyon işleminde kullanılan teknikler:

- Analitik Yöntemler (matematiksel modelleme, dal-sınır algoritması, vb.):

Toleranslar dahilinde optimum çözümü verirler. Büyük boyutlu problemlerde sonuca ulaşmak çok uzun sürer veya ulaşılamaz.

Tüm bu modeller, elde edilmesine göre üç temel grup altında toplanabilir;

1. **Basit-mantıksal modeller:** Bu gibi modeller, temel fiziksel-kimyasal faktörleri ayrıntılı bir biçimde göz önüne almadan, araştırılan konuyu (örneğin, topraklarda sadece tuzun taşınmasını) kabaca ifade etmektedir.
2. **Ampirik (deneysel) modeller:** Bu grup modeller çok sayıda deneme (örneğin, yıkama denemeleri) verilerinin istatistiksel analizleri sonucundan elde edilirler ve genel olarak deneysel modeller olarak adlandırılırlar

3. **Teorik modeller:** Bu grup modeller çeşitli Bio-fiziksel ve bio-kimyasal, Jeokimyasal ve Hidrodinamik metot ve prensiplere dayanarak elde edilirler. Örneğin tuzlu toprakların yıkanması sürecini en uygun ifade eden model.

---

#### Sezgisel Yöntemler:

Probleme özgü çözüm yöntemleridir ve belirli bir algoritmayı takip ederler. Optimum çözümü garanti etmemekle birlikte analitik yöntemlere göre daha hızlı çözüm üretirler.

Örn. akış tipi çizelgeleme problemleri için Johnson algoritması, montaj hattı dengeleme problemleri için pozisyon ağırlığı yöntemi, vb.

---

#### Meta-sezgisel Yöntemler:

Belirli algoritmaların, çözülecek problem yapısına uyarlanması ile elde edilen çözüm yöntemleridir.

Örn. genetik algoritma, karınca koloni algoritması, tavlama benzetimi algoritması, vb.

---

#### DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Bir doğrusal programlama problemi genel itibarı ile amaç fonksiyonu ve doğrusal sınır/sınırların yer aldığı iki kısımlı bir matematiksel ifadedir.

Bu matematiksel ifade ile bir amaç maksimize ya da minimize edilir.

Doğrusallık ifadesi modelde yer alan tüm değişkenler (fonksiyonlar) arasındaki ilişkinin doğrusal olmasından kaynaklanmaktadır.

Doğrusal sınırların oluşturduğu kesişim kümesinden yola çıkılarak mümkün çözümler ya da uygun çözüm alanı belirlenir.

Belirlenen uygun çözüm alanı ise amaç doğrultusunda en iyilenmeye çalışılır.

Doğrusal programlama (DP) ile bağımsız değişkenlerden oluşan bir dizi fonksiyon ile yine bir dizi bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olan bağımlı değişkenin optimal değeri belirlenmeye çalışılır.

Bir başka ifade ile doğrusal programlama, belirli bir amacı eniyilemek maksadıyla sınırlı kaynakların nasıl dağıtılması gerektiğine çözüm arayan bir karar verme aracıdır.

---

### ● DP MODELLERİNİN DAYANDIĞI VARSAYIMLAR

#### ● Doğrusallık:

DP modeli değişkenler arasındaki ilişkilerin doğrusal olduğu varsayımına dayanır. Bu varsayım, bütün ilişkilerin birinci dereceden fonksiyonlar ile ifade edilmesinden kaynaklanır. Her bir karar değişkeninin amaç fonksiyonuna katkısı, diğer karar değişkenlerinin değerlerinden farklı olarak o karar değişkeninin değeri ile orantılı olması, doğrusallığı göstermektedir. Gerçek dünyada bu duruma uygun düşen örnekler vardır.

Doğrusallık varsayımı aslında temel olarak orantılı olma ve katkı olmak üzere iki özellik ile ilgilidir:

- **Orantılı olma:** Bu özellik, her bir karar değişkeninin gerek amaç fonksiyonuna gerekse de tüm kısıtlara etkisinin, söz konusu değişkenin değeriyle doğru orantılı olması gerektiğini ifade eder.
- **Katkı:** Bu özellik de, kısıtlardaki ve amaç fonksiyonundaki tüm değişkenlerin toplam katkısının bu değişkenlerin tekil (bireysel) katkılarının toplamından oluşması şartını koşar.

#### ● Toplanabilirlik:

Toplanabilirlik varsayımı doğrusallık varsayımının doğal bir sonucudur. Kit kaynakların kullanılması çerçevesinde toplanabilirlik varsayımı düşünüldüğünde, rakip faaliyetler tarafından birlikte kullanılan toplam kaynak miktarının bu rakip faaliyetlerin teker teker kullandıkları miktarların toplamına eşitlenmesidir. Bu varsayım amaç fonksiyonu çerçevesinde düşünüldüğünde ise, bu fonksiyonun bağımlı değişkeninin değeri tek tek faaliyetlerden kaynaklanan kar katkılarının toplamına eşitlenmesidir.

#### ● Bölünebilirlik:

DP modelinin dayandığı bu varsayım göre her bir rakip faaliyetin sonsuz derecede bölünebilir olmasıdır. Bu varsayım çerçevesinde, karar değişkenleri tamsayı değerlerin yanında kesirli değerlerde alabilmekte, kit kaynaklar kesirli miktarlarda kullanılabilir. Kesirli sonuç istenmeyen durumlarda da DP modeli kullanılabilir fakat elde edilen sonuç yuvarlanır. Bunun dışında karar değişkenlerinin zorunlu olarak tamsayı değerler almaları istenilirse tamsayı doğrusal programlama kullanılır.

#### ● Belirlilik (Kesinlik):

DP modelinde rakip faaliyetlerin amaç fonksiyonuna katkılarının, kullandıkları kaynak miktarlarının ve kit kaynakların mevcut miktarlarının önceden kesinlikle bilindikleri varsayılmaktadır. Gerçek hayattaki problemlerin aslında küçük bir bölümü bu varsayımı sağlamaktadır. Doğrusal programlama genellikle gelecekteki faaliyetlerin seçiminde kullanılır. Bu yüzden de parametre değerleri gelecekteki koşullar dikkate alınarak belirlenir. Bundan dolayı, durumun bu şekilde olması halinde kullanılan çözüm yöntemi ise optimal çözüm bulunduğundan



sonra bu çözümün parametrelere olan duyarlılığını göstermede kullanılacak olan duyarlılık analizidir.

Görüldüğü gibi bir DP probleminde bu varsayımların tamamının sağlanması halinde modelin kurulması söz konusu olacaktır. Bu varsayımlar dikkate alındığında her karar problemine DP modelinin uygulanamayacağı açıkça görülmektedir.

---

---

## 4. Ders Konuları

o Radyoaktivite

o e Elektron yakalama

o B Bozunumu

o B Bozunumu

o Gama Bozunumu

Elektronların madde ile etkileşimi

o Elektromanyetik radyasyon

• Ağır yüklü parçacıklar

Radyasyon dozu ve birimleri

o Gazlı sayaçlar

Sintilasyon detektör

o Hadron terapi

o Kanser

Hadron iyon tedavi merkezleri

o Hadron terapi avantaj ve dezavantajları

---

### ● RADYOAKTİVİTE

Çekirdeğin Kararır Durumdan Kararsız Duruma Geçerken Enerjisini Işınım Salarak Vermesidir.

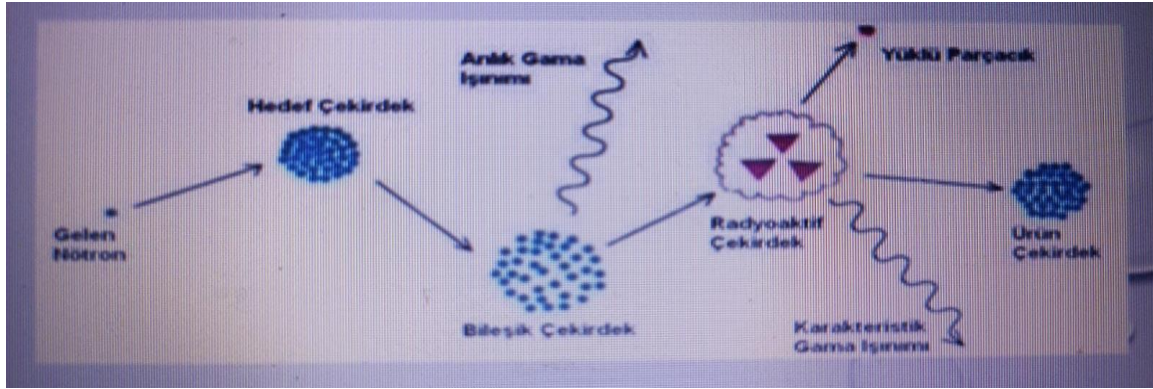
Radyasyon (Veya Işınım), Elektromanyetik Dalgalar Veya Parçacıklar Biçimindeki Enerji Yayımı Ya Da Aktarımıdır.

Doğada Mevcut Elementlerin Atomlarının Bir Kısmı Kararlı Diğer Bir Kısmı İse Kararsız Çekirdeklere Sahiptirler.

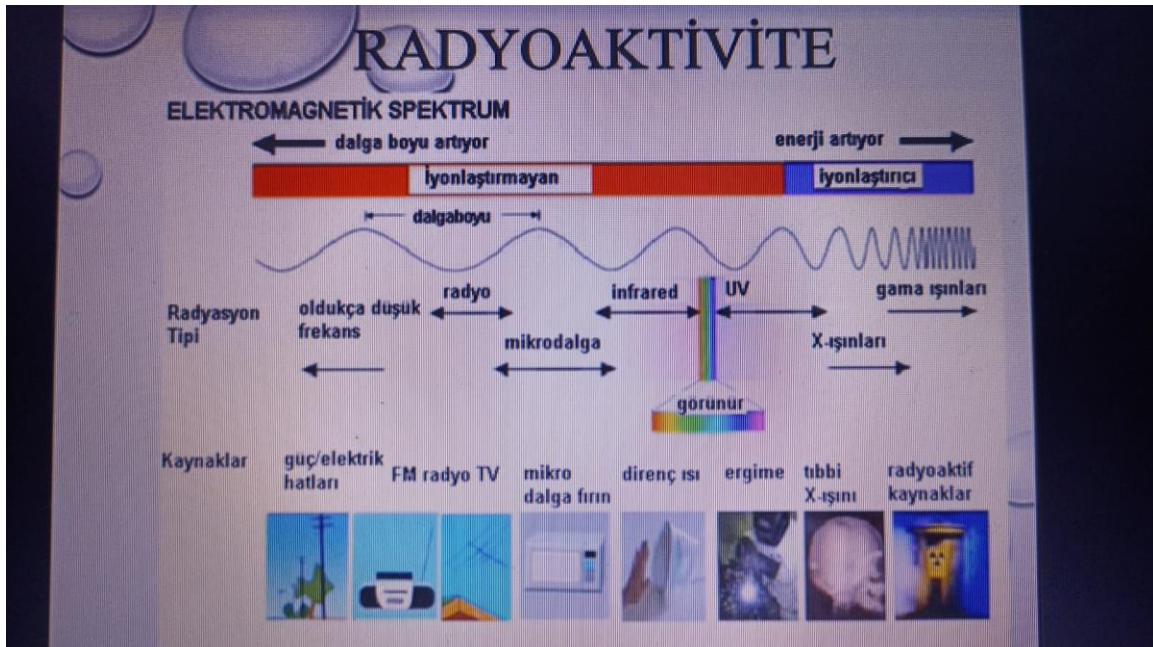
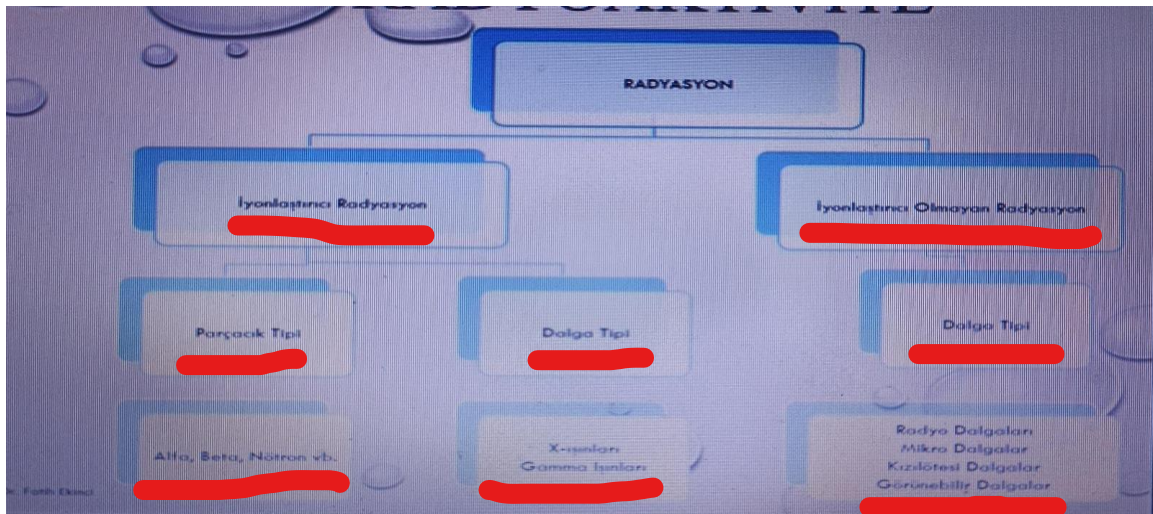
Bu Olaya Radyoaktivite Veya Radyoaktif Parçalanma Denir.

● Doğal Radyoaktivite

● Yapay Radyoaktivite



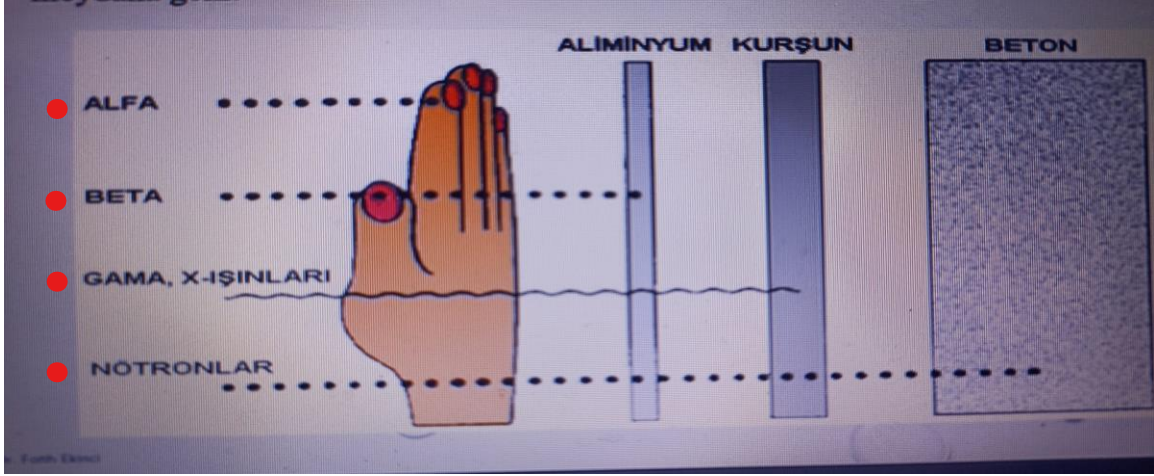
- Parçacık Radyasyonu: Belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder.



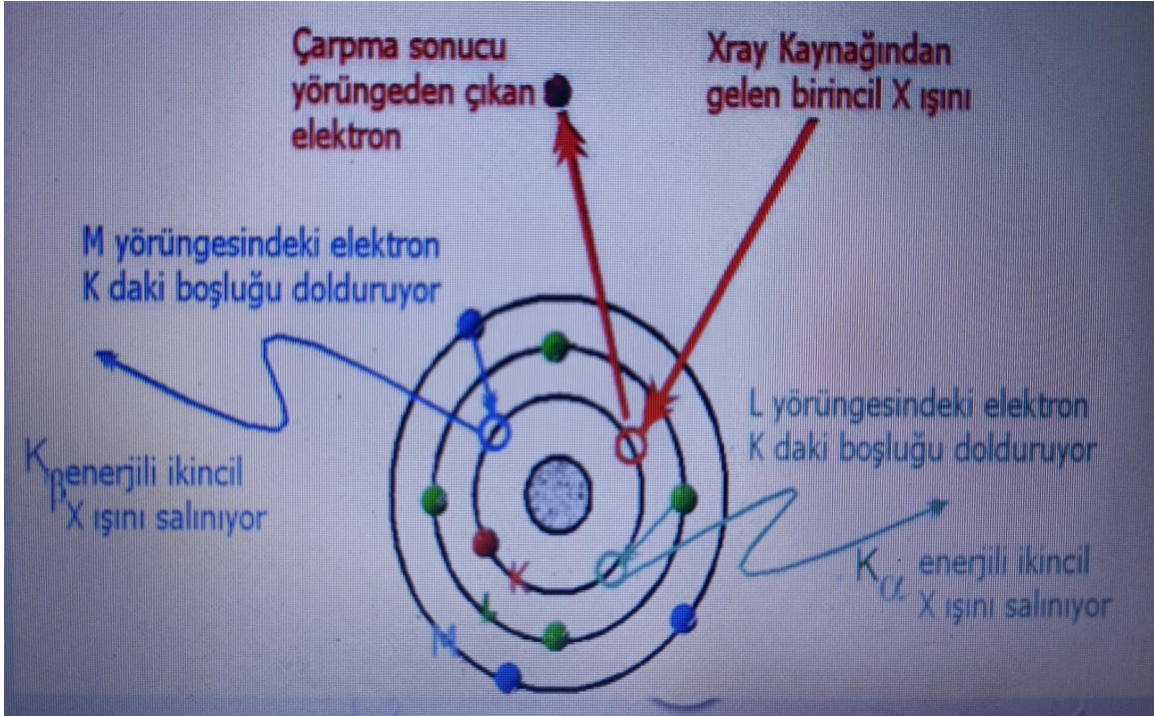


Radyasyon yayımlandıktan sonra yolu üzerinde içinden geçtiği madde ile etkileşir.

Radyasyon etkileşimleri sonucunda biyolojik, kimyasal ve fiziksel değişimler de meydana gelir.



Nötronlar dışındaki diğer radyasyon türleri genellikle atomun bağlı/yörünge elektronlarıyla etkileşir.



## RADYOAKTİVİTE

Radyasyonun elektrondan nasıl saçılacağını parçacığın yükü ve kütlesi belirler.

- I. Ağır bir parçacık, çarpıştığı kendinden çok hafif elektrona çok az enerji aktarabilir.
- II. Elektron-elektron saçılmalarında enerji paylaşımı daha belirgindir.
- Bir foton etkileştiği bağlı elektrondan saçılabileceği gibi, elektron tarafından soğurulabilir.
- IV. Nötronlar. elektronlarla manyetik momentleri üzerinden ancak çok zayıf şekilde etkileşebilir. Baskın etkileşim atomun çekirdeği ile olur.

### ● ALFA BOZUNUMU

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak bozunur.

### ● BETA BOZUNUMU

Çekirdek fazla proton veya nötrondan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir.

$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$

$p \rightarrow n + e + \nu$

B Bozunumu

$p \rightarrow n + e + \nu$

B- Bozunumu

$\epsilon$  Elektron yakalama

-----

● İlk işlem negatif beta bozunumu veya negatron bozunumu olarak bilinir ve bir elektronun yaratılıp yayınlanmasını kapsar.

$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$

Karbon-14

Azot-14

B-bozunumu

● **İkinci işlem** pozitif beta bozunumu veya pozitron bozunumudur ve pozitif yüklü bir elektron yayınlanır.

$p \rightarrow n + e^+$

B+ Bozunumu

-----

## ● GAMA BOZUNUMU

Radyoaktif gama yayınlanması, optik veya x-ışını geçişleri gibi atomik radyasyon yayınlanmasına benzer.

## ● RADYASYON ÖLÇÜM BİRİMLERİ

● Aktivite (radyoaktif yayınlanma şiddeti), birim zamanda dönüşen çekirdek sayısıdır.

1 Curie =  $3.7 \times 10^{10}$  d/s

d/s = saniyedeki dönüşüm sayısı

Bir başka birim ise saniyede  $10^6$  parçalanma olarak tanımlanan Rutherford (rd) daha küçük odalıklı bir birim sağlamak için bir süre kullanılmıştır, ancak uluslararası birim sistemlerinde yer alamamıştır.

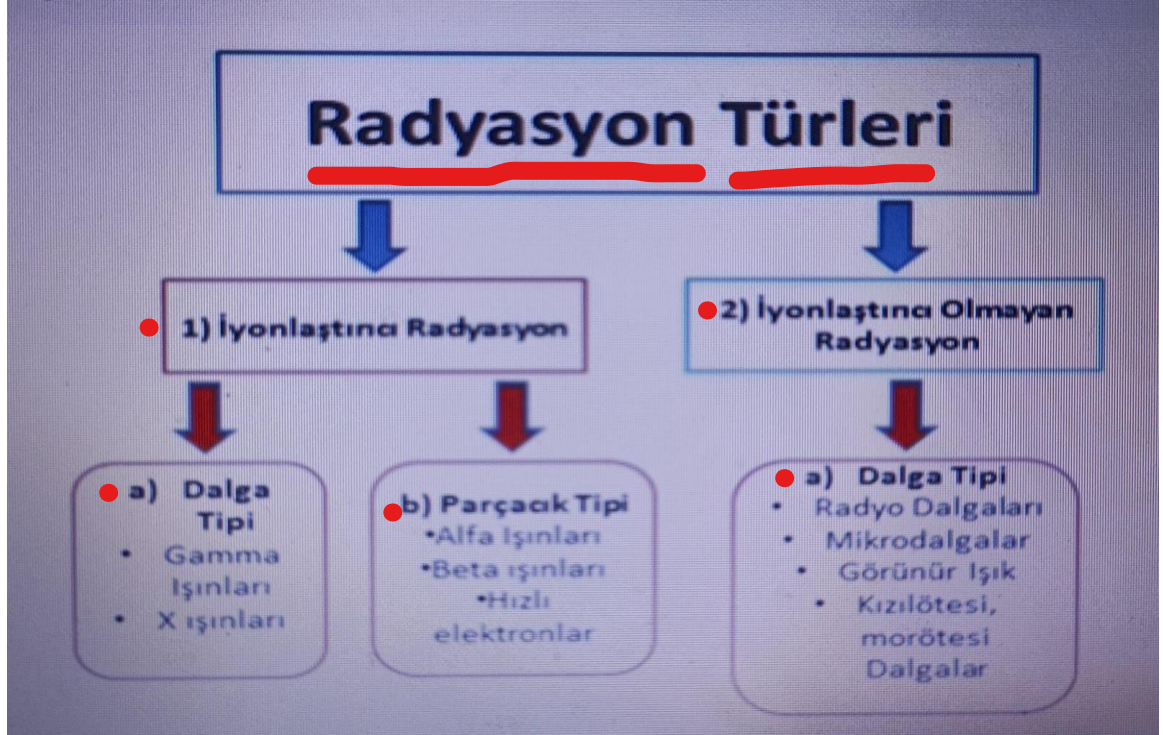
$$1 \text{ rd} = 1 \text{ d/s}$$

## ● RADYASYON - MADDE

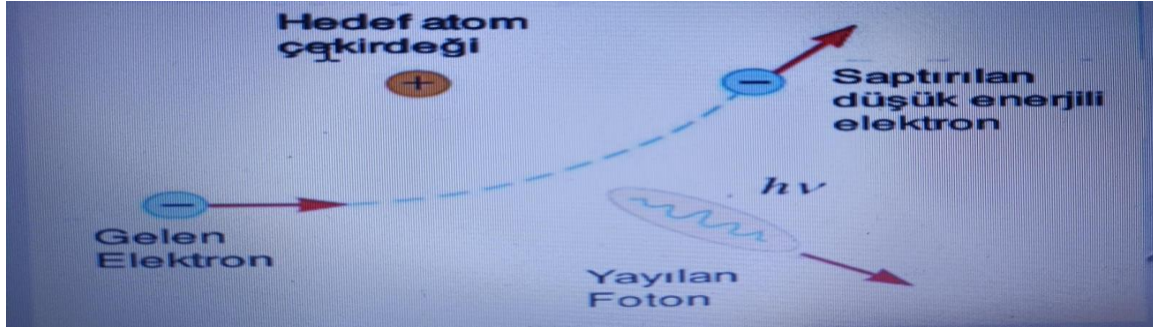
Hangi tip olursa olsun, radyasyon, yayıldığı ortama enerji aktararak çeşitli

etkileşimlere yol açar.

---







- **ELEKTROMANYETİK RADYASYON**

Fotonlar madde içinden geçerken ya atomların çekirdekleri ile ya da yörünge elektronları ile etkileşirler. fotonlar başlıca üç etkileşmeyle enerjilerini kaybederler:

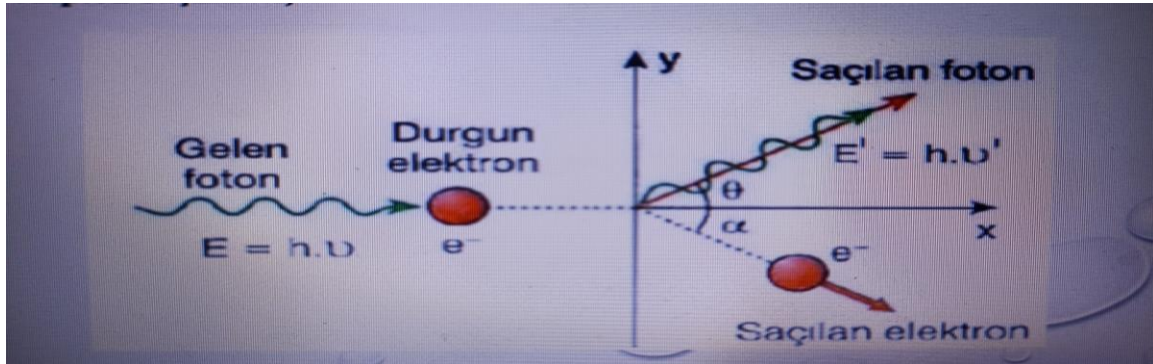
- 1. Fotoelektrik Olay
- 2. Compton Saçılması
- 3 Cift Oluşumu

- **1- Atomun iç yörünge (sıkı bağlı) elektronları ile etkileşerek fotoelektrik olayı:**

Bir etkiyle atom yörüngelerinden birinde oluşan boşluklar daha üst yörüngelerde bulunan elektronlar tarafından doldurulur.

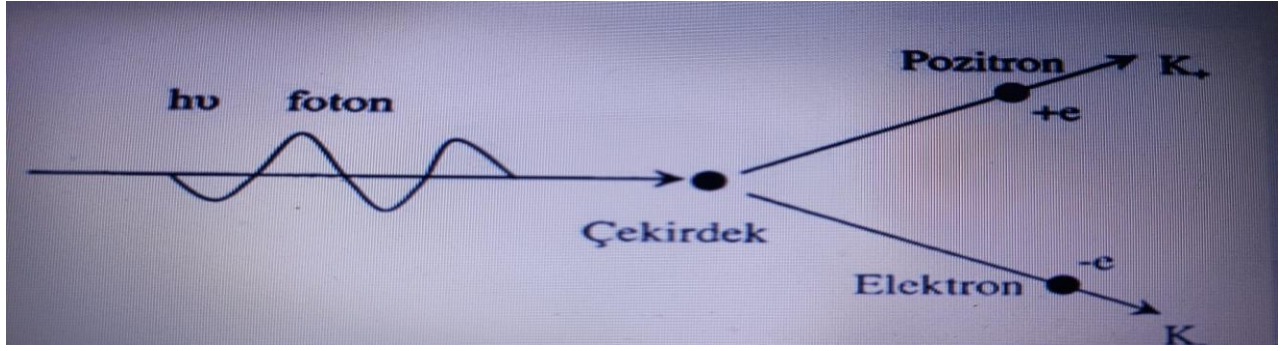
- **2- Atomun dış yörünge (zayıf bağh veya serbest) elektronları ile etkileşerek**

**Compton Saçılması,**



3-Atomun çekirdeğine yakın bir yerde bir pozitron ve bir elektron meydana getirme yani, Çift Oluşumu'dur.

---



### ● AĞIR YÜKLÜ PARÇACIKLAR

Parçacık, enerjisinin tümünü kaybetmeden önce binlerce benzer olay meydana gelir.

### ● RADYASYON DOZU VE BİRİMLERİ

Radyasyon dozu terim veya sadece doz, iki önemli anahtar kavram bağlamında tanımlanır:

- A) Soğrulan Doz
- B) Etkin Doz Eşdeğeri

Birimler	Eski Adı	Yeni Adı	Dönüşüm
Aktivite Birimi	Curie, Ci	Becquerel, Bq	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq 1 Bq = 37 GBq
Işınlanma Dozu Birimi	Röntgen, R	Coulomb / kg, C/kg	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg 1 C/kg = 3876 R
Soğrulmuş Doz Birimi	Radiation Absorbed Dose, rad	Gray, Gy	1 Gy = 100 rad 1 rad = 0,01 Gy
Doz Eşdeğeri	Röntgen Equivalent man, rem	Sievert, Sv	1 Sv = 100 rem

### RADYASYON DOZU VE BİRİMLERİ

- Soğrulan doz birim,

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ erg/g}$$

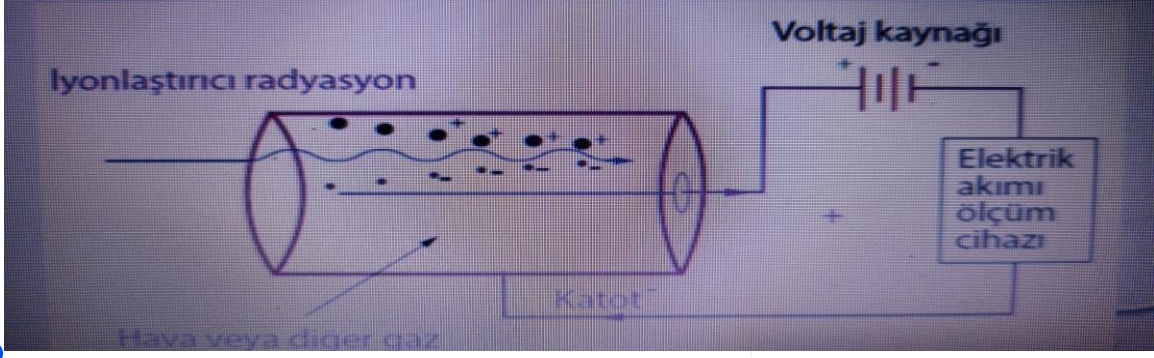
Soğrulan dozun si birimi gray (gy)'dir ve ortamın kilogramı başına soğrulan 1 j'lük enerji olarak tanımlanır:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ j/kg} = 100 \text{ rad}$$

Bir miligray (mGy) 100 mrad'dır.

## ● GAZLI SAYAÇLAR

Gelen radyasyon detektör içindeki gazın atomlarını iyonlaştırır ve e'ları söker. sökülen elektronlar ölçülür.



## ● HADRON TERAPİ

Rutin olarak kanser tedavisinde üç büyük tedavi yönteminin yalnızca biri ya kombinasyonları kullanılır. Bunlar cerrahi yöntem, radyasyon tedavisi ve kimyasal tedavidir.

Radyasyon tedavisinin başarısı kanserin tipine, yayılma durumuna, ışın tedavi uzmanı radyasyon fizikçisinin becerisine bağlıdır.

----

## ● DEDEKTÖR

### ● SİNTİLASYON DEDEKTÖR

Gelen radyasyon dedektöre girer ve atomları uyarılmış düzeye çıkaran çok fazla sayıda etkileşme yapar.

----

Tümör tedavisinde kullanılan radyasyonun türü ve dozunun doğruluğu kontrol edilir.

1940'un başlarında Kerst tarafından geliştirilen Betatron elektronları 45 MeV enerjisinde ve yüksek şiddette çok girici x-ışınları oluşturdu.

x-ışınları ve nükleer radyasyonların tedavide kullanılmasının temel amacı, başta kötü huylu tümörler olmak üzere istenmeyen dokuların yok edilmesidir.

- **Radyasyonla tedavide** (ışın tedavisi), radyasyon enerjisinin maksimumunun tümör üzerinde bırakılması ve sağlam dokuya da en az zararın verilmesi için gerekli planlamanın yapılabilmesi idealdir.

Medikal alanda kullanılan fotonlar canlı doku içersinde ilerlerken baskın olarak Compton (E-30 keV-20 MeV) ve çift oluşum ( $E > 1.02 \text{ MeV}$  ise) yaparak dağılırlar ve kanserli bölgeye ulaşıncaya kadar enerjilerinin büyük bir kısmını sağlıklı doku üzerine bırakmış olurlar.

- Proton demetleri ise Compton saçılması veya çift oluşum yapmadığından demetin sağlıklı doku içinde ilerlerken enerji kaybı en küçük değerde kalır. Protonla tedavide daha yüksek dozlar daha kontrollü olarak hasta dokuya verilebilmekte ve sağlıklı dokunun zarar görmemesi sağlanabilmektedir

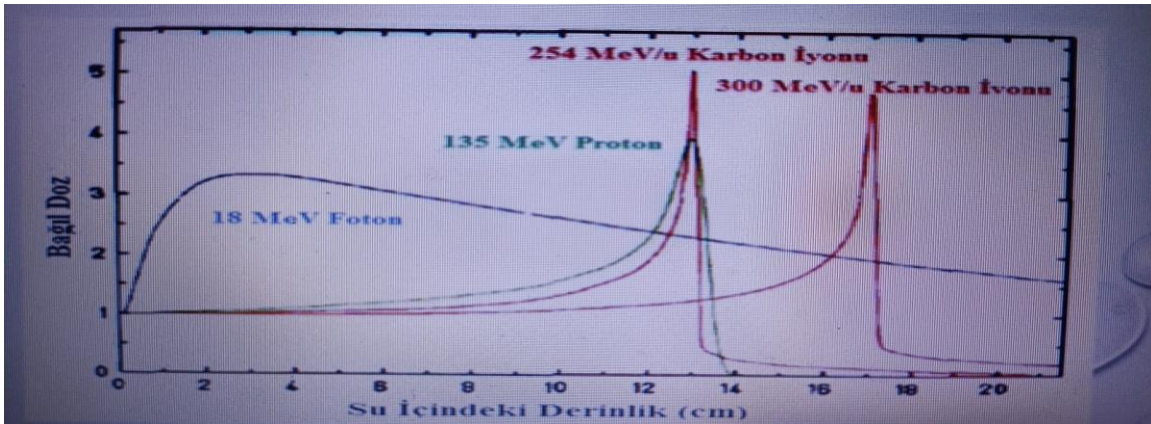
İlk tedaviler 1954 yılında Berkeley Radyasyon Laboratuarında parçacık hızlandırıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Dünyada ilk proton tedavi merkezi 1990 yılında Loma Linda Üniversitesi Medikal Merkezi (LLUMC), Kaliforniya ABD'de yapılmıştır.

Protonların elektromanyetik radyasyona ve hedef doku atom yörüngelerindeki elektronlara nispeten büyük kütleli olmaları dokuda saçılmaları azaltır.

Hedefe gelen proton demeti fazla dağılmadan tümör üzerine odaklanır, böylece sağlam doku çok zarar görmez.

Böylece dokuya maksimum doz verilir. Dozun derinlikle değişmesine bakıldığında maksimum dozun bırakıldığı noktada bir pik oluşur ve bu pike Bragg piki denir.



Proton tedavi için tipik olarak 70-250 MeV aralığında enerjilere sahip protonlar kullanılır.

Farklı radyasyon tiplerinin biyolojik doku üzerindeki etkileri farklıdır. Bu etkilerin karşılaştırılmasındaki en kritik faktör ise Lineer Enerji Transferi (LET)'dir.



- Benzer bir tamm olan **Durdurma Gücü (DG)**, radyasyonun doku içinde birim uzunlukta kaybettiği enerji olarak tanımlanır.
- Diğer yüklü taneciklerin enerji menzil ilişkisi (Bethe-Bloch formülü)

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion.} = 2\pi r_e^2 m_e c^2 \cdot Z \cdot \rho \frac{N_A}{A} Z^2 \cdot \frac{1}{\beta^2} \left\{ \ln \left( \frac{2m_e \gamma^2 v^2 W_{max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 - \delta - 2\frac{C}{Z} \right\}$$

- **HADRON TERAPİ**

Protonlar, alfa parçacıkları ve ağır iyonlar yüksek lineer enerji transferi yapan radyasyonlardır.

$\alpha$  particle

- **KANSER**

Normal artlar altında, hücreler sistemli bir şekilde büyür, bölünür ve ölür.

Hücre verilen emre uymayarak bölünme ve büyümeye devam ederse, birikerek kitleler oluşur

- **AĞIR İYON TEDAVİSİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI ;**

Şu anda doz konfirmasyonu ile ilgili en iyi sonuçlar ağır iyonlarla sağlanabilmektedir.

Radyoterapide ağır iyon kullanılması aynı zamanda tedavi süresini kısaltır ve bunun sonucu olarak tedavi maliyetini düşürür.

Foton tedavisinde ağır iyonla elde edilen doz dağılımı sağlamak mümkün olmasa da, hesaplanan etki ile gerçek etki arasındaki uyum daha fazladır

---

- Kısaca tüm bunlar göz önüne alındığında ağır iyon ışın tedavisi 3 büyük avantajı vardır. Bunlar, i)
- Çevre dokuları daha iyi koruması,
- ii) Tümöre daha iyi konsantre olması ve sağ kalım süresini artırması,
- iii) Hipo-fraksiyon ile tedavi süresinin kısaltılabilmesidir

---

---

## 5. Ders Konuları

- o Proton Therapy
  - o Proton Therapy Tarihi
  - o Bragg Peak
  - o Proton Hızlandırıcılar
- 

### ● PROTON TERAPİ

Proton hidrojen atomunun çekirdeğidir.

Pozitif bir birim yük ( $1.6 \times 10^{-19}$ ) taşır. Kütlesi  $1.6 \times 10^{-27}$  kg (yaklaşık olarak elektron kütlesinin 1840 katı) dır.

Proton en kararlı parçacıktır (yarı ömrü  $> 1032$  yıl) ve bir nötron, bir pozitron ve nötrinoy'a bozunur.

Protonun varlığı ilk kez 1919 da Ernest Rutherford tarafından gösterildi.

E.O. Lawrence 1930 da ilk siklotronu yaptı.

1946 Robert D. Wilson'un Proton terapisi ile ilgili yayını

### PROTON TERAPİ'NİN BAŞLANGICI

Ale Tobias ve arkadaşları Lawrence Berkeley Laboratuvarında 1955 te protonlarla ilk hasta tedavilerini yaptılar.

1957 de İsveç Uppsala'da Gustav Werner Enstitüsünde, ilk kanser hastası tedavisi yapıldı.

1957 -Gustav Werner Institute, Uppsala,Schweden,(ilk kanser hastası tedavisi)

### PROTON TERAPİ'NİN BAŞLANGICI

1961 de ABD 'de Harvad Siklotron Laboratuvarında protonla radyoterapi başladı.

1976 da ABD de Massachusetta General Hospital da ocular melanoma için proton radyoterapisi başladı.

1984- Avrupa'da (Paul Scherrer Institute) (PSI) ocular melanoma için proton radyoterapisi başladı.

1991-İlk hastane temelli Proton Tedavi Merkezi Loma Linda University Medical Center CA, USA kuruldu.

2000- Proton tedavisi Araştırma merkezlerinden hastane temelli geniş ölçekte hizmet veren geniş coğrafi bölgelere yayılım gösterdi.

2009-Hasta pozisyonlanması için robotik sandalye yapıldı.

---

## ETKİLEŞİMLER

Proton bir ortamdan geçtiğinde ortamın atom elektronları ve çekirdeği ile **Coulomb kuvvetleri** aracılığı ile etkileşir.

- a) **Atomun elektronları ile inelastik çarpmalar:** Protonlar kinetik enerjilerinin bir kısmını atomun iyonizasyonu ve uyarılması için kaybederler. Bu soğurulan dozdur. Çekirdek ile **bremsstrahlung** etkileşimleri de olasıdır ancak ihmal edilir.
- b) **Enerji kaybı olmaksızın elastik saçılma:** Nükleer saçılma protonların çoklu Coulomb saçılmasına **ana katkı verendir.**
- **Elektron demetleri ile karşılaştırıldığında proton demetleri** (daha ağır yüklü parçacıklar olmaları nedeniyle) daha küçük açılara saçılırlar. **Sonuç olarak proton demetleri elektron veya foton demetlerinden daha keskin lateral dağılıma sahiptir.**

---

- **Protonlar için kütle durdurma gücü** (g/cm<sup>2</sup> olarak birim yol uzunluğu başına enerji kaybı) **düşük atom numaralı (Z) materyallerde yüksek Z materyallerindekinden daha büyüktür.**
  - Diğer yandan yüksek Z materyalleri protonları düşük Z materyallerinden **daha geniş açılara saçar.**
  - Böylece eğer minimum enerji kaybı ile demetin saçılmasını **istersek** yüksek Z materyalleri, eğer proton enerjisinin minimum saçılma ile azalmasını istersek düşük Z materyalleri kullanmalıyız.
  - Buna göre, **yüksek Z ve düşük Z materyallerinin kombinasyonu ile saçılma ve demet enerjisinin azalmasını kontrol ederiz.**
- 

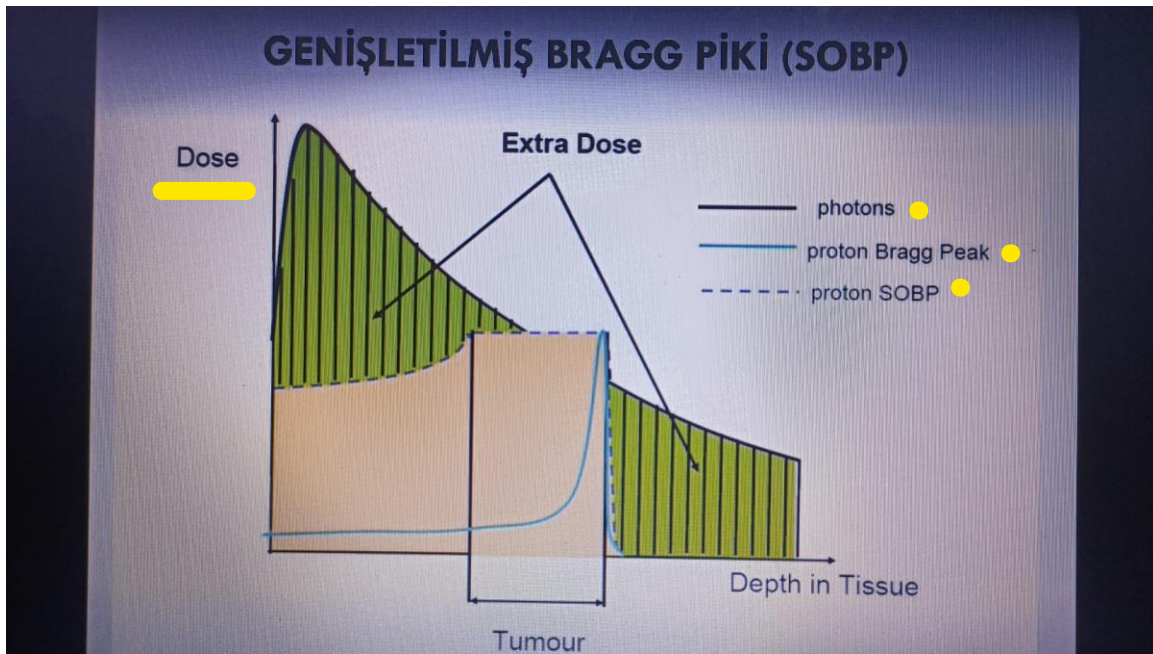
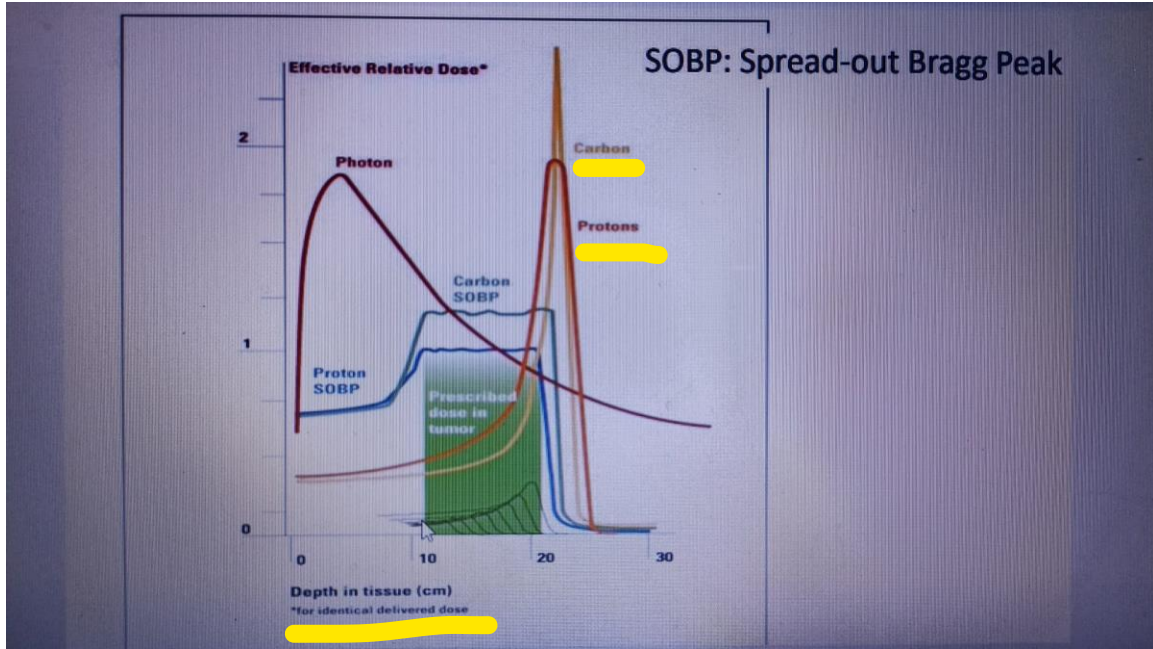
## ● BRAGG PEAK

- **İyonizasyon ve uyarılma nedeniyle enerji kayıp oranı ; parçacığın yükünün karesi ile doğru, parçacığın hızının karesi ile ters orantılıdır.**
- Parçacık enerji kaybettiğe **yavaşlar** ve birim yol uzunluğu boyunca kaybettiği enerji oranı **artar.**
- **Menzilin sonu yakınında parçacığın hızı sifıra yaklaşır enerji kayıp oranı maksimum olur.**
- **Derin doz dağılımı ortamda enerji kayıp oranını izler .**
- **Tek enerjili proton demeti için dozda başlangıçta derinlik ile yavaş bir artış vardır.**

Bunu, **menzilin sonu yakınında keskin bir artış izler.**



- Parçacığın menzili sonundaki bu keskin artış veya pik, Bragg peak olarak adlandırılır.



## ● RADYOBİYOLOJİ

- Rölatif biyolojik etkinlik (RBE), 250kV xışınlarının belirli bir biyolojik etkiyi meydana getiren dozunun aynı biyolojik etkiyi oluşturan verilen radyasyon dozuna oranıdır.
- Belirli biyolojik etki hücre ölümü, doku hasarı, mutasyon veya diğer bir etki olabilir.
- $RBE = D_{250kV} / D_x$
- RBE nin radyasyon tipi ve kalitesine, doz fraksiyonuna biyolojik sonlanım noktasına bağlı olmasına rağmen bu faktörün kritik önemi RBE ve LET arasındaki ilişkidir.
- Daha büyük LET daha büyük RBE dir. Yüklü parçacıklar genellikle megavoltaj x-ışınlarından daha büyük LET'e sahiptir.

----

- Yüklü parçacıklar LET in artması nedeniyle menzillerinin sonunda yavaşlar.
- Böylece yüklü parçacıkların RBE 'si Bragg peak bölgesinde en büyüktür.
- Radyoterapide rutin olarak kullanılan klinik tedavi planlama programlarında protonlar için genel olarak kabul edilen RBE faktörü 1.1 dir.
- İyon demet radyoterapisinde doz, gray equivalents (GyE) veya cobalt gray equivalents (CGE) tanımlanır.
- (GYE) veya (CGE) Gy olarak ölçülen fiziksel doz ile RBE faktörünün çarpımına eşittir.

## ● PROTON HIZLANDIRICILARI

- Medikal kullanım için uygun proton hızlandırıcılarının yeterince yüksek şiddetli proton demetini kısa sürede (2-3 dakika) vermesi gerekir.
- Herhangi bir derinlikteki tümör için yeterince yüksek enerji ile yeterince genişletilmiş demet ile doz verilmelidir (160-250MeV).
- Günümüzde radyoterapide kullanılan proton hızlandırıcılarında; Yeterince yüksek enerji ve şiddet;

## ● PROTON HIZLANDIRICILARI

### ● Siklotron:

- yüksek şiddetli demet,
- sınırlı enerji değişkenliği
- ağır (150-200 ton)

- Sinkrotron:

- Siklotrona göre hafif,
- çeşitli enerjilerde proton demeti üretiyor.
- Demet akımı siklotrondan daha düşük

- SIKLOTRON

- Radyoterapide kullanılan siklotron maksimum 250MeV (suda yaklaşık 38cm menzil) enerjide proton demetleri üretmek için tasarlanmış sabit-enerji cihazıdır.

- • Bu enerji, herhangi bir derinlikteki tümörün tedavisinde, enerji azaltıcılar kullanılarak demetin menziline ve yoğunluğunu modüle ederek, yeterli olmaktadır.

- Enerji azaltıcılar farklı kalınlık ve genişlikte plastik maddelerden oluşur. Bunlar herhangi bir derinlikteki tümörü tedavi edebilmek için protonların menziline azaltarak kaydırılmış Bragg piklerle uygun olan "genişletilmiş Bragg pik (SOBP)" demetlerini oluştururlar.

- ● ● ● Sinkrotron, lineer hızlandırıcılardan elde edilen 3 den 7 MeV'e kadar olan proton demetleri halka şeklinde dar bir tüpe enjekte edilirler ve ışının dairesel yolu boyunca bulunan magnetlerin etkisi altında döndürülürler. Proton demeti radyofrekans (RF) kavimleri boyunca hızlandırılır ve dolaşan protonların frekansına uyan bir frekansta sinüzoidal bir voltaj (gerilim) tarafından güçlendirilirler.

## ● Hızlandırıcılar

- Bir tek hızlandırıcı birçok tedavi odasına proton demeti sağlar.
- - Özel bir odaya demet transferi ; eğici magnetlerle kontrol edilir.
- - Transport sisteminde demet şiddetinin kaybı çok azdır. (Genellikle %5'ten az) -

Transport süresince parçacık demetinin çapı olabildiğince küçüktür. Tedavi kafasında demet kesit alanı gerektiği kadar genişlemiştir.

- EMET GENİŞLETİLMESİ İKİ ŞEKİLDE YAPILIR:

-A) Pasif Saçılma: Demet, yüksek atom numaralı ince levhalar kullanılarak saçılır. (Örneğin kurşun maksimum saçılma ve minimum enerji kaybı sağlar.)

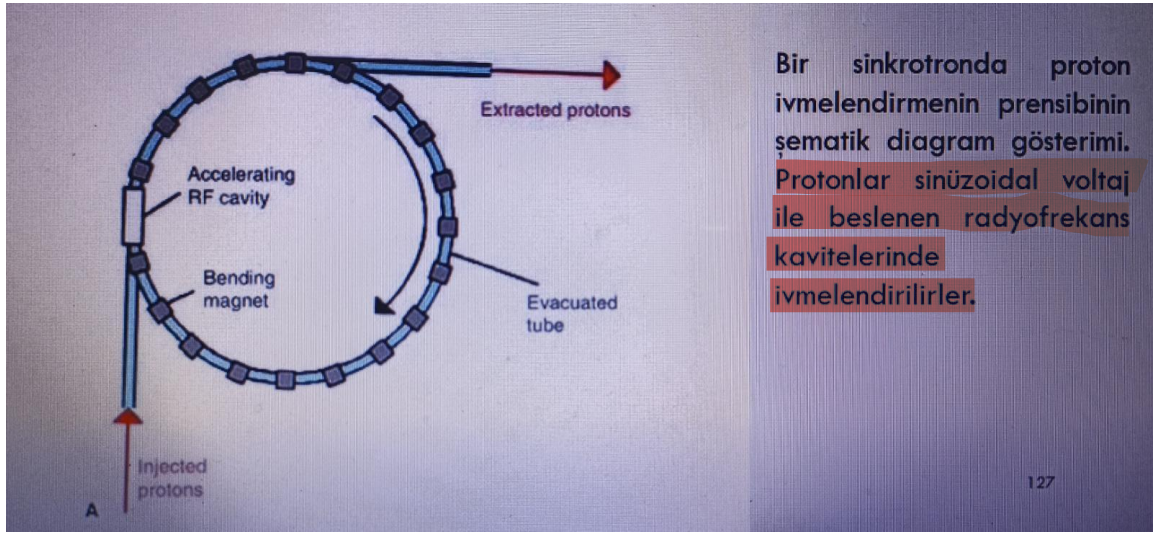
-B) Tarama: Burada tedavi edilen hacmi taramak için magnetler kullanılır.

- A) Pasif Demet Genişletilmesi Proton demetini faydalı alan büyüklüğüne genişletmenin en kolay yolu yüksek atom numaralı saçıcı foil kullanmaktır. Kabul edilebilir aynılıkta (uniformity (%5 içinde)) geniş demet alanları bulmak için dual saçıcı foil gerekir.

- Aynı (uniform) kalınlıktaki birinci foil demeti daha büyük alana genişletir.

Kalınlığı diferansiyel olarak değişen ikinci foil demet şiddet profilini düzgün bir dağılıma değiştirir.

- Pasif sistem alan şekillendirmeye geleneksel blok kullanmayı gerektirir. Alan sınırları tedavi planlama sistemindeki veri ile bulunur.
- Geleneksel blok kesme sistemi ile alan açıklığı dizayn edilir. (Yani serrobend blok, köpük ya da doğrudan koruma materyalleri ile)



### • PASİF DEMET ŞEKİLLENDİRİCİ

- Pasif demet şekillendirici sistemlerde kullanılan düşük atom numaralı (materyal plastik, bal mumu) menzil kompensatörleri aynı zamanda
- Eksternal hasta yüzeyi düzensizliklerini
- Internal doku heterojenitesini
- PTV'nin distal şeklini kompanse etmek için kullanılır.

Pasif demet genişletici sistemler demet doğrultusunda PTV kalınlığı üzerinden Bragg piki genişletmek için menzil modülatörleri içerirler.