

Lineer Enerji Transferi (LET)  
ve  
Rölatif Biyolojik Etkinin (RBE)  
Radyobiyolojik Önemi

# Radyosensitiviteyi Etkileyen Fiziksel Faktörler

- LET- Lineer enerji transferi
- RBE-Rölatif biyolojik etkinlik
- Fraksiyonasyon

# Dersin Başlıkları

- Mikrodozimetri
- LET
- RBE
- RBE etkileyen faktörler

# MiKRODOZiMETRi

- Radyasyon tarafından yaratılan iyonizasyonun submikroskobik etkileri özel tekniklerle gösterilebilir.
- Küçük volümlerde bu etkinin gösterilmesi= mikrodozimetri

Low-LET tracks  
in cell nucleus  
e.g. from X-rays

A dose of 1 Gy  
corresponds to  
approx. 1000 tracks

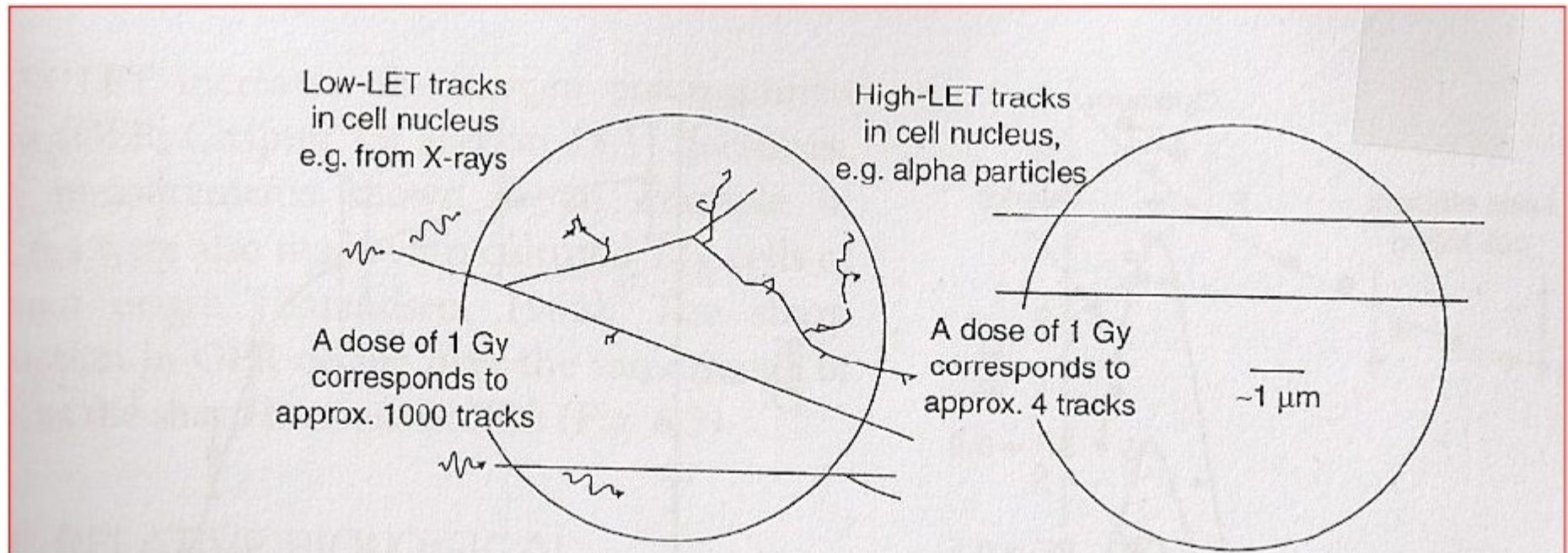
High-LET tracks  
in cell nucleus,  
e.g. alpha particles

A dose of 1 Gy  
corresponds to  
approx. 4 tracks

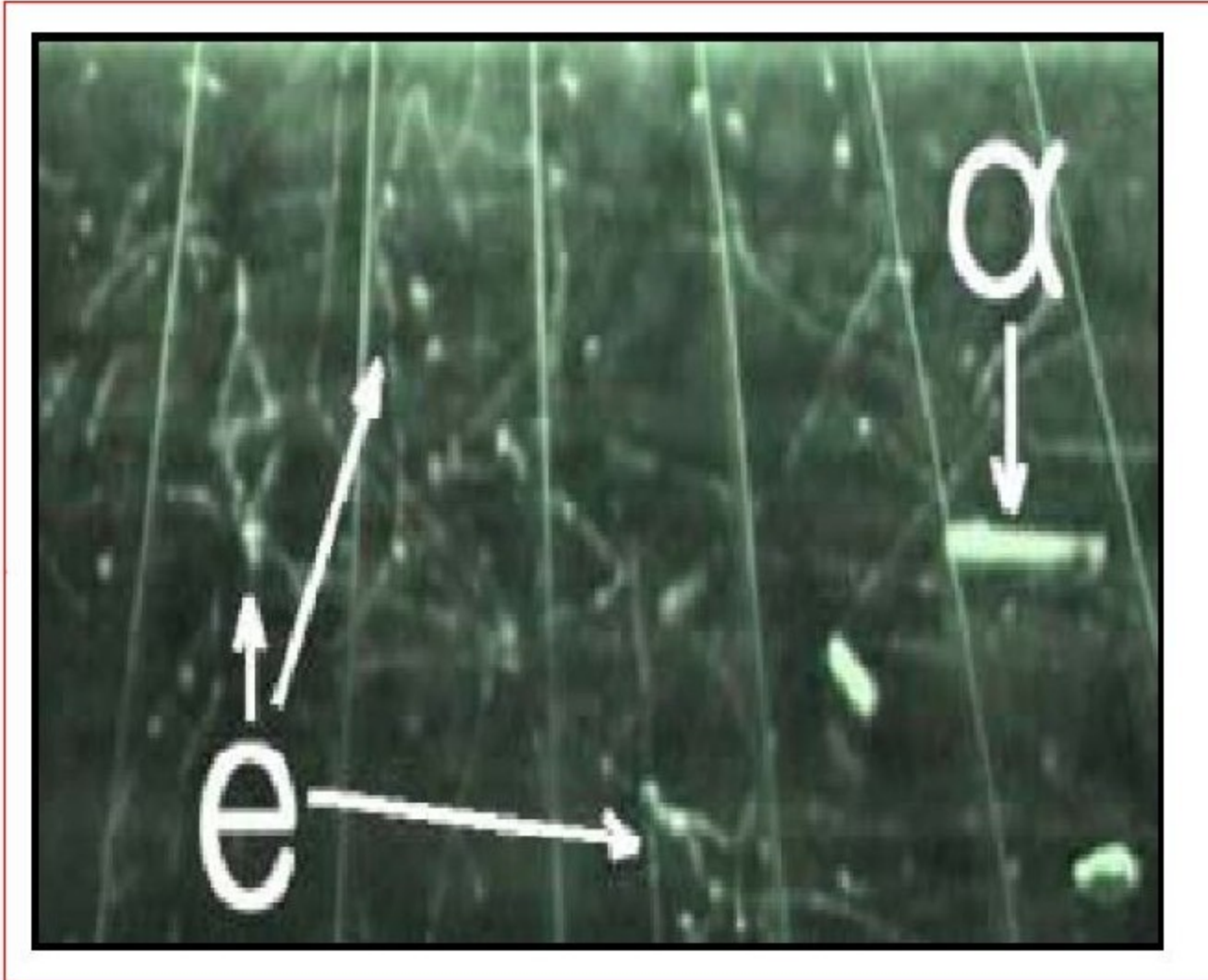
~1  $\mu\text{m}$

LOW LET

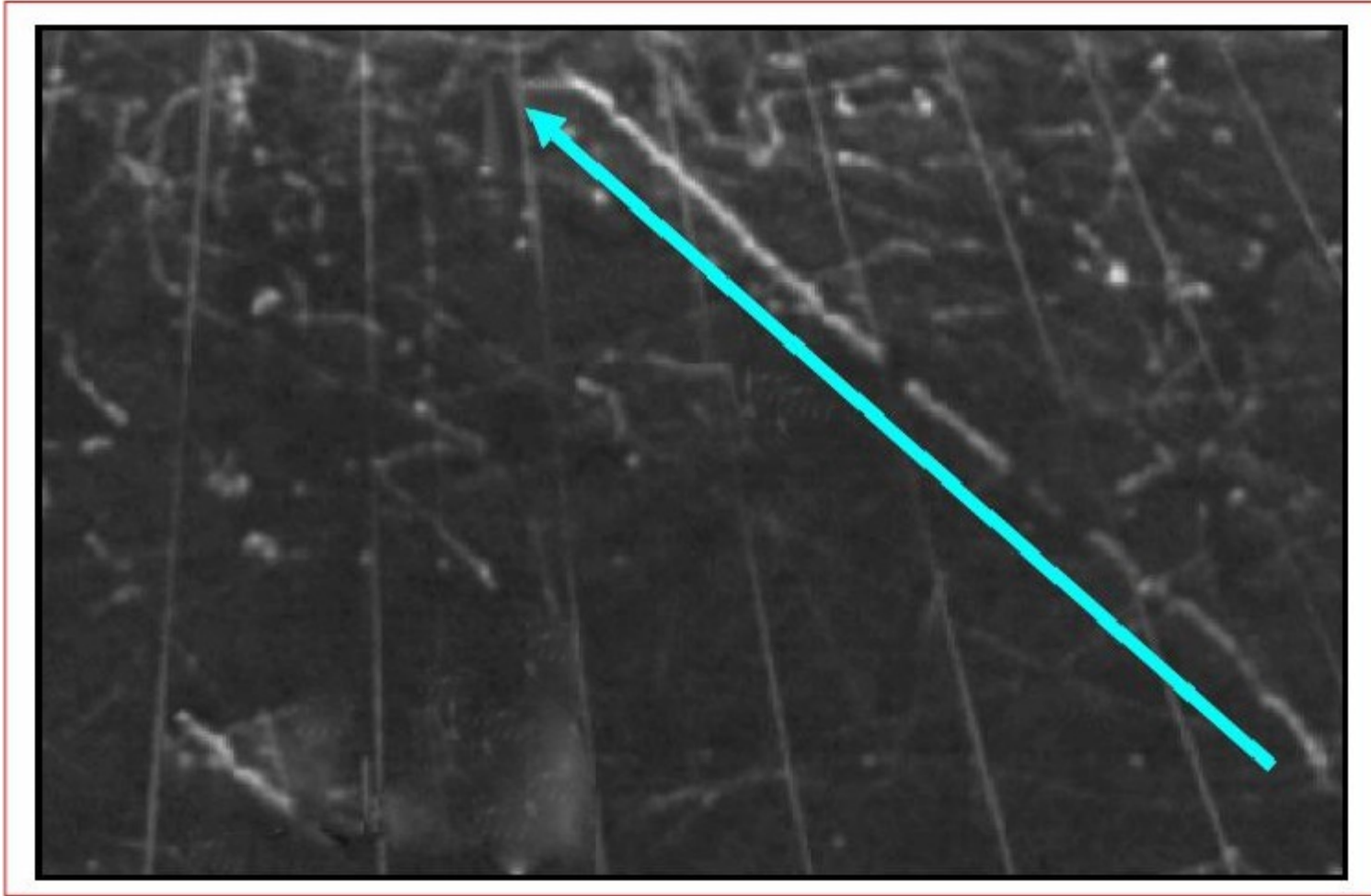
HIGH LET



# YÜKLÜ PARÇACILARIN OLUŞTURDUĞU KIRIKLAR

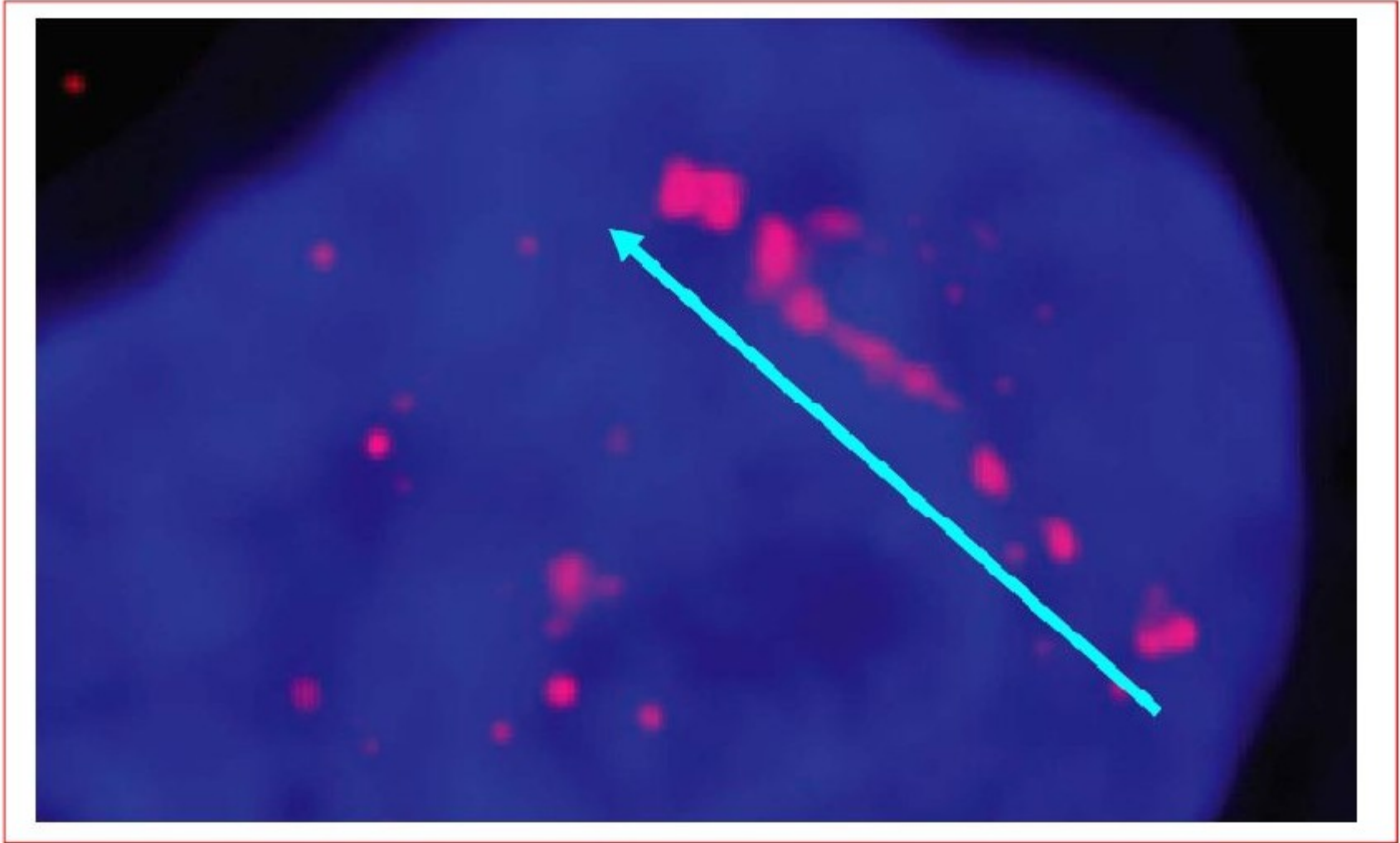


# YÜKLÜ PARTİKÜLLERİN YAVAŞLAMASI VE ORTAMA ENERJİ TRANSFERİ



# $\alpha$ PARTİKÜLLERİNİN DNA HASARI

Histone H2AX akümülayonu





# LET

- Tanım: Radyasyonun yolu boyunca birim mesafede maddeye transfer ettiği enerji miktarıdır.
- Birim: keV/ $\mu\text{m}$
- İyonizasyon Yoğunluğu: Herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyonun maddesel bir ortam içinde örneğin 1 cm yol boyunca oluşturduğu iyon çiftlerinin sayısıdır.

# LET

LET:  $dE/dl$

$dE$ : *ortama verilen ortalama enerji*

$dl$ : *birim mesafe*

$keV \mu m^{-1} (keV \mu m)$

# LET

LET=iyonizasyon yoğunluğu

$$Z^2 / V^2$$

Z= atom no

V= hız

# LET

- İyonizasyon yoğunluğu ve LET doğru orantılıdır.
- Foton elektron hatta proton yoğun olmayan iyonizasyon yapar- Low LET
- Hızlı nötron ağır iyonlar yoğun iyonizasyon yapar- High LET

# LET

- Partikülün ağırlığı ile artar hızı ile azalır.
- Hız azaldıkça LET artar. Doku içinde gittikçe duracağından yolun sonunda LET artar.
- LET- bu iyonizasyonun ortalama değerini yansıtır.

# High LET

- Nötronlar ve diğer High LET ışınlarla yapılan ışınlamalarda hücre ölümlerinin büyük kısmı  $\alpha$  tipi ölümdür; tamiri mümkün olmayan kırıklar oluşur.
- Atomik nükleus ile direkt etkileşim gösterirler ve yoğun iyonizasyon yaratırlar.

# Yüksek LET



Radiation	Linear Energy Transfer, KeV/ $\mu$ m		
Cobalt-60 $\gamma$ -rays		0.2	
250-kV x-rays		2.0	
10-MeV protons		4.7	
150-MeV protons		0.5	
14-MeV neutrons	Track Avg. 12		Energy Avg. 100
2.5-MeV $\alpha$ -particles		166	
2-GeV Fe ions		1,000	



# High LET

## LET arttıkça

- OER azalır
- Hücre siklus bağımlılığı azalır.
- Repair azalır

# High LET

- LET arttıkça sağkalım eğrisi düzleşir.
- LQ modelinde düz eğri = yüksek  $\alpha/\beta$

# RBE

- Farklı tipteki iyonlaştırıcı radyasyonların eşit dozları aynı biyolojik etkileri oluşturmazlar.
- Bu RBE olarak değerlendirilir.

# RBE

## Relative Biological Effectiveness (RBE)

$$RBE = \frac{\text{dose of a standard radiation}}{\text{dose of the test radiation}}$$

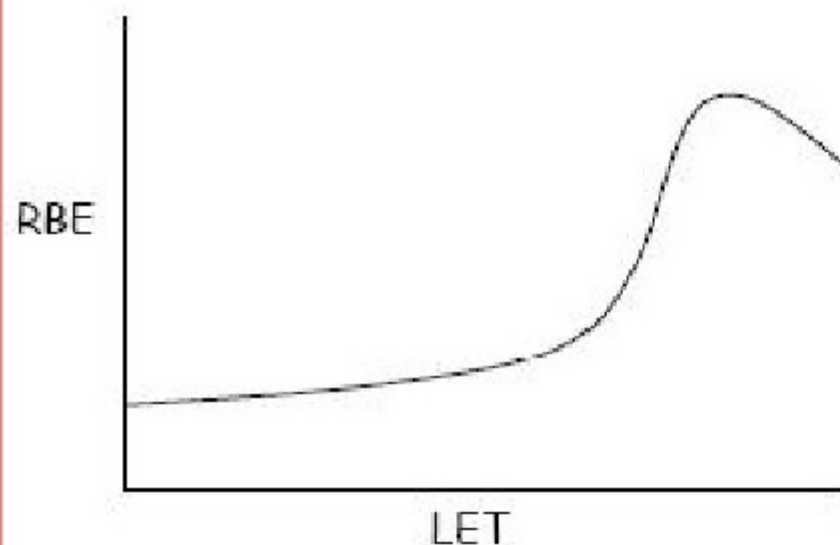
to produce the same biological effect, where the “standard radiation” is usually either orthovoltage X rays (~250 kVp) or <sup>60</sup>Co γ rays

**Note:** The RBE between 250kVp X and <sup>60</sup>Co γ (and MV) is about 1.10–1.15 (depending on dose)

# RBE Etkileyen Faktörler

- Radyasyonun kalitesi (LET)
- Biyolojik sistem hücre tipi
  - Radyasyon dozu - fraksiyon dozu
- Doz hızı
  - Çevresel faktörler - oksijenasyon

# LET & RBE



Type of Radiation	LET	RBE
25-MV x-rays	0.2	0.8
$^{60}\text{Co}$ X-rays	0.2	0.9
1-MeV electrons	0.3	0.9
Diagnostic X-rays	3.0	1.0
10-MeV protons	4.0	5.0
Fast Neutrons	50.0	10
5-MeV alpha particles	100.0	20

# Radyasyonun kalitesi (LET)

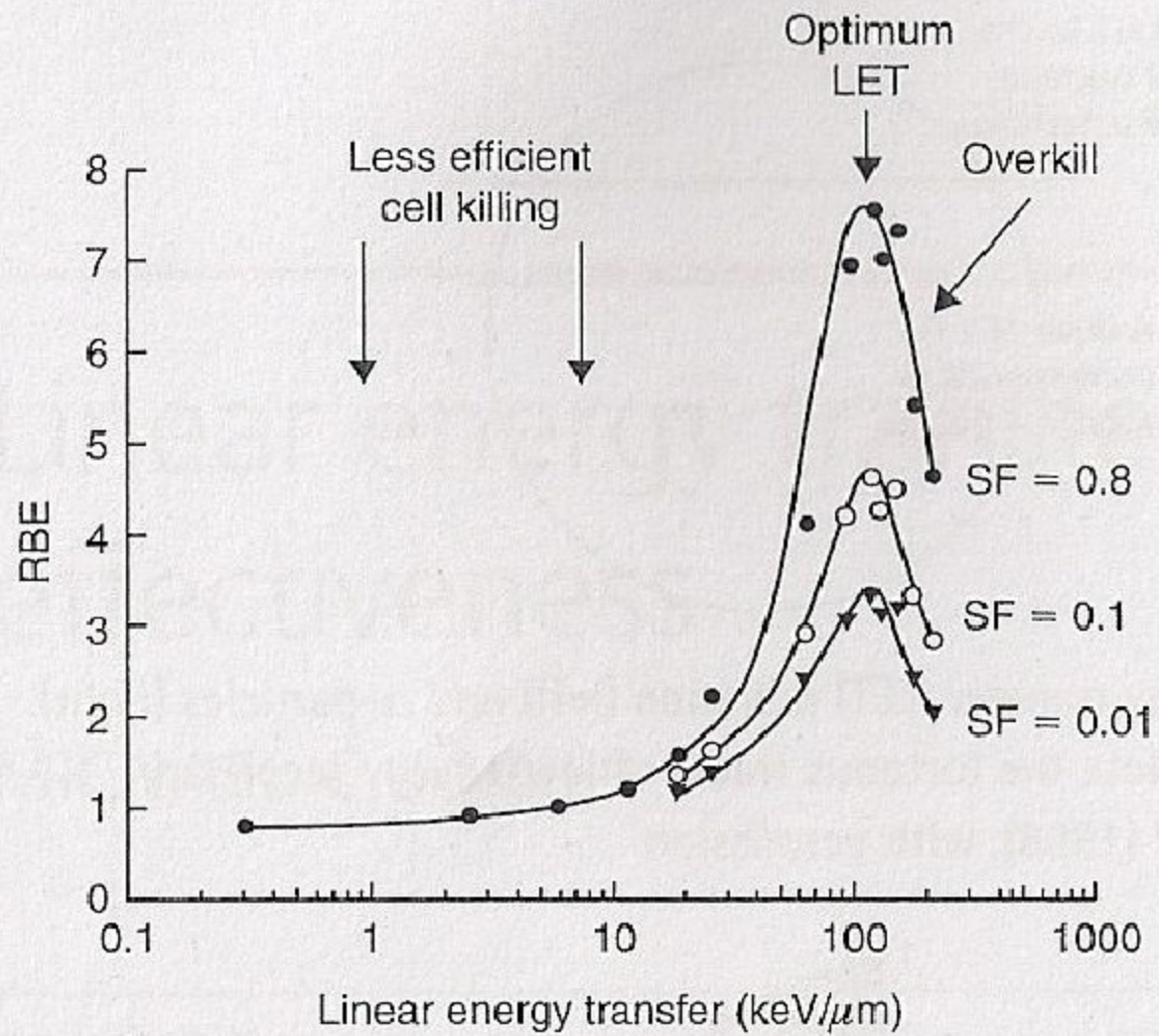
## LET arttıkça

- Gy başına ölen hücre sayısı artar.
- RBE artar.
- Sağkalım eğrisi düzleşir.

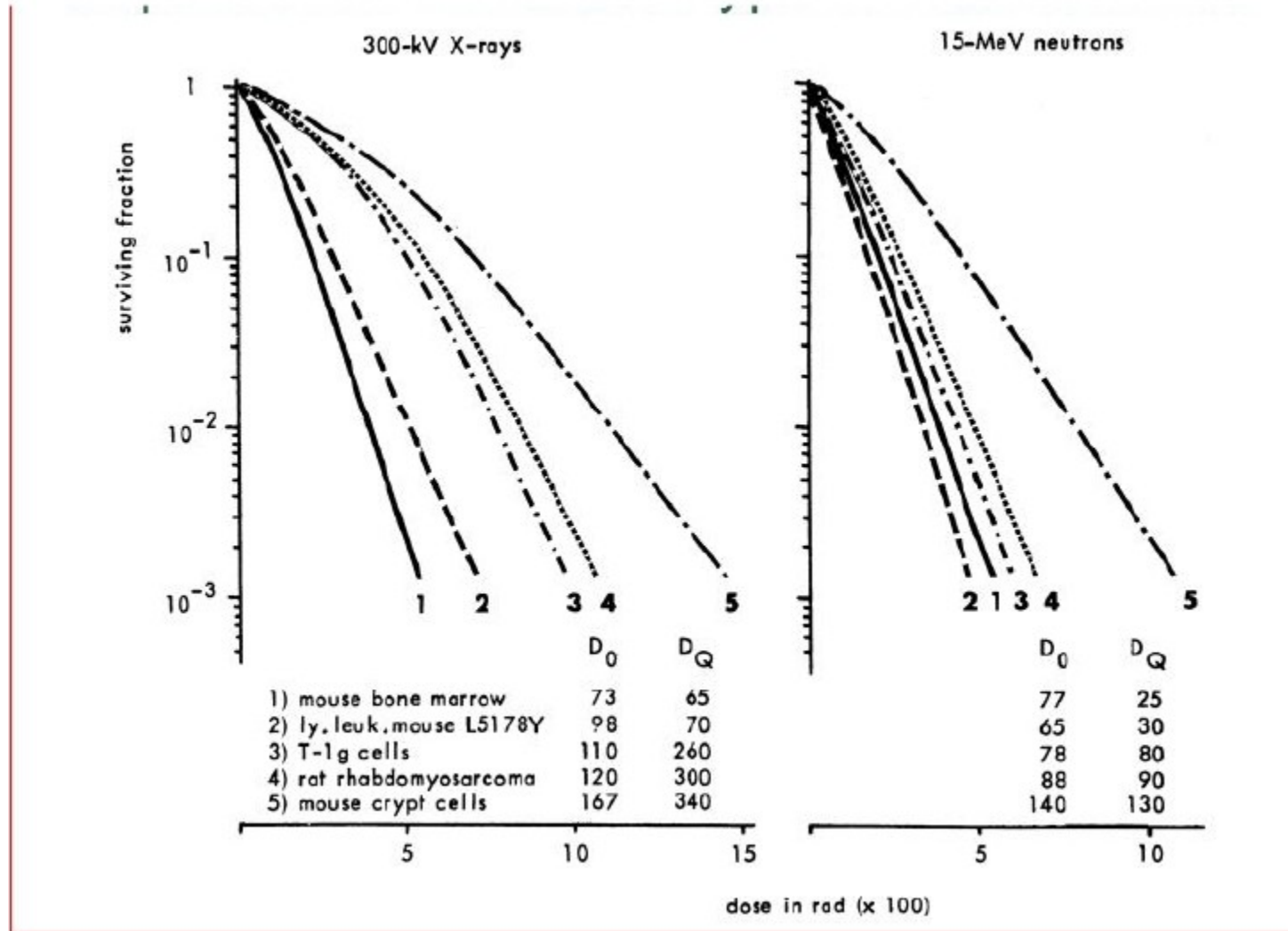
# OVERKILL ETKİSİ

- LET değeri arttıkça Gy başına daha çok hücre ölür.
- LET'in 10 keV/ $\mu\text{m}$  değerine kadar artışı ile paralel olarak RBE değeri yavaş bir şekilde artar.
- LET 10-100 keV/ $\mu\text{m}$  arasında bu artış çok hızlanır.
- 100 keV/ $\mu\text{m}$  de RBE maksimuma ulaştıktan sonra düşer.

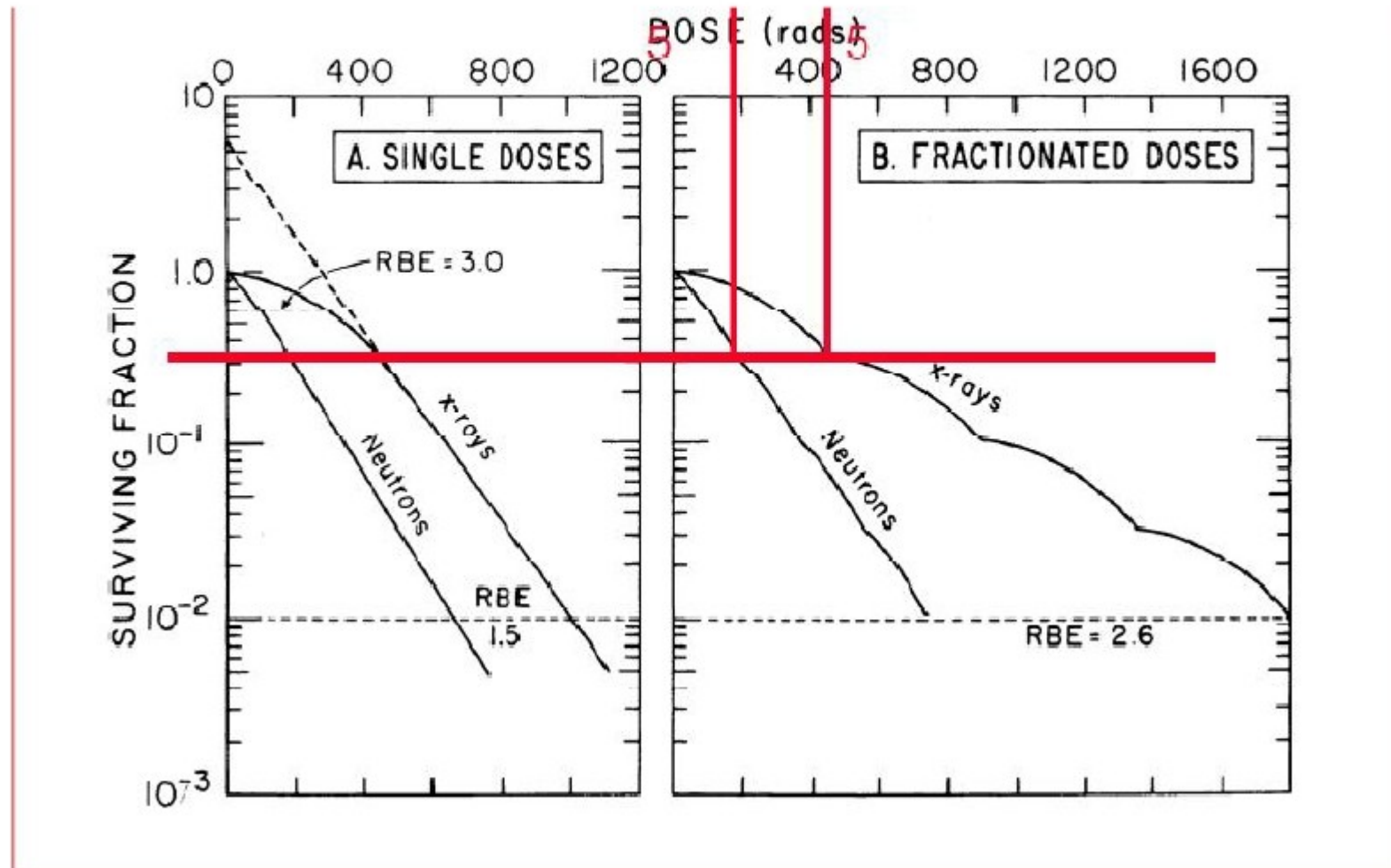




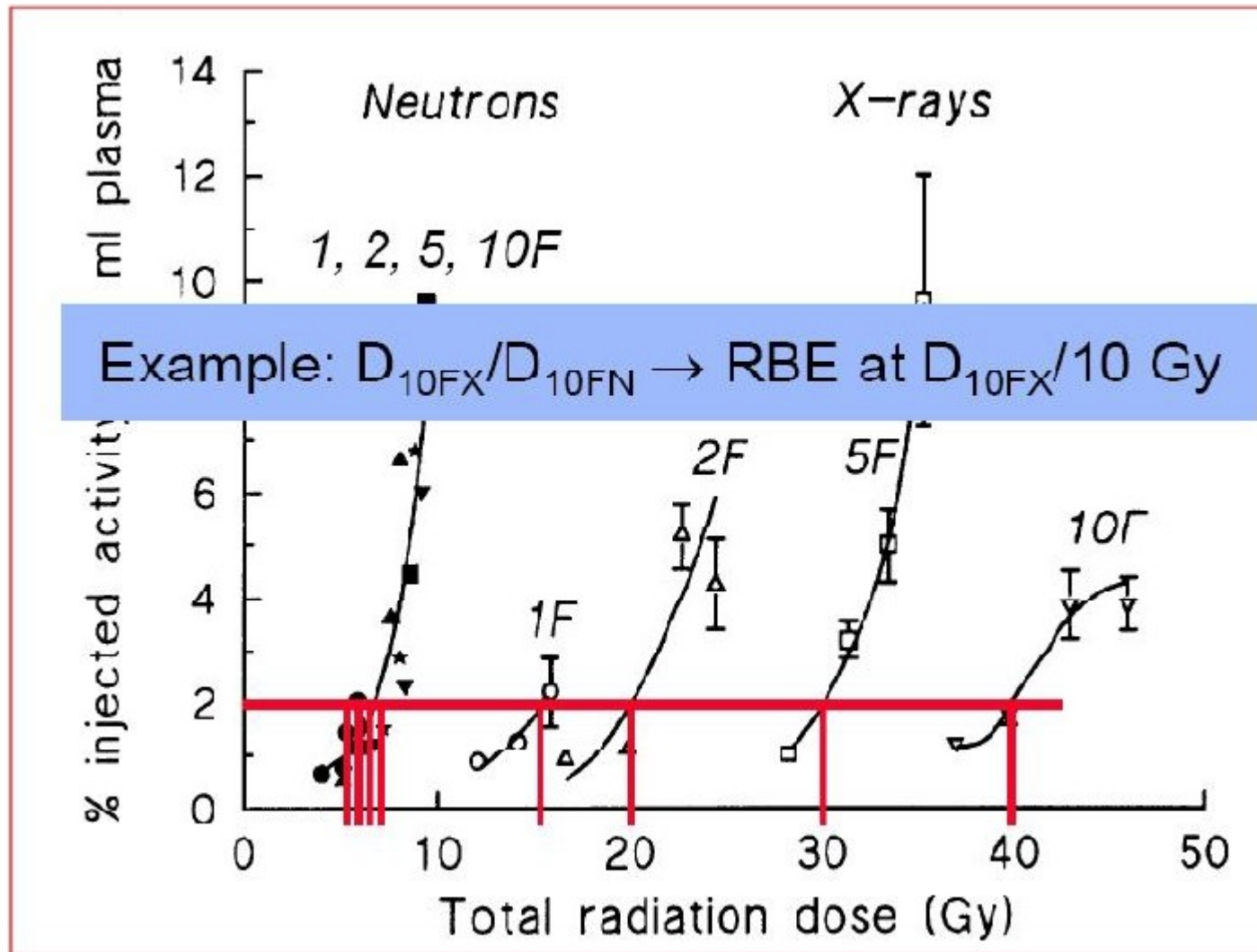
RBE Işınlanan hücre tipi ile ilişkilidir.



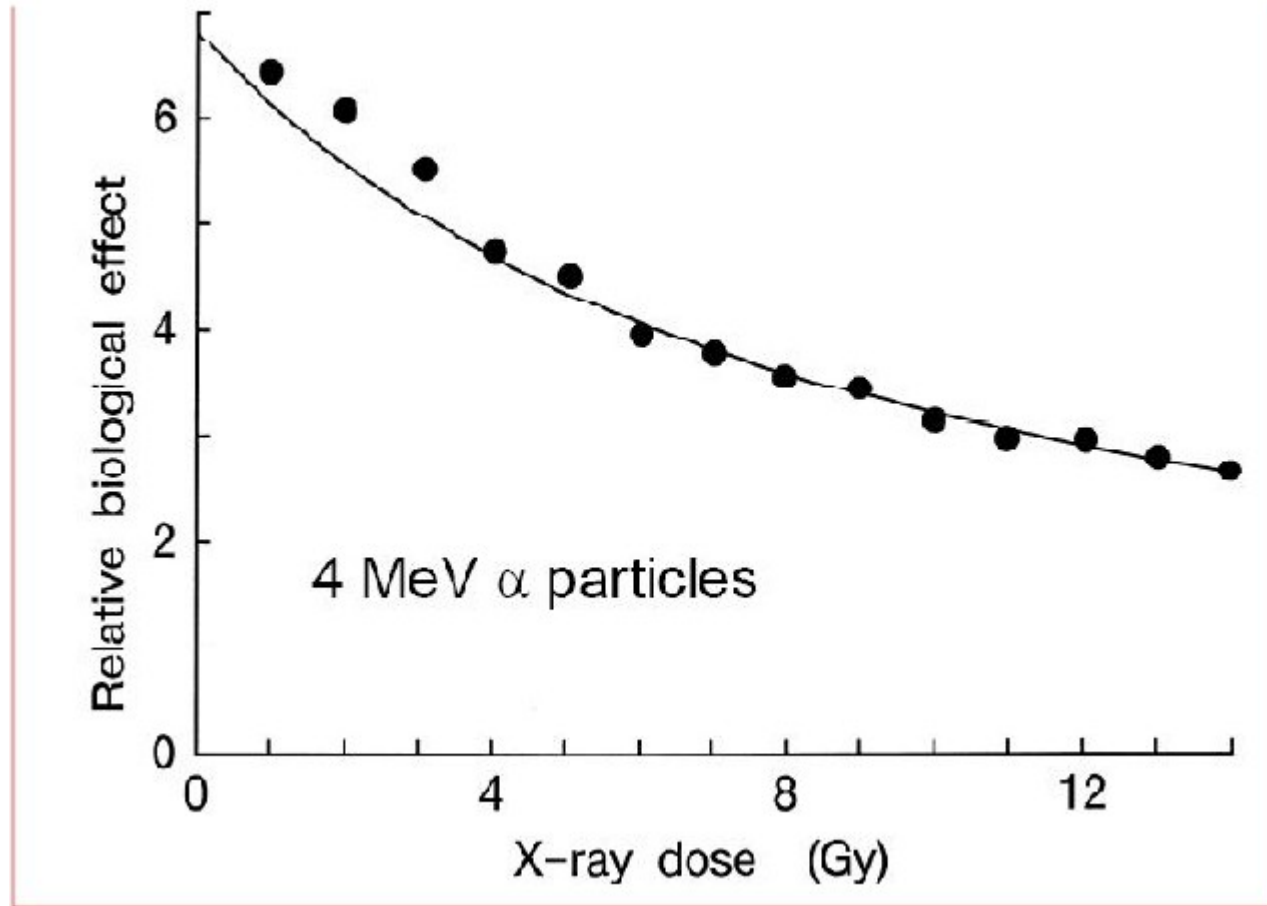
# Dozun ve fraksiyon başına dozun RBE üzerine etkisi



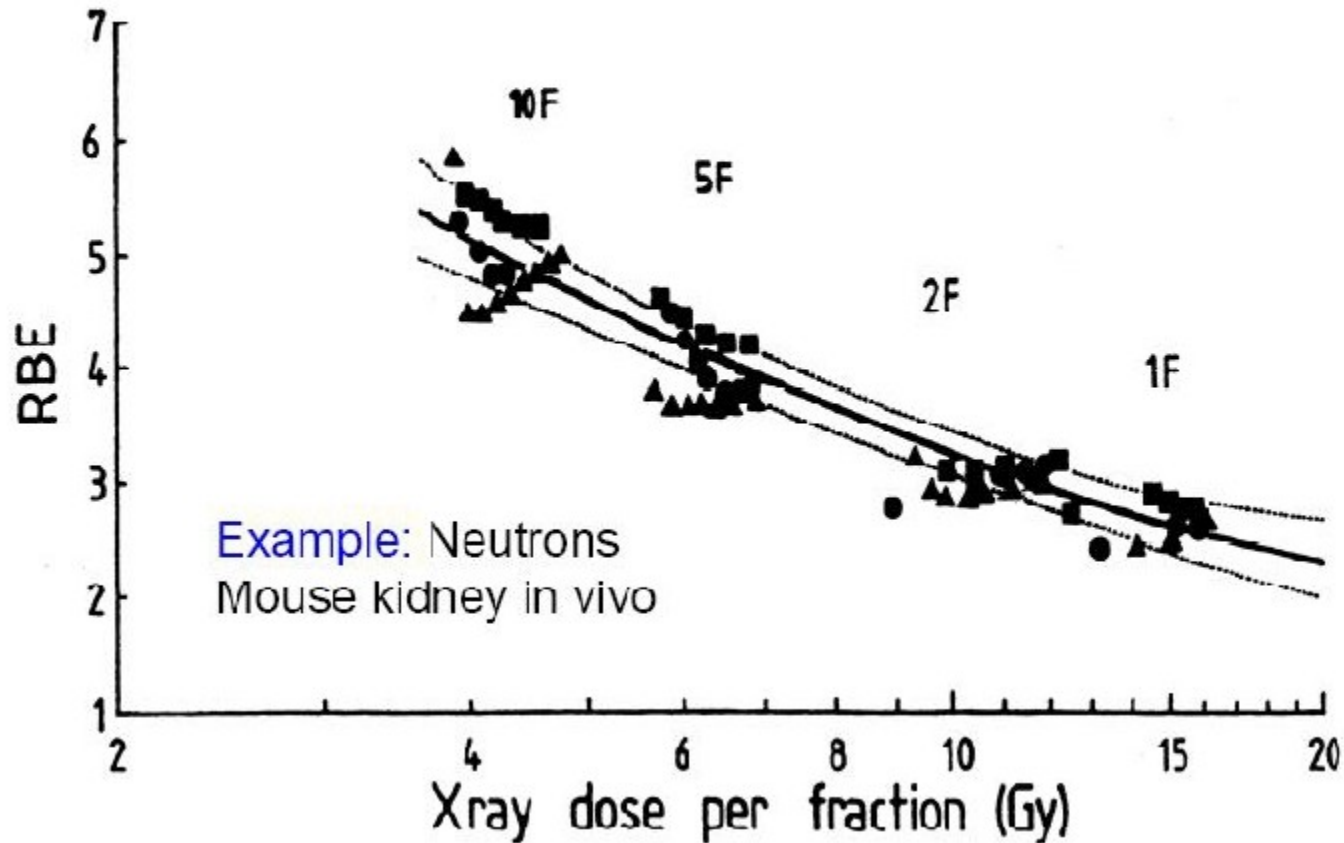
# IN VIVO DATA



# Dozun ve fraksiyon başına dozun RBE üzerine etkisi

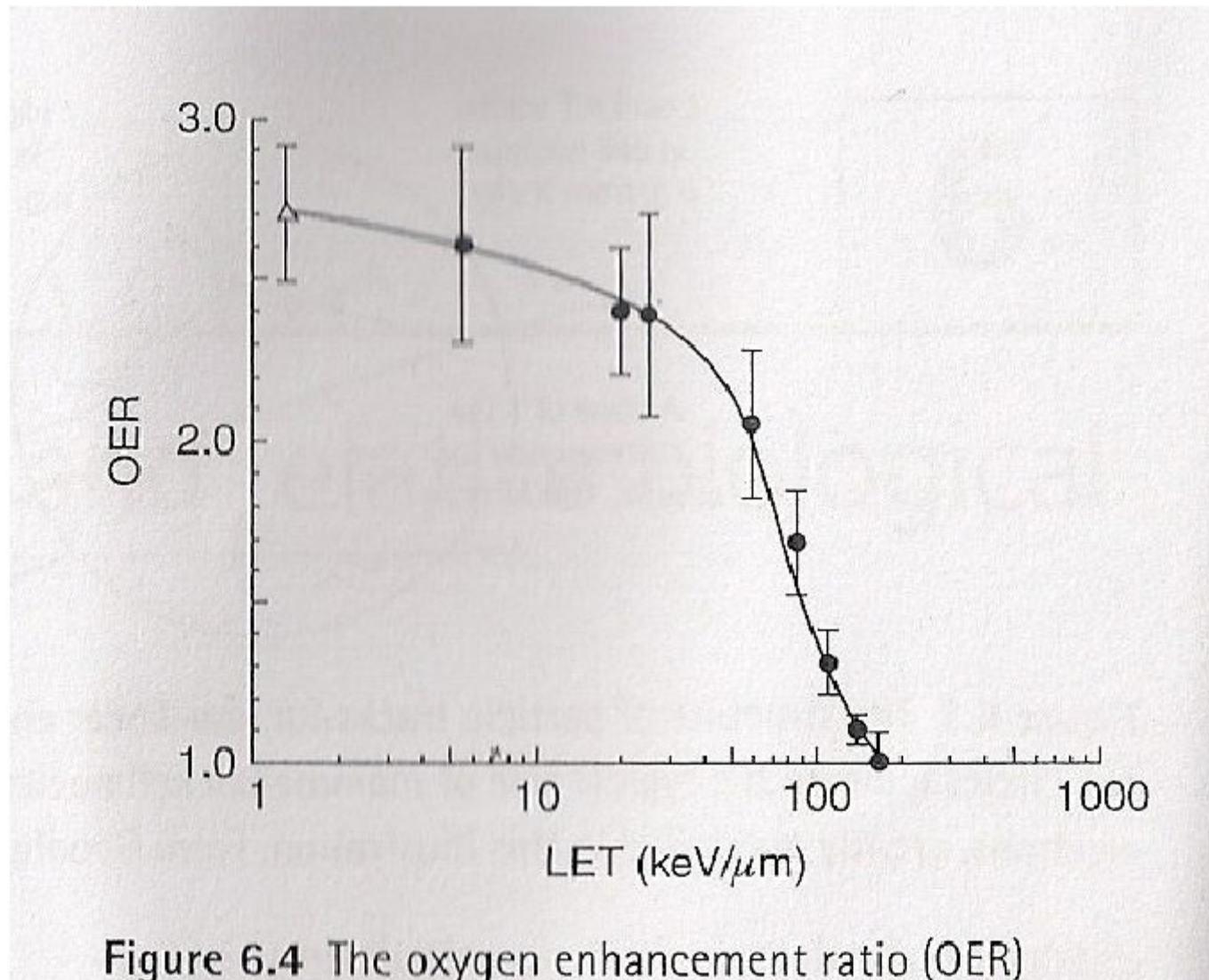


Dozun ve fraksiyon başına dozun RBE  
üzerine etkisi  
Fraksiyon başı doz azaldıkça RBE artar

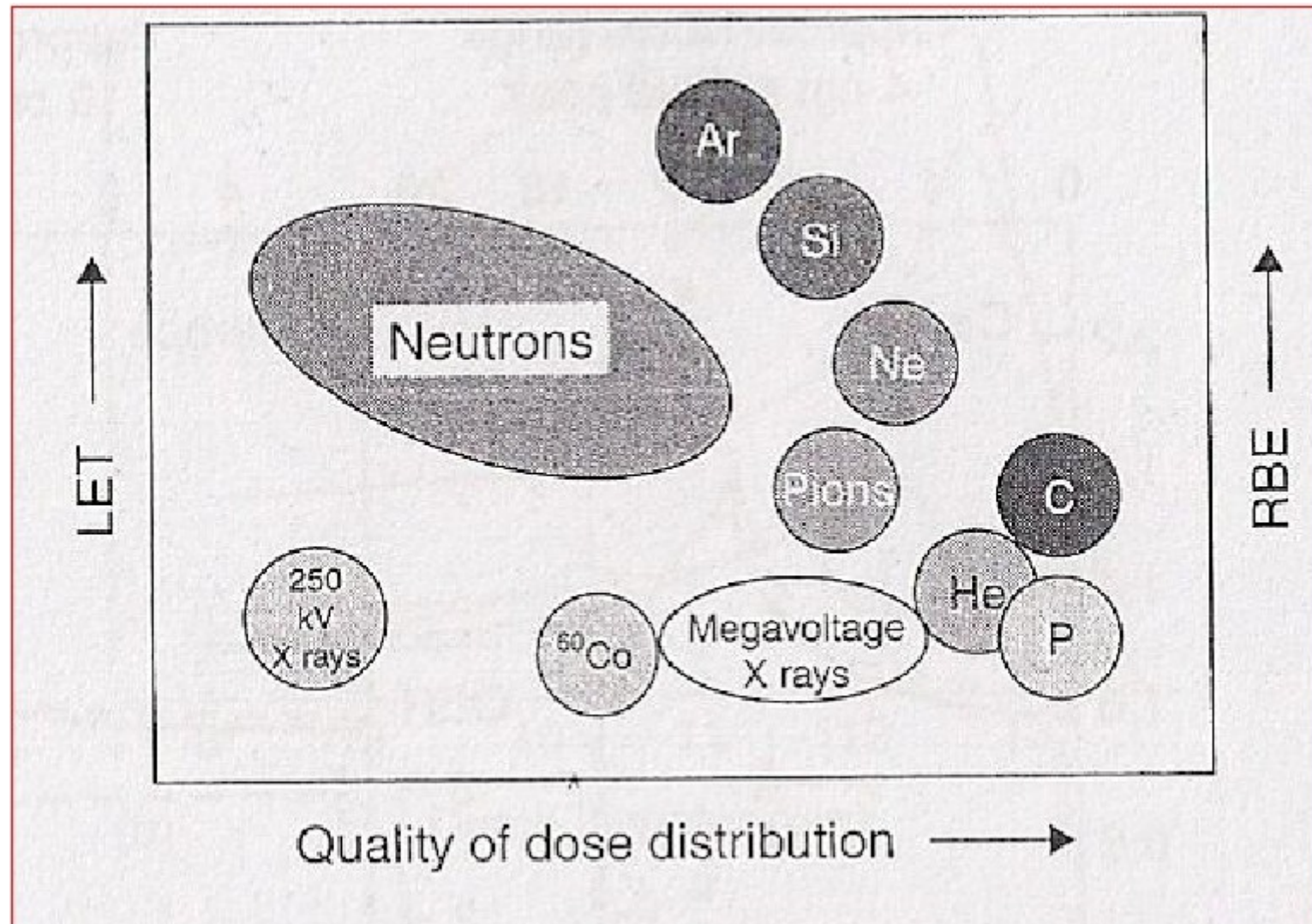




# LET VE OER

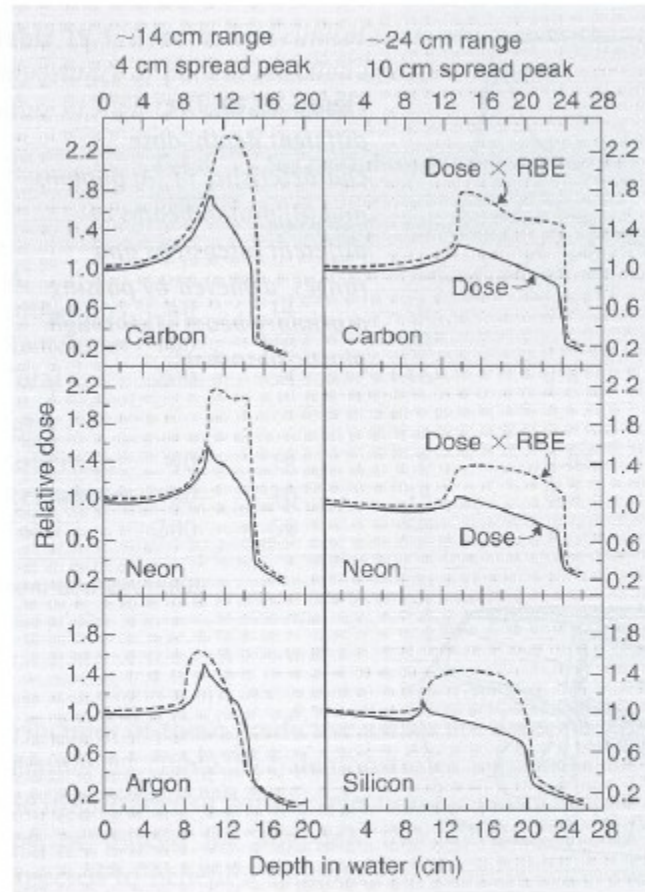


# LET VE RBE



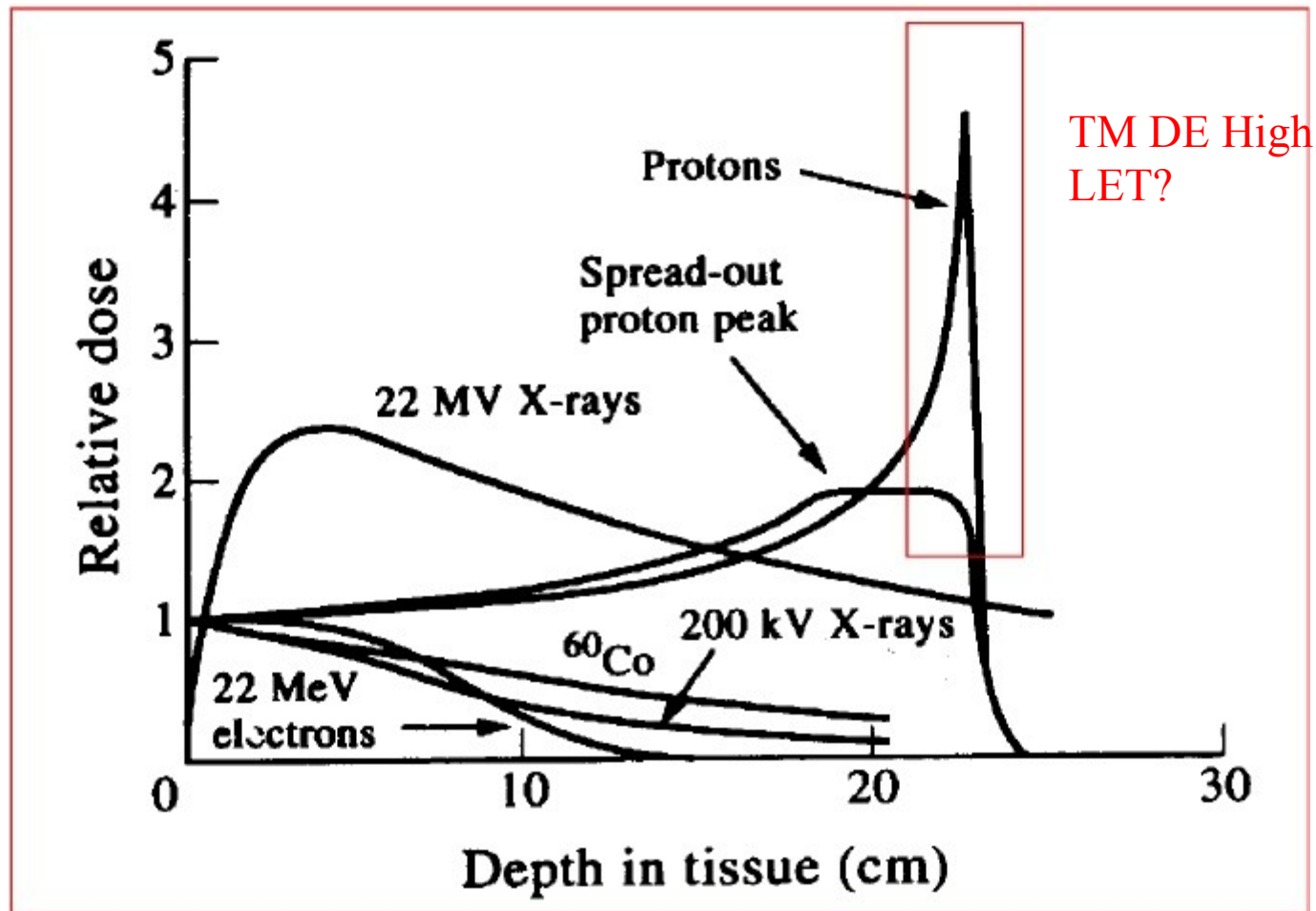


# Partiküler RT



**Figure 19.12** The biological effect of charged particle beams is increased further in the Bragg peak. Depth-dose curves are shown for three types of ion beam, each with a 4 cm or 10 cm spread peak. Full lines show the dose distribution; broken lines show the biologically effective dose (i.e. dose  $\times$  RBE). From Blakely (1982), with permission.

# Partiküler RT



# KALİTE FAKTÖRÜ VE DOZ EŞDEĞERİ

- Farklı RBE değerlerine sahip radyasyonlar için doz eşdeğeri kavramı saptanmıştır.
- Bunun hesaplanmasında kalite faktörü (Q) kullanılır.

Kalite faktörü LET ile doğru orantılıdır.

- $\alpha$  partiküllerinin kalite faktörü 20
- X ve  $\gamma$  ışınlarının kalite faktörü 1
- Elektronların kalite faktörü 1

# Radiation Weighting Factors

Type and Energy Range	Radiation Weighting Factor
Photons, all energies	1
Electrons and muons, all energies	1
Neutrons, energy <10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
>100 keV to 2 MeV	20
>2 MeV to 20 MeV	10
>20 MeV	5
Protons, other than recoil protons, energy >2 MeV $\alpha$ -Particles, fission fragments, heavy nuclei	20

Data from International Commission on Radiation Units and Measurements: Recommendations. Report. No. 60. New York, Pergamon Press, 1991.

# Bu dersten neler öğrendik?

- LET yüklü parçacıkların belirli bir mesafedeki ortalama enerji transferidir.
- X ışınları ve  $\gamma$  ışınları düşük LET olarak kabul edilir.

# Bu dersten neler öğrendik?

- LET değerleri

X ve $\gamma$ ışınları	0.3	$keV \mu m^{-1}$
------------------------	-----	------------------

250 kVp X ışını	2	$keV \mu m^{-1}$
-----------------	---	------------------

Yüklü parçacıklar	100	$keV \mu m^{-1}$
-------------------	-----	------------------

# Bu dersten neler öğrendik?

- RBE standart radyasyona aynı biyolojik etkiyi oluşturacak radyasyonun oranıdır.
- Standart radyasyon 250 kV ortavoltaj X ışınıdır.
- RBE LET ile artar;  $100 \text{ keV } \mu\text{m}^{-1}$ den sonra azalır. *Overkill etkisi*



# Bu dersten neler öğrendik?

- RBE

Radyasyonun kalitesi (LET)

Biyolojik sistem hücre tipi

Radyasyon dozu-fraksiyon dozu

Doz hızı

Çevresel faktörler -oksijenasyon

- RBE doz hızı ve fraksiyon başına doz azaldıkça veya LET arttıkça artar.

# Bu dersten neler öğrendik?

- Yüksek LET radyobiyojik avantaj sağlar
- Nötron yüksek LET avantajı dışında X ışınları ile aynı
- Ağır partiküller aynı zamanda doz dağılım avantajı da var
- Proton Düşük LET sadece doz dağılım avantajı var. Radyobiyojik avantajı yok

# Bu dersten neler öğrendik?

Yüksek LET RT ne zaman tercih edilebilir?

Hipoksik tümörlerde

Yavaş büyüyen tümörlerde

Radyodirençli tümörlerde

# Astro Sorulari

Which of the following statements concerning LET is FALSE?

- A. The highest RBE occurs for radiations with LET values of approximately 100 keV/ $\mu\text{m}$ .
- B. High LET radiations yield survival curves with low  $D_0$  values.
- C. The OER increases with increasing LET.
- D. High LET radiations often produce exponential survival curves

# Astro Sorulari

Which of the following statements concerning LET is FALSE?

A. The highest RBE occurs for radiations with LET values of approximately 100 keV/ $\mu\text{m}$ .

B. High LET radiations yield survival curves with low  $D_0$  values.

C. The OER increases with increasing LET.

D. High LET radiations often produce exponential survival curves

# Astro Soruları

- Which of the following types of ionizing radiation has the highest LET?
  - A. 2 MeV alpha particles
  - B. 15 MeV neutrons
  - C. 5 MeV X-rays
  - D. 1 GeV carbon ions
  - E. 150 MeV protons

# Astro Sorulari

- Which of the following types of ionizing radiation has the highest LET?
  - A. 2 MeV alpha particles
  - B. 15 MeV neutrons
  - C. 5 MeV X-rays
  - D. 1 GeV carbon ions
  - E. 150 MeV protons

Teşekkürler