

## SAĞLIK FİZİĞİ

### TANITMA

Tarihte ilk defa olarak, insanın fizik yapısının radyasyondan zarar görmesi, X – ışınlarının Rontgen tarafından keşfinden hemen bir ay sonra gözlenmiştir. Evvelâ korku ile karışık bir duraklama devri geçiren bilimciler, bu ışınların tıpta kullanılması ile sağladığı faydayı gözönünde tutarak, tehlikeli olmasına rağmen çalışmalarına devam etmişlerdir. Nihayet Milletlerarası muhtelif konferanslar toplamış ve alınabilecek radyasyonun dozu hakkında rakam ve tarifler tayin edilmiştir. Ayrıca bu işde çalışan insanların hayatlarını koruyacak çareler aranmıştır. Son 30 sene içinde, radioaktivite ve bilhassa radyoizotoplar üzerinde yapılan çalışmalar, bunların insan vücuduna yaptığı tesirleri inceleyen ve kontaminasyondan kurtulma imkânlarını araştıran Sağlık Fizîği'nin kurulmasına yardım etmiştir. Bugün, Sağlık Fizikçisi ile bu mevzuda ortak çalışan hükümetler, radyoizotop üreten ve deney yapan kimselerin hayat emniyetini, sıkı kurallara bağlamış ve nükleer fizik lâboratuvarlarını bu kurallara uymaya mecbur etmiştir. Bu suretle insanlara bilim yolu ile faydalı olmak isteyen bilimcilerin hayatlarını korumak ödevini benimsemiştir.

Radyasyon, insan vücudunda sakat edici ve öldürücü bir teşir gösterir. Bunun en kötü tarafı ise radyasyona maruz kalmış bir kimsenin bunu kendiliğinden anlamamasıdır. Çünkü radyasyonun vücuttaki hasarı hemen veya kısa bir zaman sonra meydana çıkmayabilir. Bazan radyasyona maruz kalma ile yaptığı hasarın meydana çıkması arasında 10 – 15 sene gibi uzun bir zaman geçebilir. Bu mevzuda bilgili olan kimseler bile radyasyona maruz kaldıklarında, bunun simptomlarını anlayamazlar. Meselâ 1000 Roentgenlik bir radyasyon öldürücüdür. Fakat bu miktar radyasyona maruz kalmış bir kimsenin alacağı ısı miktarı 0,002 cal/gr. dır. 70 Kg gelen bir insanın vücuduna bu ancak 140 cal ilâve eder. Halbuki bir kimse aynı kaloriyi vücut ısısından 1°C yüksek 140 cm<sup>3</sup> su içmekle elde edebilir. İzotoplarla çalışanların bilinen veya bilinecek kurallara riayet etmelerinin önemi bu misâlle meydana çıkmaktadır.

Mevzuya daha fazla girmeden önce radyasyonun biyolojik tesirlerini incelemek için kullanılan bazı terim ve tarifleri, ayrıca radyoaktif elementlerden çıkan ışınların karakter ve menzillerini kısaca anlatalım.

**Roentgen :** (R) Standart hava şartları içinde  $1 \text{ cm}^3$  havada (yoğunluğu  $0.001293 \text{ gr/cm}^3$ ) 1 elektrostatik birimi (esb) yük taşıyan iyon çiftleri üreten X veya gama ışınları dozudur. 1 Roentgenlik X veya gama ışınları her  $\text{cm}^3$  havada  $2,083 \times 10^9$  iyon çifti üretir ve her bir gram hava içinde 87,6 erglik enerji depo eder. Roent/saat, bir saatta alınan roentgen miktarıdır. Genellikle miliroentgen ( $1\text{mR} = 1/1000$ ) roentgen birimi kullanılır.

**Rad :** Absorb edilen dozaj birimidir. Her hangi bir ortamın 100 erg/grlık enerji absorpsiyonuna tekabül eder. İyonlaştırma yapan her türlü radyasyon için kullanılabilir.

**Küri :** (Ci) Disentegrasyon yapan radyoaktif maddelerin bu yönden miktarı için kullanılır. Saniyede  $3.7 \times 10^{10}$  disentegrasyon yapan radyoaktif madde miktarına 1 küri (1 Ci) denir. Alt birimleri 1 miliküri (1 mCi =  $10^{-3}$  Ci), 1 mikro küri ( $1 \mu \text{ Ci} = 10^{-6}$  Ci), 1 piko küri (1 pCi =  $10^{-12}$  Ci) daha fazla kullanılır.

**Let :** (Linear Energy Transfer). Radyasyonun yolu üzerinde her birim mesafe için kaybettiği enerji miktarıdır. Erg/cm veya Kev/mikron olarak ifade edilir.

**RBE :** (Relative Biological Effectiveness) Su içinde LET'i 3 Kev/mikron ve dozaj nisbeti 10 R/dak olan X veya gama ışınlarının etki kabiliyetleridir.

**REM :** (Roentgen Equivalent Man) 200 Kev luk X ışınlarının 1 Rad'ının biyolojik etkisinin aynısını üreten herhangi bir radyasyon tipinin miktarıdır.

$$\text{REM sayısı} = \text{RAD sayısı} \times \text{RBE}$$

**Müsaade edilen doz :** Herhangi bir şahıs tarafından muayyen bir zaman içinde kendisine görünür bir zarar veremeyeceği tahmin edilen alabileceği radyasyon miktarıdır. Şahsa ve tahminlere tabi olduğu için bu dozaj daima minimum olarak tayin edilir. Bununla beraber % 100 itimat edilemez.

Radyoizotoplarla çalışanlar için zaman birimi içinde aldığı radyoaktif doz miktarı kendi sağlığı için çok önemlidir. Bu doz miktarı doz ölçen aletlerle (dose - ratemeter) R/birim zaman, olarak tayin edilebilir. Maaşafih bu dozajı, radyoizotopun miktar ve cinsi biliniyorsa hesap ile de tayin etmek mümkündür. Bunun için genel formül olarak

$$K = \frac{1.5 \times 10^8 \times C \times \bar{E} \times \mu}{d^2} \quad \text{R/saat}$$

kullanılır. Burada C - küri olarak kaynağın aktivitesi,  $\bar{E}$  - her disinteg-

rasyonda neşrolunan gama ışınının Mev olarak ortalama enerjisi,  $\mu$  – her bir cm hava için absorpsiyon katsayısı,  $d$  – metre olarak bulunan mesafe.

### Alfa Tanecikleri :

Elektronun elektrik yükünün iki misli ağırlıkta positif yükü vardır. Kütle itibarıyla  $\text{He}^4$  çekirdeğinin kütesini haizdir. Kuvvetli bir Coulomb alanına sahip olduğundan içinden geçtiği madde ile kuvvetli bir interak-siyon yapar. Disintegrasyon enerjisi yaklaşık olarak

$$Q_\alpha = \frac{A}{A-4} E_\alpha \text{ ile verilir.}$$

$E_\alpha$  – Alfa taneciğinin kinetik enerjisidir. Orta menzilli bir alfa taneciği-nin menzili Geiger formülü ile bulunabilir.

$$R = a v^3$$

Eğer  $v$ ,  $\frac{\text{cm}}{\text{sn}}$  olarak alınırsa  $a = 9.6 \times 10^{-28} \frac{\text{sn}^3}{\text{cm}^2}$  sabit bir rakam-dır. Katılardaki menzili

$$R_k = \frac{3.2 \times 10^{-4} R A^{\frac{1}{2}}}{\rho} \text{ olur}$$

$R$  – havadaki menzili,  $A$  – kütle numarası ve  $\rho$  – katının yoğunluğudur. Dokulardaki menzili ise :

$$R_{\text{hava}} \times \rho_{\text{hava}} = R_{\text{doku}} \times \rho_{\text{doku}}$$

ilişkisinden bulunur.

### Beta Tanecikleri :

Bir tek negatif elektron yükü vardır. Ve kütlesi elektron kütesine eşit-tir. Çekirdekten çıkan hızı muhtelifdir. Devamlı bir spektrumu vardır. Çekirdekten çıkan beta taneciklerinin hızları sıfırdan ışık hızına yakın bir değere kadar değişebilir. Çekirdekten her beta taneciği nötrino ile bera-ber çıkar. Beta taneciklerinin menzili yaklaşık olarak  $\text{Al}$  absorpsiyon maddeler için ( $E = 0.8$  —  $3.07$  Mev Beta tanecikleri için)

$$R = 0,543 E - 0,133$$

ile bulunabilir. Beta taneciklerinin doku içindeki menzili için esas bir for-mül yoktur. Çünkü bu tanecikler geçtiği yol üzerinde rastladığı atom-ların kendi enerjilerine nisbetle iyonlaştırır. Bu sebepten beta tanecik-lerinin en fazla etkisi enerjilerinin en fazla olduğu ilk anlardır. Muhtelif enerji değerine göre menziller hazırlanmış tablolardan bulunabilir. Meselâ enerjisi  $1.0$  Mev ise dokudaki menzili  $0.335$  cm,  $20$  Mev ise menzili  $8,75$  cm dir.

### Gama - Işınları :

Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar veya fotonlardır. Bazı ana çekirdekler alfa veya beta tanecikleri çıkardıktan sonra kız çekirdekler uyarılmış halde teşekkül eder. Bunlar normal hale dönerlerken gama ışınları neşrederler. Gama ışınları madde arasından geçerken atomları iyonlaştırır.

Radyoaktif elemanlardan çıkan gama - ışınlarının enerjileri değişiktir. Madde içerisindeki şiddet ve menzilleri X - ışınları için kullanılan belli ilişkidir bulunabilir.

$$I = I_0 e^{-\eta x}$$

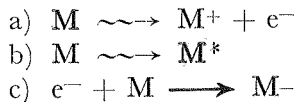
Bu ışınların spektrumunda kat'li dalga uzunlukları gösteren keskin çizgiler görülür. Sun'i disintegrasyonla yeni izotoplar elde etmekte kullanılır.

### Radyasyonun Dokulardaki Etkisi :

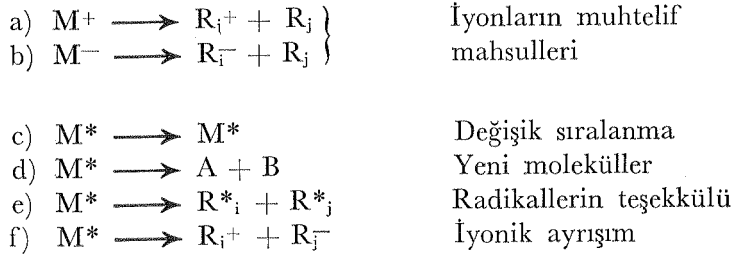
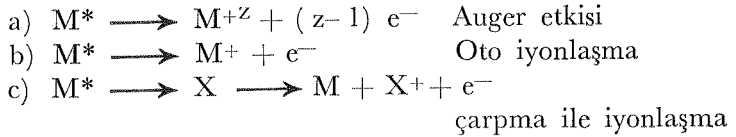
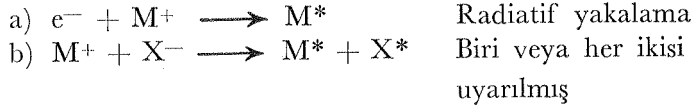
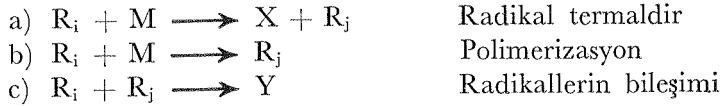
Radyasyonların insan vücudundaki zararı kat'li şekilde bilinmemekte dir. Ancak vücuttaki dokuların kimyasal bileşiminde iyonlaştırma suretiyle değişiklikler husule getireceği açıktır. Bu iyonlaştırma olayı gelen radyasyonun karakterine göre iki kısma ayrılabilir. Birincisi yüklü taneciklerin doğrudan doğruya vücut dokuları arasında radyasyon meydana getirmek suretiyle yaptığı iyonlaştırmadır. İkincisi ise X veya gama ışınlarının vücut dokuları arasına girmek suretiyle bu dokulardan elektron çıkmasına sebep olmasıdır. Ayrıca nötronların dokuya girmesi sonucu dokunun atomik taneciklerinin enerjilerini kaybetmeleri de bu sınıfa girebilir.

Doku içerisindeki aktif olabilecek taneciklerin iyonlaştırma kabiliyetleri bunların sayı ve enerjilerine ve ayrıca da dokunun bileşimine tabidir. Genellikle bu tanecikler geçtikleri yol üzerinde iyon çifti veya uyarılmış moleküller hasil ederler. Bazı iyonların tekrar kendi kendine birleşmeleri ve uyarılmış moleküllerin normal hallerine dönmeleri ihtimal dahilindedir. Fakat şurası muhakkak ki iyonlaşma neticesinde önemli sayıda moleküller arasındaki bağlantı kopmuş ve moleküler konfigürasyon dağılmış olur. Genel olarak bu olay atomların reaktif oluşu dolayısıyla serbest molekül kökleri ve bu kökler yeni moleküller istihsal eder. Bu reaksiyonların fiziksel analizi birkaç kısımda incelenir. Dokularda bu reaksiyonlarından birinin ve arka arkaya birkaçının hasil olması mümkündür.

#### 1. Çarpma olayı



Tek veya üçlü uyarma

**2. Uyarılmış moleküllerin titreşim reaksiyonu :****3. Elektron çıkaran reaksiyonlar :****4. Nörlleştirme Reaksiyonları :****5. Radikal Reaksiyonları :**

Muhtemelen canlı dokularda en fazla reaksiyon su moleküllerinde hasıl olur. Meselâ ilk olay :



şeklinde gösterilebilir. Bu molekülden elektron kâfi enerji ile ayrılır. Pozitif iyon bulunduğu yerde



şeklinde parçalanır. Çıkan enerjetik elektron nötr bir moleküle bağlanabilir ve ikinci bir iyon yaratır. Bu iyon ise



şeklinde ayrışımına uğrar.

Bu disintegresyondan iki iyon ( $H^+$ ) ve ( $OH^-$ ) meydana gelmiştir. Hakikatte bu iyonlar pek önemli değildir. Çünkü bu iyonların reaksiyonla tekrar nötr hale gelmeleri pekâla mümkündür. Ancak diğer muahsuller ( $H$ ) ve ( $OH$ ) reaktif olmaları bakımından önemli görülür. Meselâ yüksek LET radyasyonla birbirlerine yakın radikallerin kombinasyonu mümkündür.



İşte bu moleküllerin istihsalı kompleks biyolojik tesirler yaratabilir. Çünkü esas dokuda mevcut değildir. O halde biyolojik hasarlar iyonlaştırıcı taneceklerin dokular arasından geçişi esnasında molekül cinslerinin değişmesi (Meselâ  $H$ ,  $OH$ ,  $H_2O_2$  ve  $H_2$  gibi radikallerin meydana gelişi) ve ayrıca kromosomların kırılması şeklinde hülâsa edilebilir.

### **Radyasyonun İnsanın Biyokimyasal Yapısına Etkileri**

1. X - ışınlarına maruz kalmış olan proteinlerin kimyasal özelliklerinde değişmeler olduğu gözlenmiştir. Ayrıca protein ihtiva eden dokuların ve lymphoid dokunun bu ışınlarla tahrip olduğu bilinmektedir.

2. Irradyasyondan enzim faaliyetlerinde gözlenen değişmeler biokimyasal sistemin bu sebepten bozulduğunu gösterir.

3. Radyasyonun Ribo Nucleic Acid ve Desaxy Nucleic Acid üzerindeki tahribatı kısa ve uzun vadeli olmak üzere iki kısımda analiz edilir.

4. Irradie olmuş Cellular Metabolizmdeki biokimyasal tahribat bunlarda bulunan bileşiklerin kimyasal olarak değişmesi neticesidir.

Radyasyonun insan vücudundaki hasarların husule gelişi fiziksel olarak iki tipte incelenebilir.

1. Toplanan doz ile lineer olarak artan hasarlar.

2. Bir başlangıç dozuna kadar belli olmayan hasarlar.

Dokuların tamir fonksiyonunu düşünürsek az dozlar için hasar nisbeti de az olur. Bu ancak tamir gücünün maksimum noktasına kadar böyledir. Hasar nisbeti bu noktayı aştığı anda ikinci tip hasarların başlangıç dozuna erişilmiş olur. Meselâ bir doz miktarı 25 R'den aşağı ise zahiren radyasyon hastalığı görülmez. Fakat 300 R veya daha fazla dozlar için radyasyon hastalıklarının muhtelif simptomları belirir.

### **Çekirdek Radyasyonlarının İnsan Vücudundaki Etkisi :**

Çekirdek radyasyonlarının canlılara yapabileceği zararlar, bunların araştırılması ve korunma çareleri Sağlık Fiziğinin esas mevzuunu teşkil

eder. Bu mevzuuda insan vücudu üzerine yapılabilecek deney ve gözlemlerin insan hayatını tehlikeye koyacağından bu faaliyetlere insanlar hariç tutulmaktadır. Mamafih 2. Dünya Harbinde Hiroşima ve Nagasaki'ye atılan atom bombasının çıkardığı radyasyonların insan üzerinde yaptığı tahribat ve bunun incelenmesi bize bu hususta biraz bilgi vermektedir.

Dıştan görünüşte yalnız termal şeklinde görülen radyasyon tahripleri belki klinik çalışmalara göre dört safhaya ayrılabilir :

a) İrradiyen hemen bir saat sonra başlayan mecalsiz kalma, kusma ve bulantılar bunun ilk simptomunu teşkil eder.

b) Bir müddet sonra radyasyon yaralı kendini gayet iyi hisseder ki bu devreye «Geçici iyileşme zamanı» denir.

c) Radyasyondan görülen vücut zararlarının simptomları bu devrede ortaya çıkar. Vücut ateşi yükselir, ishal başlar, saçlar dökülür, derilerde ve iç organlarda (bilhassa bağırsaklarda) kanamalar olur, ağız ve boğaz kısımları iltihaplanır.

d) Üçüncü safhayı atlatan bir kimsenin uzun bir nekahat devresinden sonra iyileşmesi mümkündür.

Çekirdek radyasyonları çeşitli uzuvları üzerine değişik etkiler gösterir. Şimdi bunları kısaca inceleyelim :

Bütün vücut radyasyona maruz kaldığı zaman kan damarlarında pek fazla zarar hasıl olmamaktadır. Ancak yüksek dozajlarda ve radyasyonun muayyen lokallerde teksif edildiği hallerde zarar dikkati çekecek kadar fazla olabilir. Ayrıca irradie arterilerin hayatının radyasyon etkisi ile kısaldığı tesbit edilmiştir. Radyasyonların kandaki al ve beyaz yuvarlara etkisi yüksektir.

Teneffüs sistemi radyasyonlara karşı oldukça dirençlidir. Histolojik değişmeler ancak yüksek bir irradyasyonla hasıl olabilir. Bu halde gerek akciğer hücrelerinde ve gerekse bronkiada kireçlenme ve sertleşmeler husule gelmektedir.

Dudak kanserlerini radyasyonla tedavi ederken ağız boşluğunda bulunan bezelerin bazı zararlarına uğradığı gözlenmiştir. Bazı hayvanlar üzerine yapılan deneyler, radyasyonun mide civarında iltihaplara ve mide bezelerinin dejenerasyonuna sebep olduğu anlaşılmıştır.

Fazla radyasyona maruz kalmış insanlarda bağırsak kanamaları ve hücrelerinin dejenerasyonu şüphesizdir. Bunu mukasal kanamalar ve yaralar takip eder ki bu hallerde mortalite nisbeti yüksek olur.

İrradayasyona en fazla direnci olan uzuvlarımızdan bir tanesi karaciğerdir. Yapılan tıbbi deneylerde ancak 1000 R nin üzerindeki dozajlarda lokal karaciğer hücrelerinin tahribi görülebilmektedir.

Gerek testis ve gerekse ovaris uzuvları radyasyona en hassas olan kısımlardır. Bunların radyasyonla sterilize olması jerm hücrelerinde genetik değişmelere sebep olmaktadır. Olgun sperm ve ova üreten gonadal dokuların daimi tahribi insanların üreme kabiliyetlerini sıfıra indirebilir. Bir tek dozla, 400 r lik bir irradiye, bir erkeği daimi sterilize yapabilir. Bu rakam belki kadın için günde 200 r olmak suretiyle 3 müteakip güne çıkarılır.

Radyasyonun insanlara ilk zararı deriler üzerindeki tahribatı olmuştur. Deri hücrelerinin yani alt ve üst epidermal hücrelerinin yanması muhtelif cilt hastalıklarına sebep olur. Bunun neticesinde deri altlarında şişmeler ve iltihaplar hasıl olur. Bu trajedi epidermide histolojik ve kimyasal değişmelerle devam eder. Son olarak radyasyonun kıl ve saç köklerini tamamen tahrip edebileceğininde ilâve etmek lâzımdır.

### **Muhtelif Dozların Etkileri :**

25 R'lik bir doza maruz kalmış bir insandaki radyasyonun hasarını ölçmek ve gözlemek halen mümkün değildir. 25 R'lik bir dozun üzerinde Lukopenia (kandaki beyaz yuvarların azalması) başlar. 50 R'de bu hasar kanda dalgalı bir şekilde değişir. Bu dozun üzerinde Lukopenia kat'i olarak teşhis edilebilir. 100 R veya daha yukarı derecede radyasyon dozu alan bir insanda mide bulantısı ve kusma başlar. Bu dozda bu simptomlar 24 saat kadar gecikebilir. Fakat daha yüksek dozlarda 2 - 4 saat sonra kendini gösterir. 100 R'lik bir radyasyon insanın hayatın  $8\frac{1}{2}$  ay kısaltır. Eğer bu radyasyon kısa bir müddet için alınmışsa hayat kısalması  $3\frac{1}{2}$  seneye çıkar

300 R'lik bir radyasyona maruz kalmış bir kimsenin damarlarındaki kanda beyaz yuvarlar sayısı yok denecek kadar azdır. Biraz daha fazla dozlarda ise dişetlerinde kanamalar başlar. Ayrıca bağırsak kanamaları daha sonra anlaşılır. Bu kanamaları enfeksiyonlar takip eder. Bu durum günlerce ve haftalarca devam edebilir. 400 R'lik bir dozu bir saat müddet içerisinde almış olan bir kimse için ölüm ihtimali % 50 dir. 500 - 1500 R'lik bir radyasyon dozu insan vücudundaki bütün faydalı bakterileri yok eder, dokuları, hücreleri tahrip eder. İnsanın her tarafı yaralar içerisinde kalır ve 10 - 15 gün içinde kat'i olarak ölür. 1500 - 2000 R' insan hayatını 3 - 5 güne indirir. Bu doza bağırsakların ölüm dozu denir.

Buraya kadar anlatılan yüksek dozajlı radyasyona maruz kalındığında meydana gelen simptomlardır. Halbuki gerek endüstride ve gerekse laboratuvarlarda çalışan kimseler devamlı olarak az dozda radyasyonlara maruz kalabilirler. Bunların simptomları kısa zamanda belli olmaz. Bunu bir araştırma mevzuu yapmağa da imkân yoktur. Çünkü hasarın meydana gelişi ile birlikte vücut yapılan hasarı tamir eder. Mamamfih radyasyon alındıktan uzun zaman sonra da hasarlar ortaya çıkabilir. Bu tesirler belki üç kısımda toplanabilir :



1. Kanserin meydana gelişi,
2. Hayat kısalması. Bilhassa tümörlerin meydana gelmesi ile bileşik olarak tesirini gösterir,
3. Neslin kesilmesi ve bozulması. Radyasyon canlı organizmalar üzerine tesir ederek nesli kestiği veya değiştirdiği muhakkaktır. İnsan üzerinde genetik tesir görülmemiş olmasına rağmen bu hasarın mevcudiyeti inkâr edilemez. Radyasyonun kromozonlar üzerindeki tahrip edici tesiri buna bağlanabilir.

### Zararsız Maksimum Radyasyon :

Bir kimsenin maruz kalabileceği maksimum radyasyon nisbeti :

1. Yetişkin bir insan için esas maksimum nisbeti olarak 0,3 rem/haftadır.

2. Eğer radyasyona maruz kalma müddeti birkaç sene sürecekl olursa o zaman bu nisbet 0.1 rem/hafta olarak hesaplanabilir.

3. Radyasyona maruz kalacak kimse 18 yaşından küçükse bu nisbet yukarıdaki (1) ve (2) için değerlerin  $1/10^2$  u alınmalıdır. Yani esas nisbet 0,03 rem/hafta ve uzun zaman için 0.01 rem/hafta olarak düşürülebilir. Ayrıca radyasyonun insan vücuduna nüfuz edebileceği derinliği de hesaba katmak lazımdır. Radyasyonun tesirinden en fazla zarar görebilecek organlar kan yapan organlar, göz mercekları ve üreme organlarıdır. Kan yapan organların zarar görmesi lükemia'nın meydana gelmesine sebep olur. Bir radyoizotop laboratuvarında çalışacak kişiler için alınabilecek maksimum radyasyon miktarı aşağıdaki tabloda verilmiştir :

Müsaade Edilecek Maksimum Radyasyon :

Işınlar	m.Rad/hafta	Günde 8 saat
X ve $\gamma$	300	4200 fot/cm <sup>2</sup> sn
$\beta$ ve e <sup>-</sup>	300	~ 68 elek./cm <sup>2</sup> sn
Thermal nötron	120	2600 Möt/cm <sup>2</sup> sn
Hızlı »	30	58 nöt/cm <sup>2</sup> sn 2 mev
$\alpha$	30	0.0014 $\alpha$ /cm <sup>2</sup> sn 5 mev
Proton	30	0.17 H <sup>1</sup> /cm <sup>2</sup> sn 5 mev
Ağır iyonlar	15	0.0006 Oksijen/cm <sup>2</sup> sn, 5 mev

### Dekontaminasyon

Dekontaminasyon probleminin en iyi çözüm kontaminasyona mani olmaktır. Bunun için binaların kuruluşunda, alet ve apercayelerin yerleştirilmesinde, atılacak her türlü çöplerin imha edilmesinde ve en önemlisi personelin yetiştirilmesinde dekontaminasyon göz önünde bulundurulmalıdır.

Radyoizotoplarla çalışacak lâboratuvarların bulunduğu yer, hava şartlarına uygun olan ve kalabalık bölge olmamalıdır. Binaların yapılışı radyoaktif kontaminasyonun lokalize edilebileceği ve mahfuz kalabileceği plânda olmalıdır. Yani gerek bina içinde ve gerekse binadan dışarıya doğru, radyoaktif kontaminasyonu ihtiva eden tozları taşıyabilecek hava akımının bulunmamasıdır. Binanın ısıtma ve soğutma tesisleri de buna göre plânlanmalıdır. Ayrıca duvar yüzeyleri ve bilhassa boyalar radyoaktif kontaminasyonu toplayamayacak ve depo etmeyecek kalitede olmalıdır.

Radioaktivitenin bulunduğu yerlere girişte özel elbise, ayakkabı ve şapka giymek mecburi olmalıdır. Bu sahalardan çıkan herkesin aldığı kontaminasyonu ölçülmeli ve şahıslar temizlenmelidir.

Herhangi bir maddeyi ihtiva eden şişelerin kırılması ve maddenin etrafa yayılması esnasında aşağıdaki gösterildiği gibi davranılmalıdır :

1. Derhal bulunduğun odayı içeriden kapat ve kimsenin içeriye girmesine müsaade etme,
2. Bütün vantilâtörleri durdur,
3. Eğer giymemiş isen derhal kontaminasyondan koruyucu elbiseni giy,
4. Yalnız özel aletler kullanarak (elle temas etmeden) fazla döküntüleri topla ve emniyete al,
6. Maruz kaldığın radyasyon miktarını ölç ve kendini emniyete al,
7. Telefonla sağlık fizikçisini odaya çağır.

### **Radyoaktif Çöpler :**

Biz bunu geniş manada atılacak cisim ve maddeler olarak anlıyoruz. Bu bakımdan, gaz, sıvı ve katı olmak üzere çöpler 3 kısımdan incelenebilir.

1. Gaz çöpler : Radyoaktiviteyi ihtiva eden odalara giren ve çıkan havanın bir taşıyıcı ve karışım olarak kontaminasyonu etrafa dağıtması mevzuu bahis olabilir. Bu sebepten hava giriş ve çıkış yerlerine filtreler yerleştirmek şarttır. İkinci önemli problem hava içerisinde bulunan  $A^{40}$  gazının radyoaktif bir izotop halinde meydana gelmesidir. Ayrıca az miktarda dahi olsa  $C^{14}$ ,  $H^3$  ve  $O^{19}$  izotopların hasıl olması mümkündür.

2. Sıvı çöpler : Bu daha ziyade reaktörleri ilgilendirir. Çünkü su reaktörlerinde kullanılan su miktarı fazla olduğundan, bunların atılması bir problem olur. Bu lâboratuvarlarda ise radyoizotoplarla çalıştıktan sonra atılacak bir miktar sıvı hasıl olursa bunları demir bir kap içerisinde derin bir yere gömmek gerekir.

3. Katı çöpler : Katı çöpler sıvılar gibi radyoaktif kontaminasyonu geçirmeyecek bir kap içerisinde derin bir yere, bir kör kuyuya gömülmemelidir.

### **Radyoaktif Maddelerin Taşınması :**

1. Radyoaktif maddeyi ihtiva eden şişeler kalın kurşun kutular içinde taşınır.

2. Bu kutuların en küçük boyutu 10 cm den aşağı olmamalıdır.

3. Bir kutu 2 cüri'den fazla radyoaktif maddeyi ihtiva etmemelidir.

4. Kutunun yüzeyi radyoaktif kontaminasyondan temizlenmelidir.

5. Kutunun radyoaktif maddeyi ihtiva ettiğini gösteren işaretler her yüzeyine yapıştırılmalıdır.

### Bazı Radyoizotoplar için K – değerleri

Radyoizotop	K – değeri 1 Ci den 1 m R/saat	Radyoizotop	K – değeri 1 Ci den 1 m R/saat
Na <sup>22</sup>	1.2	Cu <sup>64</sup>	0.1
Na <sup>24</sup>	2	Zn <sup>65</sup>	0.3
Mg <sup>28</sup> /AL <sup>28</sup>	1.6	Br <sup>82</sup>	1.5
K <sup>42</sup>	0.15	Rb <sup>86</sup>	0.05
Cr <sup>51</sup>	0.02	Zr <sup>95</sup>	0.4
Mn <sup>54</sup>	0.5	I <sup>131</sup>	0.2
Co <sup>58</sup>	0.6	Cs <sup>137</sup> /Ba <sup>137</sup>	0.3
Fe <sup>59</sup>	0.6	Ta <sup>182</sup>	0.7
Co <sup>60</sup>	1.3	Au <sup>198</sup>	0.3

**BİYOLOJİ VE ZİRAATTA KULLANILAN RADYOİZOTOPLAR**

İZOTOP	KULLANILDIĞI YER
C <sup>14</sup> , Mg <sup>27</sup> , P <sup>32</sup> , S <sup>35</sup> , K <sup>42</sup> , Ca <sup>45</sup> , Mn <sup>52</sup> , Mn <sup>54</sup> , Mn <sup>56</sup> , Fe <sup>55</sup> , Fe <sup>59</sup> , Co <sup>60</sup> , Cu <sup>64</sup> , Zn <sup>65</sup> , Sr <sup>89</sup> , Mo <sup>99</sup> , Cs <sup>137</sup>	TOPRAK, BİTKİ VE HAYVAN BESLENMESİ
N <sup>15</sup> , P <sup>32</sup>	GÜBRELEME
H <sup>3</sup> , Cl <sup>36</sup> , Cl <sup>38</sup>	SU BESLENMESİ
Na <sup>22</sup> , Na <sup>24</sup>	TOPRAK VE HAYVANDA SU HACMİ TAYİNİ
I <sup>131</sup>	HAYVAN PATOLOJİSİ VE BESLENME
H <sup>3</sup> , C <sup>14</sup> , Na <sup>22</sup> , Na <sup>24</sup> , P <sup>32</sup> , S <sup>35</sup> , Cl <sup>36</sup> , Cl <sup>38</sup> , K <sup>42</sup> , Ca <sup>45</sup> , Sc <sup>46</sup> , Mn <sup>52</sup> , Mn <sup>54</sup> , Mn <sup>56</sup> , Fe <sup>55</sup> , Fe <sup>59</sup>	ENTOMOLOJİ
As <sup>74</sup> , As <sup>76</sup> , C <sup>14</sup>	TOHUM KONTROLU