

# ATOM PARÇALANMASINDAN DOĞAN IŞINLARIN CANLILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Georges PÉTAVY

Atom enerjisinin tehlikeleri üzerindeki tartışmalarda bazıları atom ışınlarının hemen hemen zararsız, diğerleri öldürücü olduğunu söylemektedir. Orsay araştırmacılarından bir grubun bu sorun üzerindeki görüşlerini ayrıntılı olarak sunuyoruz, bu yazı bu gibi olayları "basit" bulan birçok kimseyi değiştirecektir.

Atom endüstrisinde üretilen radyoaktif (ışın saçıcı) maddeler üç çeşit ışın yayarlar : alfa, beta ve gama. Bu ışınlar canlılara iki yoldan saldırır : 1) Dolaysız olarak deri yolu ile. Alfa ışınları deriyi geçemez, beta ışınları çok az geçer, gama ışınları ise gövdenin önünden girip arkasından çıkabilir. 2) Dolaylı olarak solunan hava, içilen sıvılar ve yenen besinler yolu ile. Alfa ve beta ışınları vücutte girdikten sonra gidip oturacakları ve tahrip edecekleri organı "seçerler".

1945'de Japonya'ya atom bombaları atıldıktan sonra vücutlarının bütünü yalnızca 10 saniye atom ışınlarına (700 - 800 rem dozunda) maruz kalmış insanların % 90'ı patlamadan sonraki 7 gün içinde öldü (tam ve hızlı ışınım); ölenlerde patlama sonucu ne yanık, ne de yara meydana gelmişti. Bu olay atom ışınlarının insanları çok kısa sürede öldürebileceğinin apaçık bir kanıtıydı. Bununla birlikte bu öldürücü ışınlarda taşınan enerji çok zayıftı, öyle ki bu ışınlar insan vücudunun ısısını on milyonda bir derece yükseltmeye bile yetmezdi !

O halde ışınların öldürücü oluşları büyük enerji taşımalarından ileri gelmiyordu : **ışınların canlıda meydana getirdiği bozukluklar ölüme yol açmıştı.** Diğer taraftan ışınlar hep aynı şekilde etki yapmazlar. Bazı hücreler bu ışınların etkisiyle diğerlerinden daha çabuk ölümler (radyo-sensibilite).

## Hücre Ölümü

Bütün vücutte öldürücü doz'un otuzda biri (25 rem) bir kerede verilirse **vücut savunmasında önemli rol oynayan lenfosit ana hücrelerinin** (akyuvarların bir çeşidi) büyük bir bölümü derhal ölür. Bunun sonucu olarak vücut savunması aksar, bereket ki bu durum geçicidir, ışınımı

izleyen günlerde bütün vücutte dağılmış bulunan lenfosit ana hücreleri yeni lenfosit'ler doğurur (lenf bezleri, dalak, kemik iliği ve gençlerde timüs bezinde). Aslında tehlikeli olan bu ışınım bugün tıpta nakledilen bir organın —örneğin nakledilen bir böbreğin— hayatını uzatmakta kullanılmaktadır.

Öldürücü doz'un onbeşde biri (50 rem) bir kerede vücutte verilirse sperm hayvancıklarını doğuran hücrelerin büyük çoğunluğu derhal ölür, sonuç : kısırlık. Yine bereket ki bu kısırlık geçicidir, aylar sonra sperm ana hücrelerinden yeni sperm hayvancıkları oluşur.

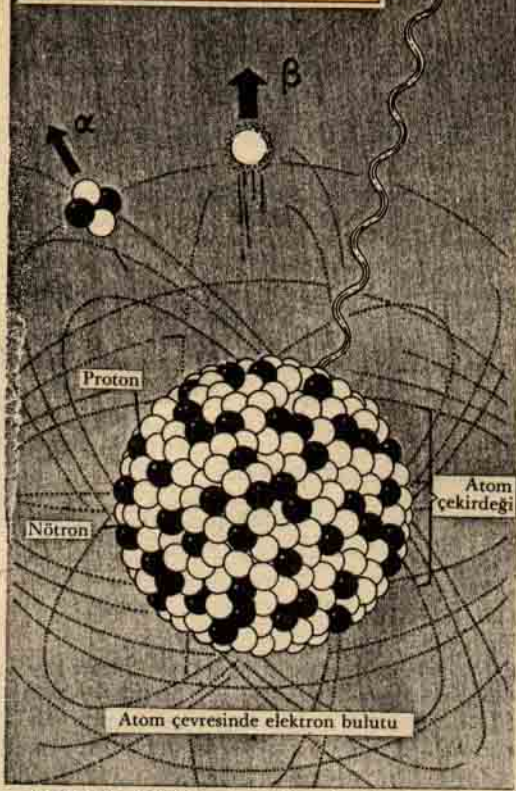
Bu iki örnekden anlaşılmalıdır ki erişkinlerde dölütte (embriyon) olduğu gibi **farklaşmamış ilkel hücreler** vardır ve atom ışınları ilk önce bu gibi hücreleri öldürmektedir.

## Hücre Bölünmesinin Durması

Vücudumuzda hergün bir milyardan 1.000 - 10.000 katı kadar hücre ortadan ikiye bölünerek çoğalır. Bu bölünme sayesinde şunlar sağlanır :

• "Eskimiş" hücrelerin yerine yeni hücrelerin gelmesi ; Yüzeyden dökülen deri hücreleri, sindirim yolunun içini döşeyen hücreler, devamlı olarak yenilenen bazı bezlerin hücreleri, kandaki bütün hücreler.

## RADIOAKTİF MADDELERİN SAÇTIĞI ALFA, BETA VE GAMMA IŞINLARI



■ Doğada bulunan veya laboratuvarında yaratılan radio-aktif (ışın saçıcı) maddeler parçalanırken çeşitli ışınlar saçarlar :

1) Elektromanyetik ışınlar : Bunlara gama ( $\gamma$ ) ışınları denir. Foton'lardan ibaretler. Foton'larmın kütlesi sıfır olup ışık hızıyla saçılırlar, dalga boyları çok küçüktür (1 mm. 'nin on milyonda biri kadar) ve yüksek enerji taşırlar (milyon elektron volt veya MeV düzeyinde). Çok yüksek gerilimle elde edilmiş X ışınlarına benzerler ve onlar gibi kanser tedavisinde (radioterapi) kullanılırlar, örneğin derin kanserlerin tedavisinde kobalt bombalarından yararlanılmaktadır, bunların içinde  $\gamma$  ışınları saçan kobalt - 60 izotop'u bulunur.

2) Parçacıklardan (partikül) oluşan ışınlar :

• Elektron büyüklüğünde parçacıklar : Bunlar beta ( $\beta$ ) ışınlarını oluşturur. Dayanaksız atom çekirdeklerinin parçalanması sırasında  $\beta$  ışınları ışık hızının % 90'ına erişen bir hızla saçılır, kütleleri elektron kadardır, elektrik yükleri bazen elektron gibi negatif ( $\beta^-$ ), bazen de pozitifdir (pozitron  $\beta^+$ ).

• Atom çekirdeği büyüklüğünde parçacıklar : Bunlara alfa ( $\alpha$ ) ışınları denir. Helium atomu çekirdeklerinden oluşurlar, demek ki  $\beta$  partiküllerinden 7500 kere daha ağırdır. Çok büyük enerji taşırlar (birkaç MeV), genellikle ağır metal atomlarının parçalanması sırasında saçılırlar : kurşun, bismut, thorium ve uranyum'un radioaktif izotop'ları gibi.

- Saçların, kılların, tırnakların büyümesi.
- Erişkin erkeklerde sperm hayvancıklarının yapılıması (kadınların yumurtalığındaki yumurta hücresi sayısı doğumla belirlenir ve ömür boyu aynı kalır).

Sonuçlar : bir kerede vücuda büyük dozda (150 - 200 rem) atom ışınları verilirse vücut savunması aksar, deride yaralar, ishal, kansızlık, kanın zor pıhtılaşması ve geçici veya sürekli kısırlık görülür. Işınlamadan sonra görülen belirtiler insandan insana değiştiği gibi yaşla da değişir.

Bu dozun çok altındaki dozlar birkaç haftalık bir dölüte (embriyon) uygulanırsa düşük tehlikesi belirir : bir yandan annede beliren değişmeler diğer yandan dölüte hücrelerinin bölünmeyi durdurduğu veya ölüştüğü düşüğe yol açar.

Işınlar gebeliğin ortasında veya sonunda uygulanırsa, örneğin gebe bir kadının röntgenleri çekilirse, düşük olabilir veya anormal bir çocuk doğabilir. Sıçan deneyleri ile gösterilmiştir ki dölüte verilen zayıf bir doz (10 rem) bile yavrunun beyin hücrelerini zedelemekte ve yavruda çok sayıda üreme hücresi (jerminal hücre) öldürmektedir.

1945'de Japonya'ya atılan atom bombalarından sonra o sırada gebe olan kadınların anormal çocuklar doğurdıkları görüldü (küçük kafalı çocuklar, cüçeler v.s.). Bu kadınların karnı 25 rem dozunda ışın almış bulunuyordu. Bu olay örnek alınarak bir gebe kadının karnına herhangi bir nedenle 5 - 10 rem kadar röntgen ve benzeri ışınlar verilmişse anormal çocuk doğmasını önlemek üzere kürtaj yapılması tavsiye edilmektedir.

### Işınlar Kan Kanseri ve Kansere Neden Oluyor

Atom ışınları sınırları çok belirli bir bölgeye yüksek dozlarda verildiği zaman o bölgedeki hücreleri öldürür veya hücre bölünmesini durdurur, bu nedenledir ki vücudun derinliklerine geçebilen gama ışınları derinde bulunan kanserlerin tedavisinde kullanılmaktadır. Her ışınlamadan sonra hücrelerin bazıları sağ kaldığından ışınlamayı belli aralarla birçok defa tekrarlamak gerekir. Bu yüksek dozdaki ışınlar iki yarı keskin kılıç gibidir, bir yandan kanser hücrelerini öldürür, diğer yandan normal hücrelerde kanser başlatabilir.

Vücudun bütününe zayıf dozlarda fakat uzun süre uygulanan atom ışınları birçok dokuda çeşitli kanserlere ve kan kanserlerine (lösemi) neden olur. Kan kanseri tehlikesi annesinin

## BİR ELEMANIN RADIOAKTİVİTESİ NASIL ÖLÇÜLÜR ?

■ Radioaktif elemanların atom çekirdekleri kolay parçalanır cinsdendir. Belli bir radioaktif elemanda her çekirdeğin her an belli bir parçalanma olasılığı vardır. Bu yarı ömür ile belirlenir, yarı ömür belli bir radioaktif elemanda bulunan atom çekirdeklerinden yarısının parçalanması için geçen süredir. Bir yarı ömür sonra başlangıçta bulunan çekirdeklerden ancak yarısı kalmıştır, iki yarı ömür sonra 1/2'nin karesi kadar çekirdek kalmış, yani çekirdek sayısı 1/4'e inmiştir. 20 yarı ömür sonra 1/2'nin 20. kuvveti kadar çekirdek kalacaktır ki bu hemen hemen milyonda bir demektir. Yarı ömür bir elemandan ötekine çok büyük değişme gösterir, hatta aynı elemanın değişik izotopları farklı yarı ömürlere sahiptir.

Bir radioaktif kaynağın etkinliği (aktivite) saniyede parçalanan çekirdek sayısı ile ölçülür. Birimi küri'dir (curie) : saniyede 37 milyar atom çekirdeği parçalanan bir kaynağın etkinliği 1 küri'dir. Bir gram Radyum — 226'nın aktivite'si 1 küri kadardır. İnsanda küri'nin alt birimleri sık kullanılır :

Küri'nin binde biri = miliküri  
Küri'nin milyonda biri = mikroküri  
Küri'nin milyarda biri = nanoküri

Çevre radioaktivite'sini inceleyen uzmanlar pikoküri birimini kullanırlar (1 nanoküri'nin binde biri = 1 pikoküri). Yarı ömür ve etkinlik birbirleriyle bağlantılıdır, bir elemanın yarı ömrü kısaltıkça etkinliği artar veya bunun tersi olur. Örneğin 1 gram Iyod — 131'in (yarı ömrü 8 gün) etkinliği 1 gram doğal uranyum'dan çok daha büyüktür, çünkü doğal uranyum başlıca uranyum — 238 (yarı ömrü 4,5 milyar yıl) ile biraz uranyum — 235 (yarı ömrü 713 milyon yıl) oluşur. Her radioaktif elemanda 4 fizik veri bilinmelidir, ancak ondan sonra bu elemanın canlılar üzerindeki etkisi söylenebilir :

- 1) Işınlardan cinsi : örneğin,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  ve  $\gamma$ ,  $\alpha$  ve  $\gamma$  veya  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ .
- 2) Işınlardan enerjisi (kilo electronvolt-KeV- veya megaelectronvolt -MeV- olarak)
- 3) Yarı ömür
- 4) Etkinlik (aktivite) □

karnında iken veya doğumdan sonra atom ışınları almış çocuklarda en fazladır.

Atom ışınlarının kansere yol açmasını incelemek üç nedenle zorlaşmaktadır :

1. Normal hücreyi kanser hücresi haline getiren etkenleri tam bilemiyoruz. Hücre kendiliğinden mi değişiyor, yoksa değişmeye zorlanıyor mu (mütasyon), hücrede gizlenmiş bir virüs'ün etkili duruma geçmesi mi söz konusu ?
2. Çevremizde bulunan çeşitli maddeler, özellikle endüstri çağından beri, kansere ve kan kanserine neden olmaktadır. Örneğin, maden kömürünün ve ağır sıvı yakıtların yanmasından oluşan benzo(a)piren maddesi kansere, benzen ise lösemi'ye yol açmaktadır.
3. Kanser veya lösemi'nin başlaması için sağlam hücrenin kanser hücresi şeklini alması yeterli değildir, vücudun kanser hücrelerine karşı savunmasının zayıflamış olması da şarttır (atom ışınları bunu da sağlamaktadır).

### Kalıtıl Değişmelerin Belirmesi

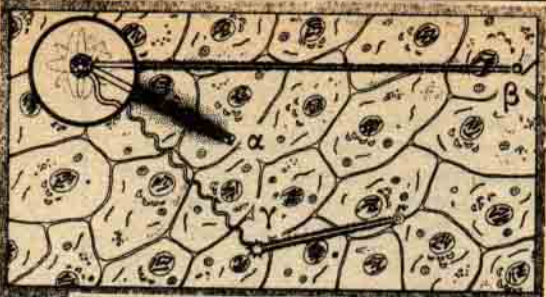
Bütün canlılarda kendiliğinden beliren kalıtsal değişmeler (spontan mütasyon) vardır ve bu mütasyon'lar her canlı toplumunda hemen hemen değişmez bir oranda görülür. Yavrulara da geçen bu gibi değişmelere her hayvan yetiştirici tanık olmuştur, kalıtım bilim (genetik) uzmanları da bu konuyu inceler. Mütasyon canlıdaki bir özelliğin değişmesi demektir, bu değişme gözle görülebilir : saçların ve kılların doğuştan bembeyaz oluşu gibi (albinizm veya beyazlık hastalığı). Bazen gözle görülemiyen bir değişme olur : kanda anormal bir hemoglobin bulunması gibi. Bu değişme kalıtım yasalarına göre yavrulara geçer. Ortaya çıkan yeni karakterin kaybolma olasılığı çok azdır (bir mütasyon'un geri dönmesi olasılığı bu mütasyon'un belirmesi olasılığından binlerce kere küçüktür).

Her 50 mütasyon'dan 10 kadarı dölütün zamansız ölerek düşmesine neden olur, 40 kadarı hayatı kısaltır ve çocuk olmasını önler. Bir mütasyon'un zararsız olma olasılığı 1/50'dir.

Çok olağanüstü çevre koşullarında mütasyon'un canlıya yararlı olması bile mümkündür.

1928'de Mülller ilk defa X ve gama ışınlarının sirke sineği üzerindeki kalıtsal etkilerini incelemiştir. Kırk yıldan fazla bir zamandır biliniyor ki X veya gama ışınları canlılarda mütasyon olasılığını arttırmakta ve bu artış kabaca ışınların dozuna paralel gitmektedir.

İşte bu nedenledir ki yumurtalıkların ve özellikle erbezlerinin (husye) ışınlandırılması büyük ölçüde kısıtlanmıştır. Fare deneyleri göstermiştir



## ATOM IŞINLARI CANLI DOKUYU NASIL ETKİLİYOR ?

■ **Büyük enerji taşıyan bu ışınların canlı dokularda yayılması sırasında doku atomlarının elektron'ları yörüngelerinden sıçrar, atom bir elektron kaybedince pozitif yük taşımaya başlar, atom artık iyon olmuştur. İyon'lar kimyasal reaksiyonlara girer. Bir atomdan atılan elektron bir başka atoma yerleşerek onun yükünü negatif yapar (negatif iyon). İyonların ömrü çok kısadır, çünkü hemen kimyasal reaksiyonlara girerler. Bu ışınları canlılar için bu kadar tehlikeli kılan kimyasal reaksiyonlar yaratma güçleridir. İyonlaştırıcı etki ışınlarla göre değişir :**

- **Gama ışınları** canlının derinliklerine kadar geçer ve derindeki maddeyi iyonlaştırır, fakat yolu üzerinde nispeten az iyon çiftleri yaratır, gama ışınlarının iyonizasyon yoğunluğu zayıftır.
- **Beta ışınları** dokulara çok daha az geçer (genellikle 1 mm 'den az), enerjileri ne kadar azsa dokulara o kadar az geçerler. Fakat iyonizasyon yoğunlukları yüksektir, özellikle yollarının sonunda tamamen emilmeden önce.
- **Aynı enerjiyi taşıyan alfa ışınları** dokulara beta ışınlarından daha az geçer, fakat iyonizasyon yoğunlukları çok daha yüksektir. Örneğin plutonium 239'un saçtığı alfa ışınları canlı dokuda ancak 35 - 50 mikron ( $10^{-6}$  mm) gidebilir. Fakat plutonium tozunda bırakılan bir madde 35 - 50 mikron çaplı bir küre boşluğunda β ışınlarına göre çok daha fazla iyonlaştır.

Dokuların emdiği enerji rad birimi ile gösterilir. 1 rad ışınlanan maddenin gramı başına 100 erg ( $= 1/100000$  watt - saniye) ışık enerjisi emilmesine karşılıktır. Rad radyoloji'de X ışınları için kullanılan birime benzer (1 röntgen = 0.93 rad) Rad'ın binde biri milirad'dır.

Rad emilen enerji'yi tam temsil edemediğinden bir diğer birim (ünite) kullanılmaktadır : rem veya rem'in binde biri olan milirem. Rem Roentgen - equivalent - man kelimelerinin başharflerinden türetilmiştir (insan röntgen eşdeğeri) 1 rem, 250000 voltluk bir jeneratörden çıkan X ışınlarının 1 rad emilmesi sonucu ortaya çıkan biyolojik etkileri insanda aynen meydana getiren dozdur. □

ki X ışınlarının belli bir dozunu birden kısa sürede vermek yerine aynı dozu uzun sürede az az vermek (ışın debi'sini azaltmak) erkeğin cinsel hücrelerinde mütasyon oranını azaltmaktadır. Bu etki kadınların olgun yumurta hücrelerinde (ovosit) sperm ana hücrelerinden daha belirgindir. Bu olay kalıtımın temeli olan DNA (dezoksiribonükleik asit) moleküllerinde bir onarma mekanizmasının varlığını göstermektedir. Bu onarmanın nasıl yapıldığı konusunda çok az şey biliniyor.

Işınların neden olduğu mütasyon'lar kendiliğinden olan mütasyon'lardan pek farklı değildir. dev DNA moleküllerine yazılmış kalıtsal mesajın değiştirilmesi söz konusudur. Böyle bir değişimin meydana geldiği ya sonuçları ile anlaşılır (gen değişmelerine bağlı mütasyonlar), ya da mikroskop altında bölünen hücrelerin kromozom'larındaki değişimler olarak belirir (kromozom değişmelerine bağlı mütasyon'lar). **Atom ışınlarının neden olduğu mütasyon'larda kendiliğinden olan mütasyon'lara göre daha fazla kromozom değişimleri bulunmaktadır.**

### Işınım İle Hastalık Arasında Geçen Süre

Burada iki durum söz konusudur.

#### 1. Işınım İle Kanser veya Lösemi Başlaması Arasında Geçen Süre

Anne karnında iken ışın almış bir çocuğun kanser olma olasılığı doğumdan sonraki ilk aylarda en fazladır, bu kanser tehlikesi en az 10 yaşına kadar devam eder. Çocuk doğumdan sonra ışın almışsa ilk lösemi vakaları ışınlanmadan iki yıl sonra gözükür ve lösemi tehlikesi en az 25 yaşına kadar sürer. Işınım üzerinden 15 yıl geçtikten sonra ilk kanser vakaları belirmeye başlar ve bu tehlike en az 30 yıl devam eder. Bunlar en iyimser tahminlerdir, aslında bu gibilerde kanser tehlikesinin gitgide azalarak ömür boyu sürdüğünü savunular da vardır.

#### 2. Işınım İle Mütasyon Arasında Geçen Süre

Mütasyon, yaşamaya engel olacak kadar ağırса düşüğe vol açar (kendiliğinden çocuk düşürme) böylece mütasyon yokedilmiş olur. Kalıtsallığı çok fazla (dominant) olan mütasyon'larda ilk doğan kuşaktaki vavrular hatif veya ağır kusurlar gösterirler ve bu kusurlar gelecek kuşaklara da geçer.

Kalıtsallığı hafif olan mütasyon'larda doğan ilk kuşak görünüşde normal olabilir. Fakat ergeç birkaç kuşak sonra mütasyon'a bağlı kusur ortaya çıkacaktır.

## PLUTONIUM - URANIUM - STRONTIUM

■ Plutonium oksit  $\alpha$  ve  $\gamma$  ışınları saçar, bu madde uranium oksit ile birlikte atom santrallerinin "yakıtı"dır. Bir işçinin kazara plutonium oksit'in çok ince tozlarını soluduğunu düşünelim. Bu metal oksit'i biyolojik sıvılarda az erir. Tozların az bir kısmı — en iri parçacıklar — burun iç zarında yapışıp kalır, kalan tozlar akciğerlere girer. Bronş temizleme mekanizması (sümüksü bir sıvı ve mukus ile örtülü titreşen mikroskopik tüyler) tozların çoğunu yutak ve gırtlığa geri atar. Buralardaki balgam ya çıkartılır, ya da yemek borusuna girer. Tozların kalani akciğer hava keseciklerine (alveol) yerleşir. Yemek borusuna girmiş tozlar kalın barsakta (burada hızları yavaşlar) kanser başlatabilirler. Akciğerde kalan tozlar komşu hücreleri öldürür veya kanserleştirir. Bir miktar plutonium oksit kana geçer, çeşitli hücreleri bozar (lenf bezi, karaciğer...), sonra kemik yüzeyinde oturur (strontium — 90 gibi kemiğin derinlerinde değil) ve kemik kanserine yol açabilir. Plutonium — 239'un yarı ömrü 24.360 yıl, biyolojik yarı ömrü ise kemiklerde 100 yıl kadar olduğundan vücuttan tamamen temizlenmesi olanaksızdır. Bereket ki kana belli bir madde verilebilir, bu madde kandaki plutonium ile birleşir ve onu böbreklerle dışarı attırır. Akciğerlere çökmüş Plutonium tozlarını oradan ayırmak olanağı yoktur !

Uranium madenlerinde çalışanlar nadir gazlardan Radon'u solur. Radon Radyum parçalanması sırasında doğar ve madendeki kaya çatlaklarında birikir. Bu ağır gaz akciğer hava keseciklerine çöker ve orada Polonium'a parçalanır. Radon ve polonium  $\alpha$  ışınları saçar (radon ayrıca  $\beta$  ve  $\gamma$  da saçar).  $\alpha$  partikül'leri komşu hücreleri öldürür veya kanserleştirir. Bohemya uranyum madenlerindeki istatistikler bu işçilerde akciğer kanserinin normallere göre 30 - 50 kere daha fazla görüldüğünü gösterdi. Havalandırma radon'u azaltarak akciğer kanseri olasılığını azaltmaktadır. Buna rağmen Amerikan uranium madenlerinde akciğer kanseri normale göre 5 kat fazladır. Polonium tozları deride kızartıya daha doğrusu ışınlardan ileri gelen bir deri iltihabına (radiodermis) neden olur, deriyi iyice yıkamakla bu tozlar giderilebilir. Ne yazık ki akciğerler yıkanamaz !

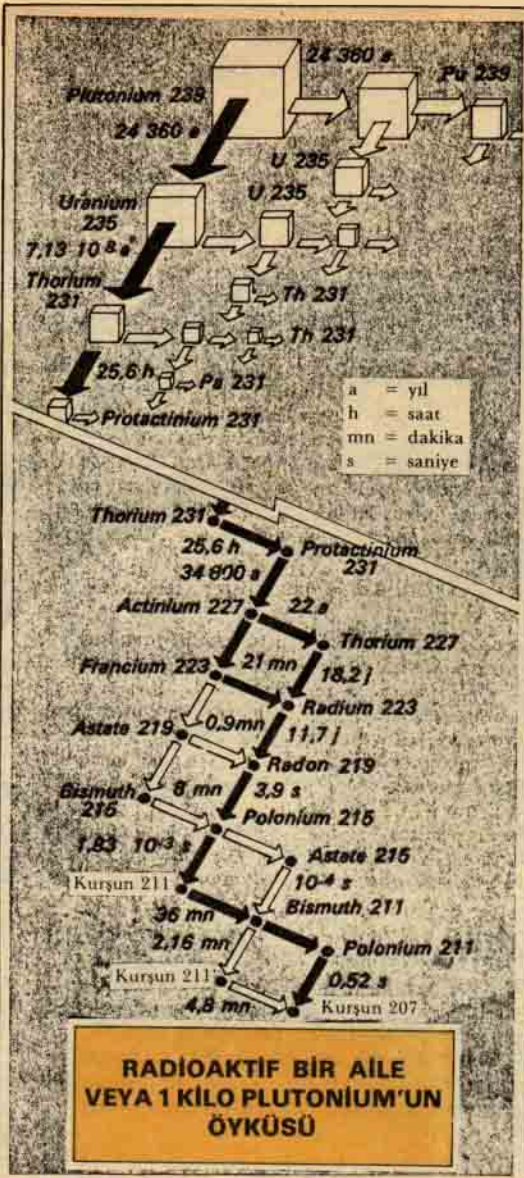
Strontium — 90 Uranium — 235 çekirdeğinin parçalanması sırasında doğar. Farkında olmadan besinlerle alınabilir (Strontium — 90 ile bulaşmış otlaklardan ineklere, ineklerden süt ve etle insanlara)  $\beta$  ışınları saçan bu izotop ince barsaktan kana geçer. Kimyasal özellikleri calcium'a benzer. Kemiğin organik ana maddesine fosfat şeklinde girer. Büyüyen çocuklarda kemik birikimi daha belirgindir. Yarı ömrü 28.1 yıl, kemikteki yarı ömrü ise 20 yıl kadardır. Basit bir hesap gösterir ki başlangıç radioaktivite'sinin yarıya inmesi için 11 yıl gerekir (effectif yarı ömür = 11 yıl). Tehlikesi kemik iliğine devamlı ışın göndermesindedir, bunun sonucu olarak ya kan hücrelerinin kemik iliğinde yapılması durur, ya da ağır bir kan kanseri (miyeloid lösemi) başlar. □

Sözün kısası ışınım ile ışınımaya bağlı geç hastalık belirtileri arasında geçen zaman çok uzundur. Lösemi ve kanser için onlarca yıl. mütasyon için bir veya birçok kuşak.

Böylece anlaşılmaktadır ki atomların iyonlaşması ile biyolojik etkilerin ortaya çıkması arasında henüz ayrıntıları tam bilinmeyen zincirleme olaylar yer almaktadır. Atom molekülü, molekül hücre organcığını, organcıklar hücreyi, hücreler organları ve organlar canlılığı değiştirmektedir. Gama ışınları ister dışarıdan verilsin ister içeriden alınsın (örneğin gama

ışınları saçan bir maddenin kazara yutulması) vücudun çok derinlerine geçerek hücreleri öldürür veya değiştirirler. Buna karşın alfa ışınları deriden geçemez, bu nedenle, çok uzun süre maruz kalmamak şartıyla, vücut dışında iken pek tehlikeli değildirlir. Tam tersine alfa ışınları saçan bir maddenin yutulması, eğer mide ve barsakları hemen boşaltılmak olanağı yoksa, korkunç sonuçlar doğurur.

Alfa için söylenenler beta ışınları saçan maddeler için de doğrudur. Bu gibi maddelerin iyon yoğunluğu alfa'dan daha azdır, fakat ağır atom-



■ Pb-207'ye giden yol uzundur. 24.360 yıl sonra plutonium'un ancak yarısı uranyum - 235'e dönüşür. Uranyum - 235'in yarısının thorium - 231'e dönüşmesi 713 milyon yıl gerektirir. Uranyum - 235'in yarı ömrünün uzunluğu az ışın saçmasını açıklar. Buna karşın daha sonra yarı ömürleri çok kısa ve bu yüzden şiddetle ışın saçan elementler belirir: radyum, radon, actinium (yarı ömürleri sırasıyla 11,7 gün, 3,9 saniye ve 10<sup>-4</sup> saniye). Bu bakımdan radyoaktif bir element yarı ömrünü tamamlayınca radyoaktivite yarıya inmez. Söz konusu elementin radyoaktivitesi tabii ki yarıya inmiştir, fakat yeni radyoaktif elementler da doğmuştur, kurşun veya bismüt gibi artık parçalanmaz bir elemente varıncaya kadar ışın saçma (radyoaktivite) devam eder. □

lardan doğan alfa ışınlarına göre vücutta daha hareketli ve dokulara daha geçicidirler. Beta ışınları saçan çeşitli maddeler, örneğin tritium, karbon - 14, fosfor - 32, kükürt - 35, strontium - 90, iyod - 129 ve iyod - 131, cesium - 137 (son üçü ayrıca gama ışınları da saçar) organik moleküller'in ve mineral'lerin birleşimine girerek vücutta bulaşabilir. Atom santral'ları bu elementlerden bazılarını üretmektedir.

Vücutta bulaşan her radio-aktif (ışın saçıcı) element için aşağıdaki noktalar aydınlatılmalıdır:

- Radyoaktif maddenin miktarı ve özellikle nanoküri (10<sup>-9</sup>küri) ve mikroküri (10<sup>-6</sup>küri) olarak etkinliği (küri'nin tanımlanması çerçevesi yazıda)
  - Saçtığı ışınlar ve bunların enerjileri (beta, beta ile birlikte gama, alfa ile gama...)
  - Radyoaktif maddenin kimyasal özellikleri (vücut sıvılarında eriyebilen bir madde mi?)
  - Bu maddenin diğer organlara yayılması
  - Vücudun bu maddeyi nasıl yokedeceği (karaciğerde parçalamak, idrarla dışarı atmak, erimez parçaları bağ doku ile sararak hareket-sizleştirmek)
- Bu konudaki uzmanlar için bile çok zor bir sorun da vücutta birçok radyoaktif maddenin birlikte girmesidir!

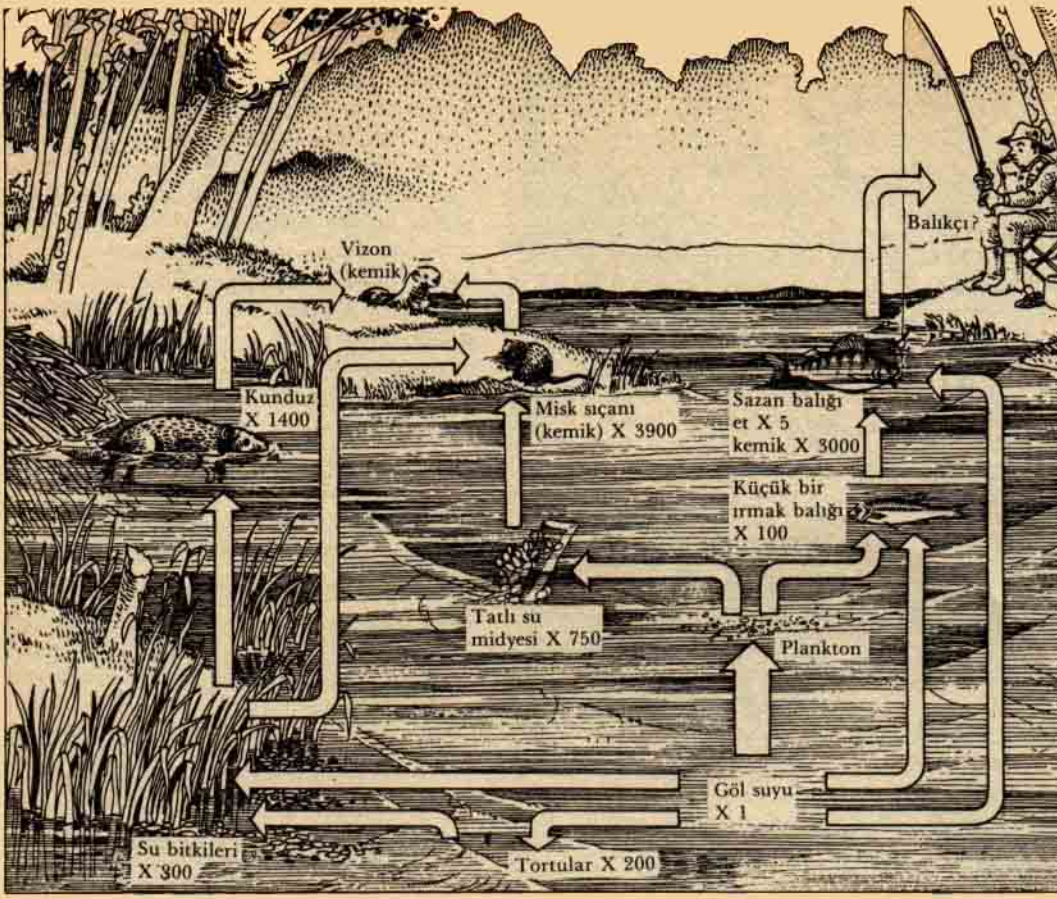
#### İşinım Kazaları ve Atom Santral'lerinin Çoğalması

Endüstrinin her türlü çevre kirleticidir, fakat bu kirlenmenin ağırlığını belirleyen bazı öğeler vardır.

- Fabrikadan yayılan zararlı maddelerin nitelik ve nicelik bakımından önemi ve o bölge insanların, o ülkenin ve hatta dünyanın bu konudaki tepkisi.
- Bu maddelerin yaptığı zararları gidermek olanığının bulunup bulunmaması.

İşin kirlenmesi birim başına randımanı düşük olan bütün enerji dönüşümlerinde görülmekte ve radyoaktif kirlenmenin hayvan ve bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini ağırlaştırmaktadır.

Elimizdeki çağdaş teknoloji verileri açıkça gösteriyor ki önümüzdeki on yıllarda **radyoaktif kirlenme amansız bir şekilde artacaktır.** Herşeyden önce atmosferin dayanıksız (ışın saçan) atomlarla kirlenmesi söz konusudur. Krypton - 85 (beta ve biraz da gama ışınları saçar, yarı ömrü 107 yıl) hafif su reaktör'lerinden atılmakta, sıvı hava, oksijen ve hidrojen endüstrilerinde kullanılmakta ve uzun ömrü nedeni ile atmosferde birikmektedir. Atmosferde yapılan atom bombası deneyleri sonucu 3 milyon küri'lik bir



**Hayvan ve bitki örtüsü (fauna ve flora) radyoaktif maddeleri biriktirerek filtre eder. Atom santral'lerinin artık sularındaki radioaktivite'nin az olmasına aldanmamalıdır. Hayvan ve bitkilerden insan'a uzanan beslenme zincirinde radyoaktif maddeler devamlı yoğunlaşır, burada görüldüğü gibi bu yoğunlaşma çok fazla olabilir. Burada strontium - 90 izotop'u ile bulaşmış küçük bir göldeki canlılar görülüyor. Sazan balığı strontium'u calcium gibi kullanmış ve bu nedenle sazan iskeletinde strontium 3000 kere yoğunlaşmıştır. Balıkçının kemiklerindeki strontium yoğunluğu kimbilir ne olacaktır ?**

radioaktivite serbest kalmıştı, fakat 1972'deki ABD'nin resmi raporları atom endüstrisinin her yıl 10 milyon küri'den fazla radioaktivite saçtığını kabul etmektedir.

Atom endüstrisi ekonomist'lerin ve politikacıların istediği düzeye ulaşırsa ne olacak ? Krypton — 85 kimyasal reaksiyonlara girmeyen bir gazdır saklanması çok zor olduğundan serbestçe atmosfer'e verilmektedir. Depolanması mümkünse de çok pahalı olacağından ve o ölçüde kârları azaltacağından endüstri'de bu yola gidilmeyişi Krypton'un kimyasal reaksiyonlara girmedigi için zararsız olduğu iddiası gerçekler-

den uzaktır, çünkü canlıların bu gazı vücutlerinde biriktirdiklerini örtbas etmektedir. Krypton — 85 vücut yağlarında kan plazmasında eridiğinden 10 kat fazla erir.

En iyimser uzmanların hesaplarına göre, 2000 yılında yalnız bu ışın saçıcı gaz her insan vücuduna yılda 1/25 milirem, akciğerlere 1/10 milirem ve deriye 2 milirem ışın saçacaktır ve bu sayılar dünyadaki her insan içindir.

Işın saçan atom'lardan İyod — 131 (I ve P) saçar, yarı ömrü kısa 8.05 gün) filtre'lerle tutulabilir, ama hiç bir zaman % 100 olarak değil! debi çok düşerdi o zaman. Bunun sonucu olarak

atmosfer'de belli oranda I - 131 bulunur, bitkiler, hayvanlar ve insan bu izotop'u vücuduna alır. I - 131 ile bulaşmış otlaklarda otlayan sığırların yalnız tiroid bezlerinde değil, sütlerinde de I - 131 birikir.

Karalar üzerindeki sulara ve denizlere de radioaktif maddeler bulaşmıştır : basınçlı su ile çalışan atom reaktör'lerinden ve atom yakıtı kullanan bazı fabrikalardan atılan tritium (18.1 keV düzeyinde zayıf enerjili  $\beta$  ışınları verir) sulara birikir, çünkü Krypton — 85 gibi yarı ömrü uzundur 12.2 yıl. 1970 yılında dünyadaki deniz ve ırmaklara toplam 500.000 — 1 milyon küri arasında tritium'lu su bulaştı. Bu tritium bize şöyle bulaşmaktadır :

- Dolaysız bulaşma : Sindirim yolu ile tritium'lu su alınması Tritium barsaklardan emilir ve sonra yavaş yavaş dışarı atılır (bu sırada yeni bir bulaşma olmazsa); vücuttaki yarı ömrü (biyolojik yarı-ömür) 20 - 30 gündür. Bir bölümü sentez edilen organik moleküllerin bileşimine girdiği için aslında biyolojik yarı ömrü daha uzundur, çünkü bu, moleküllerin yenilenme hızına bağlıdır.

- Dolaylı bulaşma : Tritium'la bulaşmış bitki ve hayvanların yenilmesi ile. 1970 yılında Rhone ırmağı sularında tritium miktarı litrede 32 pikoküri'ye ( $10^{-12}$  küri) erişmişti Chooz santralinin kirlendiği Meuse ırmağında bundan da fazla tritium bulunuyordu. Aynı yıl ABD ırmak ve göllerinde ve kıyı şeritlerinde litrede 200 - 1.500 pikoküri tritium bulunduğu saptandı ABD'nin kuzeybatısındaki Columbia ırmağında 1964 Ağustos'unda litre'de 5.700 pikoküri Fosfor — 32 (tritium'dan daha yüksek enerjili  $\beta$  ışınları saçar : 1.71 MeV, yarı ömrü 14.3 gün) bulundu. Bu ırmağa Hanford atom reaktörlerinin suları boşalmaktadır

Tıpkı Tritium'da olduğu gibi insan radioaktif fosfor — 32 taşıyan sular içerek P32 alabilir. Fosfor — 32 vücutta sentez edilen çeşitli moleküllere girer. Fosfor — 32'yi kendi bünyesinde yoğunlaştırmış bitki ve hayvanların yenilmesi ile daha büyük miktarlarda fosfor — 32 alınmış olur.

Bu yoğunlaşma olayı iki besin zincirinde kendini gösterir :

- Biri balıkçıları ilgilendirir : ırmak suyundaki fosfor — 32 miktarı bir ünite (birim) kabul edilirse canlıların durumu şöyledir : plankton yosuncuklarında 1000, tatlı su kabuklularında ve böceklerin suda yüzen larvalarında (kurtçuk) 500. İnsan'ın yediği balıklarda ortalama 271 (bazı yenilmeyen balıklarda 5000) ünite fosfor — 32 birikmiştir.

- Diğer ırmağa yakın yaşayan kuşlarla ilgilidir : genç kırlangıçlar kendi ağırlıkları kadar ırmak suyundan 500.000 kere daha fazla fosfor — 32 ihtiva ediyordu, ördek yumurtaları fosfor — 32 yi ırmak suyuna göre 200.000 defa yoğunlaştırmıştı !

Plankton yosuncukları fosfor — 32'yi yoğunlaştırarak canlı (biyolojik) bir filtre görevi yapmaktadır. Ördekler ve genç kırlangıçlarda basamak basamak bir yoğunlaşma söz konusudur : bu kuşlar balık v.s gibi su hayvanları yerler, su hayvanları ise plankton yer. Her basamakda fosfor — 32 biraz daha yoğunlaşır.

Teknoloji'nin getirdiği radioaktif kirlenmeden gerive dönüş olmadığı şu sayılardan anlaşılıyor :

- Strontium — 90 ve cesium — 137 gibi tehlikeli izotop'ların (bereket ki büyük kısmı depolanmış durumdadır) saçtığı ışınların milyonda bire inmesi için 600 yıl gereklidir

- Plutonium — 239 izotop'unun "önemsiz" miktarlara inebilmesi için 20 X 24.360 yıl gerekmektedir (Köpeklerde yapılan deneyler gösterdi ki plutonium — 239 oksit'in çok ince tozlarının solunması sonucunda akciğerlerde 0.07 miligram izotop kalması kanser yapmaya yetmektedir).

Bütün bu elemanlar o derece tehlikelidir ki büyük kısmı —fakat tamamı değil— tekniğin olanakları dahilinde ışın sızdırmaz şekilde depolanmıştır, fakat bugün en iyimser uzmanlar bile ışın sızmasının tamamen önlemediği kanısında değildir ! Sızmayı tam önleyen bir teknik bulunsa bile **depolanan izotop miktarı o derece fazladır ki izotop'ların nerede ve hangi koşullarda saklandığını bir kuşaktan ötekine devretmek zorunluğu vardır.**

İşin önemini bir örnekle belirtelim : eğer 2000 yılında ABD'de tüm elektrik üretimi basınçlı hafif su kullanan atom reaktörleri ile sağlanırsa 8 milyon Hiroşima tipi atom bombası patlatılmış kadar radioaktif artık meydana gelecektir, gelecek kuşaklara ne güzel bir armağan !

Canlıların atom ışınları karşısındaki duyarlılığını karşılaştıran tüm incelemeler aynı sonuca varmıştır : evrimde en yüksek hayvanlar olan Kuşlar ve Memeliler atom ışınlarına en duyarlıdır. İnsanla diğer memeliler arasında bu bakımdan bir fark yoktur. Onun için fare ve sıçanlarda yapılan deneyler (çok doğurgan oluşları ve birkaç yılda birçok kuşak yetiştirmeleri nedeniyle tercih edilirler) bazı düzeltmelerle (metabolizma'nın daha hızlı oluşu v.s.) insanlara da uygulanabilir.

Ne yazık ki örneğin bizden 10 defa daha ışınlara duyarlı bir tür yoktur, olsaydı ışınlardan



korunmada tam zamanında tehlike çanını çalabilirdik Bugünün en önemli sorunlarından biri zayıf ışın dozlarının geniş canlı toplumlari ve özellikle geniş insan toplumlari üzerindeki etkisidir.

### Doğadan Gelen Işınım

Doğadan gelen ışınım yılda 100 milirem kadar olup tüm vücuda dağılır ve değişme eğilimindedir : alçak yerlerde dağlara göre daha azdır, granitli ve volkanik topraklar üzerinde tortul topraklardan daha fazladır.

Doğadan gelen ışınım insan'ın yeryüzünde ilk belirışinden bu yana pek fazla değişmemiştir. 1,5 milyar yıl önce doğadan gelen ışınım daha fazlaydı ve büyük bir olasılıkla çok sayıda mütasyona neden olarak bugün gördüğümüz türleri meydana getirdi. Doğal ışınım vücudumuz dışından gelebildiği gibi (kozmetik ışınlar, altımızdaki toprağın alt tabakası, evlerimizin taşları) kendi içimizden de gelebilir (devamlı vücudumuza giren potasyum — 40 ve karbon — .14).

### ... Ve Tıp Alanında Işınım

Doğadan gelen ışınımın başka tıbbî amaçla kullanılan ışınlar da vardır. Vücuda girerek ışın veren elemanlar dışında (örneğin tiroid bezinin tanı ve tedavisinde radyoaktif iyod kullanılması) genellikle ışınların vücuda dışarıdan verilmesi söz konusudur.

Tıpta bu gibi ışınlar giderek daha sık kullanılmakta, kullanılan aygıtlar giderek daha üstün nitelikler kazanmakta ve hastaya daha küçük dozlar vermektedir. Herşeye rağmen hastanın aldığı risk ile elde edeceği tıbbî yarar arasında bir denge bulunmalıdır. Bu nedenle okul çocukları, işçiler ve gebe kadınlar gibi gruplarda sistemli bir şekilde "tanı" amacıyla röntgen çekilmesinin yararı tartışılabilir. ABD'de 1972 yılında kişi başına tıbbî nedenlerle verilen ışın dozu 70 milirem kadardı.

Uluslararası bir karakter kazanmakta olan sıkı bir yasa insan toplumlarının yılda toplam 170 milirem'den fazla ışına maruz kalmasını yasaklamıştır. Tıbbî ve doğal ışınımın bunun dışındadır.

Yalnız bazı meslek gruplarında, örneğin röntgen uzmanları, bazı cerrahlar ve nükleer santral personelinde yılda 5 rem'e kadar ışınım izin verilmektedir !

Bugün henüz hiçbir yerde insanlar yılda 170 milirem'lik bir ışınım maruz değildir. Fakat fabrika sahiplerinin kimyasal çevre kirleticileri konusunda yasaları nasıl sorumsuzca çiğnediklerini hatırlayarak diyoruz ki radyoaktif elemanlardan saçılan ışınlar da giderek günlük havatımıza girecek ve toplum giderek "izin verilen" en fazla ışınım düzeyine farketmeden yaklaşacaktır. Tabii büyük ışınım kazaları olasılığı da artacaktır.

Yılda 170 milirem'lik ışınım gerçekleşirse ABD'de bir yılda lösemi ve kanserden ölümlerin 32.000 - 104.000 kadar artacağı tahmin edilmektedir, buna karşın bu artışın 15.000'i geçmiyeceğini ileri sürenler de vardır.

Bazı meslek gruplarında radyoaktif ışınlar kanser olasılığını arttırmaktadır : karanlıkta parlayan saat kadrantlarını boyuyan işçiler (uzun süre bu amaçla çinko sülfür macununa karıştırılmış radyum kullanıldı), uranyum madeni işçileri gibi. Omurga romatizmasında omurgaya yüksek doz X ışınları verilerek tedavi edilenlerde normallere göre 10 kat fazla lösemi görülmektedir.

Hiroshima ve Nagasaki'den sağ kurtulanlarda her yaşta lösemi ve kanser daha sık görülmekte ise de bu hastalar ancak 1950'den sonra izlenmeye başlamıştır, aldıkları ışın dozu kesin belli değildir, bir de çok yüksek doz ışınlarla kısa süre maruz kalmakla zayıf dozlara uzun süre maruz kalmanın etkilerini kıyaslamak zordur.

Eğer dünyamızdaki radyoaktivite yavaş yavaş artarsa kanser, lösemi ve kalıtsal kusurlar sayısında da bir artış olacak mıdır ?

Böyle bir durumda ilk kurbanlar atom santrallerinde çalışanlar ve onların çocukları olacaktır. Diğer insanlar arasında ise besinleri hızlı yakmaları (metabolizmaları) nedeniyle radyoaktif elemanları en fazla çocuklar alacaklar, kanser ve lösemiden ilk önce onlar ölecektir.

SCIENCE ET VIE'dan  
Çeviren : Dr. Selçuk ALSAN

- Bir insanın eseri, lâfını gölgede bırakacak güzellikte ise o, mükemmel adamdır. Eğer lafı, eserini gölgede bırakacak derecede ise o, bir gevezedir.
- Bir adamı memleketinden ayırabilirsiniz, fakat kalbini ondan koparamazsınız.

J. Dos PASSOS