

# **ATOM, RADYOAKTİF VE TE, RADYO ZOTOPLAR ve RADYASYON TÜRLERİ**

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ( [acant@taek.gov.tr](mailto:acant@taek.gov.tr) )

Radyasyon ya amin gerçe i veya bir parçası kabul edilmek zorundadır. Do al olarak, dünyanın her yerinde kaçınılamaz ekilde bulunan radyoaktif maddeler veya kaynaklar aracılıyla, hem dahili hem de harici (iç ve dı ) olmak üzere radyasyonlarla ı nlanma sureti ile, ya antımızı sürdürmekteyiz. Öte yandan, nükleer füzyon yada nükleer kayna ma-birle me eklinde adlandırdı ımız, güne te vuku bulan nükleer reaksiyonlar vasıtasıyla olu an güne ı nları di er bir deyimle güne radyasyonları ve sıcaklık, insano lunun ya amsal ihtiyaçları veya gereksinimleri olarak varlı ımızın temelini olu turmaktadır. Radyoaktif maddeler veya izotoplar ; kainatın yaratılması 13 milyar 700 milyon yıl, dünya ve güne sistemimizin meydana gelmesi veya olu umu olan yakla ık 4.5 milyar yıldan beri mevcut olup, insan vücudu; tabii yada do al radyasyon kaynakları, örne in, karbon-14 (C-14), potasyum-40 (K-40) ve polonyum-210 (Po-210) gibi radyoaktif materyalleri do ası gere i içinde bulundurmaktadır. Yeryüzündeki tüm ya am, bu radyasyonların varlı ı veya mevcudiyeti ve de insanın vücuda gelmesi ile birlikte, e zamanlı iç içe sürüp gitmektedir (\*).

X-ı nlarının yada Röntgen ı nlarının ve radyoaktivitenin ke fi olan takribi 100 yılı a kın süredir, radyasyonları ve radyoaktif materyalleri yapay veya suni ekilde elde etme yolları bilim insanlarınca yo un biçimde ara tırılmaktadır. X ya da Röntgen ı nları; 1895'de ke fedilmelerinden 6 ay sonra, ilk defa tıbbi amaçlı olarak kullanıldı. Bu ekilde, X-ı nları ve iyonla tırıcı radyasyon uygulamalarından yararlanma çok erken ba lamasına ra men, 1900'ün ba larında, tıp doktorlarının farkında olmadan yüksek dozda X-ı nlarına maruz kalmalarından dolayı, radyasyonların zararları ve olası tehlikeleri ile kar ıla ıldı. O zamanlardan beri radyasyon kaynakları ve radyoaktif maddelerin çok farklı ileri düzeydeki teknolojik uygulamaları yo un bir ekilde geli tirilmektedir. Radyasyonları; madde üzerinde olu turdukları etkilere göre, iyonla tırıcı ve iyonla tırıcı olmayan

radasyonlar olmak üzere iki sınıfta toplayabiliriz. **yonla tırcı radyasyonlar**; kozmik radyasyonlar yada kozmik ı nları (uzaydan gelen X ve gama ı nları), Röntgen ı nları olarak adlandırdı ımız X-ı nları ve radyoaktif maddelerden çıkan alfa, beta, nötron, gama ı nları gibi çe itli türdeki radyasyonları kapsamaktadır. **yonla tırcı olmayan radyasyonlar**; ultraviyole ı ık (morötesi ı ık), güne ı nları, radyo dalgaları, cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgalar, mikro dalgalar ve benzerlerini içermektedir. Bu yazıda, **“iyonla tırcı radyasyonlar”** gözönüne alınmakta olup, çok defa basit ve kısaltılmı ekli ile, sadece **“radyasyon”** veya **“ı m”** olarak ifade edilmektedir. yonla tırcı radyasyonların, hem etkileri ve kullanımları hem de kullanıldıkları alanlarda alınacak emniyet, güvenlik ve de korunma önlemlerinin geni ekilde gözden geçirilmesi, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ( **International Atomic Energy Agency - IAEA** ) ve ngiliz Ulusal Radyasyondan Korunma Kurumu ( **National Radiological Protection Board – NRPB United Kingdom** ) i birli i ile sa lanmaktadır. Nükleer bilimler ve bunların barı çıl amaçlı uygulamalarında Birle mi Milletler Ajansı olarak, IAEA , radyasyonun, uluslararası düzeyde güvenli kullanımını temin etmek için, uzmanlıklar ve çe itli programlar yolu ile, kapsamlı bir hizmet sunmaktadır. IAEA, radyasyonların kullanımındaki yaygın içerikli uygulamaların idaresinde, tatbik edilebilir emniyet ve radyolojik güvenlik standartlarının geli tirilmesi için, yasal bir sorumlulu a sahiptir. E itim kurslarını ve danışmanlık hizmetlerini kapsayan teknik i birli i projeleri vasıtasıyla, adı geçen standartların uygulanmasında üye ülkelere yardım temin etmektedir. Ayrıca, bu gibi projeler, yayınlar ve konferanslarla, bilgi alı veri ini kolayla tırmaktadır. Özetlemek gerekirse IAEA, uranyum madencili inden nükleer yakıt çevrimi, nükleer güç santrallerinin kurulması ve i letilmesi safhasından; yeni nesil reaktörler, nükleer santral kazaları, radyasyonun biyolojik etkileri, nükleer maddelerin ta ınması, radyasyondan korunma, nükleer güç reaktörlerinde olu an radyoaktif atıkların yok edilmesi veya nihai depolanması, nükleer santrallerde güvenlik felsefesi ve güvenlik sistemleri, nükleer santrallerde deprem güvenli i, nükleer santrallerde yer seçimi ve de erlendirmesi, nükleer santrallerin yer, in aat ve i letme lisansları, nükleer emniyet ve güvenlik, nükleer madde denetimi (safeguard) konularına kadar, nükleeri içeren bilimsel ve teknolojik her dalda, üye

ülkeler arasında bilgi paylaşımı ve doküman tedarikine önderlik etmektedir.

Radyasyonu içine alan her uygulamada, radyasyon güvenli i açısından do abilecek tehlikeler ve kullanımın gerekçesi arasında, kârlar ve risklerle ilgili bir ili kinin kurulması gerekmektedir. yonla tırıcı radyasyonların ve radyoaktif maddelerin ke fi, radyolojik tıbbi te his ve “radyasyonla kanser tedavisi” halk dili ile “ı ın tedavisi” yöntemlerinde çarpıcı ilerlemelere öncülük etmi olup; endüstri, tarım ve ara tırmada yaygın biçimde kullanımına neden olmu tur. Buna kar ılık, iyonla tırıcı radyasyonlar yada ı ınlar insanlara zarar vermekte oldu undan, ki iler; gereksiz ve a ırı ekilde yüksek dozda radyasyonla ı ınlanma veya radyasyona maruz kalmalardan korunmalıdır. Böylece, kontrol edebilece imiz durumlarda, insanların radyasyonlara maruz kalmalarında gözönüne alınan, kârlar ve riskler arasında, dikkatli bir dengeyi olu turmamız zorunludur. Bu konunun daha iyi anla ılabilmesi iyonla tırıcı radyasyonların biyolojik etkile me mekanizmaları hakkında bilgi sahibi olunmasını gerektirmektedir. yonla tırıcı radyasyonlar hakkında en büyük endi e, radyasyona maruz kalan ki ilerde, kanser gibi habis hastalıklara neden olması ve radyasyonların genetik etkileri ve de gecikmi etkileri olarak adlandırdı ımız bu kusurların gelecek nesillere intikal ettirilmesi olasılıklarından kaynaklanmaktadır. Söz konusu kalıtsal etkilerin ihtimaliyeti; do al, tabii yada yapay veya suni radyasyon kayna ı olup olmadı ına bakmaksızın, ki inin aldı ı radyasyon dozuna veya miktarına ba lı olmaktadır. Bu çalı maların uzmanlık konuları, temel bilimlere de içeren çok geni uygulamalı, kuramsal, ilmî sahalara ve disiplinlere kapsamına girmektedir. Öte yandan, son yıllarda, iyonla tırıcı radyasyonların biyolojik etkileri bilimsel açıdan daha iyi anla ıldı ından, radyasyon kaynakları ile ı ınlanan veya radyasyona maruz kalan insanları korumak için, çok ayrıntılı radyolojik korunma sistemleri geli tirilmi tir. Di er taraftan, çevre korunması için önemli olan nükleer yada radyoaktif atıkların bertarafı, nükleer atıkların idaresi veya yönetimi konularında bilimsel ve teknolojik her türlü önlemler en ça da yöntemlerle titiz ekilde alınmaktadır. Ne yazık ki, tüm bunlara ra men, nükleer reaktörler ya da nükleer güç santralleri hakkında kamuoyunda olu an radyasyon ve nükleer atıklar kaygısı hâlâ sürmektedir. Radyasyonun neden oldu u

hastalıklar veya rahatsızlıklar arasında, en korkutucu olanı kanser hastalığıdır. Maalesef kanser hastalığı da radyasyonun ve nükleer enerjinin adı geçen her yerde; iyonlaştırıcı radyasyonların tıbbi tedavisinde kullanımı göz ardı edilmek suretiyle, özellikle entelektüel kesimde ve halk arasında “çok bilen çok yanılır” özdeyişimizi anımsatacak biçimde, bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de de spekülasyon ya da istismar konusu yapılmaktadır. Radyasyonları duymayan organlarımızla algılayamadığımızdan ötürü, bu görülemez riskler, çok daha sinsi hale getirilmekte, ön yargılarımız ve korkularımız tetiklenmektedir. Bu şekilde müterek kaygılarımız hafızalarımızda yer etmekte ve nükleer santraller ile diğer nükleer güç tesisleri gibi radyoizotop üretim merkezlerindeki kazalar kanalıyla oluşan radyasyon sızıntıları ve de radyoaktif kontaminasyonlar bir başka deyişle radyasyon kirliliği, bazı durumlarda da süregelen etkilerin, nükleer materyaller, nükleer atıkların taşıması veya radyoaktif atık nakliyesi, nükleer silahlar, atom bombaları ya da nükleer bombalar dahil, nükleer içerikli tüm olaylar radyasyonla özdeşleştirilerek, ortak değilim ya da radyasyonlara karşı olan endişe veya kaygı, bu şekilde tahrik edilmekte, “yangına körükle gitmek” atasözümüz geçerli kılınmaktadır. Radyasyonla ilgili korku duygusunun genel ve yaygın biçimde artmasında katkıda bulunan diğer bir önemli faktör de, güvenilir ve erişilebilir bilgi eksikliğinin yanında, ortaya çıkan yanlış anlamalardan kaynaklanabilmektedir.

Öte yandan, günümüzde ekolojik denge insan kaynaklı şekilde hızla bozulmaktadır. Sera gazı salınımları ya da karbon emisyonları veya karbondioksit salınımları sonucu oluşan küresel ısınma ve iklim değişikliği için, fosil yakıtlar karşısında önemli bir alternatif konuma gelen ve de enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi yoluyla enerji arz güvenliği sorununda vazgeçilmez halini koruyan nükleer teknoloji çözümüne hükümetler sahip çıkmalarına rağmen, kamuoyu maalesef bunu göz ardı etmemektedir. Diğer taraftan, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlarda beliren fiyat artışları sayesinde; nükleer enerji santralleri veya nükleer reaktörlerin, fosil yakıtlı termik santrallere nazaran işletim maliyetleri açısından rekabet gücü de son derece yükselmiştir. Küresel boyutta karbon emisyonlarının veya karbondioksit emisyonlarının depolanması, karbon ticareti, karbon

ticaret borsası, karbon vergisi, karbon kredisi, karbon veya karbondioksit pazarlama sistemi, karbon fiyatlandırma sistemi, karbondioksit fiyat sistemi, emisyon pazarlama, emisyon pazarlama sistemi, emisyon ticareti, emisyon üst sınırı ve ticareti, emisyon ticaret sistemi, emisyon ticaret borsası, salınım üst sınırı adı altında karbon ve karbondioksit emisyonları veya salınımlarına getirilen yada getirilmesi tasarlanan çok yönlü teknolojik ve ticari düzenlemeler veya sınırlamalar, gelecekte fosil yakıtların kullanımlarındaki maliyet ve fiyat artışlarını gerekli kılacaktır. Konu hakkında hızlı gelişmeleri gözönüne alan yönetimler, “nükleer güç santrallerinin kurulması ve işletilmesi ile ilgili enerji satışına ilişkin kanun” gibi yasalarla çetirli tedbirleri yürürlüğe koymaktadır. Bu yazının bir amacı da, çok az da olsa konunun uzmanı olmayan kişilerle, atom, radyoaktivite, radyoizotoplar ve radyasyon çetirleri veya türleri ve de nükleer konular hususunda genel bilgi vererek, bir nebze yardımcı olmaktır.

Dünyamızdaki tüm maddeler, atomlardan ibarettir. Hidrojen, karbon, oksijen, demir ve kurun gibi elementler temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Herbir atom; merkezinde pozitif olarak yüklü çok küçük bir çekirdek ve etrafında elektronları ihtiva etmektedir. Elektronlar; negatif elektrik yükü taşımakta ve bir bulut kümesi halinde yada sınırları gevrek olarak tariflenmiş yörüngelerde, çekirdek etrafında dönmektedir. Atom çekirdeği; tipik olarak elektron bulutu yada kümesinden 10 bin defa daha küçük olması yanında, hatta ve hatta elektronların kendisinden bile küçüktür. Aslında bu durum, atomun içinin hemen hemen boş olduğunu ve yaygın şekilde matematik olarak verilen diyagramlar haricinde tasvir etmenin güçlü önünü ifade etmektedir. Atomun çekirdeği; pozitif yüklü protonlar ile negatif yüklü elektronları ve yüksüz nötronları içermektedir. Burada; proton ve nötronların, temel yapısını daha fazla incelemeye yada çekirdeğe nasıl bağılandıklarını ayrıntılı araştırmaya gerek bulunmamaktadır. Herbir atom, eşit sayıda proton ve elektron ihtiva ettiğinden elektriksel olarak nötr'dür. Aynı veya farklı atomlar, molekül olarak adlandırılan daha büyük yüksüz oluşumları teşkil etmek için birleşebilmektedir. Örneğin; iki oksijen atomu, bir oksijen molekülünü meydana getirmekte ve iki hidrojen atomu da bir oksijen atomu ile birleşerek su ile, bir su molekülünü oluşturmaktadır. Atomdaki elektron sayısı, bir bağıka deyişle çekirdekdeki proton sayısı, atom numarası

olarak adlandırılmakta ve bir elementin e siz yada yegâne karakteristi ini temsil etmektedir. Meselâ, karbonun atom numarası 6, halbuki kurunun 82'dir. Protonlar ve nötronlar e it kütleyle sahip bulunmaları ve de elektronlardan çok daha a ır olmaları nedeni ile, atomun kütlelerinin büyük ço unlu u çekirdekte yo unla makta ve protonlar artı nötronlar kütle numarası olarak adlandırılmaktadır. Elektriksel olarak nötr olan bir atomda, proton sayısı elektron sayısına e it olması nedeni ile, protonları ve nötronları ihtiva eden sayı aracılığıyla bir atomik türü, tam ve ayrıntılı biçimde açıklayabilmekteyiz. Di er taraftan, her elementte proton sayısı farklı oldu undan, herbir tür yada çekirde i belirtmek için, kütle numarası ile birlikte elementin adını basit ekilde kullanabilmekteyiz. Böylece; karbon-12 (C-12), 6 proton artı 6 nötronlu bir çekirdektir. Kurun-208 (Pb-208) ile mukayese edildi inde ise, 82 proton ve 126 nötron, bir atom çekirde ini olu turmaktadır. Proton sayıları aynı olmasına kar ın, nötron sayıları farklı bir elementin atom çekirdekleri, o elementin izotopları olarak adlandırılmaktadır. Örne in, hidrojenin üç izotopu vardır. Bunlar; hidrojen-1 (H-1) ( sadece bir proton çekirdekli çok yaygın ekli) hidrojen olarak, hidrojen-2 (H-2) ( bir proton ve bir nötronlu) döteryum olarak ve hidrojen-3 (H-3) ( bir proton ve iki nötronlu) trityum olarak isimlendirilmi tir. Demirin, demir-52'den (Fe-52) demir-61'e (Fe-61) kadar on izotopu, elementi karakterize eden 26 protona kar ılıklı, 26 ila 35 arasında de i en nötronlara sahip bulunmaktadır.

## **Radyoaktivite ve radyasyon**

Pek çok atom çekirde i kararlı veya stabil olmakla beraber, ço unlu u kararsız yada aktif durumdadır. zotopun kararlılı ı yada izotopun stabil olması, di er bir deyimle radyoaktivitesiz, radyasyonsuz veya radyasyon yaymayan konumda bulunması ; esas itibariyle, bir atom çekirde inin ihtiva etti i, nötron ve proton sayıları arasındaki denge ile saptanmaktadır. Daha küçük kararlı veya stabil atom çekirdekleri; e it sayılarda proton ve nötronlara sahip iken, daha büyük stabil atom çekirdekleri ise; protonlardan biraz fazla nötronlara sahip bulunmaktadır. Çok fazla nötronu içinde bulunduran atom çekirdekleri; bir protonu bir nötrona dönü türerek, kendilerini çok daha kararlı bir yapıya kavu turma e iliminde olup, beta bozunması

veya beta parçalanması olarak bilinen bu süreç, beta parçacığı şeklinde adlandırılmış negatif yüklü bir elektronun yayınımla ya da bir başka deyişle elektron bozunması ile neticelenmektedir. Çok fazla sayıda protonu olan atom çekirdekleri de; beta parçalanması veya bozunmasından farklı şekilde, fazla protonları nötronlara dönüştürerek, pozitif yüklü elektron olarak anılan bir pozitron yayınımla veya pozitron bozunması ile pozitif yükü kaybetmektedir. Bu nükleer transformasyonlar veya nükleer dönüşümler vasıtasıyla çok defa, yüksüz ya da kütesiz şekilde, farklı enerji aralıklarında bulunan ve de **gama ışınları** olarak anılan, yüksek enerjili fotonların salınması suretiyle, fazla enerjili atom çekirdeği terk edilmektedir. Atom çekirdeğinin ani transformasyonu veya dönüşümü  **radyoaktivite** ve yayımlanan fazla enerji de **iyonlayıcı radyasyon** olarak adlandırılmaktadır. Nükleer dönüşüm ya da nükleer transformasyon eylemi;  **radyoaktif bozunma** veya  **nükleer parçalanma** sözcüğü, atom çekirdeğindeki değişimler, dönüşümler, transformasyonlar ve tüm bunların sonucu meydana gelen radyasyon yayınımları ise;  **radyonüklit** ifadesi ile belirtilmektedir. Bazı ağır atom çekirdekleri; iki proton ve iki nötrondan ibaret bir alfa parçacığını oluşturarak bozunmakta veya parçalanmaktadır. Helyumun atom çekirdeği ile aynı olan alfa parçacığı, beta parçacığından çok daha ağır olup, iki deşerlikli pozitif yük taşımaktadır.

## **Doğal Radyoizotoplar veya Radyonüklitler**

Çoğulu radyonüklitler veya radyoizotoplar ya da radyoaktif materyaller doğada bulunmaktadır. Örneğin karbon izotopu, genellikle altı protonlu ve altı nötronlu karbon-12 (C-12) halinde olup, tamamen kararlı durumdadır. Bir başka deyişle, radyoaktivitesiz veya radyasyonsuz ya da radyasyon yayımayan konumdadır. Atmosferdeki kozmik ışınlarla etkileşim sonucunda, altı proton ve sekiz nötrondan ibaret bir radyonüklit olan, karbon-14 (C-14) oluşabilmektedir. Fazla nötronları bulunan karbon-14 (C-14), bir nötronu protona değiştirmek ya da dönüştürmek ve beta parçacığı yayımlamak suretiyle bozunmakta veya parçalanmaktadır. Bu şekilde nüklit veya izotop; yedi protonla ve yedi nötrondan oluşan kararlı azot-14'e (N-14) dönüşmektedir. Karbon içeren materyallerdeki radyoaktif

bozunmaları veya parçalanmaları ölçme, karbonla ya tayini tekni inin esasını te kil etmektedir. Do al olarak bulunan di er radyonüklidler veya radyoizotoplar, uranyum ve toryum elementlerinden kaynaklanan **nükleer bozunma** veya **radyoaktif parçalanma serileri** yada **zincirleme nükleer reaksiyonlar** sayesinde olu maktadır. Bu parçalanma serilerinin her biri kararlı veya stabil nüklit yada izotop olan kur un ile son bulmasına ra men, di er çok bilinen elementlerin radyonüklidleri veya radyoizotopları da, zincirleme reaksiyonlar içinde ayrıca bulunmaktadır.

### **Radyasyon Enerjisi ve Radyoaktivite Birimleri**

Alfa, beta parçacıkları, nötronlar ve gama ı nları gibi, radyasyonun çe itli türlerinin enerjileri, genellikle elektron volt birimi ile eV sembolü e klinde ifade edilmektedir. Bu birimin katları çok defa MeV sembollü milyon yada  $10^6$  elektron volt olarak kullanılmaktadır. Örne in, polonyum-214 (Po-214) tarafından yayınlanan alfa parçacı ının enerjisi yakla ık 7.7 MeV'dur. Kur un-214'den (Pb-214) çıkan beta parçacıkları, 1.0 MeV'luk maksimum enerjiye sahip ayrı bir uranyum-238 (U-238) bozunma serisi te kil etmekte ve bu arada 0.35 MeV'luk enerjili gama ı nları olu maktadır. Son yıllarda, do al elementlerin yüzlerce radyoaktif izotopu (radyoizotopu), örne in stronsiyum-90 (Sr-90), teknesyum-99m (Tc-99m), sezyum-137 (Cs-137) ve iyot-131 (I-131) dahil yapay olarak imal edilmektedir. Di er taraftan, prometyum ve uranyum cevherinde do al olarak eser oranda bulunan plutonyum gibi, pek çok yeni radyoaktif element büyük miktarlarda üretilmektedir. Radyoaktif materyalin belirli bir miktarında vuku bulan ani nükleer transformasyonların veya radyoaktif dönü ümlerin hızı, aktivite olarak bilinmektedir. Aktivite sembolü Bq olan ve bekerel olarak adlandırılan bir birim ile ifade edilmektedir. 1 Bq; saniyedeki bir radyoaktif dönü üm, bozunma, parçalanma veya transformasyona e ittir. Di er deyimle, radyoizotopun veya radyonüklidin saniyedeki radyoaktif parçalanma ve nükleer bozunma sayısı bir bekerel'dir. Bekerel(becquerel); ünlü Fransız fizikçisi Henri Becquerel atfen isimlendirilmi tir. Birimin çok küçük olması nedeni ile, ço unlukla 1 milyon bekerel ( megabekerel MBq) gibi katları kullanılmaktadır. Örne in; 1 gram radyum-226 (Ra-226) yakla ık olarak 37000 MBq'lık bir aktiviteye sahip olup,



saniyede takriben 37000 milyon veya 37 milyar alfa parçacı ı yayınlamaktadır. Önceden kullanılan birim curie, Polonya do umlu ünlü Fransız bilimcisi Maria Curie'ye atfen adlandırılmı olup, esasında 1 gram radyumun aktivitesi olarak tariflenmi tir. Radyonüklidin saniyedeki  $3.7 \times 10^{10}$  nükleer parçalanması bir curie (Ci)'dir.

1 Ci =  $3.7 \times 10^{10}$  parçalanma / saniye ve 1 parçalanma / saniye = 1 Bq yerine konuldu unda **1 Ci = 3.7 x 10<sup>10</sup> Bq** kolayca bulunmaktadır.

### **Radyoaktif Elementlerin veya Kaynakların Yarı Ömürleri**

Bir radyonüklidin aktivitesinin, asıl de erinin yarısına dü mesi için geçen süre, radyoizotopun fiziksel yarı ömrü olarak tariflenmekte ve  $t_{1/2}$  sembolü ile gösterilmektedir. Di er bir ekilde, gözönüne alınan atom çekirde inin yarısının bozunması veya parçalanması için geçen zaman, radyonüklidin fiziksel yarı ömrü olarak ifade edilmektedir. Radyoizotopların veya radyonüklidlerin yarı ömürleri saniyeden ba layarak milyar yıl mertebesine kadar de i mektedir. Bir ba ka deyi le, her radyonüklit kendine has yarı ömre sahiptir. Meselâ ; teknesyum-100 (Tc-100) için 15.8 saniye ; iyot-131 (I-131) için, 8 gün; sezyum-137 (Cs-137) için, 30 yıl ; karbon-14 (C-14) için, 5730 yıl ; plutonyum-239 (Pu-239) için, 24000 yıl olan yarı ömür ; uranyum-238 (U-238) için, 4470 milyon yıl olmaktadır. Birbirini art arda izleyen radyoaktif yarı ömürler gözönüne alındı ında, bir radyonüklidin veya radyoizotopun aktivitesi, 1/2, 1/4, 1/8 vb. oranlarda bozunmaya yada parçalanmaya u rayarak azalıp gitmektedir. Bu sayede, gelecekteki herhangi bir zaman için, geriye kalan aktiviteyi önceden tahmin edebilmekteyiz. Radyonüklidin miktarı azalırken, yayınlanan radyasyon miktarı veya radyasyon dozu da orantılı olarak dü mektedir.

### **Radyasyonların çe itleri veya türleri**

Radyasyonun ortak olan türlerinin büyük bir kısmı, radyoaktif materyallerden ortaya çıkmakla birlikte, radyasyonun bazı çe itleri veya türleri de, farklı ekillerde olu maktadır. Normal artlar altında, metal olan (genellikle tungsten ) hedefin, bir elektron demeti ile

bombardıman edilmesinden do an X-1 ınları veya Röntgen 1 ınları, en önemli örne i te kil etmektedir. Metalin atomlarında bulunan elektronlar, elektron demetindeki enerjiyi so urmakta (bilimsel ifade ile, metalin atomlarını uyarmakta) ve daha sonra bir tür durgunla mak veya önceki durumuna dönmek için, X-1 ını ya da Röntgen 1 ını ekindeki enerjinin açığı a çıkmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, burada ortaya çıkan radyasyon, atom çekirde inden gelen radyoaktiviteye benzemeyen biçimde, metalin atomlarından olmaktadır. Olu um biçimi nedeni ile, X-1 ınları için herhangi bir yarı-ömür bulunmamaktadır. Demet bir defa kapatıldı ı takdirde, X-1 ınları tamamen kaybolmaktadır.

**Alfa radyasyonu veya alfa ı mı ( )** ; daha büyük kararsız atom çekirde i tarafından yayınlanan, pozitif olarak yüklü bir helyum çekirde idir. Nispeten daha a ır bir parçacık olmasına ra men alfa 1 ınları veya radyasyonları, havada sadece bir, iki cm.'lik kısa menzile sahip olup, ince ka ıt yüzeyi yada vücudun derisi tarafından tamamen so urulabilmektedir. Bununla beraber, alfa parçacıkları, solunum yada sindirim yoluyla vücuda alındıklarında, akci er veya mide çeperlerindeki dokuların, yüksek radyasyonla 1 ınlanması sureti ile ciddi radyasyon zararları veya radyasyon hasarları olu turmaktadır.

**Beta radyasyonu veya beta ı mı ( )** ; kararsız bir atom çekirde inden yayınlanan bir elektrondur. Beta 1 ınları çok küçük olup, doku yada materyaller içine daha fazla girebilmektedir. Beta 1 ını; plastik, cam veya metal tabakalar tarafından tamamen so urulabilmekte yada absorblanabilmektedir. Genellikle, beta radyasyonları vücudun derisinin üst kısmından öteye nüfuz edemezler. Her eye ra men, yüksek enerjili beta radyasyonlarına a ırı derecede maruz kalma veya yüksek dozda 1 ınlanma durumlarında, deri yanıkları görülebilmektedir. Bu ekindeki beta yayınlayıcılar, solunum yada sindirim yoluyla vücuda alındı ı takdirde de tehlike yaratabilmektedir.

**Gama radyasyonu veya gama ı mı ( )** ; çok defa, beta parçacı ının yayınlanması esnasında, kararsız atom çekirde inden çıkan, 1 1 a benzeyen elektromanyetik dalga ekinde, çok yüksek enerjili fotonlar, gama radyasyonları olarak adlandırılır. Gama 1 ınları; madde içinden

geçerken, birincil derecede, elektronlarla etkileti inden, atomlarda iyonla maya neden olmaktadır. Çok girici olan gama radyasyonuna karı, sadece kur un yada çelik gibi, yo unlu u oldukça yüksek ve kalın materyaller, iyi bir zırhlama sa layabilmektedir. Bu nedenle, gama ı nı ile, sindirilmeden yada solunum olmadan da, vücudun iç organları, önemli ölçüde doz alabilmektedir.

**X ı nları ( Röntgen ı nları );** bir elektron demetinin çok hızlı yava laması ile, yapay olarak olu an ve gama radyasyonuna benzer, yüksek enerjili fotonlardır. X-ı nları da aynı ekilde girici olup, yüksek yo unluklu materyaller bulunmadı ı takdirde, bu tür ı nlardan, vücudun iç organları, oldukça tehlikeli dozlar alabilmektedir.

**Nötron radyasyonu veya nötron ı nı (n);** özellikle atomik fisyon ( nükleer parçalanma-bölünme ) ve nükleer füzyon ( atomik kayna ma-birle me ) esnasında, kararsız yada aktif atom çekirde i tarafından, bir nötronun yayınlanmasıdır. Kozmik ı nlardaki bile eninden ba ka, nötronlar, genellikle yapay ekilde olu maktadır. Elektriksel olarak yüksüz parçacıklar olmalarından dolayı, nötron radyasyonları çok girici olabilmekte ve madde yada doku ile etkile tiklerinde, beta veya gama radyasyonlarının yayınlanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, nötron ı nları, bu ikincil ı nlanmaları da azaltmak için, son derece ciddi bir zırhlamaya gereksinim duymaktadır.

**Kozmik radyasyon veya kozmik ı nlar ( uzaydan gelen ı nlar yada radyasyonlar );** bu ı nlar uzayın derinliklerinden gelmektedir. Protonlar, alfa parçacıkları, elektronlar, X ı nları, gama ı nları ve di er muhtelif alı ılmadık yada bilinmedik (egzotik- exotic particles) (yüksek enerjili) parçacıklar dahil olmak üzere, pek çok farklı radyasyon türlerinin karı mından ibarettir. Uzay kaynaklı yada uzaydan gelen enerjik parçacıkların tamamı, atmosferde güçlü ekilde etkile mekte, sonuçta temel seviyedeki kozmik radyasyonlar, birincil olarak, müonlar, nötronlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlar olmaktadır. Temel seviyedeki dozun ço unlu u, müonlar ve elektronlardan kaynaklanmaktadır.

(\*)Kaynaklar: İnsan, Radyasyon ve Çevre, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı yayını ( Radiation, People and the Environment IAEA publications ).  
Kainat, İnsan ve Radyasyon, Ça ın Polisi Dergisi, 59.sayı, 2006.  
Nükleer Atıkların Dairesi veya Yönetimi, Ça ın Polisi Dergisi, 69.sayı, 2007.  
Nükleer Reaktörler, Ça ın Polisi Dergisi, 63.sayı, 2007.  
Nükleer Enerji, Ça ın Polisi Dergisi, 62.sayı, 2007.  
Radyoaktif Atıkların Yok Edilmesi veya Nihai Depolanması, Ça ın Polisi Dergisi, 58.sayı, 2006.  
Yeni Nesil Nükleer Güç Reaktörleri, Ça ın Polisi Dergisi, 57.sayı, 2006.  
Yonlatıcı Radyasyonların Biyolojik Etkile me Mekanizmaları, Ça ın Polisi Dergisi, 55. ve 56. sayılar, 2006.  
Klim De ğ iklikleri, Ça ın Polisi Dergisi, 53.sayı,2006.  
Küresel Isınma, Ça ın Polisi Dergisi, 60.sayı, 2006.  
Küresel Isınma Mekanizmaları, Ça ın Polisi Dergisi, 61.sayı, 2007.  
Klim De ğ ikliklerinin Maliyeti, Ça ın Polisi Dergisi, 64.sayı, 2007.  
Sera Gazı Emisyonları, Ça ın Polisi Dergisi, 65.sayı, 2007.  
Klim De ğ iklikleri ile ilgili IPCC'nin Son Raporları, Ça ın Polisi Dergisi, 67.sayı, 2007.  
Karbon Emisyonları ve Karbondioksitin Akiferlerde Depolanması, Ça ın Polisi Dergisi, 68.sayı, 2007.  
Amerika'da Küresel Isınma ile ilgili Politika De ğ imi, Ça ın Polisi Dergisi, 66.sayı, 2007.  
Haziran 2007'de bir araya gelen G8'lerin Gündemi: Küresel Isınma, Klim De ğ ikli ğ i ve Sera Gazı Emisyonları, Ça ın Polisi Dergisi, 70.sayı, 2007.  
Almanya'da Nükleer Enerjinin Gelece ğ i, Ça ın Polisi Dergisi, 71.sayı, 2007.  
Nükleer Güç Santralleri ve Nükleer Enerjinin Gelece ğ i, Ça ın Polisi Dergisi, 72. sayı, 2007.  
İ nternet site: [www.caginpolsi.com.tr](http://www.caginpolsi.com.tr)