

## **EVREN, İNSAN ve İYONLAŞTIRICI RADYASYONLAR**

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

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

Evren, daha geniş anlamıyla kainat; 13 milyar 700 milyon yıl önce meydana gelen çok şiddetli bir patlamanın sonucu; mekan, zaman ve maddenin yaratılması ile oluştu. Önceleri evrenin yaşı 15-20 milyar yıl arasında tahmin ediliyordu ama artık bu oluşumu  $\pm$  %1 hata ile kesin olarak biliyoruz. Başka bir deyişle  $\pm$  137 milyon yıl hata sınırı içerisinde evrenin yaşını kestirebilmekteyiz. Oluşumdan 200 milyon yıl sonra da ilk yıldızların meydana geldiği düşünülmektedir. Yaratılma anında tüm kütlelerin sonsuz küçüklükteki, sonsuz sıcaklıktaki ve yine sonsuz yoğunlukta bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Bu sonsuz yoğunlaşmış madde, yine sonsuz yüksek basınç altında patlayarak genişlemiş ve bu suretle evrenimiz doğmuştur. Evrenimizin %75'ini Karanlık Enerji, %21'ini Karanlık Madde ve %4'ünü ise Görünür Madde oluşturmaktadır. İlk patlamada zaman mefhumu ölçülemediğinden mevcut değildir. Çünkü;  $10^{-43}$  saniyede kronometre bozulmakta ve  $10^{-44}$  saniyede de kronometre ortadan kalkmaktadır. Geçen yüzyılda greyfurt büyüklüğünde düşünülen aşırı yoğun ortamın patlaması, 21.yüzyılda sonsuz küçüklükteki ve sonsuz yoğunlukta ortamın infilakı şeklinde düşünülmektedir. Kainat sonsuza doğru genişlemesini halen sürdürmektedir. Evrenin genişleme hızı; kütlelerin birbirinden uzaklaşması ve bu suretle çekim kuvvetinin azalması nedeniyle artmaktadır. Şu anda kaynağı bilinmeyen Karanlık Enerji (Dark Energy) sebebiyle genişleme hızı bir artmakta bir de azalmaktadır. Tüm bu çalışmalar ve hesaplamalar, saniyede trilyonun üzerinde işlem yapabilen son derece hızlı bilgisayarlar yardımı ile yerine getirilmektedir. Makro sistemlerin ve mikro sistemlerin birbirine benzerliği nedeniyle laboratuvar ölçeğinde de deneyler yapılabilmektedir.

**“Centre Europeen pour la Recherche Nucleaire (CERN)”**  
Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde evrenin ve maddenin nasıl oluştuğu yoğun şekilde araştırılmaktadır. Kuarklar atomun önemli

yapı taşlarını oluşturmaktadır. Proton ve nötronlardan ibaret olan kuarklar sadece hızlandırıcılarda elde edilir. Çok hızlandırılmış elektronlar protonlarla havasız ortamda çarpıştırılarak, çarpışma hattında kuarklar dışarı atılır. **CERN**'deki parçacık hızlandırıcılarında dev mıknatıslar yardımı ile havasız ortamda proton, nötron ve elektronlar ışık hızına kadar hızlandırılır. Burada yapılan deneylerde evrenin en bilinmez olaylarından biri olan maddenin enerjiye, enerjinin maddeye dönüşümü gözlenebilmekte ve kainatın meydana gelmesi araştırılabilmektedir.

Dünya, Güneş ve Ayın oluşumu birbirine yakın sürelerde gerçekleşti. Bugün Dünyamız 4 milyar 560 milyon yaşındadır. Evrenin oluşumundan sonra , hidrojen, helyum, demir vb. maddeler, birkaç milyar yıl süre, daha eski bir galaksi ile savrulmayı sürdürerek sonunda dev toz bulutu olarak birleşmiştir. Bu dev bulut ise yaklaşık 4.5 milyar yıl önce kendi kütle çekimi nedeniyle içine doğru çökerek git gide daha hızla dönmeye başlamıştır. Hızlı dönüş yüzünden toz tıpkı bir tabak gibi düzleşmiş ve açığa çıkan olağanüstü kuvvetlerle ısıtılmıştır. Bulutun içi iyice dolmaya başlayınca da sıcaklıklar aşırı artmıştır. Bulutun merkezinde yükselen basınç ve sıcaklık sebebi ile parçacıklar daha sık çarpışmaya başlamışlar, bu şekilde bulutun içindeki sıcaklık yaklaşık 10 milyon santigrat dereceye fırlamıştır. Hidrojen atomlarının çekirdekleri mevcut sıcaklıkta hızla dönerek erimiş ve çarpışma sırasında da helyum çekirdeklerine dönüşmüşlerdir. Çekirdek reaksiyonları olarak adlandırılan bu süreç, eriyerek birbirine kaynaşan elementlerden başka bir şey değildir. İşte 4.5 milyar yıl önce gaz ve toz bulutları içinde meydana gelen bu reaksiyon sayesinde de **güneş ve güneş sistemimizin** oluşumu gerçekleşmiştir. Güneş sistemimiz; bundan yaklaşık 4.5 milyar yıl önce muazzam bir çarpışmaya sahne oldu. Dünyamızın oluşumundan sadece 60 milyon yıl sonra gerçekleşen bu olayda; Mars büyüklüğünde bir meteor taşı Dünyamıza çarpınca, kopardığı parçalarla milyonlarca yıl savrulularak topraklanmak sureti ile Ayı oluşturdu. Büyük çarpışma, dünyamızı bir tür magmaya, yani ateşten gömleğe çevirmişti. Bu ateş topunun 100 milyon yıl içinde soğuması sonucunda dünyamızda ilk kara parçaları oluştu. Bir başka deyişle, Dünyadaki ilk kara parçası yaklaşık 4.3 milyar önce, yukarıda anlatılan çarpışma sonucunda meydana gelmişti. Öte yandan Ayın

kesin yaşı, 4 milyar 527 milyon yıl olarak belirlenmiştir. Bu sonuç Apollo uçuşlarından getirilen metal analizlerinden çıkarılmıştır. Ay taşındaki volfram-182 izotopunun oranı ölçülmek sureti ile bu durum saptanmıştır. Böylece uydumuz Ayın yaşı on milyon yıllık bir hata payı içinde tespit edilmiştir.

Küresel biyolojik patlama; ortam belli bir kritik sıcaklığa düşünce ve doğal radyasyon seviyesi de belli bir düzeye inince oluştu. Bilgisayar modellerinden bu kritik sıcaklığa ve tabii radyasyon seviyesine, yanardağ püskürmelerinin azalması ve yeryüzündeki çoğu uzun yarı ömürlü radyoaktif maddelerin parçalanma sürelerini tamamlamasından kaynaklanan doğal radyasyon düzeyinin oldukça düşmesi nedeni ile 542 milyon yıl önce ulaşılmıştır. Çıplak gözle görülemeyecek bitki örtüsünün, ilk bulunan kalıntılardan 425 milyon yıl önce oluştuğu bulunmuştu. Daha sonra keşfedilen kalıntılar üzerinde yapılan DNA ve RNA çalışmaları ardından çıplak gözle görülemeyecek ilk bitki örtüsünün 475 milyon yıl önce meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır. Ortaya çıkan bu durum, bilgisayar modelinde öngörülen ve 542 milyon yıl önce vuku bulan biyolojik patlama varsayımına yaklaşık olarak uygun düşmektedir. İlk canlı türlerinin suda oluştuğu düşünülmektedir. Bu varsayımın en büyük nedeni, milyonlarca yıl önce, volkanik patlamalar yüzünden suyun dışarısında sıcaklığın ve ortamın doğal radyasyon düzeyinin yüksek oluşudur. Dinozorların ne zaman yaşadıklarına ve nesillerinin nasıl tükendiğine dair çeşitli kuramlar geliştirilmiştir. Teorilerden birisine göre, dinozorların yok olmasına, milyonlarca yıl önce vuku bulan ve tüm dünyayı kapsayan çok şiddetli bir deprem neden olmuştu. Bu durumda dinozorların kalıntılarının büyük bir kesimine rastlanması gerekiyordu. Diğer bir kurama göre ise, dinozorların yaşadığı dönemlerde dünyamız kesif şekilde ormanlarla kaplıydı. Çok iri meteor taşının dünyaya çarpması sonucunda, bundan 65 milyon yıl önce dünyamızda büyük bir yangın çıktı. Böylece dinozorlar ve kalıntıları ormanlarla birlikte yanıp kül oldu. Çok az sayıda dinozor fosilinin bulunmasının bundan kaynaklandığı düşünülmektedir. 130 milyon yıldan beri halen yaşamını sürdüren ve dinozorlarla birlikte yaşayan Hindistan'da bulunan "burun kurbağa" canlı fosil olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu kurbağaların suda hayatlarını devam ettirmelerinin yok olmamalarında en büyük etken olduğu

varsayılmaktadır. Bu durumda gelişkin yaşantının en mükemmel örneği olan insanoğlu ne zaman dünyaya geldi? Harikulade bir yaratık olan insanın yine en mükemmel organlarından biri olan beyninin gelişebilmesi için ortam sıcaklığının 30 derece santigradın altına düşmesi gerekmektedir. 542 milyon yıl önce olduğu varsayılan biyolojik patlamadan sonra volkanik hareketlenmelerden dolayı yeryüzü sıcaklığının ve buna ilaveten doğal radyasyon düzeyinin yüksek oluşu dinazorların yaşadığı süreçte bile insanoğlunun ortaya çıkmasına meydan vermedi. Yaşı milyon mertebesinde insan kalıntısı bulunduğu iddia edilmesine rağmen; bilgisayar modellerinden, ilk insanların; yeryüzündeki ortamın insanın yaşamını sürdürebilmesi için en elverişli ve ideal duruma ulaştığı varsayılan 100000-300000 yıl önce dünyaya geldikleri düşünülmektedir. Afrika'da keşfedilen ve en eski insan kalıntısı olma hüviyetini taşıyan fosilin 160000 yaşında bulunması, açıklanan bilgisayar modeli ile uyum sağlamaktadır. DNA'da yapılan kromozom araştırmaları ile 70000 yıl önce dünyada yaklaşık 2000 insanın yaşadığı hesaplanmıştır. 40000 yıl önce de dünya nüfusunun 500000 kişiye, bir başka deyişle, yarım milyona ulaştığı bulunmuştur. Bugün ise dünyamızda 6 milyarın üzerinde insan yaşamını sürdürmektedir. Bu arada gökbilimciler ve fizikçiler tarafından uzaya gönderilen radyo dalgaları vasıtasıyla diğer galaksilerde hayat olup olmadığı hakkındaki araştırmalar, herhangi bir bilimsel bulguya ulaşılmamasına rağmen 50 yılı aşkın süredir yoğun biçimde yapılmaktadır. Yaklaşık on seneden beri de söz konusu bilimsel araştırmalar özellikle fizikçiler tarafından geliştirilen büyük güçlü lazer teknolojileri kanalıyla yerine getirilmektedir.

Diğer taraftan; kainatın kesin yaşı bağlamında, büyük patlama sonucu 13 milyar 700 milyon olarak belirlenmesinde önemli kanıtlar, uzaya gönderilen araçlar yardımı ile de sağlanmaktadır. Bunlar içinde en başta gelenlerden biri de **Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)** adlı bir Amerikan uydusudur. Bu uydu vasıtası ile; zaman, mekan ve maddenin kesin olarak 13.7 milyar yıl önce yaratıldığı ve evrenin genişlemesini sürdürdüğü bulunmuştur. Ayrıca **WMAP** tarafından büyük patlamanın hemen ardından, evren genişlemesini süper hızla sürdürürken, sadece 200 milyon yıl sonra ilk yıldızların meydana gelmesi keşfedilmiştir. Öte yandan insanoğlunun Marsa gitme tutkularından birincisini, bu gezegenin başına gelenlerin

dünyamızın başına ne zaman ve nasıl geleceğinin araştırılmasında çok önemli bir laboratuvar oluşturmalarıdır. Marsa gitmek için uzay teknolojisi olan ülkeler büyük bir yarış içindedir. Bunun en büyük nedeni de bu kırmızı gezegende suyun keşfedilmesidir. Mars yüzeyine **Opportunity** ve **Spirit** uzay araçlarından önce gönderilen uydular maalesef başarısız oldular. Bu iki uzay aracının Marsa yaptıkları başarılı inişleri sonucunda ve 2004 yılında gönderdikleri bilgi sayesinde Marsın bir zamanlar kesif şekilde sularla kaplı olduğu keşfedilmiştir. Bunun en önemli kanıtı da sualtında büyüyen “**goethite**” minerali ile mevcudiyetleri suyun delili olan tortul kayalardır. Goethite;  $\text{HFeO}_2$  (demir hidroksit  $\text{FeO}(\text{OH})$  kırmızımsı yada koyu kahve renkli demir cevheri) kimyasal formül ile gösterilen bir demir hidrojenoksit mineralidir ve en yaygın birleşimi doğal pas olarak bulunmaktadır. Bu sebeple; Mars gezegeni kırmızı yada kırmızı renkte görünmektedir. Şimdi bilim adamlarının sorguladıkları, bulunduğu varsayılan suyun, büyük bir kısmının ne zaman, nasıl ve neden kaybolduğudur. Sorgulamanın sonuçları, yerküremizin akıbetini çok yakından ilgilendirmektedir. “ Taşıma suyu ile değirmen dönmez” atasözümüz Marsa insanlı uzay aracı gönderilmesinde can alıcı önemi içermektedir. Diğer taraftan, Ayda su bulunmamasına rağmen uzayın derinliklerini keşfetmek, yeryüzünde gerçekleştirilemeyen çok önemli bilimsel ve teknolojik araştırmaları yapmak için, uzun vadede Amerikalılar burada bir üs kurmaktan hala vazgeçemediler. Bunun içinde en uygun yerin Ayın Kuzey kutbunda  $-40$  ila  $-60$  derece arasında sıcakların hüküm sürdüğü ve diğer yerlere nazaran ılıman olan güneşin hiç batmadığı bölge tercih edilmektedir. Burada en büyük faktör yine de Ayın Dünyamıza çok yakın ve aynı zamanda çekim kuvvetinin az olmasıdır. Ayrıca, Ayda su araştırmaları için, Ayın derinliklerinde patlamalar oluşturacak şekilde muhtelif projeler de planlanmaktadır. Ayda su bulma projeleri aşamalarla yerine getirilmektedir.

Gönderilen uzay araçlarından alınan umut verici bilgilerin ışığında, Marsın yüzeyine yakın olarak buzullar şeklinde suyun bulunması ve kırmızı gezegenin yaklaşık 50 milyon kilometre uzaklıkta olması atasözümüzü geçerli kılmaktadır (Bu uzaklık; Marsın Dünya’ya yaklaştığı, takribi olarak, en yakın mesafedir). Marsta buzul şeklindeki bir yapının varlığı, bu gezegene insanlı uzay aracı ile

gidebilmek için rekabeti hızla artırmıştır. Marsa önceki teknolojilerle iki yılda gidilirken, geliştirilen yakıt teknikleri ile şimdileri yaklaşık altı ayda ulaşılabilir. Hatta yakın zamanda bulunan bir yakıt teknolojisi ile de iki ayda gidilebilecektir. Amerika Birleşik Devletleri Maryland Üniversitesi'nde Dr. Claudio Filippone tarafından, 2002 yılında temiz ve çevre dostu yeni tasarım bir nükleer reaktör geliştirildi. Klasik nükleer güç reaktörleri, uranyum-238 (U-238) içine belli aralıklarla takribi %4 oranında konan zenginleştirilmiş uranyum-235 (U-235) karışımını reaktör yakıtları olarak kullanmaktadır. Yine klasik tip nükleer güç santralleri yakıt gereksinimleri zenginleştirilmiş uranyum-235 bittiğinde mutlaka mevcut yakıt uranyum-238'e ilavesi ile karşılanmaktadır. ABD'de şu anda kullanılmış nükleer yakıt olarak radyoaktif atıklar ile birlikte nükleer atık muamelesi görmek üzere son derece yüksek aktiviteli yaklaşık 100000 ton civarında uranyum-238 nükleer atık idaresi perspektifi kapsamında ileri nükleer atıkların yok edilmesi teknikleri, radyoaktif atıkların arıtılması ve nükleer atıkların tecridi teknolojileri için bekletilmektedir. İşte Maryland Üniversitesinde geliştirilen teknikle bu yüksek düzeyli nükleer atıklar ile yeni nesil nükleer santral yapma olasılığı ortaya çıkmıştır. **CAESAR** ( **C**lean and **E**nvironmentally **S**afe **A**dvanced **R**eactor ) Temiz ve Çevre Dostu Geliştirilmiş Reaktör olarak adlandırılan yeni kuşak nükleer reaktör moderatörü su buharı olup, gecikmiş nötronları kullanmaktadır. Kullanılmış yakıt olan uranyum-238'i kendi kendine yakan CAESAR reaktörü, 20-30 yıl herhangi bir yakıt ikmali gerektirmemektedir. Uzun vadede böyle bir reaktörün ticari gemilerde, en önemlisi de uzay araçlarında faaliyete geçirilmesi düşünülmektedir. Atasözümüzü yinelemek isterim. **Taşıma suyu ile değirmen dönmez.** Marsta suyun keşfi ve **CAESAR**'ın bulunması, sözümüzün geçerliliğini göstermektedir. Yakıtı **CAESAR** olan uzay aracı dünyamızdan iki ay sonra Mars'a ulaşacak ve 20-30 sene sadece Marstaki suyu kullanarak enerji üretecek! Böyle bir teknoloji sayesinde insanoğlunun daha neler keşfedeceğini düşünemiyorum bile! Bu şekilde; Ruslar yakın bir gelecekte, Amerikalılar da 10-20 yıllık süre içerisinde, insanlı uzay aracı ile Marsa gitmeyi planlamaktadır. Öte yandan, Ocak-2006'da Amerika Birleşik Devletleri, Güneş Sistemimizin 9. gezegeni Plüton'a plutonyum-238 (Pu-238) nükleer yakıtlı "**Yeni Ufuklar**" (New Horizons) adlı bir uzay aracını saatte 43 bin kilometre hızla göndermiştir. Plüton;

Güneş'ten çok uzaktaki konumu nedeni ile yeterince aydınlanmamakta olduğundan dolayı **“Yeni Ufuklar”** enerjisini, güneş panelleri yerine plutonyum pilleri vasıtasıyla temin edecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu uzay aracının, Plüton ve uydusu Charon'a; Jupiter, Saturn, Uranus ve Neptune'yu aşarak takribi 10 yılda ulaşması planlanmıştır. Dünyamızdan bin kat daha karanlık olan Plüton'un buzullarla kaplı olan yüzeyindeki sıcaklık -233 derece santigrat olup, güneş sistemimizin olduğu yaklaşık 4.5 milyar yıldır hiç değişime uğramadığı varsayılmaktadır. Nitrojen gazı ile kaplı ince bir atmosfere sahip Plüton'dan ve bu gezegenin ötesindeki Kuiper Kuşağı cisimlerinden edinilecek bilgiler, evrenimizin ve Güneş Sistemimizin çoğu bilinmezlerine ışık tutması açısından büyük bir önem arz etmektedir. Diğer taraftan, 2006'nın ikinci yarısında bilim çevrelerini de şaşırtıcı şekilde Plüton'un gezegenlik statüsü ortadan kaldırılmıştır. Dünyanın önde gelen astronomları Plüton'un artık gezegen sınıfına dahil olmadığı kararına varmışlardır. Astronomlar genel olarak bir gök cisminin gezegen sınıfına dahil edilebilmesi için, yuvarlak olması, Güneşin etrafında dönmesi, kütle çekim açısından dominant özelliği bulunması gibi kriterleri taşıması gerektiğini savunmaktadır. Plüton ve uydusu Charon'un bu niteliklere haiz olmaması nedeni ile Güneş Sistemimizin 9. gezegeni olma sıfatı silinmiştir. Buna rağmen, bazı bilim insanları kararı şiddetle eleştirmektedir.

Şimdiye kadar Kainatın oluşumu, Dünya, Ay, Güneş ve Güneş Sistemimizin meydana gelmesi, Biyolojik Patlama sonucu bitki, hayvan ve insanın yaratılması sonucunda, yarı-bilim-kurgu şeklinde kullanılmış uranyum-238 (U-238)'i yakıt olarak kullanan, insanlı uzay aracı ile yaklaşık 50 milyon kilometre Mars'a kadar uzayda şöyle bir yolculuk yaptık. Şu andan itibaren radyasyonların özellikle de iyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik organizmalar üzerindeki etkilerini açıklayacağız. İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkileri yarım yüzyılı aşkın bir süredir, bilim adamları tarafından yoğun şekilde araştırılmaktadır. Bugüne kadar elde edilen bilgiler ışığında son derece güvenilir önlemler geliştirilmiş ve radyasyonun özellikle insan organizması üzerindeki etki mekanizmaları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çevre etkilerinde rol oynayan tüm kirleticilere göre, radyasyonun hücre ve organ sistemleri üzerindeki etkileri hemen

hemen 50-60 yıldan daha uzun bir süredir derinliğine araştırılmakta ve bu hususta insanoğlunun elinde oldukça güvenilir sonuçlar bulunmaktadır. Şunu kesin olarak belirtmek gerekir ki, radyasyon bilinçli, tedbirli ve itinalı kullanıldığında diğer risk faktörlerine göre en az risk düzeyine sahip olanlar arasındadır. İyonlaştırıcı radyasyonların gözlenmiş etkileri geniş olarak **istatistiksel olmayan(eşikli-kesin)** ve **istatistiksel (eşiksiz-olasılıklı)** olmak üzere iki bölümde toplanabilir. Birincisinde etkinin gözlenebilmesi için belirli bir minimum radyasyon dozu aşılmalıdır. Ayrıca etkinin büyüklüğü de alınan dozla doğru orantılıdır. Bunlardan başka, radyasyonla ışınlama ve gözlenen etki arasında kesin bir sebep-sonuç ilişkisi vardır. Mesela alkol alan bir kişinin alkollü olduğunun gözlenebilmesi için, belirli miktarda alkol almalıdır. Bundan sonra, alkolün etkisi, kişinin ne kadar alkol aldığına bağlıdır. Sonuç olarak kişi, sarhoş davranışları gösterirse onun bu davranışının, aldığı içkinin bir sonucu olduğu hakkında hiç şüphe yoktur. Kişiler üzerinde etkinin gözlenebilmesi için, minimum bir doz, başka bir deyişle **eşik** değer aşılmalıdır. Bu nedenle **istatistiksel olmayan etkiler, eşikli-kesin etkiler** olarak da adlandırılır. **İstatistiksel etkiler** adından da anlaşılacağı gibi bir olasılığa dayanırlar. Bir başka deyimle, radyasyona maruz kalmış kişilerin dışında, radyasyona maruz kalmamış kişiler arasında da görülebilir. Bu sebeple, tıpkı, fazla güneşte kalma ile oluşan güneş yanığı gibi, etkileri anında ortaya çıkmaz. Radyasyon korunmasında istatistiksel etkilere en iyi örnek, kanser ve genetik etkilerdir. Radyasyonla ışınlama sonucu kanser veya genetik bir etkinin meydana gelme ihtimalindeki artış, dozun büyüklüğündeki artış oranı ile doğru orantılıdır. Radyasyonla ışınlama sonucu kanser ihtimali de artmaktadır. Bütün bunlara rağmen, ışınlamanın büyüklüğünü göz önüne almaksızın, radyasyondan ileri gelen kanser oluşmayabilir de! Kanser meydana gelirse, bunu alkol ve sarhoşluk arasındaki sebep-sonuç ilişkisinde olduğu gibi, kesinlikle radyasyondan ileri geldiğini söyleyemeyiz. Bilimsel olarak düşünebileceğimiz en iyi yol, kanserin radyasyondan oluşma olasılığını tahmin etmektir. Mesela, sigara içenlerin sigara içmeyenlere göre akciğer kanserine daha çok yakalandıkları tespit edilmiştir. Sigara içenler arasında yapılan araştırmalarda da çok sigara içenler, az içenlere nazaran daha yüksek oranda akciğer kanserine yakalanmaktadır. Tüm bunlara rağmen, çoğu sigara içenlerde akciğer

kanseri gelişmemektedir. Sigara içme, hatta çok sigara içme, akciğer kanserinin gelişeceğinin bir işareti olmayıp, sadece hastalığa yakalanma ihtimalini artırmaktadır. **İstatistiksel etkiler** için bir eşik söz konusu değildir. Çok küçük değerdeki iyonlaştırıcı radyasyon, mesela tek bir X-ışını fotonu, kanser ve genetik etki yapabilir. Bu sebeptendir ki, **istatistiksel etkilere**, çoğu kez, **eşiksiz (olasılıklı)** ya da **linear etkiler** de denir. Denemelerde ve eldeki verilerle doz-cevap veya doz etki eğrilerinin tespitinde, %50'lik doz, ışınlanmış %50 deney hayvanlarından alınan istatistiksel veriler, en güvenilir sonuç olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, %50'lik doz, belirli bir etkinin açıklanmasında, oranlı etkinliğin göstergesidir. Deney hayvanlarındaki etkileşme ölümle sonuçlandığında, %50'lik doz LD-50 (Lethal Dose: Öldürücü Doz) şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca, etkinin olduğu zaman da önemli olup dozla birlikte verilmektedir. LD-50/30gün doz olarak ifade edilmektedir. Bu ifade yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

### **Kaynaklar:**

- Introduction to Health Physics, Herman Cember, 1983.
- The Economist Dergisi ( 01 Şubat-07 Şubat 2003 ).
- The Economist Dergisi ( 15 Şubat-21 Şubat 2003 ).
- İyonlaştırıcı Radyasyonların Biyolojik Etkileşme Mekanizmaları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Radyoaktif Atıkların Yok Edilmesi veya Nihai Depolanması, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Yeni Nesil Nükleer Güç Reaktörleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Nükleer Atıkların İdaresi veya Yönetimi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Atom, Radyoaktivite, Radyoizotoplar ve Radyasyon Türleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008.
- The Economist Dergisi ( 27 Şubat-05 Mart 2010 ).
- İnternet Sitesi: [www.fmo.org.tr](http://www.fmo.org.tr)