

## GERÇEK CASUSLUK ÖYKÜSÜNÜN ARDINDAKİ MADDE



# POLONYUM 210

Alexander Litvinenko, eski KGB görevlilerindendi. Sovyetler Birliği'nin dağılmasından sonra, Rusya Federasyonu Güvenlik Kuruluşu'nda (FSB) çalıştı. Devlet sırlarını açıklamakla suçlanınca, sahte bir pasaportla Türkiye'ye kaçmıştı. 1 Kasım 2000'de, Londra'ya geçip, İngiltere'den iltica talebinde bulundu. O günden sonra Londra'da yaşıyordu. 1 Kasım 2006 günü Millennium Otel'de, eski çalışma arkadaşlarından Dmitry Kovtun, Andrei Lugovoi ve Vyacheslav Sokolenko ile buluştu. Otelin dördüncü katındaki 'Pines Bar'da kahve içtiler. Litvinenko aynı gün daha sonra, Picadilli alanındaki bir suşi lokantasında, İtalyan güvenlik uzmanı Mario Scaramella ile öğle yemeği yedi. Ertesi gün rahatsızlanmıştı. 3 Kasım günü Barnet General Hospital'a kaldırıldı. 11 Kasım'da zehirlendiği anlaşılmıştı. 17 Kasım'da, University College Hospital'a nakledilerek, silahlı muhafızların koruması altına alındı. Bir toksikoloji uzmanı tarafından kendisine 'talyum zehirlenmesi' teşhisi kondu. 20 Kasım'da yoğun bakım birimine alındı. Kendisine iki kez, talyumun vücuttan atılışını hızlandırmak

amacıyla 'Prusya mavis'i' enjeksiyonu yapıldı. Halbuki 22 Kasım'da durumu ağırlaşmıştı. Ertesi sabah öldü. Talyumla değil, güçlü bir alfa ışın etkin (radyoaktif) maddeyle zehirlendiği anlaşılmıştı. İngiliz polisi tarafından aynı gün, olay hakkında soruşturma başlatıldı.

Litvinenko'nun 1 Kasım günü uğramış olduğu yerlerde alfa ışınımı taraması yapıldı. Millennium Otel'in dördüncü katındaki kahvede Po<sup>210</sup> (polonyum) belirlendi. Ancak, Litvinenko daha önce zehirlenmiş ve ışın etkin maddeyi buraya, kahve içerken bulaştırmış olabilir. Cebinden 1 Kasım tarihli eski bir otobüs bileti çıkmıştı. Otobüs bulunup tarandı. Işın etkinliğe rastlanmayınca, Litvinenko'nun otelde zehirlenmiş olduğu kanaatine varıldı. Litvi-



nenko'nun otelden sonra uğramış olduğu yerlerin hepsinde taramalar yapıldı. 28 Kasım günü Scotland Yard tarafından, başta suşi (Japon mutfağından ince dilimlenmiş çiğ balık) lokantası ve evi olmak üzere, 7 ayrı yerde ışınım rastlandığı açıklandı. O halde Litvinenko'nun vücudundaki etkinlik çizgisi otelde başlıyordu. Etkinliğin izlerinin, polonyumu otele getirenler tarafından da bırakılmış olması gerekirdi. Çizginin öte yanının araştırılmasına başlandı. Otelde bulunduğu eski çalışma arkadaşlarının Londra'ya geliş ve gidiş yolları saptandı. Dmitry Kovtun Londra'ya 30 Ekim tarihinde, Hamburg'tan uçakla gelmişti. İngiliz Sağlık Koruma Kuruluşu (HPA) 29 Kasım günü, İngiliz Havayolları'nın iki uçağında polonyuma rastlandığını açıkladı. Bu bulaş-

madan dolayı, o günden sonraki 221 sefer etkilenmiş olabilirdi. Bu uçuşların 30,000 yolcusuna, güvenlik taraması için kuruma başvurmaları gerektiği bildirildi. 1 Aralık günü Litvinenko üzerinde otopsi yapıldı. Midesinde Prusya mavisi enjeksiyonlarının kalıntıları yanında, yüksek dozda  $Po^{210}$  belirlendi. Scotland Yard'ın 6 Aralık'ta yaptığı açıklama, Litvinenko'nun ölümünün bundan böyle cinayet kapsamında soruşturulacağı bildiriyordu.

8 Aralık günü Moskova'dan, Dmitry Kovtun'un rahatsızlandığı haberi geldi. Komada olduğu söyleniyordu. Alman polisi, Kovtun'un Londra'ya uçarken uğradığı Hamburg'da arama yapmıştı. Burada kaldığı dairede polonyum bulundu. Kovtun hakkında, "Almanya'ya kaçak olarak işnetkin madde soktuğu" gerekçesiyle dava açıldı. İngiliz polisi ertesi gün, Millenyum Oteli'nin 'Pines Bar'ındaki tek bir fincanın, zehirin Litvinenko'ya verilmesinde kullanılan araç olduğunun, hemen hemen kesinlikle belirlendiğini açıkladı. Soruşturma devam ediyor. Bu arada bir dizi soru doğmuştu: Neden önce "talyum zehirlenmesi" denmiş de, zehirin polonyum olduğu baştan belirlenememişti? Suikastçılar her kim idiyse, neden böyle her tarafta kalın izler bırakan bir yöntemi seçmiştiler?

Bu yazımızda, olayın teknik yönlerine ışık tutacak bir derleme hazırlamaya çalıştık...

## Polonyum

Polonyum elementi 1897 yılında, Marie Sklodowska ve eşi Pierre Curie tarafından keşfedildi. Curie'ler aslında uranyumun, 1896 yılında Henry Becquerel tarafından keşfedilmiş olan işnetkinlik özelliğini inceliyorlardı. Bu amaçla, uranyumun 'piçblend' mineralini kullandılar. Mineralin içinde, uranyum ve toryumun bulunduğu ve her ikisinin de işnetkin olduğu biliniyordu. Çünkü uranyum elementi çok daha önceleri, 1789 yılında, toryum ise 1828 yı-

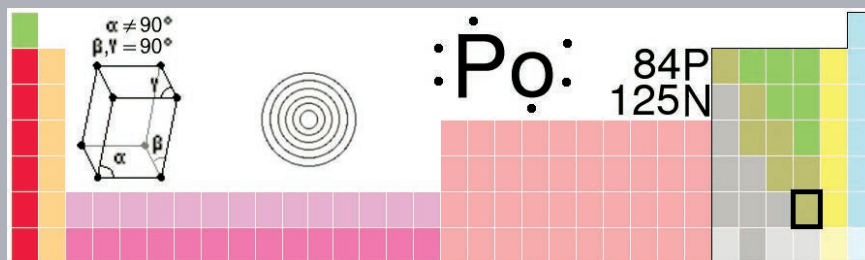


linda saf olarak ayrıştırılmışlardı. Curie'lerin ilgi odağı, bu iki elementin işnetkinlik düzeylerini ayrı ayrı belirlemektir. Ancak, belli bir mineral örneğinin işnetkinliğinin, bu örnekten kimyasal yöntemlerle ayrıştırdıkları uranyum ve toryumun işnetkinliklerinin toplamından daha fazla olduğunu farkettiler. Bu, mineral örneğinin içinde, işnetkin başka bazı elementlerin daha olması gerektiğine işaret ediyordu. Nitekim, mineralden uranyum ve toryumun ayrıştırılmasından sonra geride kalan örneklerin ışımaya spektrumunda, o zamana kadar bilinmeyen bir elementin imzasını yakaladılar. Kısa bir süre sonra da, elementi saf olarak elde etmeyi başardılar. Marie Curie, Polonya'dan göç etmiş bir Fransız vatandaşıydı ve o sıralar ülkesi, Rusya, Prusya ve Avusturya arasında paylaşılmış durumdaydı. Uluslararası camianın dikkatini ülkesi-

nin bağımsız olmayışına çeker ümidiyle, bu yeni elemente polonyum adı verilmesini önerdi. Önerisi malum, kabul gördü. Uranyum cevheri üzerindeki çalışmalarına devamla, 1902 yılında radyumu saf olarak elde ettiler.

Polonyumun geç keşfinin nedeni, yerkabuğunda eser miktarlarda, örneğin uranyum minerallerinde, kütlece 10 milyarda bir oranında bulunması. Atom numarası, yani proton sayısı 84. Hepsisi de işnetkin olan 28 adet izotopu var. Bu izotopların kütle numaraları 194 ile 218 arasında değişiyor, yarı-ömürleri ise nanosaniye ile birkaç yıl arasında. Polonyumun yerkabuğundaki azlığının nedeni de bu zaten; kararlı izotopunun bulunmaması ve işnetkin izotoplarının kısa ömürlü olması. Dünya'nın oluştuğu sıradaki bileşiminde bazıları vardı belki, ama çoktan bozunup başka çekirdeklere dönüşmüş olmalılar. Sonuç olarak, polonyum şimdiki doğal varlığını, diğer elementlerin işnetkin izotoplarının bozunma ürünlerine borçlu. En yavaş bozunan izotoplarından birisi  $Po^{210}$ , 138 gün yarı-ömüre sahip. Fakat bu izotop, garip bir şekilde, doğada bulunmuyor. Halbuki en yaygın olarak kullanılanı, en tehlikelisi ve şu sıralarda da en ünlüsü o...

$Po^{210}$  alfa parçacığı ışıyarak bozunuyor. Alfa parçacıkları, +2 yüklü helyum çekirdeklerinden oluştuklarından, yolları üzerindeki atomların - yüklü elektronları ve + yüklü çekirdekleriyle güçlü elektrostatik etkileşime girer ve bu atomları iyonlaştırıp, yerlerinden oynatıp; aralarında molekül bağları varsa eğer, bunları kırarlar. Sonuç olarak, bozunmaların içinde yer aldığı malzemenin atomlarına kinetik enerji aktarı-



arak, malzemenin ısınmasına yol açılmaktadır. Her bir bozunmadan açığa çıkan enerji 5,06 ‘milyon elektronvolt’ (MeV) kadardır. Gerçi 1 eV, bizim büyük ölçeğimiz için çok küçük miktarda bir enerji (1eV=1,6x10<sup>-19</sup> J). Fakat, örneğin 1 gram Po<sup>210</sup>’da yer alan ‘saniyedeki bozunma sayısı’ (‘Becquerel, Bq’), yaklaşık olarak 5 kg radyumunkine eşdeğer. Radyumun gramının saniyedeki bozunma hızı 3,7x10<sup>9</sup> olup, bu ışınetkinlik düzeyi 1 Curie olarak tanımlanmış. O halde 1 gram Po<sup>210</sup>’un ışınetkinliği, yaklaşık 5000 Curie’ye, ya da 1,85x10<sup>14</sup> Bq’e (1 trilyon, 850 milyar Becquerel) eşit. Bu bozunmalardan açığa çıkan enerji miktarı 140 Joule’ü (J) buluyor. Bu, 1 gramlık Po<sup>210</sup> örne-

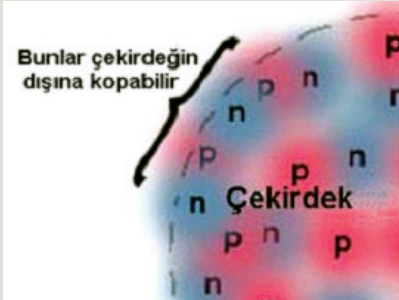
ğinin ışıma gücünün 140 W olduğu anlamına gelmekte. Yani Po<sup>210</sup>, birim ağırlık başına ısı üretme gücü yüksek bir madde. Bu özelliğiyle, hafif güç kaynaklarının, örneğin ısı-elektrik dönüştürücüsü (‘termoelektrik’) hücrelerin yapımında ve yapay uydularda kullanılıyor. Nitekim, Ay’a indirilen Lunokhod ‘gezgin’lerinin (‘rover’) iç bileşenlerinin Ay gecelerinde donmaması için bu kaynak kullanıldı. Öte yandan, alfa parçacıkları, içinde seyahat ettikleri havayı iyonlaştırıp, civardaki statik elektrik oluşumlarının nötrleşmesini sağlayabiliyor. Bu nedenle, ‘statik karşıtı’ (‘anti-statik’) bazı fırçalarda 500 µCi’ye varan (µCi = mikroCurie), yani 100 ng (nanogram = 10<sup>-9</sup> gram - gra-

mın milyarda biri) düzeyine ulaşan miktarda Po<sup>210</sup> bulunur. Bu aygıtlar yetkili fotoğrafçılar tarafından, film katmanlarında oluşan statik elektriği gidermek amacıyla kullanılmakta. Polonyumun bu izotopu doğada bulunmadığına göre, bu tür gereksinimler için yapay olarak üretilmesi gerekiyor.

P<sup>210</sup> üretmenin en çok kullanılan yöntemi, Bi<sup>209</sup> (bizmut) izotopunu nükleer reaktörlerde nötron bombardımanına tabi tutmak. Bir nötron yutan Bi<sup>209</sup> çekirdeği, β geçerek, yani bir elektron ışıyarak P<sup>210</sup>’a dönüşür. Fakat Bi<sup>209</sup>, Tl<sup>206</sup>’ya (talyum) da dönüşebiliyor. Bu yüzden, üretilen P<sup>210</sup> örneklerinde talyuma da rastlanır ve talyumun bulunması, P<sup>210</sup>’nun bu süreçle elde

## İşnetkinlik

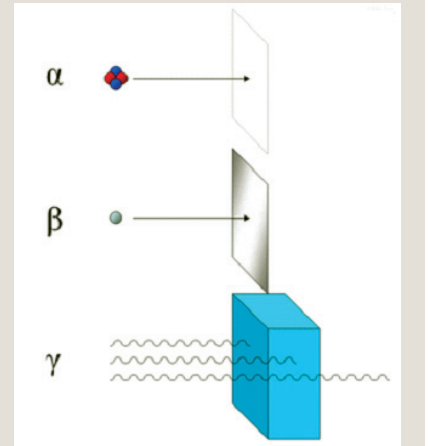
Bazı çekirdekler kararsız olup, bir veya birkaç parçacık ışıyarak, daha kararlı bir enerji durumuna geçmek eğilimindedirler. Böyle çekirdeklerin ‘ışınetkin’ (‘radyoaktif’) olduğu söylenir. Doğada karşılaşılan türden ışınetkinliklerden kaynaklanan parçacıklar; nitelikleri zamanında bilinmediğinden, Grek alfabesinin ilk harfleriyle; α (alfa), β (beta), γ (gama) parçacıkları olarak adlandırılmış. Bu isimler hala kullanılıyor. Örneğin α parçacıkları, +2 yüklü helyum çekirdeklerinden oluşmakta. Bunları ışıyan ve α-etkin olarak adlandırılan çekirdeklerin atom numarası(Z), 2, kütle numarasıysa (A), 4 azalır.



Yani çekirdek parçalanır. Beta parçacıklarıysa, - yüklü elektronlar ya da + yüklü pozitronlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla, β etkin çekirdeklerin bozunmaları sonucunda, kütle numaraları değişmezken, atom numaraları 1 artıyor veya azal-

yor. Çekirdeğin kendisi parçalanmayıp, içindeki nötron veya protonlardan biri, bir elektron veya pozitron ışıyarak, proton veya nötrona dönüşmektedir. Son olarak, γ etkin çekirdekler, buldukları yüksek enerji durumundan daha alçak bir enerji düzeyine geçiş yapar ve sırada, iki düzey arasındaki fark kadar enerjiye sahip elektromanyetik ışınlar yayarlar.

Bunlardan alfa parçacıkları, +2 yüklü çekirdeklerden oluştuğundan, içinde ışındıkları ortamın atomlarındaki - yüklü elektronlarla ve + yüklü çekirdeklerle güçlü bir şekilde etkileşip, kısa sürede yavaşlatılırlar. Kağıt kalınlığındaki bir katı malzeme tarafından durdurulmaları mümkündür. Fakat bu kısa mesafe içerisindeki atomların diziliminde veya moleküllerin bağlarında ciddi değişikliklere yol açarlar. Beta parçacıkları da keza yüklü olduklarından, madde ortamıyla güçlü bir şekilde etkileşir. Fakat alfa parçacıklarından çok daha küçük olmaları nedeniyle, milimetrenin kesri düzeylerinde uzak mesafelere kadar ulaşabilirler. Halbuki gama ışınlarının maddeyle etkileşimi zayıftır. Örneğin ‘fotoelektrik olayı’nda, elektronları yörüngelerinden fırlatarak, yüksek enerjilerle iyonlaştırabilirler. Bu arada kendileri de bir miktar enerji kaybetmiş olurlar. Bu yüzden, gama ışınlarına karşı zırh malzemesi olarak daha ziyade, atom numarası (Z) ve dolayısıyla elektron sayısı yüksek olan, kurşun gibi maddeler kullanılır. Bu üç ışın türüne, nötronlarla beraber, ‘iyonlaştırıcı ışınlar’ deniyor.



İşınan parçacıkların, canlı bir dokuya aktardıkları enerji miktarı, Uluslararası Standart (SI) birimi Gray (Gy) ile ölçülür. 1 Gy, “dokunun kilogram kütle başına 1 joule enerji aktarımı”na karşılık gelir. Ancak, dokuda yol açılan hasar, sadece enerji miktarıyla değil, bu enerjiyi aktaran parçacığın niteliğine de bağlıdır. Örneğin alfa parçacıkları, kısa mesafede büyük hasara yol açtıklarından, biyolojik olarak daha tehlikelidirler. Dolayısıyla, farklı tür ışınların dokuya verecekleri hasar potansiyeli, dokuya aktardıkları enerji miktarları, biyolojik hasar yetenekleriyle orantılı katsayılarla çarpılarak bulunur. Bu, olumsuz bir yönden ‘kalite çarpanı’ olarak nitelendirilebilecek olan katsayılara, ‘görel biyolojik etkinlik’ (‘RBE’) faktörü deniyor. Bu faktör, örneğin alfa parçacıkları için 20’ye, gama ışınları için 1 düzeyinde. ‘Enerji miktarı’ ile RBE’nin çarpımına ‘doz’ denmekte. ‘Biyolojik doz eşdeğeri’ olarak adlandırılan bu niceliğin SI birimi ise, Sievert (Sv). Örneğin 1 Gy’lik alfa ışınlarının biyolojik doz eşdeğeri; 20x1 Gy=20 Sv’tir. Yaygın olarak kullanılan bir diğer birim REM (‘Roentgen Equivalent Man’), 1 REM=100 Sv eşitliğine tabidir. Yandaki tabloda çeşitli doz düzeylerinin yol açabileceği sonuçlar kabaca gösteriliyor. Örneğin “30 günde %30 ölüm”, her biri ilgili doza maruz kalmış olan nüfusun, 30 gün içinde %30’unun ölme olasılığı anlamına gelmekte.

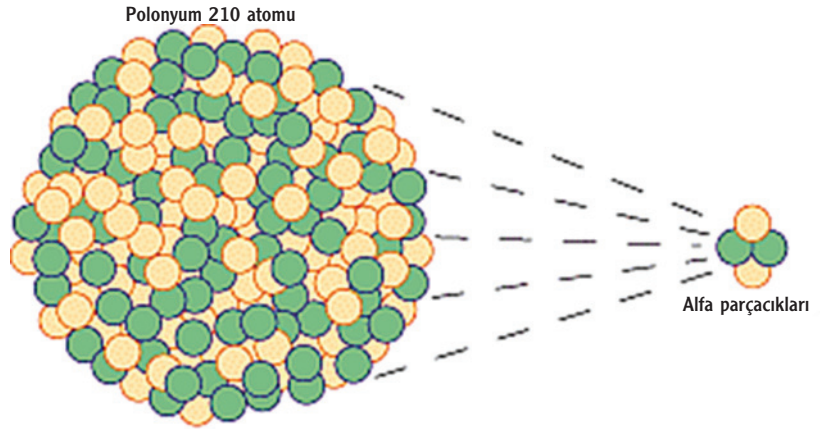
Doz	Belirti (semptom)
0,05-0,2 Sv (5-20 REM)	Belirti yok.
0,2-0,5 Sv (20-50 REM)	Belirti yok, alyuvar sayımı geçici olarak azalır.
0,5-1 Sv (50-100 REM)	Hafif ışınım hastalığı, baş ağrısı, eneksiyon riskinde artış
1-2 Sv (100-200 REM)	Hafif ışınım zehirlenmesi, 30 günde %10 ölüm
2-3 Sv (200-300 REM)	Ağır ışınım zehirlenmesi, 30 günde %35 ölüm
3-4 Sv (300-400 REM)	Ağır ışınım zehirlenmesi, 30 günde %50 ölüm
4-6 Sv (400-600 REM)	Akut ışınım zehirlenmesi, 30 günde %60 ölüm
6-10 Sv (600-1000 REM)	Akut ışınım zehirlenmesi, 14 gün içinde %100’e yakın ölüm
10-50 Sv (1000-5000 REM)	Akut ışınım zehirlenmesi, 7 gün içinde %100 ölüm

edilmiş olduğuna işaret eder. Hatta, bizmutun elde edildiği mineral, çıkarıldığı madene özgün bazı safsızlıklar içerir. Reaktördeki nötron ışınımı sonucunda bu safsızlıklar,  $P^{210}$ 'un yanında ki diğer safsızlıklara dönüşür. Bu unsurların kimyasal bileşimini inceleyerek, herhangi bir  $P^{210}$  örneğinin hangi ülkede üretildiğini, hatta hammaddesinin o ülkenin hangi madeninden geldiğini belirlemek mümkündür.

Dünyadaki yıllık  $P^{210}$  üretimi 100 gram kadar ve bunun hemen tamamı, Rusya Federasyonu'ndaki RBMK tipi nükleer reaktörlerde üretiliyor ve tek bir yetkili satıcı aracılığıyla, Amerikan şirketlerine satılıyor. Yasa dışı kaynaklardan elde edilmesi güç. Elde edilse bile üzerinde çalışılması zor bir malzeme. Örneğin 1 gramlık  $P^{210}$  parçası; bünyesinde bu güçle üretilen ısıyı, doğal taşınım ile havaya veya ısı iletimiyle, temasta bulunduğu katılara, aynı hızla aktaramaz. Sıcaklığı giderek artar ve  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ulaşır. Halbuki polonyumun ergime noktası  $254\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Dolayısıyla, böyle bir  $Po^{210}$  örneği, kendiliğinden erir ve taşınması güç bir hale gelir. Bir başka nedenle daha...

Gerçi polonyumun kaynama noktası  $962\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Fakat çok daha düşük sıcaklıklarda bile, bir polonyum örneğinin yüzeyinden zerrecikler koparak havaya karışır. Bir bakıma buharlaşmaya benzeyen bu 'aerosol' etkisinin, nedeni kesin olarak bilinmiyor. Ancak, dış yüze yakın bozunmalardan açığa çıkan alfa parçacıklarının yolları üzerindeki polonyum atomlarından bir grubunu önüne katıp, bünyeden zerrecik halinde kopartarak havaya kattığı sanılmaktadır. Örneğin  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılan bir polonyum parçası, 45 saat içerisinde kütlelerinin %50'sini bu 'uçuculuk' nedeniyle kaybeder. Halbuki  $Po^{210}$ 'un havaya karışması tehlikeli bir durum...

Alfa parçacıkları civar atomlarla güçlü bir şekilde etkileştiklerinden, özellikle katı malzemelerde fazla mesafe katedemiyor. Menzilleri milimetrenin kesri kadar ve kağıt kalınlığındaki bir katı madde tarafından durdurulmaları mümkün. Dolayısıyla, vücut dışındaki bulunan bir ışınletkin maddeden yayılan alfa parçacıkları, derinin ölü dış katmanını ('epidermis') geçemez ve metabolizmaya ciddi zarar veremezler. Fakat, eğer ışınletkin madde solunum ya da sindirim yoluyla, vücudun içine



alınacak olursa, zarar potansiyeli oransız bir şekilde artar. Çünkü, kaynak canlı dokunun içine girdiğinde, parçacıklar kısa bir mesafe içerisinde de olsa, hücredeki moleküllerin yapısında ciddi bozulmalara yol açarlar. En fazla etkilenen işlev, hücre bölünmesi sırasındaki kimyasal haberleşme süreçleri. Bu süreçler aksadığında, bölünme ölümle sonuçlanır. Dolayısıyla, özelde alfa parçacıkları ve genelde ışınletkinlik, en fazla, çabuk bölünen hücrelerin ölümüne yol açar. Örneğin, kanserli hücreler hızla bölünüp çoğalan hücrelerdir ve ışınletkinlik karşısında, normal hücrelerden daha fazla etkilenirler. Kanser hastalarına 'ışınla tedavi' ('rad-yoterapi') yönteminin uygulanmasının ardında yatan neden bu. Fakat bu sırada, kanserli hücrelerin yanında, ışına maruz kalan sağlıklı hücrelerin bazıları da ölmektedir. Kaldı ki vücutta, sık bölünüp hızlı çoğalan normal hücreler de var. Örneğin mide ve özellikle de

bağırsak çeperini oluşturan ('mikrovi-li') hücreler, bir mukus katmanı tarafından korunmalarına çalışılıyor olsa da, asitli bir ortama yakınlıkları nedeniyle kısa ömürlüdürler ve hızlı çoğalmaları gerekir. Kemik iliğinde üretilen kan hücreleri de öyle. Öte yandan, kıldibi hücreleri ışımaya karşı, diğer hücrelere oranla daha fazla duyarlıdır. Dolayısıyla, ışınletkin bir maddenin 'kısa sürede' ('akut') olarak vücuda alınmasının yol açtığı ilk 'ışınma' ('radyasyon') hastalığı belirtileri; saç dökülmesi, bağırsak bozukluğu ve kansızlıktır. Bu semptomların etkinlikle devamı ölümle sonuçlanabilir. Örneğin, her biri aynı doza maruz kalan bir grup insanın %50'sinin ölümüne yol açan doz miktarına "%50 ölümcül doz" ('LD50') denir.  $Po^{210}$  için bu değer 4 Sievert'tir...

$Po^{210}$ 'un alfa ışınlayıcısı olması nedeniyle, ürettiği ısıyla aşırı ısınmayacak kadar küçük bir parçacığı, kağıt kalınlığında bir maddeyle sızdırmaz bir şekilde kaplandığı takdirde, asla önerilmemekle beraber, cepte dahi taşınabilir. Ancak, aynı parçacığın kabında ufak bir açıklığın oluşması halinde,  $Po^{210}$ , aerosol etkisiyle havaya karışmaya başlar ve hem taşıyan, hem de civardakiler için ciddi bir tehdit unsuru oluşturur. Polonyum kimyasal özellikleri açısından tellür ve bizmuta benzediğinden, onların izlediği biyokimyasal patikayı izleyerek dalak ve karaciğerde daha fazla birikmesi beklenir. Dalak 150 g kadarlık, karaciğerse 1,5-3,5 kg arasındaki kütleleriyle vücudun küçük birer kısmını oluşturdularından, belli bir miktar ışınletkin malzemenin bu organlarda toplanması, tüm vücuda yayılmasına oranla daha büyük bir ışınlanma riski oluşturur. Çünkü diğer yandan, polonyumun vücuttan atılış hızı yavaştır. 'Biyolojik

1897'de Marie ve Pierre Curie tarafından bulundu

Polonyum, parçalanırken alfa parçacıklarını serbest bırakır. Alfa parçacıklarının küçük bir etki alanı vardır ve çeşitli engeller bunları durdurabilir; bu engellerden biri de sağlıklı, zarar görmemiş insan derisidir. (Bu nedenle bu maddeye dokunurken koruyucu giysiler giyilmesi gerekir.)

Uranyumdan 400 kat daha radyoaktif

Vücut dışında yarılanma ömrü 138 gün

Polonyum-210'ün zehir etkisi göstermesi için besinlerle alınması gerekir; sindirim yoluyla, ender olarak derideki yaralar ve solunum yoluyla alındığında da zehir etkisi yapar.

0,1 mikrogramı öldürücü etki yapabilir (bir topluluğunun başı büyüklüğünde bir miktarda).

Alfa parçacıkları, bedende yol alırken kollarına çıkan tüm molekülleri iyonlaştırır. Zehirlenmeye ilk olarak barsaklardaki ve kemiklerdeki hücreler gibi hücreler gibi çok sık bölünen hücre tipleri tepki gösterir.

Birkaç gün sonra bedende ışınlama maruz kalmannın etkileri gözlenmeye başlar: Saç dökülmesi, güçten düşme, ishal, su kaybı, kansızlık, buunda ve ağızda kanama.

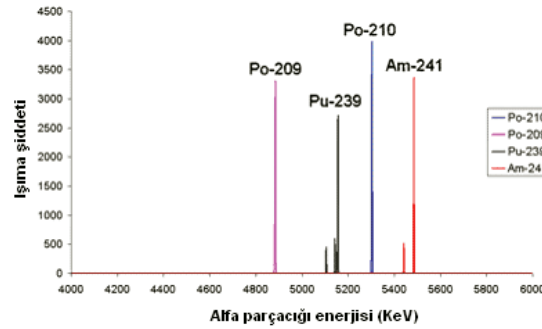
Vücut içinde yarılanma ömrü 30-50 gün

Polonyum, % 90 dışkı, % 10 idrar yoluyla bedenden atılır.

yarıömürü 30-50 gün kadar. Bu süre içerisinde, biriktiği organlara ağır zarar verir. Fakat, ağır metallerde olduğu gibi, polonyumun da vücuttan atılışını hızlandırmak mümkün. Bunun için, ‘panzehir’ olarak nitelendirilen ‘kıskaçlama unsurları’ (‘chelating agents’) kullanılıyor. Söz konusu maddelerin molekülleri, ağır metal veya polonyum atomlarını, güçlü bir çift bağla yakalayıp, suyla çözünebilen bir bileşik oluşturur. Hedeflenen atomlar böylelikle, dolaşım sistemine daha büyük miktarlarda karışıp, böbreklerde süzülerek, daha yüksek bir hızla dışarı atılır. Bu maddelerin ilki, I. Dünya Savaşı’ndaki zehirli gaz kullanımına karşı geliştirilmiş olan, kimyasal adıyla “2,3-dimerkaptoproponal”, ticari adıyla da ‘İngiliz, Lewis-Karşıtı Ajan’, yani kısaca ‘BAL’dı. Organik bir ‘ikili tiyol bileşiği’ olan bu maddenin, ‘merkaptan’lar içerdiğinden dolayı, yan etkileri ağırdı. Zamanla ABD’de EDTA, Sovyetler Birliği’nde de DMSA ve DMPS gibi, merkaptan içermeyen seçenekler geliştirildi. Halen Po<sup>210</sup> panzehiri olarak kullanılan ikili tiyol bileşikler; BAL, unithiyol, oxatiyol. Polonyumla birleşerek; vücuttan kolayca atılabilen; kararlı ve çözünebilir birer bileşik oluşturuyorlar. En etkini ve yan etkileri açısından en güvenli oxatiyol.

Ancak, bir zehirlenme olayının yalnızca semptomlarına bakarak, kökeninin iştetkin bir madde olduğunu belirlemek, her zaman kolay değil. Çünkü, kimyasal zehir olarak çalışan bazı maddeler de, ‘ışınım hastalığı’nın kilere benzer semptomlar verir. Örneğin, sindirim yolları bozukluğu, ortak bir semptom oluşturur. Farelere karşı zehir olarak kullanılan talyum vakalarında, iç kanamalar ve saç dökülmesi de görülür. Dolayısıyla, zehirlenmeye yol açan unsurun iştetkin bir madde olduğunun saptanabilmesi için; böyle bir olasılıktan kuşkulandırılması ve o maddenin ışıdığı parçacıkların varlığını belirlemeye yönelik araçların kullanılması gerekir. Halbuki Po<sup>210</sup>, daha önce kayda geçmiş olan ve ölümle sonuçlanan başka herhangi bir vakası bulunmadığından, ilk akla gelecek olasılıklardan biri değildir. Po<sup>210</sup>’u etkin bir suikast aracı haline koyan başka bir özelliği daha var...

Alfa ışınlayıcılar genelde, bozunmalarının bazılarında gama ışını da yayarlar. Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardan oluşan bu ışınlar, alfaların aksine; maddeyle zayıf bir şekilde etkileşir, durdurulmaları görece çok daha zordur. Dolayısıyla, ışınlandıkları ortamda hem uzun mesafeler katederler hem de yüksek enerjili olduklarından, varlıklarının belirlenmesi görece daha kolaydır. Kaynak, algılayıcıdan uzakta bile olsa, gama ışınlarının uzun erimi nedeniyle kendisini ele verir. Halbuki Po<sup>210</sup>’un bozunmalarında, gama ışınlama oranı çok düşük olup, 100.000’de 1 kadardır. Düşük şiddetle ışınlanan bu gama ışınlarının belirlenmesi kolayca mümkün değildir. Dolayısıyla, doğrudan alfa parçacıklarının aranıyor olması ve belirlenmesi halinde, enerji dağılımlarına bakılarak, hangi çekirdek veya çekirdekler tarafından ışınlandıklarının anlaşılmasına çalışılması gerekir. Halbuki ışınan alfa parçacıklarının çoğu, kaynak olan malzemenin kendisi



tarafından durdurulmaktadır. Bu yüzden, belirleme işlemi için, özel aygıtların kullanılması gerekir. Örneğin ‘alfa spektrometresi’ düzeneğinde; kaynak olduğundan kuşkulandırılan malzemenin bir örneğin sulu bir çözeltisi oluşturulup, metal bir disk üzerine yayılarak buharlaşmaya bırakılır. Amaç diskin üzerinde ince bir katmanın kalmasıdır. Ki, ışınan alfa parçacıkları bu ince katman tarafından durdurulmasınlar ve diske doğru bakan bir algılayıcının penceresine kadar ulaşmayı başarıp, kayda geçirilebilsinler. Bir diğer seçenek, ‘ışıldama’ (‘sintillasyon’) sayımına dayalı bir spektrometre kullanmak. Bu düzenekte, örneğin sulu çözeltisi, ışıldama sıvısıyla karıştırılır ve alfa parçacıklarının yol açtığı parıldamalar izlenip, şiddetlerine göre kaydedilir. Her iki düzenekte de sonuç olarak; kaydedilen alfa ‘darbe’lerinin, enerjilerine göre sayısından oluşan bir grafik

inşa edilir. Bu, bir ‘alfa ışınım spektrumu’ oluşturur. Yandaki şekilde, Po<sup>210</sup> dahil üç ayrı izotopun, imza niteliği taşıyan ışınım çizgileri görülüyor. Oluşan grafiğin çizgilerinin enerji konumlarına bakarak, iştetkin maddenin hangi çekirdek veya çekirdeklerden oluştuğu, hatta çizgilerin yüksekliklerinden hareketle de, örnek içindeki yoğunluklarının oranlarını, hatta elde başvuru ölçümleri varsa eğer, mutlak miktarlarını belirlemek mümkün.

Normal olarak soluduğumuz havada, yerkabuğundaki veya içinde yaşadığımız binaların betonlarındaki uranyumun bozunması sonucunda oluşan ‘radon gazı’nın bozunmasıyla oluşan bir miktar Po<sup>210</sup> bulunur. Bir insanın sindirim yoluyla alabileceği Po<sup>210</sup> miktarı için güvenlik sınırı 6,8 pg (pikogram = 10<sup>-12</sup> gram - 1 gramın trilyonda biri) düzeyinde. Tek bir Po<sup>210</sup> çekirdeğinin bozunmasının yol açtığı ‘ışınım dozu’, sindirim yoluyla alınırsa 0,51 µSv (mikroSievert), solunum yoluyla alınırsa 2,5 µSv’dir. Yani ölümcül dozu oluşturan 4 Sv; sindirim yoluyla alınan 50 ng (ng=10<sup>-12</sup> gram) veya solunum yoluyla alınan 10 ng’a eşdeğerdir. Dolayısıyla, solunum yoluyla alınan 1 gram Po<sup>210</sup>, kuramsal olarak 100 milyon insanı zehirleyip, bunların %50’sini öldürebilir. Kişi başına 100 ng’ı (nanogram = gramın milyarda biri) ise, kesin ölüm getirir. Halbuki Litvlenko’ya verilmiş olan miktarın miligram düzeyinde olduğu sanılıyor. Yani ‘ölümcül dozun’ 10.000 katı...

Gerçi doğada ‘kusursuz bir cinayetin işlenemez’ olduğu söylenir. Ama, 100 ng’lık bir kapsül söz konusu olsaydı, aynı akıbete yol açacak olan semptomlar çok daha yavaş gelişir ve bu kadar dikkat çekmezdi. Semptomlar ağırlaştığında, aylarca sonra, iştetkinlik hayli azalmış olurdu. Gerçi, ışınım zehirlenmesinden kuşku doğması halinde, bu bir otopsiyle hâlâ anlaşılabilirdi. Fakat, sorumluların geride bıraktıkları izler zayıflamış olacağından, takiplerinin süreci büyük olasılıkla çıkmaz sokaklara varırdı. Bu vakanın doz hesabında bir hata yapılmış. Araç amaca uygun seçilmiş olmakla beraber, icraatı kötü...

Prof. Dr. Vural Altın  
Bilim ve Teknik Dergisi Yayın Kurulu Üyesi