

Radyoaktif sigara: Tütün + Polonyum-210 + Kurşun-210

Radioactive smoke: tobacco + Polonium-210 + Lead-210

Bayram DEMİR,¹ Murat OKUTAN²

¹*Istanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümü, İstanbul*

²*Istanbul Üniversitesi, Onkoloji Enstitüsü, Sağlık Fiziği Bilim Dalı, İstanbul*

Akciğer kanseri 20. yüzyılın başlarında nadir görülen bir hastalık iken, sigara içme alışkanlığındaki artışa paralel olarak sıklığı giderek artmış ve dünyada en sık görülen kanser türü haline gelmiştir. Akciğer kanserine sebep olan sigara bileşenleri her ne kadar katran, kadmiyum, aseton, arsenik vb kimyasallar olarak bilinse de son yıllarda ortaya çıkan gerçekler, sigarada bulunan Polonyum-210 ve Kurşun-210 gibi radyoaktif izotoplarının da çok önemli kanserojen bileşenler olduğunu göstermiştir. Bu yazıda sigaranın içerdiği radyoaktif izotoplar, bu izotopların tütüne geçiş yolları, tütünden akciğere geçiş yolları hakkında bilgiler verilerek, bu radyoaktif izotopların akciğerde meydana getirdikleri biyolojik radyasyon dozlarına ve tütün kullanımının zararlarına dikkat çekilecektir.

Anahtar sözcükler: Akciğer kanseri; Kurşun-210; Polonyum-210; radyoaktivite; sigara.

While lung cancer has been an illness which is rarely being identified since the beginning of 20th Century, its frequency has increased in parallel with the increase in smoking status and it has become the most common type of cancer in the world. Although cadmium, acetone arsenic etc. are known the smoke components causing the lung cancer, the recent facts in this issue have showed that Polonium-210 and Lead-210 in the smoke are also very important smoke components causing the lung cancer as well. In this paper, while the radioactive isotopes in the smoke, transition pathways of these isotopes to tobacco, transition mechanisms from smoke to lung are discussed; biological doses in the lung and hazardous of smoking are expressed.

Key words: Lung cancer; Lead-210; Polonium-210; radioactivity; smoke.

Akciğer Kanseri ve Sigara

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre 2008 yılında tüm dünyada 7.6 milyon insan kanserden ölmüştür. Kanser türleri içerisinde akciğer kanseri hem sıklık hem de ölüm oranları açısından dünyada başta gelen kanser türlerindedir. Öte yandan DSÖ dünya çapında 1.3 milyar insanın sigara bağımlısı olduğunu ve her yıl 5.4 milyon insanın sigaraya bağlı hastalıklardan öldüğünü rapor etmiştir. Eğer bu süreç devam ederse 2030'lu yıllarda bu rakamın 30 milyonu bulması beklenmektedir.^[1]

Akciğer kanseri 20. yüzyılın başlarında nadir

görülen bir hastalık iken, sigara içme alışkanlığındaki artışa paralel olarak sıklığı giderek artmış ve dünyada en sık görülen kanser türü haline gelmiştir. Sigaranın sebep olabileceği kanser riski; sigara içme süresi, toplam içilen sigara ve sigaraya başlama yaşına göre değişir. Aktif sigara içiciliğinden sonra akciğer kanserinin en önemli ikinci risk faktörü pasif sigara içiciliğidir. Akciğer kanserine sebep olan sigara bileşenleri her ne kadar katran, kadmiyum, aseton, arsenik vb kimyasallar olarak bilinse de,^[2] son yıllarda ortaya çıkan gerçekler, tütün ve sigarada bulunan Polonyum-210 (Po-210) ve Kurşun-210 (Pb-210) radyoaktif izotoplarının da çok önemli kanserojen bileşenler olduğunu

göstermiştir. Sigarada Po-210 ve Pb-210 varlığı 1960'lı yılların başlarında yapılan çalışmalar sayesinde ortaya çıkarılmıştır.^[3-6] Daha sonraki yıllarda bu konu kamuoyunda fazla gündeme gelmemiş ve uzun yıllar geri planda kalmıştır. Fakat zamanla sigaranın zararları konusunda dünya kamuoyunda oluşan bilinçlenme sayesinde sigara ve tütündeki radyoaktif izotopların araştırılması son yıllarda oldukça önemli bir konu haline gelmiştir.^[7-11]

Bu yazıda sigaranın içerdiği radyoaktif izotoplar, bu izotopların tütüne geçiş yolları, tütünden akciğere geçiş yolları hakkında bilgiler verilerek, bu radyoaktif izotopların akciğerde meydana getirdikleri biyolojik radyasyon dozlarına ve tütün kullanımının zararlarına dikkat çekilecektir.

Polonyum-210 ve Kurşun-210 Radyoizotopları

Po-210 alfa yayınlı ve yarılanma süresi 138.4 gün olan radyoaktif bir izotoptur. Po-210 bir adet 5.3 MeV enerjili alfa parçacığı yayınlamaya Kurşun-206 (Pb-206)'ya bozunur. Pb-206 kararlıdır. Ancak Polonyum yüksek radyoaktivitesi olan çok zehirli bir radyoaktif elementtir. 1 mgr Po-210'nun aktivitesi yaklaşık 5 gr Radyum-226'nın aktivitesine eşittir.^[12]

Tütünde bulunan bir diğer radyoaktif izotop da Kurşun-210 (Pb-210)'dur. Pb-210 elektron ve gama fotonu yayınlamaya Bizmut-210 (Bi-210) bozulan radyoaktif bir izotoptur. Bi-210'da yine elektron yayınlamaya tehlikeli alfa ışınları yayınlamaya

layan Po-210'a bozunur. Po-210 ile aynı radyoaktif bozunma zincirinden gelen Pb-210, 22.4 yıllık yarı ömürle Po-210 dan daha uzun bir ayrı ömre sahiptir (Şekil 1).^[13]

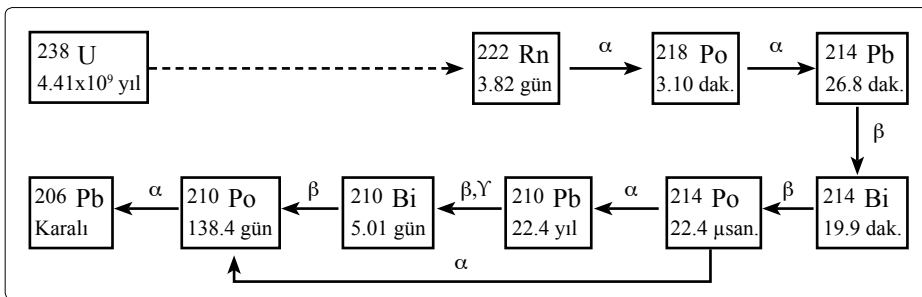
Alfa ışınları Helyum-4 çekirdeğinden oluşur ve içinde iki proton ile iki nötron bulunur. Alfa ışınları elektronlara göre daha yüksek kütleleri ve yükleri olan parçacıklardır. Bundan dolayı da yüksek LET (Lineer Enerji Transferi) ve yüksek RBE (Rölatif Biyolojik Etkinlik) değerlerine sahiptirler. Penetrasyon güçleri çok yüksek olmayan alfa parçacıkları, havada sadece birkaç santimetre ilerleyebilirler ve yüksek iyonizasyon güçleri sebebiyle dokuda birkaç mm içinde kolayca absorbe olurlar. Yolları üzerindeki hücrelere çok fazla tahribat vermelerinden dolayı canlılar için çok tehlikelidir.^[14]

Polonyum-210 ve Kurşun-210 Tütüne Nasıl Geçer?

Po-210 insan dokusunda bulunabildiği gibi birçok yiyecek ve bitkide bulunabilmektedir. Po-210 nun ana kaynağı yiyeceklerdir. Spencer ve ark.^[15] çalışmalarına göre, yetişkin bir insanın vücudundaki Po-210'un %77.3'lük bir kısmı yiyeceklerden, %4.7'si sudan ve %0.6'sı da havadan vücuda geçerken, %17.4'lük gibi önemli bir kısmı da sigaradan vücuda geçmektedir.

Po-210'nun tütüne geçmesinde üç önemli yol vardır.

1) Polonyum-210 Uranyum-238 (U-238) bozu-



Şekil 1. Uranyum serisinden gelen Radon-222 bozunum zincirinin bir ürünü olan Polonyum-210 (Po-210) sonuça bir adet alfa yayınlamaya kararlı Kurşun-206 (Pb-206) ya bozunmaktadır. Po-210 yüksek radyoaktivite özelliği ve 138.4 günlük yarı ömrü nedeniyle oldukça tehlikeli bir radyoaktif izotoptur. Bozunum zincirinde bir diğer tehlikeli üründe beta yayınlamaya Bizmut-210'a bozulan Kurşun-210 (Pb-210) dur. Yine Pb-210 22.4 yıllık yarı ömürle beta ve gama yayınlamaya Po-210'a bozunmaktadır.

num zincirinin bir ürünüdür ve bitki kökleri sayesinde doğrudan uranyum içeren arazilerden tütüne geçebilmektedir.^[16,17] Tütün üretiminde kullanılan tarım alanlarının uranyum açısından kontrol edilmesi ve yüksek uranyum konsantrasyonu içeren bölgelerin tütün tarımına açılmaması sigaradaki Po-210 ve Pb-210 miktarlarını düşmesini sağlayabilir.

2) Yağmur, kar, toz gibi meteorolojik olaylar sonucunda tütün yaprakların üzerinin Po-210/Pb-210'a bozulan bir radyoaktif izotopla kaplanması sonucu tütüne geçebilir. Özellikle Radon-222 (Rn-222) (Bu radyoizotop U-238 bozunumundan gelmektedir) radyoaktif elementi kolayca atmosfere karışabilen bir elementtir ve bunun bozunumunda oluşan Po-210 ve Pb-210 aktivitesinin tütün yapraklarında birikmesine aracılık sağlar. Sigara üretimi aşamasında tütün yapraklarının yıkanması, yapraklardaki Po-210 ve Pb-210 konsantrasyonunu düşecek yönde bir tedbirdir. Ancak tütünün aromasını yitirmesinden dolayı bu yöntem sigara üreticileri tarafından tercih edilmemektedir.^[18,19]

3) Po-210 ve Pb-210'un tütüne geçme yollarından bir diğeri de kimyasal gübre kullanımınıdır. Kalsiyum fosforlu gübreler radyum açısından zengindir ve bu tür gübrelerin tütün tarımında kullanımı tütüne geçen radyum miktarını artırmakta ve dolayısı ile tütündeki Po-210 ve Pb-210 miktarı da artmaktadır. Kalsiyum fosfatlı gübreler yerine amonyum fosfatlı gübrelerin kullanımı ya da hayvanlardan elde edilen organik gübrelerin kullanımı durumunda Po-210 ve Pb-210 aktiviteleri düşebilmektedir.^[20-22]

Farklı ortamlarda yetişen farklı ülkelerin tütünlerdeki Po-210 ve Pb-210 miktarları farklılıklar göstermektedir. Fransız (23.2 mBq/g), Alman (19.2 mBq/g), Brezilya (25.4 mBq/g) ve Mısır (21 mBq/g) tütünleri genel olarak yüksek aktivite içerirken, en düşük aktivite miktarları, Kanada (7.9 mBq/g), Norveç (8.6 mBq/g) ve Hindistan (3.96 mBq/g) tütününde tespit edilmiştir. Türk tütünü (14.3 mBq/g) ise orta derecede bir radyoaktivite içermektedir.^[23,24]

Polonyum-210 ve Kurşun-210'dan Kaynaklanan Akciğer Dozlar

Po-210 ve Pb-210'un vücuttaki yolculuğu si-

garanın yakılması ile başlar. Sigaradan nefes alınması ile tütündeki sıcaklık 800-900 dereceye kadar çıkar. Böylece sigara dumanı üretilmiş olur. Bu sigara dumanı %5 parçacıklardan ve %95 dandan oluşur.^[25] Duman çok yüksek radyoaktif ürün içermezken sigara dumanının %5'lik parçacıklı kısmı yüksek radyoaktif ürünleri içerir. Sigaradaki Po-210 miktarının yaklaşık %50'si bu duman-parçacık karışımına geçer.^[8] Nefes yolu ile çekilen bu parçacık ve duman karışımı ilk olarak bronşo-pulmoner bölgede birikir, spiral hareketlerden dolayı özellikle de bronşiyal bifurkasyon bölgede çok yüksek radyasyon dozları rapor edilmiştir. Otopsi raporlarından elde edilen bulgulara göre, sigara içen birinin bifurkasyon bölgesi dozunun (500 mBq/g), aynı kişilerin akciğer parankim dokusu dozundan (0.5 mBq/g) yaklaşık 1000 kat fazla olabileceği rapor edilmiştir.^[26,27]

Sigara kullanımından kaynaklanan biyolojik dozlar, yıllık alınması müsaade edilen dozlarla (1 mSv) kıyaslandığında çok fazladır.^[28] Çeşitli medikal uygulamalar ile kıyaslandığında da alınan dozların önemi ortaya çıkmaktadır. Örneğin, bir akciğer röntgen filminden alınan radyasyon dozunun yaklaşık 0.04-0.06 mSv olduğu, ya da bir kafa bilgisayarlı tomografisinden alınan ortalama radyasyon dozunun 1-2 mSv olduğu göz önüne alınır, ^[29] günde bir paket sigara (20 tane) içen bir kişinin maruz kaldığı bir yıllık 80-90 mSv radyasyon dozunun büyüklüğü daha iyi anlaşılır.

Bir başka çalışmada Black ve Bretthauer^[30] çok fazla sigara kullanan bir kişinin günlük 0.83 mSv (yıllık 303 mSv) kadar Po-210 kaynaklı radyasyon dozuna maruz kalabileceğini göstermiştir. Radford ve Hunt^[5] günde bir paket sigara içen birisinin yıllık 0.4 Sv doza maruz kalması durumunda, 25 yıllık kullanım sonucunda toplamda yaklaşık 10 Sv radyasyon dozuna maruz kalabileceği rapor edilmiştir. Alınan bu radyasyon dozları doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozlarla kıyaslandığında 100-150 kat fazladır. Yıllık toplamda 0.287-0.444 mSv gibi daha az radyasyon dozu rapor eden çalışmalarda^[9] olmasına rağmen yinede alınan radyasyon dozları gereksizdir ve küçümsenemeyecek oranda önemlidir. Örneğin Çernobil reaktör kazasından da alınan yıllık Cs-137 dozunun ortalama 0.199 mSv

olduğu göz önüne alınırsa maruz kalınan dozun önemi daha iyi anlaşılır.^[31]

Sonuç

Ülkemiz ve dünyada akciğer kanseri olguları sürekli artış göstermektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biride sigara kullanımınıdır. Sigara bir çok zararlı kimyasal içermekle beraber, Po-210 ve Pb-210 gibi alfa yayınlayıcısı radyoaktif ürünlerde içermektedir. Bu radyoaktif izotoplar duman yolu ile akciğerde toplanmakta ve oradan da kan ve diğer organlara da dağılmaktadır. Sigara kullanımı sadece kullanımı değil, dumanın solunması yolu ile ortamda bulunanları da direkt etkilemektedir. Öte yandan sigarada filtre kullanımı her ne kadar diğer kimyasalları belli oranlarda tutsa da, Po-210 miktarını ancak ortalama %4.6 oranında engelleyebilmektedir.^[32]

Her açıdan sağlığımızı tehdit eden bu alışkanlıktan kurtulmak, hem kişisel sağlığımızı hem de toplumsal sağlığımızı olumlu yönde etkileyecektir. Sigara kullanım yaşı 14-15'lere kadar inmiş durumdadır ve her yaş gurubu için sigara ve tütün kullanımını azaltacak ulusal eğitim programları sürekli olarak uygulanarak bu alışkanlığın önüne geçilmeye çalışılmalıdır. Ayrıca tütün ve sigara üreticileri Po-210 ve Pb-210 konsantrasyonlarını minimum düzeyde tutacak üretim metotlarına yönlendirilmelidir. Sigara şirketleri sigara paketlerinin üzerine Po-210 ve Pb-210 miktarlarını gösteren uyarı yazıları yazmakla mükellef tutulmalıdır.

Kaynaklar

1. World Health Organization (WHO), Cancer. 2010, <http://www.who.int/cancer/en/>.
2. Kilkhauf GF. Cancer risk in relation to radioactivity in tobacco. *Radiol Technol* 1996;67(3):217-22.
3. Turner RC, Radley JM, Mayneord WV. The naturally occurring alpha-ray activity of foods. *Health Phys* 1958;1(3):268-75. [CrossRef](#)
4. Marsden E, Collins MA. Alpha-particle activity and free radicals from tobacco. *Nature* 1963;198(4884):962-4.
5. Radford EP Jr, Hunt VR. Polonium-210: A volatile radioelement in cigarettes. *Science* 1964;143(3603):247-9. [CrossRef](#)
6. Holtzman RB, Ilcewicz FH. Lead-210 and polonium-210 in tissues of cigarette smokers. *Science* 1966;153(3741):1259-60. [CrossRef](#)

7. Desideri D, Meli MA, Feduzi L, Roselli C. 210Po and 210Pb inhalation by cigarette smoking in Italy. *Health Phys* 2007;92(1):58-63. [CrossRef](#)
8. Khater AE. Polonium-210 budget in cigarettes. *J Environ Radioact* 2004;71(1):33-41. [CrossRef](#)
9. Savidou A, Kehagia K, Eleftheriadis K. Concentration levels of 210Pb and 210Po in dry tobacco leaves in Greece. *J Environ Radioact* 2006;85(1):94-102. [CrossRef](#)
10. Meli MA, Desideri D, Roselli C, Feduzi L. 210Po determination in urines of people living in Central Italy. *J Environ Radioact* 2009;100(1):84-8. [CrossRef](#)
11. Carvalho FP, Oliveira JM. Polonium in cigarette smoke and radiation exposure of lung. *Czechoslovak Journal of Physics* 2006;56(4):697-703. [CrossRef](#)
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_polonium.
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_lead.
14. Özalpan A. Temel radyobiyojoloji. İstanbul: Haliç Üniversitesi Yayınları; 2001.
15. Spencer H, Holtzman RB, Kramer L, Ilcewicz FH. Metabolic balances of 210 Pb and 210Po at natural levels. *Radiat Res* 1977;69(1):166-84. [CrossRef](#)
16. Skwarzec B, Strumińska DI, Ulatowski J, Golebiowski M. Determination and distribution of 210Po in tobacco plants from Poland. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2001;250(2):319-22. [CrossRef](#)
17. Tso TC, Hallden NA, Alexander LT. Radium-226 and polonium-210 in leaf tobacco and tobacco soil. *Science* 1964;146(3647):1043-5. [CrossRef](#)
18. Fleisher RL, Parungo FP. Aerosol particles on tobacco trichomes. *Nature* 1974;250(462):158-9. [CrossRef](#)
19. Martell EA. Radioactivity of tobacco trichomes and insoluble cigarette smoke particles. *Nature* 1974;249(454):215-7. [CrossRef](#)
20. Singh DR, Nilekani SR. Measurement of polonium activity in Indian Tobacco. *Health Phys* 1976;31(4):393-4.
21. ACSA. "Radioactive Polonium found in tobacco," belonging to Robert Martin: American Computer Scientists Association (ACSA), 2002 <http://www.acsa2000.net/HealthAlert/lungcancer.html>.
22. Peres AC, Hiromoto G. Evaluation of 210Pb and 210Po in cigarette tobacco produced in Brazil. *J Environ Radioact* 2002;62(1):115-9. [CrossRef](#)
23. Karali T, Ölmez S, Yener G. Study of spontaneous deposition of 210Po on various metals and application for activity assessment in cigarette smoke. *Appl Radiat Isot* 1996;47(4):409-11. [CrossRef](#)
24. Schayer S, Nowak B, Wang Y, Qu Q, Cohen B. 210Po and 210Pb activity in Chinese cigarettes. *Health Phys* 2009;96(5):543-9. [CrossRef](#)
25. Zagà V, Lygidakis C, Chaouachi K, Gattavecchia E. Polonium and lung cancer. *J Oncol* 2011;2011:86103.

26. Little JB, Radford EP Jr. Polonium-210 in bronchial epithelium of cigarette smokers. *Science* 1967;155(3762):606-7. [CrossRef](#)
27. Little JB, Radford EP Jr, McCombs HL, Hunt VR. Distribution of polonium-210 in pulmonary tissues of cigarette smokers. *N Engl J Med* 1965;273(25):1343-51. [CrossRef](#)
28. ICRP Publication 103. The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, 2007.
29. Payne JT. CT radiation dose and image quality. *Radiol Clin North Am* 2005;43(6):953-62. [CrossRef](#)
30. Black SC, Bretthauer EW. Polonium-210 in tobacco. *Radiol Health Data Rep* 1968;9(3):145-52.
31. Papastefanou C. Radioactivity of tobacco leaves and radiation dose induced from smoking. *Int J Environ Res Public Health* 2009;6(2):558-67. [CrossRef](#)
32. Skwarzec B, Ulatowski J, Struminska DI, Boryło A. Inhalation of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb from cigarette smoking in Poland. *J Environ Radioact* 2001;57(3):221-30. [CrossRef](#)