

## Kaliforniyum Nasıl bir Madde?

### Nerede yapılıyor, Ne İşe Yarar, Atom Bombası Yapılır mı? Neden Çok Pahalı?

Yüksel Atakan, Dr. Radyasyon Fizikçisi, [ybatakan@gamil.com](mailto:ybatakan@gamil.com) Almanya

19.03.2018 günü medyada, polis operasyonu sonucunda, piyasa değeri 5,5 milyar dolar olan yaklaşık 1,5 kg Kaliforniyum radyoaktif maddesinin Ankara Pursaklarda ele geçirildiği, bunun yurt dışına 72 milyon dolara satılmak istendiği, 4 kişinin gözaltına alındığı haberi yer aldı. Ertesi günü Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun yaptığı açıklamada ise, yapılan ölçümler sonunda, bu maddenin kaliforniyum maddesi olmadığı, herhangi bir radyoaktivite özelliği bulunmadığı açıklandı /1/.

Biz bu olay ve yazılanları bir yana bırakarak, kaliforniyum ile ilgili bilgileri burada kısaca vermeye ve konuya yabancı bir çok kişinin aklına takılan soruları yanıtlamaya çalışacağız.

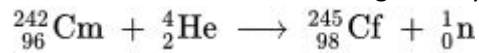
### Kaliforniyum nasıl bir madde?

Doğada bulunmayan, özel yapımlı hızlandırıcılarda yapay olarak üretilen ve nükleer fizikte Cf simgesiyle gösterilen kaliforniyum (Californium) radyoaktif bir maddedir. Kaliforniyum'un özgül kütlesi demirden 2 kat kadar daha büyük olup (15,1 gram/cm<sup>3</sup>) uranyum ötesi (transuran) 98 atom numaralı bir elementtir. Kaliforniyum'un 20 izotopu var (atom çekirdeğinde farklı sayıda nötron bulunan örnekleri ya da radyoizotopu). Bunlar içinde teknolojinin en çok kullandığı 252 kütle numaralı izotopu olan Cf 252'dir. Cf 252'nin yarılanma süresi yaklaşık olarak 2,6 yıl /2/ (Atom çekirdeği bozunarak yarıya inene kadar geçen süre). Özgül radyoaktivitesi de çok yüksek: 2x10<sup>13</sup> Bq/g ( 1 gramının saniyede bozunduğu sayı).

Kaliforniyum 252'nin en önemli özelliği, bundan çok az miktarın, çok sayıda nötron yayınlamasıdır: 1 mikro gramı (gramın milyonda biri) dakikada 140 milyon nötron yayınlıyor. Bu nedenle yoğun nötron kaynağı olarak çok çeşitli uygulama alanları var.

### Kaliforniyum ilk kez nasıl ve nerede üretildi?

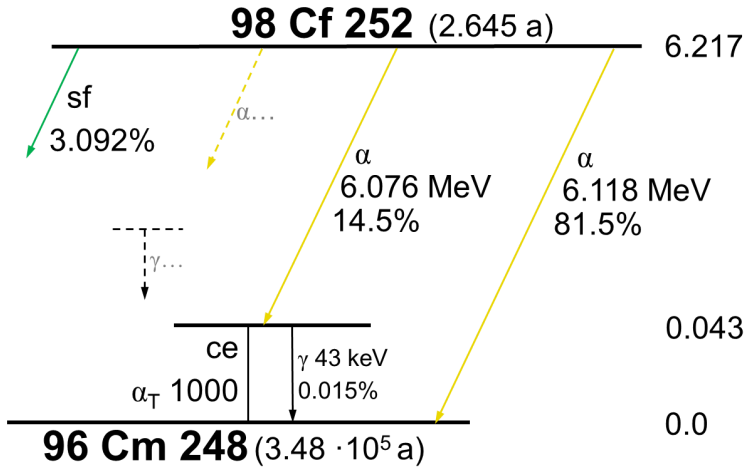
Kaliforniyum ilk kez 1950 yılında ,California Berkeley' üniversitesinde, özel bir hızlandırıcıda (Cyclotron), 1 mikrogram (gramın milyonda biri) kadar kuryum (curium) atom çekirdekleri, 35 MeV'luk enerjili Alfa tanecikleriyle (= Helyum atomunun çekirdekleriyle ) çarpıştırılmasıyla çok az miktarda (5000 atom kadar) kaliforniyum 245 elde edilebildi. Kaliforniyum adını, bu nedenle California Üniversitesinden alıyor. Kuryum (Cm)'dan, alfa (He) bombardımanı ile kaliforniyum elde edilmesi ve nötron salınması nükleer fizikte aşağıdaki şekilde gösteriliyor:



Bu şekilde oluşan Cf 245'den bir dizi ara atom çekirdeklerinden sonra Cf 252 ortaya çıkıyor.

Kaliforniyum 252 üretildikten sonra, 2,6 yıllık yarılanma süresi içinde kendiliğinden bozunmaya başlıyor. Cf 252'nin radyoaktif bozunum şeması aşağıda bulunuyor. Görüldüğü gibi ani çekirdek bölünmesiyle (sf: spontan fission) % 3 oranında ortaya çıkan nötronların yanı sıra bir dizi alfa (% 97 oranında), gama ve diğer radyasyonlar da yayınlıyor. Ancak alfalar büyük kütleleri ve elektriksel artı yükleri nedeniyle madde içinde 1-2 mm bile ilerleyemeden tutulurlarken, elektriksiz olarak yüksüz olan hızlı nötronlar ise maddeyi kolayca geçebiliyorlar. Teknolojide yerlerinin doldurulamaması da bu özelliğinden kaynaklanıyor. Not: Sayılardaki noktalar virgül anlamında olup Cf 252'nin yarılanma

süresi kabaca 2,6 yıldır (yıl= a).



### Kaliforniyum 252 bugün dünyada nasıl ve nerede üretiliyor, neden çok pahalı?

Kaliforniyum çok az miktarda (mikrogram= gramın milyonda biri düzeyinde) dünyada sadece iki yerde üretiliyor. Bunlar: ABD Oak Ridge National Lab ve Rusya'da Dimitrowgrad Araştırma Enstitüsünde. Kaliforniyum 252, 1950'deki ilk üretiminden sonra 1954 yılında ABD Oak Ridge'de Yüksek Akı'lı İzotop Reaktöründe (HFIR) yılda 25 mg (mg=gramın binde biri) üretilirdi. Bu reaktörde, berkelyum 249 izotopu nötronlarla bombardıman edilip berkelyum 250 ve bundan da bozunmayla Cf 250, ve daha sonraki nötron bombardımanlarıyla Cf 252 elde edildi. Ayrıca plütonyum, amerisyum ve kuryum'un da uzun yıllar (7-8 yıl) bombardıman edilmesiyle miligram düzeyinde Cf 252 üretiliyor.

Rusya Dimitrowgrad'da da yılda sadece 25 mg Cf 252 üretiliyor. Hem uzun sürede üretilmesi hem de özel reaktör, araç ve gereç gereksinimi sonucu Cf 252'nin fiyatı çok yüksek ve dünyanın en pahalı maddesi: 1 gramı 30 milyon dolar. Ancak çeşitli kullanım alanlarında, detektörlerde milyonda biri olan mikrogram kadarı yeterli olabiliyor. Dimitrowgrad'da üretilen Cf 252 örneğin Fransa'daki Areva reaktörlerine yollanıyor ve orada reaktörleri işletmeye başlatmak için nötron kaynağı olarak kullanılıyor. Yakında Rusya'dan Çin'deki reaktörlere de yollanacağı bildiriliyor.



Kaliforniyum 252'nin üretildiği Rusya'daki Dimitrowgrad Atom Araştırma merkezindeki reaktör

## **Kaliforniyum nasıl taşınıyor ya da gönderiliyor? 1 gram Cf 252 için 50 tonluk zırhlı kap**

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi kaliforniyum 252, çok sayıda nötronların yanı sıra alfa ve gama ışınları da yayınıyor. Bu nedenle, kaliforniyum 252, üretildiği yerden ancak kapsüllenmiş olarak, paslanmaz çelik ya da zirkaloy'dan yapılmış kalın duvarlı ağır zırhlı özel kaplar içinde taşınabiliyor. 1 gram'dan az Cf 252 için 50 tonluk taşıma kabı gerekiyor ve radyoaktif maddenin kaza, yangın gibi durumlarda çevreye saçılmaması için taşıma kabının son derece güvenli / korumalı olması gerekiyor (Bkz. Resim).



Resim'de, 1 gram kaliforniyumu çevresine radyasyon saçmadan ve kazalara kaşı güvenli olarak taşıyabilmek için kullanılan 50 tonluk devasa zırhlı kabın büyüklüğü görülüyor.

### **Dünyada piyasada ne kadar Cf 252 var?**

Cf 252'nin yarılanma süresinin 2,6 yıl gibi epey kısa olması sonucu, 80'li yıllardan önce üretilen Cf 252'nin bugün artık radyoaktif bozunmayla kendiliğinden yok olmuş olması önemli bir özellik ya da avantaj. Dünyada piyasada bulunan toplam miktarın bugün 50 mg'dan az olduğu hesaplanıyor.

### **Kaliforniyum 252 tıp ve teknolojide ne amaçla kullanılıyor?**

Çok az miktardaki Cf 252'nin çok sayıda nötron salması ve bunların madde içindeki yüksek giriciliği nedeniyle kanser hastalıklarında özellikle ameliyat edilemeyen ve diğer radyasyon terapisinin etkin olmadığı durumlarda, beyin tümörlerinin öldürülmesinde Cf 252 yararlı olabiliyor. Cf 252 en çok tıpta nötron radyolojisinde kullanılıyor (1994 de %77 oranında tıpta). Cf 252'li eriyiğe saç kalınlığında teller batırılarak bunlar Cf 252'yle kaplanıyor. Sonra bu incecik teller küçük parçalar halinde kesiliyor ve bunlardan biri hastanın beyin tümörüne yerleştirilerek sadece tümörün çok sayıda nötronla yoğun olarak ışınlanması ve çevredeki sağlıklı dokuların zarar görmemesi sağlanıyor.

Cd 252 nükleer reaktörler işletilmeye başlatılırken nötron kaynağı olarak da % 7 oranında kullanılıyor (1994). Ayrıca nötron detektörü olarak bazı önemli malzemelerin içindeki yabancı maddelerin tanınmasında (aktivasyon analiziyle) de % 6 oranında kullanılıyor. Örneğin, nükleer reaktörlerin kontrol çubuklarındaki, uçak ve silah malzemelerindeki bozuklukların ortaya çıkarılmasından, patlayıcı maddelerin bulunmasına kadar ,nötron detektörleri' olarak da çeşitli kullanım alanları bulunuyor. Bunlardaki korozyon, bozukluk, ince çatlakların, nemin ortaya çıkarılması

sağlanabiliyor. Açılan petrol kuyularında su ve petrol tabakalarının belirlenmesinde, altın ve gümüş yataklarının bulunmasında, hatta yeraltı sularının hareketlerinin izlenmesinde de Cf 252 de kullanılabilir. Taşkömür ve çimento sanayiinde de, madde analizlerinde Cf 252 kullanılabilir. Kaliforniyum bunlardan başka, uranyum ötesi yapay izotopların üretiminde de nötron kaynağı olarak kullanılıyor. Örneğin, sonradan Lawrensyum olarak adlandırılan 103 atom numaralı elementin yapımı, ilk kez 1961’de kaliforniyum’un boron atom çekirdekleriyle çarpışması sonucu oldu. 2006 yılında Oganesson adı verilen 118 atom numaralı elementin de Cf 249’un, Ca 48 atom çekirdekleri çarpıştırılmasıyla elde edildiği ve bu yeni elemetten 3 atomun belirlendiği bir Rus araştırma merkezince açıklandı.

#### **Kaliforniyum atom bombası yapımında kullanılabilir mi?**

Kaliforniyum izotopları içinde krtitik kütlesi 5 kg ile en uygun izotop Cf 251 olmasına rağmen, bundan piyasada bu kadar az görünen miktarın bile bulunamaması, yapılmasının ise özel reaktörlerde dahi çok uzun yıllar gerektireceği gibi nedenlerle atom bombası yapımı için elverişli bir madde olmadığı görülür.

#### **Cf 252’nin sağlık riski?**

Bir kaza sonucu kaliforniyum vücuda besinler yoluyla girerse, % 65 kemiklerde ve %25 karaciğerde yerleşiyor ve yoğun olarak alfa ve gamalarla vücuda etkili oluyor. Vücutta kalış süresi 20 ile 50 yıl arasında dğişebiliyor ve kansere neden olabiliyor. Bu nedenle gerek üretiminde gerekse laboratuvar analizlerinde, taşınmasında ve kullanılmasında çok dikkatli olunması, ilgili koruyucu önlemlerin alınması gerekiyor.

-----  
/1/

[https://www.ntv.com.tr/turkiye/turkiye-atom-enerjisi-kurumundan-kaliforniyum-aciklamasi,](https://www.ntv.com.tr/turkiye/turkiye-atom-enerjisi-kurumundan-kaliforniyum-aciklamasi)

/2/ Bazı kaynaklarda ABD sayı yazılımında 2,645’deki virgül yanlış anlaşıldığından 2,645 yıl yerine 2645 yıl yazılmaktadır.