

KÖRFEZ VE BALKAN SAVAŞLARI HASTALIKLARI? URANYUMLU MERMİLER, RADYASYON DOZLARI VE KANSER RİSKİ?

Geçtiğimiz haftalarda İsrail'in Lübnan'da diğer silahların yanısıra uranyumlu mermileri de kullandığı basın ve İnternet sayfalarında yer aldı. Uranyumlu mermiler ilk kez, yine İsrail'ce 1978'de Filistin'de kullanılmıştı. Çok daha sonraları, 2001 yılı başlarında, eski Yugoslavya savaşlarına 1990'lı yıllarda katılan askerlerde, kan kanseri hastalıklarının başgösterdiği haberleri gelmeye başladı. Bunun tartışılan nedeniyse Amerikan tanklarından ateşlenen uranyum çekirdekli mermilerdi. 1991 ve 2003 yıllarında Kuveyt ve Irak'taki Körfez Savaşları sonrasında da aynı konu gündeme gelmişti.

Birkaç yüz gramlık ve hızla fırlatılan bu türden 'uranyumlu mermilerin' kullanım nedeni, uranyumun yoğunluğunun çok büyük olması sonucu (19 g/cm^3), düşmanın çok katlı çelik kılıflı tanklarını kolayca delmesiydi. Bu sırada ortaya çıkan ısıyla, eriyen merminin yayılan uranyum buharı taneceklerinin tutuşmasıyla, tankın cephane ve akaryakıtı yanarak tank artık işe yaramaz duruma getiriliyordu. 1991'deki Kuveyt ve Irak'taki 'Çöl Fırtınası' savaşında kullanılan uranyumlu mermilerde toplam 330 ton kadar uranyum vardı. Bu savaşta 30 mm'lik GAU-8 silahlarıyla atılan 784.000 merminin büyük bölümü Amerikan A-10 savaş uçaklarından ateşlendi; ki bu toplam 230 ton uranyum demektir. İngilizler ve Amerikalılar 2003 Körfez Savaşlarında da bu cins mermilerden kullandılar.

Kosova savaşlarında uranyumlu mermilerden yaklaşık 31.000 adet kullanılarak 10 ton kadar uranyum harcandı. Bosna Hersek'te 1994/1995 de bunlardan 10.800 adet kullanıldı; ki bu 3,3 ton uranyum demektir. 1999'daki Kosova Savaşı'nda da uranyumlu mermiler ateşlendi.



Ayrıca, düşmanın uranyumsuz ve hatta uranyumlu mermilerini etkisiz bırakmak amacıyla, zırhları seyrelmiş uranyumdan olan tanklar da yapıldı. 1991'deki 'Çöl Fırtınası' savaşında Amerikalıların kullandığı 2054 tankın yaklaşık üçte biri (654 adedi) uranyum zırhlı tanklardı. 'Sandviç' denilen tank zırhı, iki çelik kılıf arasına 'seyrelmiş uranyumun' konulmasından oluşuyordu. Amerikalılar 2003 Körfez Savaşı'nda bu cins seyrelmiş uranyum zırhlı 'M1 Abrams' tanklarını kullandılar .

Seyrelmiş Uranyumlu Mermiler Nasıl Ortaya Çıktı?

Nükleer santraller ve atom bombaları için gerekli olan 'U 235 ile zenginleştirilmiş uranyum', doğal uranyumdan elde edilir-

ken, arta kalan büyük miktardaki uranyumda yoğun miktarda U 238 ve çok az miktarda da U 235 bulunuyor (Çizelge 1, 2). U 235 miktarının doğal uranyumdakinden çok daha az olması nedeniyle 'Seyrelmiş Uranyum' (DU) denilen bu 'yanmadde' önceleri pek bir işe yaramıyordu.

Neredeyse saf U 238'den oluşan, çok büyük miktardaki seyrelmiş uranyumun epey bir giderle güvenli olarak depolanması gerekiyor. 1 ton zenginleştirilmiş uranyum elde edilirken 7 ton kadar seyrelmiş uranyum ortaya çıkıyor. Uranyumun yoğunluğunun büyüklüğü ve ince toz tanecekleri halinde olup çabucak yanabilmesi nedenleriyle, seyrelmiş uranyumun mermilerin içine yerleştirilerek kalın zırhlı düşman tanklarına karşı etkin olarak kullanılması ve böylelikle dağ gibi biriken seyrelmiş uranyuma da bir kullanım alanı yaratılması düşünüldü (1999'da dünyadaki toplam seyrelmiş uranyum miktarı 1,2 milyon ton). Bu çözüm, hem nükleer yakıt üretim endüstrisi ve hem de silah endüstrisi için çok elverişli oldu. Seyrelmiş uranyumun

	U 238	U 235	U 234
Doğal Uranyum	% 99,28	% 0,72	% 0,0054
Seyrelmiş Uranyum (DU)	% 99,8	% 0,2	≈ % 0
Zenginleştirilmiş Uranyum	% 97	% 3	

Çizelge 1: Doğal, seyrelmiş ve 'nükleer santraller için zenginleştirilmiş' uranyumdaki izotoplar ve oranları

hiç değilse bir bölümü çok ucuz fiyatlarla ve hatta ücretsiz silah endüstrisine aktarılınca 'nükleer endüstrinin güvenli depolama' giderlerine de gerek kalmıyordu. Mermilerde kullanılan uranyum, ya bu şekilde ortaya çıkan seyrelmiş uranyumdur, ya da nükleer yakıtların reaktörlerde kullanımından sonra, içlerindeki U 235 izotopunu özel arıtım tesislerinde arındırılırken, artakalan seyrelmiş 'kirli uranyum'dur. Kirliyse reaktörlerde yan madde olarak oluşan plutonyum izotoplarından kaynaklanıyordu. Mermilerde bu cins 'kirli uranyum'un da kullanıldığı, atılan mermilerin içinde, doğal uranyumda bulunmayan U 236 izotopunun ölçümlerle ortaya çıkarılmasıyla saptandı. Mermilerin çarptığı hedeflerde ve çevresinde, bu nedenle, U 236 ve plutonyum izotoplarının bulunma olasılığı da vardı.

Uranyumlu mermiler çeşitli büyüklükte yapılmakta; 25 mm ve 30 mm çaplı olanları genellikle uçaklardan yerdeki hedeflere, 105 mm ve 120 mm çaplı olan daha büyükleri ise tanklardan ateşlenmekte.

Mermilerin düşman tanklarına giriciliğini arttırmak için seyrelmiş uranyuma % 0,75 oranında titan maddesi katılıyor ve alaşım ayrıca sertleştiriliyor. (Uranyum metali aslında yumuşak bir metal.) Mermilerin içindeki uranyumun patlayıcı bir özelliği yok. Uranyumlu mermilerin yıkıcı, yakıcı gücü, sadece hareket ya da kinetik enerjisinden kaynaklanıyor. Bir cismin kinetik enerjisi, kütlesi ve hızı arttıkça büyüdüğünden, belirli çaplı bir silahtan atılan daha büyük kütleli bir merminin vurucu gücünün ya da etkinliğinin artacağı açık. 30 mm'lik ve 275 gramlık bir uranyum mermisi saatte 3600 km'lik bir hızla fırlatıldığında bunun, saatte 72 km hızla giden 700 kg'lık bir otomobilin hareket enerjisine eşdeğer bir enerjisi oluyor, ama mermi bu yüksek eşdeğer enerjiyi sadece 1 cm²'lik bir alana çarparak aktarırken, katmerli zırhları sorunsuz delip geçiyor. Uranyumlu mermilerin askeri yönden başka bir üstünlüğü de, çarptığı yerde ucunun daha da sıvrilip giriciliğinin artması. Halbuki diğer cins mermiler hedefe çarptığında mantar şeklini aldıklarından bunların giricilikleri ve dolayısıyla etkinlikleri fazla olmuyor.

Uranyum Nasıl Bir Element?

92 atom numarasıyla uranyum elementi, atom numarası 89'dan başlayan aktinidlerle atom numarası 102 olan nobelium arasındaki aktinidler grubunda yer alıyor ve bunların sadece 93 numaralısının altındakiler doğada az miktarda bulunuyor. Bunlardan U-238 ve U-235 alfa ışınları olarak başka radyoizotoplara dönüşüyorlar, bunlar da alfa ya da beta ve gama ışınları yayınlarken bir dizi bozunma ürünlerinden sonra 'kararlı kurşun elementinde'



Amerikan A-10 Savaş Uçağı

son buluyorlar (Bkz.Çizelge 2). Aktinidler havada toz tanecikleri durumundayken kendiliğinden çabucak tutuşabiliyorlar ve sürtünmeyle kıvılcım saçıyorlar (pirofor özelliği).

Seyrelmiş Uranyumun Vücutta Oluşturabileceği Radyasyon Dozu

Vücut Dışından:

Uranyumdan yayılan alfa parçacıkları havada birkaç cm'de bile soğuruldıklarından, belirli bir uzaklıkta duran bir insana 'vücut dışından' etkili olamıyorlar. Bu nedenle dıştan ışınlanma yoluyla oluşabilecek doz sadece, uranyumdan türeyen izotopların doğal radyoaktif bozunumu sonucu ortaya çıkan girici gama ışınlarından kaynaklanıyor.

Vücut Dışından Gamalarla Işınlanma:

1 kg seyrelmiş uranyumun (DU) tüm parçalanma dizisindeki radyoizotoplarından ortaya çıkan toplam gama aktivitesi, saf U 238'inkinden biraz daha çok olup bu gama aktivitesi, 1 m uzaklıkta yılda yaklaşık olarak 2 mSv'lik bir doz oluşturabiliyor (Çizelge 2). Bu da, doğal radyasyonla yılda alınan doz düzeyinde. Ancak, ilgili kişinin merminin çarptığı yerde bir yıl kalması durumunda bu böyle. Gerçekte kısa sürede alınabilecek doz, bunun çok çok altında. Diğer yandan zırhlı seyrelmiş uranyumdan yapılmış olan ve uranyumlu mermilerle tam yüklü durumdaki bir tankın içindeki askerlerin hedef olabileceği doz hızı değeri saatte en çok 1,3 mikrosievert olarak hesaplanıyor; ki bu da oldukça küçük bir değer (10.000 m yükseklikte uçan bir uçakta, kozmik ışınlardan kaynaklanan doz hızı, bunun dört katı kadar).

Vücut İçinden Işınlanma:

Mermilerin çarptığı yer ve günlerde, savaş nedeniyle, radyoaktivite ve doz hızı ölçümlerinin bulunamayacağı açık. Bu nedenle savaş alanında bulunan ve sağ kalan askerlerin vücutlarına giren bir izotopun, vücudun belirli bir organında ve tümünde oluşturabileceği radyasyon dozunu hesaplayabilmek için bazı varsayımlarla model hesapları yapılması zorunlu.

Bu tür doz hesapları, kötümser varsayım ve ilgili model hesaplarını içeren, bilimsel çalışmalara dayanan Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurulu'nun (ICRP) yayınladığı 'Doz Katsayıları' yardımıyla yapılıyor. Doz katsayıları, vücuda giren 1 Bq'lık bir aktivitenin yetişkinler için 50 yıl ve çocuklar için de 70 yıl boyunca sievert olarak ne büyüklükte toplam bir doz oluşturabileceğini belirliyor.

Normal olarak vücuda solunum yoluyla alınan miktar 1 gramın çok altında olduğundan, hesaplamalarda çoğunlukla 100 mg ile 10 mg arasında bir değer gözönüne alınmakta.

ICRP 72-Teknik Raporundan kaynaklanan değerlere göre, solunum yoluyla vücuda alınan 1 gram seyrelmiş uranyum buharı yaklaşık olarak toplam 120 mSv'lik etkin doz oluşturuyor. Buradan, bir kişinin 100 mg uranyumlu havayı soluduğu varsayıldığında etkin dozun 12 mSv, 1 mg için ise 0,12 mSv olacağı bulunur. Öte yandan ICRP'nin öngördüğü sınır değer, genel halk için yılda 1 mSv olup, bu doz, 8,3 mg seyrelmiş uranyumun vücuda girmesiyle oluşabilir (= 1/0,12). Sağlık kontrolü altındaki tanktaki askerlerin 'Radyasyonla Çalışanlar' grubunda oldukları varsayımıyla, bu grup için yıllık sınır değer olan 20 mSv'den gidilerek 167 mg bulunur (= 20/0,12). Böy-

İzotop / Element	Yarılanma süreleri (Yıl)	Özgül Aktiviteleri (Bq/g)
Uranyum 238	4.468.000.000	12.450
Uranyum 235	703.800.000	80.040
Uranyum 234	245.000	230.410.000
Doğal Uranyum		25.380
Seyrelmiş Uranyum (DU)		12.580
U 234: % 0 ise		
Plutonyum 239	24.110	2.307.900.000
Toryum 232	14.050.000.000.	4.060

Çizelge 2: Seyrelmiş Uranyumlu mermilerle ilgili önemli izotopların yarılanma süreleri ve özgül aktiviteleri



Uranyumlu merminin uçuş sırasında yan parçalarından ayrılarak ok gibi hedefe yönelmesi

lelikle bir askerin, merminin çarptığı yer yakınında bulunan uranyumlu havadan ciğerlerine 167 mg çekmesi durumunda, yıllık sınıra değere ulaşılır. Diğer yandan vücuda giren 10 mg'dan fazla uranyum, vücutta 'ağır metal zehirlenmesi' oluşturduğundan, seyrelmiş uranyumun radyolojik zehirliliği, bu durumda, kimyasal zehirliliğinin yanında önemsiz kalıyor. Ancak, başka durumlarda vücuda alınan uranyum miktarına bağlı olarak her iki zehirliliğin de gözönüne alınması gerekiyor.

Çizelge 3'te seyrelmiş uranyumlu (DU) tank zırhından sadece transuran (uranyum üstü elementler) izotoplarından ve bölünme ürünlerinden 'Solunum Yoluyla' vücutta oluşabilecek doza katkıları gösterilmektedir. Bu çizelgedeki değerler, ABD'deki Idaho Nükleer Teknoloji Merkezinin (INTEC) seyrelmiş uranyum zırhlı tanklardan aldığı 60 örneğin laboratuvar ölçümlerine dayanmakta ve böyle bir araştırma çalışması ilk kez yapılmış (Army_2000). Ölçümler gerçekten de tank zırhında sadece Pu 239 değil transuranlardan amerisyum 241, neptunyum 237 ve plutonyum 238'in de bulunduğunu gösteriyor. Ayrıca uranyumun bir bölünme ürünü olan teknesyum 99 da var. Tüm bu bulgular, tank zırhında kullanılan seyrelmiş uranyumun içinde 'kirli uranyumun' (reaktörlerde daha önce kullanılmış uranyumun sonradan arıtılmasıyla arta kalan uranyum) da bulunduğunu kanıtlıyor.

Çizelge 3'te sırasıyla % 0,2 ve % 0,003 oranlarında U 235 ve U 236 içeren tank zırhından kaynaklanan uranyum buharının vücuda alınması sonucunda, transuranların ve bölünme ürünlerinin toplam doza katkısının en çok 0,042 mSv/g olduğu görülüyor. Bu değer, seyreltilmiş uranyumun oluşturduğu toplam 120 mSv/g'lik doza karşı sadece % 0,035'lik bir artış demek (= 0,042/120). Bu nedenle kirli uranyum kaynaklı seyrelmiş uranyumdaki transuranların ve bölünme ürünlerinin, oluşan doza katkıları çok az.

Öte yandan Pu 239'dan insanda oluşabilecek radyasyon dozu üst sınırını oluşturabilecek Pu 239 miktarının ne kadar olabileceği, aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

1 gram Pu 239, 2,3 milyarbeckerelelik bir özgül aktivite göstermekte; ki bu, U 238'in özgül aktivitesinden yaklaşık olarak 180.000 kat daha çok. Plutonyumun solunum yoluyla vücuda girmesi durumunda 1 Bq'lık Pu 239 aktivitesi $5,0 \times 10^5$ Sv'lik bir doz oluşturuyor (Bkz. Çizelge 2). Buradan 1 mg'lık Pu 239 için 115 Sv'lik çok büyük bir doz değeri bulunur. Bu demektir ki Pu 239'un milyonda bir gramı (mikrogram: µg) için hiç de azımsanmayacak büyüklükteki 115 mSv'lik bir doz ortaya çıkıyor. AB ülkelerinin ve Türkiye'nin radyasyondan korunma yönetmeliklerine göre, radyasyonla çalışanlar için yıllık üst sınır değer, 20 mSv. Pu 239'un milyonda bir gramının neden olduğu 115 mSv'lik doz, bu üst sınırın 6 katına yakın. Ancak bu hesaplama saf Pu 239 buharının vücuda alınması durumunda geçerli. Tank zırhında bulunan seyrelmiş uranyum içindeki Pu 239'un ölçülen aktivitesi ise (ondabiri kadar) daha az olduğundan, seyrelmiş uranyum buharındaki Pu 239'un vücutta oluşturacağı doz da bu miktar kadar daha az olacağı, ancak bunun yine de önemli bir doz olduğu gözardı edilmemeli. (Bkz. Çizelge 2).

Öte yandan Pu 239'un kimyasal zehirliliği 1 mg dolayında. Plutonyumun radyolojik zehirliliğinin, kimyasal zehirliliğinden 1000 kat kadar daha çok olması nedeniyle, kimyasal zehirliliğinin önemsiz olacağı açık; ya da mikrogram düzeyindeki Pu 239'un vücutta önemli bir radyasyon dozu oluşturacağı da söylenebilir.

Birleşmiş Milletler Çevre Araştırma Projesi Sonuçları (UNEP 2000/ 2003)

Birleşmiş Milletler Çevre Araştırma Projesi (UNEP) çerçevesinde, bir bilimsel araş-

tırma grubu Kosova, Güney Sırbistan ve Bosna'da 90'lı yıllarda kullanılmış uranyumlu mermiler ve uranyum zırhlı tankların çevreye ve insana etkileriyle ilgili çok yönlü, kapsamlı, yıllarca süren çalışmalar yaptı ve alınan sonuçları bilimsel raporlar halinde yayımladı. Hava, su, toprak ve besinlerdeki radyoaktivite ölçümlerinin yanı sıra buralarda yaşayan insanların etkilenmiş olabileceği radyasyon dozlarıyla ilgili kestirimler bu raporlarda var.

UNEP Araştırmasının Önemli Sonuçları

Kosova, Sırbistan ve Bosna'da arazide bulunan uranyumlu eski mermilerden alınan örnekler üzerinde yapılan ölçümlere göre, bunlardaki plutonyum katkısının uranyuma göre çok düşük olduğu ortaya çıkıyor: 0,00035 ile 0,02 ppb arasında, 1 ppb=1 part per billion (milyarda biri) = 10^{-9} . Ayrıca Bosna'da araziden toplanan 3 uranyumlu mermide ilk kez neptunyum 237 ölçülmüş: < 0,15 - 0,62 ppb. ppb'nin binde biri kadar olan bu değerler, uranyum madenlerinde doğal olarak ortaya çıkan bu cins maddelerin değerleriyle kabaca aynı düzeyde. Doğadaki U 238 doğal kaynaklardan, örneğin kozmik ışınlardan ya da doğadaki U 235'in kendiliğinden ani olarak parçalanması sonucu nötron yakalayarak U 239'a dönüşüyor; buysa 23,4 dakikalık yarılanma süresiyle, neptunyum 239 üretmekte. Np 239 da 2355 günlük yarılanma süresiyle Pu 239'a bozunuyor. Mermilerde ölçülen plutonyum ise yapı olarak, reaktörlerde üretilmiş kirli uranyumdan kaynaklanmakta. Mermilerde ölçülen plutonyumun çok düşük değerde olmasının nedeni, ana malzeme ister doğal kaynaklı olsun, ister kirli uranyum olsun, kimyasal olarak seyrelmiş uranyumun üretilme işlemi sırasında, plutonyumun seyrelmesi.

Dıştan ışınlanma (UNEP)

10 kg seyrelmiş uranyumun hedef bölgedeki 1000 m² toprak yüzeyine dağıldığı varsayılarak, bu alanın bir insanda dıştan yılda 4 µSv'lik bir doz oluşturabileceği hesaplanmıştır; ki bu, yıllık ortalama doğal radyasyon dozu olan 2400 µSv'le karşılaştırıldığında çok küçük kalmakta.

Seyrelmiş uranyumlu tozun, çarpmanın hemen ardından solunum yoluyla vücuda alınmasından oluşabilecek doz: (UNEP)

Vücuda en çok 100 mg seyrelmiş uranyum girdiği varsayılarak alınabilecek doz en çok 12 mSv dolayında; ki bu, radyasyonla çalışanlar için yıllık sınır değer olan 20 mSv'in epey altında.

Toz dumana karışmış seyrelmiş uranyumun solunum yoluyla vücuda girmesi (UNEP):

Merminin çarptığı yerdeki 1000 m²'lik bir alanda her mg tozda 6 µg seyrelmiş uranyum olabileceği varsayılıyor. Havadaki toz yoğunluğuna bağlı olarak bu 0,3 µg/m³



GAU-8, PGU-14/B tipindeki uranyum mermisinin kesiti ve iç yapısı. Merminin, sonundaki ateşleyici bölümüyle birlikte toplam uzunluğu 29 cm ve toplam kütlesi 690 gram. Uranyum çekirdeği merminin ön bölümünde 14,5 cm uzunluğunda olup 270 gram. Merminin hızı saniyede 1 km kadar (saate 3640 km)

	İzotop Verileri			DU'lu Tank Zırhındaki max.değer.		
	Yarılanma Süresi	Özgül Aktivite (Bq/g)	Doz Faktörü (Sv/Bq)	Akt.miktarı Bq/g DU-TankZırhında	Ağırlık Oranı (ppb)	Etkin Doz (Sv/g DU-Tankzırhından)
Am241	432,2 yıl	1,271(11)	4,2(-5)	0,703	0,0055	3,0(-5)
Np237	2,14(6) yıl	2,611(7)	2,3(-5)	0,137	5,2470	3,2(-6)
Pu238	87,75 yıl	6,34(11)	4,6(-5)	0,074	0,0001	3,4(-6)
Pu239	24,13(3)yıl	2,296(9)	5,0(-5)	0,1	0,0436	5,0(-6)
Tc99	213,0(3)yıl	6,280(8)	4,0(-8)	19,98	31,8153	8,0(-7)
Toplam						4,2(-5)

Çizelge 3: Seyrelmiş uranyumlu (DU) tank Zırhından sadece Transuran izotoplarının ve bölünme ürünlerinin Solunum yoluyla vücutta oluşabilecek doza katkıları / Aktivite miktarları: Bq/g DU-tank zırhından alınan örneklerdeki ölçümlere dayanmakta (Pu 239 ve Np 237'nin tümüyle DU'ya aktarıldığı varsayımıyla) / ICRP72'den Halktan Yetişkinler için, S Tipi (çözünmeyen ve ilgili organları yavaş temizlenen kimyasal bileşikler için)-Parantez içindeki (9) ve (-5) gibi sayılar 10^9 ve 10^5 anlamında. /WISE Uranium Project, P.Diehl /

(normal hava) ve $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (çok tozlu hava) arasında değişiyor. Sürekli solunduğunda bu, yılda 0,3 ile 30 mSv arasında bir solunum dozu oluşturuyor.

Diğer yandan Kuveyt'te 1993 yazında yapılan ölçümlerde, Körfez Savaşı'ndan iki yıl sonra bile havada seyrelmiş uranyumun çok çok az da olsa bulunduğu saptanmış ($0,34 \text{ ng}/\text{m}^3$: metre küp'te milyarda 0,34 gram). Bunun insan vücudunda solunumla oluşturabileceği doz ise yılda 0,3 μSv .

Tıpta Araştırmalar, Askerlerde Kanser Riski

Tıpta önemli deneyimler, savaşlarda bu cins mermilerin çarptığı tanklarda ya da yakınında bulunan ve kurtulan askerlerle, hasar gören tanklarda çalışanların geçtiği tıbbi kontrollerden sağlanmakta. Arkadaşlarının mermilerinin yanlışlıkla tanklarına ateşlenip çarpmasıyla ilk Körfez Savaşı'nda ağır yaralan 33 asker 1993'ten beri ABD'de tıbbi gözetim altında. Bu askerlerin yarısının vücutlarında bu cins mermilerin parçaları bulunuyor ve idrarlarındaki uranyum miktarı normalin üstünde. Bunlar çeşitli testlerle denenmekte ve vücutlarındaki mermi parçalarının zamanla ne gibi bir etki göstereceği araştırılmakta. Vücutlarında mermi parçaları bulunmayanların ise idrarlarındaki uranyum miktarı normalin üstünde değil. 33 kişinin tümünün böbrekleri normal çalışmakta ve bunların 1991 ile 1997 yılları arasında doğan çocuklarında, doğumda herhangi bir hasar görülmemiş değil.

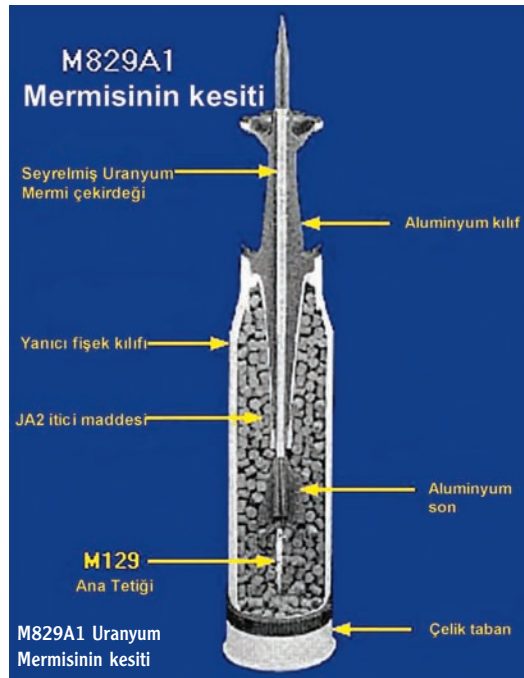
Kan kanserinin radyasyonun etkisiyle ortaya çıkması, en çok ışınlanmadan sonraki 5-7 yıl arasında görülebiliyor; ki bu, Balkan Savaşı tarihiyle, daha sonra kan kanseri olaylarının ortaya çıkma tarihi arasındaki süreyle kabaca çakıştığından, arada bir ilişki olabileceği düşünülüyor. Ancak, uranyum madenlerinde çalışan işçilerde, çok yüksek radon gazından kaynaklanan doz oluşmuş olmasına ve akciğer kanseri riskinin epey artmış olmasına

karşılık, kan kanseri hastalığının pek artmamış olması, böyle bir ilişkiyi desteklemiyor.

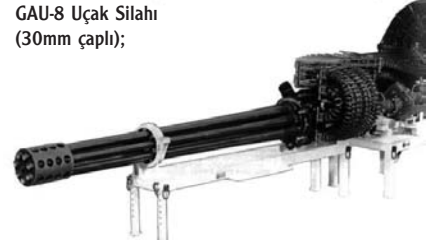
Öte yandan doğadaki radonun saldırdığı alfa ışınları nedeniyle, herbirimizin akciğerleri yılda 10 mSv'e varabilen bir doz almaktadır. Bu da 'Tüm Vücut Etkin Dozu' olarak 1,2 mSv'e eşdeğer: $10 \text{ mSv} \times 0,12$ (Akciğerler için Doz Ağırlık Katsayısı) = 1,2 mSv.

Endüstri ülkelerinde, yaşları 20 ile 40 arasında olan her 100.000 kişide, ortalama olarak yılda 8 - 11 kan kanseri hastalığı görülmekte. Üç yıllık Balkan Savaşı'na 100.000 askerin katıldığı göz önüne alındığında, bu sürede, başka hiçbir etkene bağlı olmaksızın 30 kadar askerin normal olarak kan kanserine yakalanabileceği beklenebilir; ki bu da Balkan Savaşı sonrası ileri sürülen kankanseri savlarının, kullanılan uranyumlu mermilere bağlanmasının tutarlı bir dayanağı olmadığını gösteriyor.

Balkan Savaşlarına katılmış askerlerde başgösterdiği ve uranyumlu mermilerin etkilerine bağlandığı ileri sürülen kan kanseri hastalıklarının radyolojik yönden incelenerek kanser riskinin hesaplanması ve bir



GAU-8 Uçak Silahı (30mm çaplı);



ilişki olup olmadığının araştırılması gerekmekte. Kanser riski hesabıyla ilgili olarak elde daha iyi bir model bulunmadığından W. Jacobi'nin (GSF-Münih) 1995/1997 yıllarında yapmış olduğu ve Wismut uranyum Madeninde çalışan işçilerin kansere yakalanma riski modeline başvurmak gerekiyor. Bu model, doğadaki uranyum için geçerli olduğundan ve doğal uranyumun da özgül aktivitesi seyrelmiş uranyumunkinden % 50 kadar fazla olduğundan (Bkz. Çizelge 2), bu modelle elde edilen sonuçlar seyrelmiş uranyum için olduğundan yüksek çıkıyor. Ayrıca Jacobi modeli, uranyumun radyoaktif bozunumundan ortaya çıkan dizideki izotopların birbirleriyle radyoaktif denge halinde olduğunu öngörmekte; ki bu, seyrelmiş uranyum için geçerli değil. Bu nedenlerle bu modelle hesaplanan kanser riski değerlerinin abartılı olacağı açık. Savaşta sağ kalan örneğin 25 yaşındaki bir asker için, merminin çarpmasının hemen ardından oradaki uranyumlu havayı solması ve bunu aynı askerin aralarla 10 kez yaşadığı, en kötü varsayım olarak düşünülmüş. Aslında bu varsayım, böyle bir olay yaşayan bir asker ardarda görevlendirilmeyeceği için, gerçekçi değil. Buna rağmen bu kötümser varsayım göre yapılan model hesabı, askerin kan kanserine yakalanmasının uranyumlu havadan ileri gelme riskinin % 1,7 olduğunu göstermiş. Bu, aynı durumu aynı koşullarda yaşayan askerlerden 58'inde kan kanseri ortaya çıkarsa bunlardan sadece birindeki kan kanserine seyrelmiş uranyumlu havanın neden olduğu anlamına geliyor ($100/1,7=58$).

Asker, kemik kanserine yakalanmışsa bunun seyrelmiş uranyuma bağlanma olasılığı (riski) bu modele göre % 6,9.

Diğer yandan yapılan ayrıntılı doz hesapları, kan kanserine yakalanma riskinin 'doğal uranyumun' radyoaktif bölünme ürünlerinden kaynaklandığını gösteriyor. Bu cins radyoaktif bölünme ürünleri ise seyrelmiş uranyumda pek bulunmuyor. Seyrelmiş uranyumda U 235 çok daha az, U 234 neredeyse yok, radyoaktif bozunma ürünleri ise radyoaktif dengede değil (Bkz. Çizelge 1 ve 2).

Çizelge 4'te doğal ve seyrelmiş uranyumun 1 gramının solunumla vücuda alınması sonucu bu modelle he-



Ölçümlerin yapıldığı, örneklerin alındığı yerler kırmızı kutucuklarla gösteriliyor

saplanan yaşam boyu riskleri (yüzde olarak) karşılaştırılmakta ve çeşitli organların yaşam boyu riskine olan katkıları gösterilmekte.

Sonuçlar

Yukarıdaki açıklama ve yaklaşımlardan görüldüğü gibi seyrelmiş uranyumlu mermilerin ve tankların çevre ve insana etkileri çok yönlü incelenmekte ve tartışılmakta. Tartışılması, mermilerin çarpma sonucu, orada bulunan askerlerin ne kadar süre ve hangi derişimde seyrelmiş uranyumlu havayı soluduklarıyla ilgili hesaplama ve kestirimlerin, bir dizi varsayım ve modellere dayanılarak yapılmasından kaynaklanmaktadır.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) çerçevesinde yapılan bilimsel araştırmalardan bugüne kadar alınan sonuçlar, Bosna'da çevrenin ve halkın doğrudan bir tehlike içinde olmadığını belirtiyor. Ancak gerek Bosna ve gerekse Irak için seyrelmiş uranyumun savaş sırasında çevreye, havaya ne ölçüde yayıldığıyla ilgili ayrıntılı veri ve bilgiler yok. UNEP çalışmalarının çok geç başladığı, uzmanların gerçek uzman ol-

madıkları, teknik raporlarının taraflı yazıldığı gibi bir dizi sav ve tez, İnternet sayfalarında tartışılmakta ve uranyumlu silahların kullanımına ivedilikle son verilmesi çeşitli örgütlerce istenmekte. Yanan tanklardan yükselen seyrelmiş uranyumlu havanın 40 km kadar uzaklara yayıldığı bulguları gözönüne alınarak, buralarda korunmasız olarak uzun süre kalmış olanların (bahçelerde oynayan çocuklar gibi) vücutlarında radyoaktif maddelerin birikip, oldukça yüksek dozlar oluşturabileceği de ileri sürülmekte.

UNEP çevrede kalmış olan uranyum mermi ve artıklarının toplatılmasını önermekte. Mermilerin, çarptığı yerlerin çevresi dışındaki canlılar içinse herhangi bir tehlikenin bulunmadığı, bunun nedeninin, uranyumun, 'toprak-bitki-hayvan-insan' biyolojik çevriminde kötü aktarılması olduğu belirtiliyor.

Plutonyumun mermilerde bulunup bulunmadığına ve miktarına göre, plutonyumun sağlığa etkisi ve tehlikesi, uranyumunkinden çok daha fazla olabilir. Plutonyumun uranyum gibi kimyasal zehirliliği de var; ancak radyasyon etkisi iyice büyük



ve uranyumunkinden kat kat fazla. Öteyandan eski Yugoslavya'da kullanılmış uranyumlu mermilerden ve uranyumlu tank zırhlarından alınan örneklerin laboratuvar ölçümleriyle plutonyum katkısının çok düşük olduğunu gösteriyor.

Uluslararası halk direncinin, uranyumlu mermilerin ileride kullanılmasını önleyeceğiyse iyice kuşkulu. Çünkü, gerek uranyumlu mermiler ve gerekse uranyum zırhlı tanklar, daha önce kullanılan ve içinde uranyum olmayanlara kıyasla, savaşta büyük üstünlük göstermekte. Örneğin, Körfez Savaşı'nda Irak ordusunun T-72 tanklarını, Amerikalılar uranyumlu mermilerle 3 km uzaklıktan vurup delmelerine ve büyük hasar oluşturmalarına rağmen, Iraklılar, Amerikalıların 'sandviç kılıflı tanklarını' alışımlı uranyumsuz mermilerle 400 m'den vurup etkili olamadılar.

Diğer yandan gerek nükleer santraller, gerekse nükleer yakıtla çalışan denizaltılar ve atom bombası yapımı nedeniyle doğal uranyum zenginleştirilirken, arta kalan seyrelmiş uranyum çığ gibi büyümekte ve bunun büyük giderlerle güvenli olarak depolanması sorunu çözülememekte. Askeri amaçlı kullanımı dahi biriken dağı belirgin bir ölçüde azaltamıyor.

Not: Bu yazıdaki radyasyon, alfa, gama ışınları, bequerel, sievert, doz, etkin doz gibi kavram ve birimlerin tanımları ve ayrıntıları için TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisinin Nisan 2006 Yeni Ufuklara ekine ("İyonlayıcı Radyasyon") bakılabilir.

Tank ve silahların tarihçesi için, Selçuk Alsan'ın "Uranyumlu Zırhlanmış Tanklar", (Bilim ve Teknik, Ağustos 1989); seyreltilmiş uranyumla ilgili ek açıklamalar için Vural Altın'ın "Doğrusunu Bilelim" (Bilim ve Teknik, Mayıs 2003) yazılarına bakılabilir.

Fizik Y.Müh.Dr.Yüksel Atakan
ybatakan@gmail.com

	Solunumla vücuda giren	
	1 gram Doğal Uranyum (Bölünme ürünleriyle birlikte)	1 gram Seyrelmiş Uranyum U (U 235 miktarı % 0,2)
Solunumla oluşan Etkin Doz *	700 mSv	120 mSv
Yaşamboyu Riski	% 3,5 (1:29)	% 0,6 (1:167)
Yukarıdaki Etkin Doza katkıları:		
Akciğerler	% 88	% 99,7
Kemik yüzeyi	% 6,2	% 0,057
Kırmızı Kemikliliği	% 3,4	% 0,072
Karaciğer	% 1,0	% 0,038
Kalıtım Organları	% 0,96	% 0,037

* ICRP 72'de verilen Solunum Dozları Genel Halk için (WISE Uranium Project, P.Diehl)

Çizelge 4: Doğal ve seyrelmiş uranyumun 1 gramının solunumla vücuda alınması sonucu yapılan risk hesapları sonuçları

Kaynaklar
Birleşmiş Milletlerin Çevre Programı(UNEP) 2003 raporu: www.unep.org
Europtent Parliament : Working paper Depleted Uranium, April 2001
www.physik.uni.olderburg.de ; www.wise-uranium.org
www.bfs.de
www.gsf.de
www.bundeswehr.de
www.gulfink.osd.mil/du
www.uranmunition.de