

Sütte Radyoaktif Kontaminasyon ve Dekontaminasyon

Yard. Doç. Dr. Gülderen OYSUN

Öndokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi — SAMSUN

GİRİŞ

Geçtiğimiz yıllarda; toprağın, bitkilerin süt ve ürünlerinin ve genelde hayvansal ve bitkisel orijinli gıda maddelerinin radyoaktif maddeler ile kontaminasyonunun başlıca nedenini atmosferde yürütülen atom silahları denemeleri oluşturmuştur. Bir atom bombasının patlatılmasından yarılanma ömürleri bir kaç saniyeden uzun senelere kadar değişen yaklaşık 300 farklı parçalanma ürünü ortaya çıkmakta olup; bu radyoaktif parçalanma ürünleri stratosfer tabakasına kadar yükselerek hava akımları ile yeryüzüne dağılmakta, toz bulutları veya yağışlar ile yeryüzüne inerek havanın, toprağın, su ve bitkinin radyoaktif kontaminasyonuna neden olmaktadır. Radyasyon bulutlarının hareketi ve yağış miktarı ile ilgili olarak radyoaktif kontaminasyon derecesi farklılık göstermektedir.

Radyoaktif serpintiler ile kontamine olan toprak, yem bitkisi ve su vasıtasıyla süt ve ürünleri dahil hemen tüm bitkisel ve hayvansal orijinli gıda maddelerine belli oranlarda radyoaktivite transferi gerçekleşmekte (6, 7, 8, 16) ve bu, gıda maddelerini tüketen insana kadar bir tüketim zinciri içinde devam etmektedir.

Radyoaktif kontaminasyon nükleer enerji tesisleri, nükleer araştırma çevresi için de geçerli olduğundan bir çok ülkelerde yasalar ile tesislerin çevresinde sürekli denetim öngörülmüş ve bu bölgeler insanların sürekli radyasyon yüklerine ait tolerans sınırları belirtilmiştir.

Ülkemizde radyoaktif elementler, radyoaktif kontaminasyon, radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda yeterli bilgi sahibi olunmadığı düşünülerek, bu çok önemli konuda yapılmış bulunan dış kaynaklı araştırma sonuçları bir araya getirilerek özellikle süt ve ürünleri açısından konu tüm yönleri ile açıklanmaya çalışılmıştır.

RADYASYON KAYNAKLARI

Gıda maddelerinin, insanların radyoaktif kontaminasyonuna neden olan radyoaktif elementlerin bulunuş nedenleri 4 şekilde açıklanmaktadır (1).

a) Çevrenin Genel Radyoaktivitesi

Çevre radyoaktivitesini, yer üstü çekirdek silah denemelerinden atmosfere yayılan ve uzun süre atmosferde kalan yarılanma ömürleri uzun olan parçalanma ürünleri oluşturmaktadır. Orjini bu olan radyasyonun, 1963 - 1965 yıllarında dünyanın bir çok ülkelerinde maksimum düzeyde olduğu tesbit edilmiştir. Ancak 1963 yılında Amerika Birleşik Devletleri ve Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği tarafından yer üstünde çekirdek silah denemelerini sona erdiren anlaşmadan sonra çevre radyoaktivitesi düzeyinde azalma olmuştur (1, 9). 26.9.1976 ve 17.9.1977 Tarihlerinde Çin Halk Cumhuriyetinin çekirdek silah denemelerinden sonra da radyoaktivitede artış gözlenmiştir (13, 16).

Genelde yalnız çekirdek silahların denemesinden sonra atmosfere dağılmış bulunan uzun ömürlü radyoaktif maddelerden dolayı toprağa yakın bulunan hava tabakasında ortalama yaklaşık 0,005 pCi/m³ düzeyinde radyasyon bulunmaktadır. Yağışlarda tesbit edilen radyasyon düzeyi yaklaşık 13,9 pCi/l düzeyindedir. Yağışlardan toprağın radyoaktif kontaminasyonu 19,67 pCi/km² olarak tesbit edilmiştir. İçme sularının kaynağını oluşturan kuyu, kaynak ve yer üstü sularında radyoaktivite düzeyi genellikle 5 pCi/l den azdır (1).

Hava, toprak ve suların radyoaktif maddeler ile kontaminasyonu tarımsal üretime de yansımış, bitkisel ve hayvansal ürünlerde radyoaktiviteye neden olmuştur. Sütte Sr 90 elementinden kaynaklanan radyoaktivite 5 yıllık ölçümlerde < 1 - 19 pCi/l olarak, Cs 137 elementinin neden olduğu radyoaktivite 1 - 138 pCi/l olarak tesbit edilmiştir. Buğdayda Sr 90 aktivitesi 7,3 - 24 pCi/kg, Cs 137 aktivitesi tesbit edilemeyen düşük değerler ile 174 pCi/kg arasında değişmektedir. Balık ve diğer su ürün-

lerinde Sr 90 aktivitesi 0,14 - 40 p Ci/kg, Cs 137 aktivitesi 4,0 - 49,0 p Ci/kg olarak ölçülmüştür. Etlerde radyoaktivitenin esas kaynağı Cs 137 olup ölçümlerde tesbit edilemeyecek kadar düşük değerler ile sığır etinde 270 p Ci/kg, koyun etinde 140 p Ci/kg arasında değişme göstermektedir. Sebzelere ve meyvelere Sr 90, Cs 137, Pu 238 ve Pu 239 toplam radyoaktiviteyi oluşturmaktadır. Bu elementlerden kaynaklanan toplam radyoaktivite 5 yıllık ölçümlerde ortalama değer olarak fasulyede 29 p Ci/kg, yeşil lahanada 75 p Ci/kg, havuçta 27,2 p Ci/kg, marulda 47 p Ci/kg, ıspanakta 60 p Ci/kg, muzda 14,0 p Ci/kg, çilekde 33,2 p Ci/kg, üzümde 8,1 p Ci/kg, fıstık çeşitlerinde 107 p Ci/kg tesbit edilmiştir (1).

Gıda maddelerinin içerdiği radyoaktivite dolayısıyla insanların kontaminasyon düzeyi en doğru olarak yurt, hastane ve kurumlar gibi toplu beslenme yerlerinde tüketilen gıda maddeleri dikkate alınarak tesbit edilebilir ki, günlük gıda olarak tüketilen ürünlerin tamamında kişi başına günde ortalama olarak Sr 90 aktivitesi 9,1 p Ci, Cs 137 aktivitesi 16 p Ci düzeyindedir. İnsanların gıdalar dolayısıyla maruz kaldıkları radyoaktivite 1963 - 1965 yıllarında en yüksek düzeyde bulunmuş olup, Sr 90 aktivitesi yaklaşık 40 p Ci/gün/kişi, Cs 137 aktivitesi yaklaşık 240 p Ci/gün/kişi değerlerine ulaşmıştır (1, 9).

İnsanların gıdalar vasıtasıyla aldıkları Sr 90 radyoaktivitesinin % 38'i süt ve ürünlerinden, % 35'i tahıl ürünlerinden, % 8'i patatesten, % 18'i sebze ve meyvelerden, Cs 137 aktivitesinin ise % 23'ü süt ve ürünlerinden, % 17'si tahıl ürünlerinden, % 6'ı patatesten, % 9'u sebze ve meyvelerden, % 44'ü etden alınmaktadır (17). Ancak gıda grupları vasıtasıyla alınan radyoaktivitenin maksimum düzeyinde dahi tesbit edilmiş bulunan tolerans sınırının çok altında kaldığı uzun seneler ölçümlerine dayanılarak belirtilebilir (1).

İçme suları ile insanlara radyoaktivite geçişi çok düşük düzeyde kalmakta olup, yıllar içinde önemli değişiklikler görülmeyip, önceki yılların araştırma sonuçlarına dayanılarak 2 p Ci/yıl düzeyinden daha aşağıda olduğu tahmin edilmektedir (1).

b) Nükleer Enerji Tesislerinin Radyoaktivitesi

Nükleer enerji santrallerinde, nükleer araştırma enstitülerinde reaktörlerden çıkan gazlar ve atılan su vasıtasıyla çevreye radyoaktif element yayılmaktadır. Bu tesislerden çıkan sularda ortalama β -aktivitesi 50 p Ci/l den daha az ölçülmüştür. Söz konusu radyoaktif elementler daha çok kısa yarılanma ömürleri olan elementlerdir. Nükleer tıp merkezlerinde ise J 131 radyoaktivitenin önemli kısmını oluşturmaktadır (1).

c) Radyoaktif Maddeler ve İyonizan Işınlardan Uğraşı

Tıbbi amaçlarla kurulmuş olan ve iyonizan ışınlar veren tesislerde çalışanlar belli düzeyde kontamine olurlar. Bu tesislerde çalışan insanların % 80'inde radyoaktivite tesbit edilmiş olup, meslekleri dolayısıyla ışınlar ile ilgili olan bu kişilerin ancak çok azının vücutlarında izin verilen dozdan fazla radyoaktivite ölçülmüştür (1).

d) Işınlardan Etkisi

İnsanlar sürekli olarak kozmik ışınların, bazı bölgelerde jeolojik yapıdan kaynaklanan ışınların ve vücuda girmiş bulunan radyoaktif maddelerin ışınları gibi doğal radyasyon ile, araştırma ve teknik amaçlarla kullanılan radyoaktif maddeler ve iyonizan ışınlardan, röntgen teşhisinde, nükleer tıpta kullanılan radyoaktif maddelerden kaynaklanan suni radyasyonun etkisindedirler (1).

SÜTÜN RADYOAKTİF KONTAMİNASYONU

a) Sütte Bulunan Radyoaktif Elementler

Gerek yarılanma ömürleri gerek kontamine olma özelliklerinden dolayı en önemli radyoaktif elementler Sr 90, Cs 137 ve J 131'dir. Ayrıca çekirdek silahların denemelerinde Sr 90'ın yanında Sr 89'da serbest hale geçmekte olup, yarılanma ömrü kısa olduğu için çok önemli görülmemektedir. Ba 140, La 140, Na 22, Zn 65 tesbit edilen diğer radyoaktif elementlerdir. Ayrıca tabii radyoaktiviteyi oluşturan C 14, K 40, Ra 226 radyoaktif elementler bulunmaktadır. Yarılanma süreleri çok kısa olan, az miktarlarda sütte tesbit edilen ve bu

nedenle önemli görülmeyen radyoaktif elementler Cr 51, Mn 54, Fe 55, Rb 87, Y 90, Ru 103, Ru 106, Sb 125, Te 132, Cs 136, Ba 138, Pb 210, Rn 222, Pu 239'dur (9).

Radyoaktif elementler p Ci/l veya p Ci/kg olarak, bazen de homolog elementin birim miktarına göre ifade edilir. Örneğin Sr 90 p Ci/g Ca veya Cs 137 p Ci/g K gibi (9).

Sütte önemli oldukları belirtilen ve en fazla kontaminasyona neden olan Sr 90, Cs 137 ve J 131 elementlerinin, gerek elementin parçalanması gerekse tabii yollardan vücuttan atılması suretiyle miktarının yarıldığı süreyi belirten efektif yarılanma süreleri sırasıyla 18 sene, 138 gün, 7,5 gün'dür (9).

Süt özellikle Sr 90, Cs 137 ve J 131 radyoaktif elementleri ile kontamine olmaktadır. Uzun yıllar Ca ile homolog olması nedeniyle Sr 90 aktivitesi üzerinde durulmuş ve ölçümler bu element üzerinde yoğunlaşmıştır. Son yıllarda ise J 131'in aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı önemi anlaşılmış ve kontaminasyon derecesi sürekli denetlenmiştir.

Sütte bulunan söz konusu radyoaktif elementlerin aktiviteleri ile ilgili araştırma sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Sr 90 elementi Ca ile homolog bir element olması nedeniyle daha çok Ca yönünden zengin bir gıda olan süt başta olmak üzere tahıl ürünleri, patates, meyve ve sebzelere kontamine olur (1, 9). Gıdada Sr 90'ın maksimum aktivitesi 260 p Ci/g Ca olmalıdır. Sr 90 aktivitesinin en yüksek olduğu 1963-1964 yıllarında dahi, kişi başına günde 270 p Ci, yılda 100.000 p Ci tolerans sınırının % 15'ine ulaşmıştır (1,9). 1957 yılında İngiltere'de meydana gelen reaktör kazası sonucu sütte Sr 90 ak-

tivitesi tolerans sınırına yaklaşmıştır (Çizelge 1).

Cs 137 elementi K ile homolog bir element olması nedeniyle metabolizmada K gibi işlev görür ve genellikle kaslarda birikir. Et ve balıkta bu nedenle Cs 137 aktivitesi süte göre daha yüksek düzeydedir. Cs 137 elementi için tolerans sınırı yarılanma ömrünün kısa olması nedeniyle oldukça yüksek tutulmuş olup, izin verilen miktar sütte 150.000 p Ci/l dir.

J 131'de nükleer enerji tesislerinin bulunduğu bölgelerde çevreye ve dolayısıyla süte kontamine olabilen radyoaktif elementlerin en kritik olanıdır. Yarılanma süresi kısa olduğundan sütteki aktivitesi büyük ölçüde radyoaktif serpinli derecesine bağlı olduğundan kısa zaman aralıklarında önemli varyasyonlar göstermektedir. Ayrıca J 131'in varlığı, diğer kısa ömürlü radyoaktif elementlerin de var olabileceğini belirtmesi yönünden sütte aktivitesinin kesinlikle izlenmesi gerekir. J 131 yalnız stabil J ile homolog olmayıp, aynı zamanda kendisi bir biyolojik elementdir ve metabolizmada stabil J gibi işlev görür, özellikle küçük çocuklarda tiroid bezinde tutulur. Sütte belirtilen tolerans sınırı da, küçük çocukların tiroid bezlerinin sürekli radyasyona maruz kalmaları halinde hesaplanmış olup 15-40 p Ci/l'dir (12). Yıllık ortalama değer dikkate alınırsa J 131 için sütte risiko sınırı 120 p Ci/l olarak belirtilmektedir (9). 1957 Yılında İngiltere'de meydana gelen reaktör kazasından, 1963 yılında çekirdek silahlarının denenmesinden sonra ABD'de sütte J 131 aktivitesinin çok yükseldiği tesbit edilmiştir (Çizelge 1). 1976 Yılında Çin Halk Cumhuriyeti'nin çekirdek silah denemelerinden hemen sonra Almanya'da süt numunelerinde J 131 aktivitesinin kısa bir süre için yükseldiği tesbit edilmiştir (13).

Çizelge 1. Sr 90, Cs 137 ve J 131 elementlerinin sütte tesbit edilen aktivite (p Ci/l)

Yıl	Ülke	Sr 90	Cs 137	J 131	Literatür
1957	İngiltere	< 240	< 400	< 800.000	9
1959	Norveç	< 70	< 270	—	9
1959	A.B.D.	< 98	< 500	—	9
1960	Almanya	< 12			1
1961	Almanya			10 - 350	9
1961	A.B.D.			20	9
1961	Almanya	< 8	< 35		1
1962	A.B.D.			32	9
1962	Almanya	< 20	< 126		1
1963	A.B.D.			< 780	9
1963	Almanya	< 50	< 274		1
1964	Almanya	< 42	< 196		1
1965	Almanya	< 28	< 128		1
1966	Almanya	< 24	< 77		1
1967	Almanya	< 18	< 45		1
1968	Almanya	< 13	< 36		1
1968	Almanya	11	25		1
1970	Almanya	9	31		1
1971	Almanya	9	29		1
1972	Almanya	8	25		1
1973	Almanya	7	< 18		1
1974	Almanya	7	< 20		1
1975	Almanya	< 6	< 15		1
1976	Almanya			< 0.13	13
1980	Almanya	1,98 nci			14
1982	Almanya			34.2	15

b) Sütün Kontaminasyon Derecesi

Çekirdek silahlar denemeleri, nükleer enerji santralleri dolayısıyla süt, kontamine olan yemler vasıtasıyla radyonükleid almaktadır. Radyoaktivitenin süte geçişi ile ilgili olarak aşağıda verilen formül ile belirtildiği gibi

$$T_{BS} = \frac{a_s \text{ (p Ci/l)}}{a_b \text{ (p Ci/gün)}}$$

T_{BS} = Bitki - süt arasında transfer faktörü
 a_s = Sütün aktivite konsantrasyonu
 a_b = Bitki vasıtasıyla günlük nükleid alımı.
 transfer faktörü hesaplanmaktadır (6, 8). Günlük alınan yem 11 kg kuru yem maddesi veya 55 kg taze yaş yem olarak dikkate alınmaktadır (8). Transfer faktörü Cs 137 için $1,2 \times 10^{-2}$ p Ci/l : p Ci/günde alınan yem) olarak önerilmiştir (2, 3, 4). Cs 137'nin miktarının büyük ölçüde ekolojik şartlara, toprak özelliğine bağlı olması, toprakta değişik miktarlarda birikimi,

yem ve dolayısıyla sütte Cs 137 aktivitesinde önemli varyasyonlara neden olup birkaç p Ci/l' den 100 p Ci/l'nin üzerine kadar değişen değerler göstermektedir (10). Yapılan araştırmalarda genellikle belirlenen sınırın altında transfer faktörü hesaplanmış olup, yem bitkisinin cinsine bağlı olarak 2 katı kadar da arttığı gözlenmiş, ancak bu artışta ekolojik bir etkinin olabileceği araştırılmamıştır (7, 11).

Sr % 90 elementi için yem - süt arasında transfer faktörü 2×10^{-3} (p Ci/l : p Ci/günlük alınan yem) olarak önerilmiştir (4). Yem ile alınan Sr 90'ın yaklaşık % 90'ının emilmeyip dışarı atılması nedeniyle Sr 90 için belirlenen transfer faktörü daha düşüktür. Almanya'da 1978 yılından itibaren birbirini takibeden 4 vejetasyon periyodunda yapılan araştırmalarda transfer faktörü $1,0 \times 10^{-3}$ — $1,7 \times 10^{-3}$ (p Ci/l : p Ci/günlük alınan yem) ile önerilen miktardan daha düşük tesbit edilmiştir (8).

Yem-süt arasında transfer faktörünün J 131 için maksimum sınırı 1×10^{-2} (p Ci/l : p Ci/günlük alınan yem) olarak önerilmiştir (4). 1976 - 1977 yıllarında yapılan araştırmalarda ortalama olarak $1,1 \times 10^{-3}$ ile yaklaşık onda bir oranında daha düşük transfer faktörü hesaplanmıştır. Süt hayvanı merada iken radyoaktif serpentinin yaklaşık % 10'unu alır, 20 dakika sonra sütün de tesbit edilir, 3-4 gün sonra maksimuma ulaşır, sonra miktar azalır. Bu nedenle reaktör kazalarından hemen sonra sütlerde J 131 aktivitesinde kısa süreli yükselmeler gözlenmiştir (13).

c) İnsan Vücudunda Etkileri

Organizma kozmik kaynaklı, bazı bölgelerin doğal jeolojik yapılarından veya cisimlerden kaynaklanan veya gıdalardan yayılan ışınlarla herhangi bir hastalık belirtisi göstermeden tolerans göstermektedir. Bu tür tabii kaynaklı radyasyonun ancak çok küçük bir bölümünü gıdalar ve süt ile geçen radyoaktivite oluşturmaktadır. Ancak bu radyoaktivite gıdalar ile uzun süre ve yüksek dozlarda alınırsa organlarda birikimleri sonucu sürekli bir iyonizan kaynak oluşturarak hücre dejenerasyonuna ve genetik mutasyonlara neden olurlar.

Sr 90 kimyasal yönden Ca benzeri bir element olması nedeniyle iskeletde birikim yapar. Kemik habis tümörlerine ve lösemilere neden olur (5). Ancak Sr 90, Ca ile alındığı zaman organizma Ca'yu tercih etmektedir. Ca absorpsiyonu Sr 90 absorpsiyonuna göre yaklaşık 3 kat daha fazladır (9). Çok küçük yaşlarda Sr 90'ın genetik mutasyonlardan dolayı istatistiksel değerlendirmelere dayanmamakla beraber çocuk ölümlerine neden olduğu tahmin edilmektedir. Çünkü bu yaşlarda çocuğun tek gıdası süttür. Çocuklar küçük yaşlarda büyüme dönemlerinde bulduklarından Sr 90 daha çok gelişmekte olan ve teşekkülünü tamamlamakta olan kemiklerde yerleşir. Bu nedenle küçük çocukların iskelet yapılarında daha fazla Sr 90 bulunur. Ancak büyüyen kemikle birlikte Sr 90'ın parçalanması daha çabuk olduğundan biyolojik yarılanma ömrü oldukça kısadır. Süt emmekte olan ve daha büyük yaşlardaki çocuklarda Sr 90 ile Ca arasında mevcut bulunan emilim oranının yetişkinlere göre Sr 90 lehine daha büyük olması, çocuklarda

Sr 90'ın fazla olmasının bir nedenidir. Kemiklerde yerleşen Sr 90'ın maksimum 65 p Ci/g Ca miktarında olması önerilmektedir. Vücudun maksimum kontaminasyon yükü 100.000 p Ci olmalıdır (9).

Cs 137 organizmada K gibi işlev görüp genellikle kaslarda birikir, karaciğer akciğer ve kaipite de birikip böylece bütün vücuda yayılır. Vücut Cs 137 miktarı büyük ölçüde süttün kontaminasyonuna bağlı olup, vücutta Cs 137/K arasındaki oran sütdesine göre 1,8 daha yüksektir. Cs 137 için tolerans sınırı yarılanma ömrünün kısa olmasından dolayı oldukça yüksek tutulmuş olup, izin verilen miktar sütdede 150.000 p Ci/l'dir. Vücudun tamamında Cs 137'nin maksimum aktivitesi 98 μ Ci olmalıdır. Sr 90 ile Ca arasında kuvvetli bir ilişki olmasına rağmen Cs 137 ile K arasında böyle bir ilişkinin olmaması Cs 137'den korunmakta zorluklar yaratmaktadır. Emzikli çocuklarda 50. gün kadar Cs 137 miktarı artış göstermekle beraber, bu sürede Cs 137'nin biyolojik yarılanma ömrü 7-14 gün ile oldukça kısadır (9).

Sr 90 ve Cs 137'nin vücutta tutulması ve kalıntı oranı yaşa, beslenme şekline, anatomik ve fizyolojik kriterlere bağlıdır (9.)

J 131 kimyasal yönden benzer olduğu stabil J gibi metabolik faaliyetlerde işlev görür ve özellikle troid bezinde tutulur. Dozun yüksekliliğine bağlı olarak özellikle çocuklarda olmak üzere yetişkinlerde de troid bezinde rahatsızlıklar yapar ve troid uru olarak da belirtilen guvatra neden olur. Alınan radyoaktif iyodun yaklaşık % 20'i troid bezinde tutulur. Kişi başına günde 700 p Ci maksimum doz olarak belirlenmiştir. Vücutdaki J 131 aktivitesi maksimum 0,6 μ Ci olmalıdır. Sütde belirtilen 120 p Ci/l tolerans sınırının kısa süreli aşılması ancak bir sene sürekli olarak belirtilen konsantrasyonda J 131 alımı söz konusu olduğunda tehlike arz etmektedir. Süt ile alınan J 131 ile troid bezinde tesbit edilen J 131 miktarında paralellik tesbit edilmiştir (9).

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu radyoaktif maddeler ile ilgilenen kişiler için tolerans sınırları tesbit etmiş olmakla beraber bu sınırlar bir defada ve kısa süreli

radasyon için geçerlidir. Ancak gıdalar ile uzun süreli radyoaktif madde alımı ve bu elementlerin değişik yarılanma süreleri göstermeleri nedeniyle bir defalık kısa süreli radyasyon için belirlenen risiko sınırının % 3'ü gıda ile alınabilecek radyoaktivitenin maksimum sınırını belirtmektedir (9).

SÜTÜN DEKONTAMİNASYONU

Sütün insanlar için tehlikeli olabilecek oranda dekontaminasyonu şimdiye kadar tesbit edilmiş olmamakla beraber, acil durumlarda başvurulabilecek dekontaminasyon önlemleri geliştirilmiştir (9).

İlk önlem olarak sütün radyoaktif element konsantrasyonunun azalacağı süt ürünlerine, örneğin tereyağı, peynir veya süttozuna işlenmesi düşünülebilir. Tereyağında Ca ve K miktarının düşük düzeyde bulunması sütden Sr 90 ve Cs 137'nin tereyağına çok az miktarlarda geçmesine neden olmaktadır. Kremaya sütden bulunan Sr 90'dan % 10, Cs 137 ve J 131'den % 15-20 oranında geçmektedir. Tereyağ yapılırken yıkama ile bir kısmı ayrılmakta, böylece tereyağda başlangıçta sütden bulunan Sr 90'ın % 1'i, Cs 137'nin % 2'i, J 131'in % 4-5'i tesbit edilmektedir. Peynir çeşitleri de Ca miktarlarına göre Sr 90 içermektedirler. Bu nedenle Ca miktarlarına göre ifade edilirse peynir çeşitlerinde 6-7 p Ci/g Ca olarak tesbit edilmiş olup, 1963-1964 yıllarında 25 p Ci/g Ca değerlerine yükselmiştir. Rennin ile pıhtılaştırılan peynirlere sütden bulunan Sr 90'ın % 45-83'ü, asit ile pıhtılaştırılan peynirlere % 2-7'i geçmektedir. Cs 137'nin peynire geçişi ise pıhtılaştırma yöntemine bağlı olmaksızın oldukça düşük düzeyde olup yaklaşık % 2-8'dir. Böylece sütden bulunan Cs 137'nin % 90 kadarı peynir suyu ile akmaktadır J 131'in geçiş oranı da oldukça düşük düzeyde olup % 5-15 arasındadır. Süt tozunda ise Sr 90 ve Cs 137 elementlerinde Ca ve K miktarlarına göre değerlendirme yapılırsa süte göre bir farklılık olmaktadır. J 131 elementi için sütden süttozuna geçiş oranı % 30 ile tesbit edilmiştir. Yağsız süttozunda bu oran % 10 ile daha düşüktür (9).

Daha uzun vadeli dekontaminasyon önlemleri içinde hayvan beslemede Ca miktarının

artırılması önerilebilir. Yemde Ca miktarını artırmak suretiyle süte Sr 90 geçişini azaltmak mümkün olmakta, bu yolla geçiş % 50 veya daha fazla oranlarda azalabilmektedir. Stabil Sr elementinin yem ve içilen suya karıştırılması ile de bu sonuçlar alınmıştır (9).

Bazı bağlayıcı maddelerin de yeme verilmesi ile Cs 137 de süte geçen miktarlarda % 80'e varan azalmalar kaydedilmiştir. Yine koyun ve keçi gibi süt hayvanlarına troid aktif maddeler veya potasyum perklorat verilmesi süte geçen J 131 miktarında azalmaya neden olmuştur (9).

Kontamine olan sütün teknik yöntemlerle dekontaminasyonunda iyon değiştiricileri başarı ile kullanılabilir. Sr 90 ve Cs 137 katyon değiştiricileri formunda, J 131 anyon değiştiricileri formunda veya kombine formda sütden ayrılabilirler. İyon değiştiricileri ile radyoaktif elementlerin ayrılmasında etkinin daha yüksek olması için süt önceden sitrik asit ile asitleştirilir. Bu asit da aynı şekilde iyon değiştiricide uzaklaştırılır. Yöntemin modifikasyonu ile radyoaktif elementlerin parçalanma oranları % 90 ve hatta % 99'a kadar çıkarılabilmektedir. Oldukça düşük, % 0-10 gibi oranlarda süt proteinine bağlı bulunan J 131 iyon değiştiricileri ile ayrılamaz. Aynı durum Ca gibi kazeine bağlı bulunan Sr 90 için de geçerlidir. İyon değiştiricilerinden geçirilen süt, mineral maddeler arasındaki dengenin değişmesinden dolayı başlangıçtaki tadı gösteremez. Bu durum da; katyon değiştiricilerin sütden buldukları oranlarda Ca, K, Na ve Mg ile yüklenmeleri ve böylece bu elementlerin süttan ayrılmalarının kısmen gerçekleştirilmesi ile sütün tadında kabul edilebilir değişikliğin sağlanması ile önenebilir. Anyon değiştiricilerinden geçişte P miktarında da % 30 kadar, Cl miktarında da biraz yükselme söz konusu olmaktadır. Dekontamine sütden vitamin miktarları biraz azalmış olup, en fazla azalma % 50 ile thiaminde olmuştur. İyon değiştiricilerden geçirilen sütün tereyağ, quark, süttozuna işlenmesi mümkün olmaktadır. Bu süt bebek beslenmesinde de kullanılabilir. Ancak Ca ile thiamin ilavesi gereklidir (9).

Diğer bir dekontaminasyon yöntemi sütün kalsiyum fosfat ile muamelesi olup, Sr 90 bu madde ile bağlanarak çöker ve çökelti santrifüj ile ayrılabilir. Sr 90 bu yöntem ile % 95 oranında azaltılabilirse de protein ve kalsiyum miktarlarında da azalma görülür. Tatda meydana gelen değişiklikler de çok fazla değildir (9).

Elektroliz yöntemi de dekontaminasyonda uygulanan bir diğer yöntemdir. Sr 90 ve Cs 137'nin % 90'ından fazlası sütün tadında bir değişiklik meydana gelmeden bu yöntem ile uzaklaştırılabilmektedir. Kriz dönemlerinde bu yöntem basit olarak musluk suyu ile uygulanmış olup Sr 90'ın % 60'ı uzaklaştırılabilmektedir. Ancak Ca miktarında da azalma olacağı dikkate alınmalıdır (9).

SONUÇ

Süt, orjini ve kimyasal bileşimi dolayısıyla radyoaktif kontaminasyona uygun bir gıda maddesidir. Bu nedenle nükleer enerji santralleri çevresinde, nükleer araştırma tesisleri çevresinde kontaminasyon derecesi sürekli denetlenmektedir. Özellikle Avrupa ülkelerinde, Amerika Birleşik Devletlerinde tüketilen süt miktarının fazla olması nedeniyle insanların gıdalardan aldıkları radyoaktivitenin özellikle Sr 90'ın önemli bir kısmı süt vasıtasıyla olmakla beraber uzun yıllar ölçümlerinde insan-

lara en yüksek düzeyde radyoaktif kontaminasyonun olduğu yıllarda dahi tolerans sınırının ancak % 5 - 6'ına ulaştığı görülmüştür. Ayrıca süt içerdiği Ca nedeniyle Sr 90 ile kontaminasyona uygun bir gıda maddesi olurken, organizmada yine içerdiği Ca ile Sr 90 birikimini de önlemektedir. Çünkü Sr 90'ın kemiklerde birikimi ancak yeterli miktarlarda Ca alındığı durumlarda daha az olmaktadır. Bilinen en iyi Ca kaynağı ise süt ve ürünleridir, özellikle peynir süte göre daha az miktarlarda Sr 90 içerirken aynı zamanda çok zengin bir Ca kaynağı olarak önerilebilir. Ayrıca Sr 90 aktivitesinde Ca miktarına göre değerlendirme yapılabildiğinden birim Ca için Sr 90 aktivitesinin sütte diğer gıda maddelerine göre daha az olduğu tesbit edilmiştir.

Süt, reaktör kazaları sonrasında diğer tüm gıda maddeleri gibi J 131 ile çok kısa sürede kısa süreler için kontamine olabilir. Ancak J 131'in yarılanma ömrünün kısa olmasından dolayı aktivitesinin sürekli izlenmesi, yüksek olduğu durumlarda normal düzeyine inene kadar tüketilmemesi en emniyetli bir önlem olabilir.

Süt Cs 137 için önemli bir kontaminasyon kaynağı değildir, ayrıca Cs 137 için tolerans sınırı çok yüksek olup, 1960 - 1976 yıllarında yapılan ölçümlerde radyoaktivitenin en yüksek olduğu 1963 - 1964 yıllarında dahi tolerans sınırının % 0,5 - 0,6'ına ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Anonymous, 1975. Umweltradioktivitaet und Strahlenbelastung. Jahresbericht, Der Bundesminister des Innern, Deutschland.
2. Anonymous, 1977. Allgemeines Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch radioaktive Einleitungen in Oberflächengewässer, 1. Fließgewässer, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Bundesminister des Innern, Januar 1977, Bonn.
3. Anonymous, 1977. Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Bundesminister des Innern, Oktober 1977, Bonn.
4. Wiechen, A., 1975. Die Bestimmung geringer J 131 - Aktivitäten in Milch aus der näheren Umgebung von Kernkraftwerken. Milchwissenschaft 30 (5) 279 - 282.
5. Wiechen, A., 1977. Erste Erfahrungen mit der J 131 - Überwachung der Milch aus der Umgebung von Kernkraftwerken. Milchwissenschaft, 32 (5) 269 - 271.
6. Wiechen, A., 1981. Ergebnisse der Ringanalysen von Sr 90 in Milcpulver und Sr 89/ Sr 90 in Frischmilch im Jahre 1980, Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 33, 135 - 142.
7. Wiechen, A., 1982. Ergebnisse der Ringanalyse 1982 zur Überwachung des Jod 131 - Gehaltes der Milch, Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 34, 277 - 282.

4. Anonymous, 1982. Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewasser. Rundschreiben des Bundesministers des Innern vom 15. August 1979. Gemeinsames Ministerialblatt 1979, 36 - 435, deġisliklik 1980, 576 ve 1982, 735 - 737.
5. Alsan, S., 1986. Nükleer Bombalar ve Radyasyon Tehlikeleri. Bilim ve Teknik, 19, 226, 8 - 13.
6. Heine, K., Wiechen, A., 1978. Bestimmung der Konzentrationsfaktoren von Elementen in der Nahrungskette. Boden - Bewuchs - Milch. Milchwissenschaft 33 (4) 230 - 233.
7. Heine, K., Wiechen, A., 1984. Ergebnisse von mehrjaehrigen Felduntersuchungen zum Cs 137 - Transfer in der Umgebung von Gorleben. Wissenschaft und Umwelt, 4, 221 - 230.
8. Heine, K., Wiechen, A., 1984. Ergebnisse einer mehrjaehrigen Feldstudie zum Sr 90 - Transfer. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 36 (1) 3 - 21.
9. Renner, E., 1974. Milch und Milchprodukte in der Ernaehrung des Menschen. Volkswirtschaftlicher Verlag GmbH., Kempten-Verlag Th. Mann OHG, Hildesheim.
10. Wiechen, A., 1969. Ein Beitrag zur Bestimmung des Cs 137 in der Milch. Milchwissenschaft 24, 669 - 672.
11. Wiechen, A., 1972. Milchwissenschaft 27, 82 - 84.
12. Wiechen, A., Heine, K., 1978. Folgerungen aus den Ergebnissen der J 131 - Überwachung von Milch und Bewuchs in der Jahren 1976 und 1977. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 30, 205 - 217.
13. Zerbe, L., 1970. Grundlagen des Strahlenschutzes in der Land- und Ernaehrungswirtschaft. 2. Aufl. Bonn - Bad Godesberg.