Atatürk Üniversitesi
Tıp Bülteni
22, (4) : 807-816, 1990

ÇEŞİTLİ GEOMETRİLİ RADİOAKTİF KAYNAKLARIN AKTİVİTELERİNİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Dr. Yusuf CANER (x)

ÖZET :

Radioaktif maddelerin kullanıldığı tesislerde ve ortamlarda, radioaktif serpintili sahalarda, radioaktif gazaların vuku bulduğu bölgelerde aktivitenin kontrol edilmesi gerekir. Bu gibi yerlerin hem geometrik boyutları hemde kontrol edilmesi gereken spesifik aktiviteleri o akadar çeşitlilik arz ederki, bu nedenle duyarlık ve ölçüm güçlüklerine uygun dedektörler kullanılmalı ve aynı zamanda istenen şartlara uyum sağlanmalıdır.

GİRİŞ :

Çeşitli geometrili radioaktif kaynakların aktivitelerinin hesaplanmasnda dedektör seçimi çok önemlidir. Bu nedenle ölçüm yapılan yerlerin planlanmasında her şeyden önce;

1— Çeşitli geometriler için, (-içabsorpsiyon veya içabsorpsiyonsuz-), spesifik bir aktivitede; (Bq/cm, Bq/cm^2, Bq/cm^3) dedektörlerin yerleştirilebileceği yerlerdeki ''AKI'' ve ''AKIM'' hesaplanmalı ve böylece dedektör tarafından ne kadar parçacık isabet ettiği tespit edilmelidir.

2— Daha sonra dedektörün bilinen duyarlılığı ile impuls katkısı veya çıkış akımı tespit edilmelidir.

3— Gama ışınları için kullanılan dedektörler, sanki duyarlılıkları gama quantlarının geliş doğrultusundan bağımsızmış gibi işleme tabi tutulduklarından ölçü sinyali parçacık akısından tespit edilmelidir.

4— Beta ışınları dedektörleri için duyarlılık; Dış kaynaklı kaynaklarda ışınlama doğrultusu ile büyük değişiklikler arz ettiğinden, bu değişimin derecesi yüzey normali il geliş doğrultusu arasındaki açnın kosinüsü ile orantılı olacak şekilde değiştiği kabul edilecektir. Buna göre beta sayaçlarının impulsu için, parçacık akısı değil de parçacık akımı işleme tabi tutulmalıdır.

(x) A.Ü. Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı Başkanı ve Doçenti, 1990 ERZURUM

5— Bilhassa çok küçük ve düşük seviyelerdeki aktivitelerin bulunduğu yerlerde ölçü değerlerinin "Beckground'dan" yeterli derecede ayrılıp ayrılmadığı kontrol edilmelidir. Gerekli ise hesaplanan değerlerle deneysel sonuçlar arasında bir düzeltme hesabı yapılmalıdır (2-11).

TANIMLAMALAR :

$dD/dt = mRh^{-1}$ olarak doz gücü,

$A = Bq$ olarak, ($1Bq \simeq 27pCi$), aktivite,

$E = MeV.$ olarak her parçalanamada yayılan gama parçacıklarnın enerjisi,

$d = cm.$ olarak gözlem, noktasının kaynağa olan uzaklığıdır.

Buna ileveten şu husus ta dikkate alınmalıdır. Mesela her parçalanmada gama parçacıkları yayılmasın. Bu takdirde Yukarıdaki E enerjileri için yayılma frekansı f, E ile çarpıldıktan sonra işlem yapılmalıdır. Bundan başka her parçalanmada birden çok gama parçacıklar yayılır ise,doz gücünün hesaplanmasında enerji için her parçacığın enerjisi ve frekansının yüzde katkısı dikkate alınmalıdır. Bu husus ta dikkate alındığında, enerji doz gücü için:

$$dD/dt = 1{,}36 x 10^{-4} (A/d^2). \sum (f_i . E_i), mRh^{-1} \qquad (ÇG-1)$$

lişkisi kullanılmalıdır. Aşağıda önceki çalışmaya ilaveten, (1), değişik geometrili ve şartlardaki misaller incelenecektir.

Düzlemsel Maskeli Noktasal Kaynak :

Şek. ÇG-1:'e göre A_1 noktasındaki $\varnothing_1$ akısı:

$$\varnothing_1 = (K_0/4\pi.r^2).\exp(-ut) \qquad (ÇG-2)$$

ve A_2 noktasındaki $\varnothing_2$ akısı:

$$\varnothing_2 = (K_0/4\pi.r^2).\exp(-ut/\cos\theta)/\cos^2\theta \qquad (ÇĞ-3)$$

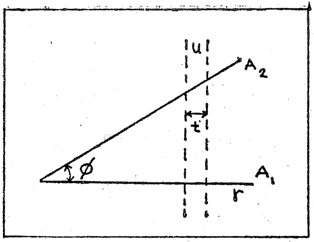
dır. Parçacık akımnı hesaplamak için; Akının bu değerleri, radyasyon doğrultuları ile yüzeyin normali arasındaki açının kosinüsünün çarpımından elde edilir. Buna göre:

$$\begin{aligned} J_1 &= \varnothing_1.\cos\theta_1 \\ &= \varnothing_1.\cos O^0 \\ &= \varnothing_1 \end{aligned} \qquad (ÇG-4)$$

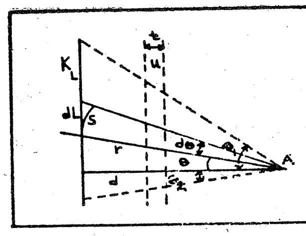
çünkü açı sıfırdır. Bunun gibi:

$$J_2 = \varnothing_2.\cos\theta_2 \qquad (ÇG-5)$$

olarak elde edilir.



Şek. ÇG-1: K_o Kaynak şiddetli ve bir düzlemle maskelenmiş noktasal Kaynak.



Şek. ÇG-2: K_L kaynak şiddetli, kaynağa dik doğrultuda radyasyon yayan çizgisel kaynak.

Çizgisel Kaynaklar :

Şimdi de ince, uzun ve içi radioaktif madde ile dolu bir boru şeklindeki kaynağı dikkate alalım. Çok iyi bir yaklaşımla böyle bir sistem düzenli, isotrop radyasyonlu çizgisel bir kaynak olarak işleme tabi tutulabilir. Böyle bir işlemin yapılabilmesi için aşağıdaki şartların yerine getirilmiş olması gerekir. O halde.

Borunun yarı çapı: Girginliğe (ortalama serbest yola $= 1/u$, cm. olarak) nazaran çok çok küçük ve dekedektöre olan mesafeden de küçük ise kesitin ihmal edilmesinden dolayı ortaya çıkacak hata; Mesela ölçü cihazına olan mesafe, borunun yarıçapının en az 5 katından daha büyük ise, % 5'ten daha küçüktür.

Böyle bir çizgisel kaynağın kaynak şiddeti: K_L, (parçacık/cm.s.) olarak verilir. İnce bir boru için bu birim; Hacım birimi başına aktivitenin, borunun kesiti ile çarpımından elde edilir, ($cm^{-3}.\ s^{-1}\ cm^2 = cm^{-1}\ s^{-1}$).

Maskesiz Çizgisel Kaynak :

Şekil. ÇG-2: den de kolayca görüleceği gibi;

$$s = rd\theta$$

$$= d.d\theta/\cos\theta \qquad \text{(ÇG-6)}$$

yaklaşım halinde,

$$\cos\theta = s/dL \qquad \text{(G-7)}$$

den :

$$dL = (d.d\theta/\cos\theta)/\cos\theta$$

$$= d.d\theta/\cos^2\theta \qquad \text{(ÇG-8)}$$

olur. A noktas-daki dL çizgisel elemanından ileri gelen ∅ akısı:

$$d\varnothing = K_L.dL/4\pi.r^2$$

$$= (K_L/4\pi.r^2).\ (d.d\theta/\cos^2\theta) \qquad (ÇG\text{-}9)$$

olarak elde edilir. Toplam akı için söz konusu çizgisel kaynak üzerinden, (Bütün açılar dikkate alınarak), integral alınır ve böylece:

$$\varnothing = \int_{-\theta_2}^{\theta_1} (K_L/4\pi.r^2)\ .d.d(\tan\theta)$$

$$= (K_L/4\pi.d) \int_{-\theta_2}^{\theta_1} (d\,\theta)$$

$$= (K_L/4\pi.d).\ \theta_1 + \theta_2) \qquad (ÇG\text{-}10)$$

şeklinde hesaplanır. Parçacık akımı ise; Akı için yapılan işlemler cos θ ile çarpıldıktan sora, integral alınarak hesaplanır. Bunagöre;

$$J = (K_L/4\pi.d) \int_{-\theta_2}^{\theta_1} (\cos\theta.d\theta)$$

$$= (K_L/4\pi.d)\ (a\sin\theta_1 + \mathrm{Sin}\theta_2) \qquad (ÇG\text{-}11)$$

şeklinde elde edilir. Sonsuz uzun bir boru için:

$$\theta_1 = \theta_2 = -\pi/2 = 90° \qquad (ÇG\text{-}12)$$

olacağından:

$$\varnothing = (K_L/4d \qquad (ÇG\text{-}13)$$

ve :

$$J = (K_L/2\pi.d) \qquad (ÇG\text{-}14)$$

olacağı kolayca anlaşılır. Buradan hemen şu sonucu çıkarabiliriz: Akı ve akım çizgisel kaynağa olan uzaklığa, "d", göre ters orantılı olarak azalır.

Eğer dedektör söz konusu çizgisel kaynağın uzantısına yerleştirilir ise; Bu geometrk şartlarda, Şek. ÇG-3: akı ve akım aynıdır. Dolayısı ile bütün çizgisel kaynak boyunca integralle hesaplanabilir. Tabi burada kaynağın kendi içindeki absorpsiyon dikkate alınmak zorundadır. O halde:

$$d\varnothing = dJ$$

$$= (K_L/4\pi.x^2).\exp(-u_e\,(x-d)\ )\ dx \qquad (ÇG\text{-}15)$$

buradan:

$$\varnothing = J$$

$$= (K_L/4\pi) . \int_{d}^{(d+L)} (\exp(-u_e (x-d)) . dx/x^2)$$

$$= (K_L . \exp(u_e d)/4\pi . d) . (E_2(u_e d) - (d/(d+L)) . (E_2 (u_e(d+L)))$$

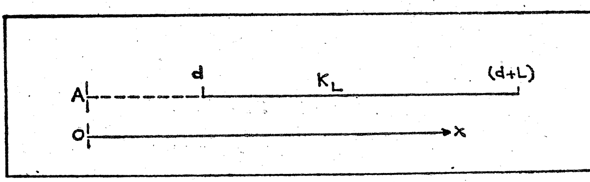
(ÇG-16)

olacağı kolay a hesaplanır. Yeterli uzunluktaki çizgisel kaynaklar için parantez içindeki fark teriminin katkısı ihmal edilebilir. Bu taktirde:

$$\varnothing = J$$

$$= (K_L/4\pi . d) . \exp(-u_e d) . E_2 (u_e d) \qquad \text{(ÇG-17)}$$

olarak işlem görmelidir.



Şek, ÇG-3: K_L kaynak şiddetli, kaynak doğrultusuda radyasyon yayan çizgisil kaynak.

Maskelenmiş Çizgisel Kaynaklar :

Eğer bir çizgisel kaynak bir düzlemle bir dedektörden maskelenmiş ise, bu taktirde parçacıklar geliş doğrultusuna göre çeşitli soğrulma kalınlıklarından geçmek zorunda kalırlar, Şek. ÇG-2:. Maske olarak kullanılan levhayı 45° den daha büyük açılarda geçecek parcacıkların sayıları o kadar az olur ki, böylece yeterli kalınlıktaki maske levhalarında akıya katkıları nisbeten azalır. Bu sebeplten maskelenmiş çizgisel bir kaynak, eğer boyu dedektöre olan mesafenin iki katı kadar ise, sonsuz uzunluktaki çizgisel kaynakmış gibi değerlendirmeye tabi tutulabilir. Bu şartlar altında akının ve akımın hesaplanması, sonsuz uzunluktaki çizgisel kaynaktaki gibi işlem görür, (2-24). Bunun için yapılması gereken, denklem (ÇG-10) ve (ÇG-11) bağıntılarının integral işlemi yapılmadan örce, bu bağıntılar " (exp(- ut/cosθ)" ile çarpılır daha sonra gerekli integraller uygulanır. Bilindiği gibi bu çarpan terim zayıflamayı nazarı dikkate almaktadır. O halde:

$$\varnothing = (K_L 4\pi . d) . 2 . \int_{\theta}^{\pi/2} (\exp(-ut/\cos\theta) . d\theta)$$

$$= (K_L/2\pi . d) . \mathrm{secl}(ut, \pi/2) \qquad \text{(ÇG-18)}$$

ve:

$$J = (K_L/4\pi.d).2.\int_{\theta}^{\pi/2} (\exp(-ut/\cos\theta).\cos\theta.d\theta)$$

$$= (K_L/2\pi.d).Ki_2(ut) \qquad (ÇG\text{-}19)$$

ifadeleri elde edilir. Bilindiği gibi secant-integral-fonksiyonu; secI(ut), $Ki_2(ut)$ fonksiyonu şekiller yardımı ile verilir, (1).

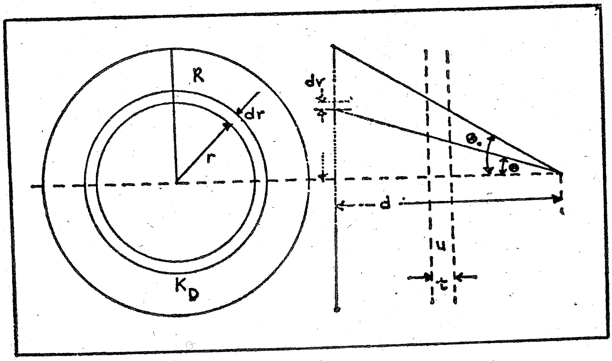
Eğer açı 40° den ve maske kalınlığı da bir girginlikten çok daha büyük ise, secant-integral-fonksiyonunun değeri θ açısından bağımsızdır. Bu sonuç bize bir kere daha açık olarak göstermekledir ki, çok büyük boylu çizgilsel kaynaklar da sonsuz uzunluktaki kaynaklarmış gibi işleme tabi tutulabilir.

Düzlemsel Kaynaklar :

Bir radioaktif materyalin kalınlığı, (kaplama kalınlığı, sıvanma kalınlığı, v.b.), bu tabaka içindeki radyasyonun ortalama serbest yolundan küçük ise, böyle radioaktif bir materyal düzlemsel kabul edilir. Bu şartlar Boruların kontaminasyonunda ve radioaktif maddelerin muafaza edildiği kaplarda, çöp kutularında veya çevrenin bir radioaktif serpintiye mağruz kalması sonucu sağlanmış olur.

Maskesiz Düzlemsel Kaynak :

İsotrop radyasyonlu bir düzlemsel kaynağın kaynak şiddeti K_D olarak verilmiş ise, kaynaktan d kadar uzaklıktaki bir A noktasınki birim yüzeyden geçen akıyı hesaplamak istiyelim. Bu maksat için, düzlem kaynak önce çember seklindeki çok küçük yüzey elemanlarına; ($dF = 2.\pi.r.dr$), ayrılır, Şek. ÇG-4. Böyle bir yüzey elemanından geçn ve A noktasındaki d⌀ akısı:



Şek. ÇG-4: K_D kaynak şirdetli ,bir düzlemle maskelenmş, düzelemsel kaynak.

$$d\varnothing = K_D . dF/(4\pi(r^2+d^2))$$

$$= K_D . 2.\pi.r.dr/(4\pi(r^2+d^2)) \qquad \text{(ÇG-20)}$$

ifadesi yardımı ile hesaplanır. Toplam akı ise, düzlemin tüm yarı çapı üzerinden, ($r = 0$ dan $r = R$ ye kadar), integral olalınarak bulunur. O halde toplam akı için;

$$\varnothing = K_D \int_0^R (2\pi.r.dr/4\pi(r^2+d^2))$$

$$= (K_D/4).\ln(1+R^2/d^2) \qquad \text{(ÇG-21)}$$

olarak hesaplanacağı kolayca görülür. Akımın gesaplanabilnesi için ise, integral alınmadan evel, elde edilen ifade ilk önce $\cos\theta$ terimi ile çarpılır,daha sonra integral işlemi uygulanır. Buna göre:

$$J = K_D \int_0^R (2\pi.r.dr.\cos\theta/4\pi(r^2+d^2)) \qquad \text{(ÇG-22)}$$

bağıntısı yardım ile akım da kolayca hesaplanmış olur. Buradan akım için:

$$J = (K_D/2).(1-d(R^2+d^2)^{1/2}) \qquad \text{(ÇG-23)}$$

ifadesi elde edilir. Sonsuz yarı çaplı bir düzlem için, denklem (ÇG-21) den, akının sonsuz olması gerekir. Bu sonuç matematiksel olarak, her ne kadar doğru ise de, fiziksel olarak anlamsızdır. Zira hesap için kabul edilen ideal şartlar tabiatta ortaya çıkan bir hal değildir. Diğer taraftan sonsuz yarı çaplı bir diskimiz olsa idi. bu kaynağın A noktasındaki akımı:

$$J = K_D/2 \qquad \text{(ÇG-24)}$$

olurdu. Bu sonuç şu şekilde yorumlanabilir: Yüzey birimi başına düzlem kaynaktan gönderilen enerjinin ancak yarısı A noktasındaki birim yüzeye isabet eder.

Maskelenmiş Düztemsel Kaynak :

Bu amaç için şek. ÇG-4: deki durum değerlendirilecektir. Lineer absorpsiyon katsayısı "u" ve maske kalınlığı" ($t \leq d$)" olan ikinci bir düzemsel levha maske olarak, kaynak düzleme paralel tutulacaktır. Bu şartlar altında, maskeden dolayı meydan geln zayıflama:

$$\exp(-ut/\cos\theta) \qquad \text{(ÇG-25)}$$

terimi ile dikkate alınır. Böylece akı ve akım için aşağıdaki bağıntılar kolayca elde edilirler:

$$\varnothing = K_D \int_0^R (2\pi . r . \exp(-ut/\cos\theta) . dr/4\pi \ (r^2+d^2))$$

$$= (K_D/2) . \ (E_1(ut) - E_1(ut/\cos\theta_o)) \qquad (ÇG\text{-}26)$$

ve:

$$J = K_D \int_0^R (2\pi . r . \exp \ (ut/\cos\theta) . \ \cos\theta . dr/(4\pi(r^2+d^2))$$

$$= (K_D/2) . (E_2(ut) - \cos\theta_o . E_2(ut/\cos\cos\theta_o)) \qquad (ÇG\text{-}27)$$

Bu bağıntılardaki exponential-integral-fonksiyonlarının değerleri; (1)'den alınabilir. Sonsuz yarı çaplı bir düzlem için: ($\cos\theta_o=0$), böylece bu denklem (ÇG-26) ve (ÇG-27) bağıntılaları daha basitleşirler. Şöyleki:

$$\varnothing = K_D . E_1(ut)/2) \qquad (ÇG\text{-}28)$$

ve:

$$J = K_D \ E_2 \ (ut)/2 \qquad (ÇG\text{-}29)$$

şekillerini alırlar. Eğer bu iki denklem (ÇG-28) ve (ÇG-2.), maskesiz, ($ut=0$), düzlemsel kaynağa uyulanırlar ise, böylece daha önce lede ettiğimiz sonuçlar tekrar elde edilmiş olur. Bu anlaşılmalıdır. Fakat akı için elde edilen ifade sonsuzlaşır akım içini ise kaynak şiddetinn yarısı olarak elde edilir.

Bir hususu belirtmekte fayda vardır. Eğer düzlemsel kaynak için radyasyon eksen dışında hesaplanacak ise, sonuç tablo halinde verilen fonksiyonlarla verilemezler. Bu durumlar Smitlh ve Strom, (11) tarafından incelenmiştir. Bu araştırmacılar düzeltme faktörü vermişlerdir. Bunlar yardımı ile eksen haricindeki yerlerin etkileri de dikkate alınmaktadır.

SUMMARY

CALCULATION METHODS OF ACTIVITY OF RADIOACTIVE SOURCES WITH VARIOUS GEOMETRY.

It is necessary to control the radioactive contaminations in the all institutions, in radioactivited, fields, and in the fields where radiocactive accidents occur. The geometry and the contamination degree of such areas are very different. Therefor, the dedectors sensitive to these areas are necessary and appropriate conditions must be achiveved.

KAYNAKLAR :

1- Yusuf Caner: Aktivite Ölçüm-rinin Matematiksel Metodları. A.Ü. Tıp Bülteni Cilt 22. Sayı 4. 795. 1990.

2- T. Roçwell : Reactor Shielding Desing Maneuel, USAEC, Report TID. 7004, 1956.

3- B.T. Price, C.C. Horton, K.T., Spinney : Radiation Shielding, London, 1957

4- E.P.Bl izard, L.S. Abbot: Shieding Reactor Handbook, 2. ed. Bd III, B, 1 1962.

5- M. Grotenhuis: Lecture Notes on Reactor Shielding, ANL, 6000, 19659.

6- J.H. Bowen, E.F. Masters: Streungs nd Instrumentierungveon Reaktoren. Kern technik in Einzeldarstellung, Bd. 5, 1961.

7- Th. Jeager: Grundzüge der Strahlenschutztechnir, Berlin, 1960.

8- G.W. Gorschkow: Gamastrahlung radioktiver Körper, Leipzig, 1960.

9- Janke, Emde, Lösch: Tafeln höherer Fonktionen, Stuttagart, 1960.

10- W.G. Bickley, J. Nayler: A short table of the Fonctions Ki_n (x), Philosophical Magazine 20, S. 343-347, 1935.

11- J.H. Smith, M.L. Strom: Generaized Off-Axi Distributions from Disk Sources of Radiation, J. IAppl, Phys. 25, 519, 1954.

12- F. Ludwig: Radioaktive İsotope in Futter-und Nahrungsmitteln, Verlag Karl-Thiemig, 8 München 90.

13- W. Hanle: İsotopentechnik, Verlag Karl-Thiemig, 8 München 90

14- M Oberhofer: Strahlenschutzpraxis-Umgang mit Strahlen, Verlag Karl-thiemig, 8 München 90

15- D. Nachtigall: Physikalische Grundlagen für Dosimetrie und Strahlenschutz, Verlag, Karl-Thiemig, 8 München 90

16- D. Nachtigall: Teablle spezifischer Gammastrahlenkonstanten, Verlag Karl-Thiemig, 8 München 90

17- Chr. Moixener: Gammaenergietabellen zur Aktivitierungsanalyse, Verlag Karl Thiemig 8 München 90

18- W. Oldekop: Einführung in die Kernreaktor-und Kernkraftwerktechnik, Verlag Karl Thiemig, 8 Münchern 90

19- E. Sauter: Grundlager des Strahlenschutz, Erlangen. Siemens, 1971.

20- W. Jacobi, M. Oberhofer: Strahlenschutzpraxis, Teil I bis III, München Verlga Karl Thiemig 1962, 1968.

21- M. Oberhofer: Strahlenschutzpraxis Teil II Messtechnik, Thiemig Taschenbücher, München, 1972.

22- E. Schrüfer: Strahung und Strahungsmesstechnik in Kerakraftwerken, Berlin Elitera Verlag, 1974.

23- O.C. Allkofer: Teilchen-dedektören, Thiemig-Taschenmbücrher Band 41, München Verlag Karl Thiemig, 1971.

24- Deutscher Normenausschuss, Normen für Grössen und Einheiten in Naturwissenschaften und Tchnik DIN 22, Berlin. Beuth-Vertrieb GmbH, 1972.