

GIDA IŞINLAMASINDA ÜRÜNÜN BİLEŞİMİNİN VE GEOMETRİNİN DOZ DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİ

Sabri Keskin*

Resumé: On a choisi deux produits relativement different en densité: H₂ SO₄ (d= 1,8), Aceton (d= 0,79 0,8) comme medium et 1 ci Co-60 comme source pour expliquer l'influence de la composition du produit et la géometrie sur la distribution de la dose. Ici on a seulement pris le cas le plus simple de géometrie de la source, c'est-à-dire la source pointe. Pour calculer le débit de dosé en rad/h, c'est la formule suivante:

$$D (\text{Medium}) = 0,877. r. \frac{m_{\mu en} (\text{medium})}{m_{\mu en} (\text{air})} \text{ rad/h}$$

Pour etablir les courbes d'isodose, les débits de doses étaient déteminis au centre de chaque cm² dans une coupe du paquet.

On voit très clairement que la composition du produit et la géometrie ont une influence très importante sur la distribution de la dose.

Özet: Gıda ışınlamasında, ürünün bileşiminin ve geometrinin doz dağılımı üzerine etkisini izah edebilmek için birbirinden yoğunluk bakımından oldukça farklı iki ürün ele alındı: H₂ SO₄ (yoğunluk = 1,8), Aseton (yoğunluk = 0,79 ~ p,8) ve kaynak olarak da 1 ci'lik Co-60 seçildi. Bu çalışmada en basit geometrik durum dikkate alındı. Yani hesaplar nokta şeklinde olan kaynağa göre yapıldı. Doz hızının rad/saat olarak hesabı için aşağıdaki formül kullanıldı.

$$D (\text{ürün}) = 0,877. r. \frac{m_{\mu en} (\text{ürün})}{m_{\mu en} (\text{hava})} \text{ rad/saat}$$

izodoz eğrilerini elde edebilmek için paketin kesiti karelere ayrıldı ve her cm² nin ortasındaki noktada soğurulmuş olan doz miktarları hesaplandı.

Sonuç olarak ürünün bileşiminin ve geometrinin doz dağılımı üzerine çok önemli bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir.

* Veteriner hekim, Gıda kontrolü mütahassısı Ankara Nükleer Araştırma Merkezinde Araştırmacı Ankara-Türkiye.

Giriş

Gıda ışınlamasında ışınlanacak olan ürünün ve kullanılan kaynağın şekilleri ve özellikleri nedenleriyle bu konu oldukça karışık görünmektedir.

Gıda maddesi tarafından ışınlama sırasında soğurulan doz miktarı gıda maddesinin her tarafında aynı değildir. Yani soğurulan dozun gıda maddesi içerisindeki dağılışı maddenin kalınlığı, yoğunluğu, şekli, ışınlama kaynağına olan uzaklığı, maddenin yahut kaynağın hareketli veya sabit olması gibi gıda maddesine bağlı çeşitli etkenlerle birlikte, ışınlama kaynağı olarak kullanılan kaynağın şekli, doz şiddeti gibi kaynağa ait özelliklerle ilgili etkenler nedenleriyle heterojendir.

Bu çalışmada, ışınlanacak olan herhangi bir gıda maddesinin veya gıda maddesini taşıyan paketin şeklinin ve kaynağa göre geometrik durumunun ne olması gerektiğini tesbitte bizzat gıda maddesinin bileşimi ile geometrik durumların ne gibi rol oynadıkları açıklanmaya çalışıldı.

Materyal ve Metod

Bu çalışmada, konuyu açıklamak amacıyla ortam olarak birbirinden oldukça farklı iki ürün ele alındı.

- a. H_2SO_4 : yoğunluk 1,8
- b. Aseton : " 0,79 (≈ 0,8)

Kaynak olarak 1 ci'lik Co^{60} alındı. Bu radyoizotop aşağıdaki özellikleri gösterir: (1)

- Yarı ömrü : 5,27 sene
- Işınım : γ 1,173 MeV (% 100)
- γ 1,332 MeV (% 100)
- β 0,309 MeV (% 100)
- γ out put : 1,3 rhm/ci (1 ci, 1 m. den 1 saatte 1,3 r verir)

Gıda ışınlamasında ürünün bileşiminin ve geometrinin doz dağılımı üzerine olan etkisini incelemek için aşağıdaki yol izlendi:

Soğurma Katsayıları

Her iki ürün için gerekli hesapları yapabilmek ve yapılan hesap sonuçlarını gösterebilmek için bazı katsayıların bilinmesi gereklidir.

Çizgisel Soğurma Katsayısı

Heriki ürünün çizgisel soğurma katsayıları suyun çizgisel katsayısından hareket edilerek bulunabilir. Bu sadece yaklaşık olarak bir sonuç verir ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\sim \mu (\text{ürün}) = \mu (\text{su}) \times \text{yoğunluk (ürün)} \quad [1]$$

Soğurucu (su) yüzeyine 100 erg/cm² lik bir şiddetle düşen 1,25 MeV'luk Co-60 gamma ışınlarının soğurulması hesaplanmıştır. 1,25 MeV'luk gamma ışınları için suda: $\mu = 0,064^{-1}$ dir.

Yukarıdaki [1] no.lu formülden yararlanarak:

$$\mu (\text{Aseton}) = 0,064 \times 0,79 = 0,0505$$

$$\mu (\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,064 \times 1,84 = 0,1177$$

olarak bulunur.

Kütle Enerji Soğurma Katsayıları

Gamma ışınlarının madde ile karşılıklı etkileri incelendiğinde görülüyor ki, gamma ışını, enerjisine ve etki ettiği maddenin atom numarasına göre, üç ayrı yoldan soğurulur: (2)

- Fotoelektrik soğurma
- Compton saçılması ile soğurma
- Elektron çifti meydana gelişi ile soğurma

Maddenin atomunun soğurma katsayısı ışının dalga boyu (λ) ile elementin atom numarasına bağlı olarak değişir. Işın daha enerjetik olduğu zaman fotoelektrik soğurma çok çabuk düşer. Yine fotoelektrik soğurma ağır elementlerde daha yüksek, hafif elementlerde daha azdır (3).

Işınlanan maddenin kütle enerji soğurma katsayısına etkisinin katılması tam olarak maddenin her gramındaki elektron sayısına ve sıra ile onun maddesel bileşimine bağlıdır. Fakat bu çeşitli maddeler için çok büyük değişiklik göstermez ve pekçok organik madde ve sonuç olarak biyolojik dokular için hemen hemen suyun aynıdır (3).

Elektron çifti meydana gelişi ile soğurma ise ancak 1,02 MeV'luk enerjiden fazla bir enerjiye sahip ışınlarla olabilir ve bu elektron ve pozitron oluşumu ile meydana gelir. (4)

Kütle enerji soğurma katsayıları aşağıdaki formülden yararlanarak hesaplanmıştır: (5)

$$m \mu_{en} = T + t + KT \quad [2]$$

$$T = \text{Fotoelektrik için tesir kesiti}$$

t = Compton olayı için tesir kesiti

KT = Toplam çift meydana gelişi için tesir kesiti

$$KT = K_n + K_e$$

K_n = Çekirdek alanında çift meydana gelişi için tesir kesiti

K_e = Atomun elektronları alanında çift meydana gelişi için tesir kesiti

Yukarıdaki formülden [2] yararlanarak:

$$m \mu \text{ en } (\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,02739 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$m \mu \text{ en } (\text{aseton}) = 0,0295 \text{ cm}^2/\text{g. olarak bulunur.}$$

Yukarıdaki [1] nolu formülden yararlanarak her iki ürünün çizgisel soğurma katsayıları bulunduğundan sonra, ışınlanan herhangi bir ortamın belirli bir noktasında soğurulan enerjinin r/saat cinsinden hesabı ile nokta şeklinde olan bir kaynak için aşağıdaki formülden yararlanarak yapılır: (6)

$$I = 0,55 \cdot C \cdot E \cdot \frac{I}{R^2} \cdot e^{-\mu x} \quad \text{r/saat} \quad [3]$$

C = Küri (ci) olarak aktivite

E = MeV olarak enerji (Co-60 için $E = 2,5$)

R = kaynakla madde arasındaki metre olarak uzaklık

μ = ortamın çizgisel soğurma katsayısı

x = cm olarak enerjiyi soğuran ortamın kalınlığı.

Bu formüle [3] dikkat edilecek olursa, iki önemli etkenle bağıntılı olduğu görülür:

a. Kaynakla ortam arasındaki uzaklıkla ilgili ve $\frac{I}{R^2}$ şeklinde

tamamen geometrik bir bağıntı.

b. Çizgisel soğurmaya belirten fiziksel tabiatlı üslü bir bağıntı.

Üslü ifadeler sadece dar demetli ışınlar ve ince kalınlıktaki soğurucu maddeler için geçerlidir. Bilhassa kalın soğurucu maddeler içinde bir foton soğurulmadan önce çeşitli dağılım olaylarına maruz kalacak ve sonuç olarak kaynağın akışı (flux) başlangıç akıdan daha büyük olacaktır. Bunun için formülün [3] içine "yığılma etkeni" eklenmiştir (build-up): (6)

$$I = B \cdot 0,55 \cdot C \cdot E \cdot \frac{I}{R^2} \cdot e^{-\mu x} \quad \text{r/saat}$$

B = yığılma etkeni R^2

Yığılma etkeni çeşitli maddeler için (su, beton, demir v.s.) H. Goldstein, J. W. Wilkins Jr ve John Moteff tarafından meydana getirilmiş olan tablolardan yararlanarak bulunabilir.

Bu çalışmada "yığılma etkeni" dikkate alınmadı.

Yukarıdaki [3] no.lu formülden yararlanarak herhangi bir ortam içerisinde soğurulan dozlar r/saat olarak hesaplandıktan sonra, rad/saat olarak hesabı da aşağıdaki formülden yararlanarak yapılır:

$$D (\text{ürün}) = 0,877.r. \frac{m_{\mu en} (\text{ürün})}{m_{\mu en} (\text{hava})} \quad [4]$$

$D (\text{ürün}) =$ ürün içinde rad/saat olarak doz

$0,877.r. =$ hava " " " "

$m_{\mu en} (\text{ürün}) =$ ürünün kütle enerji soğurma katsayısı

$m_{\mu en} (\text{hava}) =$ havanın " " " "

Ele alınan heriki ürünün kütle enerji soğurma katsayıları daha yukarıdaki [2] no.lu formülden yararlanarak hesaplanmıştır.

Ele Alınan Durumlar ve Sürdoz Etkeni

Biribirinden oldukça farklı olan iki ürün içinde dozun dağılışı şeklini iyi açıklayabilmek için bazı durum ve bazı değişkenler ele alındı:

I. ci durum: Paket şeklinde düşünülen ürün ve kaynak hareketsizdir ve burada değişken paketin yüksekliğidir.

II. ci durum: Ürün (paket şeklinde) aynı yükseklikteki ve kaynağa paralel bir düzeyde iki defa kaynak önünden geçmektedir (180° lik bir dönüşle). Bu durumdaki değişken de paketin genişliği ve kaynağa olan uzaklık.

Işınlanan gıda maddeleri içerisinde soğurulan dozların dağılımı "sürdoz etkeni" terimi ile de ifade edilir. Bu çalışmada yaptığımız hesaplar doz miktarı ve sürdoz etkeni şeklinde ifade edildiği için sonuçları gösterirken çok kullanılan bu terimi de kısaca açıklamakta fayda var:

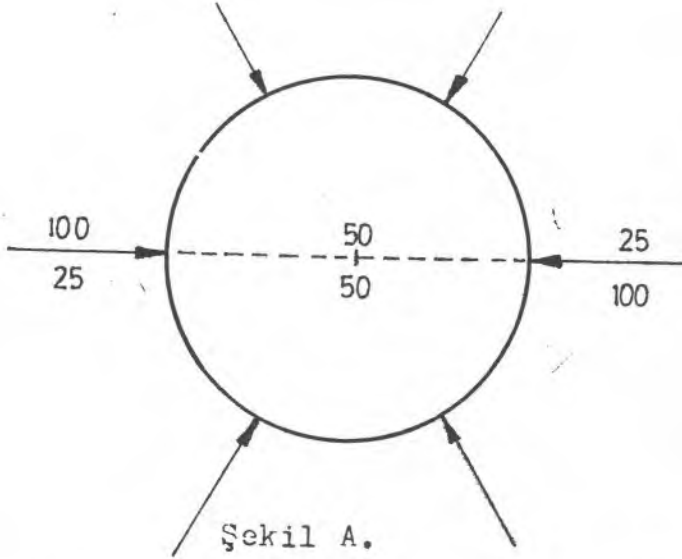
Silindir şeklinde olan katı bir gıda maddesini veya silindir şeklinde olan bir konserve kutusunu ele alalım. Bunu ışınları tamamen radial olan bir ışınım sahasına yerleştirelim. Ürünün eksenindeki herhangi bir noktaya gelen ışın ürünün kalınlığını katedecektir. Eğer bu ışının "yarılama kalınlığı" ⁽²⁾ ürünün yarıçapına eşitse ve ışın tarafından ürünün çevre noktasına verilen doz 100 ise merkezinde 50 ve diametrik olarak eksen üzerindeki karşı noktada 25 olacaktır. Bütün ışın demetlerinin toplamı aşağıdaki sonucu verecektir:

Çevrede: $100 + 25 = 125$, Merkezde: $50 + 50 = 100$ (Şekil A). Eğer araştırma sonucu 100 lük bir dozu gerektiriyorsa, ürünün çevresi 125 lik bir doz, dolayısıyla bir enerji gaspı ve yüzde 25 lik bir sürdoz meydana gelmiş olacaktır. Şu halde "sürdoz etkeni" aynı ürünün çeşitli noktalarında soğurulan en büyük dozun en küçük doza oranıdır:

$$\frac{D \text{ (Maksimum)}}{D \text{ (Minimum)}} = \text{Sürdoz etkeni}$$

Yukarıdaki örnekteki sürdoz etkeni : $\frac{125}{100} = 1,25$ dir ve Şekil

A. da durum açıklıkla görülmektedir.



Suyun yarılama kalınlığı veya akıcı maddelerin ve buna benzeyen gıda maddelerinin yarılama kalınlığı Co-60 için 12 cm dir (⁶). Şu halde, yüzde 25 lik bir sürdoz elde edebilmek için 24 cm çapında ve içi su ile dolu bir madde ele almak lazımdır.

Sonuçlar

Örnek olarak ele alınan iki ürün için çeşitli durumlara göre yapılan hesapların sonucu şekillerle gösterildi.

Şekil:1, heriki ürün için soğurulan doz miktarını ve sürdoz etkenini göstermektedir (H_2SO_4 ve Aseton). Bu şekilde ürün ve kaynak hareketsizdir. Burada değişken yüksekliktir ve değişkene bağlı olarak

sürdoz etkeni; H_2SO_4 için 1 nci durum 1 A da = 2,07, 1 nci durum 1 B de = 2,41 bulundu. Aseton için ise 1 nci durum 1 C de = 1,67, 1 nci durum 1 D de = 2,26 olarak bulundu.

Şekil-2 de ise, ürün kaynağın önünden, kaynağa aynı yükseklikte ve paralel bir düzey üzerinde 180° lik bir dönüşle iki defa geçmektedir. Buradaki sürdoz etkeni H_2SO_4 için = 1,8 (2 nci durum 2A), Aseton için = 1,4 olarak bulundu (2 nci durum C D).

Genellikle 1,2 lik bir sürdoz etkeni uygun bir etken olarak kabul edilir. 1,2 lik bir sürdoz etkeni elde etmek için, kaynağın aynı geometrik durumunda paketin kalınlığını azaltmak veya kaynağa olan uzaklığı büyütme suretiyle yapılan değişiklikte aşağıdaki sonuç alındı:

1,2 lik bir sürdoz etkeni elde etmek için, paketin kalınlığının küçültülmesi halinde bu küçülme H_2SO_4 için 5 cm (2nci durum 2B), Aseton için ise 7 cm olarak bulundu (2 nci durum 2 E).

Paket boyutlarını koruyarak 1,2 lik bir sürdoz etkeni elde etmek için ürünlerin kaynağa olan uzaklıklarının değişmesi gerekir ki, bu da H_2SO_4 için 3 m. (2nci durum 2C), ve Aseton için 26 cm olarak bulundu (2 nci durum 2F).

Aynı ürün içinde veya aynı ortam içinde eşit miktarlarda soğurulan dozları gösteren noktaları birbirine birleştirmek suretiyle elde edilen eğrilere izodoz eğrileri denir.

Bu çalışmada ele alınan ve yoğunlukları birbirinden oldukça farklı olan H_2SI_7 ve aseton içinde izodoz eğrileri elde etmek için hesapları yapıldı. Bunun için durumlardan Şekil-1 deki 1 nci durum 1A (H_2SO_4) ve 1 nci durum 1C (Aseton için) seçildi. Bu izodoz eğrilerini elde etmek için paketin kesiti karelere ayrıldı ve her cm^2 nin ortasındaki noktada soğurulmuş olan doz miktarı hesaplandı (Şekil-3, H_2SO_4 için) ve (Şekil-4, Aseton için). Her iki durumda da kaynak ve paketler hareketsiz durumdadırlar. Bu durumlarda eşit miktarlarda soğurulan dozları gösteren noktalar birleştirilerek her iki ürün içerisindeki dozların dağılımını daha açık şekilde gösteren izodoz eğrileri elde edildi. Bu eğriler de Şekil-5 de açık olarak görülmektedir (H_2SO_4 için 1 nci durum 1A, Aseton için 1 nci durum 1C).

Tartışma

Şekil-1 deki durumlarda iki önemli etken rol oynamaktadır. Birincisi yoğunluk (d), ikincisi paketin boyu (h) dur. Küçük boyutlu paketlerde (10 x 15 cm) aseton için 1,62 olan sürdoz etkeni, H_2SO_4 için 2,07 olan sürdoz etkeninden daha küçüktür ve ürünlerin soğur-

duğu doz, yoğunluğu küçük olan asetonda, yoğunluğu asetona göre oldukça büyük olan H_2SO_4 den çok daha fazladır. Bu başka bir deyimle, yoğunluğu küçük olan bir ürünün aynı dozlar için ışınlanmasında, yoğunluğu daha büyük olan bir ürüne kıyasla, daha az bir sürenin gerekli olduğunu ifade eder.

Şekil-2 deki durumlarda 3 önemli etken rol oynamaktadır. Bu etkenler; yoğunluk (d), paketin genişliği (b) ve paketin kaynağa olan uzaklığı (¹) dir.

Paketlerin kalınlıklarını veya genişliklerini değiştirmek suretiyle yapılan durum değişiklikleri (2 inci durum 2B ve 2E) ile paketin boyutlarını koruyarak paketlerin kaynağa olan uzaklıklarını değiştirerek yapılan durumları (2 inci durum 2C ve 2F) karşılaştırılacak olursak: 2 inci durum 2C ve 2F durumunda soğurulan doz miktarı küçülmekte ve dolayısıyla ışınlama süresi artmaktadır. Bu durum ise ışınlama randımanı için iyi değildir.

Şekil-1 ve 2 deki durumlardan da anlaşılacağı üzere bir ürün tarafından soğurulan doz o ürünün yoğunluğuna, boyutlarına ve kaynağa olan uzaklığına bağlıdır. Şekil-3 ve 4 de gösterilen rakamlar ile Şekil-5 deki izodoz eğrileri ışınlamada ürün tarafından soğurulan dozların miktarında ve ürün içinde dağılış şekillerinde yoğunluğun nasıl bir etkili rol oynadığını açıkça göstermektedir. Yani bu çalışmada yapılan hesaplar sonucu ortaya çıkan şekiller gıda ışınlamasında ürünün bileşiminin, geometrik şekil ve durumun soğurulan doz üzerine etkisine basit birer örnektirler.

Sonuç olarak, ışınlanan ürünlerin yoğunlukları veya bileşimleri, geometrik şekil ve durumları, ürünün yahut kaynağın sabit veya hareketli veya herikisinin birden hareketli olması gibi çeşitli etkenlerle birlikte, bizzat kaynağın özellikleri gibi etkenler ışınlamadan beklenen sonuca ulaşmada önemli etkilere sahiptirler.

Özet olarak denilebilir ki, bütün ışınlama düzenlerinde ürünün boyutlarının çok dikkatle seçilmesi gereklidir.

Literatür

- 1- **Lederer, C. M., Hollander, J. M., Perlman, I.**, (1968): *table of Isotopes*, John Wiley and sons, London and Newyork.
- 2- **Şenvar, Cemil B.**, (1964): *Atomistik ve Çekirdek Kimyası*, A. Ü. Fen Fakültesi yayınları. 97/5, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.

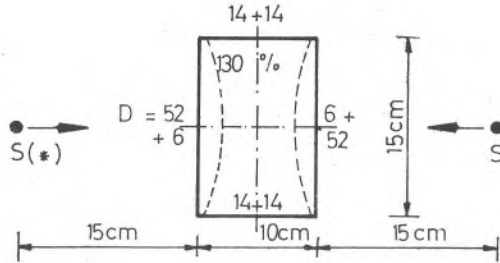
- 3- **Bacq, Z. M., and Alexander, P.** (1966), *Fundamentals of Radiobiology*, p. p. 13-19, The English Language Book Society and Pergamon Press, London and New-York.
- 4- **Rees, D. J.**, (1967): *Health Physics. Principles of Radiation Protection* London-Butterwarths.
- 5- **Kaplan, I.**, (1963): *Nuclear Physics*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. London.
- 6- **Brunelet, L., Roussel, L. et Vidal, P.** (1963): *Consideration Theoriques et Technologiques dans la Conception des grands Irradiateurs pour le Traitement des Denrées Agricoles et Alimentaires*, Ann. Nutr. Aliment, 17: 325-363, Paris.

Şekil : *

SOĞURULAN DOZ (D) ve SÜRDOZ ETKENİ $\left(\frac{D_{\max}}{D_{\min}}\right)$

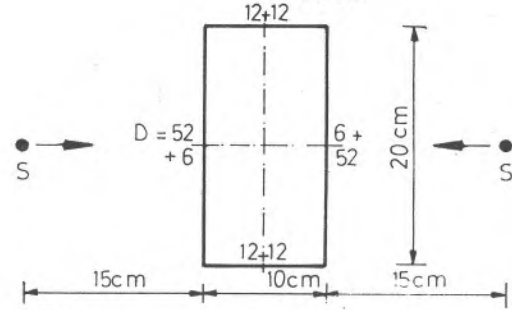
1.ci durum : kaynak ve paket hareketsiz. (d) yoğunluk ve (h) yükseklik

1 A : d = 1,8 (H_2SO_4)
h = 15 cm



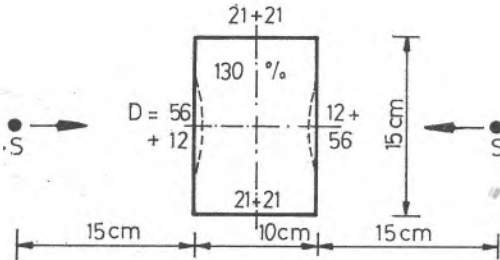
$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 2,07$$

1 B : d = 1,8
h = 20 cm



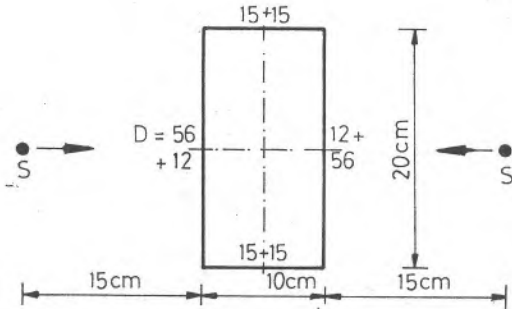
$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 2,41$$

1 C : d = 0,8 (Aseton)
h = 15 cm



$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 1,67$$

1 D : d = 0,8
h = 20 cm

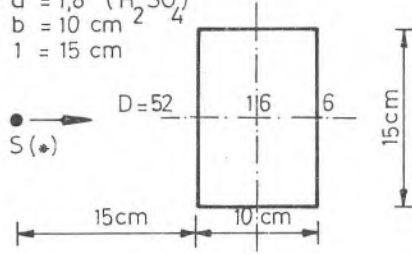


$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 2,67$$

2.ci durum : Paket aynı yükseklikteki ve kaynağa paralel bir düzeyde iki defa kaynak önünden geçmektedir. (180° lik bir dönüşle)

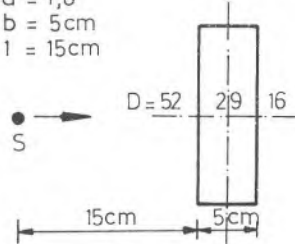
(d) yoğunluk (b) paketin genişliği ve (l) paketin kaynağa uzaklığı.

2A : $d = 1,8$ (H_2SO_4)
 $b = 10$ cm
 $l = 15$ cm



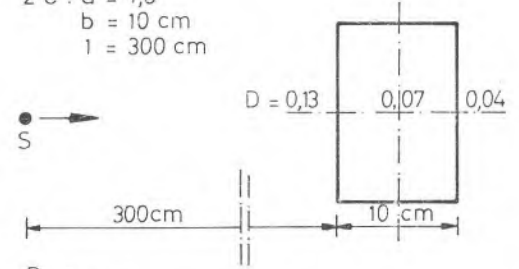
$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 1,8 (**)$$

2B : $d = 1,8$
 $b = 5$ cm
 $l = 15$ cm



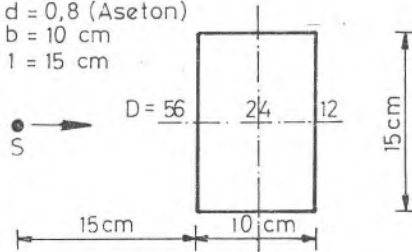
$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 1,2$$

2C : $d = 1,8$
 $b = 10$ cm
 $l = 300$ cm



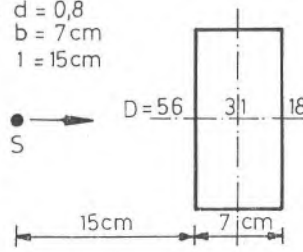
$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 1,2$$

2D : $d = 0,8$ (Aseton)
 $b = 10$ cm
 $l = 15$ cm



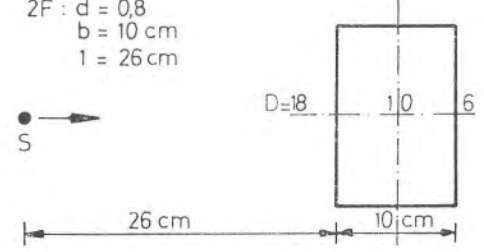
$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 1,4$$

2E : $d = 0,8$
 $b = 7$ cm
 $l = 15$ cm



$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 1,2$$

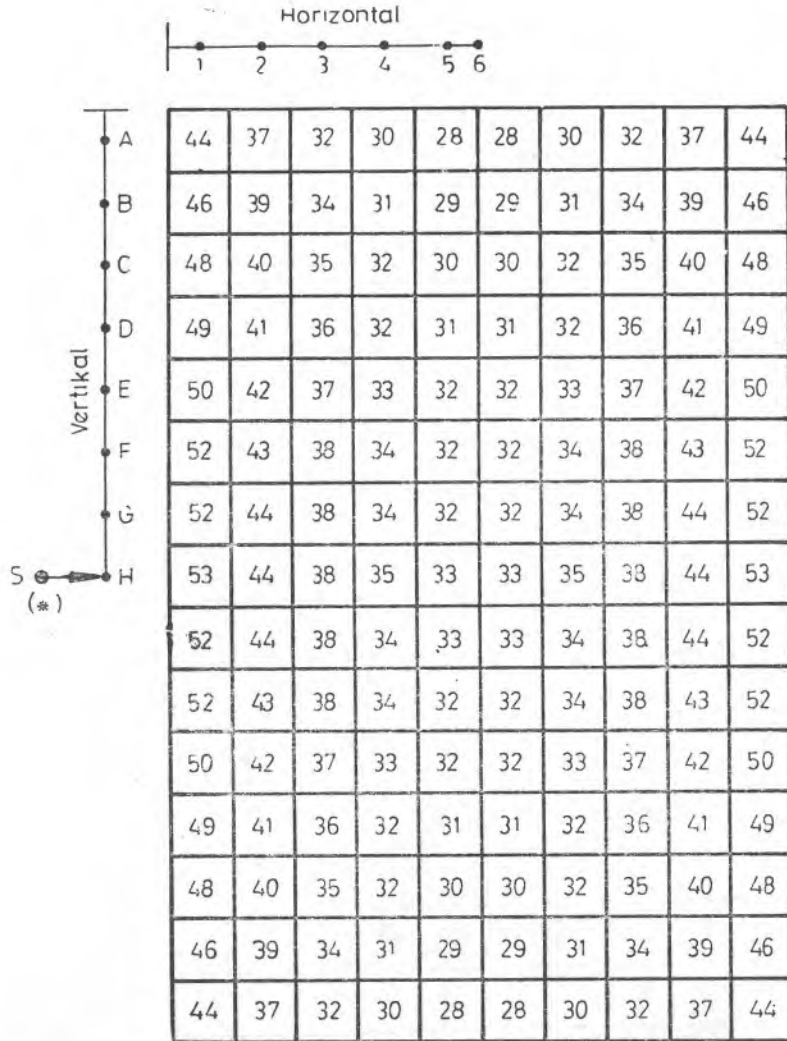
2F : $d = 0,8$
 $b = 10$ cm
 $l = 26$ cm



$$\frac{D_{\max}}{D_{\min}} = 1,2$$

(*) $S = 1$ Ci Co^{60} ; (**) $\frac{D_{\max}}{D_{\min}}$

Eşit uzaklıkta iki geçişten sonra.



Sekil - 3

Paketin kesit yüzünde soğurulan dozun (Rad/saat olarak) dağılışı
(H_2SO_4 için)

(Her cm^2 'nin tam ortasındaki noktada soğurulmuş olan doz miktarı hesaplanmıştır)
Kaynak ve paket hareketsizdir

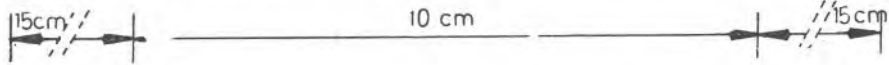
İç durum 1 A $d = 1,8$ (H_2SO_4)
 $h = 15$ cm
 $l = 15$ cm

(*) $S = 1 \text{ Ci } Co^{60}$

1 2 3 4 5 6

A	55	50	46	44	43	43	44	46	50	55
B	57	52	48	46	45	45	46	48	52	57
C	59	54	49	47	46	46	47	49	54	59
D	61	55	51	48	47	47	48	51	55	61
E	62	56	52	49	48	48	49	52	56	62
F	63	57	53	50	49	49	50	53	57	63
G	64	58	53	51	49	49	51	53	58	64
H	64	58	53	51	49	49	51	53	58	64
	64	58	53	51	49	49	51	53	58	64
	63	57	53	50	49	49	50	53	57	63
	62	56	52	49	48	48	49	52	56	62
	61	55	51	48	47	47	48	51	55	61
	59	54	49	47	46	46	47	49	54	59
	57	52	48	46	45	45	46	48	52	57
	55	50	46	44	43	43	44	46	50	55

Vertikal



Şekil - 4

Paketin kesit yüzünde soğurulan dozun (Rad/saat olarak) dağılışı (Aseton için)

(Her cm^2 'nin tam ortasındaki noktada soğurulmuş olan doz miktarı hesaplanmıştır)
Kaynak ve paket hareketsizdir.

1. ci durum i C d = 0,8 (Aseton)
h = 15 cm
l = 15 cm

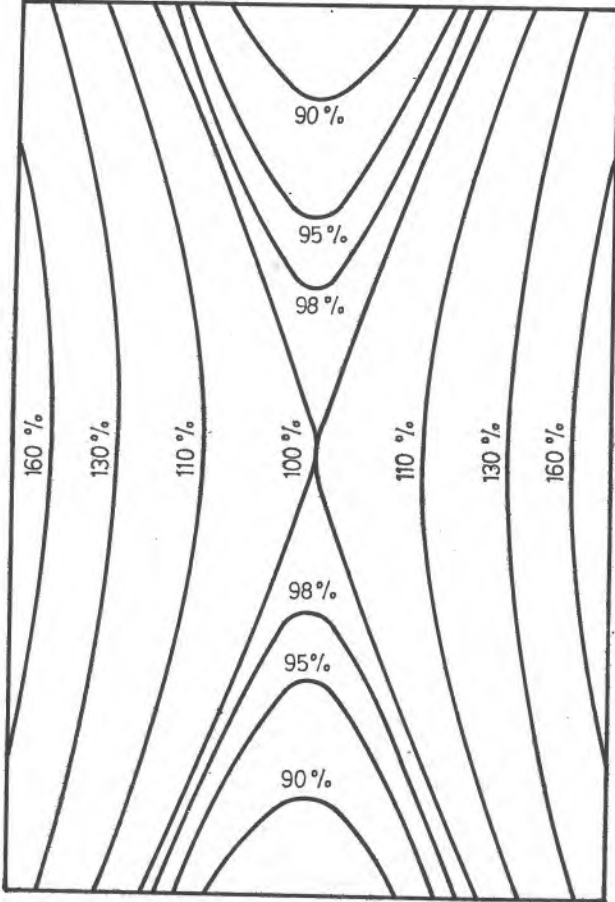
(*) $S = 1 Ci Co^{60}$



Şekil : 5

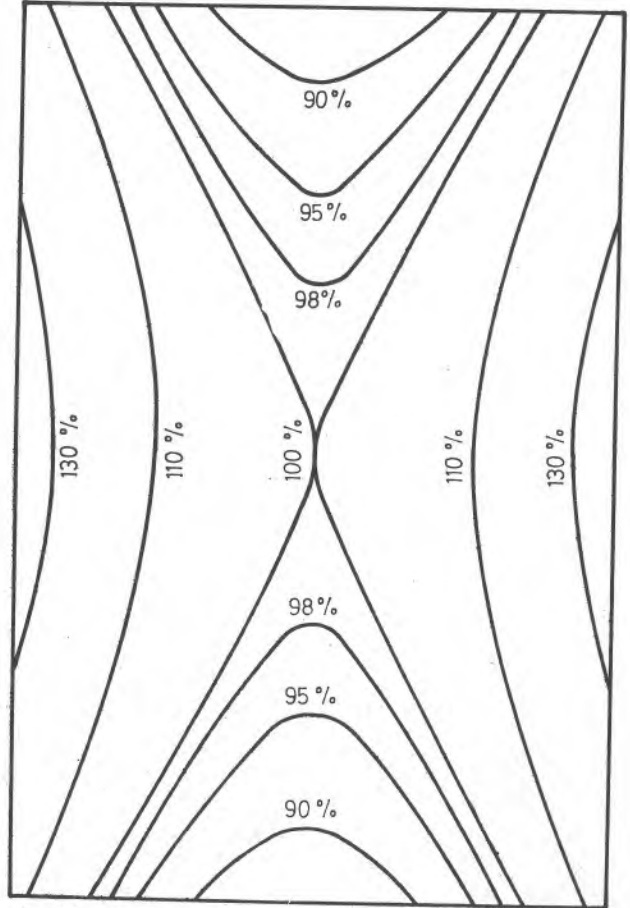
İZODOZ EĞRİLERİ

1. ci durum A



d = 1.8

1. ci durum C



d = 0.8