

NÜKLEER İŞINLAMA YOLUYLA MİKROORGANİZMA KONTAMİNASYONUNUN
ÖNLENMESİNDE ÖZGÜN BİR YAKLAŞIM
- Kek Tabanında Bir Örneklem -

Nafiye KIYAK /

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Nükleer Fizik Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışmanlar: Prof.Dr.Telga YARMAN (2.10.1985-14.10.1986)
Prof.Dr.Ali AYDEMİR (14.10.1986-10.2.1987)
Doç.Ertuğ ARAL (10.2.1987'den itibaren)

Kasım-1988

Bizik Anabilim Dalı'nın DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Hücreler İçinleme Yoluyla Mikroorganizma Kontaminasyonunun Önlenmesinde Üzgün Bir Yaklaşım - Fek Tabanında Bir Örneklem -" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.20./11./1988

Doçent:

Prof. Dr. Gediz Akbeniz

Üye :

Doç. Erdem Aral

Üye :

Doç. Dr. Mehmet Kırbıyık

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu 21 ARALIK 1988'in
ve .197/3..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA

ÖZET

Bu tez çalışmasında, mikroorganizma kolonilerinin nükleer ışın-
lama altındaki davranışlarını tasvir eden dinamik bir model geliştiri-
lmıştır.

Bu modelin olurluğunu araştırmak üzere, petri kutuları içine
hazırlanmış "Czapex Dox Agar" özel besi yerlerinde üretilen mikroor-
ganizma kolonileri, düşük güçlü bir ışınlama kaynağı ile dört farklı
ışınlama dozuyla ışınlanmıştır. Işınlanmış mikroorganizma koloni-
lerinin nükleer ışınlama altındaki davranışları söz konusu model çer-
çevesinde incelenmiştir. Uygulanan toplam nükleer ışınlama dozuyla
orantılı olarak, mikroorganizma kolonilerinin büyümesinde gerilemeler
meydana geldiği gözlemlenmiştir. Söz konusu gerilemelerin uygulanan top-
lam doza bağımlılığının yanı sıra doz hızı, mikroorganizma kolonisi-
nin türüne ve kaynak gücüne de bağımlılık gösterdiği saptanmıştır.
İlgili sonuçlarından hareketle hesaplanan çoğalma ve yoketme katsayı-
ları yardımıyla, mikroorganizma kolonilerinin büyümesinde vazedilen
gerilemeyi sağlayacak olan doz hızı, doz ve kaynak gücü öngörülleri de
yapılmıştır.

Daha sonra, halen piyasaya arz olunan kek dilimleri üzerinde
yine aynı ışınlama kaynağıyla deneyler yapılmış ve söz konusu kek di-
limlerinde "penicillium" türü bir mikroorganizma kontaminasyonunun
önlenmesi şartları araştırılmıştır. Böyle bir kontaminasyonu bir yıl
süreyle önleyerek rafta beklenen ürünün gerçekleştirilmesi için 75.5 kRad
dolayında bir ışınım dozunun yeterli olduğu saptanmıştır. Işınlamalar
koliler halinde yapılacaksa koli yüzeyindeki ışınım dozunun, girici
derinlik faktörü de göz önünde tutularak, 100 kRad dolayında olması
gerektiği bulunmuştur. Söz konusu ışınım dozları, uluslararası otorite-
lerin bu alanda koymuş oldukları üst sınırların 10 kat daha altındadır.

Anahtar Kelimeler: Nükleer ışınlama; Gıda ışınlaması;

Miyeciklerin nükleer ışınlamayla korunması.

SUMMARY

The objective of this study is to develop a new radiation pasteurisation technique whereby the shelf-life of foods can be extended significantly with resultant reduction in spoilage and extension of marketing time.

As a first step the influence of dose on microorganism colonies which are irradiated by different low doses was investigated. For this study microorganism colonies of "penicillium" grown on CDA in petry dishes, were used. Microbiological study on the use of ionising radiation for this purpose demonstrated that a wide variety of factors could influence growth of the microorganism colonies. These factors include the dose and dose rate as well as the nature of microorganism colonies themselves.

Observation on the effects of irradiation under different dosages on colonies showed that the growth of colonies were delayed depending on the applied low dosages. The effect of very high dosages of gamma radiation could be deduced from the information on the effect of fairly low dosages of gamma radiation on microorganism colonies.

As a second step this technique was applied on commercially available cakes. The dose required to delay spoiling was found to depend upon the length of storage time after irradiation. The model calculation based on the experimental results showed that depth penetrating doses of 75.5 kRad for cake could be sufficient to extend the shelf-life up to one year when stored at room temperature. These calculated doses are lower by a factor of 10 than the maximum permissible doses given by international authorities.

Keywords: Gamma irradiation; Food irradiation;
Radiopreservation.

TEŞEKKÜR

Tez konumun gerçevesini çizerek çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen ve değerli önerileriyle daima bana yol gösteren Değerli Hocam Prof.Dr.Tolga Yarman'a;

Tez çalışmam süresince yakın ilgi ve desteğiyle bana güç veren, çalışmalarım sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Hocam Doç.Ertunç Aral'a;

Deneysel çalışmalarımda kullandığım besi yerlerinin hazırlanması, mikroorganizma üretimi gibi hususlarda bilgi ve deneyimlerinden yararlandım, bana laboratuvarlarında çalışma olanağı sağlayan İstanbul Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof.Dr.Övat Güray'a;

Deneylerde kullanılmak üzere mikroorganizma ekilmiş Eti-Kek dilimlerini hazırlayarak yardımlarını esirgemeyen Eti-Tam Gıda Sanayii Müdürü Sayın Naci Söğüt'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Yiyecek Işınlanması Tarihiçesi.....	3
2. ÖN BİLGİ.....	7
2.1 Radyasyon Fiziği.....	7
2.1.1 Çekirdek Kaynaklı Işınlar.....	7
2.1.2 Radyoaktif Bozunum Yasası ve Bozunum Yarı-ömrü....	9
2.1.3 Radyoaktivite.....	10
2.2 Radyasyonların Madde ile Etkileşmeleri.....	10
2.2.1 Parçacık Tabiatlı Işınlar.....	11
2.2.2 Elektromanyetik Tabiatlı Işınlar.....	11
2.2.3 Işın Demetinin Maddeyle Etkileşmesi Süresinde Za- yıflaması.....	12
2.2.4 Absorplama Doz Hızı.....	12
2.2.5 Doz Birimleri.....	14
2.3 Radyasyonların Canlı Organizmalar Üzerindeki Etkisi....	15
2.3.1 Radyasyon Etkisiyle Hücre Ölümü.....	16
2.3.2 Doz-Hücre Ölümü İlişkisi.....	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.4 Besin Maddelerinin Nükleer Işınlarla Forumması.....	18
2.4.1 Besinsel Değer Üzerine Etkisi.....	19
2.4.2 Radyoaktivite Etkisi.....	20
2.4.3 Toksikolojik ve Kanserojenik Etkiler.....	20
2.4.4 Radyasyon Kaynakları.....	20
2.4.5 Işınlama Tesisleri.....	23
3. TEORİK ÇALIŞMA.....	25
3.1 Koloni Oluşumu Öncesinde Mikroorganizmaların Zamana Bağlı Davranışları.....	25
3.1.1 Salt Çoğalma Dinamiği.....	26
3.1.2 Işınlama Altında Çoğalma Dinamiği.....	27
3.2 Mikroorganizma Kolonileri için Büyüme Modeli.....	30
3.2.1 Serbest Büyüme Modeli.....	30
3.2.2 Işınlama Altında Büyüme Modeli.....	34
3.2.3 Yoketme Katsayısının Bulunması.....	36
3.2.4 Yoketme Katsayısı ve Doz Hızı.....	38
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	41
4.1 Besi Yeri Ortamında Mikroorganizma Kolonilerinin Serbest Büyümesi.....	42
4.1.1 Çoğalma Katsayısı β_g 'nin Hesabı.....	44
4.2 Besi Yeri Ortamında Mikroorganizma Kolonilerinin Işınlama Altında Büyümesi.....	46
4.2.1 Dondometri.....	46
4.2.2 Yoketme Katsayısı λ_D 'nin Bulunması.....	48
5. BESİN MADDESİ ÜZERİNDE DENEY	

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1 B21-B27 Ortamında Serbest Büyüme.....	55
5.2 Işınlamanın Koloni Oluşumu Üzerine Etkisi.....	58
5.2.1 Dozimetri.....	59
5.2.2 Kek Ortamı İçin Yoketme Faktörleri Hesabı.....	60
5.2.3 Yoketme Faktörleri-Doz Hızı İlişkisi.....	60
5.2.4 Gecikme Süresi-Işınlama Dozu İlişkisi.....	63
5.2.5 Gerekliliği Kaynak Sürelerinin Belirlenmesi.....	63
5.2.6 Sıcaklık Derinlik Dozu.....	64
6. TROFİK VE DEKAYETİ ÇALIŞTIRMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	69
6.1 Trofik Çalışmalar.....	69
6.2 Dekayet Çalışmaları.....	73
7. SONUÇ.....	78
8. AÇIKTIRMALAR A.....	80
8. AÇIKTIRMALAR B.....	83
9. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Co-60'ın bozunum şeması.....	22
2.2. Cs-137'nin bozunum şeması.....	22
3.1. Koloni oluşumu öncesi mikroorganizmaların çoğalma modeli.....	28
3.2. Çoğalma ve yoketme katsayılarının alacağı değerlere bağlı olarak canlı mikroorganizma sayısının değişimi.....	28
3.3. Serbest çoğalma ile salt ııınlama altındaki mikroorganizmaların ikilenme zamanı (T_2) ve yarılanma zamanları ($T_{1/2}$).....	31
3.4. Mikroorganizma kolonisinin büyümesi.....	31
4.1. Deney ve tedavi amaçlı kullanılan Co-60 ııınlama cihazı.....	43
4.2. Mikroorganizma koloni çaplarının zamana bağlı olarak değişimi.....	45
4.3. Iıınlama ve kontrol gruplarında yer alan mikroorganizma koloni çaplarının büyüme seyri.....	49
4.5. Yoketme katsayısının doz hızına bağımlılığı.....	53
4.6. Doz hızı/kaynak gücü oranının ııınlama uzaklığına bağlı olarak değişimi.....	54
5.1. Kek ortamında mikroorganizma koloni çaplarının zamana bağlı olarak değişimi.....	57
5.2. Kek ortamında $\beta_q(T-T_f)$ ve T_{1q} arasındaki ilişki.....	61
5.3. Kek ortamında yoketme katsayısının doz hızına bağımlılığı.....	62
5.4. Kek dilimlerinde mikroorganizma kontaminasyonunu geciktirme süresinin doz miktarına bağımlılığı.....	64
5.5. Iıınlama sürelerine göre doz hızı ve toplam doz arasındaki ilişki.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇizelgeSayfa

2.1. Çeşitli biyolojik yapıları öldürmek için doz sınırları.....	17
2.2. Işınlama tesislerinde kullanılan Co-60 ve Cs-137 gama kaynaklarının özellikleri.....	23
4.1. Mikroorganizma çoğalma katsayısı ve ikilenme süreleri.....	44
4.2. Işınlama süreleri ve ışınlama dozları.....	48
4.3. Çoğalma katsayısı ve gecikme süreleri.....	50
4.4. $\lambda_D = 14 \text{ saat}^{-1}$ ve $D = 10500 \text{ Rad/saat}$ iken çeşitli ışınlama uzaklıkları için gerekli kaynak gücü değerleri.....	52
5.1. Kek ortamında mikroorganizma kolonilerinin çap değerleri.....	56
5.2. Kek ortamında "penicillium" mikroorganizma kolonileri için çoğalma katsayısı ve ikilenme süresi.....	58
5.3. Kontrol ve ışınlama gruplarında yer alan örneklerin tümünde koloni görüldüğü tarihler ve gecikme süreleri.....	59
5.4. Doz hızı, ışınlama süreleri ve toplam ışınlama dozları.....	59
5.5. Her ışınlama grubu için çeşitli parametrelerin değerleri.....	60
5.6. Çeşitli T_{1s} ve d değerleri için 75500 absorplama (derinlik) dozu sağlayan kaynak gücü değerleri.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
B	: Büyüme, "Build-up" faktörü
C	: Gama kaynağının aktivitesi (Curie)
D	: Birim zamanda hedef tarafından absorplanan enerji, doz hızı (Rad/saat)
d	: Işınlama noktasının kaynağa olan uzaklığı, ışınlama uzaklığı (cm)
e	: Tek bir mikroorganizmayı imha etmek için gerekli ışınım dozu (Rad)
I_0	: Madde üzerine düşen ışın şiddeti (Röntgen/saat)
$I(t)$: Madde içinden geçtikten sonra çıkan ışının şiddeti (Röntgen/saat)
k	: Mikroorganizmalara özgü radyobiyojik katsayı (Rad^{-1})
M_m	: Bir mikroorganizmanın ortalama ağırlığı (g)
N_0	: Bir mikroorganizma kolonisinde bağlantıda var olan mikroorganizma sayısı
$N_m(t)$: Bir mikroorganizma kolonisinde t anında var olan mikroorganizma sayısı
$n_m(t)$: Bölünebilir özellikteki mikroorganizma sayısı
r	: Mikroorganizma yarıçapı (mm)
R_0	: Mikroorganizma kolonisinin bağlantıdaki yarıçapı (mm)
$R(t)$: Mikroorganizma kolonisinin t anındaki yarıçapı (mm)
$T_{1/2}$: Mevcut canlı mikroorganizma sayısının ışınlama ile yarıya inmesi için geçen zaman
T_2	: Mevcut canlı mikroorganizma sayısının iki katına çıkması için geçen zaman
$T_{1\%}$: Hedef materyalin ışınlama kaynağı karşısında bulunduğu ve ışınlara maruz kaldığı zaman dilimi
T_f	: Kontrol grubunda koloni oluşum süresi
T	: Işınlama grubunda koloni oluşum süresi
$T-T_f$: Işınlama etkisiyle koloni oluşumunda meydana gelen gecikme süresi
t_m	: Mikroorganizma ortalama ömrü
X	: Tutucu materyal kalınlığı (cm)
W	: Toplam absorplanan enerji miktarı, absorplama dozu (Rad)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

SimgelerAçıklama

W_y	: Yüzey dozu (Rad)
W_d	: Derinlik dozu (Rad)
β_c	: Koloni çoğalma katsayısı (saat ⁻¹)
λ_c	: Mikroorganizma çoğalma katsayısı (saat ⁻¹)
λ_D	: Yoketme katsayısı (saat ⁻¹)
μ	: Lineer absorpsiyon katsayısı (cm ⁻¹)
Γ	: Doz hızı sabiti (cm ² -Rad/mCi-saat)

Kısaltmalar

IAEA	: International Atomic Energy Agency
OECD	: Organisation For Economic Cooperation and Development
FAO	: Food and Agriculture Organisation
FDA	: Food and Drug Administration
WHO	: World Health Organisation
RPEI	: Regional Project Food Irradiation
ARCP	: Asian Regional Co-operative Project on Food Irradiation

1. GİRİŞ

İyonlaştırıcı enerjinin mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisinin gözlenmesiyle, mikroorganizma kontaminasyonuna bağlı olarak yiyecek maddelerinde meydana gelen bozulmaların iyonlaştırıcı enerji ile önlenebileceği fikri aşırılık kazandı. Birçok ülke bu alanda yoğun araştırma programları başlattılar. Nükleer reaktörlerin devreye girmesi ve bu reaktörlerde geniş çaplı gama kaynaklarının üretilmesi de bu çalışmalara hız kazandırdı.

Hızla artan dünya nüfusu, dünyanın bazı bölgelerinde her yıl yaşanan açlık tehdidi ve her zaman var olan beslenme problemleri, konuyla ilgilenen uluslararası kuruluşların ilgisini besin maddelerinin iyonizan ışınlarla korunması alanında sürdürülen çalışmalara çevirdi. Bu çalışmalar 1960-lı yıllardan itibaren IAEA, WHO ve FAO gibi kuruluşların destek ve katkılarıyla uluslararası boyut kazandılar. Bu amaçla pilot tesisler kuruldu ve uluslararası araştırma programları başlatıldı.

İlki 1966 yılında toplanan ve düzenli aralıklarla altı senede bir düzenlenen uluslararası sempozyumlarda ışınlama ile besinlerin korunması, modern bilim ve teknolojinin dünya beslenme problemine getireceği çözümler olarak sunulmaktadır. Bu sempozyumlarda sunulan yüzlerce bildiri ve çalışma bir hayli umut vericidir.

Bilim tarihinde hiçbir yöntem üzerine bu denli yoğun çalışma yapılmamış ve hiçbir yöntem bu denli güç kabul görmemiştir. Bunun nedenlerinden biri, bu alandaki çalışmaların maliyetinin çok yüksek olmasının yanı sıra ışınlanmış yiyeceklerin tüketime sunulmasında karşılaşılan güçlüklerdir. Işınlama sözcüğünün geçtiği herşey radyoaktiflikle eş anlamlı algılanmakta ve bu nedenle bir tepkiyle karşılanmaktadır. Bu alanda çalışmak zahmetli, zor ve sabır isteyen bir çaba gerektirmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Literatürde mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkinin yüz Etkin mertebesinde ışınlama dozları gerektirdiği ifade edilmektedir. Bunun uzantısında yiyecek maddelerinin korunmasında uygulanması önerilen veya uygulanan ışınlama dozları da aynı mertebede olmaktadır. Ayrıca bu ışınlama dozları, yapılması amaçlanan işleme ve ışınlanacak yiyeceğin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Böyle bir araştırmayı gerçekleştirmek için bu ışınlama dozlarına sağlayacak güçte ışınlama kaynaklarına ihtiyaç vardır. Güçlü bir ışınlama kaynağının maliyetinin milyar lira dolayında bir parayı gerektirdiği gözönüne alınacak olursa böyle bir araştırmayı gerçekleştirmek neredeyse "imkânsız" olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı elde çok güçlü bir ışınlama kaynağı olmaksızın, çok küçük güçte bir ışınlama kaynağı ile yapılacak farklı dozlarda ışınlamalardan hareketle, ışınlamanın mikroorganizmalar üzerindeki etki mekanizması ile ilgili fiziksel parametreler saptamak ve bu parametreler yardımıyla istenilen etkiyi sağlayacak yüksek dozları veya yüksek dozlarda meydana gelebilecek etkiyi öngörebilecek bir yöntem geliştirmektir.

Burada en önemli nokta, uygun fiziksel parametrelerin neler olduğunun ve nasıl ölçülebileceklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla yiyecek kontaminasyonuna neden olan mikroorganizma kolonilerinin büyümesi ve ışınlama altındaki davranışları özgün bir model oluşturularak analitik olarak ifade edilmişlerdir.

Küçük ışınlama dozları ile bu dozlarda ışınlanan mikroorganizma kolonileri arasındaki bağlantıyı oluşturan bu parametreler, daha büyük dozlara çıkıldığında bu ilişkinin nasıl seyredeceğini belirlememize yardım edecektir.

Bu yöntem kullanılarak özel jelatin ambalajları içinde piyasaya sürülen "BİT-KİK" kek dilimlerinde oluşacak "penicillium" türü mikroorganizma kontaminasyonuna karşı, kek dilimlerinin market ömrünün uzatılması şartları ve bunun için gerekli ışınım dozu ve kaynak gücünün belirlenmesi amaçlanmaktadır.

1.2 Yiyecek Işınlanması Tarihçesi

Bilim tarihinde en heyecan verici devrelerden biri, çekirdek kaynaklı ışınların bulunması ile başlayan ve fisyon olayının keşfine kadar uzanan 1896-1939 yılları arasındaki devredir. 1896 da Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfi, Madam Curie'nin radyumu ayırmayı başarıp atom ağırlığını da belirlemesi, bunların hemen ardından Rutherford ve Soddy'nin radyoaktif bozunma teorisini bilim dünyasına kazandırmaları ve radyasyonun üç farklı türü alfa, beta ve gama ışınlarının bulunması ile gelişen buluşlar zinciri, Planck'ın kurduğu Quantum Teorisinin ardından Einstein'ın Relativite Teorisini bilim dünyasının görüşüne sunması ve 1932 yılında Chadwick'in nötronu keşfiyle doruk noktasına ulaştı. Bundan sonraki adım nükleer reaktörler devrinin bağlamasına neden olan nükleer fisyon ve zincir reaksiyonunun keşfidir.

Nükleer reaktörlerde meydana gelen fisyon ürünü bazı radyoizotoplarla, nötron bombardımanına tutularak elde edilen bazı izotopların gama kaynağı olarak kullanılmaya başlanması, bu ışınlarla ilgili çok yönlü araştırma ve uygulama çalışmalarını da beraberinde getirdi.

Bu araştırma alanlarından birisi de çekirdek kaynaklı bu ışınların canlı organizmalar üzerindeki etkisi üzerine olan çalışmalardır. Minck, Prescott, Wockoff ve Dr. Lea gibi fizikçiler bu alandaki çalışmalarını ile dikkati çeken ilk bilim adamlarıdır. Dr. Lea'nın geliştirdiği radyasyonların hücre ölümü üzerine etkisini açıklamayı amaçlayan hedef teorisi bugün halâ geçerliliğini korumaktadır (Lea, 1947; Wockoff, 1930).

İyonlaştırıcı ışınların canlı hücreler üzerindeki etkisi ampirik olarak saptandıktan sonra, istenmeyen mikroorganizmaların ışınlama ile imha edilme koşullarını araştıran çalışmalar yapıldı ve uygulama alanları araştırıldı. 21 Temmuz 1944 de Dr. Lyle E. Proctor yiyecek maddelerinin korunmasında fisyon ürünlerinin yaydığı ışınlardan yararlanmayı amaçlayan ilk patent başvurusunu yaptı. Ancak bu başvurudan önce X-ışınlarından yararlanmayı öngören patent başvurularının olduğu bilinmektedir (Proctor et al, 1942; Apliby, 1905; Lieber, 1905; Wust, 1930).

II. Dünya Savaşından hemen sonra 1945 yılında, Amerikalı bilim adamları yiyecek maddelerinin korunmasında iyonlaştırıcı enerjinin sağlayacağı olanakları geniş boyutlarda araştırmaya başladılar. 1953 yılında Dr. R.G.H Siu tarafından hazırlanan fizibilite çalışmaları sonucu ABD ordusu, kendi bünyesinde yiyecekleri korumaya yönelik iyonlaştırıcı enerji kullanımına başladı (Siu, 1953; Ingram et al, 1960).

1950'li yılların sonlarına doğru Avrupa ülkeleri de bu alanda yoğun araştırma programları yaptılar. İngiltere, Almanya, İskandinav ülkeleri, Belçika, Hollanda ve Polonya bu alanda çalışan ilk Avrupa ülkeleridir (Hannan, 1952; Kuprianoff, 1956).

Sovyetler Birliği 1958 yılında 10 KRad ışınlama dozu ile ışınlanmış bir yiyeceğe ruhsat veren ilk ülke olmuştur. Kanadalı ve Japon bilim adamları kendi ülkelerinin spesifik ürünleri için bu çalışmalara ağırlık verdiler (Govesline, 1977).

1960'lı yıllarda yiyecek ışınlanması alanında uluslararası işbirliğine yönelildi. Ekonomik İşbirliği ve Geliştirme Organizasyonu (OECD), 16 OECD ülkesinden oluşan üye, Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Birleşmiş Milletler Yiyecek ve Tarım Örgütü (FAO)'nun katılımıyla bir çalışma grubu kuruldu. Bu çalışma grubunun girişimiyle Viyana yakınlarında, Seibersdorf'da meyve sularının bozulmasını ışınlama yoluyla önlemeyi amaçlayan bir ışınlama merkezi kuruldu (Leveque, 1965).

6-10 Temmuz 1966 yılında Karlsruhe'da IAEA ve FAO'nun birlikte düzenledikleri ilk uluslararası "yiyecek ışınlanması" simpozyumu yapıldı. Bu simpozyuma sekizi gelişmekte olan ülkelerden olmak üzere toplam yirmisektiz ülke katıldı. Burada yapılan değerlendirmelere göre, biri gelişmekte olan ülkelerde olmak üzere toplam 12 adet pilot tesis bulunmakta ve bu tesislerde 1460000 Curie'lik ışınlama kaynağı kullanılmaktadır. Bu tarihte dünyada üç ülkede beş adet ışınlanmış yiyecek maddesine "ruhsat" verildiği belirlendi (Govesline, 1973).

1960-lı yıllarının başlarında ışınlanmış tahıl ürünlerine FDA'nın "ruhsat" vermesi ile Uluslararası Atom Enerji Kurumu, Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı çerçevesinde bir pilot tesis kurulmasını kavarlaştırdı. Buğday üreticisi bir ülke oluğu ve yıllık ürün kayıplarındaki fazlalık nedeniyle pilot tesis kurulması için Türkiye önerildi. Türk Hükümeti ile varılan anlaşmaya göre, yer olarak, buğday depolama tesislerinin bulunduğu İskenderun seçildi. Işınlama biriminin kapasitesi, saatte 30-50 ton buğdayı 16 kRad'da ışınlayabilecek şekilde dizayn edildi. Işınlama birimi beton binanın 100 ft altında bulunuyor ve 100000 Curie'lik bir Co-60 kaynağı içeriyordu. Data toplama amacını güden bu tesise her tür datayı kaydedecek aletler yerleştirildi ve 1967 yılında işletmeye alınmasından hemen sonra gelişmeye başlayamadan kapatıldı. Bu olay, uluslararası alanda ışınlama programları üzerinde çok etkisi yaptı(Carden, 1967).

1970-li yıllarda çalışmalar yeniden hızlandı. 13-17 Kasım 1972 yılında ikinci uluslararası simpozyum bu kez gelişmekte olan bir ülkede, Hindistan'ın Bombay kentinde toplandı. IAEA ve WHO (Dünya Sağlık Örgütü)'nin düzenledikleri simpozyumunda kurulu pilot tesis sayısının, 7'si gelişmekte olan ülkelere olmak üzere, 27'ye yükselmiş olduğu görüldü.

Bu yıllarda ışınlanmış yiyecekler uzay programlarında, özellikle Apollo 12, 13, 14, 15 ve 17 mürettebatının beslenmesinde kullanıldılar.

Bundan sonraki çalışmalar, uluslararası düzeyde, ışınlanmış yiyeceklerin standardizasyonuna yönelik yapıldı. 1983 yılında FAO ve WHO uzmanlar komitesi 10 kGray (1 kRad)'lık dozu üst sınır kabul ederek, bu sınırdan altında kalan dozlarla ışınlanmış yiyecekler için genel standartlar kodeksini benimsedi.

21-25 Kasım 1977 de IAEA, FAO ve WHO'nun ortak katılımıyla üçüncü uluslararası simpozyum, 1985 yılı Mart ayında Washington'da da dördüncü uluslararası simpozyum düzenlendi (IAEA Bulletin, 1985).

Bugün, ürün kayıplarının çok fazla olduğu üretici ülkeler, özellikle gelişmekte olan ülkeler, bu alandaki çalışmalara ağırlık vermekteler. Son yıllarda FAO ve WHO'nun destekledikleri, "Bölgesel Yiyecek Işınlaması İşbirliği Projesi"(RPAI) adı altında, sekiz Asya ve Pasifik Ülkesi ortak bir proje etrafında çalışmaya başladılar. Burada hedeflenen amaçlar bölgesel ürünler üzerinde araştırmalar yapmak, bilgi ve teknoloji alışverişinde bulunmak ve ışınlanmış yiyeceklerin ticareti ve pazarlanmasını geliştirmek olarak özetlenebilir.

Ülkemizde de son yıllarda yiyecek ışınlaması alanında çalışmalara ağırlık verildiği gözlenmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu bünyesinde bir "gıda ışınlaması" bölümü kurulmuş olup çalışmalara başlanmıştır (Öztaşkıran vd., 1983, 1984).

2. ÜN BİLGİ

Bu bölümde, tez konumuzu gerçeğeleyen konularla ilgili temel bilgiler sunulmaktadır.

Önce, çekirdek kaynaklı ışınlar ve bu ışınların madde ile etkileşimleri esasına dayalı ölçüm teknikleri ile doz değerlendirilmesi üzerinde durulmaktadır.

Daha sonra, konumuz uzantısında bu ışınların canlı organizmalar üzerindeki etkisi, kullanım alanları ile bu alanlarda kullanılan radyasyon kaynakları hakkında bilgi verilmektedir.

2.1 Radyasyon Fizikisi

Atom çekirdeği, atomdan yüzbin kez daha küçük olup, atomun hemen hemen tüm kütlesi burada yoğunlaşmış durumdadır. Çekirdeği oluşturan nükleonların yani proton ve nötronların sayısı çekirdeğin kimlik göstergesidir. Atomu karakterize eden özel sembolün sol alt köşesine çekirdek içinde mevcut proton sayısı, sağ üst köşesine de mevcut nükleon sayısı yazılır, örneğin bir X atomunun çekirdeği için, kimlik gösterimi,

$$\begin{array}{c} \text{veya} \\ \text{P} \\ \text{Z}^{\text{X}} \end{array} \begin{array}{c} \text{X}^{\text{n+p}} \\ \text{X}^{\text{A}} \end{array} \quad (2-1)$$

şeklinde ifade edilir.

2.1.1 Çekirdek Kaynaklı Işınlar

Atom çekirdeğini oluşturan nükleonlardan nötron sayısının proton sayısına oranı (n/p), çekirdeğin "kararlılığı" için kriter olarak alınmaktadır. Çekirdek içinde yer alan nötron sayısı, yaklaşık olarak, proton sayısına eşit olduğu durumlarda çekirdek "kararlı" olmaktadır. Oran büyüdükçe çekirdeğin "kararlılığı" bozulur ve çekirdek "kararlı" duruma dönebilmek için enerji veya parçacık atarak bozunur. Bu bozunma olayı, "kararlı" bir çekirdekte son buluncaya kadar devam eder.

Bu özellikteki atom çekirdeğine radyoaktif çekirdek denir. Radyoaktif bir çekirdek, türüne göre dağınıya üç tür ışın salar. Bu ışınlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

Alfa Işınları

Bu ışınlar iki nötron ve iki protondan meydana gelmiş (+) yüklü He çekirdekleridir. Alfa atan bir ${}_Z^AX^A$ çekirdeği,



bağıntısı uyarınca ${}_{Z-2}Y^{A-4}$ ürün çekirdeğe dönüşür. Alfa bozunumuna örnek olarak,

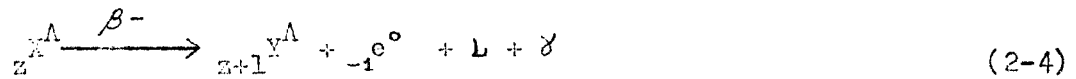


bozunumu verilebilir.

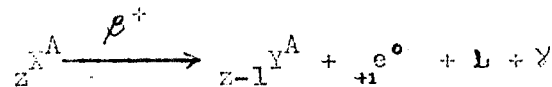
Alfa parçacıkları, çekirdek kaynaklı ışınlar içinde en ağır olanıdır. Ağır ve yüklü olmaları nedeniyle madde içinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirerek enerjilerini çabucak kaybederler. Bu nedenle girici değildirler. Bir dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak, herhangi bir yolla vücut içine alındıklarında son derece tehlikeli olabilmektedirler.

Beta Işınları

Bunlar (-) veya (+) yüklü elektronlardır. Beta bozunumunda kütle numarası değişmez, yalnızca proton sayısında değişme olur. Beta atan bir ${}_Z^AX^A$ çekirdeği, L nötrinoları göstermek üzere,



veya



bağıntısına göre ürün çekirdeğe dönüşür. Örnek olarak U^{238} bozunumu ile meydana gelen ürün çekirdek, Th-234'ün



bozunumu verilebilir.

Beta parçacıkları, alfalardan merteye olarak yedi bin kez daha hafiftirler. Bu nedenle alfa ışınlarına göre biraz daha giricidirler.

Enerjileri, bir maksimumdan geçen geniş bir dağılım gösterir. Bunun nedeni olarak, birlikte atıldıkları "nötrino" olarak adlandırılan yüksüz, çok ufak parçacıklar (L) gösterilmektedir. Beta parçacık enerjisi 0 ile 5 MeV arasında değişmekte olup iç ve dış radyasyon tehlikesi oluştururlar.

Gama Işınları

Yüksek enerjili, maddeye o oranda girici, elektromanyetik dalga yapısında, çekirdek kökenli ışınlardır. Atom çekirdeğinin parçacık atması (genellikle beta) sonrasında, çekirdeğin yeniden düzenlenmesi sırasında yayınlanırlar.

Gama enerjileri 0.1 MeV ile 3 MeV arasında değişir. Yüksek girici özelliklerinden ötürü dış radyasyon tehlikesi oluştururlar.

2.1.2 Radyoaktif Bozunum Yasası ve Bozunum Yarıömrü

Doğal ya da yapay her radyoaktif çekirdeğin kendine özgü bir bozunma karakteristiği vardır. Bunlar, çekirdeğin yayınladığı ışının cinsi, enerjisi ve bozunma hızı olarak özetlenebilir.

Bozunan radyoaktif maddenin tüm atomları aynı anda bozunmaz. Birim zaman zarfında bozunan çekirdeklerin sayısı, kalan, bozunmaya hazır çekirdeklerin sayısı ile orantılıdır. Orantı katsayısı ise "bozunma sabiti" olarak adlandırılır.

$N(t)$, t anında bozunmamış olarak mevcut radyoaktif çekirdeklerin sayısı olsun. Birim zamanda bozunan çekirdek sayısı, radyoaktif bozunum yasası uyarınca,

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (2-7)$$

şeklinde yazılmaktadır. λ , bozunma sabiti olup, **denklemdaki (-) işaret,** mevcut radyoaktif çekirdek sayısındaki azalmayı göstermektedir.

$t=0$ anında, yani başlangıçtaki radyoaktif çekirdek sayısı $N(0)$ ise, Dk.(2-7) nin çözümü, yani t anında hala bozunmamış olarak var olan çekirdek sayısı,

$$N(t) = N(0) e^{-\lambda t} \quad (2-8)$$

olarak bulunacaktır.

"Bozunma yarıömrü", mevcut radyoaktif çekirdek sayısının radyoaktif bozunum ile yarıya inmesi için geçen zaman süresi olarak tanımlanmaktadır. Yani $N(t) = N(0)/2$ olması için geçecek olan $t = T_{1/2}$ süresi, yarıömür, Dk.(2-8) den

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2-9)$$

olarak bulunur.

Radyoaktifliğin ortadan pratikçe kalkması için 10 yarı ömrün geçmesi yeterli sayılmaktadır.

2.1.3 Radyoaktivite

Radyoaktivite, radyoaktif çekirdekler içeren bir maddenin birim zaman boyunca bozunan çekirdeklerinin miktarı olarak tanımlanır.

Radyoaktivite birimi olarak birkaç yıl öncesine kadar Curie (Ci) kullanılmaktaydı. Saniyede 3.7×10^{10} bozunum meydana gelen radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanan bir Curie, oldukça büyük bir madde miktarını tarif ettiğinden, onun yerine, saniyede bir bozunum veren radyoaktif madde miktarı olarak tarif edilen Becquerel (Bq), radyoaktivite birimi olarak kullanılmaya başlandı.

2.2 Radyasyonların Madde İle Etkileşmeleri

Çekirdek kaynaklı ışınlar, enerjilerini içinden geçtikleri ortama vermek suretiyle zayıflayarak yutulurlar. Bu olayı parçacık ve dalga yapılı ışınlar için inceleyelim.

2.2.1 Parçacık Tabiatlı Işınlr

Bu ışınlar, parçacık enerjisi, kütlesi ve yükü ile ışınların içinden geçtikleri ortamın özelliklerine bağlı olarak yutulurlar.

Alfa parçacığı, (+) yüklü He çekirdekleri olduğundan, bir atomun elektronlarına yaklaştığında, elektrostatik çekim kuvvetinin etkisinde kalarak birbirlerini geçecek, çekirdeği ile birbirlerini kuvvetlice iteceklerdir. Elektron kütlesinden yaklaşık 7000 kat daha fazla kütleli oluşları ve 10 MeV dolayındaki yüksek enerjileri nedeniyle alfa ışınlarının, atomların yörünge elektronları ve çekirdekleri ile etkileşmeleri olasılığı çok yüksektir. Bu etkileşmeler sırasında iyonizasyon ve uyarılma olaylarından biri veya her ikisi de meydana gelebilir ve alfa parçacıkları çok kısa bir mesafede enerjilerini yolları üzerinde cm başına 50,000-80,000 iyon çifti meydana getirerek kaybederler.

Bir elektronun sükunetteki kütlesi ve yüküne eşit kütle ve yüke sahip olan beta parçacıkları, absorplayıcı maddenin atomlarının elektronları ve çekirdeği ile etkileşmelere girerek iyonizasyon ve uyarılma olaylarına neden olurlar. Ayrıca yüksek enerjili beta parçacıklarının atomun etrafındaki elektron bulutundan geçerken enerji seviyeleri arasındaki çekim nedeniyle hızları sürekli değişmekte ve bundan ötürü X-ışını yayılmaktadır. Bu ışınlara "Frenleme Işınları" denilmektedir.

2.2.2 Elektromanyetik Tabiatlı Işınlr

Gama ışınları, madde ile etkileşmelerinde başlıca üç şekilde enerji kaybederek absorplanırlar.

- a) Fotoelektrik Olay: Gama ışını, enerjisinin tümünü elektrona vererek elektronu yerinden söker. Bu elektrona fotoelektron denir.
- b) Compton Olayı: Gama fotonu enerjisinin bir kısmını elektrona vererek, elektronu yerinden söker ve enerjisi azalmış olarak başka bir doğrultuda yoluna devam eder.
- c) Çift Oluşum: Enerjileri 1.02 MeV'den büyük olan gama ışınları çekirdek manyetik alanı içinde bir elektron-proton çiftine dönüşürler.

Bu üç olay gama ışınının enerjisine, yutucu materyalin atom numarasına bağlı olarak değişir.

2.2.3 Işın Demetinin Maddeyle Etkileşmesi Sürecinde Zayıflaması

Bir radyasyon demetinin şiddetinde, Δx gibi bir madde kalınlığı içinde meydana gelecek ΔI azalması, bu madde üzerine düşen radyasyon şiddeti I ile orantılıdır. Şiddet azalması,

$$-\Delta I = \mu I \Delta x \quad (2-10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada μ , lineer absorpsiyon katsayısıdır. Yutucu maddeye düşen ışın şiddetine I_0 , çıkan ışın şiddetine I dersek, Dk. (2-10)'un entegre edilmesiyle,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2-11)$$

bağıntısı elde edilir.

Bu denklem "dar demet" koşulları için doğru olup "geniş demet" koşullarında yansıma ve saçılmalar yoluyla gelen ışınları da hesaba katmak gerekir. Böyle durumlarda denkleme ayrıca bir "büyüme (build up)" faktörü ilave etmek gerekecektir. Böylece Dk. (2-11),

$$I = I_0 B e^{-\mu x} \quad (2-12)$$

şeklini alacaktır. B, burada "build-up" faktörü, x ise yutucu madde kalınlığıdır.

2.2.4 Absorplama Doz Hızı

Aktivitesi (gücü) C mCi olan ve E meV enerjili gama ışını yayınlayan bir noktasal gama kaynağından d cm uzaklığındaki bir noktadaki doz hızı, dar demet olması halinde,

$$D = \Gamma \frac{C}{d^2} \quad \text{Rad/saat} \quad (2-13)$$

olarak verilmektedir (Hine, 1956).

Burada, Γ gama kaynağı olarak kullanılan radyonüklide özgü doz hızı sabitidir. Co-60 için bu değer $12.6 \text{ cm}^2\text{-Rad/mCi-saat}$ olarak verilmektedir (PHS, 1970).

Gelen ışın demeti x kalınlığındaki bir yutucu madde üzerine düşüyorsa, bu halde Dk.(2-13),

$$D = \Gamma \frac{C}{d^2} e^{-\mu x} \quad \text{Rad/saat} \quad (2-14)$$

şeklini alacaktır. Burada μ , gama ışını absorplama sabitidir. Işın demetinin geniş olması durumunda, (2-14) denkleminde "build up" faktörünün ilavesi gerekmektedir. Böylece doz hızı,

$$D = \Gamma \frac{C}{d^2} B e^{-\mu x} \quad \text{Rad/saat} \quad (2-15)$$

biçimini alacaktır.

"Büyüme (build up)" faktörü ve gama ışını absorplama sabiti, gama ışın kaynağı enerjisi ve yutucu materyale özgü sabitler olup tablolar halinde verilmektedir (Hendee, 1977).

Bir Co-60 gama kaynağı için doz hızı, Dk.(2-15)de ilgili sabitlerin değerleri yerine konularak,

$$D_{\text{Co-60}} = \frac{1.26 \times 10^4 C}{d^2} \left[B \exp(-0.0632 x) \right] \text{Rad/saat} \quad (2-16)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Burada;

d : Işınlama uzaklığı (cm)

C : Kaynak gücü (Curie)

x : Yutucu madde kalınlığı (cm)

B : Büyüme faktörü

olarak tanımlanmaktadır.

$t=0$ 'dan $t=t$ 'ye kadar bir ışınlama süresinde yutulan toplan doz,

$$W = \int_0^t D(t) dt \quad \text{Rad} \quad (2-17)$$

veya

$$W = \left[\frac{C t}{d^2} \right] \text{ Rad} \quad (2-18)$$

olmaktadır.

2.2.5 Doz Birimleri

Işınlama doz birimi (Röntgen) ve absorplama doz birimi (Rad) olmak üzere iki temel doz birimi kullanılmaktadır.

Işınlama Doz Birimi RÖNTGEN:

X ve gama türü elektromanyetik karakterli ışınlar için kullanılır. Normal şartlarda (0 °C ve 760 mm Hg basıncında) 1 cm³ havada bir elektrostatik yük birimlik elektrik yükü taşıyan iyon çiftleri meydana getiren X veya gama ışınları miktarı olarak tanımlanır.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonunun önerileri doğrultusunda, ışınlama dozu olarak Röntgen yerine Coulomb/kg (C/kg) kullanılmaya başlanmıştır. Tanım olarak,

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ Röntgen} \quad (2-19)$$

veya

$$1 \text{ R} = 2.5 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad (2-20)$$

olmaktadır.

Absorplama Doz Birimi RAD:

Işınlama dozu madde üzerine düşen radyasyon enerjisi miktarını belirler, ancak bunun ne kadarının madde tarafından yutulacağı hakkında bilgi vermez. Bu nedenle bir absorplama dozu tanımlanmıştır. Buna göre, ışınlanan maddenin bir gramında 100 Erg'lik enerji yutulması sağlayan radyasyon miktarına 1 RAD denir. Işınlama dozunun aksine, absorplama dozu tüm ışınlar için geçerlidir. Havada 1 Röntgenlik gama ışını, su içinde 0.87 Rad'lik absorplama dozu meydana getirir.

URİK'nin önerileri doğrultusunda yeni absorplama birimi GRAY olarak kabul edilmiştir. Tanım olarak,

$$1 \text{ Gray} = 100 \text{ Rad}$$

(2-21)

olmaktadır.

Radyasyon dozunun bilinmesi yanında, bu dozun ne kadar sürede verildiği yani doz hızı, Rad/saat veya Röntgen/saat, konumuz açısından önemli tanımlardır.

2.2.6 Radyasyon Ölçüm Teknikleri

Tüm radyasyon ölçüm yöntemleri, ışınların içinden geçtikleri ortamda iyonizasyon meydana getirme özelliklerine dayanır. En çok kullanılan radyasyon deteksiyon ortamları şunlardır.

- Gazlar
- Fotografik emülsiyonlar
- Sintillasyon fosforları
- Kimyasal bozulma ortamları
- Lüminesans ortamlar

Bunlar içinde en çok kullanılan gaz ortamlardır. Gaz ortamların kullanıldıkları radyasyon ölçme cihazlarına iyon odaları denir. İyonlaştırıcı ışınların gaz ortamı içinde meydana getirdikleri iyonların toplanması ilkesine dayanan bu cihazlar içinde yer alan elektrotlar bir voltaj kaynağına bağlandığında, meydana gelen iyon çiftleri elektrotlarda toplanmaya başlar. Her parçacık veya foton için bir akım pulsu alınarak bunlar elektronik devreler yardımıyla sayılır. Meydana gelen iyon akımı gelen radyasyonun cinsine, enerjisine ve miktarına bağlıdır.

2.3 Radyasyonların Canlı Organizmalar Üzerindeki Etkisi

Canlı organizmalarda radyasyon enerjisinin yutulması ile biyolojik etkilerinin ortaya çıkması arasında kalan sürede meydana gelen olaylar zincirini dört aşamada incelemek mümkündür.

Fiziksel Aşama: Bu aşamada radyasyon enerjisi maddeye transfer olur ve absorplayıcı maddenin moleküllerinde uyarılma ve iyonlaşma olayları görülür.

Fiziko-kimyasal Aşama: Fiziksel aşamanın ardından ortaya çıkan yeni ürünler, genellikle son derece kararsız olup kısa süre içinde ikincil reaksiyonların meydana gelmesine neden olurlar ve ikincil reaksiyon ürünleri ortaya çıkar.

Kimyasal Aşama: Meydana gelen reaktif ürünler (genellikle serbest atom ve radikaller) hem birbirleri ile ve hem de ortamdaki diğer moleküllerle reaksiyonlara girmeye devam ederler.

Biyolojik Aşama: İlk üç aşamada meydana gelen olaylar sonrasında radyasyon enerjisinin son biyolojik etkisi ortaya çıkar.

Bir biyolojik sistemde radyasyon etkisi ile başlayan olaylar zinciri, biyolojik moleküllerle başlamışsa, buna "radyasyonun doğrudan etkisi" denir. Eğer olaylar biyolojik moleküllerin içinde bulunduğu diğer ortam molekülleri ile başlamışsa, "radyasyonun dolaylı etkisi" olarak adlandırılır (Özalpın, 1980).

2.3.1 Radyasyon Etkisiyle Hücre Ölümü

Hücre ölümü kavramı sinir, kas ve salgı bezi hücreleri gibi hücrelerin özel fonksiyonlarını yerine getirememesi veya kemik iliği hücreleri ve bakteriler gibi bölünebilen hücrelerde bölünme yeteneğinin kaybı olarak tanımlanır.

İyonlaştırıcı ışınların canlı hücreleri öldürebildiği, ışınlama dozu arttıkça ölen hücre sayısında artış olduğu deneysel olarak gözlenmiştir. Ancak radyasyon etkisi ile hücre ölümü mekanizması henüz tam anlamıyla anlaşılmış değildir. Bugün bu konuda elde edilen en önemli bilgi, radyasyonun etkisine hücre çekirdeğinin stoplazmaya oranla daha hassas olduğudur. Hücre çekirdeğinde bulunan DNA, hücrenin tüm genetik özelliklerini, hücre yapısı ve fonksiyonları ile ilgili tüm bilgileri taşıyan molekül olduğundan hücre ölümünde en önemli hedef olarak düşü-

nülmektedir. Hücre stoplazmasında soğurulan enerji çoğu zaman kimyasal değişimlere neden olmakta ancak bu her zaman hücre ölümü ile sonuçlanmayabilmektedir.

Radyasyonun hücre ölümü üzerindeki etkisini açıklamaya çalışan ve bugün hâlâ kabul gören TARGET (hedef) teorisi, ilk defa 1946 yılında Dr. Lea tarafından ortaya konuldu. Bu teoriye göre, hücrelerin içinde çeşitli kritik moleküller veya kritik hedefler vardır ve hücrenin ölmesi için bu hedeflerin tek bir darbe ile bertaraf edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde hücre ölmez. Eğer hücre ölümü için tek hedef varsa (bakteri, virüs gibi) bu hedef tek bir darbe ile ortadan kaldırılmalıdır. Buna "tek hedef, tek darbe" modeli denir (Lea, 1947).

Eğer hücre içinde birden fazla hedef varsa (gelişmiş canlı hücreleri gibi), bu hedeflerden birinin imha edilebilme olasılığı artacaktır. Bu modele "çok hedef, tek darbe" adı verilir. Bu teoriye göre, tek hedefli hücreleri imha etmek, gelişmiş hücrelere göre çok daha fazla ışınlama dozu gerektirecektir. Nitekim deneysel çalışmalar bu görüşü doğrulamaktadır. Tablo 2-1 çeşitli canlı hücrelerini öldürmek için gerekli doz sınırlarını göstermektedir (IAEA, 1970).

Çizelge 2-1

Çeşitli biyolojik yapıları öldürmek için gerekli doz sınırları

Organizma Türü	Doz (Rad)
Gelişmiş hayvanlar (memeliler)	500-1000
Böcekler	1000-100000
Spor olmayan bakteriler	50000-1000000
Spor bakteriler	1000000-5000000
Virüsler	1000000-20000000

2.3.2 Doz-Hücre Ölümü İlişkisi

Canlı organizmalar üzerine uygulanan ışınlama doz miktarı arttıkça hücre ölümlerinde de "üssel" bir artış olduğu görülmüştür. Doz artışına bağlı olarak artan hücre ölümleri, hücre sayısının tamamına yaklaşmakla birlikte, tümünün ölümü ile sonuçlanmamaktadır. Doz-hücre ölümü arasındaki ilişki, literatürde

$$N = N_0 e^{-\frac{1}{W_0} W} \quad (2-22)$$

ampirik bağıntısı ile verilmektedir (Lea, 1947).

Burada N_0 başlangıçtaki canlı hücre sayısını, N ışınlama sonrasındaki canlı hücre sayısını, W uygulanan toplam dozu ifade etmektedir. W_0 ise hücreye özgül radyobiyojik bir büyüklük olmaktadır.

2.4 Besin Maddelerinin Nükleer Işınlarla Korunması

Besin maddelerinin ışınlanmasındaki en genel amaç, mevcut mikroorganizmaların kontrol altına alınarak yiyeceklerin bozulmasını engellemek ve bu engelleme süresini uzatmak olarak özetlenebilir. Mevcut tüm mikroorganizmaların imhasını amaçlayan işleme sterilizasyon, mikroorganizma sayısını belirli bir seviyenin altında tutma işlemine pastörizasyon adı verilmektedir.

Nükleer ışınlar, aşağıdaki amaçlar doğrultusunda besin maddelerine uygulanırlar.

1. Besin maddelerinin bozulmasına neden olan mikroorganizmaların (bakteriler, küfler, vs.) kontrolü
2. İnsan sağlığını tehdit eden mikroorganizmaların (virüsler, vs.) kontrolü
3. Kurt oluşumu ve böceklenmenin önlenmesi
4. Olgunlaşmanın geciktirilmesi
5. Filizlenme ve tomurcuklanmanın önlenmesi

Yiyeceğin türüne ve amaca göre farklı doz uygulaması yapılır.

Yüksek doz uygulaması (1-5 MRad) mikroorganizma nüfusunun tamamını yok-

etmeyi amaçlayan "sterilizasyon" işleminde kullanılır. Düşük dozlar (1 MRad-altı) daha çok mikroorganizma nüfusunu azaltmak, kurt ve böcek oluşumunu önlemek, olgunlaşmayı ve filizlenmeyi geciktirmek amacıyla kullanılır.

Ancak doz uygulamaları için birtakım sınırlamalar vardır. Bu sınırlamalar yiyeceğin türüne, yiyeceğin nükleer ışınlarla karşı hassasiyetine ve amaçlanan işleme göre değişmektedir. Besin maddelerinin ışınlanması, besin maddelerinde meydana gelebilecek olumsuz etkileri kontrol edebilmek için gözönüne alınması gereken kriterler aşağıda kısaca özetlenmektedir.

2.4.1 Besinsel Değer Üzerindeki Etkisi

Yiyecek ışınlanması için uygulanan doz aralığında prensip olarak dikkat edilecek husus besin kaybının olmamasıdır. Yiyeceklerin kimyasal bileşimleri genellikle çok karmaşık olduğundan bu yöndeki araştırmalar en temel bileşenler olan su, karbonhidrat, protein, yağ ve vitaminler üzerindeki etkisi üzerine odaklanmıştır.

Araştırmalar 5 MRad dolayındaki doz miktarının mevcut kimyasal bağların yaklaşık olarak yalnızca % 0.01'ini bozduğunu göstermektedir. Yiyeceklerin genel olarak bu dozun çok daha altında ışınlandığı gözönüne alınacak olursa kimyasal yapıdaki değişimin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu söylenebilir (Urbain, 1970).

Nükleer ışınların vitaminler üzerindeki olumsuz etkisi vitamin ve yiyeceğin türüne, ışınlama şartlarına ve ışınlama dozuna bağlı olduğu saptanmıştır. Hava ortamında ışınlanan etlerdeki E vitamini kaybı % 40 dolayında olurken, ışınlama oksijensiz ortamda yapılırsa bu kayıp hemen hemen hiç olmamaktadır. Ayrıca ışınlamanın düşük sıcaklıklarda yapılması vitamin kaybının önlenmesinde etkenidir. Işınlama olayındaki vitamin kaybı, diğer yiyecek koruma yöntemlerindeki kadar çok daha az olmaktadır (Mich et al., 1972).

Işınlanmış yiyeceklerin tad, koku ve renginde değişim meydana geldiği ve bu değişimin uygulanan doza bağlı olduğu kadar yiyeceğin türüne göre de değiştiği saptanmıştır. Her yiyecek türü için bu değişime neden olan bir eşik dozu vardır. Bu eşik dozun altındaki değişimler,

duyularla saptanamamaktadır. Böceklenmenin ve kurt oluşumunun kontrolü, olgunlaşmanın geciktirilmesi, filizlenmenin önlenmesi ve hatta pastö-rizasyonda yiyeceğe yişılması gereken doz çoğu kez bu eşik dozun al-tında kalmaktadır (Merritt et al., 1967).

2.4.2 Radyoaktivite Etkisi

3 MeV'e kadar enerjili gama kaynakları ile 10 MeV'e kadar bir enerjiye sahip elektronların besin maddeleri üzerinde radyoaktivite oluşturmadıkları ve bu nedenle güvenilir oldukları kaydedilmektedir.

Besin maddelerinde radyoaktivite meydana gelmesi için, mevcut atomların çekirdek yapılarının besin maddesi üzerine gönderilen **gamalar** ile bozulması gerekmektedir. Oysa, gama kaynağı olarak kullanılan Co-60 ve Cs-137 radyoizotoplarının gama enerjileri, atom çekirdekleriyle **etkileşemeyecek** kadar zayıftır. Aynı durum 10 MeV'e kadar bir enerjiye sahip elektronlar için de geçerlidir.

2.4.3 Toksikolojik ve Kanserojenik Etkiler

Bu alanda birçok laboratuvar araştırması yapılmıştır (Raica, 1966; Schubert, 1970; Whitair, 1966).

WHO (Dünya Sağlık Örgütü), ortalama 1 MRad altında kalan ışın-lama dozları için sağlık açısından bir tehlike olmadığı görüşünü be-nimsemiştir (IAEA No.114, 1970).

2.4.4 Radyasyon Kaynakları

Yiyecek ışınlama tesislerinde iki tür radyasyon kaynağı kulla-nılır. Bunlar gama yayınlayıcısı olan radyoizotop kaynaklar ile yük-sük enerjili elektronlar üreten makina kaynaklardır.

Radyoizotop Kaynaklar:

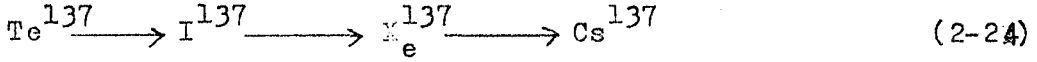
Yiyecek ışınlama tesislerinde **gıreci olma özelliklerinden** ötürü gama yayınlayıcısı Co-60 ve Cs-137 kaynakları kullanılmaktadır.

Co-60 radyoizotopu, nükleer reaktörlerde Co-59 izotopunun nötronlarla bombardımanı sonucu elde edilir.



Yarı ömrü 5.26 yıl olan Co-60 kaynağının 1.173 ve 1.332 MeV enerjilerde yayınladıkları gama ışınları son derece girici özelliğe sahiptir.

Cs-137 radyoizotopu ise nükleer reaktörlerde U-235 fisyonu ile ortaya çıkan Te^{137} izotopunun bozunması ile meydana gelir.



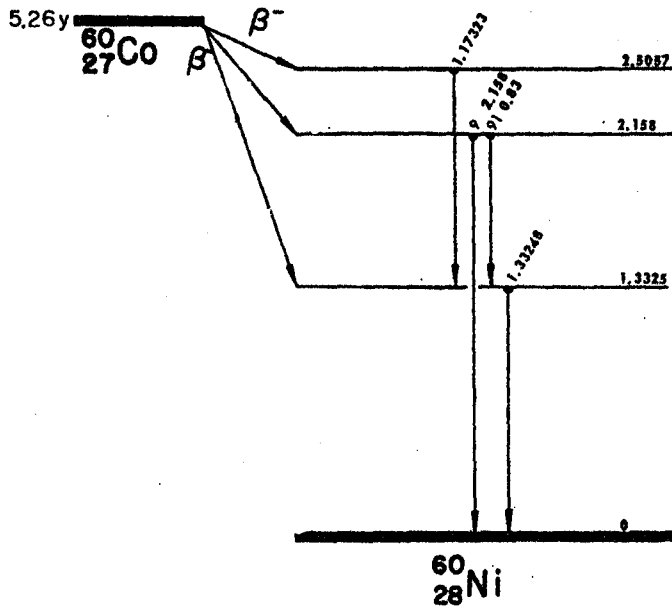
Cs-137'nin yarı ömrü 30 yıldır ve 0.662 MeV enerjili gama ışını yayınlamaktadır.

Şekil 2-1 ve Şekil 2-2 de Co-60 ve Cs-137'nin bozunma şemaları görülmektedir.

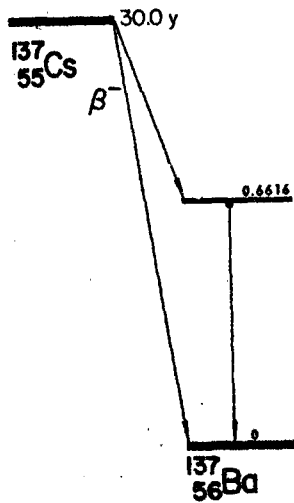
Co-60 radyoizotopunun yarılanma ömrü, Cs-137'ye oranla daha az olmakla birlikte yüksek enerjilerde iki gama ışını salması ve buna bağlı olarak doz hızındaki fazlalık nedeniyle ışınlama tesislerinde Co-60 kaynağı tercih edilmektedir.

Makina Kaynaklar:

Işınlama tesislerinde kullanılan makina kaynaklar özünde birer elektron jeneratörleridir. Yüksek enerjili elektronlar elde etmeye yarayan bir üreteç ve bunun beslediği bir hızlandırma tüpünden ibarettir. Bir kaynaktan çıkan elektronlar, uzun bir vakum borusu içine yerleştirilmiş tüp şeklinde bir sıra elektrodu, sıra ile geçerler. Elektrodlar yüksek frekanslı bir alternatif gerilim üreticinin kutuplarına bağlıdırlar. Tanecikler çıktıkları elektrodan hızlanarak bir sonraki elektroda doğru ilerlerler. Hızlandırma kademelerinin sayısına bağlı olarak elektronlar artan bir hız kazanırlar.



Şekil 2.1 Co-60'ın bozunum şeması.



Şekil 2.2 Cs-137'nin bozunum şeması.

Çizelge 2-2 Işınlama tesislerinde kullanılan Co-60 ve Cs-137 kaynaklarının özellikleri

	Co-60	Cs-137
Kaynak formu	Metal	Cs Cl paletleri
Yarı ömrü	5.3 yıl	30 yıl
Özgül aktivitesi	1-400 Ci/g	1-25 Ci/g
Gamma enerjileri	1.17 ve 1.33 MeV	0.66 MeV
GHci	65 Ci/W	207 Ci/W

2.4.5 Işınlama Tesisleri

Bir ışınlama tesisi ışınlama kaynağının yer aldığı ışınlama birimi, kaynak depolama yeri, kontrol odası, araştırma laboratuvarları ile tesisin amacına göre tasarlanmış ürün depolama ve boğaltma yerlerinden meydana gelmiştir. Aynı anda tek bir ürün türü ışınlanabildiği gibi birden fazla türde ürünün ışınlanabildiği "çok amaçlı" ışınlama tesisleri mevcuttur.

Tesis binası ve çevresinin radyolojik güvenliği gözönüne alınarak binanın inşası, zırhlama ve monitoring bağlantıları yerel ve uluslararası otoritenin önerileri ve denetimleri doğrultusunda yapılır. Kaynak depolama yeri, ekonomik avantajları ve radyolojik güvenlik nedeniyle genellikle toprak seviyesinin altındadır. Kaynak, sıcaklık problemlerinden ötürü bir su havuzunun içinde dâhilendirilir. Çok amaçlı ışınlama tesisleri, ışınlanacak ürünler, ışınlama öncesi ve boğaltma sonrasında fiziksel olarak birbirinden ayrı tutulacak şekilde tasarlanırlar. Işınlama esnasında da bu hususu dikkat edilir.

Ürünler, daha önceden belirlenen ışınlama dozuna göre saptanmış bir hız ile ışınlama kaynağının önünden geçerek veya etrafından dolanarak ışınlanırlar. Işınlanmış ürünlerin boğaltma birimlerinden alınarak depolanması veya dağıtımlara yapılır.

Bu tesislerde çok güçlü gama kaynakları kullanıldığından ortamın havasında iyon gıftleri meydana gelir. Bu nedenle binanın yapısına uygun bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Bina tasarlanırken dikkat edilecek bir başka nokta da, tesisin kurulduğu yerin seçimidir. Bu tür tesisler için yer seçimi, ıslanması amaçlanan ürünlerin yetiştirildiği veya depolandığı yerlere yakın olması ve ulaşım sorunu gözönünde tutularak yapılır.

3. TEORİK ÇALIŞMA

Bu bölümde, nükleer ışınlar kullanarak yok edilmeye çalışılan mikroorganizma kolonilerinin ışınlama altındaki davranışları için analitik bir model kurulacak ve model parametreleri belirlenecektir.

Mevcut mikroorganizma nüfusunun ilgilendiğimiz besi yeri ve kek ortamında nasıl büyüdüğü araştırılacak, ardından ışınlama altındaki davranışı incelenecektir.

Mikroorganizma nüfusunun koloni haline geldikten sonraki büyümesinin "lineer" olduğu bulgulanacak ve büyümenin nükleer ışınlama ile ne kadar geciktirilebileceği araştırılacaktır. Ayrıca modelde yer alan temel iki parametrenin, çoğalma ve yoketme katsayılarının nasıl ölçülebilecekleri de ortaya konulacaktır.

Nihayet, yoketme katsayı ile uygulanan ışınlama doz hızı ve kaynak gücü arasındaki ilişki belirlenecektir.

3.1 Koloni Oluşumu Öncesinde Mikroorganizmaların Zamana Bağımlı Davranışları

Mikroorganizmaların sayıca büyümesi, uygun bir ortam bulmaları halinde bölünmeleri ile olur.

Tek bir mikroorganizma etrafında bir büyümenin kolaylık amacıyla iki boyutta meydana geldiğini varsayıyoruz. Şekil 3-1'de görüldüğü gibi önce 1 numaralı mikroorganizma bölünmekte ve onun yerini 1 ve 2 numaralı mikroorganizmalar almaktadır. Sonra 1 ve 2 numaralı mikroorganizmalar bölünmekte ve bunların yerine 1, 2, 3 ve 4 numaralı mikroorganizmalar geçmektedir. Yani, mikroorganizma "ömrü" dolunca, bölünebilir olanlar bölünmekte ve bunların nüfusu iki katına çıkmaktadır. Etrafı yavru mikroorganizmalarla sarılanlar, artık büyüme alanı kalmayışi nedeniyle bölünememektedirler. Büyüme, bundan sonra, yalnızca çeperde yer alan mikroorganizmaların bölünmeleri ile gerçekleşmektedir.

Şimdi bu dinamiği, serbest büyüme ortamında, keza ışınlama altında inceleyelim.

3.1.1 Salt Çoğalma Dinamiği

Herhangi bir t anındaki mevcut mikroorganizma sayısı $n_m(t)$ ise, çok kısa bir zaman süresi $(t-t')$ sonra,

$$n_m(t') - n_m(t) = \lambda_g n_m(t) (t'-t) \quad (3-1)$$

eşitliği yazılabilir. Burada, λ_g çoğalma katsayısı olarak tanımlanmakta olup mikroorganizmanın ikiye bölünme hızı ile orantılıdır.

$(t'-t)$ süresi çok kısaltılırsa,

$$\lim_{t' \rightarrow t} \frac{n_m(t') - n_m(t)}{t' - t} = \lambda_g n_m(t)$$

veya

$$\frac{dn_m(t)}{dt} = \lambda_g n_m(t) \quad (3-2)$$

eşitliği yazılabilir.

Bu diferansiyel denklemi,

$$\frac{dn_m(t)}{n_m(t)} = \lambda_g dt$$

şeklinde yazarak $t=0$ anından bir t anına kadar integre ederek

$$\ln\left(\frac{n_m(t)}{n_m(0)}\right) = \lambda_g dt$$

veya

$$n_m(t) = n_m(0) e^{\lambda_g t} \quad (3-3)$$

eşitliği bulunur.

Mikroorganizma nüfusunun iki katına büyüdüğü, "ikiye katlanma zamanı" T_2 'yi belirleyelim.

$$2 n_m(o) = n_m(o) e^{\lambda_g T_2}$$

eşitliğinden hareketle

$$\lambda_g = \frac{\ln 2}{T_2} \quad (3-4)$$

ifadesi bulunur.

λ_g ' yi bulmak zor bir olay olmamaktadır. T_2 ölçülerek bulunabildiği gibi herhangi bir süre içerisinde, mikroorganizma sayısındaki artış oranı da λ_g nin bulunmasına olanak tanıyacaktır.

3.1.2 Işınlama Altında Çoğalma Dinamiği

3.1.1 dekine benzer bir yaklaşımla, çoğalma olayı devam ederken, mikroorganizmaların aynı zamanda ışınlama altında yok edilmesi,

$$\frac{dn_m(t)}{dt} = \lambda_g n_m(t) - \lambda_D n_m(t) \quad (3-5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada λ_D yoketme katsayısı olup, yoketme olayı (-) işareti ile ifade ediliyor.

Bu denklemin çözümü olarak,

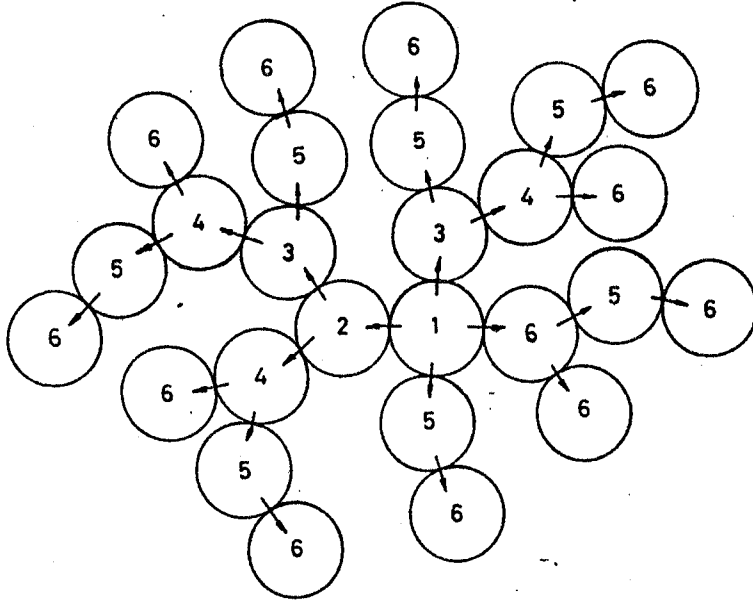
$$n_m(t) = n_m(o) e^{(\lambda_g - \lambda_D)t} \quad (3-6)$$

bağıntısı elde edilir. Buna göre, zamana karşı mikroorganizma sayısındaki değişim ($\lambda_g - \lambda_D$) üssünün alacağı değerler pozitif, negatif veya sıfır oluşuna bağlıdır. (Şekil 3-2, Şekil 3-3).

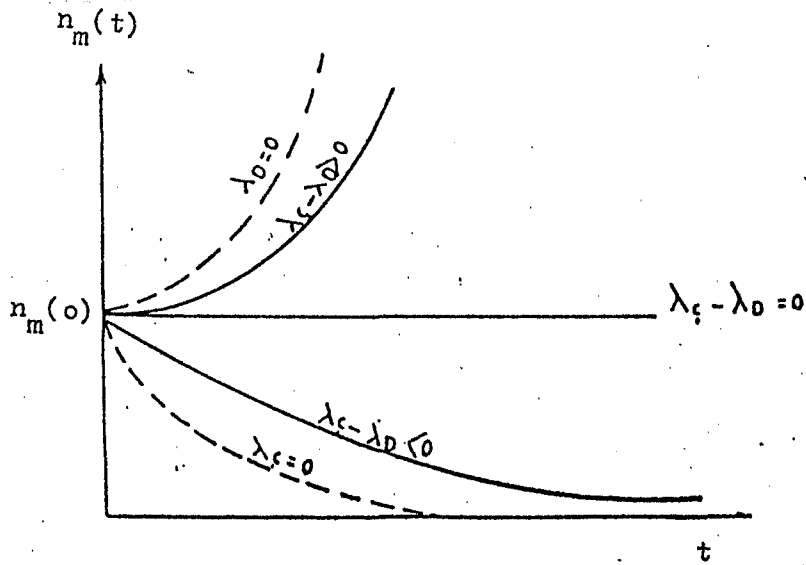
Buna göre;

$$1) \lambda_g - \lambda_D = 0 \text{ yani } \lambda_g = \lambda_D \text{ olması halinde, Dk.(3-6)}$$

$$n_m(t) = n_m(o)$$



Şekil 3.1 Koloni oluşumu öncesi mikroorganizmaların çoğalma modeli



Şekil 3.2 Çoğalma ve yoketme katsayılarının alacağı değerlere bağlı olarak canlı mikroorganizma sayısının değişimi

şeklini alır ve $n_m(t)$ 'nin zamana bağımlılığı ortadan kalkar. Bunun anlamı, her yeni doğan bir mikroorganizmaya karşılık bir mikroorganizma öldüğünden net artış sıfır olur.

2) $\lambda_g - \lambda_D > 0$ yani $\lambda_g > \lambda_D$ olması halinde, mikroorganizma sayısında net bir artış gözlenecektir. Bu durumda, mikroorganizmalar belirli bir hızla ölürken, çok daha yüksek bir hızla üremeye devam edeceklerdir. Ancak çoğalma hızı, $\lambda_D = 0$ olması yani ışınlanmanın olmaması durumuna göre daha düşük olacaktır.

3) $\lambda_g - \lambda_D < 0$ yani $\lambda_g < \lambda_D$ olması halinde mikroorganizmalar ışınlama ile ürediklerinden çok daha hızlı yokedilmektedirler. Bu nedenle mikroorganizma sayısında net bir azalış meydana gelecektir. Eğer çok kısa bir zaman aralığında çok yüksek ışınım dozu mikroorganizmalar üzerine yağılırsa, bu durumda $\lambda_D \gg \lambda_g$ olacak ve dolayısıyla λ_g ihmal edilebilecektir. Olayı salt yoketme dinamiğine götüren bu yaklaşıma göre, Dk.(3-6)

$$n_m(t) = n_m(0) e^{-\lambda_D t} \quad (3-7)$$

halini alır.

Yeterince güçlü bir kaynak ve büyük doz hızı, D ile λ_D çok büyük kılınabilir ve çoğalma, ışınlama esnasında ihmal edilebilir bir olay haline gelebilir. Bu durumda asıl gözlenen yoketme olayı olacaktır.

Şimdi, kendisine uygun bir ortam bularak büyüyen ve bu sırada çok kısa bir süre ışınlama altında kalan mikroorganizmaların genel davranışını inceleyelim.

$t=0$ anında mevcut mikroorganizma miktarı n_{m0} dir. Bu andan itibaren mikroorganizmalar,

$$n_m(t) = n_{m0} e^{\lambda_g t} \quad (3-8)$$

bağıntısına uygun olarak çoğalıyorlar.

$t=t_1$ anında mikroorganizma nüfusu n_{m1} 'e ulaşıyor ve bu andan itibaren ışınlamaya maruz bırakılıyorlar. Işınlama,

$$n_m(t) = n_{m1} e^{(\lambda_g - \lambda_D)t} \quad (3-9)$$

egitliğine uygun olarak $t_2 - t_1$ süresince devam ediyor. Işınlamanın bitmesiyle, $t = t_2$ de mikroorganizma nüfusu n_{m2} 'ye düşüyor.

$t = t_2$ den itibaren kalan mikroorganizmalar tekrar toparlanıp büyüme süresine giriyorlar. Bu toparlanma süresi ve büyüme, artık ışınlama ile belirli bir seviyeye (n_{m2}) indirilen mikroorganizma miktarına bağlı olacaktır. Mikroorganizma nüfusu, bu andan itibaren

$$n_m(t) = n_{m2} e^{\lambda_g t} \quad (3-10)$$

ye uygun olarak değişecektir.

3.2 Mikroorganizma Kolonileri için Büyüme Modeli

3.1 de anlatıldığı gibi, bir mikroorganizmanın büyümesi onun bölünmesiyle mümkün oluyordu. Bir mikroorganizmanın yavruları bir müddet sonra onun etrafını sarmakta ve onun tekrar bölünerek çoğalmasına engel olmaktaydılar. Koloni oluşumunun başlamasıyla birlikte büyüme yalnızca çevre mikroorganizmaların bölünmesi ile gerçekleşmektedir (Şekil 3-4).

Mikroorganizma kolonilerinin büyümesini, serbest halde ve ışınlama altında irdeliyoruz.

3.2.1 Serbest Büyüme Modeli

Mikroorganizma kolonisinin büyümesi, Şekil 3-4 den görüldüğü gibi, ancak çevredeki koloni mensubu mikroorganizmaların bölünmesi ile radyal doğrultuda olmaktadır.

Şu tanımları yapıyoruz.

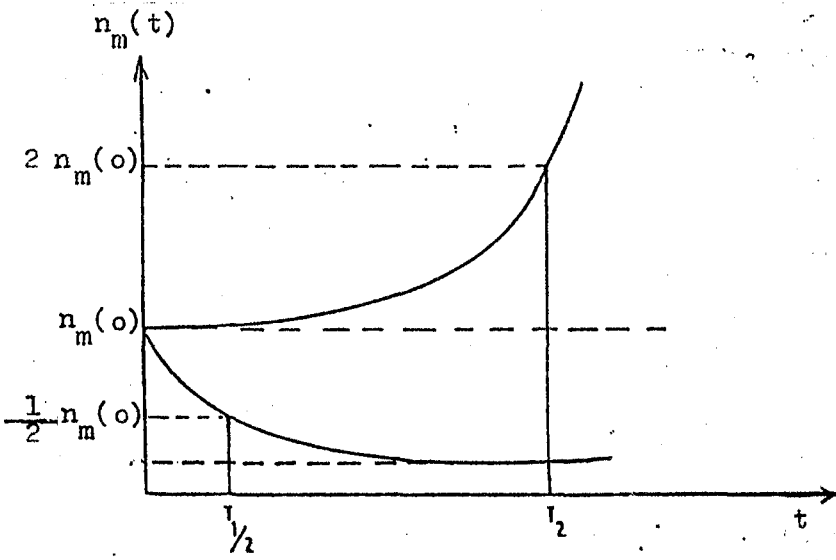
r : Silindirik olarak düşündüğümüz mikroorganizma taban yarıçapı

$R(t)$: t anında mikroorganizma kolonisini çevreleyen silindirik taban yarıçapı

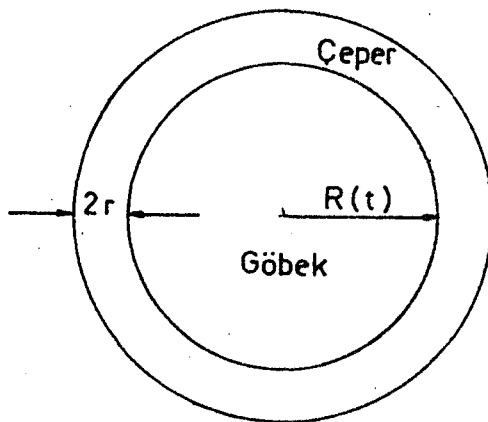
$R(t)$ yarıçaplı yüzeyde tek bir mikroorganizma tabakası itibariyle,

$$N_m(t) = \frac{\pi R^2(t)}{\pi r^2} \quad (3-11)$$

adet mikroorganizma bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Serbest çoğalma ile salt ışınlama altındaki mikroorganizmaların ikilenme zamanı (T_2) ve yarılama zamanları ($T_{1/2}$)



Şekil 3.4 Mikroorganizma kolonisinin büyümesi

Diğer taraftan, modele göre $R(t)$ ile $R(t)+2r$ yarıçapları arasında kalan kuşak içinde yer alan mikroorganizmalar çoğalmayı sağlayacaklardır. Bunların sayısı,

$$n_m(t) = \frac{2\pi R(t) 2r}{\pi r^2} \quad (3-12)$$

olmaktadır.

t dolayında birim zaman zarfında söz konusu tabaka nüfusundaki radyal doğrultudaki artış,

$$\frac{dn_m(t)}{dt} = \beta_G n_m(t) \quad (\text{tek bir tabaka için})$$

veya

$$\frac{dR(t)}{dt} = 2\beta_G r \quad (3-13)$$

şeklinde olacaktır. Burada, β_G , bir mikroorganizmanın birim zaman zarfında bölünme olasılığı olarak tanımlanıyor.

Dk.(3-13) den entegrasyonla,

$$R(t) = R(0) + 2\beta_G r t \quad (3-14)$$

bağıntısı elde edilir ve,

$$B = 2\beta_G r \quad (3-15)$$

tanımı yapılarak,

$$R(t) = R(0) + Bt \quad (3-16)$$

eşitliği bulunur.

Dk. (3-16) ya farklı bir yaklaşımla da gelebiliriz.

Mikroorganizma ortalama ömrü \bar{t}_m , yarıçapı da r olsun. Tek bir mikroorganizma etrafında büyüme süresi t ise, t anındaki koloni yarıçapı,

$$R(t) = \frac{t}{\bar{t}_m} 2r \quad (3-17)$$

şeklinde yazılabilecektir.

$t=0$ anındaki koloni yarıçapı $R(0)$ ise, t anındaki koloni yarıçapı,

$$R(t) = R(0) + \frac{t}{\bar{t}_m} 2r \quad (3-18)$$

olacaktır.

Şimdi \bar{t}_m 'i bulmaya çalışalım.

Bir mikroorganizmanın t anına kadar bölünmeden yaşama olasılığı,

$$e^{-\beta_G t} \quad (3-19)$$

olmaktadır. t ile $t+dt$ arasında bölünme olasılığı ise,

$$\beta_G dt \quad (3-20)$$

dir. Mikroorganizmanın t anına kadar yaşayıp t dolayındaki dt içinde bölünme olasılığı ise bu iki olasılığın çarpımı,

$$dt \beta_G e^{-\beta_G t} \quad (3-21)$$

şeklinde ifade edilebilecektir. Buradan ortalama ömür

$$\bar{t}_m = \int_0^t dt \beta_G e^{-\beta_G t} \quad (3-22)$$

veya

$$\bar{t}_m = \frac{1}{\beta_G} \quad (3-23)$$

olarak bulunur.

Dk.(3-18) de yerine koyarsak, koloni yarıçapı,

$$R(t) = R(0) + 2\beta_G r t \quad (3-24)$$

veya

$$R(t) = R(0) + Bt \quad (3-25)$$

olarak bulunacaktır. Böylece Dk.(3-14) ve Dk.3-16) ya başka bir yolla ulaşılmış bulunuyoruz.

Artık büyüme sabitini (B) veya çoğalma katsayısını (β_G) bulmak zor olmayacaktır. Belirli bir zaman aralığının başında ve sonunda ölçülen koloni yarıçap değerleri, bu büyüklüklerin bulunmasında yeterli olabilecektir. Büyüme sabiti B ,

$$B = \frac{R(t)-R(0)}{t} \quad (3-26)$$

ve mikroorganizma yarıçapı r 'nin bilinmesiyle çoğalma katsayısı β_c ,

$$\beta_c = \frac{R(t)-R(0)}{2rt} \quad (3-27)$$

bağıntılarından hareketle bulunabileceklerdir.

Burada Dk.(3-1) de tanımlanan λ_c ile β_c 'nin aynı büyüklükler olarak tanımlandığını görüyoruz. λ_c , popülasyonda yer alan tüm mikroorganizmaların bölünebilir olduğu, henüz koloni haline gelmemiş mikroorganizma topluluğuna özgü çoğalma katsayısıdır. β_c ise artık kolonileşmiş ve büyümenin tümüyle çeperdeki mikroorganizmaların bölünmesi ile olduğu mikroorganizma topluluğuna özgü büyüklüktür. Mikroorganizma nüfusunu az olduğu "büyüme başlangıcında", λ_c ve β_c , birbirlerine pratikçe eşit olacaklardır (Yarman vd., 1985).

3.2.2 Işınlama Altında Büyüme Modeli

Mikroorganizma kolonisinin radyal doğrultuda büyümesi çeperdeki mikroorganizmaların bölünmesi ile oluyordu (Şekil 3-4). Işınlama altında kalan bir mikroorganizma kolonisinin çeperinde yer alan koloni mensubu mikroorganizmaların imha edilmesiyle koloninin büyümesi, özellikle $\beta_c < \lambda_D$ durumunda, engellenebilecektir.

$R(t)$ yarıçaplı yüzeyde tek bir mikroorganizma tabakası itibarıyla, Dk.(3-11),

$$N_m(t) = \frac{\pi R^2(t)}{\pi r^2}$$

adet mikroorganizma bulunuyordu.

Çoğalmayı sağlayacak mikroorganizmaların sayısı ise,

$$n_m(t) = \frac{2\pi R(t)2r}{\pi r^2}$$

idi. (Dk.3-12)

t dolayında birim zaman zarfında ışınlama altındayken bölünebi-
len mikroorganizma kuşağındaki mikroorganizma nüfusundaki artış, rad-
yal doğrultuda,

$$\frac{dN_m(t)}{dt} = \beta_G n_m(t) - \lambda_D n_m(t) \quad (3-28)$$

şeklinde ifade edilebilecektir. Buradan,

$$\frac{dR(t)}{dt} = (\beta_G - \lambda_D) 2r$$

diferansiyel denklemi bulunacak, bu denklemin entegre edilmesiyle ve
başlangıç koşulu $R(0)$ ın ilavesiyle, koloni yarıçapı için,

$$R(t) = R(0) + 2(\beta_G - \lambda_D)rt \quad (3-29)$$

bağıntısı elde edilecektir.

Bu sonucu ikinci bir yolla ulaşmayı amaçlıyoruz.

Işınlama altında mikroorganizmaların bir kısmı bölünmeden imha
edildiğinden, mikroorganizma ortalama ömrü, ışınsız ortamdakine göre
daha uzun olmaktadır.

Bir mikroorganizmanın t anına kadar ışın altında yaşaması ola-
sılığı, Dk.(3-19) dan hareketle,

$$e^{-(\beta_G - \lambda_D)t} \quad (3-30)$$

şeklinde yazılabilir. t ile t+dt arasında ışınlar tarafında imha edil-
meden bölünme olasılığı ise,

$$(\beta_G - \lambda_D) dt \quad (3-31)$$

olmaktadır.

Dolayısıyla, mikroorganizmaların t anına kadar yaşayıp bunun
dolayındaki dt zaman aralığı içinde bölünme olasılığı, yukarıdaki iki
olasılığın çarpımı,

$$dt (\beta_G - \lambda_D) e^{-(\beta_G - \lambda_D)t} \quad (3-32)$$

şeklindedir. Buradan ışınlama altında ortalama ömür,

$$\bar{t}_{ml} = \int_0^t dt (\beta_G - \lambda_D) e^{-(\beta_G - \lambda_D)t} \quad (3-33)$$

entegre edilirse,

$$\bar{t}_{ml} = \frac{1}{\beta_G - \lambda_D} \quad (3-34)$$

olarak bulunur.

Bu durumda, ışınlama altında mikroorganizma kolonisinin yarıçapı, Dk.(3-18) den hareketle,

$$R(t) = R(0) + 2(\beta_G - \lambda_D)rt \quad (3-35)$$

şeklinde olacaktır.

Görüldüğü gibi koloni yarıçapındaki değişim, β_G ve λ_D nin alacağı değerlere bağlı olmaktadır.

$\beta_G = \lambda_D$ olması halinde, ışınlama süresince koloni yarıçapı aynı kalmakta, $\beta_G > \lambda_D$ için ise büyümeye devam etmektedir.

3.2.3 Yoketme Katsayısının Bulunması

Bunun için aynı bütünden alınmış numunelere aynı miktarlarda mikroorganizma ekiliyor. Bunlardan bir bölümü kontrol grubu olarak tutuluyor ve diğer bölümü $t=t_1$ den $t=t_2$ ye kadar ışınlanıyor. Mikroorganizma kolonilerinin, ışınlanmamış olanlarda $t=t_4$ de, ışınlananlarda ise $t=t_3$ de aynı yarıçap değerine ulaştığını varsayıyoruz.

Işınlanmamış örneklerde, koloni yarıçapı, belirli bir değere $t=t_4$ de geliyor.

$$R(t_4) = R(0) + 2\beta_G r t_4 \quad (3-36)$$

Işınlanmış örneklerde ise olayı üç kademede ele almak gerekiyor.

Mikroorganizmaların ekildiği andan ışınlanıncaya kadar geçen sürede yani $t=0$ dan $t=t_1$ 'e kadar serbest büyüme meydana geliyor. $t=t_1$ anındaki koloni yarıçapı,

$$R(t_1) = R(0) + 2\beta_g r t_1 \quad (3-37)$$

olacaktır.

$t=t_1$ 'den $t=t_2$ 'ye kadar ışınlanıyor, $t=t_2$ 'de yarıçapı

$$R(t_2) = R(t_1) + 2(\beta_g - \lambda_D) r (t_2 - t_1) \quad (3-38)$$

şeklindedir. $t=t_2$ 'den yani ışınlamanın bittiği andan $t=t_3$ 'e kadar, yani ışınlanmamış örneklerdeki koloni yarıçapına ulaşıncaya kadar yine serbest büyüme hakim oluyor. $t=t_3$ 'deki koloni yarıçapı,

$$R(t_3) = R(t_2) + 2\beta_g r (t_3 - t_2) \quad (3-39)$$

olacaktır. Dk.(3-37) ve Dk.(3-38) kullanılarak,

$$R(t_3) = R(t_1) + 2(\beta_g - \lambda_D) r (t_2 - t_1) + 2\beta_g r (t_3 - t_2)$$

veya

$$R(t_3) = R(0) + 2\beta_g r t_1 + 2(\beta_g - \lambda_D) r (t_2 - t_1) + 2\beta_g r (t_3 - t_2)$$

sadeleştirirsek,

$$R(t_3) = R(0) + 2r\beta_g (t_1 + t_3 - t_2) + 2(\beta_g - \lambda_D) r (t_2 - t_1) \quad (3-40)$$

bağıntısı elde edilir.

Işınlanmış ve ışınlanmamış örneklerdeki koloni yarıçaplarınının eşit olduğunu duruma bakıyoruz.

$$R(t_4) = R(t_3), \quad t_4 < t_3 \quad (3-41)$$

$$R(0) + 2\beta_g r t_4 = R(0) + 2r\beta_g (t_1 + t_3 - t_2) + 2(\beta_g - \lambda_D) r (t_2 - t_1) \quad (3-42)$$

Sadeleştirirsek,

$$t_3 - t_4 = \frac{\lambda_D (t_2 - t_1)}{\beta_G}$$

bulunur.

Burada, t_3 , t_4 ve β_G koloni gelişimi izlenerek bulunabilecek büyüklüklerdir, $t_2 - t_1$ ise

$$T_{1\bar{G}} = t_2 - t_1 \quad (3-43)$$

ışınlama süresidir. Işınlanmamış örneklerde koloni oluşum süresi $t_4 = T_f$, ışınlanmış örneklerde ise $t_3 = T$ dersek, $T - T_f$ ışınlanmış örneklerde koloni oluşumunun gecikme süresi veya saklama süresi olarak tarif edilir. Buradan Yoketme Katsayısı,

$$\lambda_D = \frac{\beta_G (T - T_f)}{T_{1\bar{G}}} \quad (3-44)$$

olarak elde edilir.

λ_D belirlendikten sonra, ışınlama süresi ($T_{1\bar{G}}$) veya saklama süresi ($T - T_f$) ile oynanarak yoketme katsayısı için bu seçeneklere uygun değerler bulunur.

3.2.4 Yoketme Katsayısı ve Doz Hızı

Yoketme katsayısı λ_D 'nin doz hızı arasındaki ilişkiyi araştırıyoruz.

Bu tanımları yapıyoruz.

e : Verilen koşullarda bir mikroorganizmayı öldürmek için gerekli enerji.

D : Malzemenin birim ağırlığı tarafından birim zamanda yutulan enerji.

$n_m(t)$: t anında malzeme birim ağırlığında mevcut mikroorganizma sayısı.

N_m : Her bir mikroorganizmanın ortalama ağırlığı.

Malzeme birim ağırlığında birim zaman süresince ışınlama ile yok edilen mikroorganizma sayısı için,

$$\frac{dn_m(t)}{dt} = - M_m n_m(t) \frac{D}{e} \quad (3-45)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu denklemin çözümü,

$$n_m(t) = n_m(o) e^{-\frac{M_m}{e} Dt} \quad (3-46)$$

olacaktır. Bu çözümü Dk.(3-7) yani,

$$n_m(t) = n_m(o) e^{-\lambda_D t}$$

ile karşılaştırsak,

$$\lambda_D = \frac{M_m}{e} D \quad (3-47)$$

olduğunu görüyoruz.

Literatürde ışınlama ile yokedilen mikroorganizma kolonisinin büyüklüğü,

$$n_m(t) = n_m(o) e^{-\frac{1}{W_o} W} \quad (3-48)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada W, birim malzeme ağırlığında yutulan toplam radyasyon enerjisini, yani toplam dozu göstermektedir.

Dk.(3-46)'yı kullanarak,

$$\frac{M_m}{e} Dt = \frac{1}{W_o} W \quad (3-49)$$

egitliği yazılabilir.

Işınım Dozu,

$$W = Dt \quad (3-50)$$

olduğundan

$$\frac{1}{W_o} = \frac{k_m}{e} \quad (3-51)$$

veya $k = 1/W_o$ tanımı yapılarak,

$$k = \frac{M_m}{e}$$

bulunur. Buradan yoketme katsayısı,

$$\lambda_D = kD \quad (3-52)$$

veya

$$\lambda_D = k \frac{W}{t} \quad (3-53)$$

olarak saptanır. Görüldüğü gibi yoketme katsayısı uygulanan toplam doza değil, birim zamanda absorplanan enerjiye, yani doz hızına bağlıdır.

Doz hızı ise kaynak gücüne bağlıdır ve en genel anlamda,

$$D = \Gamma \frac{C}{d^2} \quad (3-54)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Burada Γ , ıslanlama kaynağının türüne göre değer alan bir sabit, C kaynak gücü, d ise kaynaktan olan ıslanlama uzaklığını gösterir.

Görüldüğü gibi yoketme katsayısı λ_D , kaynak gücüne bağımlı bir büyüklük olmaktadır. Bölüm 4 ve Bölüm 5 de yoketme katsayısı, Doz Hızı, Doz ve Kaynak Gücü ilişkisi ayrıntılı olarak incelenmektedir.

4. DENEYSSEL ÇALIŞMA

Üçüncü bölümde mikroorganizma kolonilerinin serbest halde ve ışınlama altındaki davranışlarını konu alan dinamik bir büyüme modeli sunulmuştur. Bu modele göre mikroorganizma nüfusu bir koloni haline geldikten sonra, koloninin büyümesi lineer olmakta ve ışınlamaya maruz kalması halinde ise, büyümede bir gerileme olmakla birlikte lineerlik bozulmamaktaydı.

Bu bölümde, yukarıda genel hatları çizilmiş olan modellemenin olurluğunu araştıran bir deneysel çalışma sunulmaktadır.

Bu deneysel çalışmada, özel besi yerlerinde üretilen mikroorganizma kolonilerinin büyümesinin serbest büyüme modeline uygunluğu araştırılmaktadır. Büyümenin lineerlik gösterdiği saptandıktan sonra ışınlanan mikroorganizma kolonilerinin büyümeleri takip edilmekte, üçüncü bölümde sunulan model ile karşılaştırılarak özgün parametrelerin saptaması yapılmaktadır.

Deneyde kullanılan mikroorganizma kolonilerinin üretildiği özel besi yerlerinin hazırlanması, mikroorganizma türünün belirlenmesi ve ekimi çalışmaları İ.Ü. İstanbul Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Mikrobiyoloji Laboratuvarında gerçekleştirildi.

Kültür ve Besi Yerlerinin Hazırlanması:

Mikroorganizma kültürü yapmak üzere 50 gr "Malt Extrapact Agar" kültür yeri malzemesi 1 litre damıtık suda eritildi. 115 °C de 15 dakika bekletildikten sonra iki petri kutusuna 0.5 cm'lik bir tabaka halinde dökülerek buzdolabında donduruldu. Vasat olarak adlandırılan bu kültür yerleri oda sıcaklığına getirilerek değişik türlerde mikroorganizma ekimi yapıldı. Bu kültür yerlerinde üretilen mikroorganizmalar içinden seçilen mikroorganizmalardan daha sonra özel olarak hazırlanmış besi yerlerine ekim yapıldı.

Özel besi yerleri kültür yerlerinin hazırlanmasına benzer şekilde hazırlandı, ancak bu kez farklı malzeme kullanıldı. 50 gr. "Czapex Dox Agar" besi yeri malzemesi 1 litre damıtık suda eritildi ve 115 °C ye kadar ısıtıldıktan sonra deneyin gerçekleştirileceği petri kutularına 0.5 cm'lik tabakalar halinde dökülerek buzdolabında saklandı.

Mikroorganizma Ekimi: Buzdolabında saklanan besi yerleri, mikroorganizma ekimi yapılacağı zaman buzdolabından çıkarılarak 27 °C sıcaklığa getirildi. Her petri kutusunda birbirinden eşit uzaklıkta olmak üzere altı noktaya üç farklı türde mikroorganizma ekimi yapıldı. Mikroorganizma ekim çalışmaları steril şartlarda gerçekleştirildi.

Serbest büyüme modelinin geçerliliğini araştırmak üzere bu üç tür mikroorganizmanın büyüme seyri 24 saat aralıklarla takip edildi ve çap genişliği mm cinsinden ölçüldü.

Serbest büyüme seyri takip edilen üç tür mikroorganizmalardan "penicillium" olan tür seçilerek ııınlama deneyimizde kullanıldı. Altı petri kutusuna, yine altı noktaya olmak üzere steril şartlarda ekim yapıldı. İki petri kutusundaki 12 koloni kontrol grubu olarak tutuldu. Dört petri kutusunda yer alan 28 koloni ekim tarihinden üçgün sonra dört ayrı ıınlama dozunda ıınlandı.

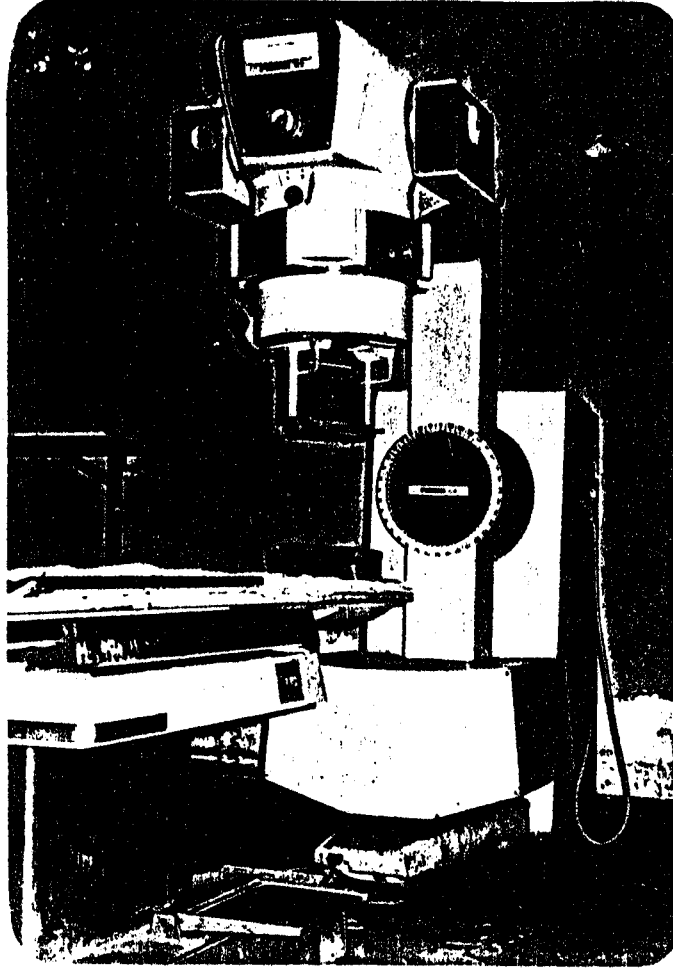
ıınlamalar 1930 Curie aktivitesinde Co-60 gama kaynağı ile gerçekleştirildi. Petri kutuları kaynaktan 65 cm uzaklığa, mikroorganizma kolonileri cepheden ıınlanacak şekilde yerleştirildi. Tüm ıınlamalar aynı gün yapılarak toplam 4 saat içinde tamamlandı.

ıınlama sonrası, kontrol ve ıınlama gruplarındaki mikroorganizma kolonilerinin çapları 24 saatte bir mm cinsinden ölçüldü.

4.1 Besi Yeri Ortamında Mikroorganizmaların Serbest Büyümesi

Ölçümler, mikroorganizma kolonilerinin gözle görülebilir hale gelmesinden itibaren 24 saat aralıklarla alındı. Petri kutuları içinde gelişme alanı bitip koloni büyümesi durana kadar koloni çaplarının ölçülmesine devam edildi.

Ölçüm sonuçlarından hareketle Şekil 4-2 de her üç mikroorganizma türünün büyüme seyri çizilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi büyüme lineerlik göstermekte, ancak her mikroorganizma türünün besiyeri ortamındaki büyüme hızı farklı olmaktadır. Bu büyüme hızlarının o mikroorganizma kolonisi için besiyeri ortamına özgü olduğunu kaydetmek gerekir. Başka bir ortamda bu hızlar şüphesiz değişecektir. Ancak buradaki amaç, kolonilerin büyümesindeki lineerliği göstermektir.



Şekil 4.1 Deney ve tedavi amaçlı kullanılan Co-60 ışınlama cihazı

4.1.1 Çoğalma Katsayısı β_g 'nin Hesabı

Koloni yarıçapı $R(t)$, Dk.(3-14)de,

$$R(t) = R(o) + 2 \beta_g r t$$

bağıntısıyla verilmekteydi.

Burada;

$R(t)$: t anındaki mikroorganizma kolonisinin yarıçapı (mm),

$R(o)$: başlangıç anında mikroorganizma kolonisinin yarıçapı (mm),

r : bir tek mikroorganizmanın yarıçapı (mm)

β_g : çoğalma katsayısı

olarak tanımlanmaktadır.

Çoğalma katsayısı β_g , Dk(3-27)da verilen

$$\beta_g = \frac{R(t)-R(o)}{2rt}$$

esitliğinden bulunacaktır.

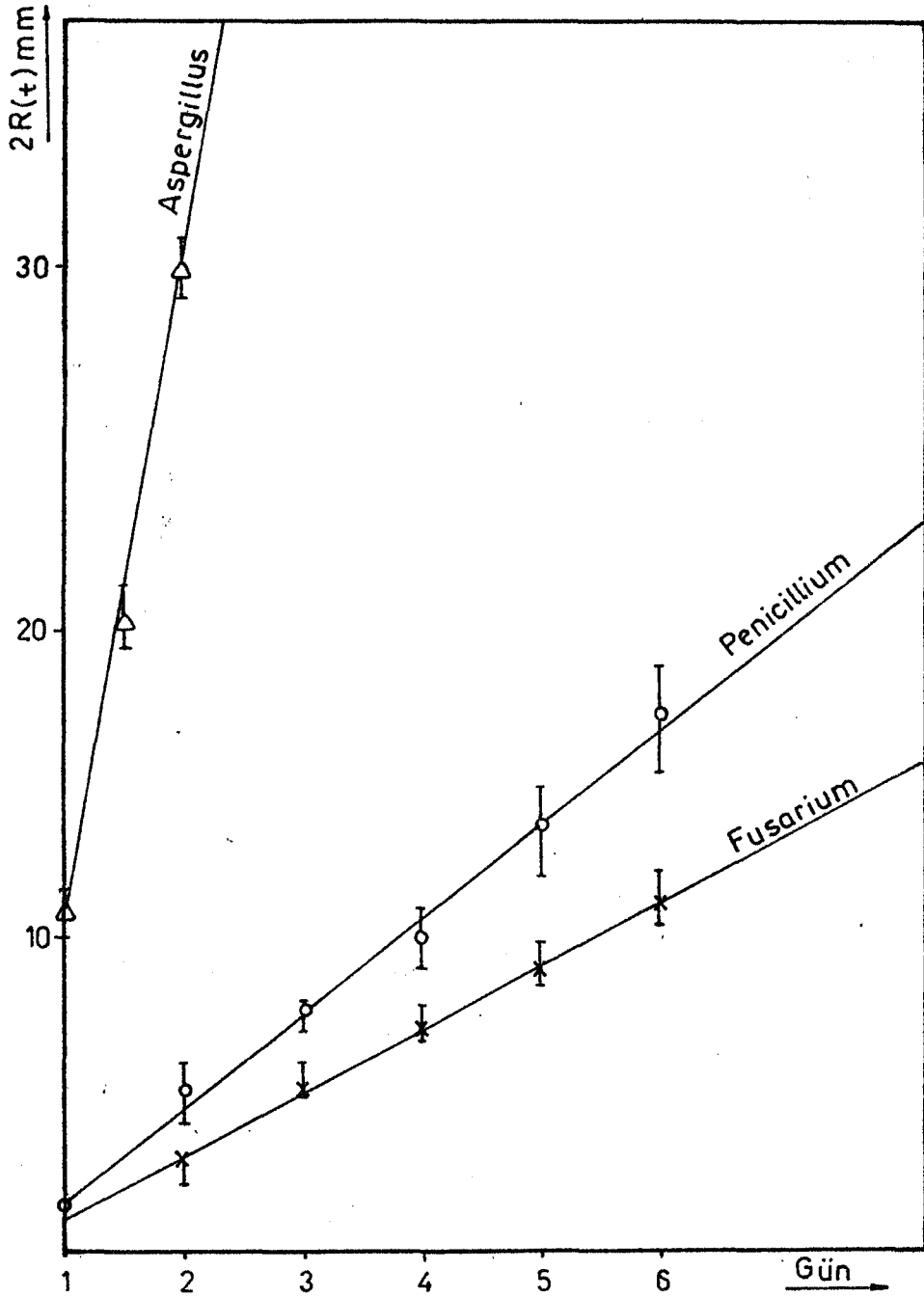
Bir mikroorganizma kolonisinin ikiyekatlanma zamanı T_2 ,

$$T_2 = \frac{R(1)}{2 \beta_g r}$$

esitliğinden hesaplanacaktır. Ölçüm sonuçlarından hareketle, üç mikroorganizma türü için çoğalma katsayısı β_g ile koloni yarıçapının iki katına çıkma süresi T 'nin hesaplanan değerleri çizelge 4.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 4-1 Mikroorganizma çoğalma katsayısı ve ikilenme süreleri

Mikroorganizma Cinsi	r(mm)	R(1)	R(t)	t(gün)	β_g (gün ⁻¹)	T_2 (gün)
Aspergillus	0.05	10.75	50	3	83.3	0.64
Fusarium	0.01	1.02	11.26	6	46.9	0.54
Penicillium	0.25	1.5	17.41	6	2.9	0.25



Şekil 4.2 Mikroorganizma koloni çaplarının zamana bağlı olarak değişimi

Görüldüğü gibi β_c ve T_c değerleri, mikroorganizma türüne ve üretildikleri ortama özgü sabit büyüklükler olmaktadır.

4.2 Besiyeri Ortamında Mikroorganizma Kolonilerinin Işınlanma Altında Büyümesi

Dört ayrı grup ve dört ayrı ışınlama dozu ile yapılan ışınlamalar sonrasında koloni oluşumundan itibaren 24 saat aralıklarla ölçümler alındı. Ölçüm sonuçlarına göre nükleer ışınlamanın, uygulanan doza bağımlı olarak mikroorganizma kolonilerinin büyümesini geriletmediği görüldü.

4.2.1 Dozimetri

Doz hızı ve uygulanan toplam dozun sağlıklı bir şekilde hesaplanması, deney sonuçlarının değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle doz hesapları iki yöntemle yapılmış ve bunlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak test edilmişlerdir. Kullandığımız birinci yöntem kuramsal olarak doz ve doz hızı saptanmasında kullanılan bir yöntemdir. İkincisi ise daha hassas, iyonizasyon temeline dayalı iyon odası yöntemidir.

Birinci yöntem, kaynak gücü, ışınlama uzaklığı ve bu uzaklık içinde yer alan materyal kalınlığının bilinmesinden hareketle, Rad/saat cinsinden absorplama doz hızı tayininde kullanılır. Buna göre bir Co-60 gama kaynağı için doz hızı, Dk.(2-30)da

$$D_{Co-60} = \frac{1.26 \times 10^4 C}{d^2} \left[B \exp(-0.0632x) \right]$$

bağıntısı ile verilmektedir.

Işınlanan koloni ile kaynak arasında bir engel olmaması nedeniyle denklem,

$$D_{Co-60} = \frac{1.26 \times 10^4 C}{d^2}$$

şeklini alır.

$C = 1930$ Curie, $d=65$ cm verilerinden hareketle doz hızı,

$$D = 5755 \text{ Rad/saat}$$

veya

$$D = 95.92 \text{ Rad/dak.}$$

olarak hesaplandı.

İkinci yöntemde ışınlama şartları (ışınlama uzaklığı, diyafram-
ların açıklığı v.s) sabit tutularak ışınlama noktasına bir iyon odası
yerleştirildi. İyon odasında gama ışınlarının meydana getirdiği iyonlar
birer pulse şeklinde elektronik devreler yardımıyla sayılarak önce ışın-
lama dozu (Röntgen/dak.) ve bundan hareketle absorplama dozu (Rad/dak)
bulundu.

Işınlama dozu,

$$D = (\text{Sayım/dak})(KF)(BSF)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplandı. (Sayım/dak) elektronik devreler ara-
cılığıyla saydığımız dakikada ortalama gama miktarını (102.67), KF kalib-
rasyon faktörünü (1.06), BSF ise basınç-sıcaklık faktörünü (1.0126) gös-
termektedir. Böylece ışınlama hızı,

$$D = 110.20 \text{ Röntgen /dak,}$$

Işınlama miktarının % 87 si absorplandığından,

$$D = 95.87 \text{ Rad/dak}$$

olarak bulundu. Görüldüğü gibi her iki yöntemle elde edilen sonuçlar
birbirine son derece yakındır. Bundan sonraki hesaplarımızda doz hızı
olarak, bu iki değer in ortalaması kullanıldı.

Toplam ışınlama dozları, 95.89 Rad/dak olarak saptanan doz hızın-
dan hareketle bulundu. Çizelge 4.2 de ışınlama süreleri ve hesaplanan ışın-
lama dozları, ışınlama grupları için verilmektedir.

Çizelge 4.2 Işınlama Süreleri ve Işınlama Dozları

Işınlama Grubu	Işınlama Doz Hızı (Rad/dak)	Işınlama Süresi (dak)	Işınlama Dozu (Rad)
Işınlama Grubu-1	95.89	5	479.45
Işınlama Grubu-2	"	20	1917.8
Işınlama Grubu-3	"	40	3835.6
Işınlama Grubu-4	"	50	4794.5

4.2.2 Yoketme Katsayısı λ_D 'nin Bulunması

Ölçüm sonuçlarından hareketle kontrol grubu ile dört ışınlama grubunda yer alan mikroorganizma kolonilerinin çaplarının zamana bağlı olarak değişimi şekil 4.3 de grafik olarak gösterilmektedir. Işınlama gruplarında koloni yarıçapları kontrol grubuna nazaran daha büyük olmakla birlikte, daha sonraki günlerde kontrol grubundaki artışın daha fazla olduğu, ışınlama gruplarında uygulanan doza bağlı olarak büyümenin yavaşladığı görülmektedir.

Dk.(3-44) den hareketle yoketme katsayısı λ_D ,

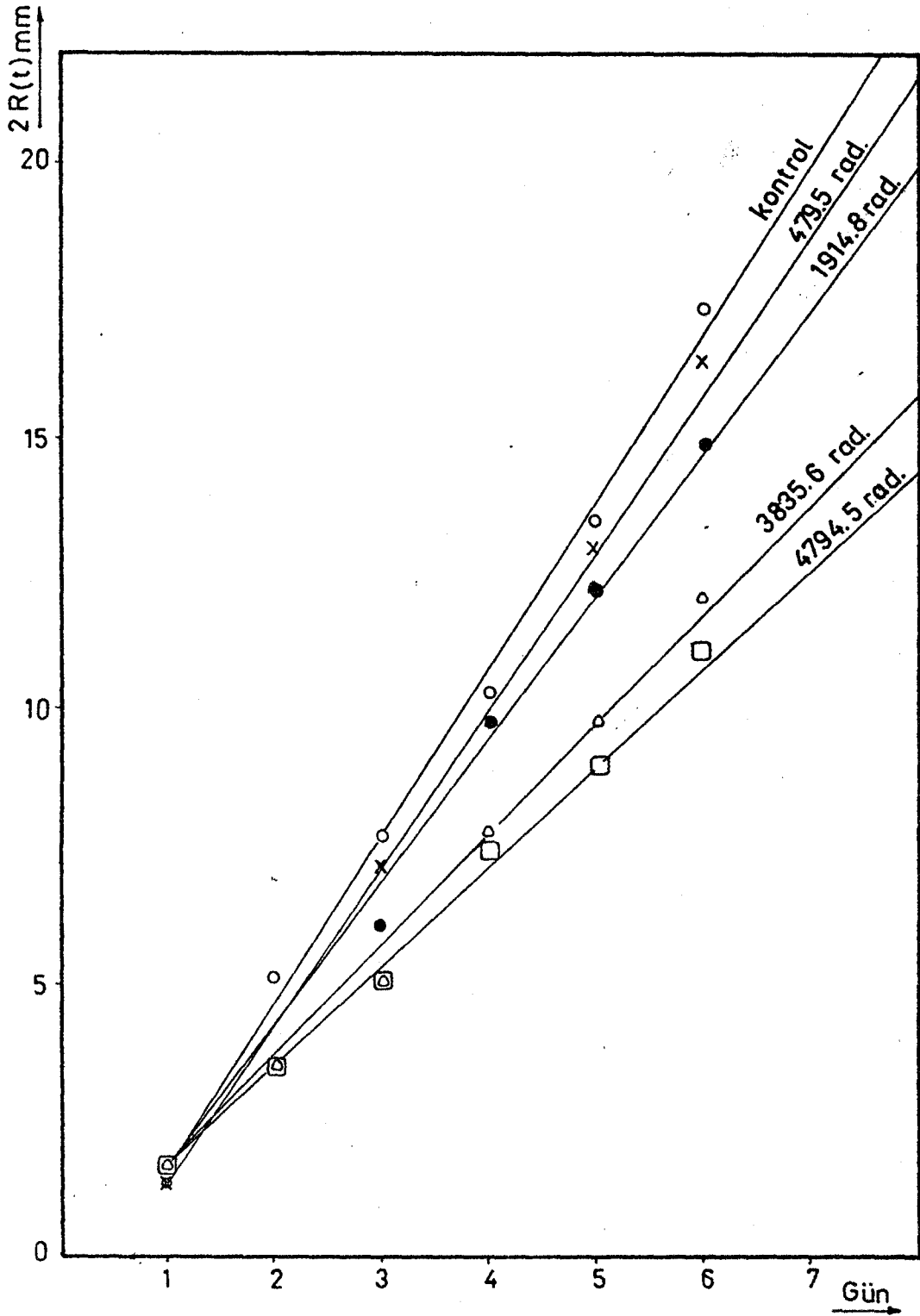
$$\lambda_D = \frac{\beta_G (T - T_f)}{T_{1g}}$$

eşitliğinden hesaplanacaktır.

Burada,

β_G , mikroorganizmalara özgü çoğalma katsayısı olup 4.1.1 de izlenen yolla kontrol grubunda yer alan mikroorganizma kolonilerinin büyüme hızından hareketle bulunmuştur.

$T - T_f$, bir t anında ışınlama gruplarındaki koloni yarıçaplarının o andaki kontrol grubunda yer alan kolonilerin yarıçaplarına eşit oluncaya kadar geçen süreyi ifade eder. Bu büyüklük ölçüm sonuçlarından hareketle saptanmaktadır.



Şekil 4.3 Işınlama ve kontrol gruplarında yer alan mikroorganizma koloni çaplarının büyüme seyri

Kontrol grubundan hareketle bulunan β_c , ölçüm sonuçlarından elde edilen $T-T_f$ değerleri ışınlama grupları için çizelge 4.3 de verilmektedir.

Çizelge 4-3 Çoğaltma katsayısı ve gecikme süreleri

	β_c (saat ⁻¹)	T_{15} (dak)	$T-T_f$ (saat)	$\beta_c(T-T_f)$
Işınlama Grubu 1	0.12	5	7.58	0.9
Işınlama Grubu 2	"	20	21.33	2.55
Işınlama Grubu 3	"	40	43.73	5.25
Işınlama Grubu 4	"	50	52.08	6.24

Işınlama süresi T_{15} ile $\beta_c(T-T_f)$ arasındaki ilişki Şekil 4-4 te gösterilmektedir. Bu doğrunun eğiminden yoketme katsayısı

$$\lambda_D = 7.7 \text{ saat}^{-1}$$

bulunmuştur.

Görüldüğü gibi yoketme katsayısı λ_D , çoğalma katsayısından yaklaşık 65 kat daha fazladır. Bu gama kaynağının deney şartlarında, mikroorganizmaların bir çoğalmalarına karşılık 65 mikroorganizmayı 1 saat'lik zaman dilimi içinde imha edebilme kabiliyetini göstermektedir.

λ_D ve D bilindiğine göre,

$$\lambda_D = kD$$

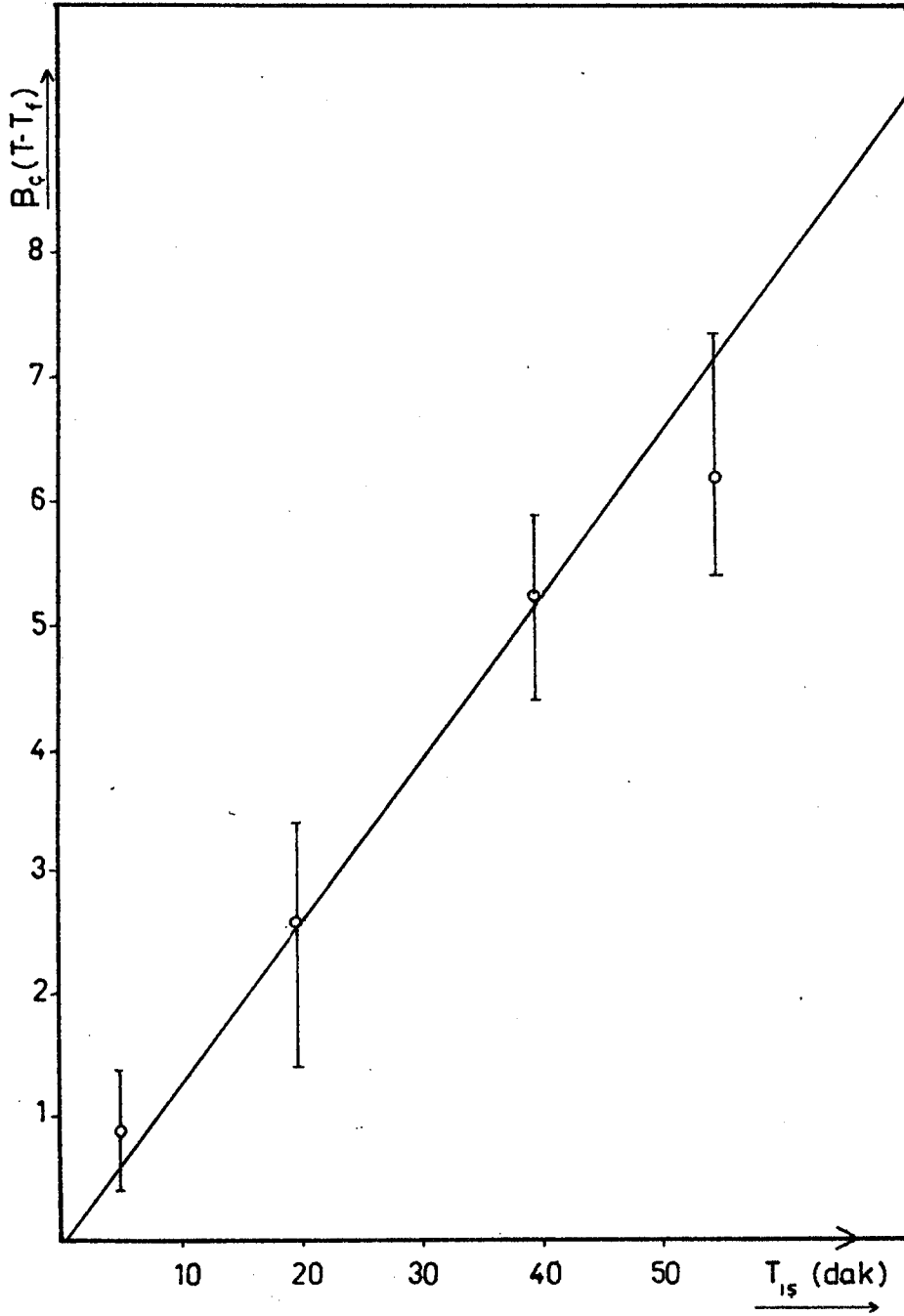
bağıntısından k katsayısı

$$k = \frac{7.77}{5753.4}$$

veya

$$k = 1.35 \cdot 10^{-3} \text{ Rad}^{-1}$$

olarak bulunur. k, bilindiği gibi mikroorganizmalara özgü radyobiolojik özelliktir. Artık Doz hızı ile λ_D yoketme katsayısının değişimini



Şekil 4.4 Besiyeri ortamında $\beta_c(T-T_f)$ ile T_{1s} arasındaki ilişki

görebiliriz. Şekil 4-5 doz hızına bağlı olarak λ_D nin değişimini göstermektedir.

λ_D , doz hızına bağlı bir büyüklük olmaktadır. İstedığımız bir λ_D değerine karşılık gelen D doz hızı Şekil 4-5 den belirlenir. Bu doz hızına verecek olan kaynak gücü, D bilindiğine göre,

$$D = \frac{1.26 \times 10^4}{d^2} C$$

bağıntısından hareketle bulunabilecektir. Ancak burada görüldüğü gibi kaynağa olan uzaklık da doz hızını veya kaynak gücünü etkileyen faktörlerden birisidir. Işınlama uzaklığına bağlı olarak D/C oranının şeklini çizerek daha önce belirlediğimiz doz hızına karşılık gelen kaynak aktivitesini ışınlama uzaklığına bağlı olarak saptamış oluruz.

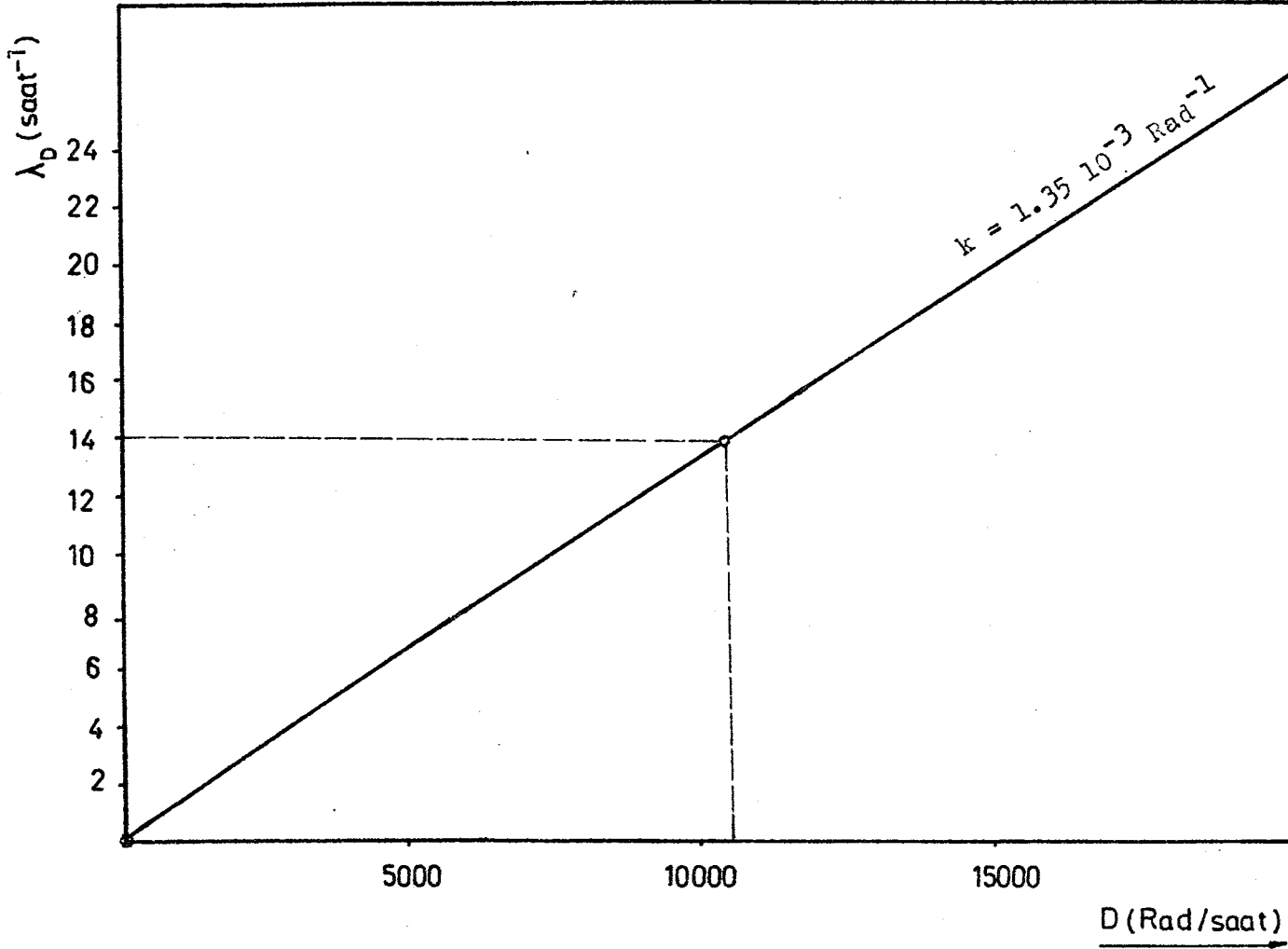
Örnek olarak λ_D yoketme katsayısı 14 saat⁻¹ olması için kaynak gücü ne olmalıdır sorusunun cevabını Şekil 4-5 ve Şekil 4-6'e bakarak bulmak mümkün olacaktır.

$\lambda_D = 14$ saat⁻¹ için doz hızının 10500 (Rad/saat) olduğu görülür.

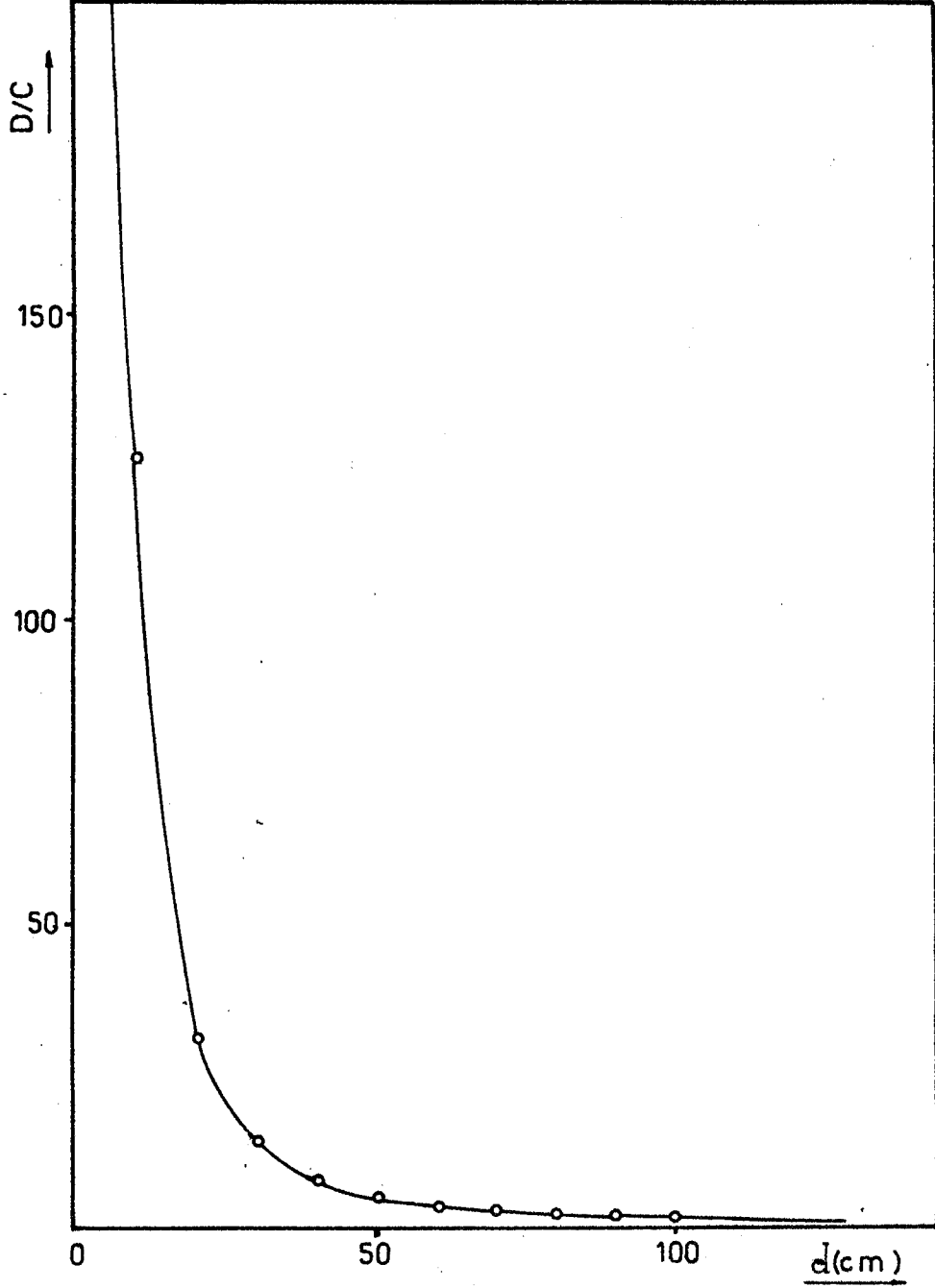
Bu doz hızına veren kaynak gücü ise, Şekil 4-6 dan kaynaktan olan ışınlama mesafesine göre bulunabilir. Çizelge 4-4 de bazı ışınlama uzaklıkları için gerekli kaynak gücü değerleri verilmektedir.

Çizelge 4-4 $\lambda_D = 14$ saat⁻¹ ve D=10500 Rad/saat şartlarında çeşitli d uzaklıkları için gerekli kaynak gücü değerleri

λ_D (saat ⁻¹)	D (Rad/saat)	d (cm)	C (Curie)
14	10500	20	333
"	"	30	750
"	"	40	1333
"	"	50	2087
"	"	100	8333



Şekil 4.5 Yoketme katsayısının doz hızına bağımlılığı



Şekil 4.6 Doz hızı/kaynak gücü oranının ışınlama uzaklığına bağlı olarak değişimi

5. BESİN MADDESİ ÜZERİNDE DENEY

Üçüncü bölümde oluşturulan teori, dördüncü bölümdeki deney sonuçları ile olurluluk kazandı. Literatürde yer almayan bu özgün teori ve onun özgün deney yöntemini bir adım daha ilerleterek bir besin maddesi üzerinde uygulama şartları araştırıldı.

Bu amaçla ETİ TAM GIDA Sanayii'nin piyasaya sürdüğü üzümlü ETİ-KEK dilimleri üzerinde deney tekrarlandı.

Deneyde kullanılan ETİ-KEK örnekleri Eti-Tam Gıda Sanayii araştırma laboratuvarlarında hazırlandı. Dördüncü bölümde ışınlama deneyi için kullandığımız "penicillium" türü mikroorganizmalar, üretimden yeni çıkmış üzümlü kek örnekleri üzerinde tek bir noktaya ekildi ve kekler hemen düz şeffaf orijinal ambalajı içine yerleştirildi.

Deneyde toplam 80 adet mikroorganizma ekimi yapılmış kek kullanıldı. Bunlardan 22 adedi kontrol grubu olarak kullanılırken geriye kalan 56 adet kek dört ayrı ışınlama dozunda ışınlandı.

Kontrol ve ışınlama gruplarında mikroorganizma kolonilerinin oluşumu takip edilerek not edildi. Kek ortamının homojen olmaması (üzümlü kek kullanıldığından), koloninin besi yeri ortamında olduğu gibi düzgün şekilde büyümesini engellediği gibi ayrıca koloni büyüme hızının çok daha düşük olması gibi nedenlerle koloni çaplarının izlenmesi yerine, her grupta mikroorganizma kolonisinin çıplak gözle görülür hale geldiği tarihin belirlenmesinin yeterli olduğu görüldü.

Gruplar arasında meydana gelen gecikme sürelerinden hareketle önce yoketme katsayısı, buna bağlı olarak doz hızının değişimi ve nihayet doz hızı bilinmesi halinde kaynak gücünün ne olması gerektiği konusunda ışınlama uzaklığı ve absorplayıcı kalınlık faktörleri de gözönüne alınarak hesaplar yapıldı.

5.1 ETİ-KEK Ortamında Serbest Büyüme

Kontrol grubu içinde yer alan 5 adet kek örneğinde, mikroorganizma ekilen nokta çevresinde üzüm olmaması nedeniyle nisbeten homojen bir alan oluşmuş olup bu kek örneklerinde yer alan mikroorganizma kolonilerinin büyüme seyri takip edilebildi.

Mikroorganizma türü Bölüm 4 de ıçınlama deneyinde kullanılan mikroorganizmalarla aynı olduğu halde kek ortamında bu mikroorganizmaların büyüme hızının çok daha az olduğu görüldü. Besiyeri ortamında 24 saat aralıklarla kaydettiğimiz koloni çap büyüklüğü, kek ortamında ortalama 10 günde bir yapılmıştır. Çizelge 5-1 çeşitli tarihlerde kaydedilmiş mikroorganizma koloni yarıçap değerlerini göstermektedir.

Çizelge 5-1 Kek ortamında mikroorganizma kolonilerinin yarıçap değerleri

Örnek No	R(t) mm					
	10.4.1988	20.4.1988	1.5.1988	10.5.1988	20.5.1988	5.6.1988
1	1.5	4.5	6.5	8	11	13
2	1.5	4	6	7.5	10.5	12.5
3	2.5	4.5	6	8	10.5	13
4	1.5	3	5	6.5	9	11.5
5	1.5	5	7	8.5	11	12.5
Ortalama	1.7	4.2	6.1	7.7	10.4	12.5

Şekil 5-1, kek ortamında "penicillium" mikroorganizma koloni yarıçaplarının zamanla değişimini göstermektedir.

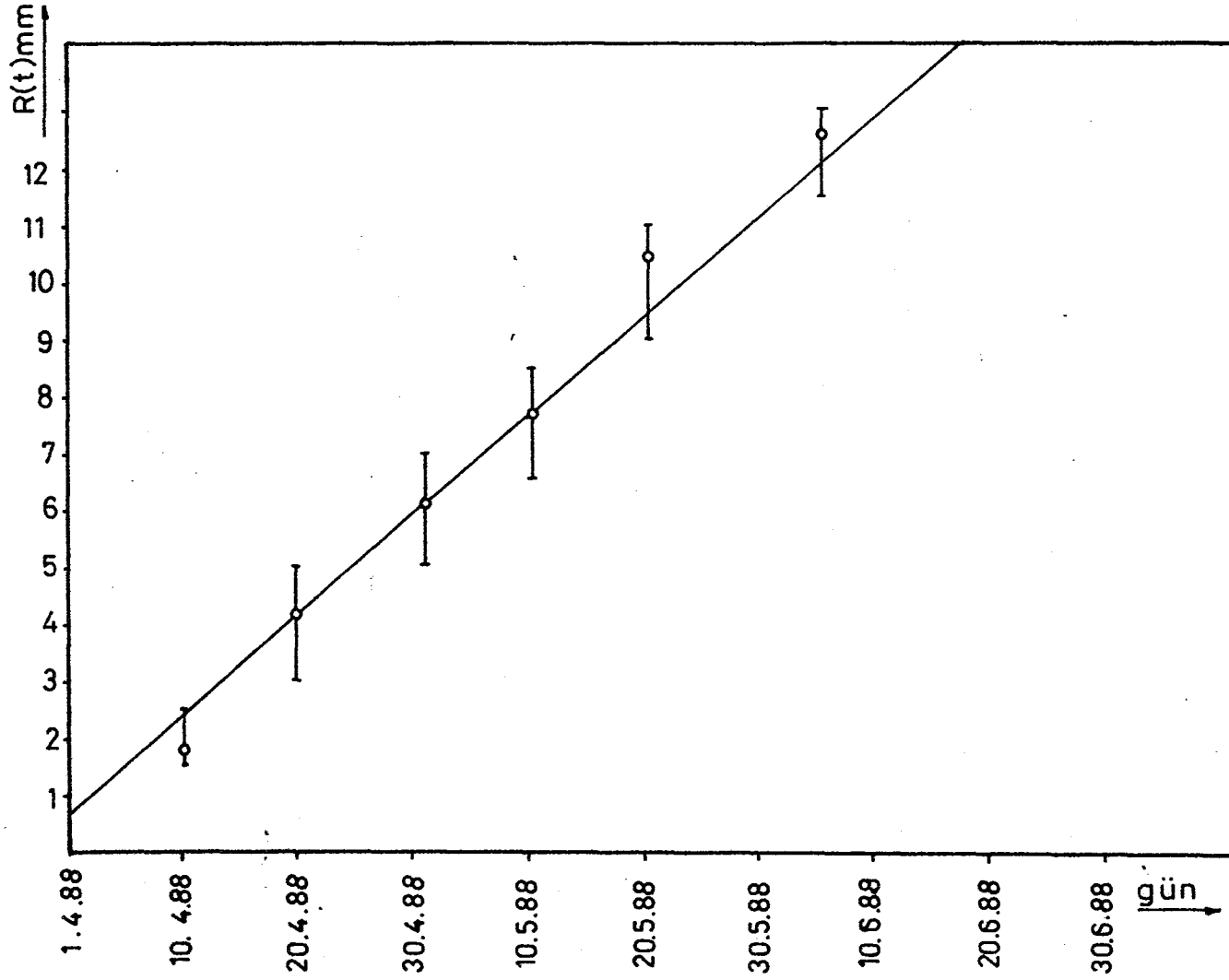
Görüldüğü gibi besiyeri ortamındaki serbest büyümeye benzer şekilde, kek ortamında koloni yarıçaplarındaki büyüme lineer olmaktadır.

Kek Ortamında Çoğalma Katsayısı, β_g Hesabı:

Kek ortamında "penicillium" mikroorganizma kolonilerinin çoğalma katsayısı 4.1.1 de görüldüğü gibi Dk(3-27) de verilen

$$\beta_g = \frac{R(t) - R(o)}{2r t}$$

bağıntısından hareketle hesaplandı. Koloni yarıçapının iki katına çıkma süresi T_2 ,



Şekil 5.1 Kek ortamında mikroorganizma koloni yarıçapının zamana bağlı olarak değişimi

$$T_2 = \frac{R(o)}{2 \beta_c r}$$

kullanılarak bulundu.

Çizelge 5-2 kek ortamında hesaplanan çoğalma katsayısı ile ikilenme süresi göstermektedir.

Görüldüğü gibi β_c değeri (0.0147 saat⁻¹), besiyeri ortamında bulunan β_c değerinden (0.11 saat⁻¹) yaklaşık 7.6 kat daha azdır. Besiyeri ortamı, bu tür mikroorganizmalar için kek ortamından çok daha elverişli büyüme alanı olmaktadır.

Çizelge 5-2 Kek ortamında "penicillium" mikroorganizma kolonileri için çoğaltma katsayısı ve ikileme süresi

t(gün)	R(o)	R(t)	r(mm)	β_c (gün ⁻¹)	T ₂ (gün)
56	1.5	12.5	0.25	0.35	3

5.2 Işınlamanın Koloni Oluşumu Üzerine Etkisi

22 adet kek örneği içeren kontrol grubu ile dört ayrı ışınlama dozunda ışınlanmış ve her biri 14 adet kek örneği içeren ışınlama gruplarında koloni oluşumu izlendi.

Kontrol grubunda yer alan 22 kek örneğinden 14 ünde koloni oluşumu başlamasının ardından 4 gün sonra 1.grup, 7 gün sonra 2.grup, 21 gün sonra 3.grup ve nihayet, 41 gün sonra 4.grup içinde yer alan tüm kek örneklerinde koloni oluşumunun çıplak gözle görülebilir hale geldiği saptandı. Çizelge 5-3 de her grupta yer alan 14 kek örneğinin tümünde koloni oluşumu gözlenen tarihler verilmektedir.

Çizelge 5-3 Kontrol ve Işınlama Gruplarında yer alan örneklerin tümünde koloni görüldüğü tarihler ve gecikme süreleri

	Dilim Kek Miktarı	Koloni Görülme Tarihi	Gecikme Süresi(gün) $T-T_f$
Kontrol Grubu	14	9.4.1988	
Işınlama Grubu 1	"	13.4.1988	4
Işınlama Grubu 2	"	16.4.1988	7
Işınlama Grubu 3	"	30.4.1988	21
Işınlama Grubu 4	"	20.5.1988	41

5.2.1 Dozimetri

Işınlama dozlarının hesabı 4.2.1 deki yöntemle yapıldı.

Işılancak kek örnekleri gamma kaynağından 50 cm uzaklığa, mikro-organizma ekilmiş yüzey kaynağına dönük olacak şekilde dikey olarak yerleştirildiler (Şekil 4.1). Doz hızı bu noktada 162.12 Rad/dak olarak saptandı.

Çizelge 5.4 de ışılama süreleri ve ışılama dozları herbir grup için verilmektedir.

Çizelge 5-4 Doz hızı, ışılama süreleri ve toplam ışılama dozları

Işınlama Grubu	Doz Hızı D(Rad/dak)	Işınlama Süresi T_{15} (dak)	Işınlama Dozu W (Rad)
1	162.12	5	810.6
2	"	10	1621.2
3	"	30	4863.6
4	"	60	9727.2

5.5.2 Kek Ortamı İçin Yoketme Katsayısı Hesabı

Yoketme katsayısı λ_D , Dk.(3-44) de

$$\lambda_D = \frac{\beta_G (T-T_f)}{T_{1g}}$$

veya

$$\beta_G (T-T_f) = \lambda_D T_{1g}$$

bağıntısından bulunacaktır. Çizelge 5-5 de β_G , T_{1g} ve $T-T_f$ değerleri verilmektedir. $\beta_G (T-T_f)$ ile T_{1g} arasında bir grafik çizilecek olursa (Şekil 5-2) doğrunun eğimi bize yoketme katsayısı λ_D yi verecektir.

Çizelge 5-5 Her ışınlama grubu için gerekli parametre değerleri

İşinlama Grubu	β_G (gün ⁻¹)	T_{1g} (dak)	$T-T_f$ (gün)	$\beta_G (T-T_f)$	W	D
1	0.35	5	4	1.408	810.6	162.12
2	"	10	7	2.464	1621.2	"
3	"	30	21	7.392	4863.6	"
4	"	60	41	14.43	9727.2	"

Şekil 5-2 den yoketme katsayısı λ_D , 0.278 dak⁻¹ olarak bulundu.

5.2.3 Yoketme Katsayısı-Doz Hızı İlişkisi

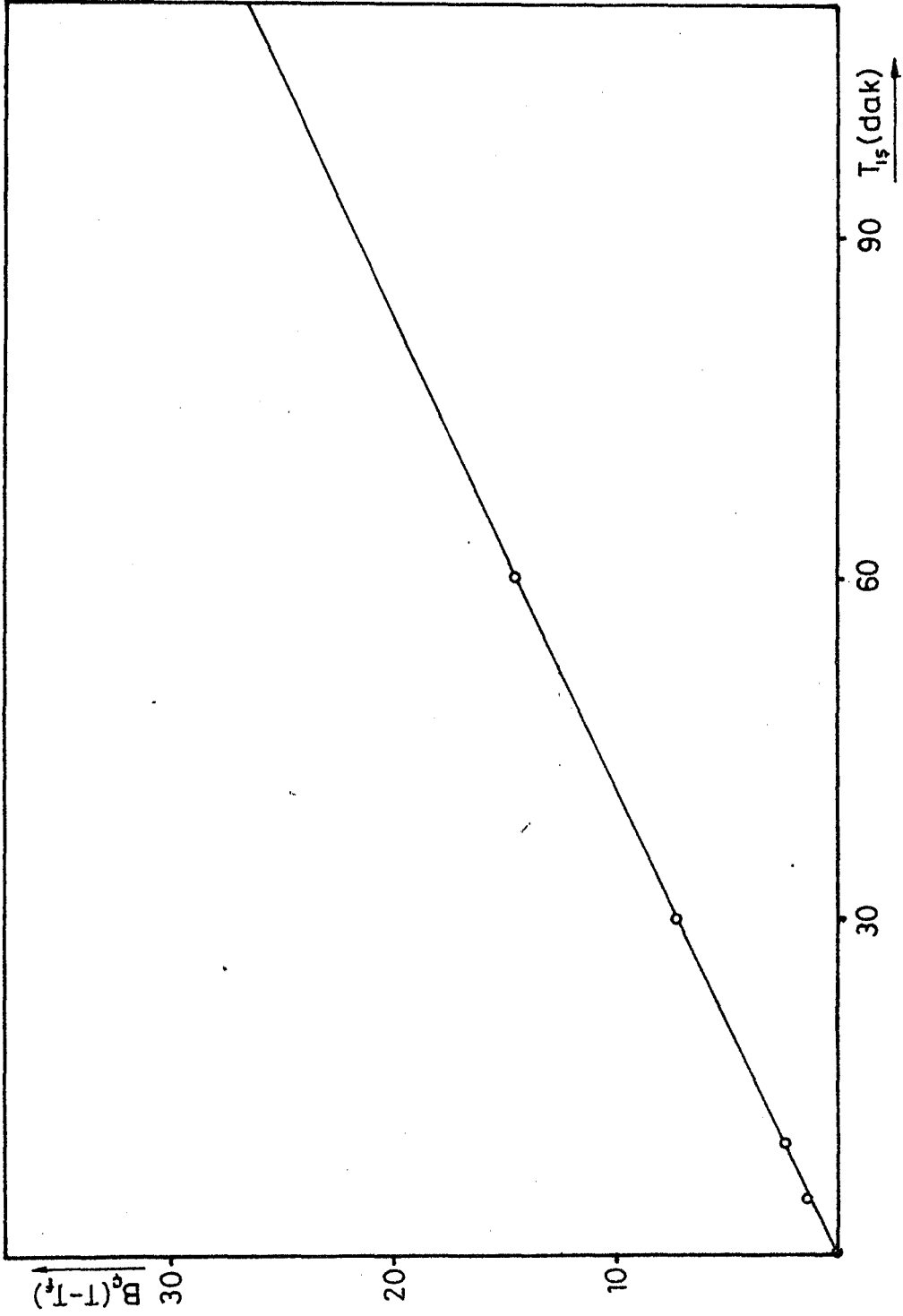
Yoketme katsayısı ile doz hızı arasındaki ilişki Dk.(3.5.2) de

$$\lambda_D = kD$$

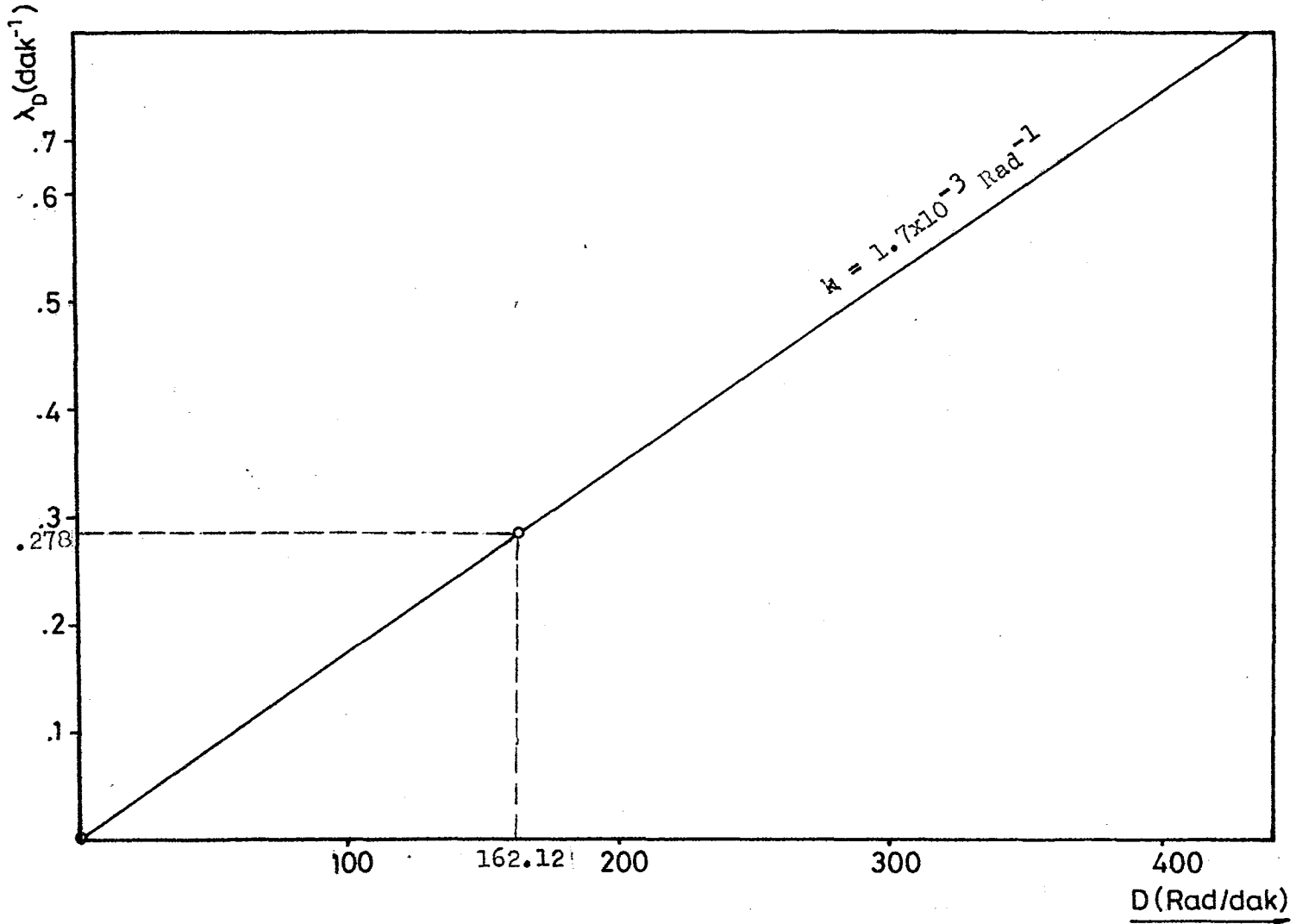
şeklinde dir. Birim zaman süresince verilen doz miktarı, λ_D 'nin ve gerekli kaynak gücünün belirleyicisidir. Bu ilişki Şekil 5-3 de resmedilmiştir. Bu şekilden hareketle

$$k = 1.7 \times 10^{-3} \text{ Rad}^{-1}$$

bulundu.



Şekil 5.2 Kek ortamında $\beta_0 (T-T_p)$ ve T_{10} arasındaki ilişki



Şekil 5.3 Kek ortamında yoketme katsayısının doz hızına bağımlılığı

5.2.4 Gecikme Süresi - Işınlama Dozu İlişkisi

Çizelge 5.5 de verilen $T-T_f$ ve W değerlerinden hareketle gecikme süresi ile uygulanan ışınlama dozu arasında çizilen bir grafik (Şekil 5-4), daha fazla gecikme süresine karşılık olan ışınlama dozunu bulmamıza yardımcı olacaktır.

Gücü nisbeten küçük olan gama kaynağıyla ancak 9727 Rad'a çıkılabilmiş ve bu doz mikroorganizma kolonisinin oluşumunda 41 günlük bir gecikmeye neden olmuştu.

Bu gecikmenin 1 yıl olması dilerirse Şekil 5-5 den de görüldüğü gibi 75500 Rad dolayında bir ışınlama dozu gerekecektir.

5.2.5 Gerekli Kaynak Gücünün Belirlenmesi

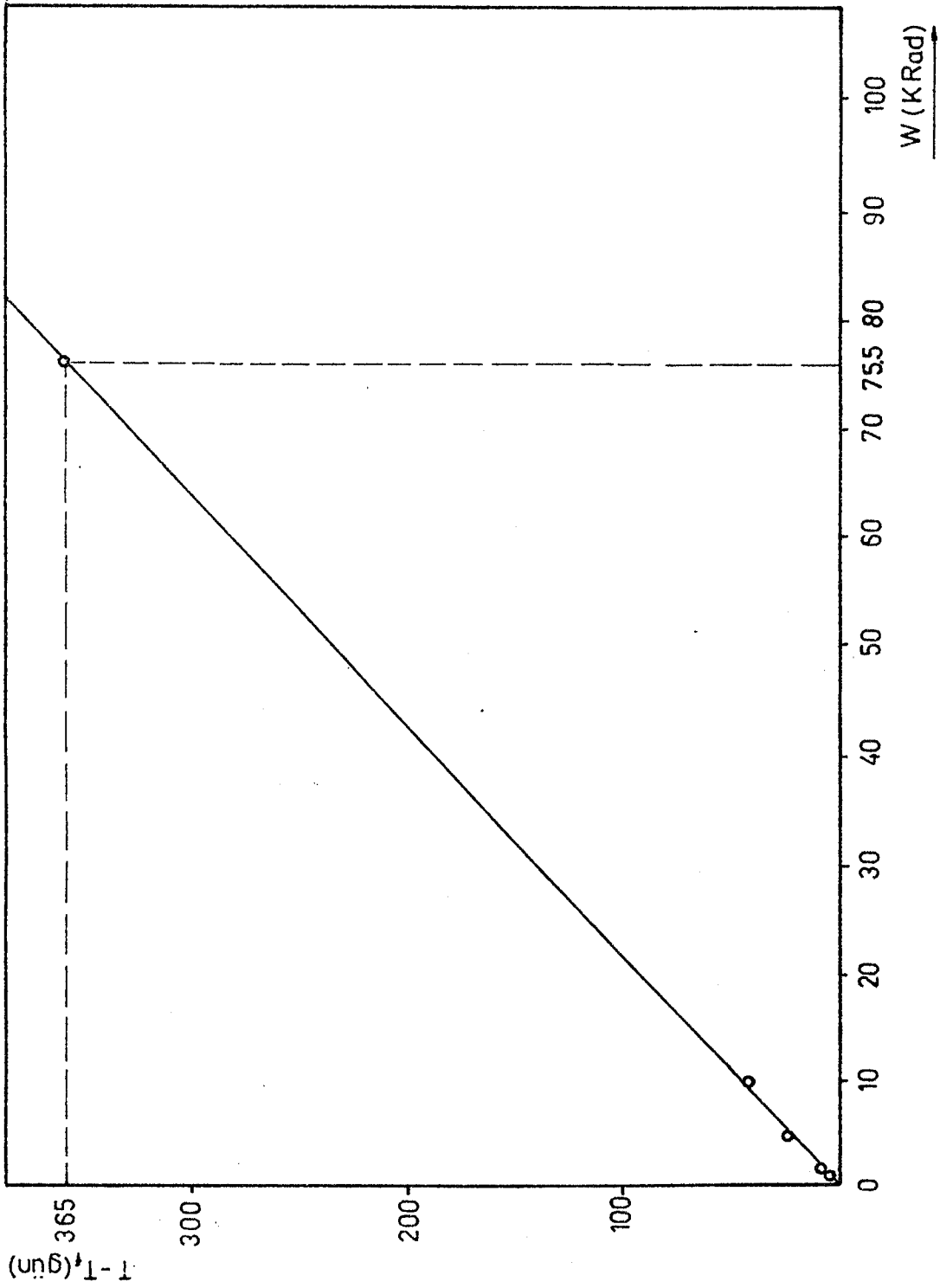
Uygulanması gereken ışınlama dozu saptandıktan sonra bu dozun ne kadar sürede verileceği yani doz hızının belirlenmesi gerekir. Aynı miktar doz zayıf bir kaynakla günler mertebesinde verilebildiği gibi çok güçlü bir kaynakla dakika mertebesinde de verilebilir. Kaynak gücünün belirlenmesinde gerekli bir parametre olan doz hızı ile doz miktarı arasındaki ilişki

$$W = T_{1S} D$$

bağıntısıyla verilmektedir. Şekil 5-5 çeşitli T_{1S} sürelerine göre W ve D arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilde ETİ-KEK örneklerinin 1 yıl güvenlice saklanabilmesi için 5.2.4 de saptanan 75500 Rad ışınlama dozuna karşılık gelen, çeşitli ışınlama sürelerine bağlı olarak, doz hızları görülmektedir. Bu doz hızlarının her biri farklı kaynak gücünü temsil etmektedir.

Bu aşamada kaynak gücünü tam belirleyebilmek için bir parametreye daha ihtiyaç vardır. Işınlanacak örneklerin kaynağa olan uzaklığının bilinmesi de kaynak gücünü belirleyen faktörlerden biridir.

Şekil 4-6, doz hızının belirlenmesi durumunda kaynağa olan ışınlama uzaklığına bağlı olarak kaynak gücünü saptamaya olanak verir.



Şekil 5.4 Kozmiki ışınların dozu ile ölçülen alanın doz hızına bağlı olarak değişimi.

Deneyimizde, 1 saatlik ışınlama süresini seçmemiz halinde doz hızı,

$$D = 75500 \text{ Rad/saat}$$

olacaktır (Şekil 5-5). Işınlama uzaklığı 50 cm olarak düşünülürse, Şekil 4-6 dan,

$$\frac{D}{C} = 5,$$

bulunur. Buradan kaynak gücü,

$$C = \frac{75500}{5}$$

veya

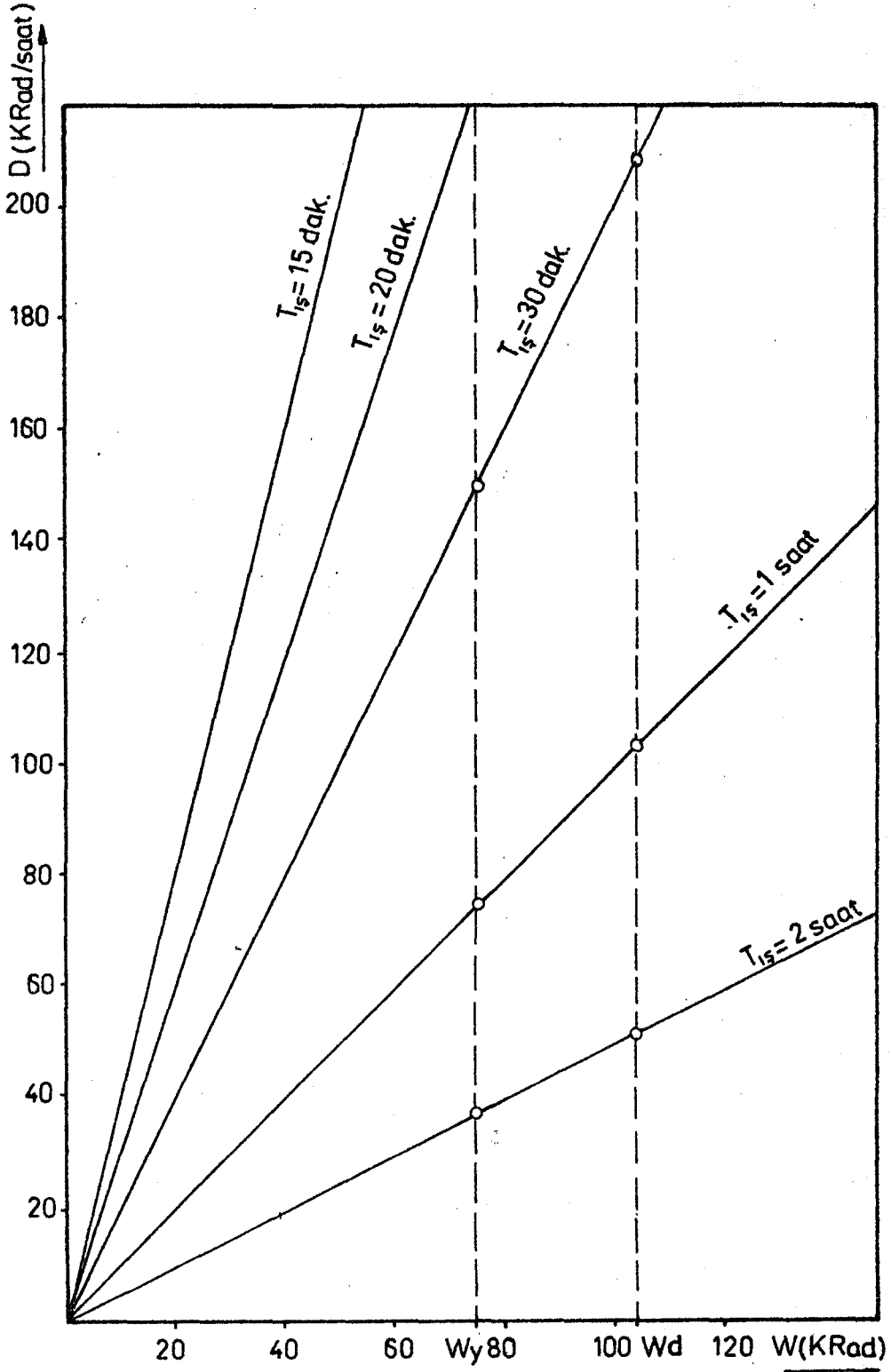
$$C = 15100 \text{ Curie}$$

olarak saptanır.

5.2.6 Girici Derinlik Dozu

Buraya kadar olan hesaplamalar, ışınlama noktasında tek bir mikroorganizma koloni tabakasının bulunduğu esasına dayanıyordu.

Üretimden çıkmış kek dilimleri ortamda bulunan mikroorganizmaların kek dilimleri üzerine düşmesi ile kontamine oldukları öngörülmüyor. Böylece koloni oluşumu, dolayısıyla keklerin küflenmesi yüzeylerde meydana gelecektir. Bunların yanısıra deneyimizde yapmış olduğumuz gibi, kek dilimleri tek tek ve yalnızca kontamine olan yüzeyleri ışınlamayacaktır. Kek dilimlerinin ambalajlandıktan ve orijinal kolilerine yerleştirildikten sonra ışınlaması daha makuldür. Ortalama 20x20 cm kalınlığında kek kütlesi olarak düşünebileceğimiz her koli içinde yer alan kek dilimlerinin hepsinin aynı dozu almayacağı açıktır. Gama ışınları kek içine nüfuz ederlerken gittikçe azalan bir doz yığılmasına neden olurlar.



Şekil 5.5 Işınlama sürelerine göre doz hızı ve toplam doz arasındaki ilişki

Örneğimize dönersek, BTİ-KEM'leri 1 yıl bozulmadan koruyabilmek için gerekli yüzey dozu 75500 Rad idi. 20 cm'lik bir kek kolisinde en dipte yer alan kek diliminin bu dozu alabilmesi için, bu kalınlıkta Co-60 ışınlarının verdiği doz, yüzey dozunun % 67'sine karşılık geldiği bilindiğine göre , derinlik dozunun,

$$W_d = 75500$$

olması için yüzey dozun

$$W_y = 75500/0.67$$

veya

$$W_y = 112686 \text{ Rad}$$

olması gerekmektedir.

Buna karşılık genel kaynak aktivitesi, $T_{1g} = 1$ saat ve $d = 50$ cm şartlarında,

$$C = 22537 \text{ Curie}$$

olacaktır.

Işınlama süresi T_{1g} ve Işınlama uzaklığı d 'nin değerlerini değiştirerek bulunacak çeşitli kaynak gücü değerlerinden en makul olanı seçilebilir.

Çizelge 5-6 da çeşitli T_{1g} ve d değerleri için gerekli kaynak gücü değerleri verilmiştir.

Çizelge 5-6 Çeşitli T_{1s} ve d değerleri için 75500 absorlama
(derinlik dozu) dozu sağlayan kaynak gücü değerleri

T_{1s} (dak)	D(Rad/saat)	d(cm)	W_y (Rad)	W_D (Rad)	C(Curie)
120	56343	50	112686	75500	11179.16
60	112686	50	"	"	22358.3
30	225372	50	"	"	44716.6
20	338058	50	"	"	67075
10	676116	50	"	"	134150
120	56343	40	"	"	7154.6
60	112686	40	"	"	14309
30	225372	40	"	"	28618.6
20	338058	40	"	"	42928
10	676116	40	"	"	85856
120	56343	30	"	"	4024.5
60	112686	30	"	"	8049
30	225372	30	"	"	16098
20	338058	30	"	"	24147
10	676116	30	"	"	48294
120	56343	20	"	"	1788.67
60	112686	20	"	"	3577.34
30	225372	20	"	"	7154.67
20	338058	20	"	"	10732
10	676116	20	"	"	21464

6. TEORİK VE DENEYSSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

İyonlaştırıcı enerjinin keşfinden hemen sonra bu enerjinin canlı organizmalar üzerindeki etkisi araştırılmaya başlandı. Bu konuda literatürde yer alan ilk çalışma 1896 yılında Minck tarafından rapor edilmiştir. Bu çalışma X-ışınlarının bakteriler üzerindeki öldürücü etkileri konusunda bir bildiri niteliğindedir (Minck, 1896).

Daha sonraları İngiliz Fizikçi Dr. D.E.Lea iyonlaştırıcı enerjinin biyolojik sistemler üzerindeki etki mekanizmasını açıklamak üzere bir teori geliştirmiştir. Hedef Teorisi (Target Theory) olarak isimlendirilen bu teori, ışınlama dozu ile hücre ölümü arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışmakta ve radyobiyolojide bugün hâlâ doz-hücre ölümü mekanizması, bu teori ile açıklanmaya çalışılmaktadır.

Dr.Lea'dan günümüze kadar bu alanda pek çok çalışma yapılmış ancak literatürde olaya kuramsal olarak yeni bir bakış açısı getiren bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Bu tez çalışması hem teorik hem de deneysel içeriklidir. Sonuçları yorumlarken önce teorik çalışmalar ve bunun uzantısında deneysel çalışmalar ele alınacaktır.

6.1 Teorik Çalışmalar

Tez çalışmasının 3. Bölümünde mikroorganizmaların davranışlarını serbest halde ve ışınlama altında tasvir eden bir model oluşturulmuştur.

Buna göre mikroorganizmaların büyüme seyirleri koloni haline gelmeden önceki ve koloni haline geldikten sonraki dönemler olmak üzere iki bölümde irdelenmiştir. Bu dönemlerde mikroorganizmaların serbest halde ve ışınlama altındaki davranışları uygun fiziksel parametreler yardımıyla analitik olarak ifade edilmişlerdir.

Koloni oluşumu öncesi olarak, mevcut tüm mikroorganizmaların bölünme yeteneğine sahip ve büyümeye katkıda bulunabildikleri baş-

langıç dönemi ele alınmış ve bu dönemde mikroorganizmaların exponansiyel (üssel) büyüdüğü gösterilmiştir.

Mikroorganizmalar bu dönemde, iyonlaştırıcı ışınların etkisi altında kalırlarsa, mikroorganizma nüfusundaki değişim Dk.(3-6) dan,

$$n_m(t) = n_m(o) e^{(\lambda_g - \lambda_D)t}$$

bağıntısına göre olmakta ve eğer büyüme ihmal edilirse, yani $\lambda_D \gg \lambda_g$ durumunda bu değişim, Dk.(3-7),

$$n_m(t) = n_m(o) e^{-\lambda_D t}$$

şeklinde olmaktadır.

Dr.Lea, doz-hücre ölümü arasındaki ilişkiyi

$$n_m(t) = n_m(o) e^{-\frac{W}{W_0}} \quad (6-1)$$

bağıntısıyla vermektedir. Burada W, uygulanan toplam ışınlama dozunu, W_0 ise mikroorganizma nüfusunu belirli bir seviyeye indirmek için gerekli ışınlama dozunu göstermektedir. Toplam uygulanan dozun, doz hızı ile ışınlama süresinin çarpımı olduğu gözönüne alınacak olursa, Dk(6-1),

$$n_m(t) = n_m(o) e^{-\frac{D}{W_0} t} \quad (6-2)$$

biçimini alacaktır.

Buradan λ_D , yoketme katsayısı olup Bölüm 3'te tanımlanmış bir fiziksel parametredir ve Dk.(6-1) ve Dk.(6-2) den hareketle

$$\lambda_D = \frac{1}{W_0} D \quad (6-3)$$

şeklinde doz hızı D ile bir sabitin ($k = \frac{1}{W_0}$) çarpımına eşit olarak yazılabilmektedir.

Koloni oluşumu öncesi için türetilen bağıntıların, literatürde yer alan bağıntılarla uyum içinde olduğu görülmektedir.

x

Mikroorganizmaların koloni haline gelmeleri ile, koloni büyümesine yalnızca koloni çevresinde yer alan mikroorganizmalar katkıda bulunmaktadırlar. Modele göre büyüme alanı olmayan, iç kısımlarda yer alarak büyümeye katkıda bulunamayan mikroorganizmalar biyolojik ömürlerine bağlı olarak canlı kalabilmektedirler. Bu biyolojik ömür, mikroorganizma türüne göre yıllar mertebesinde olabilmektedir.

Bölüm 3 te gerçekleştirilen türetime göre koloni yarıçapının

$$R(t) = R(o) + 2 \beta_g rt$$

bağıntısına uygun olarak ifade edilebileceği kuramsal olarak gösterilmiştir. Yapılan özgün bir türetimle, ışınlama altında kalan bir mikroorganizma kolonisinin yarıçapının

$$R(t) = R(o) + 2(\beta_g - \lambda_D) rt$$

bağıntısına uygun olarak değiştiği gösterilmiş ve ayrıca β_g ve λ_D gibi bu dinamiği tasvir eden parametrelerin nasıl hesaplanabileceği de kuramsal olarak açıklanmıştır.

x

Mikroorganizma kolonilerinin ışınlama altındaki davranışları ile ilgili literatürde herhangi bir kuramsal çalışmaya rastlanmamıştır. Bölüm 3 te türetilen ve deneysel çalışmalarla da desteklenen, ışınlama altında mikroorganizma kolonilerinin davranışlarını gösteren yaklaşım, tezimizin özgün yanını meydana getirmektedir.

Önce analitik olarak saptanan fiziksel parametreler, çoğalma katsayısı β_G ve yoketme katsayısı λ_D , daha sonra deney sonuçlarından hareketle sayısal olarak hesaplanabilmişlerdir. Bu parametrelerin mikroorganizma cinsine bağımlılıkları kuramsal olarak belirlenirken ayrıca ışınım dozu ve kaynak gücüne bağımlılıkları da gösterilmiştir. Bu türetimlerden hareketle deneysel çalışmalarını yorumlama olanağı bulurken, deney sonuçlarından elde edeceğimiz sayısal verilerle gerekli ışınlama dozu ve ışınlama kaynağının gücünü saptama olanağı da bulunacaktır.

x

Literatürde, iyonlaştırıcı ışınların mikroorganizmalar üzerindeki etkisinin toplam doz W ile orantılı olduğu ifade edilmektedir. Ancak bu dozun verilmiş süresinin veya başka bir deyişle doz hızının rolü çok açık değildir.

Aynı doz miktarı (toplam doz) güçlü bir kaynakla dakika mertebesinde verilebildiği gibi çok zayıf bir kaynakla günler mertebesinde de verilebilir. Aynı doz veriliyor olmakla birlikte güçlü ve zayıf kaynak durumlarında meydana gelen etki aynı olmayacaktır. Bu durum teorik türetimimizde çoğalma katsayısı β_G ve yoketme katsayısı λ_D parametreleri yardımıyla irdelenmiştir.

$\beta_G > \lambda_D$ durumunda mikroorganizmalar bir yandan ışınların etkisiyle ölürken diğer yandan üremeye devam edecekler ve dolayısıyla da koloni nüfusundaki artış devam edecektir ve bunun sonucunda da koloni ($\beta_G - \lambda_D$) değerine bağlı olarak büyümeye devam edecektir.

$\beta_G = \lambda_D$ durumunda, ölen mikroorganizma sayısı çoğalanlara eşit olacak, koloni nüfusu sabit kalacak ve koloni büyümesi gözlenemeyecektir.

$\beta_G < \lambda_D$ durumunda ise koloni nüfusunda ($\lambda_D - \beta_G$) değerine bağımlı olarak azalmalar meydana gelecektir (Şekil 3-2).

Görüldüğü gibi etki mekanizması yığılan toplam doz W dan çok yoketme katsayısı λ_D nin alacağı değerlere, bir başka deyişle D ye bağlı olmaktadır.

Toplam doz miktarı W ise, yapılması istenen işlem belirlendikten sonraki aşamada önem kazanmaktadır. Burada "yapılması gerekli işlem" ile mikroorganizma nüfusunda meydana getirilmesi amaçlanan etki kasdedilmektedir. Bu etkileri mikroorganizma kolonisinin büyümesinin yavaşlatılması ($\beta_c > \lambda_D$ durumu), veya bu büyümenin durdurulması ($\beta_c = \lambda_D$ durumu) ya da mikroorganizma nüfusunun azaltılması ($\beta_c < \lambda_D$ durumu) olarak sayabiliriz. Bunlar belirlendikten sonra bu etkilerin ne kadar sürdürülmek istendiği, mikroorganizma nüfusunun hangi düzeyde tutulmak istendiği önem kazanır. Bu noktada λ_D ile belirlenen doz hızı D nin ne kadar süre tatbik edileceği yani ışınlama süresi belirlenir. Doz hızı ve ışınlama süresinin belirlenmesiyle toplam doz saptanmış olur.

Artık verilen toplam doz ne olursa olsun yukarıda λ_D ile belirtilen etki mekanizması ışınlama süresince devam eder.

Sonuç olarak, mikroorganizma nüfusu denetim altına alınarak korunmak veya azaltılmak isteniyorsa $\lambda_D > \beta_c$ şartlarını sağlayan bir doz hızı ile bu doz hızını verebilecek ışınlama kaynağı seçilmelidir.

6.2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar Bölüm 4 ve Bölüm 5 de anlatıldığı gibi iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 4'de anlatılan deneyde laboratuvar ortamında üretilen mikroorganizma kolonileri kullanılmıştır. İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Mikrobiyoloji laboratuvarında üretilen üç ayrı cins mikroorganizma kolonileri üzerinde gerçekleştirilen deney ile Bölüm 3 te anlatılan kuramsal çalışmanın olurluğu araştırılmıştır.

Bu deneyin yapılmasının nedeni, mikroorganizma üretimi için en ideal ortamın uygun bir besi yeri ortamı olması ve bu nedenle sonuçların daha kısa bir zaman dilimi içinde alınabilmesidir. Ayrıca besi yeri ortamının homojen ve saydam oluşu, koloni büyümesinin düzgün olmasını

sağlamakta ve izlenebilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu deney Bölüm 5 de anlatılan deney için bir ön çalışma niteliğindedir.

Önce üç ayrı cins mikroorganizma seçildi ve bu mikroorganizmalara ait koloniler takip edilerek büyümenin lineer olup olmadığına bakıldı. Her üç mikroorganizma türüne ait kolonilerin lineer büyüdüğüleri saptandıktan sonra ölçüm sonuçlarından hareketle Bölüm 3'te anlatıldığı şekilde çoğalma katsayıları β_g ile koloninin iki katına çıkma süresi T_g hesaplandı. Seçilen türlere ait mikroorganizma kolonilerinin büyüme hızlarının literatürde verilen büyüme hızları ile karşılaştırıldığında, kullanılan besi yeri ortamı için, birbirine çok yakın olduğu görüldü. (Samson et al., 1981).

Koloni büyümesindeki lineerliği belirleyip çoğalma katsayısı β_g yi hesapladıktan sonra, koloni büyümesinde ışınlamanın etkisini görmek amacıyla "penicillium" türü mikroorganizma kolonileri, henüz bir nokta halindeyken dört ayrı ışınlama dozunda ışınlandılar. Işınlama öncesi koloni ne denli büyük olursa, ışınlama sonrası mikroorganizmaların kendini o denli çabuk toparlayıp büyümenin devam edeceği bilinmektedir. Bu nedenle mikroorganizma ekim çalışmaları steril şartlarda gerçekleştirildi ve koloni büyüklüğü bir nokta şeklinde gözlemlendiği anda ışınlama yapıldı.

Işınlama sonrası, ışınlanan koloniler izlenerek büyümeleri takip edildi. Koloni büyümesinin uygulanan ışınlama dozuna bağlı olarak gerilediği tespit edildi (Şekil 4-2). Kontrol grubunda yer alan mikroorganizma kolonileri ile ışınlanan kolonilerin büyüklükleri arasındaki farktan hareketle, ışınlanmış kolonilerin kontrol grubundakilerin büyüklüğüne erişinceye kadar geçmesi gereken süre olarak tarif edilen "gecikme süreleri", $T-T_f$, hesaplandı. Çizelge 4-3'te bu gecikme sürelerinin dört ışınlama grubu için hesaplanan değerleri ile büyüme katsayısı β_g değerleri verilmektedir.

Bu gecikme süreleri, ışınlama etkisiyle mikroorganizmaların imha mekanizması ile ışınlama dozu arasındaki ilişkinin kurulmasında yardımcı olmaktadır. Bölüm 3'te türetilen ve

$$\lambda_D = \frac{\beta_g (T-T_f)}{T_{1g}}$$

eşitliğinden bulunayoketme katsayısı λ_D , bu ilişkiyi belirleyen parametredir. Işınlama süreleri biliniyor ve $\beta_c(T-T_f)$ hesaplanmış olduğundan bu parametreler arasındaki ilişki dört ışınlama grubu için bulunan değerlerden hareketle çizilecek olursa, λ_D çizilen bu doğrunun eğiminden bulunacaktır (Şekil 4-3).

Doz hesapları Bölüm 4 de ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Uygulanan doz hızı ve toplam doz bilindiğinden λ_D ile doz hızı D ve D ile kaynak gücü C arasındaki ilişki Bölüm 3 teki teorik türetimler uzantısında kurulmuştur (Şekil 4-4, Şekil 4-5).

Artık gecikme süreleri $T-T_f$ den hareketle, gerekli ışınlama dozu ve kaynak gücü saptaması yapılabilmektedir. Şekil (4-3) den **belirlenen bir ışınlama süresi için, istenilen bir "gecikme süresi"ni sağlayacak olan yoketme katsayısı λ_D bulunur. Bu λ_D 'yi verecek olan doz hızı D Şekil(4-4), bu doz hızını verecek olan kaynak gücü de Şekil (4-5) den bulunabilecektir.

Kaynak gücünü belirlemede ışınlanacak mikroorganizma kolonisinin kaynaktan ne kadar uzaklıkta olacağı yani "ışınlama uzaklığı" önem taşımaktadır. Doz hızı, ışınlama uzaklığının karesi ile ters orantılıdır. Bu nedenle Şekil (4-5), D/C'nin ışınlama uzaklığı d ye bağımlı olarak değişimini içermektedir.

Işınlama uzaklığı gibi D/C oranının belirlenmesinde diğer önemli faktör absorplayıcı materyalin kalınlığıdır. Ancak bu çalışmamızda ışınlama noktasında tek bir mikroorganizma kolonisi bulunuyor olmasından ötürü bu faktör doz hesaplarına dâhil edilmemiştir. Işınlama noktasındaki ışınlama dozu koloni tarafından yutulan doza eşit kabul edilmiştir.

Sonuç olarak bu deney ile Bölüm 3 de anlatılan teorik çalışmanın geçerliliği kanıtlanmıştır. Önce koloni büyümesinin lineer olduğunun görülmesi, ardından ışınlama ile bu büyümenin engellenebilir olduğu ve bu engellemenin uygulanan ışınlama dozuna bağlı olduğunun saptanması, daha sonra kuramsal olarak belirlenen parametrelerin ölçüm sonuçlarından hareketle sağlıklı olarak bulunması ve bu parametreler yardımıyla doz, doz hızı ve kaynak gücü saptamasının yapılabilmesi teorik çalışmanın olurluğu açısından son derece cesaret vericidir.

Bölüm 5'de, Bölüm 4'deki yol izlenerek piyasaya şeffaf ambalajları içinde sunulan "ETİ-KEK" marka kek dilimlerinde meydana gelebilecek "penicillium" türü bir mikroorganizma kontaminasyonunun önlenerek ürünün market ömrünün uzatılması şartları irdelenmiştir.

Önce bu mikroorganizma türünün kek ortamındaki büyüme hızı ve çoğalma katsayısı β_c bulunmuştur. Aynı cins mikroorganizmanın besi yeri ortamındaki çoğalma katsayısı, kek ortamındaki yaklaşıklık 7 katı dolayındadır.

Her biri 14 adet mikroorganizma ekilmiş kek dilimleri içeren beş grup örnekten bir grubu kontrol olarak saklanırken diğer dört grup, dört değişik dozda ışınlanarak koloni oluşumu izlendi. Mikroorganizma büyüme hızının kek ortamında çok düşük olması ve kek örneklerinin homojen olmaması (üzümlü kek dilimleri kullanıldı) nedeniyle koloni büyümesinin izlenmesi yerine, her grupta yer alan kek örneklerinde koloni oluşumunun başlamasının izlenmesi, gecikme sürelerinin saptanması açısından yeterli bulunmuştur. Örneklerin ışınlanması, mikroorganizma ekimi yapıldıktan 10 gün sonra ve örnekler üzerinde koloni oluşumu gözlenmeden yapıldı.

Kontrol grubunda yer alan tüm örneklerde mikroorganizma oluşumu gözlemlendikten sonra 1. ışınlama grubunda yer alan tüm örneklerde 4, 2. ışınlama grubundakilerde 7, 3. ışınlama grubundakilerde 21 ve 4. ışınlama grubunda yer alan tüm örneklerde 41 gün sonra koloni oluşumu gözlemlendi. Bu gecikme süreleri $T-T_f$, ışınlama süreleri $T_{1\phi}$ ile ışınlama dozları, her ışınlama grubu için çizelge 5.5 de verilmektedir.

Şekil 5-4 den hareketle, ürünün market ömrünü uzatmak için seçilen bir $T-T_f$ süresine karşılık gerekli ışınım dozunu bulmak imkan dahilindedir. Bu ışınım dozunun ne kadar sürede verildiği yani ışınlama süresinin saptanması ile, Şekil 5-5 den uygulanması gerekli doz hızı D bulunabilecektir. Artık doz hızının belirlenmesinden sonra gerekli kaynak gücünü bulmak, Şekil 4-5 den bir hayli kolay olacaktır.

Kaynak gücünün belirlenmesinde ışınlama uzaklığının ve absorplayıcı kalınlığının önemi daha önce vurgulanmıştı. Piyasaya sürülen kek dilimleri 20x20 cm boyutlarında koliler içine yerleştirilmekte olduğundan, kek dilimleri bu koliler içinde ışınlama kaynağının önünden geçecek-

lerdir. Doz hesapları yapılırken 20x20 cm'lik absorplayıcı kalınlığını hesaba katmak gerekir.

Elde edilen sonuçlara göre "ETİ-KEK" dilimlerinde "penicilium" kontaminasyonuna bağlı olarak meydana gelebilecek bozulmaları bir yıl süreyle engellemek için 75500 Rad dolayında bir derinlik dozuna gereksinim vardır. Bu dozun 20x20 cm boyutlarındaki kolilerin en uç noktalarında absorplanabilmesi için yüzey dozunun 112686 Rad olması gerektiği görülmektedir. Çizelge 5.6 da bu dozu sağlayacak $T_{1/2}$, D ve d parametrelerinin çeşitli değerlerine karşılık olarak, olması gereken kaynak gücü değerleri verilmektedir.

Literatürde bizim özgün örnek malzememiz olan kek dilimleri ile ilgili bir çalışma ve spesifik bir ışınlama dozu yoktur. Ancak çeşitli kaynaklarda pişirilerek hazırlanmış ve paketlenmiş unlu gıdalar için gerekli doz miktarının 100000 Rad dolayında olması gerektiği kaydedilmektedir. Ancak bu dozun ilgili besin maddesini ne kadar süre bozulmadan koruyacağına ilişkin bir bilgi yoktur (IAEA, 1970).

F₁'in sonrası hemen ambalajlanarak piyasaya sürülen bu ürünler için bulmuş olduğumuz 112686 Rad dolayındaki ışınlama dozu, 1 yıllık bir koruma süresini içerdiğinden, önerilen dozlara çok yakın olması da gözönüne alınırsa oldukça iyi bir sonuç sayılır. Ayrıca bu ışınlama dozunun 1 MRad'lık üst doz sınırının çok altında kaldığını da kaydetmek gerekir.

7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında özet olarak aşağıdaki amaçlara ulaşılmıştır.

. Mikroorganizma kolonilerinin normal halde ve nükleer ışınlama altındaki davranışları özgün bir model çerçevesinde teorik olarak irdelenmiştir.

Vazedilen fiziksel parametreler yardımıyla nükleer ışınlamanın mikroorganizma kolonileri üzerindeki etkisinin doz hızına, toplam doza ve kaynak gücüne olan bağımlılığı analitik olarak ifade edilmiştir.

. Özel yöntemlerle laboratuvar ortamında üretilen mikroorganizma kolonileri üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların, teorik çalışmalarını doğruladıkları saptanmıştır.

Üç farklı türde mikroorganizmalardan (aspergillus, penicillium ve fusarium) besi yeri ortamında üretilen mikroorganizma kolonilerinin normal şartlarda "lineer" büyüdükleri gözlenmiş ve teorik çalışmamızda çoğalma katsayısı olarak tanımlanan β_G değerleri her üç mikroorganizma kolonisi için bulunmuştur (çizelge 4.1). Daha sonra "penicillium" türü mikroorganizma kolonileri üzerinde yapılan ışınlama deneyi ile koloni büyümesinin uygulanan doza bağımlı olarak nükleer ışınlama altında engellenildiği gösterilmiş ve yoketme katsayısı olarak tanımlanan λ_D parametresi hesaplanmıştır.

. Uygulanan ışınlama dozları ile mikroorganizma kolonilerinin büyüme hızında meydana gelen gerilemeler arasında β_G ve λ_D parametreleri yardımıyla kurulan ilişkiden hareketle daha büyük doz ve bu dozu sağlayabilecek kaynak gücü öngörülere yapılmıştır.

. Nükleer ışınların mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisinin doz hızına bağımlılığı gösterilmiş ve bu bağımlılık, vazedilen parametrelerin (çoğalma ve yoketme katsayıları) alacakları değerlere bağlı olarak irdelenmiştir.

. Teorik olarak geliştirilen ve besi yeri ortamında özel olarak üretilmiş mikroorganizma kolonileri üzerinde yapılan deneylerle olurluk kazanan yöntem, daha sonra, bir besin maddesi üzerinde denenmiştir. Buna göre, Eti-Kek dilimlerinde meydana gelebilecek bir "penicillium" tipi

mikroorganizma kontaminasyonunun bir yıl süreyle geciktirilerek ürünün market ömrünü uzatmak için gerekli ışınım derinlik dozunun 75500 Rad dolayında olması gerektiği saptanmıştır.

Işınlama, kek dilimlerinin yerleştirildiği 20x20 cm boyutlarındaki kolilerde yapılacaksa, koli içindeki en uzak noktadaki ışınım dozunun 75500 Rad olması için koli yüzeyinde ve kaynağa en yakın noktadaki ışınım yüzey dozu 112686 Rad olmalıdır.

Bu ışınım dozunu sağlayabilecek kaynak gücü, ışınım uzaklığı, ışınım süresi ve doz hızı gibi parametrelerin alacağı çeşitli değerlere göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, uyguladığımız bu özgün yöntemin fevkalade etkin olduğunu göstermiştir.

BE AÇIKLAMALAR A

DENEY VERİLERİ

Bu bölümde besi yeri ortamında üretilen aspergillus, fusarium ve penicillium türü mikroorganizma kolonilerinin düzenli aralıklarla ölçülen çap değerleri çizelgeler halinde verilmektedir.

Çizelge A.1 Besi yeri ortamında üretilen "aspergillus" türü mikroorganizma kolonilerinin 12 saat aralıklarla ölçülen çap değerleri

I Örnek I I No. I	I 2 R(t) mm I					
	I 1.GÜN I	I 2.GÜN I	I 3.GÜN I	I 4.GÜN I	I 5.GÜN I	I 6.GÜN I
I 1 I	I 10.5 I	I 20 I	I 29 I	I 40 I	I 50 I	I 50 I
I 2 I	I 11 I	I 20 I	I 30 I	I 40.5 I	I 50 I	I 50 I
I 3 I	I 11.5 I	I 21.5 I	I 31 I	I 41 I	I 51 I	I 51 I
I 4 I	I 11 I	I 21 I	I 31 I	I 41.5 I	I 51 I	I 51 I
I 5 I	I 10.5 I	I 19.5 I	I 29 I	I 39.5 I	I 49 I	I 49 I
I 6 I	I 10 I	I 19.5 I	I 29 I	I 39.5 I	I 49 I	I 49 I
I Ortalama I	I 10.75 I	I 20.33 I	I 29.91 I	I 40.41 I	I 50 I	I 50 I

Çizelge A.2 Besi yeri ortamında üretilen "fusarium" türü mikroorganizma kolonilerinin 12 saat aralıklarla ölçülen çap değerleri

I Örnek I I No. I	I 2 R(t) mm I					
	I 1.GÜN I	I 2.GÜN I	I 3.GÜN I	I 4.GÜN I	I 5.GÜN I	I 6.GÜN I
I 1 I	I 1 I	I 3 I	I 6 I	I 7 I	I 8.5 I	I 10.5 I
I 2 I	I 1 I	I 3 I	I 5 I	I 7 I	I 9 I	I 11 I
I 3 I	I 0.9 I	I 2.9 I	I 4.9 I	I 7.9 I	I 9.9 I	I 11.9 I
I 4 I	I 1 I	I 3 I	I 5 I	I 5 I	I 9 I	I 11 I
I 5 I	I 1 I	I 3 I	I 5 I	I 7 I	I 8.5 I	I 11 I
I 6 I	I 1.2 I	I 2.2 I	I 5.2 I	I 7.2 I	I 9.25 I	I 12.2 I
I Ortalama I	I 1.016 I	I 2.85 I	I 5.18 I	I 7.18 I	I 9.016 I	I 11.26 I

Çizelge A.3 Besi yeri ortamında üretilen "penicillium" türü mikroorganizma kolonilerinin 24 saat aralıklarla ölçülen çap değerleri

Örnek No.	2 R(t) mm					
	1.GÜN	2.GÜN	3.GÜN	4.GÜN	5.GÜN	6.GÜN
1	2	5	7	11	15	19
2	2	5	8	11	14	18
3	1	5	8	10	13	16.5
4	1	4	8	11	15	18.5
5	2	6	8	10	14	17
6	1	6	7	9.5	12	15.5
Ortalama	1.5	5.16	7.66	10.41	13.83	17.41

EK AÇIKLAMALAR B

DENEY VERİLERİ

Bu bölümde ışınlama deneyinde kullanılan penicillium türü mikroorganizma kolonilerinin düzenli ölçülen çap değerleri ait olduğu gruplar ve ışınlama dozlarının belirtildiği çizelgeler içinde verilmektedir.

Çizelge B.1 Işınlama deneyinde kontrol grubu olarak besi yeri ortamında üretilmiş "penicillium" mikroorganizma kolonilerinin 24 saatte bir ölçülen çap değerleri

I Örnek I	2 R(t) mm					
	I No. I	I 1.GÜN I	I 2.GÜN I	I 3.GÜN I	I 4.GÜN I	I 5.GÜN I
I 1 I	I 2 I	I 5 I	I 7 I	I 11 I	I 15 I	I 19 I
I 2 I	I 2 I	I 5 I	I 8 I	I 11 I	I 14 I	I 18 I
I 3 I	I 2 I	I 5 I	I 8 I	I 11 I	I 14 I	I 18 I
I 4 I	I 1 I	I 5 I	I 8 I	I 10 I	I 13 I	I 17 I
I 5 I	I 2 I	I 5 I	I 8 I	I 10 I	I 14 I	I 18 I
I 6 I	I 1 I	I 6 I	I 7 I	I 9 I	I 11 I	I 14.5 I
I Ortalama I	I 1.66 I	I 5.16 I	I 7.66 I	I 10.33 I	I 13.5 I	I 17.41 I

Çizelge B.2 479.5 Rad ışınlama dozunda ışınlanan "penicillium" mikroorganizma kolonilerinin 24 saatlik aralıklarla ölçülen çap değerleri

I Örnek I	2 R(t) mm					
	I No. I	I 1.GÜN I	I 2.GÜN I	I 3.GÜN I	I 4.GÜN I	I 5.GÜN I
I 1 I	I 1.25 I	I 3 I	I 7 I	I 10 I	I 13 I	I 17 I
I 2 I	I 1.5 I	I 3 I	I 8 I	I 11 I	I 12.5 I	I 16 I
I 3 I	I 1.25 I	I 3.5 I	I 7 I	I 10 I	I 13 I	I 16 I
I 4 I	I 1.25 I	I 3 I	I 6 I	I 10 I	I 13.5 I	I 17 I
I 5 I	I 1.5 I	I 5 I	I 8 I	I 11 I	I 13.5 I	I 17 I
I 6 I	I 1.5 I	I 3.5 I	I 7 I	I 10 I	I 12.5 I	I 16 I
I Ortalama I	I 1.375 I	I 3.5 I	I 7.16 I	I 10.33 I	I 13 I	I 16.5 I

Çizelge B.3 1914,8 Rad ışınlama dozunda ışınlanan "penicillium"
mikroorganizma kolonilerinin 24 saatte bir ölçülen
çap değerleri

Ornek No.	1.GÜN	2.GÜN	3.GÜN	4.GÜN	5.GÜN	6.GÜN
1	1.5	3	6	9	11.5	14
2	2	5	7	11	14	15
3	1.5	3	6	9	12	14
4	2	4	7	11	14	16
5	1.5	3	5	9	12.5	15
6	2	3	6	10	13	15
Ortalama	1.7	3.5	6.16	9.82	12.33	14.83

Çizelge B.4 3835,6 Rad ışınlama dozunda ışınlanan "penicillium"
mikroorganizma kolonilerinin 24 saatte bir ölçülen
çap değerleri

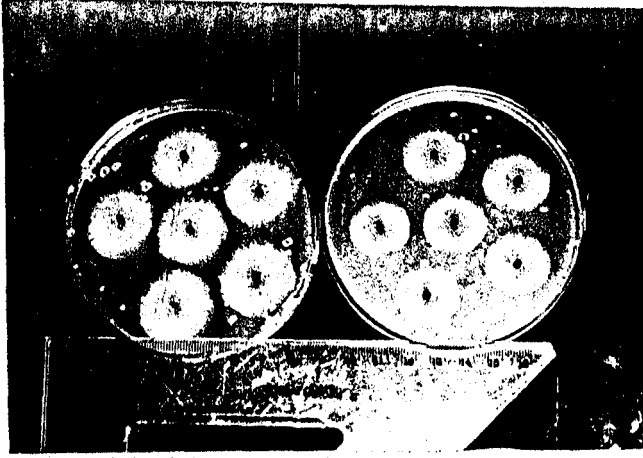
Ornek No.	1.GÜN	2.GÜN	3.GÜN	4.GÜN	5.GÜN	6.GÜN
1	2	3	5	7	9	11.5
2	1.5	3	5	7	8	11.5
3	2	4	6	8	10	12
4	2	4	6	8	11	13
5	2	4	5	8	9	12.5
6	1.5	3	4	9	11	12.5
Ortalama	1.83	3.5	5.16	7.83	9.83	12.16

Çizelge B.5 4794.5 Rad ışınlama dozunda ışınlanan "penicillium"
mikroorganizma kolonilerinin 24 saat aralıklarla
ölçülen çap değerleri

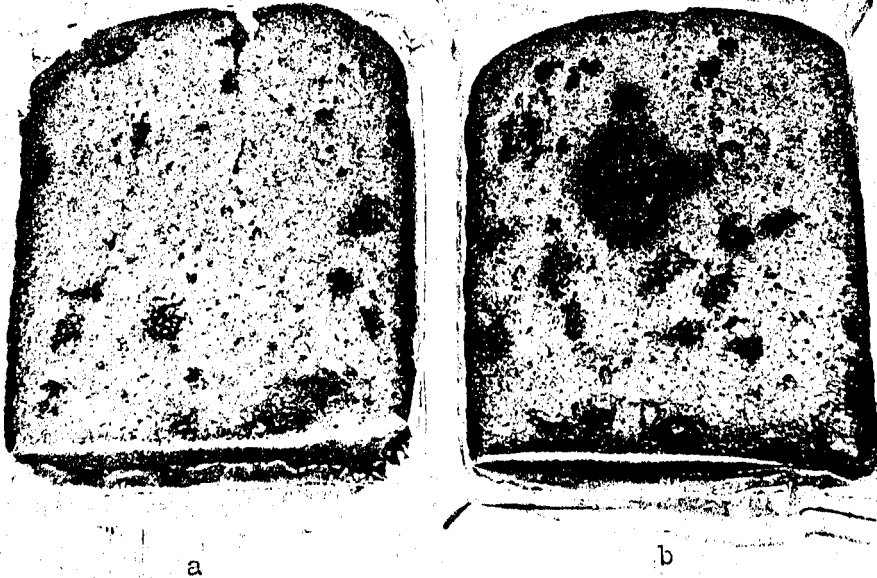
Ornek No.	2 R(t) mm					
	1.GUN	2.GUN	3.GUN	4.GUN	5.GUN	6.GUN
1	2	4	5	7	8	10
2	1.25	3	5	5	8	10
3	2.5	4	5	7.5	9	11
4	1.5	4	5	7	9	12
5	1.5	4	5	8	10	12
6	2	4	6	9	11	12
Ortalama	1.8	3.5	5.16	7.5	9	11.16

Çizelge B.6 Işınlama deneyinde kullanılan her grubun günlük ortalama
çap değerleri

GRUP	R(t) mm					
	1.GUN	2.GUN	3.GUN	4.GUN	5.GUN	6.GUN
KONTROL	1.66	5.16	7.66	10.33	13.5	17.41
ISINLAMA-1	1.375	3.5	7.16	10.33	13	16.5
ISINLAMA-2	1.7	3.5	6.16	9.82	12.33	14.85
ISINLAMA-3	1.83	3.5	5.16	7.83	9.83	12.16
ISINLAMA-4	1.8	3.5	5.16	7.5	9	11.16



Şekil B.1 Petri kutuları içindeki besi yeri ortamında üretilen "aspergillus" mikroorganizma kolonilerinin üstten görünüşü.



Şekil B.2 Deneylerde kullanılan özel hazırlanmış kek dilimleri

- a) Üzerinde bir mikroorganizma kolonisi oluşmamış kek dilimi
- b) Üzerinde "penicillium" türü bir mikroorganizma kolonisi meydana gelmiş kek dilimi

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Apliby, J. and Banks, A.J., 1905, Brit. Patent No.1609.
- Carden, J.E., 1967, Design of the World's first Industrial Scale Grain Irradiation Facility, *Isot.Radiat.Technol.*, 44, 396.
- Champagne, J.R. and Nawar, W.F., 1969, The volatile components of irradiated beef and pork.fats., *J.Fd Sci.*, 34, 335-339.
- Goldblith, S.A., 1966, Historical development of food irradiation (SM-73/54), (proc.symp.Karlsruhe) IAEA, 3.
- Goresline, H.E., 1973, Radiation preservation of food, (prof.Symp.Bombay) IAEA.
- Goresline, H.E., 1978, Food preservation by irradiation, (proc.Symp. Wageningen, 1977) IAEA, 375 p.
- Hannan, R.S. and Shepherd, H.J., 1952, *Natwe* 1021.
- Hendee, R.W., 1977, Medical radiation physics, Year Book Medical Publishers Inc., 657.
- Hinc, J.C. and Brownell, L.G., Radiation dosimetry, Academic Press Inc., 755.
- IAEA, 1970, Training manual on food irradiation technology and techniques, Technical Reports Series No.114.
- IAEA, 1973, Factors influencing the economical application of food irradiation, (proc.Symp.Vienna, 1971).
- IAEA, 1979, International acceptance of irradiated food legal aspects, Legal Series No.11.

Ingram, M. and Coleby, B., 1960, Chem. and Ind. 360-361.

Kuprianoff, J., 1956, Getreide and Mehl, 81.

Lea, D.E., 1947, Actions of radiation on living cells, Macmillan Co.,
416 p.

Leveque, P., 1965, In: MAS-MRC Public 1273, 23.

Lieber, H., 1905, J.S.Patent 77 8480.

Loaharanu, P., 1985, International Atomic Energy Bulletin Vol.27, No.2, 50.

Merritt, C., Angelini, P., and Meadod, D.J., 1967, Volatile compounds
induced by irradiation in basic food substances, Radiation preservation
of foods, Advances in chemistry Series 65, 26.

Minck, F., 1896, Munch.Med.Wocheich, 5; 101.

Özalpan, A., 1980, Radyobioloji, Fen Fakültesi Basımevi, 222 s.

Öztaşkıran, İ., Aksüt, G., Ersen, S. and Kargıcı B., 1984, The effect of
horse mackerel "trachurus trachurus ", Turkish Journal of Nuclear
Sciences 10, 124-131.

Öztaşkıran, İ., Ersen, S., Kargıcı, B. ve Kızıklı, M., 1984, Radyasyonun
hamsi balığının organoleptik, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi
üzerine etkilerinin araştırılması, TAEK Ulusal Nükleer Bilimler Kongresi,
154.

PHS, 1970, Radiological Health Handbook, U.S. Department of Health Education
and Welfare, Public Health Service.

Prescott, S.C., 1904, Science, N.S., 20, 206.

- Proctor, B.E. and Van De Graff., 1942, Reports on Quartermaster Contract Projects, MIT, 217.
- Raica, N., 1966, Review of the United States Army wholesomeness of irradiated food program, Food Irradiation (proc.symp.Karlsruhe, 1966) IAEA, 119-135.
- Samson, A.R., Hoestra, S.E. and Van Dorschot, A.N.C., 1981, Introduction to Food-Borne Fungi, Centraalbureau Voor Schimmelcultures.
- Schubert, J., 1978, Toxicological studies on irradiated food and food constituents (IAEA-SM-221/74), IAEA, 3.
- Si.u, R.G.H., 1953, Feasibility report on radiation preservation of foods, to the Director of research Quartermaster General, Washington.
- Urbain, W.M., 1970, Radiation Update, Feeding the military man, U.S.Army Natick Laboratories, Natick, Mass.
- Whithair, L.A., 1966, Wholesomeness and public health research in the United States Atomic Energy Commission Food Irradiation Programme (SM-73/30), (prof.symp.Karlsruhe, 1966) IAEA, 137.
- Wick, B.L., Murray, E., Mizutani, S. and Koshika, M., 1972, Irradiation Flavor and the volatile components of beefs, Radiation Preservation of Foods, Advances in Chemistry Series 65, American Chemical Society, 12.
- Wockoff, R.W., 1930, J.Exptl.Med. 52, 435.
- Wust, O., 1930, French Patent 701302.
- Yaman T., 1985, Eti-kek Küflenmesinin Nükleer Işınlamayla Önlenmesi Projesi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi.