



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

X-Işınları İle Mikrobiyal Etkileşimin İncelenmesi

Kenan FIRAT

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi İffet ÇAVDAR**

**II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Yaşar NAKİPOĞLU**

Mayıs, 2022

İSTANBUL

Bu çalışma, 21.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Nükleer Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr. Öğr. Üyesi İffet ÇAVDAR(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Latife ŞAHİN YALÇINI
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Defne GÜMÜŞ
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Tıp Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 38466 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

Bilimin akli bir eylem olduğu kadar insani bir eylem olduğunu da gösteren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi İffet ÇAVDAR'a, çalışmamızın en kilit noktalarında inisiyatif alıp hayata geçmesini sağladığı ve kıymetli tecrübeleri ile rehberlik ettiği için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tıp fakültesindeki yoğun mesaisi içerisinde araştırmamızda bize yardımcı olmayı kabul ettiği, değerli zamanını ve birikimini bizimle cömertçe paylaştığı için saygıdeğer hocam Doç. Dr. Yaşar NAKİPOĞLU'na teşekkür ederim.

Deneylerimizin yapılmasında samimi yardımlarından dolayı İstanbul Üniversitesi Çapa Tıp Fakültesi Radyodiagnostik Anabilim Dalı Bilgisayarlı Tomografi birimi teknikerlerine, direk grafi ünitesindeki teknikerlere teşekkür ederim.

Mayıs 2022

Kenan FIRAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1 RADYASYON.....	5
2.1.1 X-ışınları	5
2.1.1.1. X-ışınlarının Keşfi ve Oluşumu ...	5
2.1.1.2. X-ışınlarının Madde ile Etkileşmesi.....	7
2.1.1.3. X-ışınlarının Özellikleri.....	10
2.1.2. Tıpta X-ışınlarının Tanı Amaçlı Kullanılması	11
2.1.2.1. Radyografi (Röntgen)	11
2.1.2.1. Bilgisayarlı Tomografi (BT).....	12
2.1.3. Tanı Amaçlı x-ışını Dozları	13
2.1.4. Radyasyondan Korunma Doz Sınırları	13
2.2 RADYASYONUNU CANLI DOKULAR ÜZERİNE ETKİLERİ	14
2.3 BAKTERİLER	18
2.3.1. Staphylococcus aureus	18
2.3.2. Escherichia coli	19
2.3.3. Klebsiella pneumoniae	19
2.3.4. Enterococcus faecalis.....	19
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	20
3.1. BAKTERİLERİN HAZIRLANMASI.....	20
3.1.1. Bakteriyojik Besiyerlerinin Hazırlanması	20
3.1.1.1. Bile Esculin Agar (BEA)	20
3.1.1.2. Chapman agar besiyeri (CA).....	21

3.1.1.3. <i>MacConkey agar (MCA)</i>	21
3.1.1.4. <i>Triptik Soy Agar (TSA)</i>	21
3.1.1.5. <i>Triptik Soy Buyyon (TSB)</i>	22
3.1.2. Bakteri Süspansiyonlarının Hazırlanması	22
3.1.3. x-ışınlarının Antibakteriyel Etkinliğini Azaltmak için Yapılan Deneyler	23
3.1.3.1. <i>Pilot Çalışma</i>	23
3.1.3.2. <i>Gerçek Deneyler</i>	25
3.2. TANI AMAÇLI X-IŞINI UYGULAMALARI SEÇİMİ VE DOZLARI	26
3.2.1. Röntgen Uygulamaları ve Dozları	26
3.2.2. Bilgisayarlı Tomografi Uygulamaları ve Dozları	28
4. BULGULAR	30
4.1. PİLOTÇALIŞMALARIN SONUCU	31
4.2. GERÇEK DENEYLERİN SONUÇLARI	35
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
KAYNAKLAR	45
EKLER	48
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: X-ışını tüpü şematik gösterimi	6
Şekil 3.1: A kısmında anlatılan besiyeri alanının 4'e bölünmesi	23
Şekil 3.2: B kısmında anlatılan besiyerlerinin her bir bölmesine seyreltilmiş bakteri süspansiyonlarının yerleştirilmesi.....	24
Şekil 3.3: C kısmında anlatılan her bölmede 5 farklı noktaya ekim yapılması,.....	24
Şekil 3.4: D kısmında anlatılan, seyreltilerek ısıtılmış bölmelerden örnekler alınıp yeni bölmeye aktarılması	25
Şekil 4.1: Bakteri ekiminden sonra x-ışınına maruz bırakılmış bakterilerin 24 saat sonraki sayıları...	30

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Alüminyuma ait bazı yarıdeğer kalınlıkları.....	8
Tablo 2.2: X-ışını görüntüleme yöntemlerinin genel özellikleri.....	11
Tablo 2.3: Radyasyon çalışanları ve halk için atkin radyasyon doz sınırları.....	14
Tablo 2.4: Radyasyonun türüne göre radyasyon ağırlık faktörleri.....	15
Tablo 2.5: Doku ağırlık faktörleri.....	15
Tablo 2.6: Radyolojik tanı protokollerinin yaklaşık efektif doz değerleri.....	16
Tablo 3.1 Pilot çalışma için kullanılan röntgen tanı protokolleri ve özellikleri.....	27
Tablo 3.2: Gerçek deneyler için kullanılan röntgen tanı protokolleri ve özellikleri.....	28
Tablo 3.3 Gerçek deneyler için kullanılan BT tanı protokolleri ve özellikleri.....	29
Tablo 4.1: Pilot çalışmalar 3.1.3.1. A kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.....	31
Tablo 4.2: Pilot çalışmalar 3.1.3.1 B kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.....	32
Tablo 4.3: Pilot çalışmalarda 3.1.3.1. C kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.....	33
Tablo 4.4: Pilot çalışmalarda 3.1.3.1. D kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.....	34
Tablo 4.5: BT'den kaynaklı x-ışınının Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı antibakteriyel etkisi	35
Tablo 4.6: BT'den kaynaklı x-ışınının Enterococcus faecalis ATCC 29212'ye karşı antibakteriyel etkisi	35
Tablo 4.7: BT'den kaynaklı x-ışınının Klebsiella pneumoniae ATCC 700603'e karşı antibakteriyel etkisi	36
Tablo 4.8: BT'den kaynaklı x-ışınının Escherichia coli ATCC 25922'ye karşı antibakteriyel etkisi	36
Tablo 4.9: BT'den kaynaklı x-ışınının Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı antibakteriyel etkisi	37
Tablo 4.10: BT'den kaynaklı x-ışınının Enterococcus faecalis ATCC 29212'ye karşı antibakteriyel etkisi	37

Tablo 4.11: BT'den kaynaklı x-ışınının <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603'e karşı antibakteriyel etkisi	38
Tablo 4.12: BT'den kaynaklı x-ışınının <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922'ye karşı antibakteriyel etkisi	38
Tablo 4.13: Röntgenden kaynaklı x-ışınının <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923'e karşı antibakteriyel etkisi	39
Tablo 4.14: Röntgenden kaynaklı x-ışınının <i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212'ye karşı antibakteriyel etkisi	39
Tablo 4.15: Röntgenden kaynaklı x-ışınının <i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 700603'e karşı antibakteriyel etkisi	40
Tablo 4.16: Röntgenden kaynaklı x-ışınının <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922'ye karşı antibakteriyel etkisi	40

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

$\Delta\lambda$	: Dalgaboyundaki Değişim
D_T	: Ortalama Soğurulan Doz
D_{TR}	: Radyasyon Tipine Bağlı Ortalama Soğurulan Doz
E	: Enerji
w_R	: Radyasyon Ağırlık Faktörü
w_T	: Doku Ağırlık Faktörü
Z	: Atom Numarası
λ	: Dalgaboyu

Kısaltmalar

Açıklama

ATCC	: Amerikan Tip Kültür Koleksiyonu (American Type Culture Collection)
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
cfu	: Koloni Oluşturan Birim (Colony Forming Unit)
CTDI	: BT doz indeksi (Computed tomography dose index)
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit (Deoxyribonucleic Acid)
DPL	: Tanısal peiron lavajı (Diagnostic peritoneal lavage)

eV	: Elektronvolt
Gy	: Gray
HVL	: Yarı Değer Kalınlığı (Half Value Layer)
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency - IAEA)
ICRP	: Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (International Commission on Radiological Protection)
K	: Kontrol
keV	: Kilo Elektronvolt
kVp	: Pik Kilovoltaj (Peak Kilovoltage)
LET	: Lineer Enerji Transferi
mA	: Miliamper
mAs	: Mili amper saniye
MeV	: Milyon Elektronvolt
mL	: Mililitre
NIH	: Ulusal Sağlık Enstitüleri (National Institutes of Health)
PET	: Pozitron Emisyon Terapisi (Positron Emission Tomography)
RBE	: Rölatif Biyolojik Etkinlik
Sv	: Sivert
T	: Test
TargetEXI	: Hedef radyasyon maruziyet indeksi (Target Exposure Index)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

X-IŞINLARI İLE MİKROBİYAL ETKİLEŞİMİN İNCELENMESİ

Kenan FIRAT

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi İffet ÇAVDAR

II. Danışman : Doç. Dr. Yaşar NAKİPOĞLU

İyonize edici radyasyon hastalıklarının tanı ve tedavisinde çok yaygın kullanılan fiziksel bir fenomendir. Fakat iyonize edici radyasyonun canlı dokular üzerindeki olumsuz etkisi şüphesizdir. Bundan dolayı bu radyasyon türünün mümkün olan en emniyetli sınırlar içinde kullanılması tanı ve tedavide ilk prensiptir. Bu çalışmada tanısal dozlarda kullanılan x-ışını radyasyonunun biyolojik etkisinin, insanlarla interaktif bir ilişki içerisinde bulunan mikrobiyotadaki bakterilerin hayatta kalma etkinliği üzerinden araştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda insan mikroflorasının en yaygın 4 üyesi *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Enterococcus faecalis* bakterileri besiyerlerinde üretilip, radyolojide kullanılan rutin protokollerdeki dozlara maruz bırakıldı. Röntgen protokollerindeki nispeten düşük dozlarda elde edilen sonuçlarda radyasyon etkisi yoğun üreme nedeniyle olumsuz olarak değerlendirildi. Bilgisayarlı Tomografi protokollerinde ise x-ışınına maruziyet sonrası azalma etkisi farklı değerlerde olsa da her bakteride görülmüştür. Sonuç olarak, Bilgisayarlı Tomografi tanı protokollerinde kullanılan x-ışını dozlarında *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*,

Klebsiella pneumonia, Enterococcus faecalis bakterileri üzerinde kontrol grubuna göre bir azalma görülmüştür.

Mayıs 2022, 49 sayfa.

Anahtar kelimeler: X-ışınları, iyonize radyasyon, bilgisayarlı tomografi, biyolojik etki, mikroorganizma, mikrobiyota, disbiyoz, Staphylococcus aureus, Escherichia coli, Klebsiella pneumonia, Enterococcus faecalis



SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF MICROBIAL INTERACTION WITH X-RAYS

Kenan FIRAT

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assist. Prof. Dr. İffet Çavdar

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yaşar Nakipoğlu

Ionizing radiation is one of most common used physical phenomena for diagnosis and treatment of diseases. But, no doubt there are some damages of ionizing radiation on living tissues. Therefore, using such kind of radiation radiation within the safest possible limits is the first principle in diagnosis and treatment. In this study, it was aimed to investigate the biological effect of x-rays radiation used in diagnostic doses with the survival efficiency of bacteria in the microbiota, which are in an interactive relationship with humans. Accordingly, the 4 most common members of human microflora *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis* bacteria were produced in own media and exposed to the doses in routine protocol used in radiology. In the results obtained, the radiation effect at the relatively low doses in the x-rays protocols was evaluated as negative due to intense reproduction. In as to Computed Tomography protocols, on the other hand, the effect of

reduction after exposure to x-rays was observed in all bacteria, although at different values. In conclusion, x-rays doses used in computed tomography diagnostic protocols were to be seen a decreasing on *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Enterococcus faecalis* bacteria compared to the control group.

May 2022, 49 pages.

Keywords: X rays, ionizing radiation, computed tomography, biologic effect, microorganism, microbiota, dysbiosis, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Enterococcus faecalis*



1. GİRİŞ

Radyasyonun canlılara etkisinden bahsedildiğinde aslında en temelde hücrelerle etkileşimini kastederiz. Canlı bir birimde gerçekleşen metabolik veya fizyolojik değişimler dışarıdan gözlenebilen fiziksel sonuçlar verebilirler. Hipokratın yüksek ateşli lezyonları nemlendirilmiş renkli bez parçaları ile gözlemlediğinden bahsedilir. Fiziğin medikal gerekçelerle sağlık fiziği adı altında ayrı bir akademik birim olarak Fransız devrimi sıralarında Jean Halle adlı profesör tarafından ilk olarak kurulduğu bilinir. 19'uncu yüzyılın ortalarında Almanya'da Adolf Fick fizyoloji fiziğinin temellerini atar. Bu alana Newton, Euler, Bernoulli, Nollet, Matteucci, Pelletan, Gavarret, d'Arsonval, Finsen, Röntgen'in yaptığı çalışmaların katkısı olur. Bu alana ait malumat fizik ve tıp terminolojisinin kesişiminden türemiştir. Genel olarak sağlık fiziği, fizik bilgisinin insan sağlığını koruma ve hastalıkların tedavisi için uygulanması olarak tanımlanır. 1895 yılında Wilhem Conrad Roentgen x-ışınlarını keşfetmiş ve adıyla anılan ilk röntgen filmini çekmiştir. Akabinde Henri Becquerel uranyum tuzunun görünmeyen bazı ışınlar yaydığı tespit etmiş radyoaktiviteyi keşfetmiştir. Maria Curie ve eşi Pierre Curie uranyumun parçalanması sonrası oluşan radyum ve polonyumu tespit ederek radyoaktiviteyi ilk farkedendenlerden olmuşlardır. Radyasyon fiziğinin sistematik ve kabul görmüş bir bilim dalı olması radyasyonun keşfine dair böyle bir dizi olayın gerçekleşmesi sonucu 19'uncu yüzyılın sonlarında gerçekleşmiştir [1,2]. Geçen yüzyılla birlikte sağlık fiziği daha çok radyasyon fiziğinin teşhis ve tedavide kullanıldığı bir birim olmuştur.

Radyasyon bu tarihler itibari ile askeri, endüstriyel, ekonomik, politik ve medikal olarak gündem konusu olmuş, konuya dair her bir alandaki gelişme diğerini etkileyerek ilerlemiştir.

1915 yılı itibari ile İngiliz Röntgen Derneğinin (British Roentgen Society) insanları korumak adına yüksek radyasyon maruziyetine karşı önlem alması kurumsal olarak radyasyona karşı alınan ilk tedbirdir. Bu durum 1922'de Amerika'da da benimsenmiştir. Fisyon olayı ve radyoaktif parçalanmaların daha iyi anlaşılması ile birlikte 1940'lı yıllarda reaktörler ve yeni araçlar kullanıma girdi. Bu tarihlerden itibaren radyasyondan korunma hükümetlerin gündemine alındı ve 1959 ile birlikte Federal Radyasyon Konseyi (Federal Radiation Council) başkana toplum sağlığını radyasyona karşı korumak adına danışmanlık yapmak, radyasyona

dair kurum ve kuruluşların bu doğrultudaki standartlarını belirlemek ve radyasyona karşı devletle birlikte hareket etmek adına kuruldu. 1970 yılında Amerika Çevreyi Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency) radyasyondan korumaya çevreyi de dahil etti. Bilim adamlarının bireysel çaba ve keşifleri ile devletlerin yatırımları radyasyon fiziği alanındaki gelişmelerin ve tıptaki uygulamaların esas lokomotifi oldu [3].

Radyasyonun medikal gerekçelerle kullanımı, x-ışınlarının keşfinin akabinde biyolojik etkilerin bilinmemesine rağmen radyasyon terapisi olarak gerçekleşti. Fototerapi olarak bilinen bu tedavi yöntemi çiçek hastalığı türündeki hastalıklarda ve deri tüberkülozunda kullanıldı. Tedavi sırasında sağlık fiziği personelinin radyumu güvenli sınırlar içerisinde kullanabilmesi radyasyon fiziğinin ilk amaçlarından biri oldu ve medikal manada kullanımıyla gündeme ciddi şekilde geldi. 2. Dünya savaşından sonra radyasyon fiziği artık kaydadeğer ölçüde tedavide güvenli ve etkili bir seçenek haline geldi ve tedavi sırasındaki yan etkilerini ölçmek için radyasyon doz miktarını belirten dozimetri kavramı ortaya atıldı. 2. Dünya savaşına kadar radyasyon fiziği radyoterapiyi, radyasyondan korunmayı ve radyasyon ölçümünü akla getiriyordu. Daha sonraki gelişmeler sayesinde bir çok radyoizotop üretildi ve klinik manada bir çok nükleer ilacın ortaya çıkması sağlandı. Nükleer ilaçların medikal yöntemlere eklenmesinden sonra kısa zamanda bilgisayarlı tomografi (BT) ve diagnostik radyoloji gibi imkanlar ortaya çıktı. Radyasyonun insan sağlığına çok ciddi risk oluşturması; radyasyondan korunmanın sistematik, zaruri ve hassas bir uygulama olmasını gerektirdi. Bununla birlikte radyasyondan korunmak için bir çok tavsiye ve uygulayıcı kuruluşun ortaya çıkmasını da gündeme getirdi. Bu kuruluşlardan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency - IAEA) radyasyondan korunmayı şöyle tanımlar: “Radyasyondan korunma veya radyolojik korunma, kişinin iyonize radyasyonun kötü etkilerinden korunması ve bunun sağlanması için gerekenlerin yerine getirilmesidir” [4].

Bir tavsiye kuruluşu olduğu halde dünya genelinde bir çok hükümet ve kuruluşun itibar ettiği ICRP (Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu) ise radyasyon uygulamalarında şu kriterlerin önemine vurgu yapmıştır [5].

1 – Gerekçe olarak nihayetinde uygulanmasına karar verilen radyasyon prosedürü zarardan çok fayda vermelidir.

2 – İdeal olarak uygulanan doz miktarı sosyal ve ekonomik faktörleri de göz önünde bulundurarak başarılı bir sonuç alınabilecek mümkün olan en düşük değerde olmalıdır.

3 – Bireye uygulanan doz miktarı belirlenen standartları aşmamalıdır.

Tek hücreli canlılar da, insan hücrelerinde gerçekleşen mekanizmalarla radyasyondan etkilenir. Tek hücreli canlıların organize olduğu daha kompleks yapılar da aynı prensipler doğrultusunda etkileşim gösterirler.

Kimyasal bileşikler atomların kimyasal bağlarla bir araya gelmesiyle oluşur ve bu kimyasal bağlar ise elektromanyetik kuvvetler sayesinde gerçekleşir [6]. Kısacası molekül ve kimyasal bileşikler atom yörüngesinde bulunan elektronların diğer atomların elektromanyetik alanları ile etkileşiminden kaynaklanan elektrokimyasal bir olaydır. Canlı dokuları oluşturan hücreler ve hücrelere ait canlı yapılar, çeşitli moleküllerin oluşturduğu monomer ve polimerlerin değişik varyasyonlarla organize olması ile şekillenir. Radyasyon ise atomik ve atomaltı düzeylerde gerçekleşen bir enerji aktarımıdır. Fiziksel olarak radyasyonun biyolojik etkisi canlı dokuyu oluşturan bu moleküller arasındaki bağların kırılması ile birlikte elektromanyetik dengesinin, iyonize edici foton tarafından değişmesinden kaynaklanır. Radyasyon canlı dokuları oluşturan bu monomer ve polimerlerle doğrudan veya dolaylı olarak iki şekilde etkileşir.

1– Hücre içindeki DNA ve fosfolipid gibi yapıların molekülleri ile doğrudan etkileşebilir.

2– Dolaylı olarak ise hücre içi ve dışında bulunan suyla etkileşerek serbest radikaller denilen oldukça reaktif moleküllerin oluşmasına sebep olabilir.

Günlük olarak maruz kaldığımız radyasyonun geniş manada canlı dokulardaki etkisi, kontrolü ve ölçümü zor olan bu ikinci mekanizmadan kaynaklanır [7].

Yıllardır süren mikrobiyolojik araştırmalar sonucu canlılarda mikrobiyota denilen simbiyotik bir yapıdan söz edilmektedir. Mikrobiyota, "kommensal, simbiyotik ve patojenik mikroorganizmaların oluşturduğu ekolojik komünitelerdir" ve bitkilerden hayvanlara kadar incelenmiş tüm çok hücreli organizmaların iç ve dış yüzeylerinde bulunurlar. Mikrobiyotanın, konak canlının immünolojik, hormonal ve metabolik homeostazı açısından çok önemli olduğu bulunmuştur. Mikrobiyom terimi, ekolojik bir nişteki yaşayan mikroorganizmaların genomlarının toplamını ya da mikroorganizmaların kendilerini tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır [8-12].

Mikrobiom üzerine yapılan araştırmalar yüzyılları bulan bir çabanın ürünüdür. Fakat Amerika’da bulunan Ulusal Sağlık Enstitüleri’nin (National Institutes of Health-NIH) 2007 yılında başlayan, İnsan Mikrobiyota Projesinden (Human Microbiom Project) itibaren çalışmalar radyasyonu da kapsayacak şekilde genişlemiştir [13].

Radyasyonun bu kollektif mikrobiyal yapı üzerindeki etkisi de merak edilen yeni araştırma alanlarından biridir. Radyasyonun tek tek her hücreye etkisi, bu kollektif yapı göz önüne alındığında daha karmaşık olmaktadır. Ortamda bulunan her bir mikroorganizmanın radyasyona verdiği tepki ve bundan kaynaklı kendi aralarındaki etkileşimin de dahil olması ile süreç birçok farklı değiskeni içerir.



2. GENEL KISIMLAR

2.1 RADYASYON

Radyasyon basitçe uzayda veya madde ortamında bir kaynaktan parçacık veya dalga formunda enerji salınımı veya aktarımı olarak tanımlanır.

Radyasyon:

- Radyo dalgaları, mikro dalga, kızıl ötesi, ultraviyole, x-ışını ve gama gibi kütsesiz, elektromanyetik dalga şeklinde
- Alfa, beta, proton, nötron, muon vs gibi kütseli, parçacık tipte
- Ultrason, ses ve sismik dalgalar gibi akustik tipte
- Kütleçekim dalgaları gibi gravitasyonel tipte olabilir.

Bunun dışında radyasyon enerjisine bağılı olarak atomdan elektron koparabilme kabiliyetine göre iyonize veya iyonize olmayan radyasyon olarak da sınıflandırılabilir.

2.1.1 X-ışınları

X-ışını dalga formunda kütsesiz, 10 nm ile 10 pm arasındaki dalga boylarında, yaklaşık $30 \cdot 10^{15}$ Hertz ile $30 \cdot 10^{18}$ Hertz frekans değerlerinde, 145 eV ile 150 KeV arasındaki enerji değerlerinde, iyonize edici kabiliyette bir radyasyondur.

2.1.1.1 X-ışınlarının Keşfi ve Oluşumu

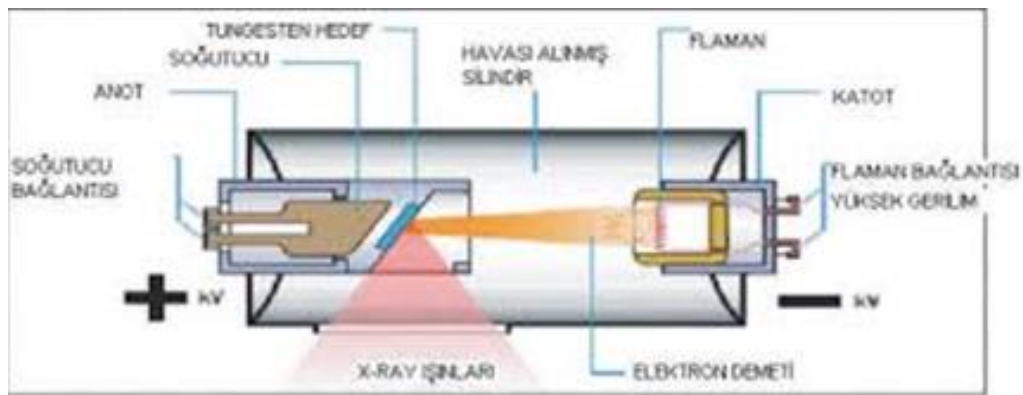
X-ışınları 1895 yılında Wilhelm Röntgen tarafından keşfedilmiştir. Röntgen, bir Crooks tüpünden yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde, tüpten oldukça uzakta durmakta olan cam bir kavanoz içindeki baryumlu platin siyanür kristallerinde birtakım pırıltıların oluştuğunu gözlemiş; bu tür pırıltılara neden olan ışınlara, o ana kadar bilinmemesinden dolayı "X-ışınları" adını vermiştir. Tüpten yüksek gerilimli akım geçirildiğinde karşısındaki ekranda parıldamalar oluşturan ışınların değişik cisimleri, farklı derecelerde geçebildiği, kurşun plaklar tarafından ise tutulduğunu gözleyen Röntgen, eliyle tuttuğu kurşun levhaların ekrandaki gölgesini incelerken kendi parmak kemiklerinin gölgelerini de fark etmiştir. Bu olay üzerine, içinde fotoğraf plağı bulunan bir kasetin üzerine karısının elini yerleştirerek parmak kemiklerinin ve yüzüğünün görüntüsünü elde etmiştir. Bu buluştan çok kısa bir zaman sonra H. Antonie Becquerel x-ışınları

üzerinde çalışırken uranyumun radyoaktifliğini; Pierre-Madam Curie ise radyum elementini keşfederek "Radyoloji" adında yeni bir bilimin doğuşunu gerçekleştirmişlerdir [14].

Hedef maddeye ulaşan yüksek hızlı elektron, hedef madde üzerinden çarptığı yörüngede bir elektron koparır. Elektronun koptuğu yörüngedeki boşluğu daha üst yörüngeden gelen bir elektron doldurur ve bu iki yörüngedeki enerji farkı kadar bir ışıma yapar. İç yörüngedeki elektronlar bulundukları yere daha sıkı bağlıdır. Bu nedenle üst yörüngelerden göçen elektronların yüksek enerjili olması gerekir. Bu durumda salınan ışınlar karakteristik x-ışını adı verilir. Her bir elementin kendine özgü karakteristik x-ışını dalga boyu vardır. Yüksek hızlı bir elektron çekirdeğin yakınından geçtiğinde ise çekirdeğin çekim kuvveti sebebiyle yolundan saptırılır ve yavaşlatılır. Bu da bir ivmelenmeye sebep olmaktadır. Elektronunun sahip olduğu kinetik enerji durdurulduğu zaman Bremsstrahlung ışıması ya da “frenleme radyasyonu” olarak adlandırılan x-ışınına dönüşür. Görüntüleme amacıyla kullanılan x-ışınlarının büyük bir kısmı (%75-80) bu şekilde ortaya çıkar [14, 15].

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 10-0,01 nm arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Dalga boyları küçük, penetrasyon dereceleri fazla olan x-ışınına “Yüksek Enerjili x-ışını”; dalga boyları büyük, penetrasyon dereceleri az olan x-ışınına “Düşük Enerjili x-ışını” denir. Kristalografide düşük enerjili, radyolojide yüksek enerjili x-ışınları kullanılır.

Medikal görüntülemelerde kullanılan x-ışınları röntgen tüpü de denilen x-ışını tüplerinde üretilir. Şekil 2.1’de bir x-ışını tüpünün şematik çizimi görülmektedir.



Şekil 2.1: X-ışını tüpü şematik gösterimi.

Katot x-ışını tüpünün eksi elektrotu olup, ısıtıldığında elektron yayan, spiral şeklinde bir flaman olup, elektronları demet halinde anod üzerine yönlendiren yüklü bir levhadır. Anod, tüpün artı elektrotu olup, bakır levha içine gömülü tungsten elementinden yapılmıştır. Dairesel bir disk şeklinde olup, tüp çalışınca dönmeye başlar. Tüp aktif olduğu zaman flaman 2200 dereceye kadar ısınır. Flamandaki dış yörünge elektronları serbest hale gelir. Anod + yüklü elektrot olup – yükleri kendi üzerine çeker. Tüp içerisinde hızlandırılarak anoda çarptırılan elektronların %99.8'i ısı enerjisine dönüşür. %0.2 anoda yani tungsten atomlarına çarparak x-ışınlarını oluşturur.

2.1.1.2 X-ışınlarının Madde ile Etkileşmesi

X-ışınlarının bir maddeden geçişi, maddelerin kalınlığı, yoğunluğu ve atom numarası ile ters orantılı olarak gerçekleşir. X-ışınları düşük yoğunluklu ortamlardan geçerler. Daha yoğun bir ortam ile karşılaştıklarında ya saçılırlar ya da absorbe olurlar. X-ışınları madde ile üç şekilde etkileşime girerler [15].

Penetrasyon:

Prensip olarak enerjisi artan fotonun penetrasyon kabiliyeti artar. Fotonun enerjisine bağlı olarak dalga boyu azalır. Atom altı boyutlarda her birim bir dalga boyuna karşılık gelir ve düşük dalga boylu foton daha az engelle karşılaşır. Yüksek penetrasyon kabiliyetine sahip x-ışını, tüpün geriliminin arttırılması ile elde edilir. Radyografide, hastayı geçebilen, filme ya da dedektöre ulaşabilen ışınlar filmi etkilemektedir. X-ışınları daha yoğun maddeler ile karşılaştıklarında ya saçılırlar ya da absorbe olurlar. Materyal kalınlığı veya yoğunluğu, hasta bedeninin büyüklüğü penetrasyonu etkileyebilmektedir.

X-ışınlarının penetrasyonunda “Yarı Değer Kalınlığı “ (HVL - Half Value Layer) değerinden bahsedilir. HVL gelen ışın demetini yarıya indiren material kalınlığıdır ve numaralıdır. 1 HVL ışın demetini yarıya indirirken, 2 HVL 4'te 1 değere düşürür.

Penetrasyon = $(0,5)^{HVL}$ ile hesaplanır. Radyografi odası planlamalarında duvarların zırhlılaşmasında yarı değer kalınlığı (HVL) kullanılmaktadır. Yarı değer kalınlığı fotonun elde edildiği kVp değerine ve materyale göre değişir.

Tablo 2.1: Alüminyuma ait bazı yarıdeğer kalınlıkları.

kVp	Alüminyum HVL kalınlığı (mm)
30	0.3
50	1.2
70	1.5
90	2.5
110	3.0

Absorbsiyon:

Fotoelektrik Etki: Orta enerjili ışınların, yüksek atom numaralı madde ile etkileşiminde görülür. Gelen x-ışını, madde atomlarının iç yörüngesinden bir elektron sökerek enerjisini tamamen kaybeder. Genelde x-ışını elektronun bağlanma enerjisinden biraz yüksek olduğu durumlarda gerçekleşir. Bu etkileşimde fotondan elektrona ful enerji transferi gerçekleşir. Radyografik görüntüleme fotoelektrik olaya bağlı olarak dokular arası absorpsiyon farkları vasıtasıyla elde edilir. Dışarı atılan fotoelektronun yerini dış yörünge elektronlarından biri doldururken karakteristik radyasyon oluşur. Karakteristik ışınların bir çoğu enerjisi düşük olduğundan doku tarafından absorbe olur. Fotoelektrik olay radyografik görüntü elde edilmesini sağlayan bir etkileşimdir. Fotoelektrik olay ile absorbe olan x-ışınları dokunun arkasına geçemediği için filmde beyaz ve beyaza yakın tonlarda görünür. X-ışınlarının geçtiği dokuların görüntüsü ise siyah ve siyaha yakın gri tonlardadır.

Fotoelektrik etki ile madde iyonize olur ve karakteristik radyasyon gerçekleşir. Bu etkileşim foton enerjisine ve maddeyi oluşturan atomların numarasına bağlıdır. Atom numarası arttıkça fotoelektrik olay artar, Foton enerjisi arttıkça fotoelektrik olay azalır. Fotoelektrik absorpsiyon; Z^3 / E^3 ile orantılıdır. (Z = atom numarası, E = Foton enerjisi)

Çift oluşumu: 1.022 MeV ve üzerindeki enerjilerde gerçekleşir. Atom çekirğine yakın bölgelerden geçen foton pozitron ve elektron yayınlarak yok olur. Bu enerji değerleri radyolojide kullanılan enerji değerlerinde değildir. PET (Pozitron Emisyon Tomografi) görüntülemelerinde çift oluşumundan yararlanılır.

Fotodisintegrasyon: 10 MeV üzeri foton enerjilerinde gerçekleşen olaydır. Bu enerji değerindeki fotonlar doğrudan çekirdek tarafından absorbe edilir. Bu etkileşimle beraber çekirdekten parçacıklar ya da daha büyük kütleler salınır. Bu enerji düzeyindeki fotonlar diagnostik radyolojide kullanılmadığından önemi yoktur. Nükleer santrallerde gerçekleşen olaylardır [15].

Saçılma:

X-ışınları madde ile saçılma şeklinde de etkileşebilir. Bunlar Thomson saçılması (Koherent Saçılma) ve Compton saçılmasıdır. Saçılmalarda enerji ve değişen dalgaboyu şu bağıntılarla elde edilir.

$$E = \frac{1,24}{\lambda} \quad (2.1)$$

ve

$$\Delta\lambda = 0.024 (1 - \cos\theta) \quad (2.2)$$

Thompson (Koherent) Saçılması: Koherent, Rayleigh, Klasik veya Elastik saçılma da denilmektedir. Düşük enerjili (10 KeV altında) x-ışınları, küçük atom numaralı ile karşılaştığında klasik saçılmaya uğrar. Koherent saçılmada foton elektron koparamayacak enerjidedir. Saçılan bu ışın genelde hasta tarafından absorbe edildiğinden dışarı çıkamadığı ve filme ulaşamadığı için radyografik önemi yoktur.

Bu saçılma neticesinde

- Madde ile etkileşen x-ışınlarının dalga boyu değişmez
- Sadece yönü değişir
- Elektronun yörüngesi değişir ve tekrar eski yerine döner
- İyonizasyon yoktur
- Tanısal radyolojide önemi yoktur
- Sadece filmde sislenmeye neden olur

Compton Saçılması: Orta enerjili ışınların (tanısal x-ışınları), düşük atom numaralı maddeler ile etkileşmesi sonucu oluşur. Bu saçılmada foton valans bandındaki elektronla etkileşir. Gelen

foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve daha yüksek dalgaboyu ile yönünü değiştirip ilerler.

- Maddeden elektron koparılır ve iyonizasyon gerçekleşir
- Radyolojik dozlarda dominant etkileşimdir
- Compton olayı istenmeyen bir saçılma türüdür ve filmde kontrastı azaltır, görüntü kalitesini düşürür
- Kullanılan filtrelerle etkisi azaltılmaya çalışılır
- Compton saçılmasında atom numarasının bir önemi yoktur

2.1.1.3 X-ışınının Özellikleri

- 1) X-ışınları, kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik radyasyonlardır.
- 2) Yük ve kütlesi yoktur. Elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.
- 3) X-ışınlarının dalga boyu 0,01-10 nm arasındadır.
- 4) X-ışınları maddelerin kalınlığı, yoğunluğu ve atom numarası ile doğru orantılı olarak absorbe edilirler ya da saçılırlar.
- 5) X-ışınları geçtikleri ortamda iyonizasyona neden oldukları için havayı da iyonlaştırırlar
- 6) X-ışınlarının kimyasal etkileri vardır. İnsan vücudunun büyük kısmı sudan oluştuğu için, x-ışınları su moleküllerini iyonlaştırabilir ve canlılar için tehdit oluşturabilecek serbest radikaller oluşur.
- 7) X-ışınlarının biyolojik etkileri de vardır. İyonizasyon ve kimyasal etkiler sonucunda hücrede DNA yapısının bozulmasına ve mutasyona yol açarlar. Bu yıkıcı etkiyi kullanarak, radyoterapide tümör tedavisinde x-ışınları kullanılır. Fakat aynı zamanda, vücutta radyasyona en duyarlı hücreler üreme hücreleri ve hematopoetik (kan yapıcı sistem) hücreler olup bunların korunması gerekir.
- 8) X-ışınlarının penetrasyon kabiliyetleri vardır. X-ışınlarının enerjileri arttıkça, penetrasyon kabiliyetleri de artar. Farklı vücut bölgeleri çekiminde, farklı enerjilerde x-ışını kullanmak gerekir.

9) X-ışınlarının vücuda çarptığı doğrultunun dışına saçılma özelliği vardır. Bu şekilde oluşan ışınlara sekonder ışınlar denilir. Radyoloji ve Radyoterapi uygulamalarında sekonder ışın kaynağı hastanın kendisidir.

10) X-ışınlarının floresan (parıldama) özelliği vardır. Bu özellik kullanılarak floroskopi cihazları yapılmıştır [17].

2.1.2 Tıpta X-ışınlarının Tanı Amaçlı Kullanılması

Tıbbi görüntüleme sistemleri canlıların anatomik veya fizyolojik verilerini kayıt altına alan ve farklı yollarla çıktı almaya imkan veren sistemlerdir. Radyolojide kullanılmakta olan Röntgen ve Bilgisayarlı Tomografi görüntülemelerine temel teşkil eden x-ışınlarıdır.

Diagnostik radyolojide görüntüleme cihazlarının görüntü oluşturmaları “Transmisyon” denilen fizik prensibine dayanır. Bu prensipte enerji hasta ya da objeden geçerek alıcıya ulaşır. Transmisyon; maddeyi geçen x-ışını miktarı yani penetre olabilen x-ışını miktarıdır.

Doku ve organları oluşturan birimlerin atomik yapılarına bağlı olarak x-ışınlarını değişen oranlarda absorbe etmeleri diagnostik radyolojinin temel prensibini oluşturur. X-ışınlarını üretmedeki prensipler değişmese de görüntü elde etmedeki teknik yenilikler diagnostik radyolojideki çeşitliliğin temel sebebidir [15,18].

Tablo 2.2: X-ışını görüntüleme yöntemlerinin genel özellikleri.

Radyolojik Görüntüleme	Ana Prensip	Enerji Türü	Görüntü Şekli	Alıcı	Risk
Radyografi	Transmisyon	x-ışını	2 boyutlu	Film Ekran Dedektör	İyonize Radyasyon
Bilgisayarlı Tomografi	Transmisyon	x-ışını	Kesitsel	Dedektör	İyonize Radyasyon

2.1.2.1. Radyografi (Röntgen)

Röntgen incelemelerinde hastaya ait üç boyutlu veriler filmin üzerinde iki boyutlu bir izdüşüm şeklinde görüntü oluştururlar. Bu yöntemde elde edilen görüntü iki boyutludur. Röntgende, cisim veya bedenden geçtiği bölgenin yoğunluğuna bağlı olarak değişik oranlarda atenüsyona uğrayan x-ışını demeti; film veya dijital detektörde (2 boyutlu düzlemde) beyaz, siyah ve değişik koyuluklardaki gri tonlarda renkler oluşturur. Film üzerinde görüntü oluşmasında; hastayı geçen x-ışınları filmi karartır, geçemeyenler ise filmi etkileyemediği için gümüş

kristalleri etkilenmez beyaz kalır. Hastadan göreceli olarak geçen x-ışınları da filmdeki bazı gümüş kristallerini etkileyerek siyah beyaz arası gri tonları oluşturur. Sonuçta hastanın anatomik bilgisi film üzerine yansıtılmış olur. Dijital röntgende hastayı geçerek zayıflayan x-ışınlarının enerjilerinin rakamsal dönüşüme olanak veren özel görüntü alıcılar ile tespiti vardır. Elde edilen verilerin önce rakamsal verilere ve daha sonra da görüntüye dönüştürülmesi ile görüntü oluşturulmaktadır. Konvansiyonel röntgende yukarıda anlatıldığı gibi gümüş kristalinde oluşan siyahlaşmanın etkisiyle ortaya çıkan tonlama, bilgisayarda ilgili alana uyan rakamsal verinin renkle kodlanması ile oluşturulmaktadır. Bu yöntemde doku ve x-ışınlarının enerjileri ve yoğunlukları dışında kontrasta etki edecek başka etkenler kullanılmaz.

2.1.2.2. Bilgisayarlı Tomografi (BT)

Tomografi kelime olarak bir parçanın görüntüsü anlamına gelir (Yunanca ve Latince Tomo-kesit, parça anlamlarına gelir). Geleneksel radyografide bir bölgenin tümü ışınlanır fakat vücuda ait bazı bölümler diğerinin altında veya üstünde kaldığından istenilen bölgenin görüntüsü farklı açılardan alınır. Tomografik yöntemde x-ışını tüpü ve film hasta etrafında hareket ettirilir. Bu yöntemde farklı açılardan elde edilmiş değişik kesitlerin bir dizi düzlemsel görüntüsü elde edilir.

Bilgisayarlı tomografi ise değişik açılardan alınan bu görüntülerin bilgisayar vasıtasıyla yapılandırılıp 3 boyutlu görüntülerin elde edildiği bir yöntemdir. 2 boyutta elde edilen her bir görüntü birim pixel (picture element) iken Bilgisayarlı Tomografide her bir görüntü birimine voxel (volume element) denir. Her vokselin bilgisayar tarafından atanan dijital bir kodu vardır ve bu Hounsfield Unit (HU) adı ile birimlendirilir. Bu birimin isim babası Sir Godfrey N Hounsfield aynı zamanda Bilgisayarlı Tomografi tarayıcısının mucididir. Bilgisayarlı Tomografide yapıların yoğunlukları, -1000 ile +1000 arasında değişen rakamlarla temsil edilen bir gri skalada ele alınmıştır. Burada yapının yoğunluğunu belirleyen faktör, maddenin x-ışınını absorbe etme özelliği ile ilgilidir. X-ışınını fazla absorbe eden kemik, kalsifikasyon ve taş gibi yapılar beyaz görülür ve yüksek HU değerleri verirlerken (80 – 100 HU), su orta derecede (0 HU), yağ sıfırın altında (-80 HU) hava ise skalanın en altında kalan değerleri (-1000 HU) vermektedir. Bilgisayarlı tomografinin 4 önemli özelliği vardır.

- Çapraz kesilerde görüntü elde edilir.
- Üst üste gelmeden kaynaklı görüntü problemlerini ortadan kaldırır.

- Görüntüsü alınan bölgenin komşu yapılarının etkisini ortadan kaldırır.
- Saçılmaları ortadan kaldırdığından 10 kat daha kaliteli değişken x-ışını atenuasyonu elde edilir.

2.1.3 Tanı Amaçlı X-ışını Dozları

Diagnostik radyolojide kullanılan x-ışını uygulamaları farklı olsa da tanı amaçlı kullanılan x-ışını tüplerinin tipik potansiyel enerji (kVp) değerleri 40-150 aralığında değişmektedir. Tüp voltajı arttıkça, x-ışını enerjisi artar. Miliampersaniye (mAs) iyonlaştırıcı radyasyonun nicel bir tanımıdır. mAs, x-ışını tüpünde katottan anota ulaşan elektron miktarı olarak açıklanabilir. mAs iki kat arttırıldığında, elektron sayısı da iki katına çıkacağından, x-ışını miktarı da iki kat artmış olacaktır. mAs hasta dozunda direkt etkiye sahipken, kVp doz ile exponansiyel bir değişim gösterir.

Hasta dozlarını azaltmak ve iyi kalitede görüntü elde etmek birçok farklı parametrenin optimizasyonuna bağlıdır. Gelişen teknolojilerdeki Röntgen ve BT cihazları, tanı amaçlı belirlenmiş protokoller seçildiğinde direkt optimize edilmiş değerler ile görüntü elde edilmesini sağlar. X-ışını tüpünden kaynaklı kVp, mA, zaman, odak nokta boyutu gibi değişkenler; ışın demeti geometrisinden kaynaklı objenin duruşu, mesafesi, kolimasyon gibi değişkenler yapılan fantom çalışmaları ile her çekim protokolüne en uygun şekilde sistemde tanımlanır.

2.1.4. Radyasyondan Korunma Doz Sınırları

Radyasyona karşı korumada amaç, tolere edilen dozları bilmek ve radyasyon çalışanları ile halkının bu değerleri aşmayan doz almasını sağlamaktır. Bu kapsamda doku hasarına sebep olan deterministik etkileri önlemek, stokastik etkilerin meydana gelme olasılıklarını kabul edilebilir düzeyde sınırlamak amaçlanır.

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafından Maksimum Müsaade Edilebilir Doz, insanda ömür boyunca hiçbir önemli vücut hasarı ve genetik etki meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu olarak ifade edilir. ICRP'nin önerilerine göre, radyasyon çalışanları için müsaade edilen maksimum doz sınırı, birbirini takip eden beş yılın ortalaması 20 mSv'i geçemezken (yılda en fazla 50 mSv), halk için aynı şartlardaki bu sınır 1 mSv'in altında tutulmaktadır. Bireyler için radyasyon doz limitleri Tablo 2.3'de verilmiştir [17].

Tablo 2.3: Radyasyon çalışanları ve halk için etkin radyasyon doz sınırları

		Radyasyon Çalışanları	Toplum Üyeleri
Etkin Doz Sınırı	Ardışık 5 yıl ortalaması	20 mSv	1 mSv
	Herhangi bir yıl	50 mSv	5 mSv
Yıllık Eşdeğer Organ Dozu Sınırı	Göz Merceği	150 mSv	15 mSv
	Deri (cm ²)	500 mSv	50 mSv
	Eller ve Ayaklar	500 mSv	75 mSv

2.2 RADYASYONUN CANLI DOKULAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Bireyde radyasyon absorpsiyonu ile somatik etkiler ortaya çıkar. Somatik etkiler ikiye ayrılır. Deterministik (kesin) ve Stokastik (kesin olmayan) etkiler.

1- Deterministik Etkiler: Biyolojik etkiler belirli bir eşik doz değerinden sonra başlar. Eşik doz aşıldığında görülen etkiler doz miktarındaki artışa bağlıdır. Deterministik etkiler ilk bir yıl içerisinde çıkan "erken etki" (deri hastalıkları gibi) ya da bir yıldan sonra çıkan "geç etki" (katarakt, kan damarlarındaki anomaliler) olarak ifade edilir.

2- Stokastik Etkiler: Işınlanan bireylerde değil ışınlanan toplumda ortaya çıkan etkiler topluluğudur. Bu etkiler kanser oluşumu ile ilgilidir. Eşik doz değeri olmayıp, ışınlanan toplum değerlendirme için yeterli büyüklükte ise düşük dozlarda bile bazı etkilerin görülebileceği kabul edilir. Genetik veya kalıtsal yolla ortaya çıkan radyasyon etkileri, radyasyona maruz kalan kişinin kendinde değil de, daha sonraki nesillerinde ortaya çıkan etkilerdir.

Düşük doz aralığında radyasyondan koruma, radyasyona bağlı kansere ve kalıtsal hastalıklara karşı koruma ile ilgilidir. Bu hastalıklar, doğaları gereği olasılıklı oldukları ve kökenlerinin tek hücrelerde hasara dayandığına inanıldığı için stokastik etkiler olarak adlandırılır. Koruma açısından, bu etkilerin artan radyasyon dozuyla, eşik olmaksızın arttığı ve doğal maruziyet artışının doğrusal bir risk artışı ürettiği varsayılır.

Stokastik etki riskini sınırlamak için “Efektif Doz” niceliği tanımlanmıştır. Işınlama biçiminden bağımsız olarak, vücudun dış radyasyondan veya radyonüklid girişlerinden eşit veya heterojen

bir şekilde ışınlanmış olup olmadığına bakılmaksızın, doz limitlerine karşılık gelen maruziyetlerde stokastik etki riskinin eşit olması amaçlanmıştır. Bunun için farklı radyasyonlardaki biyolojik etkinliğine göre soğurulan doz, radyasyon ağırlık faktörü (w_R) ile ilişkilendirilmiştir. Radyasyonun türüne göre radyasyon ağırlık faktörleri Tablo 2.4’de verilmiştir. İnsan vücudunun çeşitli doku ve organlarına verilen dozlarla ilgili radyasyon ağırlık faktörünün toplamı, Tablo 2.5’de verilen doku ağırlık faktörleri (w_T) olarak modifiye edilmiş ve sonra efektif doz hesaplanmıştır. Doku ağırlık faktörleri, dokuların stokastik etkilerin indüklenmesine karşı değişen radyasyon duyarlılığını hesaba katar.

Tablo 2.4: Radyasyonun türüne göre radyasyon ağırlık faktörleri [19].

Radyasyon Türü	Radyasyon Ağırlık Faktörleri (w_R)
χ ve γ ışınları, elektronlar	1
β ışınları	1
α ışınları	20
Protonlar	2
Nötronlar	5-20

Tablo 2.5: Doku ağırlık faktörleri [19].

Doku veya Organ	Doku Ağırlık Faktörleri (w_T)
Eşeyssel Organlar	0,20
Kolon	0,12
Kemik İliği	0,12
Akciğer	0,12
Mide	0,12
Mesane	0,05
Meme	0,05
Tiroid	0,05
Karaciğer	0,05
Cilt	0,01
Kemik	0,01
Kalan Organlar	0,05

Koruma miktarlarının tanımı, R tipi radyasyon nedeniyle ortalama soğurulan doza (D_{TR}) dayanır ve belirli bir organ veya doku T hacmi üzerinden ortalaması alınır. Birimi Sievert'dir [20].

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R D_{T,R} \quad (2.3)$$

burada $D_{T,R}$, R tipi radyasyona bağlı olarak soğurulan ortalama dozdur ve w_R karşılık gelen radyasyon ağırlıklandırma faktörüdür. w_R değerleri, özellikle düşük dozlarda x veya gama ışınlarının etkileriyle karşılaştırıldığında, stokastik etkiler için çeşitli radyasyonların rölatif biyolojik etkinliğine (RBE) dayanmaktadır. $\sum_R w_R D_{T,R}$ ifadesi doku ve organların aldığı eşdeğer dozu verir.

Diagnostik radyolojide cihaza ve yöntemle ilgili olarak kullanılan efektif dozlar değişmektedir. Tablo 2.6'da diagnostik radyolojide kullanılan tanı protokollerinin dozları gösterilmiştir [20].

Tablo 2.6: Radyolojik tanı protokollerinin yaklaşık efektif doz değerleri.

Radyoloji Tanı Yöntemi		Effektif Doz (mSv)	Literatürde Belirtilen Aralık (mSv)
Röntgen	Akciğer	0,1	0,05-0,24
	Kafatası	0,02	0,01-0,03
	Omurga	1,5	0,5-1,8
	Abdomen	0,7	0,04-1,1
	Pelvis	0,7	0,2-1,2
	El ya da Ayak	0,001	0,0002-0,1
	Panoramik Diş	0,01	0,007-0,09
Bilgisayarlı Tomografi (BT)	Akciğer	7	4-18
	Kafatası	2	0,9-4
	Omurga	6	1,5-10
	Abdomen	8	3,5-25
	Pelvis	6	3,3-10
	Batın Anjiyo	16	5-32

	Kardiyak	3	1-12
--	----------	---	------

İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik sistemlerdeki etkileri radyasyon tarafından oluşturulan 2 temel niceliğe bağlıdır.

– Lineer Enerji Transferi (LET): Birim yol boyunca ki bu enlemesine dl mesafesindir, belirli bir enerjiye sahip radyasyon tarafından aktardığı ortalama enerjinin miktarıdır. LET değeri arttıkça, radyasyonun canlı üzerindeki etkisi artmaktadır.

$$LET = Lx \frac{dE_l}{dl} \quad (2.4)$$

– Rölatif Biyolojik Etkinlik (RBE): Canlıların radyasyondan korunması için “soğrulan doz” radyasyon etkilerini değerlendirmek bakımından yeterli değildir, çünkü aktarılan enerjinin ölçülmesinden ziyade, maruziyet nedeniyle meydana gelen biyolojik etki önemlidir. Soğrulan doz ile biyolojik etki her zaman birebir karşılık gelmez. Farklı tip radyasyonların eşit dozları aynı biyolojik etkileri oluşturmaz.

$$RBE = \frac{\text{250 kEv'luk x-ışını veya Gama radyasyonun soğrulan dozunun ürettiği biyolojik etki}}{\text{Aynı Biyolojik etkiyi oluşturan i.tip radyasyonun soğrulmuş doz değeri}} = \frac{D_{250}}{D_R} \quad (2.5)$$

Farklı iyonlaştırıcı radyasyonların meydana getirdiği biyolojik etkiler için kullanılan biyolojik doz (Doz eşdeğeri birimi), 1 Gy'lık x ve gama ışınları ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarı olarak tanımlanır ve radyasyonun yolu boyunca birim mesafede kaybedilen enerji miktarına (LET) bağlıdır. LET arttıkça radyasyonun kısa mesafede kaydettiği enerji artar ve biyolojik etkide artar. Rölatif biyolojik etkinlik yerine tam sayılara çevrilmiş radyasyon ağırlık faktörleri kullanılır ve x-ışını ve gama ışınları için “1” dir.

Diagnostik radyolojide kullanılan cihazlar, teknolojinin ve yazılımların gelişmesi ile efektif doz hesaplamada daha yaklaşık sonuçlar elde etmemizi sağlıyor. Eskiden matematiksel bir dizi işlemle hesaplanan efektif doz değerleri, artık tarayıcı cihazlardan direk elde edilen Röntgen için TargetEXI ve BT için DPL gibi bazı parametreler ile fantom çalışması ya da similasyon çalışmaları yoluyla hesaplanabiliyor [22, 23].

İyonlaştırıcı radyasyon canlılar ile iki türlü etkileşime girebilir. Uyarılma ve iyonlaştırma. X-ışınları ve gama ışınlarının enerjilerinin yüksek enerjili olması, hücrelerin iyonize olmasına ve

böylece zarar görmesine neden olabilir. İyonlaştırma sonucunda, dış yörüngelerinde eşlenmemiş elektronlar bulunan atom ya da moleküllere “Serbest Radikaller” denir. Serbest radikallerin kararlı hale geçebilmeleri için elektron alarak okside olmaları ya da elektron vererek redükte olmaları gerekir [24]. Canlı doku radyasyon ile etkileştiğinde daha çok su molekülleri tarafından absorbe edildiğinden hidrojen, hidroksil, hidrojen peroksit, hidroperoksit radikalleri oluşur. Canlılık için gerekli su molekülleri zararlı serbest radikallere dönüştüğünde hücre ölümü kaçınılmazdır. Radyasyonun oluşturduğu etki oksijen etkisi ile artar.

Enerjileri 10 eV’tan fazla olan radyasyonlar iyonize edici radyasyon sınıfına girer. İyonize radyasyon biyolojik bir sistem ile karşılaştığında enerjisini ortama transfer ederek hasar yaratır. Biyolojik sistemlerdeki hasarlar kısa sürede etkisini gösterirse; bu tür etkilere radyasyonun akut etkileri denir. Biyolojik sistemde hasarlar daha sonra etkisini gösterirse, bu etkilere kronik gecikmiş etkiler denir [15].

Hücrenin radyasyondan zarar görme düzeyi, hücrenin radyasyona ne kadar duyarlı olduğuna bağlıdır [16]. Bütün hücreler, radyasyonun zararlı etkilerinden aynı şekilde etkilenmezler. Genel olarak, bölünme hızı yüksek olan hücreler, bölünme hızı düşük olan hücrelere göre radyasyondan daha fazla etkilenirler. Hücreler radyasyon duyarlılıklarına göre üç gruba ayrılır.

1-Çok Duyarlı Hücreler: Lenfositler, kırmızı kemik iliği hücreleri, mide ve bağırsak epitel hücreleri, yumurta ve sperm üreme hücreleri

2- Orta duyarlı Hücreler: Epiderm hücreleri, damar endotel hücreleri, tükürük bezi, elastik doku, göz dokuları, gelişmekte olan kıkırdak dokusu

3- Dirençli Hücreler: Kas, sinir, olgun kemik, böbrek ve endokrin bez hücreleri

Hücre zarı radyasyona maruz kaldığında membran işlevini kaybeder [17].

2.3. BAKTERİLER

2.3.1. Staphylococcus aureus

Staphylococcus aureus (S. aureus) üst solunum yolu, bağırsak ve deride normal flora (mikrobiota) olarak bulunur. Firmicutes şubesinin bir üyesidir. Gram pozitif ve yuvarlak

şekildedir (Koklar). Fakültatif anaerobtur ve oksijensiz yaşayabilir bundan dolayı bağırsakta da bulunabilir. Ancak insanın bağışıklığı düştüğünde fırsatçı patojen olarak septesmi, selülit, besin zehirlenmesi gibi ciddi enfeksiyonlara neden olabilmektedir [25].

2.3.2. Escherichia coli

Escherichia coli (*E. coli*), Enterobacteriaceae familyasına ait Proteobakteriler şubesinin üyesi olan bağırsak mikrobiotasını oluşturan gram negatif çomak şeklinde hareketli bir bakteridir. Fakültatif anaerop olup oksijensiz yaşayabilir. MacConkey besiyerinde laktozu parçalayarak kırmızı koloni oluştururlar. Bu bakteriler idrar yolu enfeksiyonu ve septisemiye bazen de toksik özelliği kazanıp besin zehirlenmesi neden olurlar [25].

2.3.3. Klebsiella pneumoniae

Klebsiella pneumoniae (*K. pneumoniae*), *E. coli* gibi Enterobacteriaceae familyasına ait Proteobakteri şubesinden gram negatif çomak şeklinde hareketsiz kapsüllü bir bakteridir. MacConkey besiyerinde laktozu parçalayarak kırmızı koloni oluştururlar. Ağızda, deride ve oksijenjensiz yaşabildiğinden bağırsakta da bulunabilir. Hastane enfeksiyonlarına sebep olan nozokomiyal, patojen bir bakteri türüdür [25].

2.3.4 Enterococcus faecalis

Enterococcus faecalis (*E. faecalis*) bağırsakta mikrobiyota olarak bulunan gram pozitif diplokok veya zincir yapabilen Firmicutes üyesi olan bir bakteridir. Fakültatif anaerobtur, oksijensiz yaşayabilir. Glukoz fermentasyonu yapar ve hareketsizdir. Glikopeptit antibiyotiklere direnç vankomisine dirençli enterokok (VRE) gibi etkenler ciddi hastane enfeksiyonuna neden olmaktadır [25].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, rutinde hastalıkların tanısında kullanılan x-ışını uygulamalarından kaynaklı radyasyonun etkisi insan mikrobiyotasında popülasyonu en çok olan *S. aureus*, *E. coli*, *K. pneumoniae* ve *E. faecalis* bakterilerinin hayatta kalma etkinlikleri açısından in-vitro olarak araştırıldı.

Bu amaçla *S. aureus* ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *K. pneumoniae* ATCC 700603 ve *E. faecalis* ATCC 29212 standart bakterileri tanıda rutin olarak kullanılan x-ışını dozlarına maruz bırakıldı. Böylece maruziyet sonrası canlı bakteri sayısı değişimi araştırıldı.

Bugüne kadar bakteri sterilizasyonu başta olmak üzere, bakteri inaktivasyonuna odaklanan yüksek doz radyasyon uygulamalarından ziyade tanı amaçlı düşük x-ışını dozlarının canlılığın sürdürülmesine etkilerine bakıldı.

Elde edilen sonuçlar tanı amaçlı kullanılan radyasyon doz değerleri için, radyasyondan korunmada güvenli doz sınırlamalarının yanında, insan vücudunda bulunan mikrobiyotanın bu ışıdan etkilenmesi gözlemlendi.

3.1. BAKTERİLERİN HAZIRLANMASI

3.1.1. Bakteriyolojik Besiyerlerinin Hazırlanması

Bu çalışmada 5 hazır besiyeri kullanılmıştır.

Besiyerlerinin sırasıyla içeriği aşağıda belirtilmiştir.

3.1.1.1. *Bile Esculin Agar (BEA)*

E. faecalis ATCC 29212'in kültür ve koloni sayımında kullanılmıştır. Besiyerin içeriği aşağıdaki gibidir.

- Pancreatic digest of gelatin	5.0 g
- Beef extract	3.0 g
- Oxgall	20.0 g
- Ferric Citrate	0.5 g
- Esculin	1.0 g

- Agar	14.0 g
- Distile su	1 litre
- pH	7.2-7.4

3.1.1.2.Chapman agar besiyeri (CA)

S. aureus ATCC 25923'in kültür ve koloni sayımında kullanılmıştır. Besiyerin içeriği aşağıdaki gibidir.

- Lab-Lemco' powder	1.1
- Peptone	10.0
- Mannitol	10.0
- Sodium chloride	75.0
- Phenol red	0.025
- Agar	15.0
- Distile su	1 litre
- pH	7.5 $\pm$ 0.2

3.1.1.3.MacConkey agar (MCA)

E.coli ATCC 25922 ve K.pneumoniae ATCC 700603 bakterilerin kültür ve koloni sayımında kullanılmıştır. Besiyerin içeriği aşağıdaki gibidir.

- Peptone	20.0
- Lactose	10.0
- Bile salts	5.0
- Sodium chloride	5.0
- Neutral red	0.075
- Agar	12.0
- Distile su	1 litre
- pH	7.4 $\pm$ 0.2

3.1.1.4.Triptik Soy Agar (TSA)

TSA (Becton Dickinson, ABD) besiyeri bakterilerin pasajlarında kullanılmıştır. Besiyerin içeriği aşağıdaki gibidir.

- Enzymatic digest of casein 15 gr
- Enzymatic digest of soybean meal 5 gr
- Sodium chloride 5 gr
- Agar 15 gr
- Distile su 1 litre
- pH 7.2-7.4

3.1.1.5.Triptik Soy Buyyon (TSB)

(TSB) (Becton Dickinson, ABD) besiyeri, bakteri süspansiyonların hazırlanmasında kullanılmıştır.

- Panreatic digest of casein 17 gr
- Papaic digest of soybean mea 13 gr
- Sodium chloride 5 gr
- Dipotassium phospate 2,5 gr
- Dextrose 2,5 gr
- Distile su 1 litre
- pH 7.2-7.4

3.1.2. Bakteri Süspansiyonlarının Hazırlanması

3.1.'de belirtilen dört bakterinin süspansiyonlarını hazırlamak için bu bakterilerin Triptik soy agar (TSA: Becton Dickinson, ABD) besiyerinde 37 °C de 24 saat kültürleri yapıldı.

Her bir bakteriden ayrı ayrı olmak üzere dört bakterinin %0.85 NaCl solüsyonda 0.5 McFarland (10^8 cfu/mL) bulanıklık tüpüne göre süspansiyonları hazırlanmıştır. Daha sonra bu süspansiyonlar 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000, ve 1:100000 olacak şekilde %0,85 NaCl solüsyonlarda seri sulandırılmaları yapılmıştır. Bu sulandırmlar koloni sayımını kolaylaştırmak için yapılmıştır.

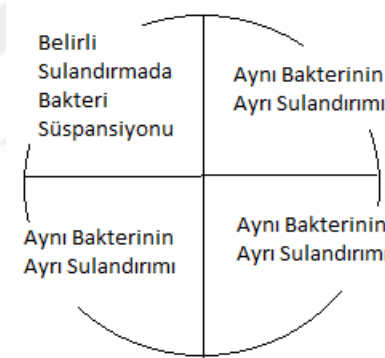
3.1.3. X-ışınının Antibakteriyel Etkinliğini Araştırmak için Yapılan Deneyler

Bu deneyler ön deneyler (pilot çalışma) ve gerçek deneyler olarak iki şekilde yapılmıştır:

3.1.3.1 Pilot Çalışma

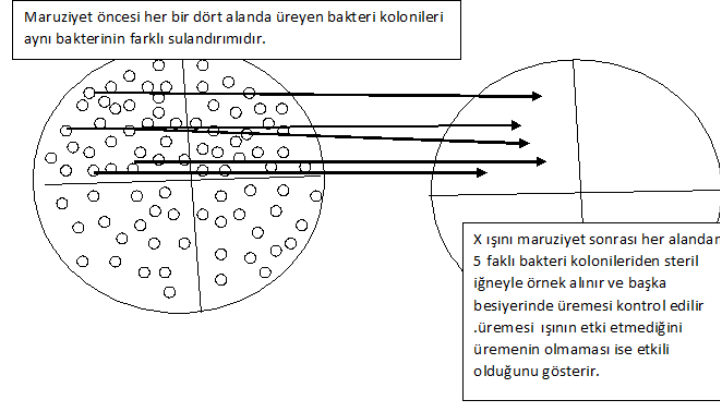
Pilot çalışmalarda aşağıda A, B, C, D kısımlarında anlatılan farklı ekim ve üreme teknikleri çalışıldı.

A) 3.1.2.'de hazırlanan dört bakterinin seri sulandırılmaları her bakteri için hazırlanan özel besiyerlerinin dörtte bir alanına steril idrar öze yardımıyla ($10 \mu\text{L} = 10^6 \text{ cfu}$) yayılmıştır. Daha sonra ekim yapılan bu besiyerleri x-ışınına belli süre maruz bırakılmış ve test (T) olarak kabul edilmiştir. Bu deneylerde paralel olarak x-ışınına maruz bırakılmayan benzer kültürler hazırlanmış ve kontrol (K) olarak kullanılmıştır. Tüm kültürler 37°C de 24 saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda T ve K'de üreyen bakteri kolonileri sayılmıştır [26].



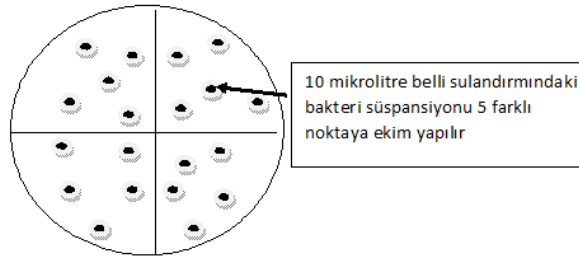
Şekil 3.1: A kısmında anlatılan besiyeri alanının 4'e bölünmesi.

B) 3.1.2.'de hazırlanan dört bakterinin seri sulandırılmaları her bakteri için hazırlanan özel besiyerlerinin dörtte bir alanına steril idrar öze yardımıyla ($10 \mu\text{L} = 10^6 \text{ cfu}$) yayılmıştır. Tüm kültürler 37°C de 24 saat inkübe edilmiştir. Bu kültürlerden biri K diğer T iki takım hazırlanmıştır. K'de üreyen koloniler x-ışınına maruz bırakılmayıp T ise daha önce belirlenen x-ışını şiddetine ve süreye maruz bırakılmıştır. Maruziyet sonrası aynı bakteri kültürünün 5 farklı bölgesinden steril iğne yardımı ile TSA besiyerlerine ekim yapılmıştır. Tüm kültürler 37°C 'de 24 saat inkübe edilmiştir K ve T'de canlı bakteriler incelenmiştir [26].



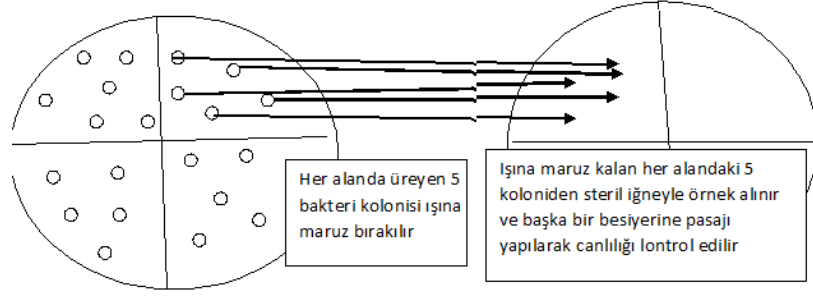
Şekil 3.2: B kısmında anlatılan besiyerlerinin her bir bölmesine seyreltilmiş bakteri süspansiyonlarının yerleştirilmesi.

C) 3.1.2.'de hazırlanan dört bakterinin seri sulandırımları her bakteri için hazırlanan özel besiyerlerinin dörtte bir alanına steril idrar öze yardımıyla ($10 \mu\text{L} = 10^6 \text{ cfu}$) 5 nokta (spot) ekim yapılmıştır. Daha sonra ekim yapılan bu besiyerleri x-ışınına belli süre maruz bırakılmış ve test (T) olarak kabul edilmiştir. Bu deneylere paralel olarak x-ışınına maruz bırakılmayan benzer kültürler hazırlanmış ve kontrol (K) olarak kullanılmıştır. Tüm kültürler 37°C de 24 saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda T ve K'de üreyen bakteri kolonileri incelenmiştir [26].



Şekil 3.3: C kısmında anlatılan her bölmede 5 farklı noktaya ekim yapılması.

D) 3.1.2.'de hazırlanan dört bakterinin seri sulandırımları her bakteri için hazırlanan özel besiyerlerinin dörtte bir alanına steril idrar öze yardımıyla ($10 \mu\text{L} = 10^6 \text{ cfu}$) 5 nokta (spot) ekim yapılmıştır. Tüm kültürler 37°C de 24 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra bakteri üremesi olan bu besiyerleri x-ışınına belli süre maruz bırakılmış ve test (T) olarak kabul edilmiştir. Bu deneylere paralel olarak x-ışınına maruz bırakılmayan benzer kültürler hazırlanmış ve kontrol (K) olarak kullanılmıştır. Işına maruz bırakılan her bölgedeki 5 noktadan steril iğne yardımı ile TSA besiyerine ekim yapılmıştır. Tüm kültürler 37°C de 24 saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda T ve K de üreyen bakteri kolonileri incelenmiştir [26].



Şekil 3.4: D kısmında anlatılan, seyreltilerek ışınlanmış bölmelerden örnekler alınıp yeni bölmeye aktarılması.

3.1.3.2. Gerçek Deneyler

1. *aşamada*; yapılan pilot çalışmalar sonucu elde edilen veride gerçek deneylere BT dozları ile başlandı. Her bir bakteri ayrı ayrı günlerde daha önce belirlenmiş, aynı BT radyasyon tanı dozlarına maruz bırakıldılar. 3.1.3.1 başlığının A kısmında yapılan pilot çalışmanın benzeri yapıldı; ancak petri kutusunda bulunan besiyerlerinin dörtte bir bölgesi yerine besiyeri alanının tamamına kültürler yapılmıştır. Bu şekilde kolonilerin sayımı daha kolay olmuştur. Bütün deneylerde 10^6 , 10^5 , 10^4 , 10^3 , 10^2 cfu sulandırma yapılarak, tüm deneyler bu şekilde uygulanmıştır [26].

2. *aşamada*; Çekimler sırasında bakterilerin konumu, sıralanışı gibi faktörleri stabilize edemediğimizden her bir bakteri aynı doza maruz kalsalar bile BT sistemlerinin kendi içinde çekim sırasında belirlediği parametrelerden kaynaklı doz farklılıkları görüldü. Bunlar çok büyük farklar olmamakla birlikte bunları stabilize etmek için her bir bakterinin aynı anda aynı doza maruz kalacağı şekilde deneyler tekrarlandı. Buradaki bakteri hazırlığı 3.1.3.1 başlığının A kısmında yapılan pilot çalışmanın benzeri olarak yapıldı ancak petri kutusunda bulunan besiyerlerinin dörtte bir bölgesi yerine alanın tamamına kültürler yapılmıştır. Bu şekilde kolonilerin sayımı daha kolay olmuştur. Diğer aşamaları aynen uygulanmıştır.

3. *aşamada*; 3.1.3.1 başlığının A kısmında yapılan plot çalışmanın benzeri olarak petri kutusunda bulunan besiyerlerinin dörtte bir bölgesi yerine alanın tamamına kültürler yapılmış ve diğer aşamaların aynen uygulandığı bakteri hazırlığı ile, daha önce gerçek deneyi yapılmayan röntgen dozları kullanarak 4 ayrı bakterinin aynı anda aynı röntgen dozlarına maruz kalması sağlanmıştır.

3.2. TANI AMAÇLI X-IŞINI UYGULAMALARI SEÇİMİ VE DOZLARI

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı bünyesinde bulunan, hastane rutinde tanı amaçlı kullanılan Röntgen ve Bilgisayarlı tomografi görüntüleme cihazları kullanılarak yapılmıştır.

Kullanılan Röntgen cihazı çift flat panel dedektörlü, dijital radiografik görüntüleme sistemi olup, UsX-Ray marka bir röntgen makinasıdır. Kullanılan Bilgisayarlı tomografi cihazı Canon ONE Aquilion 640 model cihazdır. Sadece rutin hasta tanı protokolleri ile radyasyon dozu sağlandığı ve görüntü işleme üzerine çalışılmadığı için cihazların teknik özellikleri verilmemiştir.

Röntgen ve BT görüntüleme çekim protokolleri, klinik rutinde kullanılan çekim prosedürlerine bakılarak iki farklı açıdan değerlendirilerek seçilmiştir. İlk olarak en düşük enerjiden en yüksek enerjiliye doğru arttırarak, verilen radyasyon doz miktarı artacak şekilde, ikinci olarak tez pozdan çoklu poza doğru arttırarak verilen radyasyon dozunu daha da arttıracak şekilde seçilmiştir.

3.2.1 Röntgen Uygulamaları ve Dozları

3.1.3.1 Pilot çalışmada A, B, C, D kısımları ile belirtilen şekilde hazırlanmış bakterilere Tablo 3.1’de verilen röntgen tanı dozları uygulanmıştır.

Tablo 3.1 Pilot çalışma için kullanılan röntgen tanı protokolleri ve özellikleri.

Protokol No	Çekim Protokolü	Enerjisi	Maruz Kalınan Doz
1 (Yaş Tayini)	1 poz: El - AP	50 kVp, 80 mA, 25 ms, 2 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy
2 (Bel Ağrısı)	1 poz: Spin AP, 1 poz: Spin LAT	75 kVp, 250 mA, 2 ms, 0.5 mAs 80 kVp, 200 mA, 2 ms, 0.4 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
3 (Burkulma)	1 poz: Bilek LAT 1 poz: Bilek LATL	52 kVp, 100 mA, 50 ms, 5 mAs 52 kVp, 125 mA, 50 ms, 6 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy

4 (Standart Kırık)	1 poz: Ayak AP 1 poz: Bilek LAT 1 poz: Bilek LATL	60 kVp, 160 mA, 50 ms, 8 mAs 60 kVp, 160 mA, 50 ms, 8 mAs 60 kVp, 160 mA, 50 ms, 8 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
5 (Kalça kırığı)	1 poz: Pelvis AP 1 poz: Pelvis LAT 1 poz: Pelvis LAT	70 kVp, 320 mA, 2 ms, 0.6 mAs 90 kVp, 400 mA, 1 ms, 0.4 mAs 90 kVp, 400 mA, 1 ms, 0.4 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
6 (Diz, bacak yaralanma)	1 poz: Bacak AP 1 poz: Bacak LAT 1 poz: Bacak LATL	75 kVp, 250 mA, 2 ms, 0.5 mAs 70 kVp, 320 mA, 2 ms, 0.5 mAs 70 kVp, 320 mA, 2 ms, 0.5 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
7 (Trafik Kazası)	1 poz: Kafa PA 1 poz: Akciğer AP 1 poz: Spin AP 1 poz: LomberLAT 1 poz: Pelvis AP	70 kVp, 100 mA, 4 ms, 0.4 mAs 120 kVp, 200 mA, 1 ms, 0.2 mAs 75 kVp, 250 mA, 2 ms, 0.5 mAs 91 kVp, 200 mA, 1 ms, 0.2 mAs 70 kVp, 320 mA, 2 ms, 0.5 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
8 (Trafik Kazası)	7 TK prosedüre ek 2 poz BT çekimi	70 kVp, 100 mA, 4 ms, 0.4 mAs 120 kVp, 200 mA, 1 ms, 0.2 mAs 75 kVp, 250 mA, 2 ms, 0.5 mAs 91 kVp, 200 mA, 1 ms, 0.2 mAs 70 kVp, 320 mA, 2 ms, 0.5 mAs 120 keV, 38 mAs, DPL 1137.97 mGy/cm 120 kVp, 78 mAs, DPL 205.01 mGy/cm	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy

3.1.3.2 gerçek deneylerde belirtilen hazırlanmış bakterilere tekrar amaçlı yapılan röntgen çekimlerinde Tablo 3.2'deki röntgen tanı dozları uygulanmıştır.

Tablo 3.2: Gerçek deneyler için kullanılan röntgen tanı protokolleri ve özellikleri.

Protokol No	Çekim Protokolü	Enerji, Akım, Zaman	Maruz Kalınan Doz
1	Yaş Tayini 1 poz: El AP	50 keV, 80 mA, 25 ms, 2 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy
2	Diz Ağrısı 1 Poz Diz AP 1 Poz Diz LAT	60 kVp, 160 mA, 50 ms, 8 mAs 60 kVp, 160 mA, 50 ms, 8 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
3	Bel Ağrısı 1 poz: Spin AP 1 poz: Spin LAT	75 kVp, 250 mA, 2 ms, 0.5 mAs 80 kVp, 200 mA, 2 ms, 0.4 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
4	Kalça Kırığı 1 poz: Pelvis AP 1 poz: Pelvis LAT 1 poz: Pelvis LATL	70 kVp, 320 mA, 2 ms, 0.6 mAs 90 kVp, 400 mA, 1 ms, 0.4 mAs 90 kVp, 400 mA, 1 ms, 0.4 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy
5	Trafik Kazası 1 poz: Kafa PA 1 poz: Akciğer AP 1 poz: Spin AP 1 poz: Lomber LAT 1 poz: Pelvis AP	70 kVp, 100 mA, 4 ms, 0.4 mAs 120 kVp, 200 mA, 1 ms, 0.2 mAs 75 kVp, 250 mA, 2 ms, 0.5 mAs 91 kVp, 200 mA, 1 ms, 0.2 mAs 70 kVp, 320 mA, 2 ms, 0.5 mAs	TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy TargetEXI: 2.5 µGy

3.2.2 Bilgisayarlı Tomografi Uygulamaları ve Dozları

3.1.3.2 gerçek deneylerde belirtildiği şekilde hazırlanmış bakterilere BT çekimlerinde Tablo 3.3’de belirtilen tanı dozları uygulanmıştır. *S. aureus* çekimi sırasındaki parametreler A olarak, *E. faecalis* çekimi sırasındaki parametreler B olarak, *K. pneumoniae*, *E. coli* aynı anda çekildikleri için çekim sırasındaki parametreler C olarak tabloda belirtilmiştir. Dört bakterinin aynı anda radyasyona maruz bırakıldığı tekrar çekimlerinde de aynı tanı protokolleri tekrarlanmıştır. Çekim sırasındaki parametreler D olarak tabloda belirtilmiştir.

Tablo 3.3 Gerçek deneyler için kullanılan BT tanı protokolleri ve özellikleri.

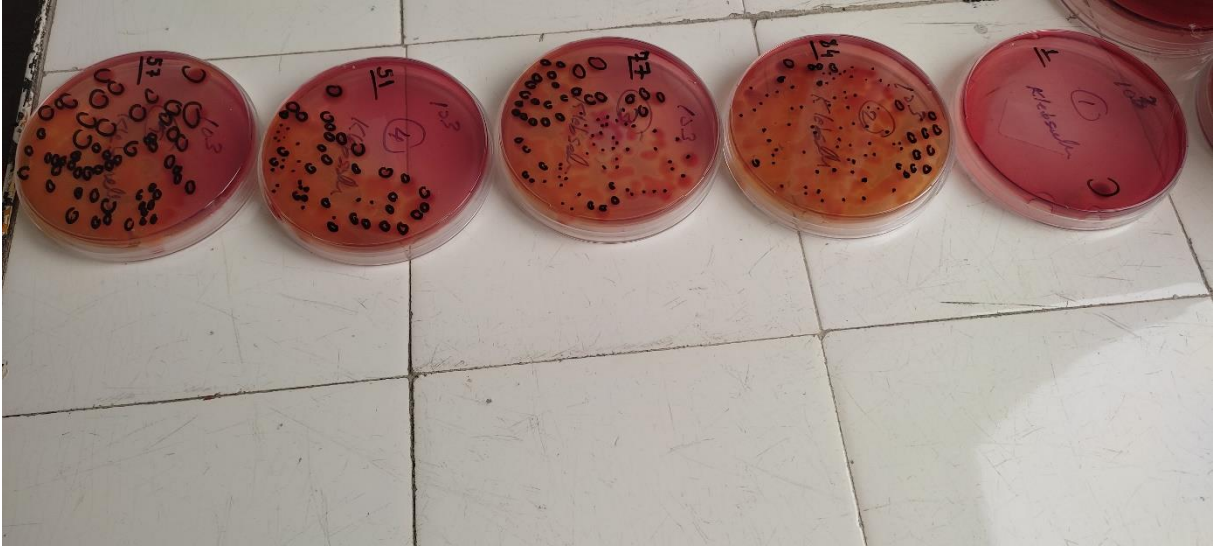
Protokol No	Çekim Protokolü	Enerji (kVp), Toplam CTDIvol (mGy), Toplam DPL (mGy.cm)
1	Torax BT	A: 120 kVp, 2.3 mGy, 77.7 mGy.cm B: 120 kVp, 2.6 mGy, 69.6 mGy.cm C: 120 kVp, 2.6 mGy, 74.4 mGy.cm D: 120 kVp, 2.6 mGy, 85.3 mGy.cm
2	Pediyatrik Kranial BT	A: 100 kVp, 52.9 mGy, 349.2 mGy.cm B: 100 kVp, 53.2 mGy, 388 mGy.cm C: 100 kVp, 51.4 mGy, 413.5 mGy.cm D: 100 kVp, 52.6 mGy, 419.3 mGy.cm
3	Yetişkin Kranial BT (4 tekrar poz)	A: 120 kVp, 232.6 mGy, 7165.6 mGy.cm B: 120 kVp, 277.2 mGy, 8574 mGy.cm C: 120 kVp, 276.2 mGy, 8734 mGy.cm D: 120 kVp, 241.2 mGy, 7742.6 mGy.cm
4	Abdomen BT	A: 120 kVp, 6.8 mGy, 206,7 mGy.cm B: 120 kVp, 6.7 mGy, 197.4 mGy.cm C: 120 kVp, 6.2 mGy, 181 mGy.cm D: 120 kVp, 6.0 mGy, 178.2 mGy.cm
5	Batın Anjiyo (3 poz)	A: 120 kVp, 117.5 mGy, 2516 mGy.cm B: 120 kVp, 111.6 mGy, 2399 mGy.cm C: 120 kVp, 111.3 mGy, 2443 mGy.cm D: 120 kVp, 112.5 mGy, 2410.2 mGy.cm

4. BULGULAR

Bu çalışmada x-ışının antibakteriyel etkisini araştırmak için iki farklı deneyler yapılmıştır. Birincisi ön deneyler veya pilot çalışma ve ikincisi ise gerçek deneyler. Ön deneyler gerçek deneylerde karşılaşılabileceğimiz olumsuzlukları özellikle bakteri sayımı yönünden standardize edebilmek için planlanmış ve uygulanmıştır. Bu amaçla dört farklı (A, B, C, D) ön deney yapılmıştır. Bu öndeneylede x-ışınına maruz bırakılan bakteri sayısı 10^6 cfu olarak belirlenmiştir.

Gerçek deneylerde en uygun bakteri sayımı yapılabilecek yöntem seçilmiş ve bakteriler buna göre hazırlanıp, belirlenen tanı amaçlı x-ışını dozlarına maruz bırakılmıştır.

Aşağıdaki Şekil 4.1 x-ışını maruziyet sonrası sayılan petrilerden bir bölümünü görsel olarak vermektedir.



Şekil 4.1: Bakteri ekiminden sonra x-ışınına maruz bırakılmış bakterilerin 24 saat sonra sayıları.

Maruziyetten sonraki x-ışını etkinliği aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$X \text{ ışını etkisi} = \frac{K-T}{K} * 100 \quad (4.1)$$

Burada K, x-ışınına maruz kalmamış koloni sayısı; T, x-ışınına maruz kalmış koloni sayısıdır.

4.1. PİLOT ÇALIŞMALARIN SONUCU

X-ışının antibakteriyel etkisi için kullanılan formül ön deneylerde kullanılmadı çünkü yoğun bakteri üremesi koloni sayımını imkânsız kıldı ve bu yüzden sonucu değerlendirmek mümkün olmadı. Pilot çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 ile 4.4 arasında görülmektedir.

Tablo 4.1: Pilot çalışmalar 3.1.3.1. A kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.

* No	Maruziyet sonrası bakteri koloni sayısı (cfu)								
	Escherichia coli ATCC 25922 cfu (%)		Klebsiella pneumoniae ATCC 700603 cfu (%)		Staphylococcus aureus ATCC 25923 cfu (%)		Enterococcus faecalis ATCC 29212 cfu (%)		**Sonuç
1	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
2	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
3	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
4	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
5	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
6	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
7	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
8	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz

*Tablo 3.1'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- El yas tayini, 2-Bel ağrısı, 3-Burkulma, 4-Standart kırık, 5- Kalça kırığı, 6- Diz, Bacak yaralanma, 7- Trafik kazası, 8-Trafik kazası+BT. **olumsuz, yoğun üreme nedeni ile değerlendirilmedi.

Tablo 4.2: Plot çalışmalar 3.1.3.1 B kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.

*No	Maruziyet sonrası bakteri koloni sayısı (cfu)								
	Escherichia coli ATCC 25922 cfu (%)		Klebsiella pneumoniae ATCC 700603 cfu (%)		Staphylococcus aureus ATCC 25923 cfu (%)		Enterococcus faecalis ATCC 29212 cfu (%)		**Sonuç
1	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
2	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
3	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
4	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
5	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
6	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
7	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
8	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz

*Tablo 3.1'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- El yas tayini, 2-Bel ağrısı, 3-Burkulma, 4-Standart kırık, 5- Kalça kırığı, 6- Diz, Bacak yaralanma, 7- Trafik kazası, 8-Trafik kazası+BT. **olumsuz, yoğun üreme nedeni ile değerlendirilmedi.

Tablo 4.3: Plot alışmalarda 3.1.3.1. C kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.

* No	Maruziyet sonrası bakteri koloni sayısı (cfu)								
	Escherichia coli ATCC 25922 cfu (%)		Klebsiella pneumoniae ATCC 700603 cfu (%)		Staphylococcus aureus ATCC 25923 cfu (%)		Enterococcus faecalis ATCC 29212 cfu (%)		**Sonuç
1	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
2	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
3	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
4	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
5	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
6	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
7	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
8	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz

*Tablo 3.1'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- El yas tayini, 2-Bel ağrısı, 3-Burkulma, 4-Standart kırık, 5- Kalça kırığı, 6- Diz, Bacak yaralanma, 7- Trafik kazası, 8-Trafik kazası+BT. **olumsuz, yoğun üreme nedeni ile değerlendirilmedi.

Tablo 4.4: Plot çalışmalarda 3.1.3.1. D kısmına ait x-ışınının antibakteriyel etkisi.

* No	Maruziyet sonrası bakteri koloni sayısı (cfu)								
	Escherichia coli ATCC 25922 cfu (%)		Klebsiella pneumoniae ATCC 700603 cfu (%)		Staphylococcus aureus ATCC 25923 cfu (%)		Enterococcus faecalis ATCC 29212 cfu (%)		**Sonuç
1	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
2	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
3	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
4	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
5	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
6	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
7	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz
8	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme Var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Yoğun Üreme var	Negatif	Olumsuz

*Tablo 3.1'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- El yas tayini, 2-Bel ağrısı, 3-Burkulma, 4-Standart kırık, 5- Kalça kırığı, 6- Diz, Bacak yaralanma, 7- Trafik kazası, 8-Trafik kazası+BT. **olumsuz, yoğun üreme nedeni ile değerlendirilmedi.

Yapılan dört ön deneyde üç önemli sonuca varılmıştır:

1. Ön deneylerde kullanılan 90 mm çapında besiyerin dörtte bir alanı kullanıldığında bakteri kolonileri üst üste geldiğinden x-ışınının öldürücü etkisi ya sayılmayacak kadar gözden kaçmış olabilir veya korunmaktadır, 2. Nokta ekim yönteminin x-ışınının etkisini araştırmak için uygun bir yöntem olmadığı anlaşılmıştır, 3. Besiyerinde üreyen bakteri kolonileri x-ışınına maruz bırakıldığında bu etkiyi görmek çok zordur. Bu yüzden bakteriler besiyerine yayıldıktan sonra üreyip koloni oluşturmada x-ışınının etkisini araştırmak daha doğru bir uygulama olabilir. Ön deneylerden elde edilen sonuca göre gerçek deneyler uygulanmıştır. Bu deneylerde nokta (spot) ekim kullanılmamış ve besiyeri alanın tamamı kullanılmıştır.

4.2. GERÇEK DENEYLERİN SONUÇLARI

Pilot çalışmalardan elde edilen sonuca göre gerçek deneyler uygulanmıştır. Bu deneylerde nokta (spot) ekim kullanılmamış ve besiyerinin alanın tamamı kullanılmıştır. Pilot çalışmalarda karşılaştığımız sorunları çözerek gerçek deneyler uygulanmıştır. Gerçek deney sonuçları tablo 4.5 ile 4.8 arasında gösterilmiştir.

Tablo 4.5: BT'den kaynaklı x-ışınının Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü *	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	165	177	0 (etkisiz)
2	305	235	23 (etkili)
3	294	131	55 (etkili)
4	139	101	27 (etkili)
5	428	85	80 (etkili)

*Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT,, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.5'deki sonuca göre x-ışınının Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı etkinliği sırasıyla 5'te %80, 3'te %55, 4'te %27, 2'de %23 ve 1'de %0 azalma olarak belirlenmiştir

Tablo 4.6: BT'den kaynaklı x-ışınının Enterococcus faecalis ATCC 29212'ye karşı antibakteriyel etkisi

X-ışını protokolü *	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	430	400	7 (etkili)
2	270	250	7 (etkili)
3	725	500	31 (etkili)
4	370	350	5 (etkili)
5	700	400	43 (etkili)

*Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.6'deki sonuca göre x-ışınının *Enterococcus faecalis* ATCC 29212'ye karşı etkinliği sırasıyla 5'de %43, 3'te %31, 1 ve 2'de %7 ve 4'de %5 azalma olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.7: BT'den kaynaklı x-ışınının *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603'e karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü *	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	75	77	0 (etkisiz)
2	128	84	34 (etkili)
3	169	1	99 (etkili)
4	69	51	26 (etkili)
5	101	64	36 (etkili)

*Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.7'deki sonuca göre x-ışınının *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603'e karşı etkinliği sırasıyla 3'de %99, 5'de %36, 2'te %34, 4'de %26, 1'te %0 azalma olarak saptanmıştır.

Tablo 4.8: BT'den kaynaklı x-ışınının *Escherichia coli* ATCC 25922'ye karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	200	200	0 (etkisiz)
2	200	100	50 (etkili)
3	500	100	80 (etkili)
4	300	400	0 (etkisiz)
5	300	200	33 (etkili)

*Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.8'deki sonuca göre x-ışınının *Escherichia coli* ATCC 25922'e karşı etkinliği sırasıyla, 3'de %80, 2'de %50, 5'de %33, 1 ve 4'te %0 azalma olarak saptanmıştır.

Bakterilerin aynı anda aynı çekim koşullarına sahip olması için tekrarlanan BT çekimleri sonuçları tablo 4.9 ile 4.12 arasında verilmektedir.

Tablo 4.9: BT'den kaynaklı x-ışınının Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü *	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	200	186	7
2	475	470	1
3	425	260	39
4	400	272	32
5	500	278	44

*Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.9'daki sonuca göre x-ışınının Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı etkinliği sırasıyla 5'de %44, 3'te %39, 4'te %32, 1'de %7 ve 2'de %1 azalma olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.10: BT'den kaynaklı x-ışınının Enterococcus faecalis ATCC 29212'ye karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	450	455	0 (etkisiz)
2	350	370	0 (etkisiz)
3	620	600	3 (etkisiz)
4	430	433	0 (etkisiz)
5	730	700	4 (etkisiz)

*Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.10'daki sonuca göre BT'den kaynaklı x-ışınının Enterococcus faecalis ATCC 29212'ye bakteriye karşı etkinliği sırasıyla 3'de %3, 5'de %4 azalma ve 1, 2 ve 4'de etkisiz olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.11: BT'den kaynaklı x-ışınının *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603'e karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	175	180	0 (etkisiz)
2	150	154	0 (etkisiz)
3	300	280	7 (etkili)
4	75	80	0 (etkisiz)
5	100	74	26

*Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.11'deki sonuca göre BT'den kaynaklı x-ışınının *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603'e karşı etkinliği sırasıyla 5'de %26, 3'te %7 azalma ve 1, 2, ve 4'te etkisiz olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.12: BT'den kaynaklı x-ışınının *Escherichia coli* ATCC 25922'ye karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	230	244	0 (etkisiz)
2	210	157	25 (etkili)
3	255	130	49 (etkili)
4	275	258	6 (etkili)
5	267	172	36 (etkili)

**Tablo 3.3'deki bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri numaraları 1- Torax BT, 2- Pediatrik Kranial BT, 3-Yetişkin Kranial BT (+4 poz), 4- Abdomen BT, 5- Batın Anjiyo (+3 poz)

Tablo 4.12'deki sonuca göre BT'den kaynaklı x-ışınının *Escherichia coli* ATCC 25922'ye karşı etkinliği sırasıyla 3'de %49, 5'de %36, 2'de %25, 4'de %6 azalma ve 1'de etkisiz olduğu saptanmıştır.

Pilot çalışmadan sonra gerçek deneyi yapılmayan röntgen çekimleri için pilot çalışmadan daha az sayıda tanı protokolü kullanılarak çekimler yapıldı. Sonuçlar tablo 4.13 ile 4.16 arası verilmektedir.

Tablo 4.13: Röntgen kaynaklı x-ışınının Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	200	205	0 (etkisiz)
2	475	483	0 (etkisiz)
3	425	428	0 (etkisiz)
4	400	417	0 (etkisiz)
5	500	568	0 (etkisiz)

*Tablo 3.2'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- Yaş tayini, 2- Diz ağrısı, 3-Bel Ağrısı, 4-Kalça kırığı, 5- Trafik kazası.

Tablo 4.13'deki sonuca göre röntgenden kaynaklı x-ışınının 1'den 5'e kadar tüm protokol uygulamalarında Staphylococcus aureus ATCC 25923'e karşı etkinliğinin olmadığı (%0) saptanmıştır.

Tablo 4.14: Röntgen kaynaklı x-ışınının Enterococcus faecalis ATCC 29212'ye karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	450	490	0 (etkisiz)
2	350	350	0 (etkisiz)
3	600	610	0 (etkisiz)
4	430	433	0 (etkisiz)
5	730	741	0 (etkisiz)

*Tablo 3.2'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- Yaş tayini, 2- Diz ağrısı, 3-Bel Ağrısı, 4-Kalça kırığı, 5- Trafik kazası.

Tablo 4.14'deki sonuca göre röntgenden kaynaklı x-ışınının 1'den 5'e kadar tüm protokol uygulamalarında *Enterococcus faecalis* ATCC 29212'ye karşı etkinliğinin olmadığı (%0) belirlenmiştir.

Tablo 4.15: Röntgen kaynaklı x-ışınının *Klebsiella pneumoniae* ATCC700603'e karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	175	175	0 (etkisiz)
2	150	166	0 (etkisiz)
3	300	301	0 (etkisiz)
4	75	77	0 (etkisiz)
5	100	112	0 (etkisiz)

*Tablo 3.2'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- Yaş tayini, 2- Diz ağrısı, 3-Bel Ağrısı, 4-Kalça kırığı, 5- Trafik kazası.

Tablo 4.15'deki sonuca göre röntgenden kaynaklı x-ışınının 1'den 5'e kadar tüm protokol uygulamalarında *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603'e karşı etkinliğinin olmadığı (%0) saptanmıştır.

Tablo 4.16: Röntgenden kaynaklı x-ışınının *Escherichia coli* ATCC 25922'ye karşı antibakteriyel etkisi.

X-ışını protokolü*	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet öncesi) kontrol grubu (K) cfu x 10 ⁵	Bakteri koloni sayısı (X-ışını maruziyet sonrası) test grubu (T) cfu x 10 ⁵	X-ışınının antibakteriyel etkisi % Azalma
1	230	60	74 (etkili)
2	210	174	17 (etkili)
3	275	172	38 (etkili)
4	255	203	21 (etkili)
5	267	228	15 (etkili)

*Tablo 3.2'deki röntgen tanı protokolleri numaraları 1- Yaş tayini, 2- Diz ağrısı, 3-Bel Ağrısı, 4-Kalça kırığı, 5- Trafik kazası.

Tablo 4.16'deki sonuca göre röntgenden kaynaklı x-ışınının *Escherichia coli* ATCC 25922'ye karşı etkinliği sırasıyla, 1'de %74, 3'te %38, 4'te %21, 2'de %17 ve 5'de %15 olarak saptanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Radyodiagnostik, hastanelerde hastaların tanı, tedavi ve takibinde sık kullanılan sistemler içerir. Röntgen ve BT görüntüleme cihazlarında tanı amacı ile x-ışını radyasyonu kullanılır. Kullanılan bu radyasyonun insan sağlığını tehdit etmeyecek sınırlarda kalması için birçok önlem alınır.

Mikrobiyota, diğer canlı birimler gibi dış etkenlerle etkileşim gösterebilir. Mikrobiyotayı oluşturan mikroorganizmaların popülasyonları arasında denge vardır. Bu dengenin bozulması disbiyoz olarak adlandırılır ve radyasyon da disbiyozun sebeplerinden biridir [27]. Mikrobiyota vücut hücreleri ile kıyaslanabilir sayıda ve küttededir. X-ışınları sık kullanıldığında insan hücresine zararlı olabilir. Benzer şekilde bu ışınların mikrobiyotaya da etkisi olabilir. Konu ile ilgili bugüne kadar çok kısıtlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bizim çalışmamızda x-ışınının insan deri ve bağırsak mikrobiyotalarında bulunan *S. Aureus*, *E. Faecalis*, *E. coli* ve *K. pneumoniae* bakterilerine karşı etkisi araştırılmıştır [28, 29].

Bu çalışmayı optimize etmek için bir seri ön deney yapılmıştır. Bu deneylerde 90 mm çapında olan petri kutularında hazırlanan besiyerlerinin dörtte bir alanına 10^6 cfu olacak şekilde 4 ayrı bakterinin kültürü yapıldı. Daha sonra önceden planlandığı şekilde x-ışınına maruz bırakıldı ve uygun koşulda inkübe edildi. Deney sonucunda yoğun bir üreme saptandı. Bu, üremenin x-ışınının bakterilere karşı etkisinin zayıf olması nedeniyle mi, yoksa bakterilerin üremeden önce mi x-ışınına maruz bırakılması gerektiği sorusunu doğurdu. Bu sorunu çözmek için deneylerin koşulları gözden geçirildi. Daha sonra bakterilerin x-ışınına maruz bırakılmadan üremesine izin verilen koloniler ile aynı ön deney tekrarlandı. Her alanın 4 farklı noktasından koloniler alınarak canlılığı kontrol edildi. Bu ikinci ön deneyde de yoğun bakteri üremesi görüldü ve birinci ön deneydeki sorumuza yeni bir yanıt aramamız gerekti. (Tablo 4.1-4.4).

Gerçek deneylere geçtiğimizde x-ışınının etkisini araştırmak için bakterileri besiyerinde daha geniş bir alana yaymamız gerektiğini düşündük, zira bir milyon bakteri kolonisi arasından ölenleri seçmenin ve saymanın imkânsız olduğunu gördük. Bütün deneyler 10^6 , 10^5 , 10^4 , 10^3 , 10^2 cfu sulandırma yapılarak aynı şekilde uygulanmıştır. Ayrıca, röntgende kullanılan x-ışını dozlarının bakterilere karşı etkisinin düşük olabileceği göz önüne alarak, gerçek deneylerin ilkinde daha yüksek x-ışını dozları veren bilgisayarlı tomografi tanı protokolleri kullanmaya karar verdik.

BT’de kullanılan tanı protokollerinin verdiği dozlardaki x-ışınının *S. aureus* ATCC 25923 bakterisine karşı etkinliği sonuçlarına göre sırasıyla en etkilisi %80 azalma ile 5. protokol, ardından %56 azalma ile 3. protokol, %27 azalma ile 4. protokol, %23 azalma ile 2. protokol olup; 1. protokol etkisiz bulunmuştur (Tablo 4.5). 5. protokol Batın Anjiyo adlı tıbbi protokole ait olup, aslında Tablo 3.3’de en yüksek toplam DPL değerine sahip olmadığı görülmektedir. Toplam DPL vücut bölgesinin aldığı radyasyonu hesaplamada kullandığımız, bize yaklaşık kıyaslama sunan bir değerdir. Fakat kullanılan tanı protokolleri arasında en uzun süren çekim 5. protokole aittir. Sürenin uzun olması alınan dozu direk etkilemiş olabileceği gibi, ortamın sıcaklığına etki etmiş ve üreme etkinliğine dolaylı olarak azalma sağlamış olabilir. İkinci en çok azalma olan 3. protokol yetişkin Kranial BT (4 kez kontrol çekimi) adlı tıbbi protokole ait olup, Tablo 3.3’de en yüksek toplam DPL değerine sahip tanı değeridir. Bu nedenle bu yüksek azalma değeri beklenen bir sonuçtur. *S. aureus* gibi Gram pozitif olan *E. faecalis* ATCC 29212 bakterisine aynı BT çekim protokolleri ile x-ışını maruziyeti sağlandığında, en etkili azalma %43 ile 5. protokol ve ikinci en büyük azalma %31 ile 3. protokolde görülmüştür. *E. faecalis* bakterisi de *S. Aureus*’e benzer sonuçlar göstermiştir. Diğer BT protokolleri her iki bakteri için de daha düşük etkiye sahip olmuştur (Tablo 4.6).

İki gram negatif çomak bakteriye (*K. pneumoniae* ve *E. coli*) BT ışını maruziyeti uygulandığında ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin x-ışınının *K. pneumoniae* ATCC 700603 bakterisine karşı 3. protokolde %99 gibi çok yüksek bir etkisi bulunurken, aynı protokolde *E. coli* ATCC 25922 bakterisine karşı %80 oranda azalma etkisi saptanmıştır. İkinci en yüksek azalım değeri ise her iki bakteri için farklı protokollerde gerçekleşmiştir. *K. pneumoniae* ATCC 700603 bakterisi ve *E. coli* ATCC 25922 bakterisine karşı 1. protokol etkisiz olarak saptanmıştır. Diğer protokollerde ise x-ışınının *K. pneumoniae* ATCC 700603 bakterisine etkisi, *E. coli* ATCC 25922’ye oranla daha etkili olmuştur (Tablo 4.7 ve 4.8).

Yeni nesil BT cihazlarında çekimler sırasında hasta kalınlığı, pozisyonu gibi durumları makine kendi algılayıp ışın şiddetini ayarlamaktadır. Işın alacak bölgenin uzunluğunun artması doğrudan verilecek dozu arttırmaktadır. Gerçek deneylerin ilk aşamasında, her bir bakteri aynı protokollere maruz kalmalarına rağmen farklı gün ve zamanlarda çekim yapıldığından dolayı, ikinci aşamada hasta kalınlığı, pozisyonu ve taranan alanın uzunluğundan kaynaklanan farklılıkları optimize etmek adına 4 bakteri aynı anda aynı çekim protokollerine (1-5) maruz bırakılarak BT dozları ile yapılan deneyler tekrar edilmiştir.

Tekrar edilen deneylerde, BT'den kaynaklı x-ışının etkisine bakıldığında 5. ve 3. protokollerin *S. aureus* ATCC 25923 bakterisine karşı sırasıyla %44 ve %39 etkili olduğu görüldü. Bu durum ilk yapılan gerçek BT deney sonuçları ile tamamen uyumlu bulundu (Tablo 4.9). *E. faecalis* ATCC 29212 bakterisinin 5. ve 3. protokollerdeki x-ışını etkinliği ilk gerçek BT deneyleri ile uyumlu bulundu fakat sırasıyla %4 ve %3 gibi çok düşük azalma değerleri olduğu görüldü (Tablo 4.10).

BT'den kaynaklı x-ışını etkisinde, *K. pneumoniae* ATCC 700603 bakterisinin 5. protokolde %26 ve 3. Protokolde %7 azalımı ilk sonuçlarla benzerlik taşımaktadır. *E. coli* ATCC 25922 bakterisinde de sırasıyla %36 ve %49 azalım görülmüştür ve ilk deneylerle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4.11 ve 4.12).

Pilot çalışmalar sonucu karar verilen yöntem ile BT dozları azalımı hesaplandıktan sonra, çok daha az x-ışını dozu verilen röntgenden kaynaklı x-ışınlarının gerçek deneylerde hazırlanan dört bakteriye karşı etkinliğine bakıldığında; röntgen kaynaklı x-ışınları, *S. aureus* ATCC 25923, *E. faecalis* ATCC 29212, ve *K. pneumoniae* ATCC 700603 bakterilerine karşı etkisiz bulunmuştur (Tablo 4.13, 4.14, 4.15). Ancak *E. coli* ATCC 25922 bakterisine karşı azalım etkinliği, sırasıyla, 1. protokolde %74, 3. protokolde %38, 4. protokolde %21, 2. protokolde %17 ve 5. protokolde %15 olarak saptanmıştır (Tablo 4.16). Pilot çalışmalarda herhangi bir etkinlik saptanmamışken, gerçek deneylerde kullanılan beş röntgen protokolündeki azalmanın sadece radyasyon kaynaklı olduğunu söylemek zordur. Yapılan bir çalışmada [30], x-ışının sitrik asit ile kombinasyonların sinerjistik etki yaparak ıspanak yaprakları üzerinde bulunan *Escherichia coli* O157:H7 ve *Listeria monocytogenes* karşı öldürücü etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde yüksek doz x-ışınlarının kullanıldığı bir çalışmada [31], x-ışınının 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 ve 2.0 kGy dozlarının maydanoz yaprakları üzerinde yapay olarak sürülen *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, and *Shigella flexneri*, bakterileri kullanılarak doğal microbiota etkisi incelenmiş; 2.0 kGy x-ışınının tüm denenen bakterilere karşı %99.999 (5 log azalma) bir etki yaptığını saptamıştır. Bizim çalışmamızdaki dozlar bu çalışmadaki dozlardan 10^6 oranda az olan mGy mertebesinde olup, düşük dozlarda da bakterilerin azaldığı saptanmıştır. Literatürdeki benzer başka bir çalışmada ise [32], patojen bakterilerden *Escherichia coli* O157: H7 ve başka birkaç tanesi yemeğe hazır karideste yapay olarak inoküle edilip, farklı x-ışını dozlarına (0.1, 0.2, 0.3, 0.5,

0.75, 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 kGy) maruz bırakılmış, x-ışının 2.0, 4.0, 3.0 ve 3.0 kGy dozlarının sırasıyla *E. coli* O157: H7, *S. enterica*, *S. flexneri* ve *V. Parahaemolyticus*, bakterilere karşı %99.9999 (6 logaritmik azalma) sağladığı ve 0.75 kGy dozunun ise mikrobiyotaya karşı $3.8 \pm 0.2 \log$ ile $<1.0 \log$ arasında değişik oranlarda etki gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışmadaki en yüksek doz olan 277,2 mGy lik doz bu çalışmadaki en düşük doz olan 0.1 kGy dozundan 10^3 kat daha düşük olup, *E. Coli* için % 80 azalma göstermiştir.

Bu çalışmanın, literatürdeki mevcut öldürme, inaktivasyon, sterilizasyon odaklı x-ışını doz maruziyeti çalışmalarından bir farkı [33,7,12] tanıda kullanılan doz değerleri ile görüntüleme cihazları üzerinde bir değişiklik yapılmadan, tıbbi rutinde kullanılan dozlara karşı etkinliğinin araştırılması iken; diğer bir önemli farkı ise, günümüzde kullanımı artmış olan tanı protokollerinin insan vücudunda barınan tek hücrelilerin hayatta kalma etkinliğini nasıl değiştirdiği araştırılmış olmasıdır.

Bu çalışmanın sınırlamaları:

1-X-ışınlarının bakterilere karşı etkisi genellikle az olduğu için bir milyon bakteri arasında öldürdüğü bakteri sayısını hesaplamak çok zor oldu.

2-Deneylerde standart bakteri suşları kullanıldı ve hasta mikrobiyota izolatları kullanılmadığı için tüm mikrobiyota bilgisi elde edilemedi.

2. Çalışmamızda x-ışınının bakteri DNA'sına yapabileceği muhtemel delesyon, mutasyon gibi genetik değişiklikler araştırılmadı.

Sonuç olarak, diagnostik radyolojide rutin tetkiklerde kullanılan Bilgisayarlı Tomografi x-ışını dozlarının canlı mikrobiyota üyelerinin üreme etkinliklerinde azalmaya neden olduğu, Röntgen x-ışını dozlarının herhangi bir azalmaya neden olmadığı deneyler sonucu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1]. Endo, M, 2021, History of Medical Physics, *Radiological Physics and Technology*, 14, 345–357
- [2]. Duck, F.A., 2014, The origins of medical physics, *Physica Medica*, 30(4), 397-402, ISSN 1120-1797
- [3]. EPA (United States Environmental Protection Agency), Significant Discoveries and History of Radiation Protection, 02.24.2022, www.epa.gov
- [4]. Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, IAEA Safety Glossary, 2016 Revision, 02.26.2022, www.ns.iaea.org
- [5]. The 2007 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection, ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4), 17.05.2022, www.icrp.org
- [6]. Pauling, L., 1931, The nature of the chemical bond. Application of results obtained from the quantum mechanics and from a theory of paramagnetic susceptibility to the structure of molecules, *Journal of the American Chemical Society*, 53, 1367–1400
- [7]. Můčka, V., Červenák, J., Reimitz, D., Čuba, V., Bláha, P., Neužilová, B., 2018, Effects of irradiation conditions on the radiation sensitivity of microorganisms in the presence of OH-radical scavengers, *International journal of radiation biology*, 94(12), 1142-1150
- [8]. Lederberg, J., McCray, A., 2001, Ome Sweet 'Omics—a genealogical treasury of words, *The Scientist*, 15(7), 8
- [9]. NIH HMP Working Group, 2009, The NIH Human Microbiome Project , *Genome Research*, 19, 2317-2323
- [10]. Bäckhed, F. et al., 2005, Host-bacterial mutualism in the human intestine, *Science*, 307(5717), 1915-1920
- [11]. Turnbaugh, P., Ley, R., Hamady, M. et al., 2007, The Human Microbiome Project, *Nature*, 449, 804–810

- [12]. Ley, R. E., et al., Ecological and evolutionary forces shaping microbial diversity in the human intestine, *Cell*, 124(4), 837-848
- [13]. Hollingsworth, B. A., Cassatt, D. R., DiCarlo, A. L., Rios, C. I., Satyamitra, M. M., Winters, T. A., & Taliaferro, L. P., 2021, Acute Radiation Syndrome and the Microbiome: Impact and Review, *Frontiers in pharmacology*, 12, 643283.
- [14]. Beiser, A., 2003, *Modern Fiziğin Kavramları*, 6. Baskı, McGraw-Hill, Boston
- [15]. Özdemir, İ., 2020, *Temel Tıbbi (Radyolojik) Görüntüleme Tekniği*, 2. Baskı, Hiper Tıp, İstanbul, ISBN: 978-9944-157-91-9
- [16]. Tallentire, A., 1980, The spectrum of microbial radiation sensitivity, *Radiation Physics and Chemistry*, 15 (1), 83-89, ISSN 0146-5724
- [17]. Demir, M., 2014, *Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları*, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Türkiye
- [18]. Thayalan, K., 2014, *The Physics Of Radiology and Imaging*, Jaypee, New Delhi, ISBN 978-93-5152-171-6
- [19]. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60. Ann ICRP. 1991, 21 (1–3), 1–201, 19.05.2020, www.icrp.gov
- [20]. Protecting People against Radiation Exposure in the Event of a Radiological Attack, ICRP Publication 96. Ann. ICRP 35 (1), 13.05.2022, www.icrp.org
- [21]. Harvard Health Publishing, Radiation risk from medical imaging, 08.05.2022, www.health.harvard.edu
- [22]. Chen,D.S., Escobedo, E.M., Eastman, J.G., Bloomstein, J.D., Taylor, S.L., Seibert, J.A., 2020, Dose-Area Product-to-Effective Dose Conversion Coefficients for Pelvic Radiography Using a Monte Carlo Program, *American journal of roentgenology*, 215(3), 679-684
- [23] Christner, J.A., Kofler, J.M., McCollough, C.H., 2010, Estimating Effective Dose for CT Using Dose–Length Product Compared With Using Organ Doses: Consequences of Adopting International Commission on Radiological Protection Publication 103 or Dual-Energy Scanning, *American journal of roentgenology*, 194(4), 881-889
- [24]. Neta, P., 1981, Redox Properties of Free Radicals, *Journal of Chemical Education*, 58(2), 110-113

- [25]. Procop, G.W., Church D.L., Hall G.S., Janda W.M., Koneman E.W., Schreckenberger P.C., Woods G.L., 2017, *Koneman's Color atlas and textbook of diagnostic microbiology*, Wolter Klower Health, 7th Edition, Philadelphia
- [26]. Köhler A.T., Rodloff A.C., Labahn M., Reinhardt M., Truyen U., Speck S., 2018, Efficacy of sodium hypochlorite against multidrug-resistant Gram-negative bacteria, *The Journal of hospital infection*, 100(3), 40-46.
- [27]: Sokol, H., Adolph, A.T., 2018, The microbiota: an underestimated actor in radiation-induced lesions?, *Gut*, 67(1), 1-2
- [28]. Chen, Y.E., Fischbach, M.A., Belkaid, Y., 2018, Skin microbiota-host interactions, *Nature*, 553(7689), 427-436.
- [29]. Kim, M., Vogtmann, E., Ahlquist, D.A., Devens, M.E., Kisiel, J.B., Taylor, W.R., White, B.A. Hale, V.L., Sung, J., Chia, N., Sinha, R., Chen, J.. 2020, Fecal metabolomic signatures in colorectal adenoma patients are associated with gut microbiota and early events of colorectal cancer pathogenesis, *mBio*, 11(1), 3186-19
- [30]. Jeon, M.J., Ha, J.W., 2020, Synergistic bactericidal effect and mechanism of X-ray irradiation and citric acid combination against food-borne pathogens on spinach leaves, *Food Microbiology*, 91,103543, ISSN 0740-0020
- [31]. Mahmoud, B.S.M., 2012, Effect of x-ray treatments on pathogenic bacteria, inherent microbiota, color and texture on parsley leaves, *Foodborne pathogens and disease*, 9(10), 922-928
- [32]. Mahmoud, B.S.M., 2009, Effect of x-ray treatments on inoculated *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica*, *Shigella flexneri* and *Vibrio parahaemolyticus* in ready-to-eat shrimp, *Food microbiology*, 26(8), 860-863
- [33]. Wyckoff, R.W., 1930, The Killing of certain bacteria by x-rays, *The Journal of experimental medicine*, 52(3), 435–446

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Kenan FIRAT
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Fakülte	Eğitim Fakültesi
Bölümü	Matematik Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	22.06.2009

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Doktora	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler	