

FARKLI IŞINLAMA DOZLARININ HAMBURGER KÖFTELERDE *E. coli* ve TOPLAM MEZOFİLİK AEROBİK BAKTERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Ayça Aylangan^{1*}, Halil Vural²

¹ TAEK, Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Ankara

² Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara

Özet

Bu çalışmada, ülkemizde önemli bir tüketim potansiyeli olan, özellikle ayaküstü yenilen gıdalar olarak adlandırılan fast food zincirlerinde yüksek miktarda tüketilen hamburger köftelerin muhafazası amacıyla ışınlama teknolojisi kullanılmıştır. Bu amaçla, dana kıymasından % 0.8 oranında NaCl içeren hamburger köfteleri üretilmiştir. Hamburger köfteleri iki gruba ayrılmış, bir grup *E. coli* ATCC 25922 suşu ile aşılırken, diğer grup aşılammıştır. İki farklı depolama sıcaklığında ve süresinde (+4 °C’de 8 gün ve -12 °C’de 30 gün), ürünün mikrobiyel güvenlik ve kalitesinin sağlanması amacıyla uygulanan 3 farklı ışınlama dozunun (0.4 kGy; 0.8 kGy ve 1.2 kGy) toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısı ve *Escherichia coli* üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda, *E. coli* için D₁₀ değeri 0.55 kGy olarak bulunmuştur. *E. coli* aşılammış hamburger örneklerinde gerçekleştirilen sayım sonuçlarına göre, 1.2 kGy doz uygulanmasının TMAB sayısında 2 log düzeyinde bir azalmaya yol açtığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Gıda ışınlama, hamburger köfte, *E. coli*

EFFECTS OF DIFFERENT RADIATION DOSES ON *E. coli* AND TOTAL MESOPHILIC AEROBIC BACTERIA IN HAMBURGER MEATBALLS

Abstract

In this study, the use of irradiation technology for the protection of hamburgers, which has an important consumption our country especially in fast food chains, was aimed. For this purpose, hamburger samples with 0.8 % NaCl content were produced from beef. The samples were divided into two groups. *E. coli* strain inoculation was performed for one party of the samples. In order to protect microbial safety and quality, three different irradiation doses (0.4 kGy; 0.8 kGy and 1.2 kGy) were applied and the total mesophilic aerobic bacteria (TMAB) count and *Escherichia coli* were examined at two different storage temperatures and times (8 days at +4 °C and 30 days at -12 °C). As a result of this study, D₁₀ value for *E. coli* was found to be 0.55 kGy. It was determined that 1.2 kGy dose reduced the number of microorganisms in *E. coli* uninoculated hamburger samples by 2 log when TMAB count was taken into account.

Keywords: Food irradiation, hamburgers, *E. coli*

GİRİŞ

Günümüzde gıdalar tüketicilere ulaşana kadar önemli kayıplara uğramaktadırlar. Et, tavuk ve balık gibi hayvansal gıdalardaki mikrobiyel bozulmalar göz önüne alındığında kayıp oranının

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author ;

E-posta: ayca.aylangan@taek.gov.tr Tel: (+90) 312 810 1736 Faks: (+90) 312 815 4307

artış gösterdiği belirtilmektedir (1). Ayrıca, mikrobiyel bozulmaya uğramış gıdaların tüketilmesi sonucu toplumda önemli sağlık problemleri ortaya çıkabilmekte, hatta ileri aşamalarda ölümler gözlenebilmektedir. Pastörizasyon ve sterilizasyon gibi diğer gıda işleme teknolojileri ile birlikte, ışınlama teknolojisinin kullanımının amacı, gıdanın besleyici değeri ve duyu kalitesinden ödün vermeden, patojen ve bozulma yapan mikroorganizmaların yok edilmesidir (2). Gıda güvenliğinde ışınlamanın kullanımı ve önemi son on yılda önemli ölçüde artış göstermiştir (3).

Işınlama çiğ et ve kanatlılarda (4), işlenmiş etlerde, peynirlerde (5, 6), bazı meyve sebze ürünlerinde patojen mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek amacıyla kullanılan etkili bir işlemdir (7). Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (United State Food and Drug Administration-FDA) 2 Aralık 1997 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde domuz, koyun ve dana etinde patojenik *E. coli* gibi zararlı mikroorganizmaların sayılarının azaltılması için ışınlama teknolojisinin uygulanmasını onaylamıştır. FDA, *E. coli* zehirlenmesi şüphesiyle 1997 yılının Ağustos ayında 11 bin ton hamburger etini piyasadan geri çektikten sonra bu kararı almıştır (8).

Mikroorganizmaların ışınlamaya karşı duyarlılığının tanımlanmasında D_{10} değeri kullanılmaktadır. Işınlama işlemi için D_{10} değeri, ortamdaki canlı mikroorganizma sayısını %90 oranında azaltmak için gerekli doz olarak tanımlanmaktadır. Işınlama dozunun mikroorganizmalara etkisi ışınlama sıcaklığı, oksijen varlığı, ışınlama uygulamasının etkinliği gibi faktörlerin yanı sıra su aktivitesi, pH, gıdanın kimyasal yapısı gibi hücre dışı parametrelere de bağlıdır (9).

Bu çalışmada hamburger köftelerin muhafazası amacıyla ışınlama teknolojisi kullanılmış ve bu amaç doğrultusunda, iki farklı depolama sıcaklığında ve süresinde, ürünün mikrobiyel güvenlik ve kalitesinin sağlanması amacıyla uygulanan ışınlama dozunun toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısı ve *E. coli* üzerine etkisi incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Kıyma ve bakteri kültürü

Bu çalışmada örnek olarak, Ankara iline bağlı Çankaya ilçesinde bir kasaptan temin edilen antrikot kıyma hamburger yapımı için kullanılmıştır. Hamburger hazırlanışı % 0.8 oranında NaCl kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin aşılınması için *E. coli* ATCC 25922 suşu kullanılmıştır.

Besiyerleri ve dilüsyon sıvıları

Bu çalışmada kullanılan besiyerleri ve dilüsyon sıvıları Merck (Darmstadt, Germany) kaynaklıdır.

Işınlama kaynağı

Işınlama işlemi, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde (SANAEM) bulunan ve Teknoloji Bölümü, Dozimetre Birimi tarafından işletilen Gama Işınlama Tesisi bünyesindeki, deneysel amaçlar için kullanılan ve ışınlama kaynağı Co^{60} elementi olan Gama-hücresinde (Issledovatelj-TENEX, Russia) yapılmıştır. Bu çalışmada, uygulanan ışınlama dozlarını tespit edebilmek amacıyla 0.1 – 3 kGy'lik doz

aralığında ölçüm yapabilen Harwell perspex dozimetreler (Harwell Gammachrome YR®, Perspex Dosimeter, Batch 62, Harwell, UK) kullanılmıştır.

Yöntem

***E. coli* suşunun aktifleştirilmesi**

E. coli 25922 suşunun Tryptic Soy Broth besiyeri kullanılarak ardı ardına iki defa kültürü yapılarak aktifleştirilmesi sağlanmıştır. Aktifleştirmeler 37 °C’da 24 saat inkübasyon yapılarak gerçekleştirilmiştir. Aktifleştirilmiş kültürdeki *E. coli* sayısını belirlemek amacıyla Maximum Recovery Diluent kullanılarak önce kültürün seri dilüsyonları hazırlanmış ve bu seri dilüsyonlardan Violet Red Bile (VRB) agara dökme plak yöntemi ile ekimler yapılmıştır. Ekim yapılan Petri kutuları 37 °C’da 24 saat inkübasyona alınmıştır. İnkübasyon sonunda aktifleştirilmiş kültürdeki *E. coli* sayısı 5.6×10^8 kob/mL olarak belirlenmiştir.

***E. coli* suşunun hamburger köftesi örneklerine aşılması**

Aşılama için hazırlanan hamburger kıyması harcına aktif hale getirilmiş sıvı besi yerindeki *E. coli*’den, örneklerdeki sayı 10^6 kob/g düzeyinde olacak şekilde aşılama yapılmıştır. Aşılama yapılan hamburger köfte harcı steril eldiven kullanılarak elle yoğrularak bakteri hücrelerinin köfte harcına homojen dağılımı sağlanmaya çalışılmıştır.

Hamburger köftesi örneklerinin ışınlanması ve depolanması

Hamburger köftesi örnekleri *E. coli* suşu ile aşılaman ve aşılamanmayan olarak iki gruba ayrılmış ve örnekler 0.4; 0.8 ve 1.2 kGy dozlarda ışınlanmıştır. Bu ışınlama dozları *E. coli* 25922 suşu ile yapılan ön denemelerden elde edilen sonuçlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Işınlanmamış hamburger köftesi örnekleri kontrol olarak ayrılmıştır. Örneklerin depolanmaları için +4 °C ve -12 °C olmak üzere iki farklı sıcaklık seçilmiş, +4 °C’da 0.; 2.; 5. ve 8. gün, -12 °C’da depolanan hamburgerlerde ise 0.; 2.; 5.; 8.; 15. ve 30. günlerde mikrobiyolojik analizler yapılmıştır.

Örnek dilüsyonlarının hazırlanması

Her bir 10 g örnek 90 mL Maximum Recovery Diluent kullanılarak stomacher ile 2 dakika homojenize edilmiştir. Böylece elde edilen 10^{-1} ’lik dilüsyondan 9 mL’lik Maximum Recovery Diluent içeren tüpler kullanılarak örneklerin uygun seri dilüsyonları hazırlanmıştır. Ekim yapılan Petri kutuları 37 °C’da 24 saat inkübasyona alınmıştır. İnkübasyon sonunda aktifleştirilmiş kültürdeki *E. coli* sayısı 5.6×10^8 kob/mL olarak belirlenmiştir.

Hamburger köftesi örneklerindeki *E. coli* sayımları

Sayımlar *E. coli* aşılammış ve aşılammamış hamburger köftesi örneklerinde ayrı ayrı yapılmıştır. En Muhtemel Sayı (EMS) yöntemi kullanılarak *E. coli* sayımları yapılmıştır. Maximum Recovery Diluent kullanılarak yapılan seri dilüsyonlardan içinde Durham tüpü bulunan Fluorocult Lauryl Sulphate Broth (Fluorocoult LST Broth) besiyerine ekimler yapılmıştır. 37 °C’da 24 saat inkübasyon sonunda besiyerinde bulanıklık ve gaz oluşumu görülen tüpler UV el lambası ile loş bir yerde kontrol edilmiştir. İnkübasyonun 24. saatinde

366 nm dalga boylu UV lamba ile floresan ışına veren tüpler *E. coli* pozitif olarak işaretlenmiş ve sonuç log EMS/g olarak verilmiştir (10).

Hamburger köftesi örneklerindeki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımları

Bu sayımlar *E. coli* aşılınmamış hamburger köftesi örneklerinde gerçekleştirilmiştir. TMAB sayımı için dökme plak yöntemi uygulanmış ve bu amaçla Plate Count Agar besiyeri kullanılmıştır (10). Örneklerin seri dilüsyonlarından 1 mL alınarak, Plate Count Agar besiyerine dökme plak yöntemi ile ekim yapılmış ve Petri kutuları 37 °C’da 48 saat inkübe edilmiştir. Sayım sonuçları log kob/g olarak verilmiştir.

İstatistiksel analiz

Mikrobiyolojik sayımlar dört kez tekrarlanmış ve sonuçlar bu dört tekrarın ortalaması olarak verilmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde; SPSS 15.0 Windows paket programı kullanılmış, öncelikle varyans çözümlemesi tekniği ve ardından önemli bulunan değişkenlere Duncan testi uygulanmıştır (11).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

***E. coli* sayımı sonuçları**

Bu çalışmada, *E. coli* aşılınmış örneklerin ışınlama, depolama sıcaklığı ve depolama süresine bağlı olarak değişen mikroorganizma sayımı sonuçları sırasıyla +4 °C’da depolananlar için Çizelge 1, -12 °C’da depolananlar için Çizelge 2’de verilmiştir. Tüm örneklerdeki başlangıç *E. coli* sayısı 7.5 log EMS/g olarak belirlenmiştir. Sayımlar ışınlamanın yapıldığı gün başlatılmış ve başlangıç sayım günü ilgili çizelgelerde 0. gün olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 1.

Çizelge 2.

Aşılama yapılmış örneklerde bulunan *E. coli* değerlerinin varyans analizi sonucunda +4 °C’da ve -12 °C’da depolanan örneklerin depolama zamanının önemsiz, ışınlama işleminin ise önemli ($P<0.05$) olduğu belirlenmiştir. Depolamanın 0. gününde kontrol örneğinde *E. coli* sayısı 7.50 ± 0.17 log EMS/g iken, 0.4; 0.8 ve 1.2 kGy dozlarında ışınlanan örneklerde sırasıyla 4.88 ± 0.70 log EMS/g, 3.79 ± 2.59 log EMS/g ve 2.67 ± 1.68 log EMS/g olarak bulunmuştur. +4 °C’da yapılan depolamada kontrol örneğine kıyasla 1.2 kGy’lik doz uygulanan örnekte depolamanın 0. gününde *E. coli* sayısında yaklaşık 5 log birimlik bir azalma gerçekleşmiş ve depolamanın 8. gününde de bu azalma seviyesi korunmuştur. +4 °C’da depolanan örneklerde 0.8 kGy ve 1.2 kGy arasındaki fark önemsiz iken, 0.4 kGy ile 0.8 kGy ve 1.2 kGy’lik doz uygulamaları arasındaki fark önemli ($P<0.05$) olarak bulunmuştur. Buna göre uygulanan son iki doz, *E. coli* sayısında 0.4 kGy’e göre önemli düzeyde azalmaya neden olmuştur.

-12 °C’daki depolama sıcaklığında ise depolamanın son günü olan 30. günde kontrol; 0.4; 0.8 ve 1.2 kGy doz uygulanan örneklerdeki *E. coli* sayımı sonuçları sırasıyla 6.88 ± 0.70 log EMS/g, 5.00 ± 1.94 log EMS/g, 3.09 ± 2.17 log EMS/g ve 2.72 ± 1.75 log EMS/g olarak bulunmuştur. Bu sıcaklıktaki depolamada *E. coli* sayısı üzerine ışınlamanın etkisi önemli ($P<0.05$) bulunmuştur. Ancak, 0.4 kGy ile 0.8 kGy ışınlama arasında ve 0.8 kGy ile 1.2 kGy arasında fark istatistik açıdan önemsiz iken 1.2 kGy ile 0.4 kGy arasındaki fark önemli çıkmıştır ($P<0.05$). Bu durumda, -12 °C’da yapılan depolamada 1.2 kGy’lik doz uygulaması ışınlama dozları arasında en yüksek düşüşe neden olmuştur.

İşinlamaya karşı bakterilerin duyarlılığını belirlemek amacıyla, D₁₀ değeri işinlama dozlarına karşı depolamanın 0. günündeki *E. coli* sayım sonuçlarının işaretlenmesiyle elde edilen eğrinin eğim değeri olarak hesaplanmıştır. Bu denklemden *E. coli* D₁₀ değeri 0.55 kGy olarak saptanmıştır (Şekil 1).

Şekil 1.

Araştırmacılar belli bakteriler için et ve et ürünlerinde işinlamanın D₁₀ değerinin genellikle 1 kGy'in altında olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bu değer işinlama ortamının nem ve sıcaklığı, hedef DNA'nın büyüklüğü, mikroorganizmanın vegetatif veya spor formunda olması, pH, gıdanın içeriği gibi birçok faktöre bağlı olduğu belirtilmektedir (1, 12). Ayrıca, D₁₀ değerinin en çok işinlama sıcaklığına bağlı olduğu ve yüksek işinlama sıcaklıklarının, daha düşük D₁₀ değerine sebep olduğu belirtilmektedir (13). Gıda bileşenlerinden bazıları radyolitik serbest radikaller ile etkileşim yapmak için hücreler ile rekabet halinde olabilmektedir ve bu yolla işinlamanın yol açtığı zararın net etkisi azalmaktadır ve böylece mikroorganizmalar daha fazla işinlama direncine sahip olmaktadır (14).

Al-Bachir ve ark. (12) laboratuvarlarına gelen kontamine olmuş gıdalardan izole ettikleri patojen olmayan *E. coli* aşılmasının yapıldığı tavuk kebabı örneklerinde D₁₀ değerini 0.40 kGy olarak bulmuşlardır. Mayer-Miebach ve ark. (15) tarafından *E. coli*'nin patojen olmayan suşlarının işinlama ile etkisinin giderilmesinin incelendiği çalışmada ise tavuk kıyması için *E. coli* DSM 498 D₁₀ değeri 0.47 kGy olarak bulunmuştur. Kıyma örnekleri üzerine Halkman (16) tarafından yapılan çalışmada *E. coli* Tip 1 için D₁₀ değeri 0.552 kGy olarak bulunurken, Borsa ve ark. (17) tarafından 4 °C'da depolanan kıyma örnekleriyle yapılan bir başka çalışmada, *E. coli* ATCC 25922 için D₁₀ değeri 0.126 kGy olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi literatürde yer alan işinlamanın mikroorganizmalar üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda *E. coli*'nin suşları ve denemelerde kullanılan gıda tipine göre D₁₀ değeri farklılık göstermektedir. Ayrıca, işinlama sıcaklığı D₁₀ değerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Hamburger köfteler ile yapılan bu çalışmada işinlama işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Hamburger köftelerde *E. coli* için 0.55 kGy olarak bulunan D₁₀ değeri literatürdeki çalışma sonuçları ile genelde uyum içerisindedir.

E. coli aşılması yapılmayan örneklerde de iki farklı depolama sıcaklığı için *E. coli* sayımı yapılmıştır. Tüm örnekler için başlangıç *E. coli* sayımı sonuçları 1.97 log EMS/g'dır. Yapılan istatistik analiz sonucunda +4 °C ve -12 °C depolanan örneklerin *E. coli* sayımı sonuçları üzerine işinlama işleminin istatistik olarak önemli ($P<0.05$) olduğu bulunmuştur. Ancak, her iki depolama sıcaklığında da uygulanan işinlama dozları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Tavuk göğsü filetoları 1.0 ve 1.8 kGy düzeyinde işinlandıklarında kontrol örneğinde gözlenen *E. coli* sayımı sonuçları 3.26 log₁₀ kob/200mL iken işinlanmış örneklerde sayının 1.15 log₁₀ kob/200mL'nin altına düştüğü belirtilmektedir (18). Bu çalışmada da hamburger köftesi örneklerindeki *E. coli* sayısının işinlama dozu arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Kontrol grubunda *E. coli* sayısı 1.97 kob/g iken 1.2 kGy'lik işinlama dozu uygulanan örnekte 0.52 kob/g olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan en yüksek 1.2 kGy'lik işinlama dozunun *E. coli* popülasyonunu azaltabildiği görülmüştür. Aynı şekilde, Lewis ve ark. (18) yaptıkları çalışmada da 1.0 ve 1.8 kGy'lik işinlama dozunun *E. coli* popülasyonunu azalttığını belirtmişlerdir.

TMAB sayımı sonuçları

TMAB sayımı *E. coli* aşılması yapılmayan hamburger köftesi örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. İki farklı depolama sıcaklığı için yapılan sayım sonuçları +4 °C'da

depolananlar için Çizelge 3, -12 °C’da depolanan örnekler için ise Çizelge 4’de gösterilmiştir. Kontrol örneklerinde başlangıç TMAB sayımı sonuçları 6.83 log kob/g’dır. Sayımlar ışınlamanın yapıldığı gün başlatılmış ve ilgili çizelgelerde bu 0. gün olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3.

Çizelge 4.

İki depolama sıcaklığının 0. gününde yapılan ölçümlerde 1.2 kGy’lik dozda ışınlanan örneklerde 2 log azalma sağlanmıştır. +4 °C’da depolanan örneklerde depolamanın son günü kontrol örneğinde sayımlar 2 log artış gösterirken, ışınlanmış örnekler ortalama 1 log artış göstermiştir. -12 °C’da depolanan tüm örneklerde depolama boyunca önemli bir artış olmamıştır. İki depolama sıcaklığında da depolama zamanları önemsiz bulunmuştur. TMAB sayısı üzerine ışınlamanın etkisi ise iki farklı depolama sıcaklığında da önemlidir ($P<0.05$).

+4 °C’da depolanan örneklerde ise, 0.4 kGy ile 0.8 kGy ışınlama arasında ve 0.8 kGy ile 1.2 kGy arasındaki fark istatistik açıdan önemsiz iken 1.2 kGy ile 0.4 kGy arasındaki fark önemli ($P<0.05$) çıkmıştır. Bu durumda, uygulanan 1.2 kGy’lik doz, ışınlama dozları arasında en yüksek düşüşe neden olmuştur. Bu sonuç, literatürde farklı gıda grupları için yapılan çalışmalar ile uyumludur. -12 °C’da depolanan örnekler incelendiğinde ise 0.8 kGy ile 1.2 kGy’lik doz arasındaki fark önemsizdir. Bu iki ışınlama dozu ile 0.4 kGy ışınlama arasındaki farkın önemli olduğu görülmüştür.

Çiğ olarak ışınlanan hamburger köftelerde $10^4 - 10^5$ kob/g kabul edilebilir bir toplam bakteri seviyesidir ve patojen olmamak kaydıyla bu seviyede mikroorganizma içeren bir ürün tüketime uygundur (19). -12 °C’da depolanan 1.2 kGy’lik dozda ışınlanan örneklerin 30. günde bile güvenlik sınırları içinde mikroorganizma içerdikleri gözlenmiştir.

TMAB sayısı beklendiği şekilde +4 °C’da depolanan örneklerde depolama sırasında artış göstermiştir. Ancak, ışınlanmış örneklerde bu artış daha düşük seviyede olmuştur. Kontrol örneğinde depolamanın 0. gününde 6.83 ± 0.12 log kob/g olan TMAB sayısı, depolama boyunca 2. gün 7.70 ± 0.62 log kob/g, 5. gün 8.14 ± 1.03 log kob/g ve 8. gün 8.40 ± 0.94 log kob/g olarak bulunmuştur. 1.2 kGy’lik dozda ışınlanan örnekte ise 0. gün 4.76 ± 0.91 log kob/g olan TMAB sayısı depolama boyunca az bir artışla 8. gün 5.28 log kob/g’a ulaşmıştır. Karadağ ve Güneş (20) köfte ve kıyma örnekleri ile yaptıkları çalışmada da benzeri sonuçlara ulaşmışlardır. Hamburger köftelerle yapılan bu çalışmada da 1.2 kGy’lik doz uygulamasında 2 log’lık bir azalış gözlenmiştir.

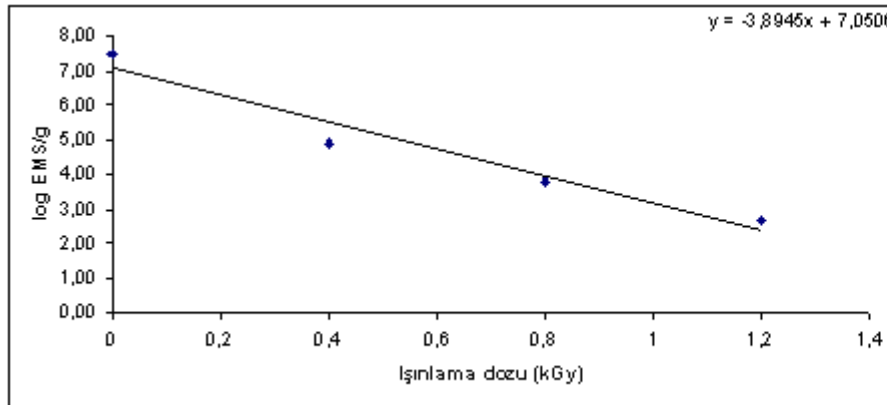
Aynı şekilde, elektron demeti ışınlamalarında 1 kGy’lik ışınlama dozunun tavuk etlerinde toplam aerobik canlı sayısını 2 – 3 log birimi kadar azalttığı belirtilmektedir (18). Bu ışınlamalarda elektronların giriciliği düşük seviyelerdedir. Bu nedenle, Co^{60} kaynağı ile yapılan gama ışınlamaları ile elektron demeti ışınlamaları karşılaştırıldığında, kırmızı etlerde gama ışınlamasının genellikle elektron demeti ışınlamalarına göre bozulma yapan mikroorganizma sayısının azaltılmasında daha etkili olduğu belirtilmektedir (21).

Işınlama mikroorganizmalar üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda TMAB sayısının kontrol örneklerinde $10^5 - 10^7$ kob/g seviyesinde olduğu belirtilmektedir (22, 23). Hamburger köftelerle ilgili yapılan bu çalışmada da TMAB sayısı kontrol örneklerinde aynı seviyelerde bulunmuştur. Sonuç olarak, hamburger köftelerin mikrobiyolojik kalitesinin korunmasında 1.2 kGy ve daha düşük ışınlama dozu uygulamalarının yeterli olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Karadağ A. 2005. Gama ışınlarının kıyma ve köftelerin kalitesi üzerine etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 88 s.
2. Anon 1999. World Health Organization (WHO). High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. *WHO Technical Report Series*, Geneva, 890, 9-37.
3. Kim J, Moreira RG, Huang Y, Castell-Perez ME. 2007. 3-D dose distributions for optimum radiation treatment planning of complex foods. *J Food Eng*, 79, 312–321.
4. Thayer DW, Boyd G, Fox JB, Lakritz L, Hampson JW. 1995. Variations in irradiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J Food Sci*, 60, 63–67.
5. Bougle DL, Stahl V. 1994. Survival of *Listeria monocytogenes* after irradiation treatment of camembert cheeses made from raw milk. *J Food Prot*, 57, 811–813.
6. Ennhar S, Kuntz F, Strasser A, Bergaentzle M, Hasselman C, Stahl V. 1994. Elimination of *Listeria monocytogenes* in soft and red smear cheeses by irradiation with low energy electrons. *Int J Food Sci Technol*, 29, 395–403.
7. Sommers CH, Boyd G. 2006. Variations in the radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with comple ready-to-eat food products. *Radiat Phys Chem*, 75, 773–778.
8. Raffi J. 1998. Identifying irradiated foods. *Trends Anal Chem*, 17, 4, 226–233.
9. Pinto P, Verde SC, Trigo MJ, Santana A, Botelho ML. 2007. Food irradiation: Microbiological, nutritional and functional assessment, radionuclide concentrations in food and the environment. *Radionuclide Concentrations in Food and the Environment*. Pöschl M, Nollet LML (ed), CRC press, Taylor&Francis Group, USA, pp. 411-438.
10. Halkman K (ed). 2005. *Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları*. Başak Matbaacılık Ankara, Türkiye, 358 p.
11. Eymen UE. 2007. SPSS 15.0 ile veri analizi. İstatistik Merkezi. <http://www.istatistikmerkezi.com/e-kitap.spss-150-ile-veri-analizi.19.html>, 168 s.
12. Al-Bachir M, Farah S, Othman Y. 2010. Influence of gamma irradiation and storage on the microbial load, chemical and sensory quality of chicken kabab. *Radiat Phys Chem*, 79, 900-905.
13. Yıldırım I, Uzunlu S, Topuz A. 2005. Effect of gamma irradiation on some principle microbiological and chemical quality parameters of raw Turkish meat ball. *Food Control*, 16, 363–367.
14. Jo C, Kim HJ, Kim DH, Lee WK, Ham JS, Byun MW. 2007. Radiation sensitivity of selected pathogens in ice cream. *Food Control*, 18, 859–865.
15. Mayer-Miebach E, Stahl MR, Eschrig U, Deniaud L, Ehlermann DAE, Schuchmann HP. 2005. Inactivation of a non-pathogenic strain of *E. coli* by ionising radiation. *Food Control*, 16, 701–705.
16. Halkman HBD. 2004. Death kinetics of *E. coli* O157:H7, *E. coli* and naturel contaminant Coliforms in minced beef during irradiation treatment and storage. *Turk J Vet Anim Sci*, 28, 915–920.
17. Borsa J, Lacroix M, Ouattara B, Chiasson F. 2004. Radiosensitization: enhancing the radiation inactivation of foodborne bacteri. *Radiat Phys Chem*, 71, 135-139.

18. Lewis SJ, Velasquez A, Cuppett SL, McKee SR. 2002. Effects of electron beam irradiation on poultry meat safety and quality, Processing and Products. *Poultry Sci*, 81, 896 – 903.
19. Gezgin Z. 2005. Gama ışınlarının çiğ köftenin mikrobiyel güvenliği ve kalitesine etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 69 s.
20. Karadağ A, Güneş G. 2008. The effects of gamma irradiation on the quality of ready-to-cook meatballs. *Turkish J Vet Animal Sci*, 32, 4, 269–274.
21. Park JG, Yoon Y, Park JN, Han IJ, Song BS, Kim JH, Kim WG, Hwang HJ, Han SB, Lee JW. 2010. Effects of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory, and bacterial populations in beef sausage patties. *Meat Sci*, 85, 368-372.
22. Chouliara I, Samelis J, Kakouri A, Badeka A, Savvaidis IN, Riganakos K, Kontominas MG. 2006. Effect of irradiation of frozen meat/fat trimmings on microbiological and physicochemical quality attributes of dry fermented sausages. *Meat Sci*, 74, 303–311.
23. Javanmard M, Rokni N, Bokaie S, Shahosseini G. 2006. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. *Food Control*, 17, 469–473.



Şekil 1. *E. coli* D₁₀ değerinin hesaplanması

Çizelge 1. +4 °C’da depolanan *E. coli* aşılması yapılmış hamburger köftelerinin *E. coli* sayısında gözlenen değişim (log EMS/g)*

Doz	Zaman (gün)				Ort
	0.	2.	5.	8.	
Kontrol	7.50±0.17	7.80±0.24	7.47±0.21	7.63±0.00	7.60 ^c
0.4 kGy	4.88±0.70	5.17±1.70	5.63±1.41	4.97±1.41	5.16 ^b
0.8 kGy	3.79±2.59	3.29±1.88	3.17±2.39	3.07±2.13	3.33 ^a
1.2 kGy	2.67±1.68	2.55±1.52	1.98±0.70	2.43±1.34	2.41 ^a

^{a-c} Farklı üstel harflere sahip örnekler arasındaki fark önemlidir ($P<0.05$)

* Ortalama değer ± SD (n=4)

Çizelge 2. -12 °C’da depolanan *E. coli* aşılması yapılmış hamburger köftelerinin *E. coli* sayısında gözlenen değişim (log EMS/g)*

Doz	Zaman (gün)						Ort.
	0.	2.	5.	8.	15.	30.	
Kontrol	7.50 ±0.17	7.63 ±0.35	7.50 ±0.17	7.13 ±0.35	7.42 ±0.77	6.88 ±0.70	7.34 ^c
0.4 kGy	4.88 ±0.70	5.00 ±2.87	4.97 ±1.41	4.83 ±1.70	4.88 ±2.12	5.00 ±1.94	4.92 ^b
0.8 kGy	3.79 ±2.59	3.67 ±3.10	3.05 ±2.22	3.76 ±3.11	3.05 ±2.22	3.09 ±2.17	3.40 ^{ab}
1.2 kGy	2.67 ±1.68	2.67 ±1.68	2.93 ±2.05	2.55 ±1.52	2.17 ±0.98	2.72 ±1.75	2.62 ^a

^{a-c} Farklı üstel harflere sahip örnekler arasındaki fark önemlidir ($P<0.05$)

* Ortalama değer ± SD (n=4)

Çizelge 3. +4 °C’da depolanan örneklerin TMAB sayısı sonuçları (log kob/g)*

Doz	Zaman (gün)					Ort
	0.	2.	5.	8.		
Kontrol	6.83±0.12	7.70±0.62	8.14±1.03	8.40±0.94		7.77 ^c
0.4 kGy	6.01±0.48	5.91±0.60	5.80±0.33	6.95±1.18		6.17 ^b
0.8 kGy	5.19±0.26	5.17±0.27	5.68±0.55	6.07±1.13		5.53 ^{ab}
1.2 kGy	4.76±0.91	4.61±0.74	4.67±0.20	5.28±0.36		4.83 ^a

^{a-c} Farklı üstel harflere sahip örnekler arasındaki fark önemlidir ($P<0.05$)

* Ortalama değer ± SD (n=4)

Çizelge 4. -12 °C’da depolanan örneklerin TMAB sayısı sonuçları (log kob/g)*

Doz	Zaman (gün)						Ort.
	0.	2.	5.	8.	15.	30.	
Kontrol	6.83 ±0.12	6.76 ±0.51	5.79 ±1.00	6.49 ±0.45	6.26 ±0.47	6.39 ±0.33	6.42 ^c
0.4 kGy	6.01 ±0.48	5.35 ±1.14	6.12 ±0.79	5.75 ±0.06	5.98 ±0.52	5.84 ±0.35	5.84 ^b
0.8 kGy	5.19 ±0.26	4.23 ±1.55	5.22 ±0.27	5.14 ±0.45	5.24 ±1.13	4.87 ±0.70	4.98 ^a
1.2 kGy	4.76 ±0.91	4.95 ±0.14	4.80 ±0.70	4.75 ±0.37	4.90 ±0.65	4.65 ±0.46	4.80 ^a

^{a-c} Farklı üstel harflere sahip örnekler arasındaki fark önemlidir ($P<0.05$)

* Ortalama değer ± SD (n=4)