

Review Article

Gıda Işınlamanın Türkiye’de Gelişim Sürecindeki Önemli Adımlar**Erhan İÇ *¹, Ayça AYLANGAN ¹**¹TENMAK Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü, Kahramankazan, Ankara, Türkiye

*Corresponding author e-mail: erhan.ic@tenmak.gov.tr

ÖZET**MAKALE
BİLGİSİ**

Geçen yüzyılda nükleer bilim ve teknolojinin barışçıl amaçlarla sağlık, çevre, enerji üretimi gibi alanlarda kullanılması yanında gıda muhafazasında kullanılması da önemli seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Gıda ışınlama olarak adlandırılan bu prosesin ticari olarak yaygınlaşmasında Türkiye önemli bir rol üstlenmiş ve dünyada ilk endüstriyel tahıl ışınlama tesisi 1967 yılında ülkemizde kurulmuştur. Bu önemli gelişmeden sonra ülkemiz dünya ile birlikte bu konudaki çalışmalara ortak olmuş ve aktif olarak katılmıştır. 1990’lı yıllarda gerekli teknik ve yasal alt yapıyı hazırlayarak önemli adımlar atan Türkiye, yaklaşık 25 yıldır bir gıda ışınlama yönetmeliğine ve yasal ticari uygulama deneyimine sahip bulunmaktadır. Bugün gelinen noktada biri TENMAK - NÜKEN bünyesinde diğeri ise özel sektöre ait iki adet gama ışınlama tesisi tam kapasite ticari gıda ışınlama faaliyetini sürdürmektedir. Diğer taraftan TENMAK - NÜKEN bünyesinde gıda ışınlama konusunda geniş bilgi birikimine sahip personeli ve laboratuvar alt yapısı ile gıda sektörüne her türlü teknik desteği sağlamaktadır. Bu makalede gıda ışınlama konusunda ülkemizde yaşanan sürece ilişkin bilgiler tarihsel süreç takip edilerek, dünyadaki gelişmeler ile birlikte öz olarak verilmeye çalışılmıştır.

Geliş:
04.10.2023
Kabul:
23.11.2023

Anahtar kelimeler: Nükleer teknoloji, gıda ışınlama, Türkiye, radyasyon**Important Steps in the Development Process of Food Irradiation in Türkiye****ABSTRACT****ARTICLE
INFO**

In the last century, the use of nuclear science and technology for peaceful purposes in areas such as health, environment, and energy production, as well as its use in food preservation, has emerged as an important option. Turkey played an important role in the commercial spread of this process, called food irradiation, and the first industrial grain irradiation facility in the world was established in our country in 1963. After this important development, our country has become a partner and actively participated in the studies on this subject together with the world. Türkiye, which took important steps by preparing the necessary technical and legal infrastructure in the 1990s, has had food irradiation regulation and legal commercial practice experience for approximately 25 years. Today, two gamma irradiation facilities, one within TENMAK - NÜKEN and the other belonging to the private sector, continue their commercial food irradiation activities at full capacity. On the other hand, TENMAK - NÜKEN provides all kinds of technical support to the food industry with its staff and laboratory infrastructure and extensive knowledge on food irradiation. In this article, information about the process experienced in our country regarding food irradiation has been tried to be given concisely, along with the developments in the world, by following the historical process.

Received:
04.10.2023
Accepted:
23.11.2023

Keywords: Nuclear technology, food irradiation, Türkiye, radiation

Cite this article as: İç, E., & Aylangan, A. (2023). Gıda ışınlamanın Türkiye’de gelişim sürecindeki önemli adımlar. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 13(2), 196-209. <https://doi.org/10.53518/mjavl.1371345>

GİRİŞ

II. Dünya Savaşından sonra modern dünyayı şekillendiren küreselleşme ve artan dünya nüfusuna bağlı olarak ortaya çıkan yüksek gıda talebi, gıda muhafaza teknolojileri alanında kendine özgü ihtiyaçları da ortaya çıkarmıştır. Bu noktada gıda ışınlama teknolojisi hem alternatif bir muhafaza yöntemi olması, hem de devamlı gelişen ve yaygınlaşan uygulamalarıyla her zaman üzerinde konuşulan bir teknolojik yenilik olarak tüketicinin kabulüne sunulmuştur.

Dünyada gıda ışınlama konusunda geçen yüzyıldaki ilerlemenin üç dönem olarak değerlendirilmesi yerinde olur (Diehl, 2001). 20. yüzyılın ilk yarısında, iyonlaştırıcı radyasyon kullanılarak gıdalarda bozulmaya neden olan mikroorganizmaların ve böceklerin inhibisyonuna yönelik ön çalışmalar; 1950-1970 arasındaki dönemde yeni kullanılmaya başlayan radyoizotop kaynakları (kobalt-60 ve sezyum-137), elektron hızlandırıcıları (e-beam) ve X-ışınları yardımıyla dekontaminasyon, böceklenmenin önlenmesi ile patates ve soğan gibi ürünlerde filizlenmesinin önlenmesi gibi amaçları yerine getirmek için optimum ışınlama koşullarının araştırılmasına yönelik teknolojik çalışmalar; 1970-1999 arasındaki dönemde ise ışınlanmış gıdaların sağlık yönünden güvenilirliği, yasal düzenlemelerin uluslararası düzeyde uyumlaştırılması ve teknolojinin ticari uygulamasının yaygınlaşması olarak özetlenebilir.

Günümüzde gıdaların ışınlanması prosesi iyi bilinen ve köklü bir teknoloji haline gelmiş olup (Ehlerman, 2016), gıda maddesine, istenilen bir teknolojik amaca ve usulüne uygun olarak yeterli bir radyasyon dozu uygulanması ‘gıda ışınlama’ olarak tanımlanmaktadır. Işınlanan gıdanın 1 kg’ı başına absorblanan ortalama radyasyon enerjisinin kilojul olarak miktarı, yani doz Kilo Gray (kGy) olarak ifade edilir. Bir teknolojik bir amaca ulaşmak için gıdaya verilen en yüksek absorblanan doz 10 kGy’i geçemez. Bu uygulamada üç farklı tip radyasyon kaynağından yararlanılmasına izin verilmiştir: i) Radyoaktif izotopların bozunmasıyla üretilen gama (γ) ışınları: Yüksek enerjili γ ışınlarının üretimi için en yaygın olarak kullanılan izotop kobalt-60 (^{60}Co) olup, radyoaktif olmayan kobalt-59’un bir nükleer reaktörde nötronlarla bombardıman edilmesiyle üretilmektedir. ii) Makine kaynakları kullanılarak üretilen β parçacıkları şeklindeki yüksek enerjili elektronlar (en yüksek 10 MeV, milyon elektron volt). iii) Makine kaynakları tarafından üretilen yüksek enerjiye sahip elektronların uygun bir hedef üzerine çarpıtılması ile elde edilen X-ışınları (en yüksek 5 MeV) (Gıda Işınlama Yönetmeliği, 1999; Wang et al., 2019). Bu proste kullanılması izin verilen radyasyon kaynaklarına yakın ölçekte baktığımızda ‘iyonize radyasyon’ terimi karşımıza çıkmakta ve ‘ışınlama’ terimi yerine de kullanıldığı görülmektedir. İyonize radyasyon (IR) elektromanyetik dalgaların veya yüksek hızlı atomik veya atom altı parçacıkların geniş enerji spektrumunu ifade eder. İyonize radyasyona örnek olarak, en azından bir yörünge elektronunu çıkararak bir atomu iyonlaştırmak için yeterli enerjiye sahip olan X-ışınları, γ -ışınları ve yüklü parçacıklar (elektronlar, α -parçacıkları ve β -parçacıkları) gibi elektromanyetik radyasyonlardır. Diğer bir deyişle 2500×10^6 MHz’in üzerindeki elektromanyetik radyasyon çoğunlukla iyonize radyasyon olarak nitelendirilir. İyonize olmayan radyasyon (NIR) ise, atomun bir elektronunu uzaklaştırmak için yeterli enerjiye sahip olmayan elektromanyetik radyasyondur. Bu radyasyon tipine örnek olarak; ultraviyole (UV), görünür ışık, kızılötesi (IR), mikrodalgalar (radyo ve televizyon) ve son derece düşük frekans (ELF, EMF veya ELF-EMF) verilebilir (Ali Omer et al., 2012; Dogan Halkman et al., 2014).

Bugüne değin kazanılan deneyimler bu tekniğin birçok avantajının olduğunu ortaya koymuştur (CODEX, 2003; WHO, 1981 ve 1999; Roberts, 2014): 1. Sağlık yönünden güvenilirliği onaylanmıştır, 2. Çok yönlü uygulamaları mevcuttur, 3. Spor yapmayan tüm bakterilere, böceklere ve diğer birçok zararlılara karşı geniş spektrumda etkinliğe sahiptir, 4. Soğuk bir işlemdir, 5. Gıdalar son ambalajlarında ışınlanır, 6. Katı, çiğ gıdalar ışınlanabilir, 7. Işınlama sonucunda kimyasal kalıntı oluşmamaktadır. Gıda ışınlama prosesinde çok yönlü uygulamalar için kullanılan doz aralıkları üç gruba ayrılabilir: i) Düşük doz aralığı (20 Gy-1 kGy): Amaç patates, kuru soğan, sarımsak, arpacık soğanı vb. ürünlerde 20-150 Gy doz aralığında çimlenme/filizlenme sürecini durdurmak, ayrıca meyvelerin olgunlaşması gibi fizyolojik süreçleri 0.2-1 kGy doz aralığında geciktirmektedir. Aynı şekilde meyveler, depolanan tahıllar, bakliyatlar, un, baharatlar, kuruyemişler, kurutulmuş balıkçılık ürünleri vb. ürünlerde böceklenmenin neden olduğu kayıpları önlemek için 0.2-1 kGy doz aralığında ışınlama gerçekleştirilir. ii) Orta doz aralığı (1-10 kGy): Amaç bozulmaya neden olan mikroorganizmaların sayısında önemli bir azalma sağlayarak gıdaların muhafaza kalitesinin artırılmasıdır. Hedefe ulaşmak için taze et ve deniz ürünlerinin yanı sıra sebze ve meyvelere 1-10 kGy aralığında ürüne özgü bir doz verilebilir. iii) Yüksek doz aralığı (10-70 kGy): 10-30 kGy ışınlama dozu, baharatların, şifalı otların ve

diğer kurutulmuş sebzelerin mikrobiyal dekontaminasyonu ile patojenik organizmalar da dahil olmak üzere bu tür ürünlerde mevcut olan toplam mikrobiyal yükte önemli bir azalma elde edilir. 25-70 kGy doz aralığında gerçekleştirilen ışınlamayı ise sterilizasyon olarak tanımlamak mümkündür. Bu doz aralığındaki ışınlama, hastane ve uzay gıdaları gibi birçok özel ürünün raf ömrünü neredeyse süresiz olarak uzatır (Sanyal and Ghosh, 2022).

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency, IAEA), Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agricultural Organization, FAO), Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) ve Avrupa Komisyonu Gıda Bilimsel Komitesi (The Scientific Committee on Food, SCF) gibi birçok uluslararası kuruluş, uygun teknolojilerle ışınlanmış gıdaların eşit derecede güvenli ve beslenme açısından kabul edilebilir olduğunu bildirmişlerdir (Farkas and Mohácsi-Farkas, 2011). Uluslararası düzeydeki bu kabul ile birlikte özelleştirilmiş hizmetlerin sunulmasına olanak sağlayan yeni tiplerdeki ışınlama sistemlerinin geliştirilmesi bu teknolojiyi kullanan ülke veya firmaların rekabette başarılı olmalarına ve ışınlanmış gıda ticaret hacminin artmasına neden olmuştur. Roberts (2016)'e göre dünyada toplam ışınlanan gıda miktarı yaklaşık 1.000.000 tona ulaşmıştır.

Ülkemiz özelinde ise gıda ışınlama teknolojisinin uygulama sürecinin, dünyada nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanılması yönündeki atılımlarla birlikte değerlendirilmesi gerekir. Türkiye'de nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımı ve ışınlama teknolojisi ile gıda muhafazası konusundaki çalışmalar, 60'lı yıllardan başlayarak Türkiye Atom Enerjisi Komisyonu (AEK), daha sonra Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ve Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) ile ulusal (Devlet Planlama Teşkilatı, TÜBİTAK) ve uluslararası organizasyonların (FAO ve IAEA) destekleriyle çeşitli üniversite ve araştırma enstitülerinin ortak çalışmalarıyla yürütülmüştür. Ülkemizde, gıda ışınlama alanında gerçekleştirilen çalışmaları konu alan bu derlemede, mevcut bilgiler kısa ve öz olarak bir araya getirilerek ülkemizdeki gelişmelere değinilecektir.

Nükleer Bilim ve Teknolojinin Barışçıl Amaçlarla Kullanımı

Radyoaktivite 1896 yılında keşfedilmesine rağmen (McKinley, 1994), nükleer teknolojinin barışçıl amaçlarla kullanımı konusu 2. Dünya Savaşı sonrasında yoğun olarak gündeme gelmiştir. Birleşmiş Milletler Teşkilatı (BM), 1945 yılındaki kuruluşunun ardından en önemli çalışmalarında birisi nükleer alanda küresel iş birliğinin sağlanması olmuştur. Ocak 1946 tarihinde uluslararası kontrol ve nükleer enerjinin barışçıl gelişimi ile ilgili detaylandırılmış önerilerde bulunması amacıyla BM Atom Enerjisi Komisyonu'nun oluşturulması kabul edilmiş ve söz konusu komisyon Ocak 1952 tarihinde lağvedilene kadar BM Güvenlik Konseyi'ne çok sayıda rapor hazırlayarak sunmuştur (Sharma, 1995).

Ancak, 8.12.1953 tarihinde, ABD Başkanı Dwight D. Eisenhower'ın BM Genel Kurulu'nda, nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımını yaygınlaştıracak fakat aynı zamanda nükleer enerjinin askeri amaçlarla kullanımını önleyecek, uluslararası bir sistemin kurulmasını öngören bir plan önermesi önemli bir dönüm noktası olarak nitelendirilmektedir. Kısaca 'Barış için Atom' adıyla anılan bu öneri Uluslararası Atom Enerji Ajansı'nın kurulmasına yol açmıştır. 1954 yılında Atom Enerjisi Anlaşması (Atomic Energy Act of 1954) kabul edilince, daha önceleri McMahon Yasası (The Atomic Energy Act of 1946) ile nükleer konularda getirilmiş olan sıkı yasaklar önemli bir şekilde azaltılarak 'Barış için Atom' programına yasal bir dayanak oluşturulmuştur (Weiss, 2003).

IAEA'nın kuruluşunu kolaylaştıran diğer bir etken ise, 'Birleşmiş Milletler Birinci Cenevre Konferansı' (Atomic Energy - First International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, 8-20.8.1955) olmuştur. Bu konferansta 1939'dan beri gizli olarak yürütülen nükleer çalışmalarla ilgili, nükleer silah yapımı bilgileri hariç, tüm bilgiler 2500 kişiyi aşkın katılımcının kullanımına sunulurken, burada elde edilen bilgiler, pek çok ülkeyi nükleer enerjinin barışçıl kullanımından yararlanmak üzere nükleer araştırmalar yapmaya ve kurulması önerilen IAEA'ya sıcak bakmaya yöneltmiştir. 1955 yılı mayıs ayında Türkiye ABD ile AEA/54 altında nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımı ile ilgili iş birliği Antlaşması'nı imzalarken, IAEA Birleşmiş Milletler'in özerk bir alt kuruluşu olarak 29.7.1957 tarihinde kurulmuş ve Türkiye de IAEA'nın kurucu üyeleri arasında yer almıştır (Dayday, 2007; Fischer, 1997). 10.6.1955 tarihinde Türkiye ile ABD arasında 'Atom Enerjisinin Sivil Sahada İstimali Hususunda İş Birliğine Dair' ikili iş birliği anlaşması imzalanmış olup, 14.12.1956 tarih ve 6864 sayılı yasayla TBMM'de onanarak yürürlüğe girmiştir (Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Arasında Atom Enerjisinin Sivil Sahada İstimali Hususunda İşbirliğine Dair Anlaşma, 1956a). Bu anlaşma 27.4.1961 tarihinde revize edilerek, ABD'den

sağlanacak nükleer yakıt ile ilgili yeni düzenlemeler yapılmış (ABD'den temin olunacak nükleer yakıtın zenginlik derecesi %20'den %90'a yükseltilmektedir) ve anlaşma 14.7.1961 tarihinde onaylanmıştır (Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Arasında Atom Enerjisinin Sivil Sahada İstimali Hususunda İş Birliğine Dair Anlaşmanın Değiştirilmesi Hakkında Kanun, 1961a). ABD'nin bu anlaşma kapsamında sağlayacağı eğitim ve teknik yardım taahhüdü sonucunda, Ar-Ge alanında ortaya çıkan olanakları değerlendirmek amacıyla İstanbul Üniversitesi (İÜ) ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) arasında ortak araştırma merkezi (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, ÇNAEM) kurulması ve bir araştırma reaktörünün inşa edilmesi amacıyla 1956 yılında İÜ-İTÜ Reaktör Komitesi oluşturulmuştur (Bayülken, 2006). Diğer taraftan Atom Enerjisi Komisyonu, 27.8.1956 tarihinde hazırlanan 6821 sayılı Atom Enerjisi Komisyonu (AEK) yasası ile Başbakanlık'a bağlı olarak Ankara'da kurulmuştur (Atom Enerjisi Komisyonu Kurulması Hakkında Kanun, 1956b). Bu yasanın kabulünün ardından, 26.10.1956 tarihinde New York'ta imzalanan üyelik anlaşması, 14.6.1957 tarihinde 7015 sayılı yasayla onaylanarak Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na (IAEA) üye olunmuştur (Milletlerarası Atom Enerjisi Ajansı Statüsünün Tasdiki Hakkında Kanun, 1957). Bu gelişmeler ışığında, 'İÜ-İTÜ Reaktör Komitesi' 1958'de lâğvedilerek görevi AEK'ya devredilmiştir (Bayülken, 2006). 28.10.1960 tarihinde Türkiye tarafından 'Paris Sözleşmesi' imzalanmış ve bu sözleşme 8.5.1961 tarihinde Nükleer Enerji Sahasında Hukuki Mesuliyete Dair Sözleşmenin Tasdiki Hakkında Kanun (1961b) onanmıştır. 1959 ile 1961 yılları arasında çıkarılan yeni yasalarla izotop üretimi ve bazı uygulamalar için yeni düzenlemeler getirilmiştir. Türkiye Atom Enerjisi Programının Tatbik Şekli Hakkında Kanun (1959) ile nükleer enerjinin pratik anlamda belirli bir alana uygulanarak, radyoizotop üretiminin yasal çerçevesi oluşturulurken, 1961 yılında çıkartılan 234 sayılı Atom Enerjisi Komisyonunun Kurulması Hakkındaki Kanunun 2 nci Maddesinin (K) Fıkrasının Değiştirilmesine ve Türkiye Atom Enerjisi Programının Tatbik Şekli Hakkındaki Kanuna Bir Madde ve Bir Geçici Madde Eklenmesine Dair Kanun (1961c) ile ilgili yeni düzenler getirilmiştir. 1961 yılında 293 sayılı İktisadi İş Birliği ve Kalkınma Teşkilâtı Sözleşmesi Hakkında Kanun (1961d) ile Türkiye 'OECD Nükleer Enerji Ajansı'na üye olarak katılmıştır. 1962 yılında nükleer alanda üniversite üstü profesyonel araştırma, geliştirme, uygulama ve eğitim çalışmaları yapmak amacı ile AEK Genel Sekreterliğine bağlı olarak Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nin (ÇNAEM) kuruluşu tamamlanmış, Ankara Nükleer Araştırma Merkezi (ANAEM) ise 1967 yılında faaliyete geçmiştir. Sonraki yıllarda ANAEM bünyesinde Nükleer Tarım Merkezi (1979) kurulmuştur (TÜBA, 2023). Sistemin kurumsallaştırılması ise 9.7.1982 tarihinde çıkartılan 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu (1982) ile Başbakan'a bağlı olarak Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) adı ile yeniden yapılandırılması ile sağlanmıştır. Nükleer Tarım Merkezi 1999 yılında yeniden yapılandırılmış ve Sarayköy'de Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Araştırma Merkezi (ANTHAM) içinde faaliyetlerini sürdürmüştür. 1981 yılında kurulan Lalahan Hayvan Sağlığı Nükleer Araştırma Enstitüsü (LHSNAE) 1999 yılında ANTHAM içinde faaliyet göstermeye başlamıştır (TÜBA, 2023). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na Bağlı Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi ile Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Araştırma Merkezinin Kaldırılarak Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinin Kurulması Hakkında Karar (2005) ile Ar-Ge çalışmalarının koordinasyonu ve yürütülmesinde yeni bir güç oluşturulması ve kaynakların en üst düzeyde kullanımının sağlanması amacıyla yeni bir yapılanmaya gidilerek ANAEM ve ANTHAM Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) çatısı altında birleştirilmiştir. Şu anda Ar-Ge faaliyetleri 2021 yılında kurulan TENMAK - Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü (NÜKEN) Başkanlığı tarafından yürütülmektedir.

İskenderun Tahıl Işınlama Tesisi Deneyimi

1960'lı yıllarda, IAEA nükleer teknolojiye ortaya çıkan gelişmelere paralel olarak, ışınlamanın tarımsal ürünlerde hasat sonrasında uygulanması gibi farklı alanlarda kullanımı üzerine odaklanmış ve üye ülkeleri bu konuda teşvik etmiştir (IAEA, 1965). 1962 yılında IAEA'nın organizasyonu ile ABD, Avustralya, Fransa, Federal Almanya, Hindistan, İngiltere, İsveç, İtalya, FAO, WHO, Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (Euratom) uzmanlarının katılımı ile 'Tahıllarda Böceklenmenin Radyasyon ile Önlenmesi' konusunda bir panel düzenlenerek, o zamana kadar elde edilen Ar-Ge bilgileri tartışılmış, tahıl işleme ve böceklenmenin kontrolünde ışınlamanın uygulama yöntemleri ve bu amaçla elektron demeti (e-beam) hızlandırıcılarının ve gama radyasyonunun kullanımı değerlendirilmiştir. Sonuçta, entomolojik, mühendislik ve ekonomik yönden gerçek koşullar altında ışınlama tesislerinin yeteneklerinin değerlendirilebilmesi için pilot tesis faaliyetlerinin mümkün olan en kısa sürede başlatılabileceğine karar verilirken, ışınlamanın mevcut yöntemlerin tamamlayıcısı olarak tahıllarda kullanılabileceğini önermişlerdir (IAEA, 1962; Goresline, 1978). Bu kapsamda IAEA, 1963 yılı ekim ayında depolanmış ürünlerdeki böceklerin ışınlama teknolojisi ile kontrolü konusunda bir çözüm önerisi sunmuştur. Bu teklif, araştırma ve uygulama konusunda faaliyet gösterecek bir pilot ışınlama

tesisinin gerekli alt yapıya sahip uygun ülkeler (Arjantin, Avustralya, Hindistan, Pakistan ve Türkiye) arasında bir seçim yapılarak kurulmasını kapsamıştır. Türkiye Atom Enerjisi Komisyonu da kasım ayında (1963) IAEA'nın bu konudaki teklifini değerlendirerek, olumlu cevap verilmesi ve bir ön proje önerisi hazırlanması konusunda görüş birliğine varmıştır (AEK, 1969). Bunu takip eden dönemde IAEA, Cezayir (1965), Arjantin (1964 ve 1967), Şili (1966), Hindistan (1967), Lübnan (1965), Pakistan (1963 ve 1967), Peru (1966) ve Tayland (1967)'da depolanmış tahılların ve diğer ürünlerin ışınlama yardımıyla böceklenmesinin önlenmesi konusunda fizibilite çalışmaları yürütülmesini sağlamıştır (IAEA, 1967). 1964 yılının mart ayında ise Türkiye'nin isteği üzerine benzer bir çalışma ülkemizde de gerçekleştirilmiş, IAEA uzmanlar grubu yarı-endüstriyel ölçekli bir ışınlama tesisi kurulması olanağı için Türkiye'deki tahıl işleme ve depolama koşulları ile depo zararlısı böcek yayılımını incelemiştir (Carden, 1967; IAEA, 1964a and 1964b).

Türkiye'de tahılların ışınlanarak böceklenmenin engellenmesi konusunda gereken teknik ve ekonomik verilerin toplanmasından sonra 0.15-0.25 kGy arasında ışınlama yapacak 30 ton/saat kapasiteli bir tesis dizayn edilmiş ve IAEA bu tesisin İskenderun limanında kurulmasını önermiştir. Bu alanın seçilmesinin nedeni o yıllarda, bölgedeki tahıllarda dermestid Khapra beetle (*Trogoderma granarium*)'in çok yoğun olarak görülmesi ve buna karşılık kimyasal metotların etkili olamaması olarak bildirilmiştir. Bu yörede iklimin ılık olması ve bu böceğin çok agresif bir tür olması nedeniyle bu böcek ile mücadelenin oldukça karmaşık olarak görülmüş (AEC, 1968) olmasının yanı sıra Türkiye'de bütün tahıl ihracatının bu liman aracılığı ile gerçekleştiriliyor olması da diğer bir etken olarak değerlendirilmiştir (Carden, 1967). IAEA'nın İskenderun ile ilgili kararının kesinleşmesinden sonra, 1964 yılı aralık ayında, ışınlama tesisi kurulması ile ilgili proje Türk Hükümeti tarafından Birleşmiş Milletlere sunulmuştur. 1966 yılı eylül ayında Türk Hükümeti ile BM Özel Fonu arasında uygulama planı hazırlanmış ve buna göre Harwell (The Atomic Energy Research Establishment at Harwell, England) tarafından üretilen kobalt-60 kaynağı (100.000 Curie, Ci, 1 gram radyumun 1 saniyede yaptığı parçalanma sayısına eşit sayıda parçalanma yapabilen radyoaktif madde miktarı) İskenderun'a gönderilmiştir. 1967 yılı ocak ayında ise söz konusu kaynak İskenderun limanı TMO (Toprak Mahsulleri Ofisi) tahıl silosuna bitişik olarak inşa edilen tesise yüklenmiştir (AEC, 1967; AEK, 1969). Tesis 1967 yılında kaynak yüklemesi sonrası faaliyete geçse de öngörülemeyen sosyo-ekonomik sorunlar nedeniyle Türk Hükümeti 1968 yılının mayıs ayında projeyi durdurmuştur. Bu karara uygun olarak tesis kapatılmış ve sonrasında kobalt-60 kaynağı aynı yılın ekim ayında ülke dışına çıkarılmıştır (AEK, 1969).

Araştırma Programları ve Bilimsel Organizasyonlar

1950-1970 yılları arası yürütülen araştırmalar bakımından özellikle önemli bir dönemdir. ABD bu yıllarda gıda ışınlama programı ile Ar-Ge faaliyetlerinde öncü bir ülke olmuştur. Aynı dönemde Belçika, Federal Almanya (Almanya), Fransa, Hollanda, Kanada, Polonya ve Sovyetler Birliği (Rusya) gibi ülkelerde de gıda ışınlama prosesi ilgili ulusal araştırma programları da gelişirken, öncü araştırmaların sonuçları gıdaları iyonlaştırıcı radyasyonla muhafaza etmenin dikkate değer potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Diehl, 2001).

Uluslararası düzeyde ise, 1960'lı yıllardan itibaren FAO, IAEA ve WHO gıda kalitesinin geliştirilmesi ve gıda güvenliği konusunda gıda ışınlanmanın potansiyelini fark etmişlerdir. Bu kuruluşlar tarafından ortaklaşa düzenlenen panel 'An Expert Panel on Wholesomeness of Irradiated Foods, Brüksel, 1961' sonuç bildirisinde 'Işınlanmış gıdalar tüketilmeden (veya tüketime sunulmadan) önce bu gıdaların sağlık yönünden güvenilirliğinin çalışılmasını' önermiştir. Bu gelişmeler yaşanırken, hiç şüphe yok ki 1964 yılında Viyana'da IAEA içinde 'The Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture' oluşturulması ve kısa süre sonra 'The Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on Food Irradiation (JECFI)'nin kurulması gıda ışınlama konusundaki dönüm noktalarını oluşturmuştur (Mollins, 2001). JECFI 1964 yılında ilk defa ışınlanmış gıdalar konusundaki yasal düzenlemelerin teknik temellerini değerlendirmek için toplanmıştır. Daha sonraki dönemde ise periyodik olarak toksikolojik ve diğer alanlardaki çalışmalar değerlendirilmiştir (WHO, 1965, 1970, 1977, 1981; WTO, 1995).

Diğer taraftan, farklı ülkelerde yürütülen çalışmaları tek çatı altında koordineli olarak yürütmek, aynı ürün ve etkileri araştırarak zaman ve ekonomik kayıplardan uzak durmak için gıda ışınlama araştırma programına sahip ülkeler bir araya gelerek 1970 yılında 'International Food Irradiation Project (IFIP)' veya 'Karlsruhe Project' oluşturulmuştur (Ehlermann, 2005). 14.10.1970 tarihinde gıdaların sağlık yönünden güvenilirliği konusundaki çalışmaları yürütmek amacıyla Ortak Uluslararası Gıda Işınlama Projesi Antlaşması 'International Project in the Field of Food Irradiation (IFIP)', merkezi Karlsruhe (Institut für Strahlentechnologie der

Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Federal Almanya) olmak üzere FAO, IAEA ve OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)'nin meydana getirmiş olduğu çatı altında 19 ülke (ABD, Avusturya, Belçika, Danimarka, Fransa, Federal Almanya, Güney Afrika, Hollanda, İngiltere, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Kanada, Norveç, Portekiz ve Türkiye) bir araya gelerek oluşturulmuştur (Gıda Işınlandırılması Alanında Milletlerarası Bir Projeye Mütedair Anlaşma, 1971). Bu projede yürütülen çalışmalarda iyonize radyasyona tabi tutulan gıdaların sağlık yönünden güvenilirliği 'wholesomeness' üzerinde durulmuş olup, bu terim (wholesomeness) ışınlanmış gıdaların besin değeri yönünden yeterliliği ve duyuşal ve teknolojik kalitesi kadar radyolojik, toksikolojik ve mikrobiyolojik güvenlik kavramlarını içine almaktadır (Ehlermann, 2005). Projede, the FAO/IAEA/WHO Joint Expert Committee on Food Irradiation (JECFI) için veri üretilirken, elde edilen sonuçlar JECFI tarafından değerlendirilmiştir. IFIP araştırma programı süresince deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda elde edilen geniş spektrumlu sonuçlar 66 adet teknik rapor, 4 faaliyet raporu ile 2 kitap ve çok sayıda bilimsel yayın ile ortaya konmuştur (Erwin, 1985; Ehlermann, 2005).

IFIP 10 kGy'e kadar ışınlanmış gıdaların sağlık yönünden güvenilirliği konusundaki çalışmalarını başarı ile tamamladıktan sonra 1982 yılında faaliyetlerine son verilmiştir. Aynı yıl FAO, IAEA ve WHO gıda ışınlama konusunda uluslararası iş birliğinin sağlanması üzerinde çalışacak bir danışmanlar grubunun oluşturulması konusunun görüşülmesi amacıyla bu üç teşkilatın üyelerini davet etmişlerdir. Bu grubun hükümetlerin belirleyeceği uzmanlardan oluşan bir bağımsız bir organ olması tasarlanmıştır (IAEA, 1989). Gıda ışınlama konusunda uzmanlar komitesi 'The International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI)' 9.5.1984 tarihinde kurularak, FAO, IAEA ve WHO'nun oluşturduğu çatının altında 15 ülkenin (Arjantin, Bangladeş, Federal Almanya, Filipinler, Fransa, Hollanda, Irak, İsrail, Kanada, Macaristan, Meksika, Mısır, Suriye, Tayland ve Türkiye) katılımı ile oluşturulmuştur. ICGFI yayınlanan deklarasyonun koşullarını benimseyen ülkelerin gıda ışınlama konusunda uzmanlar ve diğer temsilcilerden meydana gelmiş olup, ilk dönem için 5 yıl süre ile çalışma yapması planlanmış ve üye olan ülke ve kuruluşlar gönüllülük esasına göre bu organizasyona maddi katkıda bulunmuşlardır (Kooij, 1984; IAEA, 1987). Türkiye'nin de 1984 yılından itibaren üyesi olduğu ICGFI, üye ülkelerin gıda ışınlama alanında uzman olan resmi temsilcileri ve destekleyici birleşmiş milletlerin atadıkları kişilerden oluşurken, temel olarak gıda ışınlama alanında küresel gelişmeleri değerlendirmek ve yapılacak aktivitelerde tavsiyelerde bulunmak üzerinde durmuştur. Gıda ışınlamanın ticari olarak uygulamaya konulması ve uluslararası ticaretinin başlaması üzerine 2004 yılında FAO, WHO, IAEA ve üye ülkelerin ortak kararı ile ICGFI'nin faaliyetlerine son verilmiştir (Çetinkaya, 2010).

Türkiye'de Gıda Işınlama Araştırmaları

Türkiye'de İskenderun limanında tahıl ışınlama tesisi kurulması sürecinde, ışınlama ve ışınlamanın gıdalar üzerindeki etkileri konusundaki ilk çalışmalar gerçekleştirilmişse de bunların çoğu yayınlanmamıştır. Ancak gıda ışınlama konusundaki araştırmalar için ilk adımların Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi (AÜZF) içinde atıldığını görüyoruz. 1960 yılında yayınlanan IAEA bültenine göre, o dönemde IAEA'nın sağladığı destek ile Ankara Üniversitesi'nde bitki besleme konusunda çalışmak üzere hazırlanan bir araştırma programı çerçevesinde bir radyoizotop laboratuvarı kurulmuştur. 1960 yılında IAEA inceleme ekibi, kurulan laboratuvar ve burada çalışan araştırmacıları iş birliği için çok iyi kapasitede olduklarını bildirmiştir (IAEA, 1960). Diğer taraftan aynı dönemde (1961) Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Radyobioloji Enstitüsü'nde bir kobalt-60 kaynağının mevcut olduğu ve araştırmalarda kullanıldığı anlaşılmaktadır (Yılmaz, 1970). Ancak tahıllarda böceklenmenin önlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen 'Kobalt-60 gamma ışınlarının *Sitophilus granarius* L. ve *Tribolium confusum* Duv'a karşı olan etkisi üzerinde araştırmalar' başlıklı makale (Esin ve Alganatay, 1968) ülkemiz gıda ışınlama literatüründe rastlanılan ilk bilimsel çalışma olarak karşımıza çıkmakta olup, bu dönemde yürütülen araştırmalar Atom Enerjisi Komisyonu Genel Sekreterliği'nin sorumluluğunda yürütülmüştür. Başlangıçta AEK daha sonra ise TAEK bünyesinde faaliyet gösteren araştırma merkezleri gıda ışınlama konusundaki araştırmaların odağında olmuştur.

1960'lı yıllardan itibaren farklı yerleşke ve birimlerde yürütülen Ar-Ge çalışmaları günümüzde TENMAK NÜKEN Sarayköy yerleşkesinde Tarım ve Gıda Araştırmaları Grubu laboratuvarlarında devam etmektedir.

Son 60 yıl içerisinde,

1. Türkiye'de üretilen tarım ürünleri ve tüketilen işlenmiş gıdaların bileşenleri ile fiziksel ve duyuşal özellikleri üzerine ışınlamanın etkisinin tespit edilmesi ve uygun doz seçimi,

2. Gıdaları kontamine eden mikrobiyal yükün azaltılmasına (patojenler ve bozulmaya neden olan mikroorganizmalar) yönelik D₁₀ değerlerinin tespit edilmesi,
3. Çeşitli gıda grupları için raf ömrünün uzatılması (yaş meyve ve sebze, su ürünleri, beyaz ve kırmızı et ve et ürünleri),
4. Tahıllar, baklagiller, narenciye grubu meyveler ve kurutulmuş meyve ve kabuklu yemişlerde rastlanılan böceklenmenin önlenmesi için etkin ışınlama dozlarının belirlenmesi,
5. Ülkemizde üretilen veya ithal edilen baharat ve aromatik bitkilerde mikrobiyal yükün azaltılmasına yönelik ışınlama dozlarının her bir ürün için belirlenmesi,
6. Patates, kuru soğan ve sarımsak gibi ürünlerde çimlenmenin önlenmesine yönelik ışınlama dozlarının tespit edilmesi,
7. Işınlanmış gıdaların tespitinde kullanılan uluslararası standart yöntemlerin [Electron spin resonance ESR (EN 1786:1996, EN 1787:2000 ve EN 13708:2001), Thermoluminescence TL (EN 1788:2001), DNA Comet (EN 14569:2004), LAL/GNB (EN 14569:2004), DEFT/APC (EN 13783:2001) ve GC (EN 1784: 2003)] uygulamaya konması,
8. Çeşitli ürün gruplarının ışınlanması için ekonomik ve bölgesel fizibilite çalışmaları,
9. Kombine yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulamaya konması,
10. Gama ışınlama tesisi, gamma-cell ve elektron demeti tesisi için dozimetri ve proses kontrolü,
11. Etiketlemenin etkisinin ve tüketici kabulünün belirlenmesine yönelik anket çalışmaları gibi,

ana başlıklar altındaki konularda ulusal ve uluslararası Ar-Ge projeleri yürütülmüştür. Bugüne değin yürütülen araştırmaların sonuçlarına ilişkin yayınlanmış bazı makalelere ilişkin bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Halen ışınlamanın ülkemizde gıda güvenliği ve muhafazasında uygulanması konularındaki proje çalışmaları devam etmektedir. Diğer taraftan ulusal kuruluşlar için danışmalık hizmeti verilmesi, Gıda Işınlama Yönetmeliği’nin hazırlanması, uygulaması ve revize edilmesi konusundaki çalışmaların Tarım ve Orman Bakanlığı ile yürütülmesi, 1960’lı yıllardan bugüne değin kazanılan deneyimlerin aktarılması için eğitim kurslarının düzenlenmesi gibi faaliyetler yürütülmektedir.

Tablo 1. TENMAK bünyesinde altındaki araştırma enstitülerinde gıda ışınlama konusunda 1970-2023 arasında yürütülen Ar-Ge çalışmalarına ait bazı yayımlanmış araştırma makaleleri ve teknik raporlar.

<ul style="list-style-type: none"> • 1970 Bazı et ürünlerinin ışınlanması • 1970 <i>Coenurus cerebralis</i>'teki scolex'lere cobalt 60 kaynağından verilen radyasyonun etkisi • 1970 Perspex Hx de yapılan gamma dozimetresi sonuçları üzerine sıcaklığın etkisi • 1970 Perspex Hx dozimetresinin gamma dozimetresi için kullanılışı • 1972 Dana ve sığır etlerinde <i>Cysticercus Bovis</i>'in iyonizan ışınlarla (Cobalt-60 gamma ışınları) öldürülerek veya inaktive edilerek zararsız hale getirilmesi üzerine araştırmalar • 1972 Gama ışınları ile patateslerde filizlenmenin engellenmesi • 1972 Gıda ışınlanmasında ürün bileşiminin ve geometrinin doz dağılımı üzerine etkisi • 1974 Işınlama ile sosislerin korunma sürelerinin uzatılması • 1975 Gama ışınlarının portakal suyundaki C vitamini üzerindeki Etkisi • 1975 Gama ışınlarının yoğurt mikroflorası üzerine etkisi • 1975 Sterilisation of spices by means of gamma rays • 1977 Irradiation of ground beef with the purpose of refrigerated storage • 1979 Radiation-induced changes in the patterns of free ninhydrin-reactive substances of meat
<ul style="list-style-type: none"> • 1982 Değişik dozlardaki gamma irradiyasyonun <i>Trichostrongylus vitrinus</i> yumurtalarının gelişimine etkisi • 1983 The effect of radurization on the extention of storage life of horse mackerel "<i>Trachurus trachurus</i>" • 1985 Sprout inhibition of potatoes by gamma radiation • 1986 İyonize radyasyonla baharatların sterilizasyonu: Gamma ışınlarının karabiber ve kırmızıbiberin mikrobiyel flora, uçucu yağ ve duyuşal niteliklerine etkisi • 1986 Kimyasal işlem ve radurizasyonun birlikte uygulanmasının hamsi balığının dayanma süresi üzerine etkisi • 1986 Önemli ambar zararlısı <i>Sitophilus granarius</i> (L.)'un gamma radyasyonu ile kontrolü • 1987 The effect of gamma irradiation on storage period in the important potato varieties • 1988 Müşküle üzümü çeşitinde depolama sırasında büyük kayba neden olan <i>Botrytis cinerea</i> Pers. nın ışınlama+soğutma kombine uygulamasıyla engellenmesi

- 1988 Radurizasyon ve paketlemenin hamsi balığının korunma süresi ve kalitesi üzerine etkisi
- 1991 *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus nigricans* ile enfekteli Ankara armutlarında gamma radyasyonu ile standart depolama koşullarında çürümenin engellenmesi
- 1992 The effect of gamma irradiation on *Botrytis cinerea* and *B. aclada* causing rot of pear and onion respectively
- 1993 Effect of ionizing radiation on the hygienic quality and shelf-life of Turkish fermented sausage
- 1993 Inhibition of viability and infectivity of *Cysticercus bovis* by irradiation of meat
- 1993 In-vitro koşullarda müşküle üzümünden izole edilen *Botrytis cinerea* Pers'nin gelişmesinin gamma radyasyonu ile engellenmesi
- 1993 Irradiation of potatoes in Turkey - A feasibility study
- 1994 Determination of the irradiation dose for the inhibition (D₁₀ radiation doses) of some gram negative and gram positive bacteria in peptone saline water
- 1994 Effects of gamma irradiation on chemical properties, thiamine and riboflavin contents, dough properties and baking quality of the flours
- 1994 Effects of gamma irradiation on wheat quality
- 1994 Elma, ayva, soğan ve şeftalinin hasat sonrası çürümelerinin gama radyasyonu ile engellenmesi
- 1994 Parazitler üzerine radyasyonun etkileri ve gıda ışınlama uygulamaları
- 1994 Postharvest disease control of apple, quince, onion and peach, with radiation treatment
- 1996 ESR ile ışınlanmış gıdaların tespiti
- 1996 Gama radyasyonunun Tosun-21 ekmeçlik buğdayın fiziksel kimyasal ve teknolojik özellikleri üzerine etkisi
- 1996 Tavuk etlerinde bazı patojenik bakterilerin kontrolünde gamma radyasyonun kullanımı
- 1997 Dose dependent oxidation kinetics of lipids in fish during irradiation processing
- 1998 ESR spectroscopic technique of testing for irradiation of chicken
- 1998 Gamma radyasyonun tavuk etlerinin depolama süresi üzerine etkisi
- 1999 A mechanistic approach to radiation-induced inactivation kinetics of microorganisms
- 1999 Effect of combination irradiation and modified atmospheric packaging (MAP) on microbiological quality and shelf life of fresh chicken meat
- 1999 Evaluation of sterin label dosimeter to be used in Turkish dried figs
- 1999 Insect disinfection of dried figs by irradiation
- 2001 Determination of maximum/minimum ratio of absorbed dose of dried figs
- 2003 The extension of the shelf-life of sardine which were packaged in a vacuum stored under refrigeration, and treated by γ -irradiation
- 2004 Death kinetics of *E. coli* O157:H7, *E. coli* and natural contaminant coliforms in minced meat during irradiation treatment and storage
- 2004 Use of thermoluminescence technique for the detection of irradiated spices
- 2006 Inhibition of egg and larval development of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hubner) and almond moth *Ephestia cautella* (Walker) by gamma radiation in decorticated hazelnuts
- 2006 Radiation processing as a post-harvest quarantine control for raisins, dried figs and dried apricots
- 2006 Temperature effects on egg shells investigated by XRD, IR and ESR techniques
- 2007 Thermoluminescence parameters and kinetics of irradiated inorganic dust collected from black peppers
- 2008 Electron spin resonance study of γ -irradiated Anatolian chickpea (*Cicer Arietinum L.*)
- 2009 Detection of irradiated quail meat by using DNA comet assay and evaluation of comets by image analysis
- 2009 Gama ışınları ile ışınlanmış şeker örneklerinin ESR tekniği ile teşhis edilmesi
- 2010 Gıda Işınlama (Kitap)
- 2010 Identification of irradiated sage tea (*Salvia officinalis L.*) by ESR spectroscopy
- 2010 Narenciye grubu meyvelerde karantina amaçlı ışınlamanın gıda kalitesi ve hijyeni üzerine etkisinin araştırılması
- 2011 Detection of gamma irradiated fig seeds by analysing electron spin resonance
- 2011 Işınlanmış gıdaların tespiti (TS EN1784, TS EN1785, EN13784, TS EN13783, EN14569)

- 2012 ESR and TL studies of irradiated Anatolian laurel leaf (*Laurus nobilis L.*)
- 2013 ESR and TL investigations on gamma irradiated linden (*Tilia vulgaris*)
- 2013 The use of ESR spectroscopy for the identification and dose assessment of irradiated pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) from Turkey
- 2014 Effect of gamma irradiation on *Penicillium expansum* isolated from "Golden Delicious" apples
- 2014 Effect of gamma irradiation storage lutein, and zeaxanthin in liquid, frozen and dried egg yolk samples
- 2016 Phytosanitary irradiation against leafminers (Diptera: Agromyzidae) and radio tolerance of shelled peas, *Pisum sativum* (Fabales: Fabaceae)
- 2016 Quantification of applied dose in irradiated citrus fruits by DNA Comet Assay together with image analysis
- 2017 Investigation of gamma irradiation and storage period effects on the nutritional and sensory quality of chickpeas, kidney beans and green lentils
- 2020 Detection of irradiated foods by ESR and TL methods in the scope of intercomparison tests
- 2022 Determination of quality parameters and sensory attributes of 'Jaffa' oranges irradiated as postharvest quarantine treatment throughout long-term cold storage
- 2022 Quantitative viscosity determination in irradiated major spices (black pepper, cardamom, cinnamon, ginger, and turmeric) by using a vibro viscometer for long-term storage
- 2023 Estimation of the applied doses in irradiated anchovy and bluefish for shelf-life extension using image analysis in combination with DNA comet assay
- 2023 Gamma rays induced enhancement in the phytonutrient capacities of tomato (*Solanum Lycopersicum L.*)

Türkiye’de Işınlamanın Araştırmadan Ticari Uygulamaya Dönüşmesi

Dünyada yasal mevzuatın oluşturulması ve WHO sağlık yönünden güvenilirlikle ilgili olarak kararını açıklamasından sonra bütün dünyada olduğu gibi araştırma ile desteklenen potansiyel ticari uygulamaya dönüşmüştür. Ancak gıda ışınlamada ticari uygulamaya geçişte bazı kriterlerin yerine getirilmesi büyük öneme sahiptir. Bunlar (Moy, 2005):

1. Ekonomik bir fizibilite çalışması
2. Pazar araştırması ve testleri
3. Radyasyon kaynağının ve ışınlayıcı tipinin seçimi
4. Tesis faaliyeti için ihtiyaç duyulan personelin eğitimi
5. Radyasyon güvenliği ve dozimetri izleme
6. Uygun ambalaj seçimi

Türkiye’de bütün bu aşamaların tamamlanması sonrasında IAEA ve Birleşmiş Milletler Gelişme Programı’nın (UNDP) desteği ile ‘TUR7004 Sterilization of Medical Products’ projesi kapsamında Sarayköy/Ankara’da ilk ışınlama tesisi 1992 yılında kurulmuş ve 1993 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Söz konusu tesis 20.3.2007 tarihinde 5 gıda grubu için ‘Gıda Işınlama İzin Belgesi’ almış ve şu anda ticari olarak gıda ışınlanmaktadır. Çok amaçlı ışınlama (tıbbi malzeme, gıda vb.) gerçekleştirmek için dizayn edilen tesis Macar Transelektro (Institute of Isotopes) firması yapımı, SVST Co-60-1 tipi (IV. Sınıf otomatik tote-box tipi ışınlayıcı), sürekli ve kesikli işletim moduna göre çalışabilen bir gama ışınlama tesisidir. Maksimum 1.000 kCi’lik kaynak kapasitesine sahip olan tesiste ve 800 m² depolama alanı bulunmaktadır. Işınlanan gıdaların çok büyük bölümünü baharat ve aromatik bitkiler oluşturmakta olup, yıllık yaklaşık 2.500 ton ürün ışınlanmaktadır (ETKB, 2013). Gamma-Pak gama ışınlama tesisi ise Türkiye’de kurulan ilk özel tesis olma özelliğine sahip olup, Tekirdağ Çerkezköy’de 1994 yılında faaliyete geçmiştir. Tesis, 27.3.2002 tarihinde 7 gıda grubu için ‘Gıda Işınlama Ruhsatını’ almış olup, şu anda ticari olarak gıda ışınlanmaktadır. Tesis ayrıca ışınladığı gıdaların Avrupa Birliği üyelerine kabulü için Avrupa Komisyonu’ndan 7.10.2004 tarihinde [Karar no C (2004)3679] onay almıştır. Çok amaçlı ışınlama (tıbbi malzeme, gıda vb.) gerçekleştirmek için dizayn edilen Gamma-Pak Işınlama Tesisinde kullanılan ışınlama cihazı (Nordion JS 9600 model IV. Sınıf, otomatik tote-box tipi ışınlayıcı) sürekli ve kesikli işletim moduna göre çalışabilmektedir. Tesis maksimum 3.000 kCi’lik kaynak kapasitesine sahip

olup, 1.500 m² depolama alanı bulunmaktadır (Gamma Pak, 2023). Tesiste ışınlanan gıda hacmi ise yıllık yaklaşık 4.500 ton olarak gerçekleştirilmektedir (Gıda İşleme Teknolojileri, 2014).

Gıda Sektöründe Işınlama Teknolojisinin Yakın Gelecekteki Potansiyeli ve Türkiye

Günümüzde, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu yaklaşık 70 ülkede gıda ışınlama ile ilgili yasal düzenleme yürürlükte bulunmaktadır. Dünyada ışınlama tesisine sahip ülke sayısı incelendiğinde; Çin'de >200 fazla tesis bulunurken, ABD'de 24, Avrupa Birliği ülkelerinden 14 ülkede 24, Hindistan'da 44, Rusya'da 17, Tayland'da 13, Vietnam'da 11, Endonezya'da 7, Malezya'da 7, Pakistan'da 6, İran'da 4, Bangladeş'te 4, Güney Afrika'da 3, Güney Kore'de 3, 8 ülkede 2'şer adet (Türkiye dahil) ve 14 ülkede ise 1'er adet olmak üzere gama ışını, elektron demeti, X-ışını kaynağı kullanan çok sayıda gıda ışınlama tesisi bulunduğu anlaşılmaktadır (Yoon, 2011; Eustice, 2018; Koutchma et al., 2018; Ic and Cetinkaya, 2021; IAEA, 2023). Işınlanmış gıdaların ticareti açısından ise son yıllarda ABD ve başta Çin olmak üzere Asya-Pasifik bölgesindeki ülkelerde kırmızı ve beyaz et ile meyve sebzeler ile baharat ışınlanması konusunda büyük gelişim göstermiştir. 2015 yılı için Çin'de ışınlanan gıda miktarının 600.000 ton dan fazla olduğu ifade edilirken (Eustice, 2018), Shen (2017) Çin'de ışınlanmış gıda hacminin her yıl yaklaşık olarak %20 arttığını, 2015 yılında ışınlanan gıda miktarının 400.000 tonu aşarak 2.6 Milyar dolarlık (\$) bir ticaret hacminin ortaya çıktığını ve 2010-2016 arasında 3 kat artış gösterdiğini bildirmiştir. Bu ülkedeki ışınlama teknolojisindeki ilerleme ve artan ışınlama tesisi sayısı dikkate alınca sadece Çin'de ışınlanan gıda miktarının 1.000.000 tonun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Ic and Cetinkaya, 2021).

Dünyada birçok ülke ekonomik ve çevresel açıdan önemli görülen karantina zararlılarının ülkesine bitki ve bitkisel ürünler ile girişine, yerleşmesine ve yayılmasına karşı önlemler almakta, zararlılarla mücadele ve bu zararlıların kontrol altına alınması için etkin yöntemleri araştırmaktadır. Bu yöntemlerden birisi olan fitosanitari (bitki sağlığı) ışınlama, iyonize radyasyonun ticareti yapılan tarımsal ürünleri düzenlemeye tabi zararlılardan arındırmak için kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Bu uygulama, bitki sağlığından ziyade gıda güvenliği ile daha tutarlı bir tehlike analizi ve kritik kontrol noktası (HACCP) yaklaşımı gibi yönetilmektedir. Bu nedenle, fitosanitari ışınlama diğer önlemlerine (ısıtma, soğutma ve fumigasyon) göre koruma için daha eksiksiz ve titiz bir metodoloji sunmaktadır (Hallman and Loaharanu, 2016). Bu çerçevede yaş meyve ve sebzelerin fitosanitari amacıyla ticari olarak ışınlanması üzerinde yoğunlaşan bir ilgi söz konusudur (Pedreschi and Mariotti-Celis, 2020). Bu teknolojinin fitosanitari gereksinimleri karşılamak için kullanılmasının avantajları son yirmi yılda ticari olarak gösterilmiş olup, birçok ülke şu anda bitki karantina gereksinimlerini karşılamak için bu teknolojiyi ticari olarak kullanmaktadır (Griffin et al., 2014). İhracat ve ithalatta ticareti kolaylaştırmak amacıyla kurulan fitosanitari ışınlama tesislerinin sayısı ABD, Avustralya, Çin, Dominik, Güney Afrika, Hindistan, Malezya, Meksika, Pakistan, Peru, Tayland, Vietnam ve Yeni Zelanda gibi çok sayıda ülkede giderek artmaktadır. 2016 yılı verilerine göre bu amaçla gıdaları düzenli olarak ışınlayan en az 13 adet ışınlama tesisi bulunmaktadır (Hallman et al., 2016). Fitosanitari ışınlama uygulamaları konusunda ABD (USDA, Plant Protection & Quarantine Animal & Plant Health Inspection Service) tarafından uygulanan sistemde 20 ülke ile 'Meyve ve Sebze İthalat Koşulları' (FAVIR) kapsamında 'Işınlama Çerçevesi Eşdeğerlik Çalışma Planı' (Taraf iki ülke arasında, her bir ülkenin diğerinin ışınlanmış ürünler sistemini yasal olarak kabul edeceğini belirten karşılıklı anlaşma, 'Irradiation Framework Equivalency Work Plans', FEWP) imzalanmıştır (APHIS, 2023a ve 2023b). Diğer taraftan 2023 yılı verilerine göre sadece ABD'de bu amaca yönelik olarak lisanslanmış ve faaliyet gösteren 6 adet tesis bulunmaktadır (APHIS, 2023c). Dünyada bu amaçla ışınlama yapan en yüksek kapasiteli tesislerden birisi 2016 yılında faaliyete geçen, Çin - Vietnam sınırında bulunan (ASEAN Fruit Irradiation Quarantine Processing Center in Pinxiang, Guanxi) ve ithal edilen meyve ve sebzelerin ışınlanması için kullanılan elektron demeti tesisi iken, diğeri ABD'nin Texas eyaletinde 2022 yılında lisans alarak faaliyete başlayan (Rio Grande Valley Electronic Cold-Pasteurization Center, McAllen) elektron demeti tesisi olup, Meksika'dan ithal edilen ürünlerin ışınlanması için kullanılmaktadır (Ic and Cetinkaya, 2021; APHIS, 2023d).

Bu gelişmeler Türkiye açısından değerlendirildiği zaman, tarımsal ürün ihracatı içinde önemli yer tutan yaş meyve sebze grubunda, özellikle en belirgin örnek olarak portakal, mandarin ve greyluft gibi narenciye ürünlerinde Akdeniz meyve sineği (*Ceratitidis capitata*) kaynaklı olarak karantina koşullarını karşılamadığı gerekçesi ile farklı ülkeler ile iade ve sipariş iptali sorunları yaşandığı bilinmektedir. Bu durum üreticimizin ve ihracatçımızın rekabet gücünü düşürmesinin yanı sıra, ülkemizin dış piyasada imajını da zedelemektedir. Bu konuda ülkemizde yapılan bazı çalışmalarda da (TAEK, 2010) ışınlama teknolojisi ile sorunun çözümü

konusunda bilimsel verileri ve öneriler ortaya konmuştur. Önceden değinildiği gibi böceklenmenin önlenmesi (fitosanitari)+olgunlaşmanın geciktirilmesi için gereken ışınlama dozları oldukça düşüktür (100Gy-1000Gy). Oysa ülkemizdeki mevcut ışınlama tesisleri çok amaçlı tesis olarak dizayn ve inşa edilmiştir. Bu nedenle bu tesislerde fitosanitari ve olgunlaşmanın geciktirilmesi amacına uygun olarak düşük doz verilmesi deneysel olarak mümkünse de, ticari olarak büyük hacimdeki ürününün belirli bir zaman aralığında ışınlanması olasılığı düşük görünmekte olup, mevcut tesislerde büyük çaplı revizyon ihtiyacı ortaya çıkaracaktır. Daha iyi bir alternatif olarak tarım ürünlerinin üretim ve ihracat lokasyonlarına yakın bir merkezde, dünyada gelişen eğilime ve teknolojik gelişmeye uygun olarak, kobalt-60 gibi radyoaktif kaynak kullanan tesisler yerine, ihtiyacı karşılayacak şekilde bir veya birkaç adet elektron demeti ve/veya X-ışını tesisi kurulması daha uygun olarak görünmektedir.

SONUÇ

Türkiye nükleer teknolojinin gıda güvenliği ve muhafazasında kullanılması amacıyla gerçekleştirilen Ar-Ge çalışmaları konusunda yaklaşık 60 yıllık bir deneyime ve gerekli Ar-Ge laboratuvar kapasitesine sahiptir. Bunun doğal bir sonucu olarak ülkemizde gıda ışınlama yasal alt yapıya sahip olup, ticari uygulama alanı bulmuş bir teknolojidir. Mevcut koşullarda ülkemizde ışınlanan gıda yelpazesi içinde en büyük payı baharat ve aromatik bitkiler oluşturmaktadır. Ancak kısa ve orta vadede ülkemizde kurulacak elektron demeti / X-ışını tesislerinin iç ve dış ticarete öncelikle meyve ve sebzelerde sorun yaşanan alanlarda da kullanılması gıda güvenliği ve gıda güvencesinin sağlanmasında ülkemiz için önemli bir kazanım olurken, dünyada önemli bir gıda ihracatçısı olan ülkemizin yurt dışında da ticari rekabet gücünü artıracaktır.

Çıkar Çatışması

Bu derleme ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkısı

Bu derlemenin planlanması, verilerin toplanması, yazımı ve revize edilmesi yazarlar E. İÇ ve A. AYLANGAN tarafından gerçekleştirilmiştir.

Etik Onay

“Gıda ışınlanmanın Türkiye’de gelişim sürecindeki önemli adımlar” başlıklı çalışmanın yazım sürecinde bilimsel kurallara, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş; toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış ve bu çalışma herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiştir. Çalışmamızda herhangi bir canlıya ait veri bulunmadığından etik kurul izni gerekmemektedir.

KAYNAKLAR

- AEC. (1967). *Harwell ships 100 thousand curies of⁶⁰Co to Turkish grain irradiator*. Isotopes and Radiation Technology, U.S. Atomic Energy Commission. Division of Isotopes Development, Oak Ridge National Laboratory, 4(2), p203.
- AEC. (1968). *Hearings and reports on atomic energy*. United States Congress. Joint Committee on Atomic Energy, U.S. Atomic Energy Commission, 125, p.605.
- AEK. (1969). *Ambar zararlılarına karşı radyasyonla mücadele konulu Birleşmiş Milletler İskenderun özel fon projesinin bugüne kadar geçirdiği safhalar*. Rapor, 16 Haziran 1969, T.C. Atom Enerjisi Komisyonu, Ankara, 44s.
- Ali Omer, M.A., Saion, E., Gar Elnabi, M.E.M., & Dahlan, K.M. (2012). Synthesis of polyaniline HCl pellets and films nanocomposites by radiation polymerization. In: F. Adrovic (Ed), *Gamma radiation* (pp. 115-146). Rijeka:InTech.
- APHIS. (2023a). *Irradiation treatment*. Animal and Plant Health Inspection Service. Retrieved from https://www.aphis.usda.gov/aphis/ourfocus/planthealth/import-information/sa_quarantine_treatments/irradiation/irradiation-treatment
- APHIS. (2023b). *USDA-APHIS-PPQ Phytosanitary irradiation*. Animal and Plant Health Inspection Service. Retrieved from <https://www.nationalacademies.org/documents/embed/link/LF2255DA3DD1C41C0A42D3BEF0989ACAECE3053A6A9B/file/D9D7E0FE2D90CDD2FF663D0AB06F541978A2269477C9?noSaveAs=1>

- APHIS. (2023c). *Manuals. Animal and Plant Health Inspection Service*. Retrieved from https://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/aphis-certified-irradiation-facilities.pdf
- APHIS. (2023d). *APHIS Certified irradiation facilities*. Animal and Plant Health Inspection Service. Retrieved from https://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/aphis-certified-irradiation-facilities.pdf
- Atom Enerjisi Komisyonu Kurulması Hakkında Kanun (1956b). Resmi Gazete. Yayımlı Tarihi: 4.9.1956. Sayısı: 9398
- Atom Enerjisi Komisyonunun Kurulması Hakkındaki Kanununun 2 nci Maddesinin (K) Fıkrasının Değiştirilmesine ve Türkiye Atom Enerjisi Programının Tatbik Şekli Hakkındaki Kanuna Bir Madde ve Bir Geçici Madde Eklenmesine Dair Kanun (1961c). Resmi Gazete. Yayımlı Tarihi: 12.1.1961. Sayısı: 10705.
- Bayülken, A. (2006). Türkiye’de Nükleer Enerji. İçinde *İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi* (ss. 171-180), İstanbul.
- Carden, J.E. (1967). Design of the worlds first industrial-scale grain-irradiation facility. *Isotopes and Radiation Technology*, 4(4): 396-398.
- CODEX. (2003). *Revised codex general standard for irradiated foods (Codex Stan 106-1983)*. Rev.1-2003, Rome, Codex Alimentarius Commission.
- Çetinkaya, N. (2010). Gıda ışınlamada yasal düzenlemeler ve ışınlanmış gıdaların ticareti. İçinde *Gıda Işınlama* (ss.1-11). Ankara:TAEK.
- Dayday, N. (2007). Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA). *Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 10, 32-39.
- Diehl, J.F. (2001). Achievements in food irradiation during the 20th century. In: P. Loaharanu & P. Thomas (Eds), *Irradiation for food safety and quality* (pp. 1-9). Lancaster:Technology Publishing Company.
- Dogan Halkman, H.B., Yücel, P.K., & Halkman, A.K. (2014). Non-thermal processing: Microwave. In: C.A. Batt, & M.L. Tortorello (Eds), *Encyclopedia of food microbiology* (pp. 962-965). London:Academic Press.
- Ehlermann, D.A.E. (2016). The early history of food irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 129, 10-12. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.024>
- Ehlermann, D.A.E. (2005). Four decades in food irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 73, 346-347. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2005.02.001>
- Erwin, L. (1985, April). *The codex standard & code of irradiated foods*. In: International Atomic Energy Agency regional workshop on commercialisation of ionising energy treatment of food. New South Wales:Australian Atomic Energy Commission. Retrieved from <https://apo.ansto.gov.au/server/api/core/bitstreams/core/bitstreams/aeb3b687-f109-76a5-e053-150a9d89ded9/content>
- Esin, T., & Alganatay, M. (1968). Kobalt-60 Gamma ışınlarının *Sitophilus Granarius L.* ve *Tribolium Confusum Duv*’a karşı olan etkisi üzerinde araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 8(1): 39-60. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitkorb/issue/3572/48303>
- ETKB. (2013). *Mavi kitap*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri, Bağlı ve İlgili Kuruluşlar Dairesi Başkanlığı, Ankara, 363s. Erişim adresi: www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Mavi_Kitap_2013.pdf
- Eustice, R.F. (2018). Global status and commercial applications of food irradiation. In: I.C.F.R., Ferreira, A.L., Antonio & Sandra, C.V. (Eds), *Food irradiation technologies: Concepts, applications and outcomes* (pp. 397-424). London:The Royal Society of Chemistry.
- Farkas, J. (2004). Food irradiation. In: A. Mozumder, & Y. Hatano (Eds), *Charged particle and photon interactions with matter* (pp. 785-812). New York:Marcel Dekker.
- Farkas, J., & Mohácsi-Farkas, C. (2011). History and future of food irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 22(2-3): 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.002>
- Farkas, J., Ehlermann, D.A.E., & Mohácsi-Farkas, Cs. (2014). Food technologies: Food irradiation, In: Y. Motarjemi (Ed), *Encyclopedia of food safety* (pp. 178-186). Waltham:Academic Press.
- Fischer, D. (1997). *History of the International Atomic Energy Agency: The first forty years*. Vienna:International Atomic Energy Agency.
- Gamma Pak. (2023). Gamma-pak web page. Erişim adresi: <https://www.gammapak.com>
- Gıda Işınlandırılması Alanında Milletlerarası Bir Projeye Mütadair Anlaşma (1971). Resmi Gazete. Yayımlı Tarihi: 17.3.1971. Sayısı: 13781.
- Gıda Işınlama Yönetmeliği (1999). Resmi Gazete. Yayımlı Tarihi: 06.11.1999. Sayısı: 23868.
- Gıda İşleme Teknolojileri. (2014). Gamma pak gıda ışınlamayı yaygınlaştıracak. Şubat sayısı, s48-49. Erişim adresi: <https://www.gidateknolojisi.com.tr>
- Goresline, H.E. (1978). Action plan on food irradiation. In *Proceedings of An International Symposium on Food Preservation by Irradiation Jointly Organized by the International Atomic Energy Agency* (pp.375-406), Wageningen.
- Griffin, E.B., Hallman, G.J., & Griffin, R.L. (2014). Phytosanitary irradiation in ports of entry: A practical solution for developing countries. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 249-255. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12676>
- Hallman, G.J., & Loaharanu, P. (2016). Phytosanitary irradiation - Development and application. *Radiation Physics and Chemistry*, 129, 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.08.003>



- Hallman, G.J., Hénon, Y.M., Parker, A.G., & Blackburn, C.M. (2016). Phytosanitary irradiation: An overview. *Florida Entomology*, 99, 1-13. Retrieved from <http://journals.fcla.edu/flaent/article/view/88667>
- IAEA. (1960). Atomic prospects in five countries. *IAEA Bulletin*, 2(2): 6-10. Retrieved from <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull022/02205000610.pdf>
- IAEA. (1962). Radiation disinfestation of grain. *IAEA Bulletin*, 4(4): 18-20. Retrieved from <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull044/04405401820.pdf>
- IAEA. (1964a). Annual report of the board of governors to the general conference (1 July 1963 - 30 June 1964) GC(VIII)/270. IAEA, Vienna, para. 43, p.8. Retrieved from <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/41/099/41099989.pdf>
- IAEA. (1964b). General conference board of governors. Role of the Agency in Promoting the Peaceful Uses of Atomic Energy During the Development Decade. Memorandum by the Director General, GC (VIII)/INF/77/GOV/INF/131, IAEA, Vienna, para. d., p.10 Retrieved from <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/41/100/41100046.pdf>
- IAEA. (1965). Annual report of the board of governors to the general conference (1 July 1964 - 30 June 1965). GC(IX)/299, IAEA, Vienna, para. 114, pp.28-29. Retrieved from <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/41/096/41096932.pdf>
- IAEA. (1967). Review of the agency's activities. GC(XI)/362, IAEA, Vienna, para. 115, p.83. Retrieved from http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC11/GC11Documents/English/gc11-362_en.pdf
- IAEA. (1987). Legislations in the field of food irradiation. *IAEA-TECDOC-422*, IAEA, VIENNA, 75p. Retrieved from <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/18/101/18101026.pdf>
- IAEA. (1989). Role, achievements & impact of ICGFI. *Food Irradiation Newsletter*, 13(1): 15-24.
- IAEA. (2023). Database of industrial irradiation facilities. Retrieved from <https://nucleus.iaea.org/sites/diif/Pages/Home.aspx>.
- Ic, E., & Cetinkaya, N. (2021). Food safety and irradiation related sanitary and phytosanitary approaches - Chinese perspective. *Radiation Physics and Chemistry*, 181, 109324. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109324>
- İktisadi İş Birliği ve Kalkınma Teşkilâtı Sözleşmesi Hakkında Kanun (1961d). Resmi Gazete. Yayımlanma Tarihi: 5.4.1961. Sayısı: 10774.
- Kobayashi, Y. (2011). Food irradiation: radiation-based sterilization, insecticidal, and inhibition of sprouting technologies for foods and agricultural produce. In: H. Kudo (Ed), *Radiation applications* (pp.217-254). Tokyo:Springer.
- Kooij, J.V. (1984). Food irradiation makes progress. *IAEA Bulletin*, 26(2): 17-21. Retrieved from <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull26-2/26205781721.pdf>
- Koutchma, T., Keener, L., & Kotilainen, H. (2018). Global harmonization initiative (GHI) consensus document on food irradiation. Retrieved from https://www.globalharmonization.net/sites/default/files/pdf/GHI-Food-Irradiation_October-2018.pdf
- McKinley, R.C. (1994). Food irradiation. Past, present and future. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 9(1): SI-S11.
- Milletlerarası Atom Enerjisi Ajansı Statüsünün Tasdiki Hakkında Kanun (1957). Resmi Gazete. Yayımlanma Tarihi: 22.06.1957. Sayısı: 9640.
- Molins, R.A. (2001). Introduction. In: R.A. Molins (Ed), *Food irradiation: principles and applications* (pp. 1-21). New York:Wiley Interscience.
- Moy, J.H. (2005). Tropical Fruit Irradiation – From Research to Commercial Application. In *International Symposium New Frontier of Irradiated food and Non-Food Products*, Bangkok. Retrieved from <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/40/051/40051969.pdf?r=1>
- Nükleer Enerji Sahasında Hukuki Mesuliyete Dair Sözleşmenin Tasdiki Hakkında Kanun (1961b). Resmi Gazete. Yayımlanma Tarihi: 13.5.1961. Sayısı: 10806.
- Pedreschi, F., & Mariotti-Celis, M.S. (2020). Irradiation kills microbes: Can it do anything harmful to the food? In: V. Andersen (Ed), *Genetically modified and irradiated food* (pp. 233-244). London:Academic.
- Roberts, P.B. (2014). Food irradiation is safe: Half a century of studies. *Radiation Physics and Chemistry*, 105, 78-82. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.05.016>
- Roberts, P.B. (2016). Food irradiation: standards, regulations and world-wide trade. *Radiation Physics and Chemistry*, 129, 30-34. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.06.005>
- Yoon, Y. (2011). Current status of food irradiation: benefits, regulations and acceptance. *Safe Food*, 6, 28-33.
- Sanyal, B., & Ghosh, S.K. (2022). Dosimetry in food irradiation. In: V.M. Gómez- López & R. Bhat (Eds). *Electromagnetic technologies in food science* (pp. 33-52). Hoboken:John Wiley & Sons, Inc.
- Sharma, S.K. (1995). The IAEA and the UN family: Networks of nuclear co-operation. *IAEA Bulletin*, 3, 10-15. Retrieved from <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull37-3/37305381015.pdf>
- Shen, L. (2017). *Status and prospect of application of radiation science and technology in China: a national report*. In 1st International Conference on Applications of Radiation Science and Technology. Vienna: IAEA. Retrieved from <https://media.superevent.com/documents/20170424/3725fd0eb3aac215344e0ee83304d85d/s.-lixin.pdf>
- TAEK. (2010). *Narenciye grubu meyvelerde karantina amaçlı ışınlamanın gıda kalitesi ve hijyeni üzerine etkisinin araştırılması*. Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Teknik Rapor No: 2010/2, Erişim adresi: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/42/009/42009934.pdf?r=1&r=1>

- TÜBA. (2023). *Nükleer Enerji Raporu*. TÜBA Türkiye Bilimler Akademisi. Ankara, 72s. Erişim adresi: <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA%20N%C3%BCKleer%20Enerji%20Raporu.pdf>
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu (1982). Resmi Gazete. Yayın Tarihi: 13.7.1982. Sayısı: 17753.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumuna Bağlı Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi ile Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Araştırma Merkezinin Kaldırılarak Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinin Kurulması Hakkında Karar (2005). Resmi Gazete. Yayın Tarihi: 1.7.2005. Sayısı: 25862.
- Türkiye Atom Enerjisi Programının Tatbik Şekli Hakkında Kanun (1959). Resmi Gazete. Yayın Tarihi: 8.4.1959. Sayısı: 10180.
- Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Arasında Atom Enerjisinin Sivil Sahada İstimali Hususunda İşbirliğine Dair Anlaşma (1956a). Resmi Gazete. Yayın Tarihi: 24.12.1956. Sayısı: 9491.
- Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Arasında Atom Enerjisinin Sivil Sahada İstimali Hususunda İş Birliğine Dair Anlaşmanın Değiştirilmesi Hakkında Kanun (1961a). Resmi Gazete. Yayın Tarihi: 22.07.1961. Sayısı: 10861.
- Wang, S., Xu, H., Luan, H., & Cai, J. (2019). Brief introduction of food processing methods and chemical hazards formed during thermal processing. In: S. Wang (Ed), *Chemical hazards in thermally-processed foods* (pp. 1-17). Singapore:Springer.
- Weiss, L. (2003). Atoms for peace. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 59(6): 34-44. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.2968/059006009>
- WHO. (1965). *The technical basis for legislation on irradiated food*. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Rome 21-28 April 1964. World Health Organization Technical Report Series, No. 316, WHO, Geneva, 70p.
- WHO. (1970). *Wholesomeness of irradiated food with special reference to wheat, potatoes and onions*. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Geneva, 8-12 April 1969. World Health Organization Technical Report Series, No. 451, WHO, Geneva, 44p.
- WHO. (1977). *Wholesomeness of irradiated food*. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Geneva, 31 August - 7 September 1976. World Health Organization Technical Report Series, No. 604, WHO, Geneva, 44p.
- WHO. (1981). *Wholesomeness of irradiated food*. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Geneva, 27 October - 3 November 1980. World Health Organization Technical Report Series, No. 659, WHO, Geneva, 34p.
- WHO. (1999). High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. World Health Organization Technical Report Series, No. 890, WHO, Geneva, 198p.
- WTO. (1995). *Selected World Health Organization activities relevant to the implementation of the WTO agreement on the application of sanitary and phytosanitary measures*. World Trade Organization, Committee on Sanitary and Phytosanitary Measures, G/SPS/W/37, 8p.
- Yılmaz, T. (1970). *Coenurus cerebralis*'teki Scolex'lere Cobalt 60 kaynağından verilen radyasyonun etkisi. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 17(3): 242-255. Erişim adresi: <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/11/622/8005.pdf>