

ELEKTRON HIZLANDIRICILARININ DEPOLANAN TAHILLARDAKİ BÖCEKLENMENİN ÖNLENMESİNE YÖNELİK KULLANIMI

H. K. Güçlü, Ş. Turhan, C. Aydaş, Y. Erel, T. Zengin, S. Ocak

Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM)
06100 Beşevler- ANKARA

ÖZET

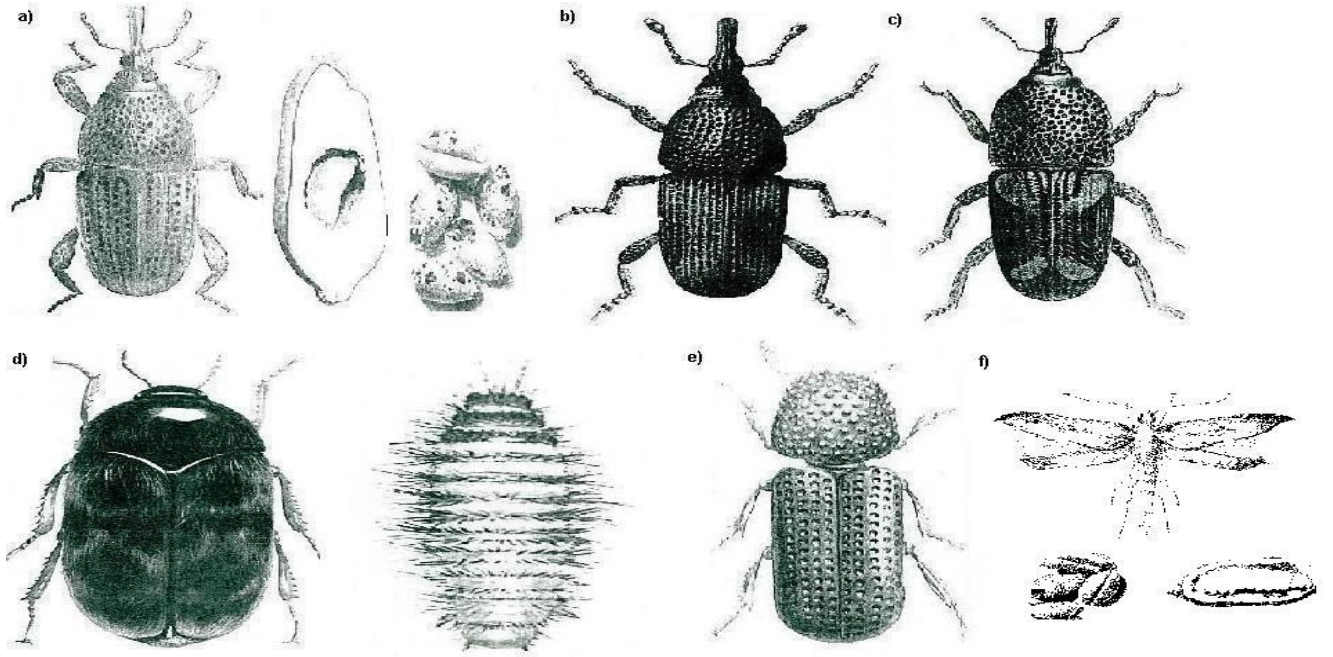
Bugün dünyada tahıl ve ürünlerinin büyük bir kısmı böceklenmeye(haşerelenmeye) maruz kalmaktadır. Böceklenmeye karşı verilen büyük mücadeleye rağmen depolanan ürünlerde yıllık %10'a varan kayıplar (sıcak bölgelerde daha fazla) söz konusudur. Bu kaybı önlemek için konvansiyonel yöntemler olarak da bilinen fumigasyon ve ilaçlama işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde Toprak Mahsulleri Ofisine ait 13 merkezdeki silolarda 2002 yılında, yaklaşık 4,1 milyon ton hububat (buğday, arpa, çavdar, yulaf, mısır, çeltik, haşhaş, pirinç) depolanmış ve böceklenmeden(haşerelenmeden) meydana gelen ürün kayıplarını en aza indirmek amacıyla da 30.067 kg fumigant tüketilmiştir. Bu amaca yönelik olarak konvansiyonel yöntemlere alternatif olan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları ülkemizde henüz ticari ölçekte kullanılmamaktadır. Bu çalışmada, iyonlaştırıcı radyasyon kaynağı olarak hızlandırılmış elektronların (β - radyasyon) ve X- ışınlarının elde edildiği elektron hızlandırıcılarının depolanmış ürünlerdeki böceklenmenin kontrolü için kullanılabilirliği, verimi, ekonomisi ve ilgili teknik parametreleri değerlendirilmiştir. Ayrıca elektron hızlandırıcıları konvansiyonel yöntemler ve radyoizotop gama kaynakları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ambar zararlıları, Elektron hızlandırıcıları, Işınlama tekniği, İşlem kapasitesi, Nüfuz etme derinliği, Doz hızı.

1. Giriş

Yatay depolarda, beton ve çelik silolarda, silo kuyularında, vb. yerlerde depolanmış baklagiller, kuru tahıl ve tahıl ürünleri (buğday, arpa, çavdar, yulaf, mısır, çeltik, pirinç, mercimek, nohut, haşhaş, vb.) böcek, bit, kurt, vb. haşereler veya ambar zararlıları tarafından istilaya uğrayabilir. Tahıllardan beslenen, bir çoğu karantina altına alınmayan bu ambar zararlıları, üstel olarak çok çabuk çoğalabilir ve tahıllarda ileri seviyede zararlar oluşturabilirler. Hasattan önce, sonra, taşınma esnasında ve depolarda, tahıl ve ürünlerine birinci derecede zarar verebilen böceklerin(haşerelerin) uzunlukları yaklaşık 2 mm-5 mm dir (Şekil 1). Bunlardan bazıları çok dirençlidir ve hiç bir gıda ile beslenmeden 2-3 yıl hayatta kalabilirler [2]. Özellikle buğday bitinin, dünya tahıl ürününün % 2,5'ini yok ettiği bilinmektedir [1]. Bunların yanında, sarı un kurdu (Tenebrio molitor), esmer un kurdu (Tenebrio obscurus), kırma biti (Tribolium confusum), un biti (Tribolium castaneum), boynuzlu böcek (Gnathocerus cornutus), ekin kara böceği (Tenebroides mauritanicus), tatlı kurt, (Lasioderma serricorne) gibi ikinci derecede etkili olanlar haşerelerin uzunlukları ise 2 mm-23 mm arasında değişmektedir[1]. Bu böcekler (haşereler) dünyada

tahıl ve tahıl ürünlerinde yıllık yaklaşık %10'a varan kayıplara sebep olabilmektedir [2]. Bundan dolayı, depoların temizlik ve dezenfeksiyon işlemi dışında tahıllardaki böceklenmenin (haşerelenmenin) etkin kontrolü ve uzaklaştırılması, uzun süreden beri amaç haline gelmektedir. Bu amaç için bir çok yöntem kullanılmasına rağmen, gıda endüstrisi daha güvenli ve daha ekonomik yöntemler araştırmaktadır. Böcek ilaçlarının (insecticides), haşere ilaçlarının (pesticides) kullanıldığı ilaçlama ve zehirli gazların (toxic gases) kullanıldığı fumigasyon işlemi gibi kimyasal yöntem şimdiye kadar tavsiye edilen en etkin yöntemlerden biridir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanlar; DETIA GAS-EXT-T, fosfin, metil bromit (MeBr), Quickphos, kloropikrindir. Ülkemizde ise 2002 yılı itibarıyla, 11 bölgede (İstanbul, İzmir, Afyon, Ankara, Konya, İskenderun, Samsun, Erzurum, Diyarbakır, Kayseri ve Ş. Urfa) Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO)'ne ait depolarda muhafaza edilen 4,1 milyon ton ürünün 1,9 tonu (yaklaşık % 46'sı) böceklenme ve haşerelenmeye maruz kalmıştır [3]. TMO, 1992-2002 yılları arasında böceklenme ile mücadele edebilmek için başta fosfin gazı olmak



Şekil 2. Depolanmış tahıl ve tahıl ürünlerine birinci derecede zarar veren ambar zararlıları. a) Buğday biti (*Strophilus granarius*), larvası ve zarar verdiği ürün; uzunluğu yaklaşık 3 mm-5 mm olup genç dönemde açık kahverengi, daha erişkin dönemde ise koyu kahverengidir. b) Pirinç biti (*Sitophilus oryzae*); pirinç, sorgum, buğday, arpa, mısır ve diğer tahıl ürünlerine zarar verir. Ergin ve larvası buğday bitinin ergin ve larvasına benzer. c) Mısır biti (*Sitophilus zeamais*); hem tarlada hem de depoda özellikle mısır, sorgum, pirinç ve buğdaya zarar verir. Uzunlukları yaklaşık 4,5 mm olup ergin ve larvanın görünüşü pirinç bitine benzer ancak pirinç bitine göre daha iyi bir uçucudur. d) Khapra böceği (*Trogoderma granarium*) ve larvası; Orta ve Güney Amerika dışında bütün tropik ve subtropik bölgelerde ve Güneydoğu Asya'da yayılmıştır. Tahıl ürünlerinin yanında yağlı pastalar, süt tozu, bira mayası, makarna küspe ve yer fıstığında da zararlılara yol açan bir böcektir. Yalnızca depolarda yaşarlar. Ergini oval şekilli ve 2 mm-3 mm, larvası 4 mm-6 mm büyüklüğündedir. e) Ekin kambur biti (*Rhizopertha dominica*); bütün kıtaların tropik, subtropik ve sıcak ılıman bölgelerinde yayılmış bir zararlıdır. Tahıl ve ürünlerine, diğer taneli ve baklalı bitkilerin ürünlerine zarar verirler. Ergini kahverengi olup 2 mm-3 mm boyundadır. f) Arpa güvesi (*Sitotraga cerealella*), larvası ve zarar verdiği ürün; dünyanın her yerinde bulunabilen ve arpa, buğday, mısır, sorgum ve diğer tahıl türlerine zarar verebilen bir böcektir [1].

üzere yaklaşık 519.000 kg fumigant tüketilmiştir [3]. Ancak ilaçlama ve fumigasyon işlemleri ciddi sınırlamalara ve dezavantajlara sahiptir: 1) Bütün depo tiplerinde fumigasyon işleminin verimi sıcaklığa bağlıdır. Dolayısıyla ürünün sıcaklığı doğru şekilde ölçülmeli ve gazlama süresi buna göre ayarlanmalıdır. 2) Bu tür işlemlerin uygulanması ve etkili olabilmesi için siloların bir kaç gün hermetik olarak sızdırmazlığı sağlanmalı ve çalışanları korumaya yönelik özel önlemler alınmalıdır. 3) Metil bromit, ozon tabakasının delinmesine diğer gazlar ise sera etkisine (greenhouse effect) katkıda bulunduklarından, çevre ve hava kirliliği açısından zararlıdır. 4) Kullanılan kimyasallar bazı durumlarda etkili olmayabilir. Böcek ve haşere ilaçlarının düzgün olmayan dağılımı sonucunda, böcek ve haşere oluşum(mutant)ları kimyasallara karşı daha dirençli olabilirler, dolayısıyla böceklerin(haşerelerin) bıraktığı yumurtalar, larvalar ve pupalar çoğunlukla yaşamlarını devam ettirirler. 5) İlaçlanan ürünlerde zararlı atıklar kalabilir.

Diğer taraftan son yıllarda, depolanan ürünlerin böceklenmesini (haşerelenmesini) önlemek veya

etkin olan iyonlaştırıcı radyasyonun kullanıldığı ısınlama teknikleri geliştirmiştir [4-13]. Özellikle yaygın bir şekilde kullanılan MeBr'un Montreal Protokolünde, çevre ve güvenlik sebebiyle gelişmiş ülkelerde 2005, gelişmekte olan ülkelerde ise 2015'e kadar tamamen kaldırılmasının öngörülmesi, ısınlama tekniğini alternatif bir yöntem durumuna getirmiştir [14-15]. Bugün en az bir tahıl türü veya tahıl ürünlerinin birinin ısınlaması 22 ülke tarafından onaylanmıştır [16]. Bazı durumlarda, metil bromit ve diğer fumigasyonlara karşı ticari olarak kullanılabilecek iyi bir seçenek olan ısınlama yöntemi bir çok avantajlara sahiptir: 1) ısınlama esnasında havaya ve çevreye herhangi bir kimyasal atık bırakılmadığından çevre kirliliği açısından problem yoktur. Metil bromit gibi ozon delici bir madde değildir. 2) Ambar zararlıların kontrolünde yaygın olarak kullanılan ana fumigant olan fosfin gazının aksine ısınlama hızlıdır ve verimi sıcaklığa bağlı değildir. ısınlama, fosfin gazına dayanıklı böcekleri de kontrol altına alabilir ve küresel ısınmaya katkıda bulunmaz. 3) Ambar zararlıları,

iyonlaştırıcı radyasyona karşı aşırı duyarlıdırlar ve radyasyon ile böceklenmenin kontrolü, baklagillerin, tahılların ve ürünlerinin kalitesine etki etmez. Böcek ve haşere ilaçları gibi ürünlerde zararlı atık bırakmaz. Böceklenmenin önlenmesinde kullanılan radyasyon dozu, tahılların ve ürünlerinin filizlenmesini de engeller. 4) Işınlama ile gıdada oluşan sıcaklık artışı ihmal edilecek kadar çok küçüktür (örnek olarak, 10 kGy'lik ışınlamada sıcaklık artışı 2,5 °C dir). 5) Büyük ebatlardaki gıda paketlerinin geniş hacimlerde sürekli olarak ışınlaması mümkündür.

Bu çalışmada, depolanmış ürünlerdeki böceklenmenin kontrolü için beta ve X-ışınları kaynağı olarak kullanılan elektron hızlandırıcıları, radyoizotop gama kaynakları (^{60}Co ve ^{137}Cs) ile karşılaştırılmış ve ilgili teknik parametreler gözden geçirilmiştir. Ayrıca, TMO'ya ait herhangi bir siloda ışınlama sisteminin nasıl olması gerektiği ve ANAEM'de kurulması düşünülen elektron hızlandırıcı ünitesinin, laboratuvar ve pilot ışınlama ölçeğinde kullanılabilirliği tartışılmıştır.

2. İyonlaştırıcı radyasyon kaynakları ve radyasyon kaynaklarının seçimi ile ilgili parametreler

2.1 İyonlaştırıcı radyasyon kaynakları

Ticari ölçekte gıda ışınlama işlemleri olarak hem kırmızı ve beyaz etlerin bozulmasını önlemek için mikro-organizmaların öldürülmesi; soğan, patates vb. gıdaların filizlenmemesini sağlamak; sebze ve meyvelerin tazeliğinin uzun süre korunması hem de depolanan tahılların böcek ve haşerelerden arındırılması için kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları iki grupta incelenebilir. **1)** Yapay olarak elde edilen ^{60}Co (1.17 MeV ve 1.33 MeV enerjili gama yayınlayan, metal) ve ^{137}Cs (0.66 MeV enerjili gama yayınlayan, çözelti, CsCl) radyoizotop gama kaynakları. Söz konusu gıda ışınlama işlemleri için bu radyoizotopların aktiviteleri birkaç yüz kCi den birkaç MCi'ye kadar olabilir. **2)** Yüksek enerjili elektronlar (beta radyasyonu) ve bu elektronların anı ivmelenmesinden dolayı ortaya çıkan frenleme X-ışınları kaynağı olan elektron hızlandırıcıları. Elektron hızlandırıcılardan şiddetli X-ışınları elde etmek için hedef olarak genellikle tantal ve tungsten kullanılır. Radyoizotoplardan yayımlanan gama ışınlarının tersine, yüksek enerjili X-ışınlarını elektron demeti yönünde yoğunlaştırmak mümkündür ve elektronların geliş doğrultusundaki X-ışını şiddeti diğer doğrultulardaki şiddetin 10 katından daha büyüktür. X-ışınları için dönüşüm faktörü; 3 MeV- 5 MeV enerjili elektron hızlandırıcıları için 0,05-0,08 arasında, 10 MeV için

0,2-0,23 arasında değişmektedir [4]. Gıda ışınlama işlemine göre elektron hızlandırıcılarının enerjisi (0,5 MeV-10 MeV), akımı (10 mA- 150 mA) dolayısıyla gücü (5 kW-150 kW) farklı olabilir. Ancak gıda ışınlama tesislerinde kullanılan elektron hızlandırıcılarının enerjileri, ışınlanacak ürünlerin aktif duruma gelmesini önlemek için, doğrudan elektronlar ile ışınlama durumunda azami 10 MeV, X-ışınlarının kullanılması durumunda ise 5 MeV'e kadar sınırlandırılmıştır.

Bu radyasyonların biyolojik etkileri aynıdır. Beta radyasyonu, ışınlanan ürün atomlarının elektronları ile doğrudan, gama ve X-ışınları ise dolaylı (fotoelektrik, Compton ve çift oluşumu) etkileşerek ara ürünleri (iyonlar, uyarılmış atom veya moleküller, serbest radikaller, vb.) oluştururlar. Bu ara ürünler, karbonhidrat, protein, yağ, vitamin, enzim, pigment içeren her çeşit gıda bileşimi ile tepkimeye girerek yeni ara ürün bileşiklerinin oluşumuna sebep olurlar. Ayrıca bu ara ürünler depolanan ürünlerde bulunan ve kimyasallara (metil bromit, fosfin gazı, vb.) karşı dirençli olan ambar zararlıların DNA'larına zarar vererek onları öldürür veya gelişimlerini (yumurtalar, larvalar ve pupalar) durdurur. İyonlaştırıcı radyasyon ile gıdaların ışınlaması sonucunda, gıdalarda kokulu ve sıhhi olmayan maddelerin oluşmadığı ispat edilmiştir [2]. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), Birleşmiş Milletler Gıda ve tarım Örgütü (FAO) ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), uzmanlarının oluşturduğu komisyon, buğday, pirinç ve ürünlerinin böceklenmesini önlemek üzere 10 MeV enerjili elektron demeti ve 1 kGy'e kadar olan ışınlama dozunda gıdalarda herhangi bir atık ürünün bulunmayacağı ve tahılların besleyici özelliğinin değiştirmeyeceği yönünde bir rapor vermiştir [17].

2.2 Radyasyon kaynaklarının seçimi ile ilgili parametreler

Gıda ışınlama tesisleri için uygun radyasyon kaynağının seçimi, ışınlama dozu ve doz hızı, nüfuz etme derinliği, işlem kapasitesi gibi teknik parametrelere ve yatırım ve işletme maliyeti gibi ekonomik parametrelere bağlıdır. Farklı iyonlaştırıcı kaynakların kullanıldığı tesisler benzerlik gösterirler. Ancak hızlandırıcılar kapatıldığında, radyasyon tehlikesi olmadığından bakım ve onarım için gama tesislerindeki gibi kaynağı koymak için havuza (yükleme ve herhangi bir arıza durumunda) gerek yoktur. Hızlandırılmış elektronlar ile ışınlama süresince çıkan frenleme X-ışınlarından çalışanları korumak için kalın beton duvarlar (gama tesislerine göre daha ince) ile zırhlama yapılır. Aynı güçteki kaynaklar kıyaslandığında, 2 MCi'lük aktiviteye karşılık gelen (^{60}Co için) 30 kW kaynak gücünde her ikisinin de yatırım maliyetleri hemen hemen aynıdır. Fakat

elektron hızlandırıcıların yatırım maliyeti, daha yüksek kaynak gücü söz konusu olduğunda, ^{60}Co gama kaynağına göre daha düşüktür. Radyoizotop kaynakların gücü arttırıldığında, kaynak maliyetinin dışında zırhlama ve taşıyıcı sistem (daha geniş ve hızlı olması) için ilâve harcama gerecektir [18]. Elektron hızlandırıcıları ile ^{60}Co gama kaynakları işletme giderleri açısından kıyaslandığında, hızlandırıcılar için elektrik harcamaları, ^{60}Co için de sadece takviye edilmesi gereken aktivite maliyeti göz önüne alınabilir. Bunların dışındaki diğer giderler, her iki tesis içinde hemen hemen aynıdır. Hızlandırıcıların işletme giderleri, yatırım maliyetinde olduğu gibi, daha yüksek kaynak gücü için gama kaynaklarına göre daha düşüktür [18]. Fumigasyon ile depolanan ürünlerin böceklenmeden arındırılması işlemi ışınlamaya göre daha düşüktür. Türkiye’de 1992-2002 yılları arasında böceklenme ile mücadele edebilmek için tüketilen fumigantların maliyeti 6.747.000 ABD \$ dır [3].

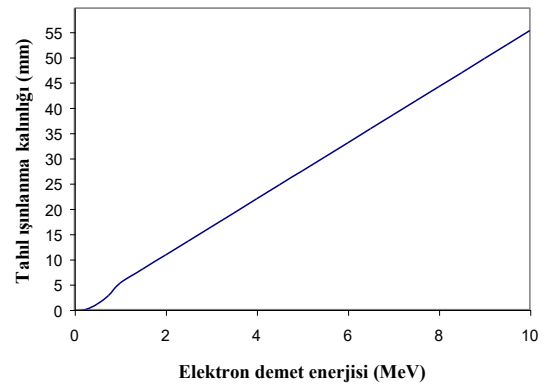
2.2.1 Işınlama dozu ve doz hızı

Ortalama doz; malzemenin soğurduğu enerji miktarının kütlesine bölümüdür. Doz birimi olarak Gy (J/kg) veya rad (100 erg/gr) kullanılmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonun etkisi soğurulmuş doza doğrudan bağlı olduğundan filizlenmenin önlenmesi, sterilizasyon, ambar zararlılarının ve mikroorganizmaların yok edilmesi, vb. gıda ışınlama işlemleri için farklı dozlar gerekmektedir. Depolanan baklagiller, tahıl ve ürünlerindeki ambar zararlıları yumurta, larva, pupa ve ergin dönemlerinde iyonlaştırıcı radyasyon karşı farklı duyarlılık gösterdiğinden, ışınlama dozunu belirlenmesi oldukça önemlidir. 0,2 kGy-0,3 kGy soğurulmuş doz ile tahıl ve ürünlerini ambar zararlılarından arındırmak mümkündür [2]. Ancak bu dozdaki ışınlama, yaklaşık 3-4 haftalık gecikme ile etkili olabilir. Ambar zararlılarının 24 saat içinde ölmelerini sağlamak için 3 kGy-5 kGy soğurulmuş doz gereklidir. Böyle kısa süreli bir etki kimyasal böcek öldürücü ilaçların kullanımına özgündür. 0,5 kGy’lik soğurulmuş doz ambar zararlılarının birkaç hafta içinde ölümünü sağlar. Böyle düşük soğurulmuş dozun kullanımı, bazı tahılların (ekmeklik buğday) fonksiyonel özelliklerinde oluşabilecek radyasyon kaynaklı zararları önlediği gibi işletme maliyetini de düşürür. Bunun yanında, ambar zararlıları çok hızlı bir şekilde üreyip çoğalabildiklerinden dolayı doz hızı düşük olmamalıdır. Doz hızları, elektrostatik hızlandırıcıları için 10^3 - 10^6 Gy/sn, alternatif akım doğrusal hızlandırıcılarında ise 10^{10} - 10^{12} Gy/sn arasında değişmektedir. Radyoizotop gama kaynaklarının doz hızı, 10 Gy/sn’dir [19]. Bu

açıdan bakıldığında elektron hızlandırıcıları büyük bir avantaja sahiptir.

2.2.2 Radyasyonun malzeme içine nüfuz etme derinliği

Radyasyonun malzeme içindeki nüfuz etme derinliği radyasyonun enerjisi ile doğru, ışınlanacak malzemenin yoğunluğu ile ters orantılıdır. Verilen bir enerji için nüfuz etme derinliği, birim alan başına ışınlanacak malzemenin ağırlığı (gr/cm^2) cinsinden verilir. Beta radyasyonu (hızlandırılmış elektronlar), ışınlanan malzemenin elektronları ile doğrudan etkileşerek, Gama ve X-ışınları ise malzeme içinden geçerken yaptıkları etkileşme sonucunda (Fotoelektrik, Compton ve çift oluşumu) ortaya çıkan elektronların etkileşmesi ile iyonlaşma ve uyarma sürecini başlatırlar. Bu yüzden soğurulan beta radyasyon dozu, malzeme yüzeyinde azamî değerine ulaştıktan sonra derinlere doğru aniden düşerken, gama ve X-ışını radyasyon dozu eksponansiyel olarak azalır. Dolayısıyla ışınlanacak gama ve X-ışını radyasyonu için önemli olmasa da elektron hızlandırıcılarının enerjilerinin seçiminde çok önemlidir. Şekil 2’den görüleceği gibi, 1 MeV enerjili elektronlar ile 6 mm kalınlığında, 5 MeV

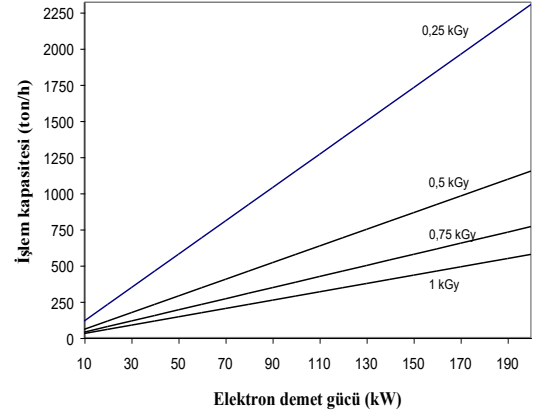


Şekil 2. Tahıl ışınlama kalınlığının elektron demet enerjisine göre değişimi.

enerji elektronlar ile 28 mm kalınlığındaki torbalanmamış hacimsel tahıl ve ürünleri elektronların çıktığı tarayıcının altından geçirilerek ışınlanabilmektedir. Torbalanmış tahıl ürünlerinin ışınlanması için elektronların yerine X-ışınları kullanılmalıdır. Elektron hızlandırıcıları, tahılların, baharatların, küçük boyutlu meyve ve sebzelerin, günlük tüketim için paketlenmiş kırmızı (beyaz) etlerin ve deniz ürünlerinin ışınlanması için uygun bir seçimdir. Dünya Sağlık Teşkilatı, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı ve Uluslar Arası Atom Enerjisi Ajansı tahıllardaki böceklenmeyi önlemek için elektron hızlandırıcılarının kullanımını kuvvetlice tavsiye etmektedir [2].

2.2.3 İşlem Kapasitesi

İşlem kapasitesi veya işlem hızı kaynağın gücüyle doğru, ışınlama dozuyla ters orantılıdır. İşlem kapasitesinin elektron demet gücü ile değişimi üç farklı ışınlama dozu için Şekil 3'te verilmiştir. 0,5 kGy ışınlama dozunda yılda, 50 kW için 1.296.000 ton, 100 kW için 2.592.000 ton ve 150 kW için 3.888.000 ton tahıl ışınlanabilir. Bunun yanında, 1 MCi aktiviteli ^{60}Co gama kaynağı ile yılda 337.050 ton, ^{137}Cs gama kaynağı ile de 75.780 ton tahıl ışınlanabilir (hem hızlandırıcı hem de gama kaynağı tesislerinin yılda 4500 saat çalıştığı kabul edilmiştir). Elektron demeti çıkış gücü, gama kaynaklarının gücüne göre daha yüksek olduğundan, elektron hızlandırıcıları, ışınlama işlem kapasitesi açısından büyük üstünlüğe sahiptir. Elektron hızlandırıcıları ile radyoizotop kaynaklar Çizelge 1'de karşılaştırılmıştır.



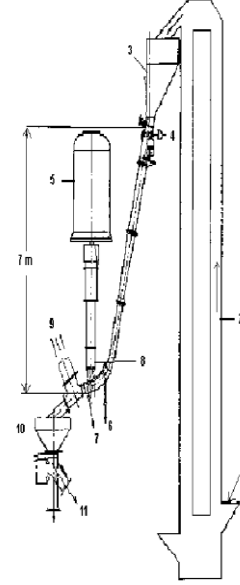
Şekil 3. Tahıl işlem kapasitesinin elektron demet gücüne göre değişimi (İşinleme verimi 0,8 olarak alınmıştır).

Çizelge 1. Elektron hızlandırıcı ve radyoizotop gama kaynaklarının özellikleri.

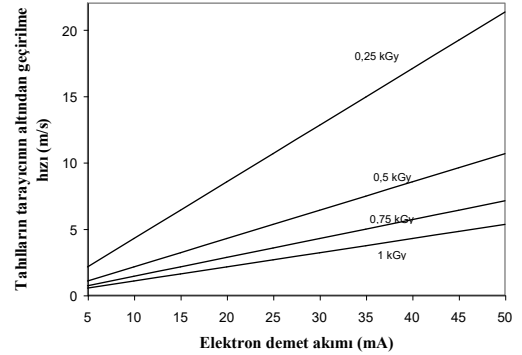
Özellikler	Gama kaynakları	Elektron Hızlandırıcısı
Radyasyon işlemlerinde kullanılan tesis sayısı ve kuruluş güçleri	180 2.6 MW	900 50 MW
Kaynak gücü	14,85 kW/MCi (^{60}Co) 3,34 kW/MCi (^{137}Cs)	10 kW- 200 kW
Doz hızı	10 Gy/sn	10^3 - 10^{12} Gy/sn
Yarılma süresi	5,26 yıl (Co-60) 30,23 yıl (Cs-137)	Yok
İşlem kapasitesi	Düşük	Yüksek
Nüfuz etme	Derin, eksponansiyel azalır	Yüzeysel
Çıkış enerjisi	Sabittir	Kontrol edilebilir
Radyasyonun kesilme durmu	Yoktur	Vardır
Radyoaktif bulaşma	Muhtemel	Yok
İşinlanacak malzeme kalınlığı	Sınır yok	Sınırlı, enerjiye bağlı
Tedarik edildiği firmalar	Sınırlı	Bir çok imalatçı mevcut
Çalışma maliyeti	Takviye edilmeli	Yıpranma ve bakım
İşinlama maliyeti	Yüksek	Düşük
Halkın kabullenmesi	Zor	Daha kolay

2.3 Depolanan tahılları ambar zararlılarından arındırmak için endüstriyel boyutta ışınlama tekniği

İşinlama tesisinin uygun bir yere kurulabilmesi için birinci olarak mevcut kimyasal yöntemler ile çözümü çok zor olan gerçek bir böceklenme probleminin olması gereklidir. İkinci olarak da diğer şehirlerden gelen tahılların toplandığı, büyük bir kısmının depolandığı ve mekanik taşıma sistemlerine sahip siloların bulunduğu yer olmalıdır. TMO'nun ofislerinin bulunduğu şehirler dikkatle incelendiğinde İskenderun, elektron demeti ışınlama tesisi için tercih edilebilir. Çünkü Khapra böceği, Türkiye'nin güney doğusundaki tahıllarda baş belası bir ambar zararlısıdır ve fumigasyon ile kontrolü en zor olan böceklerden biridir. İskenderun limanı aynı zamanda, güney doğudan Durum ve soft buğdayın toplandığı ve modern mekanik taşıma sistemleri ile donatılmış bir limandır. Ticari olarak baklagiller, tahıl ve ürünleri çuvallarda veya torbalanmamış hacimsel (bulk) durumda ışınlanabilir. Işınlanmadan önce kurutma işlemi ile tahıllardaki nem oranını % 14'ün altına düşürülmesi, ışınlama ile böceklerden arındırma işleminin yeteri kadar başarılı olması için gerekmektedir. Torbalanmış tahıllar (özellikle ihraç ürünleri), ^{60}Co kaynağının veya X-ışınlarının kullanıldığı genel amaçlı ışınlama tesislerinde ışınlanabilir. Ancak ışınlama sürekli devam eden bir etki oluşturmadığından, ışınlamadan önce ürünlerin (torbalanmış veya hacimsel) muhafaza edileceği depolar, mantari hastalıklar ve böcekler(haşereler) yönünden oluşabilecek bulaşmaları asgarîye indirmek için temizlik ve dezenfeksiyon gibi işlemlerden geçirilmelidir. Işınlanmadan sonra da torbalanmış ürünler, tekrar böceklenmeyi (haşerelenmeyi) önlemek için böcek veya haşerelerin giremeyeceği çuval, torba, vb. malzemelerde taşınmalı veya depolanmalıdır. Son zamanlarda, ticari olarak torbalanmış pirincin (0,4 kGy dozda, haftada birkaç ton) Endonezya'da, karışık tahıl ürünlerinin, Fransa ve Güney Afrika'da ve yine pirinç ve bakliyatların Tayland ve Çin'de ışınlanmasına onay verilmiştir [5]. Torbalanmamış tahıl ve ürünlerini ambar zararlılarından arındırmak için özel olarak tasarlanmış hızlandırıcıların kullanıldığı ışınlama tesisleri bağıl olarak basit, güvenilir ve çok verimlidir (Şekil 4). Hacimsel tahıllar, akışkanlar gibi işleme tabi tutulabilir. Genellikle ışınlanacak tahıllar asansör yardımı ile belli bir yüksekliğe çıkarılır, daha sonra ağız geniş çıkış deliği dar olan bir geçiş bölgesinden vanalarla yer çekiminin etkisi ile olması gereken hızda elektronların çıktığı tarayıcıdan geçirilir. Tahılın tarayıcının altından geçirilme hızı, ışınlama dozu ve elektron demet akımına bağlı olduğundan, belirlenen doz ve akım için



Şekil 4. Elektron demeti ile tahıllardaki ambar zararlılarının etkisiz duruma getirilmesi işleminin şematik görünümü. 1) Işınlanacak tahıl ve tahıl ürünlerinin girişi 2) Asansör sistemi. 3) Geniş ağızlı ve dar çıkışlı kap. 4) Çıkış vanası. 5) Elektron hızlandırıcısının güç kaynağı. 6) Ti pencerenin soğutulması için soğutma suyu girişi ve 7) çıkışı. 8) Elektronların çıktığı tarayıcı kısım. 9) Havalandırma ve O₃ ihraç sistemi. 10) ve 11) Işınlanan tahılın çıkışı [5].



Şekil 5. Tahılın tarayıcının altından geçirilme hızının elektron demet akımına göre değişimi (taşıyıcı uzunluğu 150 cm, ışınlama verimi 0.8 alınmıştır).

önceden hesaplanmalıdır. Şekil 5'de üç farklı ışınlama dozunda, tahılın tarayıcının altından geçirilme hızının elektron demet akımı ile değişimi gösterilmiştir. Örnek olarak 0,5 kGy ışınlama

dozunda hız, 15 mA için 3,2 m/s, 30 mA için 6,4 m/s ve 50 mA için ise 10,7 m/s dir. 1980 yılında, Ukrayna'nın Odessa limanında buğdaylardaki böceklenmeyi önlemek için elektron demet enerjisi 1,5 MeV demet akımı 14 mA olan ve 200 ton/h işlem kapasitesine sahip ışınlama tesisi kurulmuştur. Yaklaşık olarak 212.680 ton ürünün muhafaza edildiği (2002 yılında) İskenderun'daki ofis için, elektron demet enerjisi 1,5 MeV, demet akımı 15 mA olan ICT tipi hızlandırıcının olduğu benzer bir ışınlama tesisi (Şekil 4) kurulduğunda, 0,25 kGy-1 kGy ışınlama dozunda yılda 193.500 ton-517.500 ton arasında ürün ışınlanabilir.

2.4 ANAEM'de kurulacak elektron hızlandırıcısı ünitesinin kullanılabilirliği

ANAEM'de çok amaçlı kullanım için bir elektron hızlandırıcı ünitesi (0,5 MeV, 20 mA, 10 kW'lık ICT tipi elektostatik elektron hızlandırıcısı) kurulacaktır. İlk olarak bu hızlandırıcı biriminde, ileride ticari olarak kurulacak gıda ışınlama tesislerinde çalışacak elemanların yetiştirilmesinin yanında, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) amaçlı olarak, özellikle tahıllarda bulunabilen geniş böcek veya haşere türleri için ışınlama dozunun ve ürünlerin (özellikle ithalat edilen) ışınlanıp ışınlanmadıklarının tespiti ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Bu tür çalışmalar, Ankara Nükleer Tarım ve Hayvancılık Araştırma Merkezi (ATHAM)'nde bulunan ⁶⁰Co gama hücresi kullanılarak yapılmaktadır. Ancak yaklaşık 10 yıldan beri kullanılan bu kaynağın aktivitesi iki kere yarılanmış durumdadır (her yıl aktivitesinin %12'si azalmaktadır) ve aktivite takviyesi de yapılmamış olduğundan doz hızı çok düşüktür. Bu kaynak, Ankara ve civarındaki üniversiteler ve araştırma merkezlerinden gelen Ar-Ge amaçlı ışınlama taleplerini karşılayamaz duruma gelmiştir.

Elektron hızlandırıcılarının yarılanma problemi olmadığından, düzenli olarak bakımın yapılması durumunda, uzun süre (30-40 yıl) Ar-Ge çalışmaları için beta radyasyon kaynağı olarak kullanılabilir. Son yapılan araştırmalar, baklagiller, tahıl ve baharatların mikrobiyal kontrolü ve tahıllarda bulunan pirinç biti, ekin kambur biti ve un bitinin öldürülmesi için 0,3 MeV-0,5 MeV enerjili elektronların yeterli olduğunu göstermiştir [19-21]. Bu hızlandırıcı ünitesinde, baharatların yüzey sterilizasyonu ve tahıllardaki böcek ve haşerelerin yok edilmesi amacıyla yönelik olarak diğer çalışmaları engellemeyecek bir pilot ışınlama tesisi (0,5 kGy ışınlama dozunda, 1,4 mm kalınlığındaki tahıl 10,5 m/s hızla tarayıcın altından geçirilerek saatte 50 ton ürünün ışınlanabildiği) kurulabilir.

3. Sonuç ve Tartışma

Torbalanmış tahıl ve ürünlerinin ışınlanması pratiktir, etkindir ve MeBr'e bir alternatif olarak bir çok ülkede geliştirilmekte ve yaygınlaşmaktadır. Tek engel bazı ülkelerde onay ile ilgili mevzuatın düzenlenmemesi veya ışınlama donanımının eksikliğidir. Ülkemizde, 1967 yılında tahıllardaki böceklenmeyi önlemek amacı ile endüstriyel ölçekte bir ışınlama tesisi (100 kCi Co-60, işlem kapasitesi, 30-50 ton/saat) Birleşmiş Milletler Gelişme Programı destekli anlaşma çerçevesinde İskenderun'da kurulmuştur. Ancak radyoaktif olmasına karşı gösterilen tepkiler sebebi ile 1968 yılında sökülerek Ülke dışına taşınmıştır. Türkiye ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation)'nın bir üyesidir ve gıda ışınlama yöntemi, 1999 yılında ilgili ışınlama dozlarının resmi gazete yayınlanmasıyla da onaylanmıştır. Halihazırda, baharat türü gıdalar, ticari olarak hem özel sektöre (GAMMA-PAK firması, başlangıç aktivitesi: 500 kCi ⁶⁰Co, Çerkezköy) hem de devlete (IMCi kapasiteli, başlangıç aktivitesi; 100 kCi ⁶⁰Co, Sarayköy'de) ait ışınlama tesisinde ışınlanmaktadır. Bunun yanında ülkemizde, hastanelerde kanser tedavisinde kullanılan elektron hızlandırıcıları hariç gerek gıda ışınlanmasında gerekse diğer radyasyon uygulamalarında (Ar-Ge dahil) kullanılan herhangi bir hızlandırıcı mevcut değildir. Son yıllarda daha güçlü cihazlar imal edildiğinden, elektron hızlandırıcıları hem teknik hem de ekonomik açıdan gıda ışınlama tesislerinde yaygın olarak kullanılan radyoizotop kaynaklar ile rekabet edebilir duruma gelmiştir. Bu çalışmadaki değerlendirmeden de anlaşılacağı gibi tahılların ışınlanmasında elektron hızlandırıcılarının kullanımı, ümit vadeden bir çözümdür ve düşük yoğunluklu, geniş hacimli ürünler (hububat, baharat, çeşniler, vb.) için teknik ve ekonomik olarak radyoizotop kaynaklara göre daha caziptir. Halkın gıda ışınlanmasını kabullenebilmesi açısından, en büyük avantajlarından biri, radyoaktif olmaması, cihaz kapatıldığında radyasyonun kesilmesi ve herhangi bir şekilde radyoaktif atığın bulunmamasıdır. İşletmede ortaya çıkabilecek problem ise kararlı bir elektrik akımının sağlanması ve yedek parça teminidir.

6. Kaynaklar

- [1] Alım ve Muhafaza İşleri İzahnamesi. Cilt: 1 TMO Genel Müdürlüğü Yayın no: 253, 1990.
- [2] Getoff, N., Electron Induced Disinfestation of Grain , Radiation Physics and Chemistry, Vol.34, 6,995-998, 1989.
- [3] T.M.O. Verileri, 2002.
- [4] Cleland, M.R., Disinfestation of Agricultural Commodities with High Energy Electrons and X- rays, and Accelerators

Capabilities for Disinfecting Boxed Frozen Hamburger with High Energy Electron, Irradiation as a Treatment for Solving Phytosanitary Issues, Tampa, Florida, August 5-8, 1997

[5] Salimov, R. A., et al.. The Use of Electron Accelerators for Radiation Disinfestation of Grain, Radiation Physics and Chemistry, 57, 625-627, 2000.

[6] Anonymous. Council for Agricultural Science and Technology. Irradiation of Grain Products for Insect Control, 1984.

[7] El. Kady, E. A. and Heckel, A.M., Irradiation of Pulses and Resistance of Packecing films to Insect Penetration. In: Insect Disinfestation of Food and Agricultural Produced by Irradiation I.A.E.A., 1991.

[8] Manseur, M. And Al-Bachir, A. M., Feasitility for the Disinfestation of Pulses and Cereal Grains by Irradiation. In: Food Irradiation in the Middle East of Europe. I.A.E.A., July 1994.

[9] Diehl, J.F., Achievements in food Irradiation During the Century. Nuclear News. 43(5).28-30, 2000

[10] Mermelstein, N. H., E. Beam –irradiated Beef Reaches the Market, Papaya and Gamma-Irradiated Beef to Follow. Food Technology. 54(7), 88-92, 2000.

[11] Mittendorfen J., Bierbaumer H. P., Gratel F., Kellauer E., Decontamination of food packacing electron Beam – states and prospects. Radiation Physics and Chemistry. 63(833), 2002.

[12] Ivanov A.S., Duchinnilov V. P., Svinm M. P., Tolstun W. G., Baport S. C., 4 mev High –Voltage Accelerators with 500 kw Electron Beam for Radiation Sterilization, Vakum, 62, 225-2319, 2001

[13] Mckeown J., Armstrong L., Clelend M.R.,. Prevell N. H, Dubean J., Lawrence C. B, Smyth D., Photon Energy Limits for

food Irradiation of Feasibility Study. Radiation Physics and Chemistry, 5355-61, 1998.

[14] Marcotte M., Irradiation Disinfestation Method-update on Methyl Bromide Phase out, Regulatory Action and Emerging Oppurtunities Radiation Physics and Chemistry, Vol52, 1-6, 188, 1998.

[15] EPA Revocation of pesticide Food Additive Regulation ; Final Rule , federal Register, vol. 61, 57, 11994-11999, March22, 1996.

[16] Anonymous, Marcotte M., Control of Reltsof Grains, Cereal, and pulses by Irradiation.

[17] FAO Irradiation in Production , Processing and Handling of Food, Final Rule.21, Federal Register, vol.62, 232, 64107-64121, December 3, 1997.

[18] Turhan Ş., Karabacak H., Unal S., Ocak S., Zengin T., Erel Y., Elektron Hızlandırıcıların Gıda İşinlanmasında Değerlendirilmesi. Türkiye 7. Gıda Kongresi. 22-24 Mayıs Ankara121-130, 2002.

[19] Todoriki S., Kikuchi O.K., Nakaoka M, Miike M., Hayashi T, Soft Electron (low Energy Electron) Processing of Foods for Microbial Control . Radiation Physics and Chemistry. 63, 341-351, 2002.

[20] Clogarn D.A., Nablo S. V., Fano D. N. Hagitrum D.W., Elekon Beam Treatment parameter for control of stared ProductInsects. Radiation Physics and Chemistry 63, 1575, 2002.

[21] Hayashi T., Takaharhi, Y., and Todorili S., Sterilization of Foods with Low Energy Electrons. Radiation Physics and Chemistr.,52-73, 1998.