

**Yeni Kuşak Radyasyon Teknolojileri Uygulamaları ve Kobalt-60
(Co-60) Gama Işınlama Tesisleri**

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (acant@taek.gov.tr)

Dünyamızın nüfusu son yapılan istatistiklere göre, yılda yaklaşık 100 milyon artarak 6.5 milyarı aşmış durumdadır. Ortalama ömür (life expectancy) yükselmesi de söz konusu nüfus artışına önemli ölçüde katkı yapmaktadır. Bir başka deyişle, sağlanan yüksek hayat standartları sayesinde hem kalkınmış ülkeler hem de hızla kalkınmakta olan ülkeler arasında insanların doğum sayısı oranları artarken insanların yaşam süreleri yani insanların hayatta kalma süreleri yükseldiğinden insanların ölüm sayısı oranları da azalmaktadır. Bir noktada dünya nüfusu artmak suretiyle giderek yaşanmaktadır. Böylece, nüfustaki hızlı artış oranları eğilimleri, dünya ekonomisinin büyümesi, küresel boyutta doğal ve yaban hayatı koruma, insan sağlığı, çevre kirliliği ve çevre güvenliği stratejileri perspektifleri açısından kaygılar uyandırmaktadır. Enerji ve gıda tüketimindeki artış ile yaşam standardındaki yükselmenin dengeli şekilde karşılanabilmesi ve korunabilmesi için, çevre dostu yeni kuşak çağdaş teknolojiler içerisinde karbondioksit emisyonları olmayan modern nükleer teknolojiler kullanılması zorunlu görülmektedir. Ekolojik denge perspektifi açısından küresel ısınma ve iklim değişikliği faili nedenleri arasında sayılan karbon salınımları sınırlandırılması önlemi de küresel ısınma mekanizmaları içeriğinde bir nebze alınmaktadır. Bu bağlamda yeni nesil çağdaş nükleer teknolojiler içinde iyonlaştırıcı radyasyonlar yoğun biçimde kullanılmaktadır. Uzaydan gelen X-ışınları, kozmik ışınlar, gama ışınları, protonlar, alfa parçacıkları, elektronlar, fotonlar, alışılmadık ya da bilinmedik egzotik yüksek enerjili parçacıklar, nükleer reaksiyonlar sayesinde oluşan aynı zamanda radyoaktif maddelerden kaynaklanan iyonlayıcı radyasyon ve yer kabuğunda bulunan uranyum, toryum gibi radyoaktif elementlerden atmosfere yayılan iyonlaştırıcı radyasyonlar; güneş ve güneş sistemimizin meydana gelmesi 4.5 milyar yıl hatta kainatın yaratılması ve evrenin oluşumu yaklaşık 13 milyar 700

milyon yıl'dan beri evren, daha geniş anlamı ile kainat sınırları içerisinde bulunmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlayıcı radyasyonlar adı altında, çok küçük dalga boylu ışınlar veya çok yüksek frekanslı ve enerjili radyasyon kaynakları kastedilmektedir. Günümüzde ileri, yenilikçi, evrimsel nükleer endüstriyel uygulamalar bazında iki tip yüksek enerjili radyasyon çeşitleri yada ışın kaynağı türleri kullanılmaktadır. Bunlardan birini gama ışınması yapan kobalt-60 (Co-60) veya sezyum-137 (Cs-137) gibi radyoaktif izotoplar ve bir diğerini de yüksek enerjili elektronların üretildiği elektron demeti hızlandırıcıları oluşturmaktadır. Kamuoyunda genel bir kaygı olan şu noktayı açıkça belirtmek gerekir ki; bu iki tip birbirinden tamamı ile farklı iyonlaştırıcı radyasyon cihazları ve iyonlayıcı radyasyon kaynakları ile ışınlanan maddeler kesinlikle radyoaktif madde ya da radyoizotop kaynak ve radyasyon kaynağı haline dönüşmezler. Radyoizotoplar, radyoaktif elementler, radyoaktif maddeler ve iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları olabilmeleri için, gerekli olan iyonlayıcı radyasyonlarla ışınlanma enerjileri, kritik enerji olan 10 MeV'in çok altında bulunması nedeniyle radyasyona maruz bırakılan nesnelere radyasyonla ışınlanma sonucu hiçbir şekilde radyoaktif hale dönüşemezler ve üzerlerinde katiyetle herhangi bir radyoaktivite ile radyoaktif kalıntı, radyasyon kirliliği, nükleer kirlilik ve nükleer kontaminasyon oluşturamazlar. Çünkü, nükleer transmutasyonlar ve nükleer transformasyonlar, ancak ve ancak ışınlama enerjisi 10 MeV'in üzerindeki radyasyonlarla ışınlanmalar ile gerçekleşmektedir.

Tüm dünyada iyonlayıcı radyasyonun endüstriyel amaçlı kullanımı her yıl yaklaşık %10 ila %15 arası oranlarda artmaktadır. Sadece bu oranlar küresel mali kriz ve sonrası küresel ekonomik çöküş dönemlerinde değişime uğramaktadır. Örneğin, 2008 yılında çok büyük ölçekte ortaya çıkan küresel ekonomik kriz sonucu beliren küresel mali çöküntü ve küresel finansal iflas nedenleri ile mevzu bahis oranlar biraz düşüş göstermiştir. Şu anda 50'nin üstünde ülkede 200'den fazla gama ışınlama tesisi ve 1000 civarında elektron demeti hızlandırıcısı tesisi faaliyet göstermektedir. Nükleer ışınlama tesisleri vasıtasıyla otomobil lastiklerinden gıda ürünlerine, telefon kablolarından karbon emisyonları ile küresel ısınma ve iklimsel

değişiklikler yaratan baca gazlarına, ambalaj, sanayide kullanılan plastik filmler, tek kullanımlık hastane gereçleri (disposables) olmak üzere yüzlerce değişik özellikte, yapıda ve görünüşteki malzemeler, donanımlar, sistemler; iyonlaştırıcı radyasyonlarla ışınlanma sureti ile istenilen amaca uygun hale getirilmektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde sağlık alanında takribi 3200 değişik türde tıbbi malzeme, farmasötik ve kozmetik üzerinde iyonlayıcı radyasyon teknolojisi uygulanmaktadır. Esas itibariyle iyonlaştırıcı radyasyon teknolojisi sayesinde yüksek enerjili ışın enerjisi ya da çok kısa dalga boylu radyasyon enerjileri kullanımı suretiyle kimyasal reaksiyonları başlatma, iyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkileri vasıtası ile radyasyonla ışınlanan nesnelere üzerinde biyolojik değişimler oluşturma, böylece çeşitli malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirme amaçlanmaktadır. Temelde radyasyon teknolojisi kolay bir uygulama olduğu gibi söz konusu teknolojinin en önemli avantajlarından birisi de gazlara, sıvılara, homojen ve heterojen sistemler üzerinde uygulanabilen teknik olmasıdır. İyonlaştırıcı radyasyonlar teknolojisi uygulamalarının alışılabilir tekniklere karşı diğer bir avantajı gerek kimyasal madde gerekse de ısı enerjisi şeklinde ortaya çıkan çeşitli bağımlılıkların en aza indirgenmiş olmasıdır. Ayrıca, iyonlayıcı radyasyon teknolojileri diğer teknolojilere kıyasla önemli ölçüde enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Öte yandan, çevreci olan nükleer ışınlama tesisleri sera gazı salınımları yapmamaktadır. Bu nedenle Kyoto Protokolü gereği küresel ısınma ve iklim değişiklikleri nedeni sera gazları salımları kısıtlandırılması, dizginlenmesi, sınırlandırılması, azaltılması, kontrol ve denetim altına alınması kapsamında çevre kirliliği yaratma riski söz konusu nükleer teknolojilerde bulunmamaktadır. Radyolojik güvenlik perspektifi içeriğinde radyasyondan korunma felsefesi stratejisi açısından son derece emniyetli ve güvenli olan gama ışınlama tesisleri ile elektron hızlandırıcısı tesisleri; çevre, iş güvenliği ve işçi sağlığı bakımından riskleri de minimum düzeyde olacak biçimde tasarımları yapılmış olup, aynı zamanda verimlilikleri, kapasite kullanımları ve performansları yüksek şekilde işletilmektedir.

Radyasyonun tıbbi uygulamaları ve endüstriyel radyasyon teknolojileri perspektifleri bağlamında radyoaktif kaynaklar içerisinde en çok kobalt-60 (Co-60) radyoizotopu tercih edilmektedir. Ayrıca, bir

radYOlojik veya nÜkleer kaza halinde nÜkleer emniyet ve nÜkleer güvenlik yönünden kobalt-60'ın sezyum-137 (Cs-137)'ye kıyasla çevrede radyasyon kirliliği, radyoaktif kontaminasyon ve nÜkleer tesislerde nÜkleer kirlilik yaratma riski minimum düzeydedir. Sezyum-137 fiziksel yarı ömrü 30 yıl, kobalt-60 yarılanma süresi 5.3 yıl olarak bulunmuştur. Radyoaktif yarılanma süreleri açısından sezyum-137 için bir avantaj söz konusu olsa da Co-60'ın gama radyasyonları enerjisi iki kat daha fazladır. Bu nedenle Co-60'ın doz hızı Cs-137'ye nazaran yüksek olmaktadır. Gama radyasyonu enerjisinin yüksek oluşu iyonlaştırıcı radyasyonların etkileşme mekanizmaları ve ışınlanma süreleri yönünden büyük önem taşımaktadır.

Kobalt-60 (Co-60) Radyasyon Kaynakları: Kobalt kimyasal bir element olup, atom ağırlığı 59'dur. İsveçli kimyacı George Brandt tarafından 1735 yılında keşfedilmiştir. Adını Alman mitolojisi ve Alman maden öykülerinde gümüş çalan gulyabani ya da çirkin yaratık manasına gelen Kobold'dan almıştır. Günümüzde kimyagerler olarak anılan Orta Çağda yaşayan Alşimistler kurşunu altına dönüştürmek için beyhude şekilde büyük uğraş verdiler. Kurşunu altına çevirmek için yoğun mücadele eden Alşimistler yada Simyacılar bugün yaşamış olsalardı kuşkusuz kobalt-60'ı dünyadaki tüm altınlara tercih ederlerdi. Çağımızda nÜkleer atıklar konusunda yoğun araştırmalar yapan nÜkleer fizikçiler eskinin simyacılarına benzetilmektedir. Orta Çağda çok değerli altın ve gümüşün yerini şimdilerde fizikçiler için düşsel ürün radyoaktif atıklar almış durumdadır. NÜkleer atıkların idaresi veya radyoaktif atık yönetimi perspektifleri kapsamında nÜkleer atıkların yok edilmesi, radyoaktif atıkların bertarafı, nÜkleer atıkların arıtılması, radyoaktif atıkların daimi depolanması ve nÜkleer atıkların geçici depolanması yanında nÜkleer atıkların tecrit edilmesi stratejileri konularına basitleştirilmiş aynı zamanda sadeleştirilmiş, maliyetleri düşük ileri nÜkleer atık teknolojileri getirilmeye çalışılmaktadır. Hızlandırıcılar, nÜkleer elektrik reaktörleri çalıştırılması temel prensibi dahilinde oluşan nötronlar ve yüksek nötron akıları, modern nÜkleer transmutasyon yöntemleri kullanılmak sureti ile sadeleştirilmiş çağdaş nÜkleer atık yönetimleri ve radyoaktif atıkların tecridi teknolojileri araştırılmaktadır. İşte bu nÜkleer araştırmalar yapılmaya başlandığı ilk yıllara paralel şekilde

transuranyum elementleri, bir başka deyimle uranyum ötesi radyoizotoplar yanında reaktörlerde kobalt-59 (Co-59) ışınlanması sayesinde tamamı ile yapay radyoizotop ve suni radyasyon kaynağı kobalt-60 (Co-60) bulunmuştur. Uzunca süre boya sanayinde kullanılan radyoaktif madde olmayan kobalt-59 (Co-59)'un nükleer santraller vasıtasıyla nötronlarla ışınlanması suretiyle eşsiz değere sahip kobalt-60 (Co-60) radyoizotopu'na dönüştürülmesi yaklaşık 50 yıl önce keşfedilmiştir. Kobalt-59 cevheri doğada nadir olarak bulunan elementler arasında sayılmaktadır. Yerkürede % 0.001 oranında bulunan kobalt-59 halihazırda büyük miktarlarda Zaire ve Zambiya (Zambia)'da üretilmektedir. Kanada, Rusya Federasyonu, Fas, Zimbabve (Zimbabwe), Yeni Kaledonya (New Caledonia) gibi az sayıda ülkede de önemli ölçüde kobalt-59 rezervleri keşfedilmiştir. Yeryüzünde nikel maden yatakları içerisinde bulunan kobalt-59 cevheri üretimi yıllık 30000 ton düzeyinde gerçekleşmektedir. Geniş kobalt-59 rezervi bulunan ülkelerden biri olan Kanada'da Sudbury-Ontario ve Thomson-Manitoba eyaletlerinde nikel maden ocakları içinden Co-59 çıkarılmaktadır. Nükleer güç reaktörleri kanalıyla paslanmaz çelik çubuklar içerisinde nötronlarla ışınlanan Co-59 yaklaşık bir yılda nükleer transmutasyon sayesinde 1 nötron alarak Co-60 radyoizotopu haline dönüşmektedir. Dünyada Co-60 üretimi % 80 gibi çok yüksek oranda Kanada'nın elinde bulunmaktadır. Önceleri Kanada'da Ontario eyaletinde bulunan Pickering ve Bruce nükleer elektrik santralleri Co-60 üretimi yapmakta idi. Daha sonraları Kanada'ya ait New Brunswick ve Ontario eyaletlerinde bulunan Point Lepreau ve Darlington CANDU tipi nükleer güç santralleri Co-60 üretimi yapmaya başladılar. Örneğin, Kanada'da 685 MW kapasiteli elektrik üretimi yapan Quèbec eyaleti Trois-Rivières yakınlarında Hydro-Québec şirketi tarafından işletilen Gentilly 2 nükleer güç reaktörü ayrıca 1984'den beri Co-60 üretmektedir. Diğer taraftan, Arjantin, Güney Kore ve Romanya'da faaliyet gösteren CANDU tipi nükleer reaktörler ile de Co-59'un nötronlarla ışınlanması sonucu Co-60 üretimi hizmeti verilmektedir. Rusya Federasyonu'da Co-60 üretimi yapan ülkeler arasındadır. Kobalt-60; nükleer güç endüstrisi tarafından üretilen bir radyoaktif atık kesinlikle değildir. Aynı zamanda nükleer sanayi sektöründe nükleer fisyon ve nükleer reaksiyonlar içeriğinde katıyetle bir yan ürün olmayan Co-60, tamamıyla insan yapısı suni radyoizotoplar ve yapay radyoaktif

kaynaklar kategorisinde ya da radyoaktif elementler arasında yer almaktadır. Kobalt-60 gama ışınlama kaynakları; kanser hastalıkları tedavisi, tek kullanımlık tıbbi malzemelerin sterilizasyonu, farmasötik ve kozmetik ürünler içindeki mikroorganizmaların öldürülmesi amaçları için tıp sektöründe yaygın biçimde kullanılmaktadır. Sanayide polietilen boruların radyasyonlarla ışınlama sonucu kimyasal anlamda atomlar arasında moleküler düzeyde kuvvetli bağlar meydana getirmek suretiyle çapraz bağlanma (crosslinking) oluşturulmaktadır. Yüksek doz hızları vasıtasıyla da daha yüksek oranlarda çapraz bağlanma gerçekleştirilmektedir. Böylece, polietilen boruların çekme ve kırılma kuvvetlerine karşı dayanıklılığının artırılması, patlama basıncı karşısında yüksek direnç, sıcak ile soğuğa karşı dayanma gücü ve sertlikte artma, aynı zamanda kimyasallara karşı daha iyi direnç gösterme temini sayesinde söz konusu boruların kalitesi son derece yükseltilmektedir. Ayrıca, endüstriyel ölçekte gama ışınlaması ile kanalizasyon, lağım çamuru ve atık sular içinde bulunan sağlığa zararlı mikroorganizmalar yok edilmektedir.

Gıda Işınlama Teknolojisi Stratejisi Perspektifleri: Gıda sektöründe hasatı yapılmış ürünlerin korunması ve gıda maddeleri üzerinde gıda kaynaklı hastalıkların kontrolü için etkin bir yöntem olan gama ışınlama teknikleri, hızla artan dünya nüfusunun sağlıklı beslenmesi için önemli katkılar yapmaktadır. Radyasyonla gıda ışınlaması teknikleri sayesinde gıda zehirlenmelerine neden olan hastalık yapıcı mikroorganizmaların zararsız hale getirilmesi, gıdalarda bozulmaya ve çürümeye neden olan mikroorganizmaların öldürülmesi, sebzelerde filizlenmenin önlenmesi, meyvelerde olgunlaşmanın geciktirilmesi, tahıl ürünleri, baklagiller ve baharatlar ile sebzelerde böceklenmenin önlenmesi sağlanmaktadır. Gama ışınlama işlemi esnasında gama ışınları aracılığıyla ışınlanan gıda ürünleri üzerinde gıdalara bulaşık bakteri, küf, maya gibi mikroorganizmalar yok edilmekte, parazit ve böcekler ile bunların yumurta ve larvaları zararsız hale getirilmek suretiyle gıdanın kalitesi korunmakta ve gıdaların raf ömrü uzatılmaktadır. Patates, soğan, kökler ve yumrular; Depolama sırasında filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmanın önlenmesi amacıyla 0.2 kGy'lik gama ışınlama dozları ile ışınlanmaktadır. Taze meyve ve sebzeler, hububat, öğütülmüş hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, baklagiller, kurutulmuş sebzeler, kurutulmuş

meyveler, taze ve dondurulmuş çiğ balıklar, kabuklu deniz ürünleri, beyaz ve kırmızı et ürünleri, kuru sebzeler, baharatlar, kuru otlar, çeşniler ve bitkisel çaylar; Olgunlaşmayı geciktirme, böceklenmeyi önleme, raf ömürlerini uzatma, karantina kontrolü, mikroorganizmaları azaltma, bazı patojenik organizmaları yok etme, paraziter enfeksiyonları kontrol altına alma ve küf kontrolü amaçları için 1 ila 10 kGy arasında değişen radyasyon dozlarına maruz bırakılmaktadır. Radyasyonla ışınlama teknikleri, gıda ürünlerinde kaçınılmaz şekilde bulunan mikroplar bağlamında mikroorganizma güvenliği temini perspektifleri açısından stratejik boyutta çok önemli olan mikroplardan arıtma, mikropsuzlaştırma ve dezenfeksiyon yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (**Food and Agriculture Organization-FAO**), Dünya Sağlık Teşkilatı (**World Health Organization-WHO**) ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (**International Atomic Energy Agency-IAEA**) ışınlanmış gıdaların güvenilirliği içeriğinde tüm kaynaklarını harekete geçirmiş durumdadır. Bu kapsamda 1963'de FAO ve WHO tarafından küresel gıda standartlarını ileri düzeye getirmek için kurulan Uluslararası Gıda Kodeks Komisyonu (**Codex Alimentarius Commission-CAC**), 1993 yılında bir Uluslararası Işınlanmış Gıda Standardı yürürlüğe koymuştur. Söz konusu standartta 10 kGy'e kadar dozlarla ışınlanan gıda ürünleri içinde sağlığa zararlı bir değişiklik oluşmadığı ve gıda güvenilirliği sağlandığı kesin ifadeler ile belirtilmektedir.

Radyasyonla sterilizasyon veya çok yüksek enerjili ışınlar ile mikroorganizmaların yok edilmesi projeksiyonları: Günümüzde hastanelerde oluşan ve bulaşıcı olan enfeksiyonların önlenmesi için şırınga ve kateter gibi tek kullanımlık tıbbi malzemeler kullanılması halk sağlığı standartlarının yükseltilmesi perspektifleri açısından güncel koşullar içerisinde büyük bir önem arz etmektedir. Pek çok salgın hastalık; şırıngalar, kateterler, kan alma ve kan verme setleri, aynı zamanda kan nakli setlerinin yetersiz olarak sterilizasyonu veya bunların tekrar kullanımı ile yaygınlaşabilmektedir. Bunlar arasında en çok görülen salgın hastalıklar bulaşıcı sarılık ve insanlarda bağışıklık sisteminin çökmesine neden olan HIV virüsü, diğer bir deyimle, insan bağışıklık yetmezliği virüsü (**Human Immunodeficiency Virus-HIV**)'nden kaynaklanan AIDS hastalığı

olarak önemli ölçüde göze çarpmaktadır. AIDS hastalığı; kazanılmış bağışıklık eksikliği sendromu (**Acquired Immune Deficiency Syndrome – AIDS**) olarak tanımlanmaktadır. Türkiye’deki sağlık kurumlarınca yukarıda anılan salgın hastalıklar ve tıbbi bulaşmaların önlenmesi için tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin kullanımı konusuna zorunluluk getirilmiştir. Böylece, atılabilir tıbbi malzemelerin yerli üretimi ile tüketimi her geçen gün hızla artmaktadır. Tek kullanımlık şırıngaları bir örnek olarak verecek olursak, şu anda Türkiye’de 400 milyon atılabilir şırınga yerli olarak üretilip tüketilmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde kişi başına yılda 10-12 tek kullanımlık şırınga tüketildiği göz önüne alınırsa ülkemizde de yakın bir gelecekte 700 milyonun üzerinde atılabilir şırınga üretimi ve tüketimi gerçekleşmesi olası görülmektedir.

Türkiye’de tek kullanımlı tıbbi malzemelerin sterilizasyonu tekniği olarak yoğun şekilde etilen oksit (ETO) gazı tesisleri kullanılmaktadır. Etilen oksit gazı kullanımı işçi sağlığı ve iş güvenliği, hastalar ve çevre perspektifleri açısından sorunlar yaratmaktadır. Örneğin, etilen oksit (ETO) saf olarak kullanıldığında ekonomik olarak pahalı ve işçi güvenliği kriterleri perspektifi yönünden tehlike oluşturmakta, ayrıca freon gazı ile karıştırıldığında ise sera gazları etkisi yaratan kloroflorokarbon bileşikler yoluyla küresel ısınma ve iklimsel değişimler nedenleri arasında gösterilen ozon tabakası incelmesi ile ozon tabakası delinmesi gibi olağandışı doğa olayları yaratılmasına katkı yaparak çevre kirliliği meydana getirmektedir. Sterilizasyon tekniği olarak ETO kullanımında Avrupa Birliği ve diğer kalkınmış ülkelerde atılabilir tıbbi malzemeler üzerindeki etilen oksit miktarı milyonda 1 partikül (**parts per million-ppm**) yani 1ppm’in altında bir seviyede bulunmaktadır. Bugün sanayide en iyi yöntem iyonlayıcı radyasyonlar veya çok yüksek frekanslı ve enerjili ışınlar kullanımı ile yapılan sterilizasyondur. Çok yüksek enerjili ışınlarla sterilizasyon seçimindeki temel faktörler teknik üstünlük, basit ve güvenilir olması, ayrıca diğer endüstriyel sterilizasyon metotları üzerine konulan kısıtlamalardır. Işınlanmış tıbbi malzemeler daha öncede belirtildiği gibi iyonlaştırıcı radyasyonlarla ışınlanmalar sonrası kesinlikle radyoaktif maddeler haline dönüşmeyip hemen kullanılabilir. Diğer endüstriyel sterilizasyon metotları kullanan sistemlerde ise steril edilen atılabilir tıbbi malzemeler iki hafta bekletildikten sonra

kullanıma sunulabilmektedir. Böylece yüksek enerjili ışınlar ile mikroorganizmaların bertaraf edilmesi, endüstriyel sterilizasyon teknikleri içerisinde hızlı, güvenilir ve ekonomik bir yöntem olarak kabul edilmekte kalkınmış ülkelerde olduğu kadar kalkınmakta olan ülkeler arasında da hızla yaygınlaşmaktadır.

Türkiye’de biri devlete diğeri özel sektöre ait iki adet Co-60 Gama Işınlama Tesisi faaliyet göstermektedir. Ankara’da Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM)’de 140 kCi Co-60 aktiviteli Gama Işınlama Tesisi işletilmektedir. SANAEM Gama Işınlama Tesisi Mayıs-1993’den beri hizmet vermektedir. Mayıs-2010’da 200 kCi Co-60 kaynağı ilavesi sayesinde gama ışınlama kapasitesi 2.5 kat artırılması planlanmıştır. 140 kCi (kilocurie) Co-60 kaynağı aktivitesi açık ifade ile 140000 Curie’dir. Tesiste 2009 yılında gıda ışınlaması kapsamında patojenik mikroorganizmaların azaltılması amacı ile karabiber, pul biber, acı toz biber, nane, kekik, kimyon, yeni bahar ve çeşitli baharat karışımları olmak üzere toplam 1700 metreküp gıda maddesi ışınlanmıştır. Radyasyonla sterilizasyon içeriğinde 2009’da tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin sterilizasyonu bağlamında katküt, ameliyat örtüsü, sargı bezi, A/V setleri, swab, kan gazı enjektörü, ameliyat malzemesi, ortopedik malzeme, su soketi gibi 1470 metreküp tıbbi ürün ışınlanmıştır. Kutu (tote box) tipi olan SANAEM gama ışınlama tesisi bir defalık ürün ışınlama kapasitesi 9.5 metreküp’tür.

Özel sektör tarafından işletilen Gamma-Pak Sterilizasyon Sanayi ve Ticaret A.Ş.’ye ait şu anda 1MCi Co-60 radyoizotopu yüklü Gama Işınlama Tesisi Haziran-1994’de hizmete alınmıştır. 1MCi (milyoncurie) Co-60 radyasyon kaynağı aktivitesi açık ifade ile 1000000 Curie’dir. Gamma-Pak Işınlama Tesisi, Hastane ve Sağlık Ürünleri Sanayi Dalında; Eldiven, önlük, enjektör, iğne, ameliyat ipliği, tampon, başlık, elbise ve benzerleri, İlaç ve Kozmetik Sanayi Dalında; Talk pudrası, nişasta, şeker, antibiyotikler, vitaminler gibi hammadde ve mamüllerin biyolojik arıtılması, ambalaj maddeleri sterilizasyonu, laboratuvar malzemesi sterilizasyonu, bebek müstahzaratının biyolojik arınması veya sterilizasyonu, şampuanda bakteri seviyesi azaltılması, kozmetik mamüllerde kalite seviyesi

ayarlanması, hijyenik tampon ve pedlerde hijyenik seviye kontrolü, Gıda ve Ambalaj Sanayi Dalında; Ambalaj malzemesi sterilizasyonu, Aseptik Bag-in-box ve Bag-in-drum torbalarının sterilizasyonu, sütlü mamüller, meyve suları ve meşrubat aseptik kaplarının sterilizasyonu, kurutulmuş sebze, çay ve baharatta biyolojik kalite kontrolü, fındıkta böcek küf ve mantar kontrolü, fındık ezmesi, fındık unu, ufalanmış fındık gibi mamüllerde mikrobiyolojik arıtma, donmuş balık, tavuk v.b. mamüllerde salmonella ve diğer bakterilerin kontrolü, hayvan gıdasında mikrobiyolojik arıtma, şarap mantarı sterilizasyonu, Diğer Sanayi Dallarında; Cam mamüllerin dekoratif renklendirilmesi, az değerli mücevher taşlarının renklendirilmesi, yarı iletkenlerin işlenmesi, yün ve yünlü mamüllerde böcek ve küf kontrolü, tütünde küf kontrolü, plastiklerin güçlendirilmesi, kauçuğun vulkanizasyonu, bitki tohumlarının böcek kontrolü ve geliştirilmesi, bahçe toprağının yabancı otlardan arındırılması için gama ışınlanması hizmetleri verilmektedir. Gamma-Pak Işınlama Tesisi 2009'da 1500 metreküp gıda ürünü ışınlanması ve 30000 metreküp tıbbi ürün ışınlanması gerçekleştirmiştir. Gamma-Pak Gama ışınlama sistemi kutu (tote box) tipi bir ışınlama tesisi olup, bir kerelik ürün ışınlama kapasitesi 30 metreküp'tür (Şekil 1).

Co-60 Gama Işınlama Tesisi çeşitleri: Gama ışınlama tesisleri genelde tıbbi malzemelerin sterilizasyonu ve gıda maddelerinin ışınlanması amaçlarına uygun şekilde tasarımları yapılmaktadır. Ekonomik yönden fizibilitesi müsait malzemeler arasında tek kullanımlık atılabilir tıbbi ürünlerin radyasyonla sterilizasyonu öne çıkmaktadır. Endüstriyel radyasyon sterilizasyonu yönteminde iyi imalat uygulaması (**Good Manufacturing Practice-GMP**) ve iyi radyasyon uygulaması (**Good Radiation Practice-GRP**) birincil önceliklidir. Gama Işınlama Tesisleri türleri nükleer güvenlik ve nükleer emniyet perspektifleri kapsamında GRP ve GMP koşulları gözetilerek dizaynları yapılmaktadır. Dünyada 100 kCi Co-60 ışınlama tesislerinden 10 MCi Co-60 gama ışınlama tesislerine kadar sistemler faaliyet göstermektedir. Radyolojik güvenlik felsefesi içeriğinde çevre ve çalışanların radyasyondan korunması için gama ışınlama odası duvarları tesislerin Co-60 aktivitesine uygun olarak 175 cm ila 250 cm arasında değişen kalınlıklarda normal betonla zırhlanmaktadır. Gama ışınlama tesisi türleri kaynak çubukları ve ürün taşıyıcı kap (batch-

carrier) veya kutular (tote box) büyüklüklerine göre ikiye ayrılmaktadır. Ürün taşıma kaplarının büyüklüğü kaynak boyutlarından büyük ise ürün-büyük gama ışınlama tesisleri veya kutu (tote-box) tipi gama ışınlama tesisi (product overlap) (Şekil 1), kaynakların boyutu ürün taşıyıcı sistem boyutundan büyük ise kaynak-büyük gama ışınlama tesisleri ya da yığın tipi gama ışınlama tesisi (source overlap batch-carrier irradiator) olarak adlandırılmaktadır. Kutu ve yığın tipi gama ışınlama tesisleri ışınlanan ürünler her yönden eşit radyasyon dozları alacak şekilde tasarımları yapılmış sistemlerle teçhiz edilmiştir. Gama ışınlama tesislerinde bulunan Co-60 kaynakları çubuklar içine doldurulmuş çok sayıda Co-60 kalemlerinden oluşmaktadır. Kobalt-60 (Co-60) kalemleri radyoaktif madde sızdırmaz biçimde iki kat paslanmaz çelik (stainless steel) ile kaplanmıştır. Co-60 ışınlama kaynaklarının depolanması 6 metre ila 10 metre arasında derinliklere sahip yaklaşık herbiri 50 ton deiyonize su bulunan havuzlar içinde yapılmaktadır. Co-60 radyoizotopları içeren radyoaktif kalemler nükleer reaktörler içerisinde defalarca ışınlanıp daha sonra yine ışınlama tesislerinde uzunca süre kullanılmaktadır. Havuzlarda kullanılan deiyonize su sayesinde suyun iletkenliği düşürülmekte böylece söz konusu kalemler üzerinde muhtemel metal eskimesi, metal yorgunluğu, metal yorulması, metal kirliliği, metal korozyonu yani metal aşınması, metal yenimi, metal oksitlenmesi gibi fiziksel ve kimyasal istenmeyen olayların önlenmesi sağlanmaktadır. Bu nedenle söz konusu Co-60 radyoaktif kalemlerde düzenli aralıklarla kalite temini ve kalite kontrolü (quality assurance and quality control QA/QC) çalışmaları yapılmaktadır. Bunun için her bir Co-60 kalemi kesinlikle kaybolmayacak şekilde numaralandırılmış ve sertifikalanmak suretiyle lisanslandırılmıştır. Ayrıca, havuz suyu radyoaktif kontaminasyon ve radyasyon kirliliği yönünden sürekli olarak denetlenmektedir. Gama ışınlama tesisi Co-60 kaynak kapasitesi 300 kCi'yi aştığında havuzdaki deiyonize suyun soğutulması gerekmektedir. Gama ışınlama tesislerinde ürün ışınlanması sırasında Co-60 kaynak çubukları su yüzeyine çıkarılmaktadır. Işınlama bittikten sonra Co-60 radyoaktif kaynak çubukları yine havuz içine gönderilmektedir. Havuzdaki su Co-60 gama ışınları için bir zırh görevi yapmaktadır. Yaklaşık 4.5 metre su 2 metre normal beton eşdeğerinde olup, gama radyasyonları karşısında iyi zırhlama sağlamaktadır. Bu sayede Co-60 radyasyon kaynakları

havuz içinde olduğu sırada gama ışınlama odası içerisinde tabii radyasyon düzeyi ya da doğal radyasyon seviyesi ölçülmektedir. Radyolojik güvenlik, nükleer güvenlik ve nükleer emniyet stratejileri yönünden ancak radyoaktif kaynak çubukları havuz içerisinde bulunduğu zamanlarda gama ışınlama odasına girip çıkmak mümkün olmaktadır. Radyoaktif kaynakların havuzun dışında bulunduğu ve ürünlerin ışınlandığı sürelerde gama ışınlama odasına girmek olanaksızdır. Bunun için gama ışınlama tesislerinde radyasyon güvenliği kapsamında tüm modern nükleer emniyet ve nükleer güvenlik önlemleri alınmıştır. Co-60 radyoizotopu kalemlerinden ibaret olan radyoaktif kaynak çubuklarının üretildikleri nükleer reaktörlerden gama ışınlama tesislerine ve ışınlama tesislerinden tekrar nükleer santrallere taşınmaları ağırlıkları 5 ton ila 7 ton arasında değişen kurşun zırlı radyoaktif madde taşıma kapları (shipping containers) içinde yapılmaktadır. Kurşun kaplı taşıyıcı kaplarının ağırlıkları taşınan Co-60 kaynak çubuklarının toplam aktiviteleri, kurşun zırh yüzeyinde ve 1 metre mesafede ölçülen doz hızlarına göre değişmektedir. Gama ışınlama tesisine Co-60 kaynakları yüklenmesi için kurşun zırlı taşıyıcı kap vinç yardımı ile havuz dibine indirilmektedir. Bundan sonra Co-60 kaynakları yüklenmesi ve boşaltılması için havuz içinde uzaktan kumandalı maşalar kullanılmaktadır. Radyoaktif Co-60 çubuklar; ışınlama tesislerinin kapasite kullanımlarına göre dizayn edilmiş radyoaktif kaynak rafları (racks) içerisine maşalar yardımı ile deiyonize su içinde montajı yapılmaktadır (Şekil 1).

Gama ışınlama tesislerinin tüm radyolojik güvenlik ve nükleer emniyet parametreleri ile ilgili bilgiler bilgisayar yardımı ile tesis kontrol odasından izlenmektedir. Sistem yazılımı sayesinde hatalar ve tesis arızaları sürekli olarak bilgisayardan liste alınarak takip edilmektedir. Genel olarak ışınlama tesisini oluşturan ana üniteler; zırlı ışınlama odası, personel giriş labirenti, malzeme giriş labirenti, tesis ve ışınlama kontrol odası, su arıtma ve deiyonize su üretme odası, elektrik dağıtım odası, radyoaktif kaynakların hareket mekanizmaları ve havalandırma odası, hava kompresörü odasından ibarettir. Yukarıda belirtilen ana üniteler çoğunlukla zırlanmış ışınlama odasına bitişik konumdadır. Sadece radyasyon kaynakları hareket mekanizması sistemi ve havalandırma bölümü gama ışınlama

odasının üzerindedir. Co-60 Gama Işınlama Tesisleri ve Elektron Demeti Hızlandırıcılarının lisanslandırılması gerekmektedir. Bu nedenle, Gama Işınlama Tesisleri ve Elektron Demeti Işınlama Tesisleri şu an itibariyle Sağlık Bakanlığı, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ve ilgili kuruluşlardan alınan lisanslar vasıtasıyla işletilmesi zorunludur. Gama Işınlama Tesisleri ile steril edilen tek kullanımlık tıbbi ürünler ve muhtelif malzemeler listesi Tablo 2 'de verilmektedir.

Sonuç olarak şimdiye kadar ETO Tesisleri, Gama Işınlama ve Elektron Demeti Hızlandırıcısı Tesisleri anlatılmıştır. Özet bir şekilde tesis maliyetleri, işletme, çevre, kamuoyu görüşü, üretim, bakım, işlem güvenilirliği, arz güvenliği, sterilite temini ve malzeme seçimindeki serbestlik ölçütleri perspektifleri faktörleri puanlandırılmıştır. Radyasyon giriciliği mükemmel olan Co-60 Gama Kaynakları Işınlama Tesisleri ve Elektron Hızlandırıcıları Işınlama Tesisleri sterilite temini perspektifi bağlamında performansları yüksektir. Her faktör için değerlendirme sonucu toplam ağırlık puanları bazında sonuçlandırılmıştır. Sistemlerin performans değerlendirmesinde ETO Tesisi 106, Gama Işınlama Tesisi 137 ve Elektron Demeti Işınlama Tesisi ise 166 en yüksek puanı almıştır (Tablo 1).

Tablo1: Etilen Oksit (EtO) Gazı, Gama ve Elektron Demeti Tesisleri Endüstriyel Parametreler

Faktör	Kriterler	Ağırlık Puanı
1	Maliyet/Ekonomi	5
2	Çalışma organizasyonu/yetki	3
3	Otoritenin Talebi/Çevre	5
4	Kamuoyu Görüşü	5
5	Üretim	4
6	Bakım	4
7	İşlem Güvenilirliği	5
8	Tedarik Durumu, Arz Güvenliği	4
9	Sterilizasyon (Giricilik)	4
10	Malzeme Seçiminde Serbestlik	5

Her faktör için 1 ile 5 arasında değerlendirme

Faktör	EtO	Gama	Elektron Demeti
1	3	3	5
2	3	1	2
3	1	3	4
4	2	1	5
5	2	5	5
6	3	3	2
7	3	5	4
8	2	3	4
9	1	5	4
10	4	2	2

Her faktörün uygulanma sonrası ağırlık puanı

Faktör	EtO	Gama	Elektron Demeti
1	15	15	25
2	9	3	6
3	5	15	20
4	10	5	25
5	8	20	20
6	12	12	8
7	15	25	20
8	8	12	16
9	4	20	16
10	20	10	10
Toplam	106	137	166

Tablo 2 : RADYASYONLA (Co-60 GAMA RADYASYONU İLE) STERİL EDİLEN ÜRÜNLER: CERRAHİ ÜRÜNLER

Solunum yolu tüpleri Alkollü bezler Bandajlar Biopsi aletleri Kan nakil setleri Kemil implantasyonunda kullanılan yapıştırıcılar Kateterler Kemik çimentosu Kolostomi aletleri Drenaj torbaları EKG elektrotları Kater aletleri Fetus problemleri Ameliyathane örtüleri Derialtı iğne ve şırıngaları İmplantasyonda kullanılan iğne ve plakalar Cerrahi aletler Rahim içi aletleri Antiseptik yıkama kitleri Damar içi kılavuz setler	Laparotomi bezleri Laparoskopi bezleri I.V. enjeksiyon aleti İşaret kalemleri Ostomi aletleri Protezler Ameliyat bıçakları Havlular Damar arası kullanılan şantlar Steril gazlı bezler Steril su Ameliyat elbise ve örtüleri Serum setlerindeki musluk ve tıplar Cerrahi eldiven ve pudralar El yıkama fırçaları Ameliyat giysileri Cerrahi işlemlerdeki paket ve tepsiler Dikiş materyalleri Pamuklu kültür çubukları
--	--

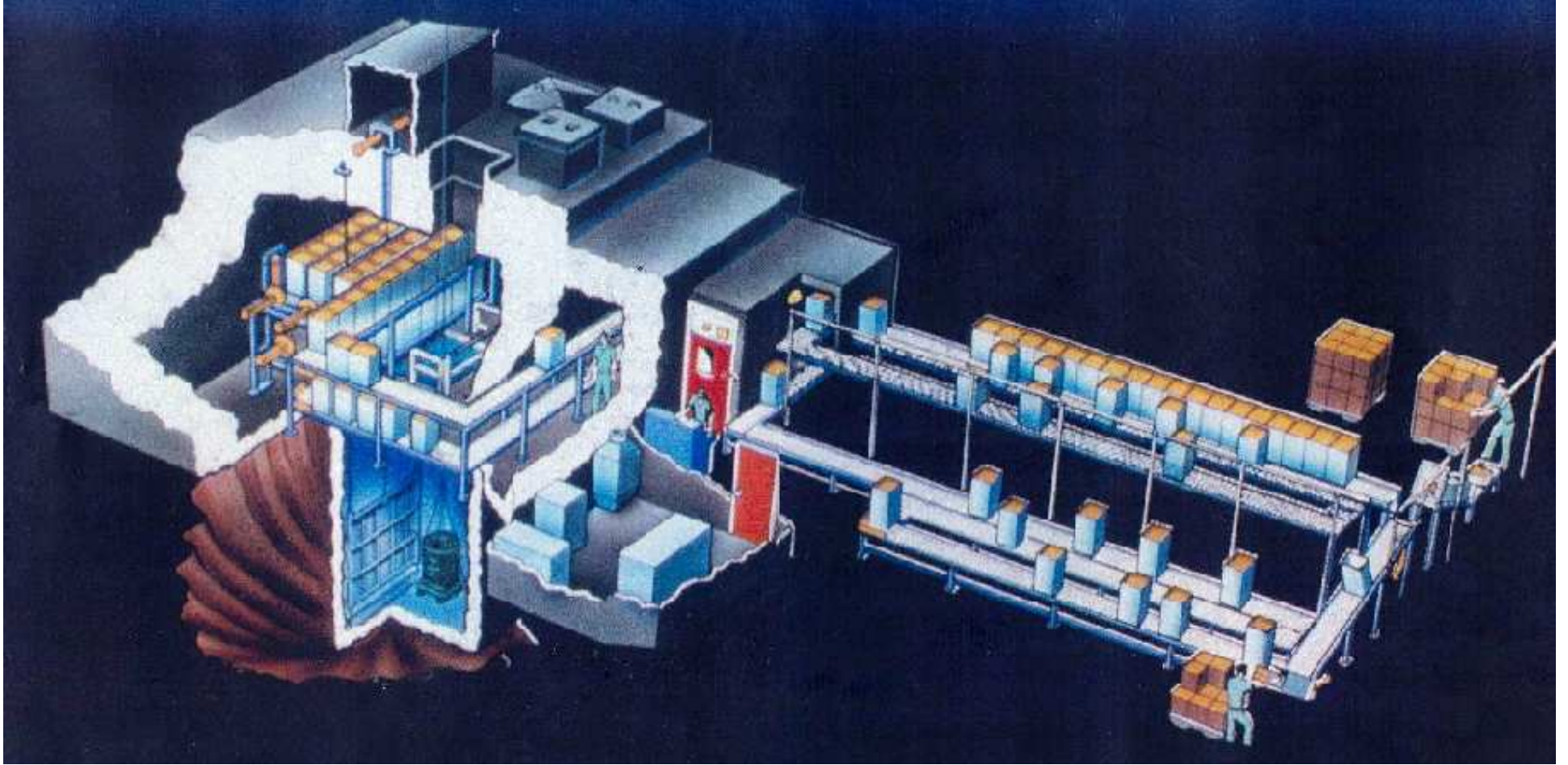
TIBBİ / FARMASÖTİK ÜRÜNLER

Alüminyum hidroksit Alüminyum tüpler Yapay ekim pipetleri Bandajlar Biyokimyada kullanılan tüpler ve malzemeler Kan torbaları Kan alma tüpleri Parmak ucu kan alma bıçağı Kan gazı şırıngaları Kan serumları Yanıklarda kullanılan örtü ve pomadlar Santrifüj tüpleri Tıbbi kömür süspansiyonları Steril oda gereçleri Kapaklar Sıkıştırılmış pamuk toplar Kültür almada kullanılan gereçler Diş hekimliğinde kullanılan materyaller Drenaj torbaları İlaç verme pompaları İlaç ürünleri İlaç karıştırma ve dağıtma sistemleri Kulak zarı cerrahisinde kullanılan aletler	Cerrahi aletleri sarmak için kullanılan örtüler İlaç katkı maddeleri Göz damlalıkları ve pomadları Fetüsten kan alma kiti Fetüs serumları Filtreler (şırınga, IV, membran) Tek yada çok kullanımlık giysiler Lubrikan jeller Magnezyum alüminyum silikat Magnezyum gliserofosfat Mastitis pomadları ve test kitleri Petri kutuları Pipetler Plazma saklama şişeleri Proteinler Pompalama /spreyleme aletleri NaCl solüsyonu ve seti Biopsi örneklerini saklama kapları Taurine Test tüpleri Termometreler Doku kültürü malzemeleri Dil basacağı Lokal pomadlar
---	---

Diagnostikler Boş poly şişeler ve kapakları Direk mideden beslenmede kullanılan aletler	
---	--

TÜKETİM ÜRÜNLERİ

Yapışkan bandajları Serum fizyolojik spreyi Biberonlar Bebek pudrası (Mısır nişastası) Pamuklu bezler Tıbbi kömür süspansiyonu Kontakt lens temizleme çözeltileri Kozmetikler: Katı-sıvı sabun Banyo yağları Kil yüz maskesi Fırçalar Pamuk topları Törpü Tek kullanımlık şişeler Pamuklu çubuklar	Kulak delme aletleri Küpeler Cam şişeler Yeni doğan bebek giysileri Haşere spreyleri Mücevher kutuları Sıvı temizleyiciler Islak mendiller Pansuman pedleri Emzik ve diş kaşıma halkaları Polietilen şişeler Koku veren yapraklar Silikon sprey Tamponlar Oyuncaklar
---	--



Şekil 1 Ürün-büyük Gama Işınlama Tesisleri veya kutu (tote-box) tipi Gama Işınlama Tesisi (product overlap) . Çerkezköy – Tekirdağ'da bulunan özel sektöre ait Gamma-Pak Firmasının tesisi.

Kaynaklar:

- Ross A Sadat T, Industrial Applications of High Energy Electrons for Sterilization, Med.Dev. Tech. , Nov-Dec 20-27, 1991.
- İyonlaştırıcı Radyasyonların Biyolojik Etkileşme Mekanizmaları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006
- İklim Değişiklikleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Küresel Isınma, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Yeni Nesil Nükleer Güç Reaktörleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- Radyoaktif Atıkların Yok Edilmesi veya Nihai Depolanması, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2006.
- İklim Değişikliklerinin Maliyeti, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Sera Gazı Emisyonları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Nükleer Reaktörler, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Nükleer Atıkların İdaresi veya Yönetimi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2007.
- Atom, Radyoaktivite, Radyoizotoplar ve Radyasyon Türleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008.
- Nükleer Güç Santralleri Gelişiminde Nükleer Emniyet ve Nükleer Güvenlik, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2008.
- İleri Nükleer Santraller, İklimsel Değişim Mekanizmaları, Küresel Isınma ve İklim Değişiklikleri Bilimsel Raporları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Evren, İnsan ve İyonlaştırıcı Radyasyonlar, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010.
- İleri Reaktörler, Karbon Borsası ve Küresel Finansal Kriz, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010.

İnternet Sitesi: www.fmo.org