

MODERN ENDÜSTRİDE RADYOİZOTOPLARIN YERİ

Dr. Müh. NEZİHİ ÖZDEN

Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma
Enstitüsü Uzmanı

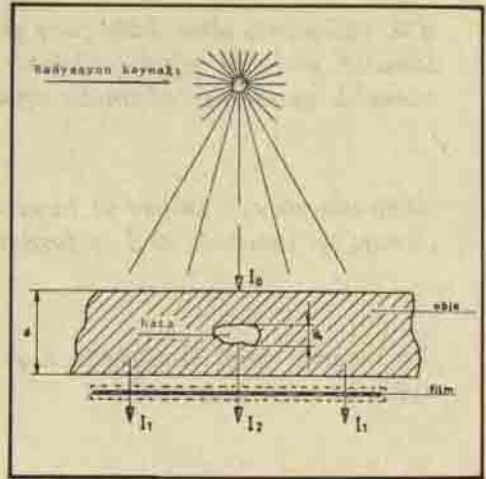
Sadece tabii radyoaktivitenin bilindiği günlerde radyoaktif elementler nadir bulunan, çok pahalı maddelerdi. Dolayısıyla kullanılmaları da pek sınırlıydı.

Takriben 35 sene kadar önce sun'i radyoaktivite keşfedilmiş ve hemen bütün kimyasal elementlerin radyoaktif hale getirilebilecekleri anlaşılmıştır. Bundan sonra radyoaktif izotopların bilim ve teknikte kullanılmaları gittikçe hızlanmıştır.

Fakat bu alanda asıl dramatik gelişme hemen İkinci Dünya Harbini takibeden senelere rastlar. Bu tarihlerde nükleer reaktörler çalışmaya başlamıştır. Nükleer reaktörler sun'i radyoaktif izotopların kitle halinde üretilmesi imkânını getirmiştir. Büyük güçte bir reaktörün 24 saat çalışması esnasında ürettiği radyoaktivite, tonlarca radyumunkine eşdeğerdir. Halbuki 1920 lerde bütün dünyada üretilebilen radyum senede birkaç kilogram kadardı.

Reaktörlerde sun'i radyonüklidler kararlı bir elementin nötron akısı içinde ışınlanması veya nükleer yakıt içinde teşekkül eden fisyon ürünlerinin ayrıştırılması ile elde olunur. Daha az nisbette akseleratörlerde de radyoizotoplar üretilmektedir. Kararlı elementler akseleratörler içinde hızlandırılmış proton, detoron, triton, helium - 3, alfa parçacıkları ve daha ağır çekirdeklerle bombardıman edilmek suretiyle radyoaktif hale getirilebilirler. Akseleratörlerde gerçekleştirilebilen çok çeşitli nükleer reaksiyonlardan pek mütenevvi radyonüklidler elde olunur.

Bugün dünyada büyük bir radyoizotop üretim kapasitesi mevcuttur. Reaktör kurulu gücünün hızlı artışına paralel olarak radyoizotop üretim kapasitesi de hızla gelişmektedir. 1975 senesinde Amerika'da yalnız fisyon ürünü radyoizotopların se-



Şekil — 1

Gamma radyografisinin prensip şeması

nelik üretiminin 12×10^6 curie seviyesine ulaşacağı tahmin olunmaktadır.

Radyoizotop araştırmaları ve uygulamaları 1950 senelerinden itibaren üretim temposuna paralel olarak çok hızlı bir gelişme göstermiştir. 1946 senesine kadar uygulamalı radyoizotop araştırmaları konusunda dünya literatüründe neşrolan bilimsel makale sayısı 24 iken, 1955 senesinde bu sayı takriben 500 ve 1960 senesinde ise 2.500 olmuştur. Müteakip senelerde gelişme aynı hızla devam etmiştir. Hazir oldukları önemli üstünlükler sebebiyle radyoizotoplar çeşitli endüstri dallarında çok geniş uygulama alanları bulmuşlardır. Birçok yerde radyoizotop sistemleri aynı hizmeti gören konvansiyonel cihazlarla ekonomik yönden rekabet edebilecek hale gelmişlerdir. Mamafih bugünün ileri teknolojisinde öyle problemler var-

dir ki buralarda radyoizotoplar ve radyasyon teknikleri esasen başka alternatif bulunmayan yegâne çözümdür. Meselâ çok yüksek hızlarla imâl olunan metal, kâğıt, plâstik, v.s levha malzemelerin kalınlıklarının sürekli olarak ve malzeme ile hiç temas etmeden kontrolü; kalın cidarlı kapalı kaplar ve borular içindeki çok yüksek basınçta, zehirli, patlayıcı, korozif akışkanların sıcaklık, yoğunluk, seviye ve debi ölçmelerinin akışkanla hiç temas etmeden yapılması; bir saf maddenin aynı cins atomlarından bir kısmını markalamak ve bunların hemcinsleri içinde self-difüzyonlarını takip etmek; birçok bileşenden müteşekkil motor, dişli kutusu, v.s. gibi kapalı sistemlerde aşınmaları sistem çalışırken takip etmek; temasın sağlık yönünden sakıncalı olduğu gıda maddeleri ve tıbbî malzemenin kapalı kaplar içinde seviye, yoğunluk ve bileşenlerinden birinin eksik olup olmadığının imalât bandında yüksek hızla ve tek tek kontrolü; tahribatsız analiz; yerine göre başka hiç bir metotla erişilemeyecek hassasiyetlere ulaşabilen radyoaktivasyon analizi. Bütün bunlar radyoizotopların ve radyasyon tekniklerinin yegâne hal çaresi oldukları örneklerden bazılarıdır. Beynelmîl Atom Enerjisi Ajansı'nın vazifelendirdiği yetkili bir komisyonun yaptığı geniş bir inceleme sonunda radyoizotopların sadece endüstri uygulamalarından 1960 senelerinde bütün dünyada 296 ilâ 400 milyon dolar arasında senelik tasarruf sağlandığı sonucuna varılmıştır. Sun'î radyoaktivitenin insanlığa en büyük kazanç sağlıyan keşiflerden birisi olduğu muhakkaktır.

Bugün 1.500 den fazla sun'î radyonüklid bilinmektedir. 1.000 den fazla radyonüklid ayrıştırılıp izole edilebilmiştir. 130 kadar sun'î radyonüklid de rutin olarak üretilmekte ve pazarlanmaktadır. Tabii radyoaktif elementlerin sayıları ve üretim kapasiteleri ise bu rakamların çok altındadır. Dolayısıyla radyoaktif uygulamalar alanına tamamen insan yapısı radyoizotoplar hakim olmuştur.

Bilimde, endüstride, tıpta, ziraatte, jeofizikte ve muhtelif servis hizmetlerinde sayısız uygulamalara rağmen radyoizotop tüketimi bugüne kadar hep üretimin altında kalmıştır. Radyoizotop stokları git-tikçe kabarmaktadır. Bu durum büyük çapta radyoizotop tüketimi sağlayacak yeni kullanma alanlarının bulunup geliştirilmesini zorlamaktadır. Aşağıda radyo-



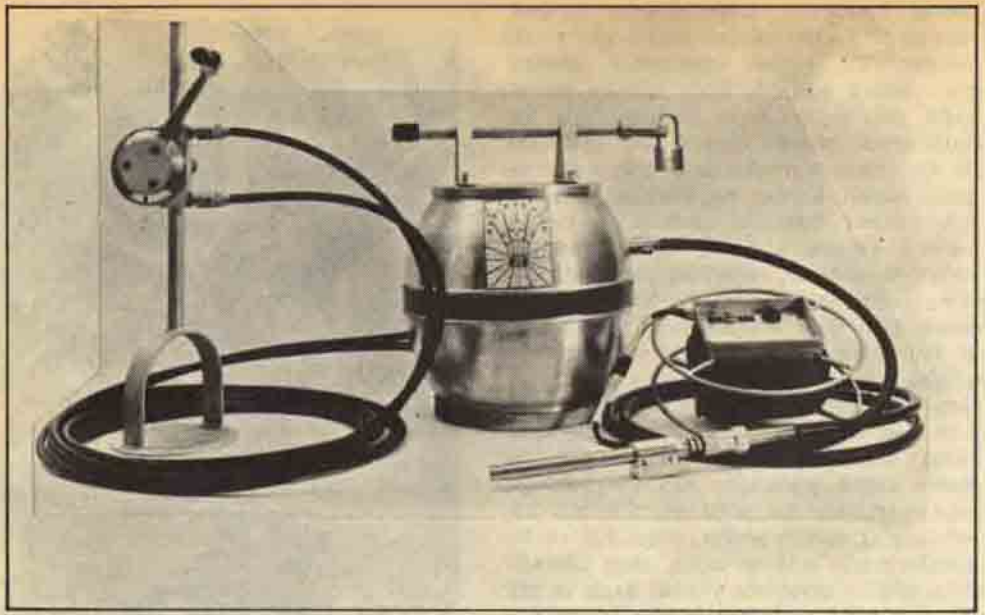
Şekil — 2
Uçak motoru türbin pervanelerinin İridium-192 radyoizotopu ile radyografik muayenesi.

izotopların endüstriyel uygulamalarından bazı örnekler verilmiştir.

Radyoizotoplarla Radyografi :

Bu konuda bilinen ilk uygulama 1925 yılında Pilon ve La Bord'un bir curie şiddetinde radyum tabii radyoaktif element ile bir gemi türbinin radyografisini almalarıdır. Fakat İkinci Dünya Harbine kadar çeşitli nedenlerle gelişme pek az olmuştur. Sun'î radyonüklidlerle ilk endüstriyel radyografi 1947 yılında Amerika'da Lanthanum - 140 ile yapılmıştır. Bu tarihten sonra, sun'î radyoizotopların kütle halinde üretim imkânlarının gelişmesine paralel olarak, radyoizotop radyografisindeki gelişme adeta tırmanarak devam edegelmiştir. Bugün her özel maksada en uygun gelecek çok çeşitli radyoizotoplar endüstriyel radyografi alanında kullanılmaktadır.

Radyoizotopların neşrettikleri her radyasyon türünden radyografik maksat için istifade yolları aranmıştır. Bunlar arasın-



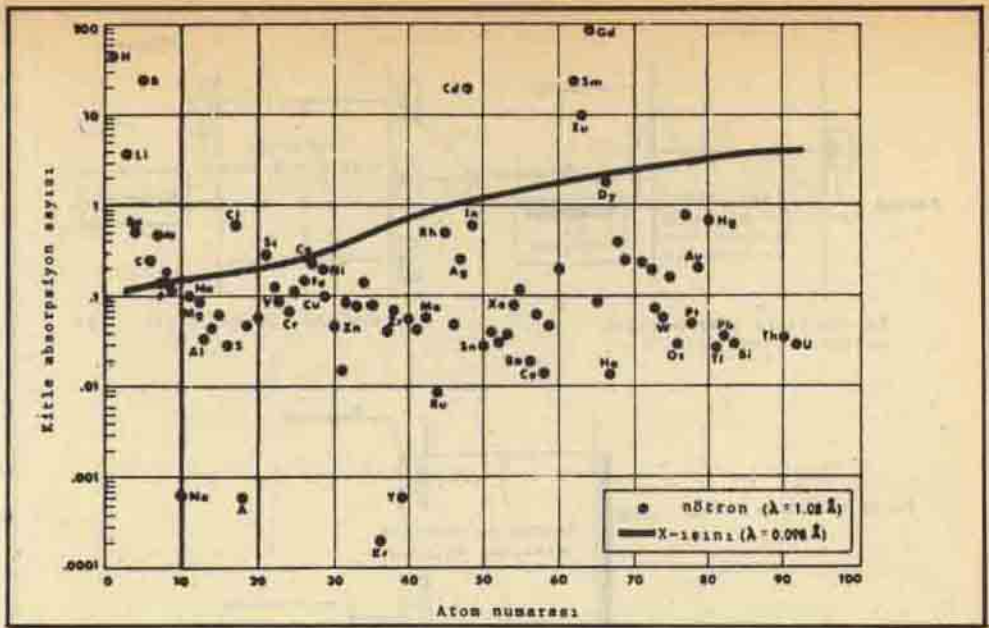
Şekil — 3
Iridyum -192 gamma radyografi cihazı.

da *Gamma ışınları*, dolayısıyla gamma radyoaktif elementler, en geniş şekilde kullanılanlardır. Genellikle x-ışınlarına nazaran daha yüksek enerjiye ve dolayısıyla daha yüksek penetrasyon gücüne sahip olan bu ışınlarla, x-ışınlarının nüfuz edemedikleri, kalın malzemelerin radyografisi alınır. *Beta radyasyonu*'nun nüfuziyeti çok az, *alfa radyasyonu*'nunki ondan da azdır. Bunlarla da ancak yoğunluğ az olan malzemelerin çok ince kalınlıklarının, meselâ kâğıdın, radyografisi alınabilir. Tarihi evya sanat değeri büyük dökümanlar, tablolar, pullar, mürekkep ve boyalar asıllarına zarar vermeden bu usulle muayene olunabilirler. Kâğıdın yapısı, mürekkep ve boyalar arasındaki farklılıklardan bunların yaşları, orijinal veya sahte oldukları tesbit olunabilir. Düşük enerjili x-ışınları da bu maksat için kullanılabilir. *Bremsstrahlung* kaynakları düşük enerjili x-ışınları üreten tiptik izotopik kaynaklardır. Nötron radyografisi bu sahaya en son katılan fakat büyük hızla gelişen bir metod olmuştur. Nötron radyografisinin de ilâvesi ile endüstriyel radyografinin hudutları halen çok genişletilmiş bulunmaktadır. Bütün bu radyografik metodlar arasında iki tanesi, en fazla uygulananlar olması dolayısıyla, aşağıda kısaca anlatılmış bulunmaktadır.

Gamma Radyografisi :

Gamma ışınları, x-ışınları ile aynı karakterde fakat daha kısa dalga boyunu haiz elektromagnetik radyasyonlardır. Gamma ve x-ışınlarının madde ile etkileri aynı temellere dayanır. Dolayısıyla gamma radyografisi temelde klâsik x-ışını radyografisinin benzeridir. Ancak birincisinde radyasyon kaynağı olarak elektronik x-ışını tüpünün yerini gamma aktif bir element almıştır; Şekil-1. Deney parçasının bir tarafına kaynak öbür tarafına film yerleştirilir. Parçayı katedip geçen radyasyon filmi karartır. Şayet malzeme içinde boşluk, çatlak, curuf, v.s. gibi ana malzemeye nazaran yoğunluğu az olan hatalar varsa bu noktadan geçen ışınlar daha az zayıflıyacağından film üzerinde koyu bir iz bırakırlar. Böylece malzeme içindeki hatalar film üzerinde koyu lekeler halinde belirir. Uzmanlar bu görüntüyü değerlendirerek hatanın cinsine, büyüklüğüne ve malzeme içinde hangi derinlikte olduğuna karar verirler.

X-ışını radyografisi genel olarak daha iyi bir görüntü verir. Bu sebepten endüstride gamma radyografisi, prensip olarak, x-ışını radyografisinin kullanılmadığı veya güçlükler arzettiği hallerde kul-



Şekil - 4

Elementlerin elektromagnetik radyasyon ve termal nötronlar için kütle absorpsiyon katsayıları.

lanılır. Radyoizotop kaynak x-ışını tüpüne nazaran küçüktür ve hafiftir. Üstelik çalışması için elektrige ihtiyaç yoktur. Sayılan bu üstünlükler onun tercihan kullanılabilceği alanları tayin eder. Birkaç örnek vermek gerekirse şu uygulamalar sıralanabilir: Türbojet uçak motorlarında yüksek sıcaklık ve hız sebebiyle türbin kanatçıklarında zamanla meydana gelen deformasyonlar zamanında teşhis edilemediği takdirde hareketli kanatçıkların sabit kanatçıklara sürmesi ile motorda çok büyük hasara sebep olabilir. Yakın zamana kadar bu kontrol belirli uçuş saatlerinde motoru uçaktan indirerek açmak suretiye yapılyordu.

Şayet deformasyon yoksa yapılan söküp takma işlemi gereksiz oluyordu. Halbuki şimdi aynı muayene motor içine Iridyum-192 radyoizotobunu uzatmak ve dıştan da filmleri sarmak suretiyle, motoru hiç sökmeden ve hattâ uçakta takılı olduğu yerden indirmeden yapılmaktadır; Şekil-2.

Radyoizotopik muayenenin eski usule nazaran ne büyük zaman tasarrufu sağladığı ve söküp takma şeklindeki fuzuli işçilikleri önlediği aşikârdır. Radyoizotop radyografisinin üstünlük arzettiği diğer sahalar yüksek enerjileri sebebiyle kalın

döküm parçalarının radyografisi ve elektrikten müstakil çalışabilmesi sebebiyle şehir şebekelerinden uzak, boru hattı inşaatı ve benzeri işlerde kullanılabilmesi, hafifliği sebebiyle seyyar işlerde kolaylıkla taşınabilmesidir. Şekil-3 de bir Iridyum-192 gamma radyografi cihazı görülmektedir.

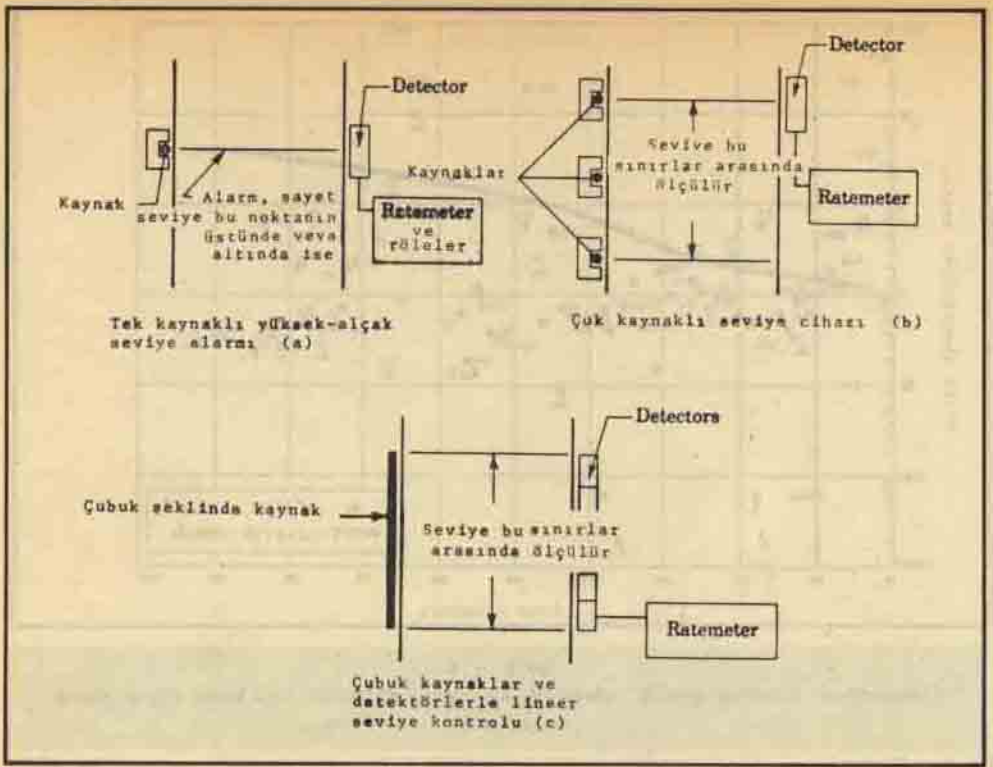
Gamma radyografisinde ençok kullanılan izotoplar ve bunların bazı özellikleri Tablo - 1 de görülmektedir:

TABLO - 1
Gamma Radyografisinde Kullanılan Başlıca Radyoizotoplar ve Bazı Özellikleri

Radyoizotop	Yarı ömür	Gamma 1	Gamma 2	Filman	Tiplot
Yarı ömür	5,26 yıl	2,1 yıl	30 yıl	74 gün	127 gün
Gamma enerjisi MeV	1,17-1,33	0,48-1,4	0,66	0,30-0,61	0,052-0,204
Kullanılabilirliği optimum çelik kalınlığı, mm	50-150	50-100	50-100	10-70	2,5-12,5

Nötron Radyografisi :

Nötron Radyografisini ve buna niçin ihtiyaç duyulduğunu anlıyabilmek için malzemelerin nötronları ve x-ışınlarını absorpsiyon özellikleri arasındaki farklığı hatırlamak gerekir. Bilindiği gibi her tür radyasyon malzemeyi katedip geçerken absorplanır ve dolayısıyla zayıflar.



Şekil — 5

Transmisyon sistemleri ile seviye ölçülmesine dair muhtelif düzenler

Absorpsiyon malzemenin atom numarası ilgili bir özelliğidir. Elektromagnetik radyasyon (x-ve gamma ışınları) düşük atom numaralı elementler tarafından az, yüksek atom numaralı elementler tarafından az, yüksek atom numaralı elementler tarafından çok absorplanır. Daha iyi bir deyimle elementlerin elektromagnetik radyasyonları absorplaması atom numarası büyüdükçe artar. Nötronlar için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Elementlerin nötron absorplama tesir kesitleri atom numarası artarken bazan artar, bazan da azalır. Kısacası nötron absorpsiyonu atom numarası ile kaidesiz bir şekilde değişir. Atom numaraları birbirini takibeden öyle komşu elementler vardır ki nötron absorplama tesir kesitleri birbirinden çok farklıdır; Şekil-4.

X-veya gamma radyografisi ile nötron radyografisi arasındaki temel farklardan birisi buradan gelir. X-veya gamma radyografisi aynı bünye içinde bulunan atom numaraları komşu iki elementi seçemez; Ağır elementler içine dağılmış hafif ele-

mentleri (örneğin, kurşun içinde hidrojen porozitesini) göstermez; Çok ağır elementler (kurşun, tungsten, uranyum, v.s.) den yapılmış parçaların x-ve gamma radyografilerinde yeterli rezolüsyona ulaşamaz. Halbuki nötron radyografisi sayılan bütün bu güçlere çözüm getirmiştir. İlâveten hidrojenin nötron absorpsiyon tesir kesitinin Şekil-4 den görüleceği veçhile çok yüksek olması roket katı yakıtlarında çatlak ve porozite muayenesinde nötron radyografisinin kullanılmasını intaç etmiştir.

Nötron radyografisinin diğer radyografi çeşitlerine nazaran daha geç geliştirilebilmesinin nedeni, yüksüz parçacıklar olarak nötronların fotografik emülsiyonları etkilememesidir. Aslında yalnızca nötronlar kullanarak film üzerinde görüntü sağlanamaz. Transfer tekniği adı verilen bir usulde, radyografisi çekilecek objeyi katedip geçen nötronlar önce özel metalden yapılmış bir ince plâka üstüne düşürülür. Bu plâka üzerinde objenin gözle görülmüyen radyoaktif görüntüsü elde olu-

nur. Objenin geometrisine, yapısına ve içindeki kusurlara göre adı geçen plâkanın bazı bölgelerine çok, bazı bölgelerine az nötron düşer. Dolayısıyla görülmeyen görüntünün bazı bölgeleri çok, bazı bölgeleri az aktiflenir. Bu bir gamma aktivitesidir; Dolayısıyla fotografik emülsiyonu etkiler. Bu şekilde aktiflenen transfer plâkası objeden ayrılır ve bir radyografi filmi ile sıkı sıkıya temas haline getirilir. Aktif görüntünün gamma radyasyonu ile film üzerinde normal radyografik görüntü elde olunur.

Görülüyorki nötronların elektriksel yükten yoksun olmaları bunlar vasıtasıyla bir film üzerine görüntü almayı güçleştirmektedir. Mafatih bu husus aynı zamanda nötron radyografisinin pek önemli bir üstünlüğünün de temelidir. Radyoaktif malzemelerin (örneğin nükleer reaktörlerin yakıt elemanlarının) radyografisi ancak nötronlarla mümkün olabilmektedir. Zira radyoaktif malzeme bizzatlı kendisi radyasyon neşrettiği için filmi karartır. Bir dış radyasyon demetinin hasil ettiği görüntü bu kararırma sırasında kaybolur. Halbuki transfer tekniği ile yapılan nötron radyografisinde film obje ile temasa getirilmediğine göre onun aktivitesinden zarar görmez.

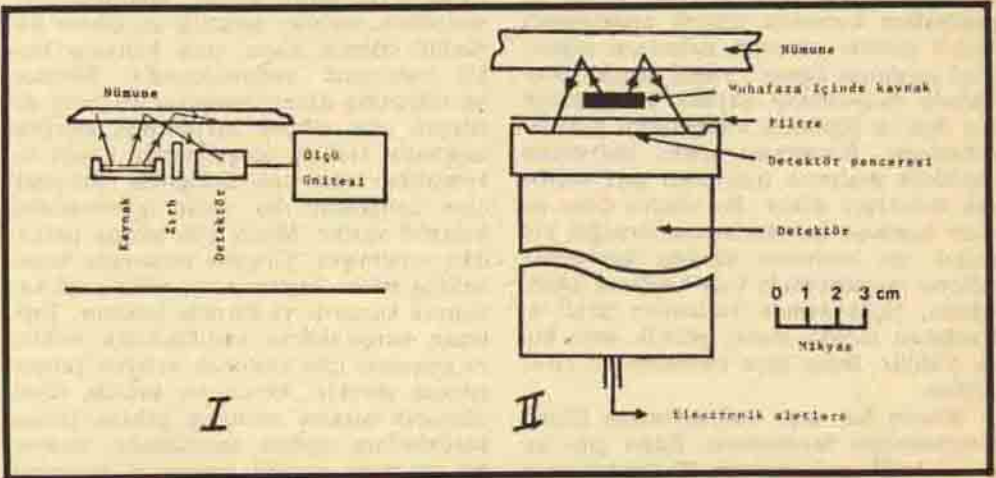
Hernekadar diğer radyasyonlardan karışksız saf nötron üreten radyoizotoplar varsa da, radyografide gerekli nötron akı-

ları yüksek olduğu cihetle, halen kaynak olarak münhasıran reaktörlerden istifade olunmaktadır.

Radyoizotoplarla Ölçme :

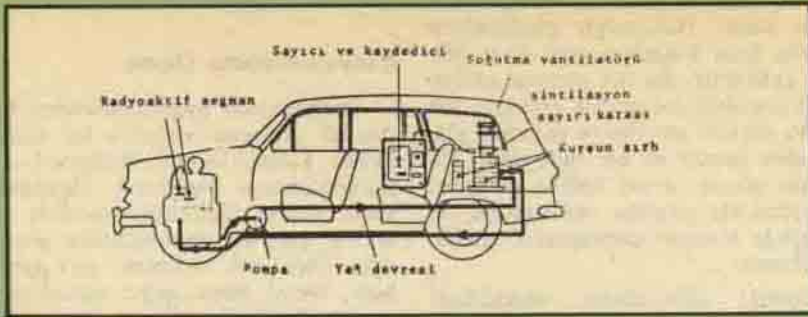
Radyoizotop uygulamalarının bir diğer önemli grubunu «ölçme» ler teşkil eder. Levha kalınlıklarının ölçülmesi, kaplama kalınlıklarının ölçülmesi, yoğunluk ölçülmesi, seviye ölçülmesi, rutubet ölçülmesi, v.s. gibi birçok uygulama girer bu sınıfa. Ölçülecek malzeme çok çeşitli olabilir; Metal, tahta, kâğıt, tütün, meşrubat v.s. Bugün ileri endüstri ülkelerinde imâl olunan bütün sigaralar, tütünün iyi sıkıştırılıp muntazam doldurması bakımından, teker teker otomatik kontrolden geçirilmektedir. Kâğıt kalınlığı imalat esnasında otomatik olarak hassas bir şekilde ölçülmektedir. Aynı şekilde çelik saçların kalınlığı kontrolden geçirilmektedir. Gazoz, süt, konserve gibi yiyecek maddeleri teneke kutulara veya şişelere tam istenen seviyede dolduruldukları teker teker kontrol edilmektedir. Sayıları daha çok artırılabilecek bu örnekler radyoizotop ölçme devrelerinin revaç bulduğu endüstri dallarıdır.

Kullanılış gayesi ne olursa olsun radyoizotop ölçme devreleri çalışma prensibi bakımından başlıca iki ana bölümde toplanabilirler. *Transmisyon ölçme sistemi*



Şekil — 6

Geri saçılma geometrisi ile kaplama kalınlığının ölçülmesinin iki şematik görünüşü.



Şekil — 7

Bir otomobil motorunda gerçek işletme şartları altında aşınmanın radyoaktif metotla ölçülmesi.

denen birincisinde ölçülecek malzeme radyoizotop kaynak ile detektör arasında bulunur; Şekil-5. Radyoizotoptan çıkan radyasyon ölçülecek malzeme içinden geçerek detektöre ulaşır. Tabii bu esnada malzeme tarafından absorblanacağı için zayıflar. Seviye ölçmelerinde seviyede, levha malzeme ölçmelerinde ölçülen malzemenin kalınlığında veya yoğunluğunda değişme olursa geçen radyasyonun zayıflaması da farklı olur. Detektör bu farkı ölçer ve ona göre elektrik akımı verir. Bu akım imalat makinasına veya seviyeyi ayarlayan pompalara kumanda ederek malzemenin belirli sınırlar arasında kalmasını sağlar. *Geri saçılması ölçme sistemi* denilen ikincisinde radyoizotop kaynak ve detektör her ikisi de ölçülecek malzemenin aynı tarafındadır. Kaynaktan çıkan radyasyon ölçülecek malzeme üzerinden geri saçılarak detektöre döner. Bu sistem daha ziyade kaplama kalınlıklarının, örneğin bir metal ana malzeme üzerine kaplanmış mikron mertebesinde ince kaplama kalınlığının, ölçülmesinde kullanılır; Şekil-6. Kaplanan tabaka metal, plâstik veya boya olabilir. Buna göre radyasyonun cinsi değişir.

Bilinen her çeşit radyasyondan ölçme sistemlerinde faydalanılır. Kâğıt gibi ince ve hafif malzemelerin ölçülmesinde α ve beta radyasyonu, metal gibi ağır malzemelerin ölçülmesinde gamma radyasyonu, rutubetin ölçülmesinde nötron demeti kullanılır.

Radyoizotopların İzleyici Olarak Kullanılmaları :

Baştan beri sayılagelen uygulamalarda radyoizotop sıkıca kapsüllenmiş bir kaynak şeklinde kullanılır. Halbuki radyoizotopların izleyici olarak ve açık şekilde kullanıldıkları uygulamalar da vardır. Bunun için radyoizotop incelenecek ortama katılır ve bilahare çıkardığı radyasyon sayesinde uygun bir detektör vasıtasıyla dıştan izlenir. Bu uygulama türünde radyoizotopların konvansiyonel metodlara nazaran arzettiği en büyük üstünlük izlenen olaya veya bünye ve hiçbir rahatsızlık verilmemesidir. Böylece he misletme aksatılmamakta ve hem de izlenen olay gerçek şartlarında incelenmektedir. Makina parçalarını, kesici takımlarda veya oto lâstiginde zamanla olan aşınmanın bu yolla izlenmesinde kolaylık vardır. Motor çok sayıda parçadan yapılmıştır. Çalışma esnasında hepsi hafifçe aşınır. Aşınan parçacıklar yağa karışarak karterde ve filtrede toplanır. Toplanan parçacıkların tartılabilecek miktara erişmesi için motorun aylarca çalıştırılması gerekir. Ayrıca bu şekilde tayin olunacak aşınma motorun çalışan bütün parçalarının toplam aşınmasıdır. Sadece bir parçanın, meselâ segmanın, aşınması merak ediliyorsa bu segman önce radyoaktif yapılır ve sonra motora takılır. Motorun 8-10 saatlik çalışması sonunda yağın, aşınan parçacıklar sebebiyle, kazan-

diği aktivite genellikle ölçülebilir mertebededir. Böylece hem aylar süren aşınma deneyleri bir güne indirilebilir ve hem de motorun organlarının aşınması tek tek incelenebilir; Şekil-7.

Metallerde self-difüzyonun, alaşımlar içinde çeşitli fazların, gayrisafiyetlerin, segregasyonun, ergimiş metal-curuf reaksiyonlarının, kaynak olayının ve malzeme yapısı üzerindeki etkilerinin, metallerin buhar basınçlarının ve daha pek çok katı hâl olayının incelenmesinde radyoizotoplar büyük faydalar sağlamıştır.

Kimya ve benzeri endüstrilerde kapalı devrelerde cereyan eden çeşitli işlemleri dışardan takip için radyoizotop izleyicilerden bir çok şekillerde faydalanılmaktadır. Örneğin, reaksiyona giren sıvılardan birini geçirdiği bütün safhalar boyunca takibetmek, muhtelif akışkanları karıştıran karıştırıcıların veya ayırıştırıcıların ayrılaştırıcılarının verimlerini ve optimum çalışma sürelerini tayin etmek, çok renkli boyaların hassas şekilde karışmasını kontrol etmek, bir akış devresinin hacmini ölçmek önde gelen uygulamalar meyanındadır. Radyoizotop izleyicilerin endüstriyel tatbikatına ait örnekler daha pek çok artırılabilir. Fakat bu kadarını saymış olmak dahi uygulamanın vüs'ati hakkında fikir vermektedir.

Radyoizotoplardan Enerji Üretimi :

Radyoizotoplardan ısı, elektrik ve ışık üretmek halen üzerinde çalışılan ve kısmen de pratik hayata intikal ettirilmiş bulunan yeni konulardır. Nükleer radyasyonlar bir madde tarafından absorplandığı zaman haiz oldukları kinetik enerji ısıya dönüşür. Bu ısıyı termoelektrik veya termionik direkt dönüşüm metodları ile elektrığe dönüştüren bataryalar yapılmış ve bazı uzay araçlarında kullanılmıştır. Nükleer bataryaların radyoizotop kaynak ve fisyon kaynağı (yani reaktör) kullanılan iki ayrı tipi vardır. Radyoizotop kaynaklı nükleer bataryalar watt mertebesinde güçler için uygundurlar. Reaktörlü bataryalar ise daha büyük güçler içindir. Üstelik bu sonuncular, fazla zırlama gerektirmediğinden, ağır olurlar. Uzun ömürlü, kompakt, bakım ve ikmal hizmeti az bu elektrik üreteçlerinin kullanılmalarını sınırlandıran asıl etken bugün için fevkalâde düşük verimle çalışmalarıdır. Uzun araçlarından başka, kutuplara, okyanus diplerine ve benzeri ulaşımdan uzak yerlere yerleştirilen insansız bilimsel araştırma,

okyanus ve meteoroloji istasyonlarında cihazları çalıştırmak için lüzumlu elektrigi bu gibi üreteçlerden temin etmenin yararları ortadadır.

Enerji üretiminde alfa ve beta radyasyonları kullanılır. Gamma radyasyonu bu işe uygun değildir. Saf alfa ışınları neşreden izotoplar fevkalâde pahalıdır. Buna mukabil zırlama problem olmaz ve hafifliğin ilk şart olduğu yerlerde tercih olunur. Beta radyasyonunun penetrasyonu alfalarınkinden fazladır. Üstelik betalar zırlı malzemesi içinde sekonder radyasyonlar meydana getirirler. Dolayısıyla daha kalın zırlamayı gerektirirler. Gerek bu sebepten ve gerekse beta aktif izotopların güç yoğunluğunun genellikle küçük olması sebebiyle, bu yakıtı kullanan bataryalar büyük ve ağır olurlar. Yer hizmetlerinde kullanılmaya elverişlidirler. Bu maksatla kullanılan beta radyoaktif izotoplar nükleer reaktörde fisyon artıklarının artılmasından elde olunurlar ve dolayısıyla hem daha bol ve hem de ucuzdurlar.

Radyoizotop enerji kaynakları sadece elektrik üretiminde değil fakat uzayda ve kutupta kullanılan cihazların rejim sıcaklığında çalışmalarını temin için ısı kaynağı olarak da kullanılır.

Radyasyonlara maruz kalan fosfor misali bazı elementler ışık neşrederler. Fosfor ile alfa aktif bir elementi (meselâ rad-²²⁶Yum) karıştırarak saat ve cihaz kadranlarının karanlıkta görülmesini sağlamak 1920 senelerinden beri bilinen bir usuldür. Bu prensip daha güçlendirilerek son senelerde bir ışık kaynağı haline getirilmiş bulunmaktadır. Bunun için transparan malzemenin yapılmış bir ampulün içi fosfor ile sıvanmakta ve içine radyoaktif gaz (tridyum veya kripton) doldurulmaktadır. Radyasyon bombardımanı ile ışıyan yapan fosforun ürettiği ışık 500 m. uzaktan görülebilmektedir. Bu ışık kaynakları demir yolu sinyalleri, deniz fenerleri, maden ocağı galerileri emniyet ışıkları, uçaklarda «tehlike halinde çıkış» lâmbaları olarak kullanılmaktadır.

Sonuç :

Radyoizotop uygulamaları endüstriye kısa zamanda sayılamıyacak ölçüde yapılmıştır. Bir taraftan nükleer reaktörlerde kütle halinde üretilmelerinin yarattığı bolluk, diğer taraftan kullanılmalarının sağladığı ekonomi endüstriyel uygulama alanlarını daha da teşvik etmektedir.