

METAL HURDALARDA RADYOAKTİVİTE İZLEME VE RADYASYONDAN KORUNMAYA İLİŞKİN KILAVUZ

RSGD-KLV-008



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

İÇİNDEKİLER

1. KILAVUZUN AMACI.....	2
2. GİRİŞ ve KAPSAM	2
3. METAL HURDADA RADYOAKTİF KAYNAKLAR, BULAŞMIŞ MALZEMELER VE ÇEŞİTLERİ	2
3.1. Metal Hurdalarda Radyoaktif Kaynak ve Bulaşmış Malzeme Bulunabilmesinin Nedenleri ...	3
3.2. Metal Hurdalardaki Radyoaktif Kaynak veya Bulaşmış Malzeme Çeşitleri ve Türleri.....	3
4. METAL HURDADA RADYOAKTİF KAYNAK VE BULAŞMIŞ MALZEMENİN TESPİTİ	7
4.1. Tespiti Etkileyen Parametreler.....	7
4.1.1. Radyasyonun maddelere nüfuz etme gücü	7
4.1.2. Doğal ortam (background) radyasyon seviyesi	8
4.1.3. Radyasyonun tespitinde kullanılan dedektörler	8
5. METAL HURDANIN İZLENMESİ VE RADYASYONUN TESPİTİ	9
5.1. Sabit Radyasyon Ölçüm Cihazları	9
5.1.1. Genel özellikleri	9
5.1.2. Sabit ölçüm cihazından taşıyıcı aracın geçirilmesi ve geçiş hızı	10
5.1.3. Sabit radyasyon ölçüm sisteminde radyasyon varlığının tespit edilmesi	10
5.2. Taşınabilir Radyasyon Ölçüm Cihazları.....	12
5.3. Metal Hurda İçerisinde Radyoaktif Kaynak ve Bulaşmış Malzemenin Tespiti	13
5.4. Sabit Radyasyon Ölçüm Cihazı Alarm Verdikten Sonra İzlenecek Olan Adımlar	14
5.4.1. Doğrulama.....	14
5.4.2. İnceleme	15
5.4.3. İncelemeye ilişkin diğer hususlar	17
5.5. Raporlama ve Kayıtlar	17
6. METAL HURDA İLE ÇALIŞANLARIN DİKKAT ETMESİ GEREKEN HUSUSLAR	18
6.1. Çalışanların Uyması Gereken Hususlar	18
6.2. Radyasyondan Korunma Görevlisinin Yapması Gereken Hususlar	19
KAYNAKÇA.....	20

1. KILAVUZUN AMACI

Bu kılavuz, metal hurdalarda rastlanması muhtemel olan radyoaktif kaynaklar ve radyoaktif madde bulaşmış olan malzemelerin tespiti, belirlenmesi ve güvenlik altına alınması işlemleri ile bu işlemler ve metal hurdalar ile yapılan diğer çalışmalar esnasında, radyasyondan korunmaya yönelik olarak alınması gereken tedbirler hakkında bilgi sağlamak ve yol göstermek amacıyla hazırlanmıştır.

2. GİRİŞ ve KAPSAM

İyonlaştırıcı radyasyon kaynakları, yani madde ile etkileştiklerinde elektrik yüklü parçacıklar veya iyonları oluşturarak iyonizasyon meydana getiren X-ışınları, gama ışınları, alfa veya beta parçacıkları ve nötronlar, dünyada ve ülkemizde tıp, endüstri, araştırma ve eğitim alanlarında faydalı amaçlarla kullanılmaktadır.

Radyasyon kaynaklarını, X-ışını üreten elektrikli cihazlar ile gama ışınlarını, alfa, beta ve nötron parçacıklarını yayan radyoaktif kaynaklar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bu kılavuz kapsamına giren ve metal hurdalarda rastlanması muhtemel olan radyasyon kaynakları, radyoaktif kaynaklar veya radyoaktif kaynaklar ile kirlenmiş yani bulaşmış olan hurda malzemelerdir. Metal hurdalarda çıkması muhtemel olan elektrikli X-ışını cihazları, sadece elektrikle çalıştırıldığında radyasyon yaydıklarından, hurda metal içerisinde bulduklarında radyoaktif kaynaklar gibi tehlike oluşturmamaktadırlar.

Buna göre metal hurdalarda radyoaktif madde izlenmesi işlemi, radyoaktif kaynakların ve radyoaktif madde bulaşmış olan malzemelerin tespiti (dedeksiyonu), yerinin belirlenmesi ve bertaraf edilmesi işlemlerini kapsamaktadır.

Hurda metallerin radyoaktif kaynak ve radyoaktif madde bulaşmasına karşı izlenmesi ihtiyacı ilk olarak 1983'te Juarez, Meksika'da ve Auburn Steel Co, New York, ABD'de radyoaktif kaynakların potada eritilmesi ile birlikte ortaya çıkmıştır. Bu tarihten itibaren metal hurdada radyoaktif kaynakların tespit edilebilmesi için çeşitli dedeksiyon sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde dünya çapında her yıl milyonlarca ton metal hurda, radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzeme içerme olasılığına karşı izlenmektedir.

Bununla birlikte, metal hurdadaki radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemenin tümünü tespit edebilmeyi garanti eden bir dedeksiyon sistemi için doğası gereği yoktur. Her ne kadar izleme ve dedeksiyon sistemlerindeki hassasiyeti arttırmak için teknolojik gelişmeler uygulanıyor olsa da, metal hurdadaki radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemenin tümünün tespit edilmesi olasılığı hiçbir zaman %100 değildir. Bu nedenle dünya çapında, metal hurda döngüsü (endüstrisi) içerisindeki izleme ve tespit sistemlerinin sayısının artırılması yönünde düzenlemeler ve yaptırımlar hayata geçirilmektedir. Bunun sayesinde metal hurdadaki radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemenin tespit edilmesi olasılığı en yüksek düzeye çıkarılmaya çalışılmaktadır.

3. METAL HURDADA RADYOAKTİF KAYNAKLAR, BULAŞMIŞ MALZEMELER VE ÇEŞİTLERİ

Dünya genelinde pek çok radyasyon kaynağı farklı uygulamalarda kullanılmakta ve bu radyasyon kaynaklarına ilişkin çok çeşitli faaliyetler yürütülmektedir. Nükleer ve radyoaktif kaynakların üretimi, kullanımı, taşınması, kullanımından vazgeçilmesi ve atığa ayrılması süreçleri her ülkenin kendi düzenleyici/denetleyici otoriteleri ve kurumları tarafından kontrol edilmekte ve yürütülmektedir.

Ayrıca nükleer maddeler ve radyoaktif kaynaklarının emniyeti ve güvenliği konusunda standartlar yayınlayan, uluslararası anlaşmalar ve mutabakatlar oluşturarak ülkelerarası işbirliği ve yardımlaşma yapılmasını sağlayan çeşitli uluslararası kuruluşlar da mevcuttur. Bunlardan en önemlileri Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), OECD-Nükleer Enerji Ajansı (OECD/NEA), Avrupa Birliği/EURATOM, Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP), Dünya Sağlık

Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO), Birleşmiş Milletler Çevre Programı Organizasyonu (UNEP) vb. şeklinde sıralanabilir.

Radyasyon kaynaklarının çok geniş ve farklı alanlarda yer bulmasının bir sonucu olarak, gerek ulusal gerekse uluslararası düzenleme ve denetleme faaliyetlerine rağmen, radyoaktif kaynakların veya radyoaktif kaynak bulaşmış malzemenin hurda metal içerisine karışma olasılığı her zaman mevcuttur.

Dünyada radyoaktif kaynak ve bulaşmış malzemenin izlenmesi ve tespiti konusundaki en yoğun teknolojik gelişmeler demir-çelik endüstrisinde yaşanmıştır. Tabii burada kullanılan izleme ve tespit sistemlerinin diğer çeşit hurdalarda da kullanılması mümkündür. Tespit edebilmenin hassasiyeti, incelenen metal hurdanın çeşidine, yoğunluğuna ve o yerdeki doğal radyasyon seviyesinin değerine bağlıdır. Örneğin alüminyum bir hurda içerisindeki radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemenin tespiti, demir-çelik bir hurda içerisindekinden daha kolay ve yüksek olasılıklıdır.

3.1. Metal Hurdalarda Radyoaktif Kaynak ve Bulaşmış Malzeme Bulunabilmesinin Nedenleri

Uluslararası olarak ele alınmasına ve kontrol altında tutulmasına rağmen metal hurdaların içerisinde radyoaktif kaynak ve bulaşmış malzeme maalesef her zaman çıkabilmektedir. Buna neden olabilecek durumlar ve sebepler aşağıda genel olarak verilmiştir:

- Radyoaktif kaynakların kullanımı ve depolanmasına yönelik radyasyon güvenliği ve radyoaktif kaynak emniyeti gerekliliklerinin özensiz bir şekilde uygulanması ve/veya ihmal edilmesi,
- Yüksek konsantrasyonlarda Doğal Oluşan Radyoaktif Madde - DORM (Naturally Occuring Radioactive Material - NORM) içeren malzemeleri üreten veya işleyen endüstrilerdeki tesislerin hizmetten çıkarılması veya sökülmesi,
- Nükleer endüstrideki tesislerin (nükleer santraller veya nükleer yakıt üreten/zenginleştiren tesisler) veya radyoaktif kaynak kullanan diğer tesislerin sökülmesi,
- Üretimi veya işlenmesi esnasında DORM oluşan endüstrilerin düzenleyici kontrol altına hiç alınmamış olması ve bu endüstrilerde kullanılan ekipman veya cihazların kontrolsüz olarak satılması,
- Düzenleyici kontrol faaliyetlerinin dışında bırakılan ve bilinmeyen radyoaktif kaynakların var olması (tecrübeler göstermiştir ki pek çok ülkede düzenleyici kontrol faaliyetleri dışında tutulan ve kayıt altına dahi alınmayan pek çok düşük aktiviteli radyoaktif kaynak bulunmaktadır),
- Sahipleri veya son kullanıcıları tarafından radyoaktif kaynaklara yönelik yeterli emniyet ve fiziksel korunma tedbirlerinin alınmaması veya terk edilmesi (sahipsiz kaynaklar),
- Kuruluşlarda, radyoaktif kaynaklar üzerindeki kontrolü yitirilmesine veya çevrenin kontamine olmasına neden olabilecek olan acil durum ve kazaların oluşması,
- Radyoaktif kaynakların yasadışı ticareti veya kaçakçılığının yapılması,
- Radyoaktif kaynakların kaybedilmesi veya çalınması.

3.2. Metal Hurdalardaki Radyoaktif Kaynak veya Bulaşmış Malzeme Çeşitleri ve Türleri

Metal hurda dönüşüm endüstrisi çok çeşitli metalleri kapsamaktadır. En çok geri dönüştürülen metaller ise demir, hurda çelik, bakır, alüminyum, kurşun, çinko ve paslanmaz çeliktir.

Radyoaktif kaynaklar genellikle kapalı (sealed) veya açık (unsealed) formlarında bulunmaktadır. Kapalı radyoaktif kaynaklar, katı halde bulunan, normal kullanım ve olası kaza koşullarında dağılma, saçılma ve sızıntıya karşı bir kapsül içerisine kapatılmış ya da kaplama malzemesi ile kaplanmış radyoaktif maddelerdir. Açık radyoaktif kaynaklar ise hem katı hem de sıvı formda olabilirler ve daha çok medikal teşhis veya ışın tedavisinde kullanılan ve herhangi bir kapsül içerisinde kapatılmamış haldeki radyoaktif maddelerdir.

Metal hurda içerisinde temelde üç çeşit radyasyon yayan malzeme bulunma olasılığı vardır:

- Doğrudan düşük, orta veya yüksek seviyeli radyoaktif kaynaklar veya radyoaktif kaynakları içeren cihazlar ve/veya taşıma kapları (örneğin gama grafi, yoğunluk-nem, seviye, kalınlık ölçüm cihazları, radyoterapi cihazları vb.),
- Düşük seviyeli hatta çoğu zaman düzenleyici kontrol kapsamına alınmayan ve muafiyet sınırlarının altında kalan fakat üretiminde veya belli bir parçasında radyoaktif kaynak kullanılan tüketici ürünleri, askeri ürünler veya taşıma kapları (örneğin fakirleştirilmiş uranyum içeren taşıma kapları, muafiyet sınırlarının altında kalan kalibrasyon kaynakları, radyoaktif kaynaklı paratonerler, duman dedektörleri, hız göstergeleri vb.),
- Madencilik endüstrisi, petrol endüstrisi veya nükleer endüstride kullanılan, yapılan/uygulanan işlemler sonucunda yüksek konsantrasyonlarda Doğal Oluşan Radyoaktif Madde (DORM) içeren parçalar veya ekipman (örneğin nükleer santrallerden veya yakıt üretim tesislerinden çıkan değişik parçalar, petrol endüstrisinde kullanılan borular, vb.)

Daha önce de belirtildiği gibi, kayıp, çalınma, bilinçsiz kullanım veya atık nedeniyle yüksek seviyeli radyoaktif kaynak içeren cihazların metal hurda içerisinde bulunması olasılık dahilindedir. Resim 1'de Amerisyum-241 (Am-241), Kobalt-60 (Co-60), Sezyum-137 (Cs-137) ve İridyum-192 (Ir-192) gibi gama radyasyonu yayan yüksek seviyeli radyoaktif kaynak içeren cihazlar görülmektedir. Söz konusu cihazlar taşınabilir olup, aynı zamanda söz konusu radyoaktif kaynakların taşıma kabı olarak da kullanılmaktadırlar.



Resim 1: Radyoaktif kaynak içeren gama grafi cihazları örnekleri

Metal hurda içerisinde bulunabilecek diğer bir radyoaktif kaynak içeren cihaz türü de çok çeşitli endüstrilerde yoğunluk, nem, seviye ve kalınlık ölçümlerinde kullanılan, içerisinde düşük veya orta seviyeli radyoaktif kaynak içeren cihazlardır. Resim 2'de bu cihazlara örnekler yer almaktadır. Bunların içerisinde Sezyum-137 (Cs-137), Kobalt-60 (Co-60), Amerisyum-241/Berilyum (Am-241/Be), Kripton-85 (Kr-85) gibi gama ve beta radyasyonu yayan radyoaktif kaynaklar bulunmaktadır.



Resim 2: Radyoaktif kaynak içeren nükleer ölçüm cihazları örnekleri

Resim 3'te görünen paratonerler ve duman dedektörleri ise düşük seviyeli hatta çoğu zaman muafiyet sınırlarının altında radyoaktif kaynaklar içermektedir. Bu kaynaklar genellikle Radyum-226 (Ra-226) ve Amerisyum-241 (Am-241) dir. Bu ürünlerin ithalatı 1990'lı yıllarda ülkemizde yasaklanmış ve kalan ürünlerin de radyoaktif atık olarak bertaraf edilmesi istenmiştir.



Resim 3: Radyoaktif kaynak içeren paratonerler ve duman dedektörleri

Çoğunlukla kalibrasyon amaçlı kullanılan düşük seviyeli radyoaktif kaynaklara da metal hurda içerisinde rastlanabilmektedir. Bunların en büyük dezavantajı boyut olarak çok küçük olmaları ve hurda içerisinde zor fark edilmeleridir. Resim 4'te örnekleri görülmektedir. Bu tür radyoaktif kaynaklar genellikle 1 ila 30 mikro Curie aktiviteleri arasında Demir-55 (Fe-55), Kadmium-109 (Cd-109) ve Sezyum-137 (Cs-137) radyonüklitleridir.



Resim 4: Kalibrasyon kaynakları

Bazı ürünler veya cihazlar ise radyoaktif kaynak içermemekle beraber içerisinde kullanılan bazı parçalar veya kısımlar radyoaktif madde içerebilmektedirler. Resim 5'te Radium içeren boya ile gece parlaması sağlanan, daha çok askeri amaçlar için 1960'lı yıllarda kullanılmış olan göstergeler, pusula ve benzeri ürünler görülmektedir. Maalesef doğrudan düzenleyici kontrol kapsamına girmeyen bu tür ürünler de metal hurda içerisinde görülebilmekte ve izlemede kullanılan dedektörler tarafından tespit edilebilmektedir.



Resim 5: Radium içeren boya kullanılmış ürünlerin örnekleri

Yer altında bulunan doğal radyoaktif maddelerin madencilik endüstrisi, petrol endüstrisi veya nükleer endüstrisinde yapılan işlemlerin bir sonucu olarak yüksek konsantrasyonlarda birikmesi, ekipman veya malzemelere bulaşması sonucunda Doğal Oluşan Radyoaktif Madde (DORM) meydana gelmektedir. Resim 6'da görülen bu tür bulaşmış malzemeler çoğunlukla demir veya çelik olup (borular, silindriker, pervane veya türbinler vb.), bu malzemelerde bulunan radyoaktif maddeler Toryum-232 (Th-232) ve Uranyum-238 (U-238) radyonüklitleridir.



Resim 6: DORM (NORM) malzeme örnekleri

4. METAL HURDADA RADYOAKTİF KAYNAK VE BULAŞMIŞ MALZEMENİN TESPİTİ

Metal hurdalarda bulunabilecek olan radyoaktif kaynak veya radyoaktif madde bulaşmış malzemenin izlenmesi işlemleri genel olarak aşağıdaki aşamalarda yapılmaktadır:

- Metal hurdanın toplandığı, elleçlendiği ve gönderildiği tesislerin giriş veya çıkışlarında,
- Metal hurdaların gemiye veya diğer taşıyıcı araçlara yüklendiği ana yükleme veya boşaltma tesislerinde,
- Metal hurdanın depolandığı tesis girişlerinde veya çıkışlarında,
- Metal hurdanın işlendiği ve eritildiği fabrika/tesis girişlerinde,
- Metal hurdanın ithal veya ihraç edildiği gümrük veya sınır kapılarında.

4.1. Tespiti Etkileyen Parametreler

Metal hurda içerisinde bulunabilecek olan bir radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin tespit edilebilmesi bu bölümde belirtilen parametrelere doğrudan bağlıdır.

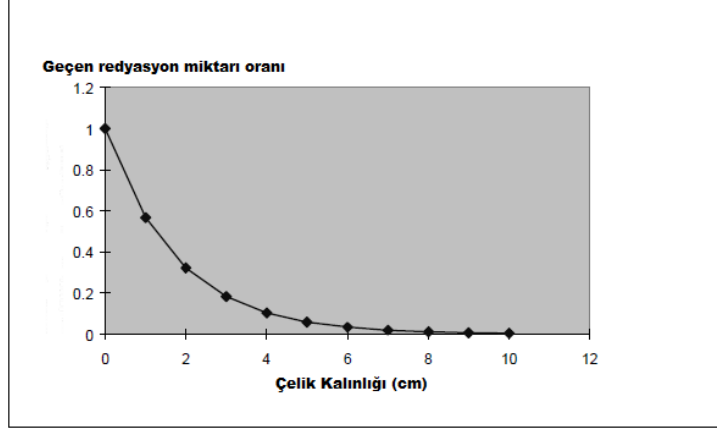
4.1.1. Radyasyonun maddelere nüfuz etme gücü

Alfa radyasyonu, elektronlarını kaybetmiş olan yani iyonlaşmış olan helyum atomu parçacıklarının yayınımlı olup, havada ancak birkaç santimetre ilerleyebilmektedir. Maddelerin içerisine nüfuz etme gücü neredeyse hiç yoktur. Genellikle madde yüzeyinde etkileşime girer ve bütün enerjisini yitirerek soğurulur. Dolayısıyla metal hurda içerisinde bir alfa radyasyon kaynağı 1 milimetre metal kalınlığından bile geçemez.

Beta radyasyonu, bir elektron veya bir pozitronun (pozitif yüklü elektron) yayınımlı olup, alfalara göre madde içerisine nüfuz etme gücü daha fazladır. Ancak beta radyasyonu da birkaç milimetre kalınlığındaki metal tarafından soğurulmaktadır.

Gama radyasyonu ise elektromanyetik dalga şeklinde bir radyasyon olup parçacık değildir. Buna göre gama radyasyonu yüksek seviyede madde içerisine nüfuz etme yeteneğine sahiptir. Havada onlarca metre ve metal hurdada da onlarca milimetre mertebesindeki kalınlıklarda ilerleyebilir. Sonuçta belli bir metal kalınlığından sonra gama radyasyonunun da şiddeti azalmakta ve soğurulmaktadır. Örneğin Am-241 radyonüklidinden yayılan gama radyasyonu

ortalama 60 keV enerjiye sahiptir ve yaklaşık 10 mm kalınlığındaki bir çelik veya demir tarafından tamamen soğurulabilmektedir. Oysa Cs-137 radyonüklidinden yayılan gama radyasyonunun enerjisi 662 keV olduğundan 30 mm'den daha yüksek kalınlığındaki çelik yığınından bile geçebilmektedir. Cs-137'nin gama radyasyonunun çelikten geçerken soğurulma grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Cs-137 tarafından yayılan gama radyasyonunun çelik kalınlığına göre soğurulması

Metal hurdanın araca yüklendiği pratik durum göz önüne alındığında, içerisinde gama radyasyonu yayan bir kaynak olması durumunda, ayrıca metal hurdadan saçılan gama radyasyonu da oluşacaktır. Buna göre Şekil 1'de verileden daha fazla miktarda radyasyon hurdanın içerisinden soğurulmadan geçebilir ve bu radyoaktif kaynağın tespit edilmesini kolaylaştırır.

Nötron parçacığının yayımlandığı radyasyon tipi ise bütün radyasyon tipleri içerisinde en çok madde içerisine nüfuz edebilen radyasyon tipidir. Yüzlerce milimetre metal kalınlıklarında veya yüzlerce metre havada soğurulmadan ilerleyebilir. Ayrıca nötron radyasyonu, çevresinde bulunan malzemenin elementleri ile etkileşime girerek onların gama radyasyonu yaymasını da sağlayabilir.

4.1.2. Doğal ortam (background) radyasyon seviyesi

Çoğu yerdeki doğal ortam radyasyon seviyesi 0,05 – 0,2 mikroSievert/saat arasında değişmektedir. Ancak bazı yerlerde(bölgelerde) örneğin granit jeolojik oluşumların yer aldığı alanlarda, bu seviye çok daha yüksek olabilmektedir. Doğal radyasyon seviyesinin yüksek olması dedektörlerde gürültü sinyalini arttırdığından, metal hurda içerisindeki bir radyoaktif kaynaktan gelen radyasyonun ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır.

4.1.3. Radyasyonun tespitinde kullanılan dedektörler

Geiger sayaçları içerisi gaz ile dolu olan bir dedektör tipidir. Dedektöre ulaşan radyasyon gaz atomlarında iyonlaşmaya neden olur, burada oluşan elektronlar bir gerilim uygulanarak toplanır ve bir elektrik akımı atımı oluşturulur. Buradan akımın büyüklüğüne göre radyasyon seviyesinin belirlenmesi yoluyla ölçüm sağlanır. Geiger dedektörleri radyasyon güvenliğine ilişkin faaliyetlerde çok sık kullanılır fakat dedeksiyon yani ilk tespit konusunda düşük verime sahiptirler ve dolayısıyla metal hurda izlemede sabit monitörlerde radyasyonu tespit etmek için kullanılmazlar.

Sintilasyon sayaçları dedektör olarak içerisinde radyasyon ile etkileştiğinde ışık yayan bir madde kullanılmaktadır. Bu dedektör malzeme çoğu zaman özel bir plastik madde veya inorganik bir kristal madde olabilmektedir. Çoğunlukla kullanılan plastik madde olduğundan

bazen bu dedektörlere plastik sayaçlar da denilmektedir. Burada oluşan ışık elektrik sinyaline dönüştürülmekte ve radyasyon seviyesi orantılı olarak belirlenebilmektedir. Bu tip dedektörler radyasyonu tespit etmekte yüksek verime sahiptir ve metal hurdanın izlenmesinde sabit izleme sistemlerinde genellikle bunlar kullanılmaktadırlar.

5. METAL HURDANIN İZLENMESİ VE RADYASYONUN TESPİTİ

Tonlar mertebesindeki metal hurdanın içinde radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzeme olup olmadığının izlenmesinde kullanılan bütün sistemler, temelde hurda içerisinde gama radyasyonu yayınlanıp yayınlanmadığının algılanması prensibine göre çalışmaktadır. Bir önceki bölümde açıklandığı üzere, alfa ve beta radyasyonu metal hurda tarafından dedektörlere ulaşmadan soğurulduğu için sabit dedektörler tarafından algılanamamaktadır. Bununla birlikte, genelde alfa veya beta yayınlanan bir metal hurdadan yani bir radyoaktif kaynaktan, gama radyasyonu da yayınlanır. Buna iyi bir örnek, alfa ve beta yayımlayan DORM(NORM) malzemelerin gama radyasyonu da yayımlamasıdır.

Gama radyasyonu metal içerisinde geçebilmesine rağmen, radyoaktif kaynaktan yayınlanan radyasyonun belli bir oranı metal hurda içerisinde dedektöre ulaşmadan soğurulmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, soğurulan radyasyonun oranı metal hurdanın kalınlığı ile üstel olarak azalmaktadır. Hatta radyoaktif kaynak eğer kendi çelik veya kurşun muhafazaları içerisinde ise yayınladığı radyasyonun çoğu bu muhafaza tarafından soğurulacaktır. Ayrıca üzerinde yığın olarak bulunan metal hurdanın da zırlama etkisi göstereceği düşünüldüğünde, maalesef dedektöre ulaşan radyasyon miktarı çok çok az olur ve bu radyoaktif kaynağı tespit etmek de çok zorlaşır. Bu nedenle metal hurda içerisinde radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzeme tespitinde hurdanın nereden alındığı, içeriğinin bilinmesi ve görsel olarak tecrübeli ve eğitimli kişiler tarafından incelenmesinin de önemi çok büyüktür.

Metal hurda genellikle pek çok el değiştirdiği ve kullanılmadan taşındığından birden fazla noktada radyoaktivite izleme dedektörlerinden geçebilmektedir. Ayrıca daha önce de belirtildiği gibi sınır geçiş veya gümrük kapılarında da pek çok ülkenin sabit izleme sistemleri bulunmakta ve metal hurdalar ithalat-ihracat sırasında bunlardan da geçirilmektedir.

Kamyon veya konteyner içerisinde yüklenmiş olan hurdanın sabit radyasyon ölçüm cihazları (sistemleri) ile izlenmesindeki en büyük handikap, metal hurdanın çok büyük bir yığın (ortalama 20 ton veya daha fazla) olarak istiflenmiş olmasıdır. Bu durumda metal hurda zırh görevi yaptığından içerisinde bulunabilecek olan bir radyoaktif kaynağın dedektörler tarafından algılanması da zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, radyoaktif kaynak metal hurda yığınının yüzeyine veya taşıyıcının kenarlarına yakın yer alıyorsa, dedektörler tarafından algılanma olasılığı da artmaktadır. Ayrıca, bu hurdanın yükleme, taşıma ve diğer aşamalarda sabit izleme sistemlerinden geçmiş olabileceği göz önüne alındığında içerisindeki bir radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin tespit edilebilme olasılığı da artmaktadır.

Buna göre, metal hurdadaki bir radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin tespit edilebilmesi için, sabit radyasyon izleme sistemlerinin daha fazla noktada kurulması, bu noktaların hurdanın toplanması, elleçlenmesi, taşınması, depolanması ve eritilmesi aşamalarında bulunmasının sağlanması durumunda radyasyon yayan bir kaynağın tespit edilebilme olasılığının da çok fazla arttığı açıktır.

5.1. Sabit Radyasyon Ölçüm Cihazları

5.1.1. Genel özellikler

Metal hurdalar genellikle içerisinde hacim olarak nispeten geniş sayılabilecek ve radyasyon algılama hassasiyeti yüksek olan sabit radyasyon ölçüm sistemleri ile izlenmektedir. Bunlar portal monitörleri olarak da bilinmektedir. Metal hurdanın yüklenmiş olduğu kamyon veya konteyner benzeri taşıyıcılar bu sistemlerin içerisinde geçirmektedir ve bu işlem ortalama olarak 30 saniye

sürmektedir. Çeşitli üreticiler ve markalar olmasına rağmen bu sistemlerin genel özellikleri benzerdir. Resim 7'de çeşitli sabit radyasyon ölçüm cihazları örnekleri görülmektedir.



Resim 7: Sabit radyasyon ölçüm cihazları (sistemleri) örnekleri

5.1.2. Sabit ölçüm cihazından taşıyıcı aracın geçirilmesi ve geçiş hızı

Sabit radyasyon ölçüm (izleme) sistemlerinde, geçecek olan aracın varlığının veya geçtiğinin algılanması gereklidir. Sistem araç varlığını veya geçişini algıladığında, araç yokken ölçülen doğal radyasyon seviyesinin (background), araç geçişi esnasında araçtan ölçülen radyasyon seviyesinden çıkarılmasını veya ihmal edilmesini sağlar. Bu nedenle sabit radyasyon ölçüm sistemlerinde araç varlığını veya geçişini algılamaya yarayan foto hücreler (photocell) bulunmaktadır.

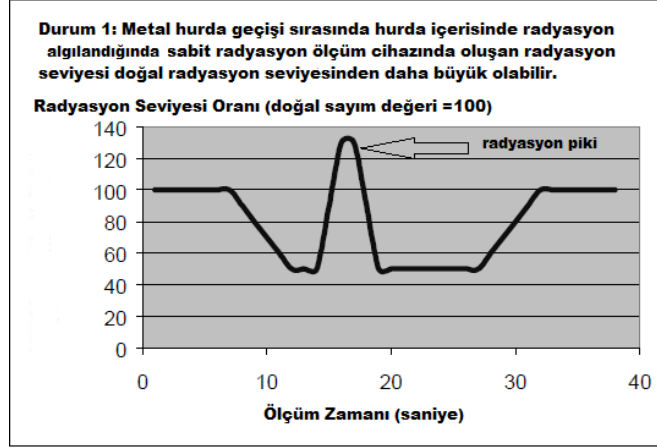
Aracın sabit radyasyon ölçüm sisteminden geçerkenki hızı çok önemlidir. Sabit izleme sisteminde bulunan radyasyon dedektörünün maksimum hassasiyete ulaşmasının temin edilmesi için aracın yavaş bir şekilde geçmesi zaruridir. Bu nedenle bazı sabit radyasyon izleme sistemlerinde aracın hızını ölçebilen ve aracın gereğinden daha hızlı geçmesi halinde, hız alarmı vermesini sağlayan sensörler bulunmaktadır. Bu tür sensörlerin olmadığı sistemlerde aracın geçiş hızı en fazla 5 km/saat olacak şekilde geçmesi sağlanmalıdır. Daha yüksek hızlarda geçtiği tespit edilen araçlar ise sabit radyasyon ölçüm sisteminden tekrar yavaş olarak geçirilmelidir.

5.1.3. Sabit radyasyon ölçüm sisteminde radyasyon varlığının tespit edilmesi

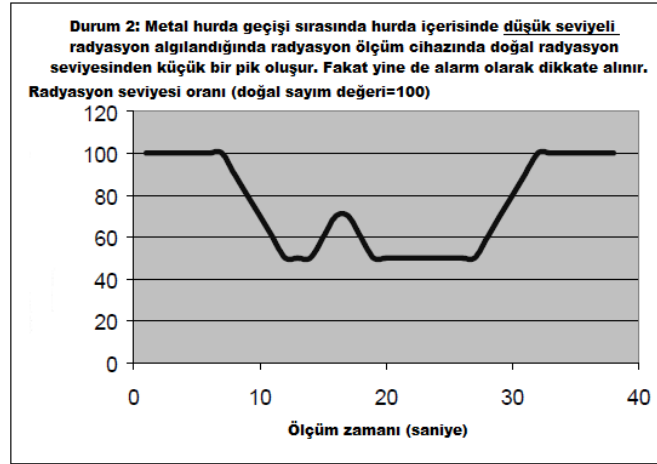
Sabit radyasyon ölçüm sisteminde kullanılan dedektörler radyasyonun varlığına karşın hassas olan sintilasyon veya plastik dedektörlerdir. Genellikle aracın geçiş güzergahının her iki yanında da yer alacak şekilde iki veya dört dedektör şeklinde yerleştirilirler. Burada dedektör sayısını aracın hem alt kısmını hem de üst kısmını görecektir. Böylece tabii ki metal hurda yığınının içerisindeki bir radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin bulunma olasılığını arttıracaktır.

Dedektörlerin hangi gama radyasyonu enerjilerine hassas olacağı, üretim esnasında bir minimum gama enerjisi bir de maksimum gama enerjisi belirlenerek bir aralık şeklinde ayarlanır. Genelde dedektörün algılayabileceği minimum gama enerjisinin 50 keV olacak şekilde kalibre edilmesi önerilmektedir. Böylece Am-241'in enerjisi 60 keV olan gama radyasyonunun algılanması sağlanmış olur. Dedekte edilebilen maksimum gama radyasyonu enerjisi ise 1400 keV olmalıdır. Böylece Co-60'ın 1173 ve 1332 keV olan gama radyasyonu enerjilerinin kapsanması ve algılanması sağlanmış olur.

Bir metal hurdanın radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzeme içermesi halinde sabit radyasyon ölçüm sisteminden geçirilmesi sırasında aşağıdaki grafiklerde görülen sinyaller oluşur. Bu grafiklerde aracın geçişi esnasında zamana karşılık radyasyon seviyesi birimsiz olarak oran şeklinde gösterilmektedir. Doğal radyasyon seviyesi (background) 100 birim olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2: Doğal sayım seviyesinin üstünde radyasyon içeren metal hurda



Şekil 3: Doğal radyasyon seviyesinin altında düşük seviyeli radyasyon içeren metal hurda

Bu şekillere bakıldığında, araç geçişi başladığında yani sıfırıncı saniyede doğal radyasyon seviyesinden daha düşük sayımlar alındığı görülmektedir ki bu normaldir. Buna perdeleme etkisi denilmektedir. Aracın içerisindeki metal hurda, sabit radyasyon ölçüm sistemindeki dedektöre ulaşan doğal radyasyona zırlama yapacağından doğal radyasyon seviyesindeki sayım değeri düşmektedir.

Şekil 2'de içerisinde doğal radyasyon seviyesinden daha yüksek seviyede radyasyon içeren metal hurda dolu bir aracın geçişi esnasında oluşan sayım grafiği görülmektedir.

Şekil 3'te ise içerisinde düşük seviyeli yani doğal radyasyon seviyesinden daha düşük seviyede radyasyon içeren metal hurda dolu bir aracın geçişi esnasında oluşan sayım grafiği görülmektedir. Her iki durumda da sistemin alarm vermesi gerekmektedir.

5.2. Taşınabilir Radyasyon Ölçüm Cihazları

Taşınabilir (portatif) radyasyon ölçüm cihazları çok çeşitlidir ve piyasadan kolayca temin edilmesi mümkündür. Taşınabilir radyasyon ölçüm cihazları genellikle radyasyon güvenliği ile ilgili faaliyetlerde kullanıldığından belli standartlara göre üretilmekte ve kalibre edilmektedir. Doğru cihaz kullanılarak bütün radyasyon çeşitleri (nötron, alfa, beta, gama ve x-ışınları) taşınabilir radyasyon ölçüm cihazları ile ölçülebilmektedir. Resim 8'de taşınabilir radyasyon ölçüm cihazlarına farklı örnekler verilmiştir.



Resim 8: Taşınabilir radyasyon ölçüm cihazları örnekleri

Metal hurda içerisindeki radyoaktivitenin tespit edilmesinde taşınabilir radyasyon ölçüm cihazları aşağıdaki şekillerde kullanılmaktadır:

- Hurdanın alındığı yerlerde/tesislerde alınacak olan hurda parçalarının ya da öbeklerinin taşınabilir radyasyon ölçüm cihazı ile ayrı ayrı ölçülmesi ve incelenmesi mümkündür. Burada hurda büyük bir yığın şeklinde olmadan ölçme imkanı olduğundan daha hassas bir ölçüm yapılmış ve her bir parçanın ayrı ölçümünün yapılması sağlanmış olur.
- Hurdayı satın alan veya eritilecek olan tesislerde, eğer az miktarda hurda alımı yapılıyorsa da taşınabilir radyasyon ölçüm cihazının eğitimli bir personel tarafından kullanılması ile radyoaktivite ölçümü yapılabilir.

Bunun dışında sabit radyasyon ölçüm sisteminin alarm vermesini takiben, taşınabilir radyasyon ölçüm cihazları aşağıdaki işlemler için de kullanılmaktadır:

- Radyasyon kaynağının ilk aşamada aracın neresinde olduğunun tespit edilmesi,
- Hurdanın bulunduğu veya boşaltılacağı alandaki radyasyon seviyelerinin ne değerle olduğunun ölçülmesi ve güvenli olup olmadığına karar verilmesi,
- Hurda boşaltıldıktan sonra incelenmesi ve öbek şekline getirilerek ölçüm alınması,
- Radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin yeri tespit edildikten sonra güvenlik altına alınması, taşınması veya depolanması sırasında radyasyon seviyesi değerlerinin belirlenmesi.

5.3. Metal Hurda İçerisinde Radyoaktif Kaynak ve Bulaşmış Malzemenin Tespiti

Metal hurda içerisinde radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemenin tespit ve kontrol edilebilmesi için radyasyon ölçümünün yapılmasından önce iki aşama daha vardır. Bu aşamalar, radyasyon ölçümü aşaması ile birlikte üç aşama şeklinde sıralanabilir:

- **Yönetimsel Kontrol:** Hurdanın kaynağının bilinmesi, nereden geldiğinin ve kimlerden alındığının bilinmesi, içeriğinin bilinmesi, daha önce radyasyon ölçümü yapıp yapılmadığının bilinmesi ve güvenilir kaynaklardan alınmasına ilişkin belgelerin olması gibi yönetimsel hususlar, aslında metal hurdanın radyoaktiviteye karşı izlenmesinin yapılmasının ilk aşamalarıdır. Bu sayede aslında hurda içerisinde radyasyon bulunması olasılığı baştan büyük oranda azaltılmış olur.
- **Görsel Kontrol:** Radyoaktif bir kaynağın tespit edilmesinde görsel kontrol çok önemlidir. Çünkü radyoaktif kaynakların muhafaza kaplarında veya taşıyıcılarında mutlaka radyasyon uyarı işareti vardır. (Bkz. Resim 9) Bu kılavuzun 3 üncü bölümünde bahsedilen ve resimleri verilen radyasyon kaynaklarının görsel olarak tespit edilmesi kolaydır, çünkü hurda içerisinde hem şekil olarak hem de radyasyon uyarı işaretleri ile dikkat çekicidir. Özellikle hurdanın alınması veya elleçlenmesi esnasında tecrübeli ve eğitimli bir kişinin radyoaktif kaynağı veya pervane, boru, silindir gibi DORM (NORM) madde bulaşmış bir malzemeyi tespit edebilmesi mümkündür.



Resim 9: Radyasyon uyarı işaretleri

- **Radyasyon Ölçümü:** Sabit radyasyon ölçüm cihazları veya taşınabilir radyasyon ölçüm cihazları ile ölçüm alınması işlemidir. Burada önemli olan öncelikle çevredeki doğal radyasyon seviyesinin ölçülmesi ve daha sonra metal hurdada ölçüm yapılmasıdır. Doğal radyasyon seviyesinin üzerinde radyasyon tespit edilmesi zaten doğrudan radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin tespit edilmesini sağlayacaktır.

Radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemenin tespit edilebilmesinde önemli olan bir diğer faktör metal hurda ile işlem yapan tesislerde radyasyon ölçümü ve radyasyondan korunma konusunda eğitim almış bilinçli personelin çalıştırılması ve ayrıca tam yetkili kılınmasıdır. Metal hurdanın görsel kontrolünün de bu eğitimli kişiler tarafından yapılması mümkündür.

Radyasyon ölçümü ve radyasyondan korunma konusunda eğitim almış olan personel, metal hurdanın satın alınması, taşınması, tesise girişi ve depolanması aşamalarında mutlaka yer almalı ve gerektiğinde müdahale edecek yetkiye sahip olmalıdır.

Hurdanın mutlaka sabit radyasyon ölçüm cihazından geçirilmesinin temin edilmesi bu personelin sorumluluğunda olmalı ve herhangi bir şüphe veya alarm durumunda eğitimli personel tam yetki ile hareket ederek gerekli tedbirleri almalı ve işlemleri doğru ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmelidir.

Tesise giriş yapan bütün metal hurdaların sabit radyasyon ölçüm sisteminden geçirilmesinin sağlanması ve sistemin sürekli çalışır durumda tutulması gereklidir. Ayrıca sistemin sürekli ve yersiz bir şekilde kapatılıp açılması sistemin kalibrasyonunu ve düzgün çalışmasını da etkileyebilmektedir.

5.4. Sabit Radyasyon Ölçüm Cihazı Alarm Verdikten Sonra İzlenecek Olan Adımlar

Bir tesisteki sabit radyasyon ölçüm cihazı (sistemi) alarm verirse izlenecek olan adımların, yapılacak olan işlemlerin ve sorumlulukların ne olduğu bu kısımda açıklanmıştır.

5.4.1. Doğrulama

Sistem alarm verdiğiğinde, alarmın araçtaki metal hurdanın içerisindeki bir radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemeden kaynaklandığının doğrulanması gereklidir.

Yanlış alarmların pek çok nedeni olabilir. Bunlardan bir tanesi çevredeki doğal radyasyon seviyesinin herhangi bir nedenden dolayı yükselmesi olabilir. Normalde doğal radyasyon seviyesi 0,05-0,2 mikroSievert/saat arasında değişmektedir. Bazı bölgelerde bu değerler 0,3-0,5 mikroSievert/saat gibi daha yüksek değerlerde de olabilir. Bir sabit radyasyon ölçüm cihazı kurulurken bu değer dikkate alınır ve ayarlanır. Fakat bazen etrafta bir radyografi çalışması veya yağmur, nem oranının artması gibi sebepler yüzünden çevresel doğal radyasyon seviyesi yükselebilmektedir. Genellikle alarm seviyesi de hassasiyeti arttırmak için doğal radyasyon seviyesinin hemen üzerinde bir değere ayarlandığından doğal radyasyon seviyesindeki küçük bir artış bile yanlış alarma sebep olabilmektedir.

Bazı durumlarda araç içerisindeki sürücünün teşhis veya tedavi amaçlı olarak radyoaktif kaynak almasından kaynaklı olarak yanlış alarmlar oluşabilmektedir. Bu nedenle sistem alarm verdiğiğinde araç sürücüsüne bu tür bir tedavi görüp görmediği mutlaka sorulmalıdır. Sürücünün böyle bir durum olduğunu teyit etmesi durumunda ise araç sabit radyasyon ölçüm sisteminden farklı bir sürücü yardımıyla tekrar geçirilmelidir. Bu sırada da gerçek araç sürücüsü sisteme en az 50 m uzaklıkta bekletilmelidir. Aracın ikinci geçişinde sistemin alarm vermemesi durumunda araç temiz olarak değerlendirilir.

Yukarıda açıklanan durumların hiç birinin olmadığı ve aracın ikinci defa geçirilmesi sırasında tekrar alarm vermesi durumunda alarm doğru bir alarm olarak işlem görür. Bu durumda araç daha fazla incelemenin yapılması amacıyla karantina sahasına alınır ve emniyeti sağlanır.

Tesiste bu iş için görevlendirilmiş ve radyasyondan korunma görevlisi olan eğitimli personelin taşınabilir radyasyon ölçüm cihazı (el dedektörü) ile ölçüm yapması gereklidir. Bazen sabit radyasyon ölçüm cihazı ile taşınabilir radyasyon ölçüm cihazının sonuç değerleri karşılaştırılabilir, ancak burada birimlere dikkat etmek çok önemlidir. Sabit izleme sistemlerinin birimi genelde cps(count per second) veya cpm (count per minute) iken, el dedektörlerinin birimi genelde $\mu\text{R/saat}$ (mikroRoentgen/saat) veya $\mu\text{Sv/saat}$ (mikroSievert/saat) şeklindedir.

Ölçüm alınacak olan yerler Resim 10'da görülmektedir. Taşınabilir radyasyon ölçüm cihazı ile ölçüme başlamadan önce doğal radyasyon seviyesi değerinin sağlıklı olarak belirlenebilmesi için belli bir süre beklenmelidir. Aracın dört bir tarafı el dedektörünün tepki süresi ve hassasiyeti göz önüne alınarak yavaş ve dikkatli bir şekilde el dedektörü ile taramalıdır. Ayrıca bir merdiven yardımıyla aracın üzerinde de ölçüm alınmalıdır. El dedektörü olarak gama radyasyonunu algılayabilen Geiger sayacı veya sintilasyon sayaçları kullanılmalıdır.



Resim 10: El dedektörü ile araç etrafında ve üzerinde radyasyon ölçümü

Bu işlem esnasında çoğunlukla radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin araç içerisindeki yerinin de tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.

Şekil 4'te el dedektörü ile ölçüm alınması esnasında dikkat edilmesi gereken hususları belirten özet bilgiler gösterilmektedir. Burada sabit radyasyon ölçüm cihazının okumuş olduğu cps birimindeki değerlere karşılık gelen ve taşınabilir radyasyon ölçüm cihazı ile okunan $\mu\text{Sv/saat}$ değerlerinin karşılaştırması da mevcuttur.

	Sabit radyasyon ölçüm cihazından alınan ölçümler (cps)	El cihazı ile alınan ortalama ölçüm değerleri ($\mu\text{Sv/saat}$)	Yapılacak olan eylem / işlem
1	Background (Doğal Radyasyon Seviyesi)	0,1	Eylem gerektirmez
2	2 x Background – 4 x Background	0,2 – 0,4	Dedektörden tekrar geçiş ve inceleme yap
3	20 x Background	2,0	Aracı emniyet altına ve karantina sahasına al ve inceleme yap
4	200 x Background	20	Aracı emniyet altına ve karantina sahasına al, kimseyi yaklaştırmama ve TAEK'e haber ver.

Şekil 4: Sabit ve taşınabilir radyasyon ölçüm cihazlarında okunan değerlere karşılık yapılması gereken eylemler

Burada görüleceği üzere doğal radyasyon seviyesi değerinin en az iki katı değerindeki sayım değerleri doğru alarm olarak ele alınmalıdır. İkinci satırda görüleceği üzere doğal sayım değerinin iki katı ve üzeri sayım alındığında alarm değerlendirilmeli, araç dedektörden tekrar geçirilmeli ve el cihazı ile inceleme yapılmalıdır.

Üçüncü satırda görülebileceği üzere, doğal radyasyon seviyesi değerinin 20 katı bir değer okunması durumunda araç emniyet altına alınmalı, etrafında insanların yaklaşmayacağı şekilde şerit çekilerek bir alan oluşturulmalı ve bir sonraki kısımda açıklanan inceleme işlemine ondan sonra geçilmelidir.

Ancak son satırda görüleceği üzere, elde edilen değer doğal radyasyon seviyesi değerinin 200 ve üzeri katındaysa, araç içerisinde yüksek aktiviteli bir radyoaktif kaynak olması muhtemel olduğundan, araca müdahale edilmekten kaçınılmalı ve TAEK'e haber verilerek, uzmanların müdahaleyi yönlendirmesi beklenmelidir.

5.4.2. İnceleme

Sabit radyasyon ölçüm sisteminin alarm vermesini takiben yapılacak olan inceleme aşaması son derece önemlidir. Sistemdeki her alarm değerlendirmeye alınarak dikkatli bir şekilde incelenmeli ve mutlaka araçta bir radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzeme olup olmadığından emin olunmalıdır. Alarmın hatalı olup olmadığına da ancak dikkatli bir inceleme yapıldıktan sonra karar verilmelidir. Unutulmamalıdır ki, inceleme yapılmadan bir alarmın kapatılması veya yok sayılması çok ciddi maddi ve sağlık hasarlarına neden olabilir.

İnceleme işlemi, aracın yükünün ne olduğunun, içeriğinin ve nereden geldiğinin araştırılması, aracın alarm vermesini takiben el cihazı ile ölçüm alınması ve karantina sahasına alınarak

gerekirse hurdanın sahaya boşaltılması ve tekrar ölçüm alınması işlemlerinin tümünü kapsamaktadır. Bu nedenle yapılacak olan ölçümler ve çalışmalar esnasında radyasyondan korunmaya öncelik verilmeli ve radyasyondan korunmanın sağlanamadığı yüksek doz almaya neden olabilecek riskli işlemlerden kaçınılmalıdır.

Radyasyondan korunmanın sağlanması için tesiste radyasyondan korunma ve radyasyon ölçümü konusunda eğitim almış olan personelin prosedür ve yapılacak olan işlemleri ve alınacak olan önlemleri mutlaka belirlemesi gerekmektedir.

İnceleme işlemlerinin sağlıklı yapılabilmesi için, personelin görev ve sorumluluklarının belirlendiği talimatların daha önceden hazırlanmış ve tüm personele duyurulmuş olması gereklidir. Sistem alarm verdikten sonra, müdahale edecek ve aracı tekrar sistemden geçirecek olan personelden başlayarak, araç etrafında el cihazı ile ölçüm alacak olan eğitimli personelden karantina sahasında müdahale edecek olan personele kadar bütün görevler, sorumluluklar ve kişiler önceden belirlenmelidir.

İnceleme işleminin aşamalarını aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz:

- Öncelikle sabit radyasyon ölçüm cihazının alarm vermesine neden olan araç dikkatli ve daha yavaş bir şekilde ikinci kez sabit radyasyon ölçüm cihazından geçirilir. Yine alarm vermesi durumunda araç içerisindeki hurda türü, ne içerdiği ve nereden geldiği belirlenir. Bu konuda taşıma belgesi, fatura vb. belgeler varsa incelenir. Hurdanın nereden yüklendiği, yüklenmeden önce herhangi bir radyasyon ölçümünün yapıp yapılmadığı ve mümkünse hurdanın çıkış kaynağı araştırılır.
- Tesiste metal hurdanın radyasyon izlenmesinden sorumlu olan radyasyondan korunma görevlisi tarafından araç etrafında ve üzerinde taşınabilir radyasyon ölçüm cihazı (el dedektörü) ile radyasyon ölçümleri alınır. Bu işlem esnasında ölçümler kaydedilir ve aracın özellikle hangi tarafında radyasyon kaynağının olduğu belirlenmeye çalışılır. Bu ölçümler sonucunda Şekil 4'te belirtilen doz hızı limitleri ve buna bağlı olarak yapılacak olan işlemler dikkate alınmalıdır.
- Araç etrafında el dedektörü ile ölçüm alınması esnasında dikkat edilmesi gereken önemli bir diğer husus da araç içerisindeki metal hurda yüzünden radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin perdelenmiş yani zırh etkisi nedeniyle alınan ölçümlerin olduğundan daha düşük çıkma olasılığıdır. Bu nedenle, radyasyondan korunma görevlisinin araç etrafında ölçüm alması sırasında çok dikkatli ve bilinçli olması, zırh etkisi yaratabilecek malzemelerin bulunduğunu fark etmesi veya şüphelenmesi halinde aracın içeriğini karantina sahasına boşaltarak radyasyon ölçümüne bu şekilde devam etmesi gerekmektedir.
- Aracın etrafında alınan radyasyon ölçümlerinin, Şekil 4'te belirtildiği gibi sabit radyasyon ölçüm cihazından daha yüksek veya doğal sayım değerinin 4 ve üzeri katı çıkması sonucunda araç içerisindeki hurda karantina sahasına boşaltılır ve yatay bir şekilde öbekler halinde yayılır. Bundan sonra el dedektörü ile yavaş ve dikkatli bir şekilde her bir öbekte radyasyon ölçümü yapılır. Bu işlem esnasında radyasyon doz hızı değerine çok dikkat edilmeli ve ölçüm alan kişi ne kadar doz alabileceğini hesaplamalıdır. Doz hızının çok yüksek olması halinde ve ölçüm yapan personelin yüksek dozlar alınabileceğinin anlaşılması halinde ölçüm işlemi durdurulmalı, alan emniyet altına alınmalı ve müdahalenin yönlendirilmesi için TAEK'e haber verilmelidir.
- Doz hızının 20 $\mu\text{Sv/saat}$ veya 2 mR/saat (miliröntgen/saat) değerini aşmadığı durumlarda her bir öbekte ölçüm alınma işleminden sonra radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin yeri belirlenmiş olacaktır. Radyasyonlu malzeme bütün öbeklerde çıkan bulaşmış malzeme olabileceği gibi, sadece bir veya iki öbekte çıkan bir radyoaktif kaynak veya cihaz da olabilir.
- Bulunan radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzeme dikkatli bir şekilde bir araç (vinç, forklift vb.) yardımıyla geçici depolama kuyusuna konulur, kapağı kapatılır ve mümkün olan en kısa zamanda Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü bünyesinde bulunan radyoaktif atık tesisine teslim edilir.

5.4.3. İncelemeye İlişkin Diğer Hususlar

Çok nadir de olsa, inceleme esnasında yapılan işlemler veya malzemenin dökülmesi, akması, veya etrafa yayılması gibi durumlar, personelin veya çevrenin radyoaktif bulaşmasına (kontaminasyonuna) neden olabilir. Kontaminasyon sonucunda oluşabilecek olan zararlar, bulaşan radyoaktif elementin cinsine ve formuna bağlıdır (katı, sıvı, toz, kum şeklinde olabilir). Bunun için tesislerde kontaminasyonun önlenmesi ve temizlenmesi için uygun ekipman ve koruyucu donanımın bulunması gerekir. Örneğin koruyucu giysiler ve eldivenler, radyoaktif kaynakların konulabileceği kurşun taşıma kapları, 2-3 metre uzunluğunda maşalar ve benzeri. Çevre veya kişilerde radyoaktif madde kontaminasyonu tespit edilmesi durumunda mutlaka TAEK'e haber verilmelidir.

Tespit edilen ve kuyu içerisine alınan herhangi bir radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin, çok fazla bekletilmeden radyoaktif madde taşıma mevzuatına uygun olarak özel araç ile atık tesisine götürülmeli veya radyoaktif kaynakların güvenli bir şekilde taşınması için konuya ilişkin mevzuatın uygulanması ve buna göre işlem yapılması gerektiğinden TAEK'ten radyoaktif kaynak taşıma konusunda lisans almış olan bir kuruluştan yardım alınmalıdır.

5.5. Raporlama ve Kayıtlar

Metal hurdaların radyoaktivite izlenmesinde kayıtların tutulması ve olayların rapor edilmesi önemli bir husustur.

Sabit radyasyon ölçüm sistemlerini kullanan kuruluşların aşağıdaki kayıtları mutlaka tutması gerekir:

- Personelin eğitimine ilişkin kayıtlar (kuruluş bünyesinde çalışan her kişiye, radyasyondan korunma, metal hurdanın çeşitleri, içerisinde çıkabilme olasılığı bulunan kaynaklar ve bulaşmış malzemenin çeşitleri, çalışma esnasında radyasyon ile ilgili dikkat edilmesi gereken hususlar vb.),
- Radyasyon uyarısı durumlarında yapılan işlemlere ve ölçümlere ilişkin kayıtlar (raporlama),
- Radyasyon ölçüm cihazlarına ilişkin kayıtlar (radyasyon ölçüm cihazlarının marka, model seri numarası ve kalibrasyonuna ilişkin kayıtlar),
- Bulunan radyoaktif kaynak veya bulaşmış malzemelere ilişkin kayıtlar (radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin hangi hurda içerisinde bulunduğu, bu hurdanın kaynağına ilişkin bilgiler, araca ve aracın son yaptığı taşımalara ilişkin bilgiler, radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin cinsi, şekli, varsa aktivitesi ve seri numarasına ilişkin kayıtlar),
- Radyoaktif malzeme teslimine veya geçici depolama kuyusuna konulmasına ilişkin kayıtlar.

Yukarıda belirtilen kayıt tutma işlemlerinin bir parçası olan rapor tutma, özellikle ikinci maddede belirtilen radyasyon uyarısı ve akabinde radyoaktif veya bulaşmış madde tespitinden sonra yapılan işlemler ile ilgilidir. Düzenlenecek olan rapor, sistemin alarm vermesinden itibaren geçici depolama kuyusuna konulana veya atık tesisine teslim edilene kadar yapılan bütün işlem ve aşamaları içermelidir.

Raporun içermesi gereken bilgiler aşağıda belirtilmiştir:

- Alarm verme tarihi ve saati,
- Alarm verdiği sırada çevre doğal sayım değeri ve alarmin oluştuğu değer (eğer ekranda sayısal veriler görülebiliyorsa geçerlidir),
- Araç bilgileri (plaka, nereden geldiği, bundan önce nereye hangi malzemeyi taşıdığı vb.),

- Sürücü bilgileri (adı, soyadı, yaşı, öncesinde nükleer tıp teşhis veya tedavisine ilişkin bilgiler vb.),
- Aracın etrafında ve üzerinde alınan radyasyon ölçüm değerleri, ölçüm yapılan taşınabilir radyasyon ölçüm cihazının bilgileri ve radyasyon ölçümünün nasıl ve ne kadar süreyle yapıldığına dair bilgiler,
- Radyasyon ölçümlerini yapan radyasyondan korunma görevlisinin bilgileri,
- Hurda malzemenin araçtan boşaltıldıktan sonra etrafında ve yüzeyinde alınan radyasyon ölçüm değerleri,
- Radyoaktif kaynağın veya bulaşmış malzemenin bulunmasını takiben görünüşüne ait bilgiler ve resimler,
- Radyoaktif malzemenin 5 m uzağında, 1 m uzağında ve yüzeyinde alınan radyasyon ölçüm değerleri,
- Radyoaktif malzemeye ilişkin yapılan işlemlerde görev alan kişilerin isimleri, yaşları ve ne kadar süre ile ne kadar mesafede çalıştıklarına dair bilgiler,
- Radyoaktif malzemenin geçici depolama kuyusuna konulması işlemlerine ilişkin bilgiler,
- Eğer radyoaktif malzeme doğrudan atık tesisine götürülecekse, taşıma yapan araca ve kişilere ilişkin bilgiler, şoför ve yolcu mahallinde alınan radyasyon ölçüm değerleri, yolculuğun süresi ve rotasına ilişkin bilgiler ve atık teslim tutanağı.

6. METAL HURDA İLE ÇALIŞANLARIN DİKKAT ETMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Sabit radyasyon ölçüm sistemi kullanarak metal hurdalarda radyoaktivite izlemesi yapan kuruluşlarda çalışan personelin kendisinin ve çevrenin güvenliği için;

- Metal hurda ile yapılan çalışmalar esnasında bu kılavuzun 3.2 bölümünde belirtilen malzemelerden herhangi birini görmesi veya benzerliğinden şüphelenmesi durumunda,
- Metal hurda içerisinde, üzerinde radyasyon uyarı işareti veya levhası içeren herhangi bir malzeme, parça veya aksam görülmesi durumunda,
- Bu kılavuzun 3.2 bölümünde verilen malzemelere benzememesine rağmen, boyutlarına göre görüldüğünden daha ağır ve yoğun olan malzemelerin tespit edilmesi ve şüphe duyulması halinde,
- Tesis içerisinde yapılan çalışmalar veya radyasyon ölçümleri esnasında, bir şey görünmemesine rağmen taşınabilir radyasyon ölçüm cihazının veya varsa alarmlı dozimetrenin ikaz vermesi durumlarında,
- Tesis etrafında doğal radyasyon seviyesi değerinde beklenmeyen veya olağan dışı bir yükselme olması ve bunun sabit radyasyon ölçüm sistemi tarafından algılanması halinde,

aşağıda belirtilen işlemler yapılmalı veya belirtilen hususlara uyulmalıdır.

6.1. Çalışanların Uyması Gereken Hususlar

Yukarıda belirtilen durumların çalışanlar tarafından tespit edilmesi ve metal hurda içerisinde radyoaktif madde veya bulaşmış madde bulunması halinde aşağıdakiler yapılmalıdır:

- Metal hurdanın yanında uzaklaşılmalı ve radyasyondan korunma görevlisine acilen haber verilmelidir.
- Radyoaktif olabileceğinden şüphelenilen malzeme veya parçalar kesinlikle ellenmemeli ve radyasyondan korunma görevlisinin gelmesi beklenmelidir.
- Etrafta bulunan diğer çalışanlar da yaklaşılmaması konusunda uyarılmalı ve radyasyondan korunma görevlisinin talimatlarının bekleneneği belirtilmelidir.
- Radyasyondan korunma görevlisi gelene kadar çevre emniyeti sağlanmalı ve onun talimatlarına uyulmalıdır,
- Radyoaktif bulaşma söz konusu ise, radyasyondan korunma görevlisinin talimatı olmadan bulunulan yerden ayrılınmamalıdır.

6.2. Radyasyondan Korunma Görevlisinin Yapması Gereken Hususlar

Tesiste görevli olan radyasyondan korunma görevlisi veya yöneticinin yukarıda belirtilen durumlar ile ilgili haber almasını takiben yapması gerekenler aşağıda belirtilmiştir:

- Tesiste çalışan kişilere periyodik olarak metal hurdalarda radyoaktivite izlenmesine ve çıkabilecek olan radyoaktif kaynaklara veya bulaşmış malzemelere yönelik olarak eğitim vermeli ve dikkatli olunması konusunda uyarmalıdır.
- Oluşabilecek olan durumlar göz önüne alınarak, haber verilen tespit ile ilgili olarak yapılması gerekenleri yazılı talimatlar halinde hazırlamalı ve çalışanlara imza karşılığında duyurmalıdır.
- Çalışanların talimatlara uymasını sağlayacak bir yönetim sistemi kurmalıdır.
- Metal hurdanın bulunduğu yere gerekli cihazları da alarak ivedilikle intikal etmeli ve duruma el koymalıdır.
- Aracı emniyet altına almalı, radyasyon ölçümlerini taşınabilir radyasyon ölçüm cihazı ile yaparak değerlendirme yapmalı ve gerekiyorsa aracın yanına kimseyi yaklaştırmamalıdır.
- Aracın karantina sahasına götürülmesi ve hurdanın boşaltılması işlemlerini bizzat yürütmeli ve radyasyona maruz kalınmasını veya bir bulaşma olmasını önleyecek gerekli tedbirleri almalı ve/veya aldırmalıdır.
- Metal hurdanın radyasyon ölçümlerinde veya ayıklanmasında görev alacak olan çalışanları bilgilendirmeli ve doz almalarını engelleyecek şekilde bir çalışma yürütmelidir.
- Doz hızı değerinin yüksek olduğu durumlarda gerekli tedbirleri almalı ve TAEK'e haber vermelidir.

KAYNAKÇA

- Canadian Nuclear Safety Commission, *"Alarm Response Guidelines for Radiation Portal Monitoring Systems"*, February 2011.
- Bulgarian Nuclear Regulatory Agency, Safety Guides on Implementation of the Legal Requirements, *"Prevention, Detection and Response to Radiation Emergency in Case of Discovering of Radioactive Material in Metal Scrap"*, April 2010.
- United Nations Economic Commission for Europe – European Commission – International Atomic Energy Agency, *"Report on the Improvement of the Management of Radiation Protection Aspects in the Recycling of Metal Scrap"*, United Nations-New York and Geneva, 2002.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *"Guidance for the Identification and Control of Safety and Health Hazards in Metal Scrap Recycling"*, OSHA 3348-05, 2008.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 07/04/2016 tarihli ve RSGD-UE-002-E04 numaralı *"Radyasyon Ölçüm Sistemi Uygunluk Değerlendirmesine İlişkin Usul ve Esaslar"*.