

Radyoaktif Işınlardan Korunaklı Ekolojik Yapılar

Şemsettin KILINÇARSLAN*, Celalettin BAŞYİĞİT, Tuba MOLLA, Seyyid SANCAR

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fak. Yapı Eğitimi Böl. ISPARTA

ÖZET

Radyasyon, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalgalar şeklinde taşınan fazla enerjilerdir. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilir. İyonlaşma, radyasyonla etkileşime giren herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dâhil tüm canlıların vücudunda da ortaya çıkabilir.

Dünyada tıp, bilimsel araştırma, enerji, tarım, endüstride nükleer tesis ve tıp merkezlerinde radyasyon ışınları kullanılmaktadır. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmak için; zaman, uzaklık ve zırh kurallarına dikkat edilmelidir. Zırhlama radyasyon dozunu kabul edilebilir seviyelere azaltmak amacı ile radyasyon kaynağı ile kişi arasına koruyucu engel konulmasıdır. Ağır betonun hem hidrojen iyonu içermesi hem de yüksek yoğunluğa sahip ağır agregalardan üretilmiş olması zırhlama malzemesi olarak kullanılmasını kaçınılmaz kılar. Zırh malzemelerinin zırh kalınlıklarını belirlemek için o malzemenin enerji aralığına göre zırh kalınlıkları belirlenir.

Bu çalışmada değişik enerji aralıklarında zırhlama işleminde gerekli olan normal beton ve barit agregalı betonlar için duvar kalınlıkları hesabı yapılmıştır. Barit agregalı betonun radyasyon tutuculuk özelliği yüksek ve kesit kalınlıkları küçük çıkmaktadır. Bu sayede daha az malzeme ve çimentoya ihtiyaç duyuluyor olması; baritli betonu zırhlama işleminde üstün kılmaktadır. Baritli beton kullanılması ile ince kesitli, sağlıklı, ekonomik ve bunun bir sonucu olarak da ekolojik yapıların inşa edilmesini olanaklı kılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik, radyasyon, barit, beton

Ecological Structures Sheltered From Radioactive Ray

ABSTRACT

Radiation is the excessive energy that is carried through the rapid particles or electromagnetic waves that natural or artificial radioactive cores release in order to pass through the determined state. Ionizer radiation might form charged particles (ion) on the substance it hits. Ionization might occur in any substance interacting with radiation as well as it might in the bodies of all living things, including humans.

In the world to fulfill the needs of medicine, scientific research, energy, agriculture and industry more than three thousand nuclear facilities have been used in addition to these radiation beams are used for the purpose of treatment and diagnosis in the medical centers. As far as it is impossible to avoid radioactive rays, protective measures should be taken to reduce the harmful effects of radiation. Radiation can shred or damage the cell depending upon the radiation exposure time, severity and exposed parts of body. To be protected from the harmful effects of radiation time, distance and armor rules must be observed.

Shielding process is placing appropriate barriers between the radiation source and person with the aim of reducing the radiation to an acceptable level. The higher the density of the materials used the more shield-effect increases. The factors of choosing the shield material are type of radiation source, energy level, bigger atomic number of material and containing hydrogen ion in the structure of material. Heavy concrete used as shield material which is produced from heavy aggregates including both hydrogen ion and higher density makes it inevitable to use as a shield material. On the design of the shield thickness, the properties of places that are to be armored are also important. The shield thickness of the shield materials is determined according to the energy range of the material.

Calculation of armor requires special expertise. In this study wall thickness calculation on different energy ranges has been made for the normal and barite aggregate concrete that is needed for armoring process. Both radiations holding properties of barite aggregate concrete are better and its wall thickness is smaller makes barite aggregate concrete superior on armoring process, thus it enables more healthy, economical and thin-section structures to be built.

Keywords: Ecological, radiation, barite, concrete

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde radyasyon ve radyoaktivite modern teknoloji çağının en temel unsurlarından biri olmuştur. Çeşitli radyasyon karakteristiklerinin tanımlanması ile bunların potansiyel faydalarının anlaşılmasının yanında, radyasyondan etkilenmesi halinde oluşabilecek potansi-

yel zararlar da ortaya konmuştur. Radyasyondan korunmak için radyasyon zırhlama analizi ve dizaynı üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır.

Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Günümüzde nükleer santrallerinin sayısının artması, savaşlarda nükleer silahların kullanım olasılıkları ve radyasyon yayan cihazların sayısındaki artış, ozon tabakasındaki yırtılmanın artması

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: seref@tef.sedu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.2, 93-99

da göz önüne alınarak, zararlı ışınlarından korunma önlemleri alınmalıdır. Radyasyon; etkisinde kalma süresine, şiddetine ve etkisinde kalan vücut bölgesine bağlı olarak, hücreyi parçalayabilir, zarar verebilir. Gelişen teknoloji ile radyasyon, tıp alanında teşhis ve tedavi amaçlı enerji üretimi gibi pek çok kullanım alanına sahip olmuştur. Radyasyondan vazgeçmek mümkün olmayacağına göre zararlı etkilerini azaltacak korunma önlemleri alınmalıdır. Radyasyondan korunmanın üç temel kuralı vardır. Bunlar; zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır. Zırhlama genel anlamda, radyasyonun meydana gelişini, kaynağından nasıl yayıldığını, malzemeyle nasıl etkiletiğini, geçtiği ortamda nasıl mikroskobik değişimler meydana getirdiğini ve bu değişimlerin ortamı nasıl etkilediğini inceleyen daldır.

1.1. Radyasyonun Çeşitleri (Types of Radiation)

1.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon (Ionizing Radiation)

İçine girdiği ortama iyonlara ayırıştırarak radyasyonlara denir. İyonlaştırıcı radyasyon ikiye ayrılır.

Elektromanyetik radyasyonlar ve Parçacıklı Radyasyon: Gama(γ) ve X ışınları elektromanyetik radyasyonlardır. Bunlar yüksek frekanslı görünen ışık ve radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgalardır. Bunların dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksektir. Bütün elektromanyetik dalgalar aynı hıza sahip olmakla beraber frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılı olan enerji seviyelerine göre bir spektruma sahiptirler. Alfa (α) Işınları, Beta (β) Işınları ve Serbest Nötronlar Parçacıklı Radyasyonlardır.

1.1.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon (Non-Ionizing radiation)

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar, Optik Radyasyonlar ve EMR Nitelikli Radyasyonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Ultraviyole ışınları Optik Radyasyon sınıfına girer. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, mobil ve cep telefonları, radyo FM ve TV vericileri, radarlar, trafolar, mikrodalga fırınlar, bilgisayarlar, akım taşıyan kablolar EMR Nitelikli Radyasyon grubuna girmektedir.

Radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar, farklı maddeleri delip geçme gücüne göre üç ayrı grupta sınıflandırılır. Bunlar; alfa, beta ve gama ışınlarıdır. İnsan sağlığı bakımından tehlikeli olabilecek çeşitli radyasyonlardan, X ve gama ışınları elektromanyetik radyasyon, alfa, beta ve nötronlar parçacıklı radyasyon grubuna girmektedir [1]. Bunlarla birlikte "iyonlaştırıcı" radyasyon olarak adlandırılan diğer bir radyasyon çeşidi bizim için çok önemlidir. Uzaydan, güneşten ve dünyada doğal olarak oluşan radyoaktif elementlerden, sürekli iyonlaştırıcı radyasyonun etkisinde kalırız. Endüstri ve tıp alanında kullanılan X- ışınları ile radyoaktif maddeler diğer iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarıdır. İyonlaştırıcı radyasyonlara, duman detektörleri, televizyon setleri gibi bazı tüketim maddeleri ile nükleer güç santrallerini de ekleyebiliriz. Bu ürünlerin çalışmalarını iyonlaştırıcı radyasyonlara bağlıdır fakat yapıları nedeni ile yayınlanan radyasyon doğal çevre radyasyondan çok küçüktür ve zor ölçülebilir [2].

1.2. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

(Methods of Radiation Protection)

İnsanların radyasyondan etkilenmesinin biyolojik zararları olduğu bilindiği için maruz kalınacak dozun sadece izin verilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır. Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın zaman, mesafe ve zırhlama gibi üç temel kuralı vardır. Günlük pratikte zaman ve mesafe faktörlerini tam anlamıyla uygulamak zor olabilir. Ancak zırhlamadan taviz verilmesi doğru değildir.

1.2.1. Zaman Kuralı (Time Rule)

Radyasyonla yapılan işlemlerde alınan doz; doz hızı ile zamanın çarpımıdır. Zaman ne kadar çok artarsa alınan dozda o kadar artar. Bu bağıntıdan radyasyon alanında ne kadar az süre kalırsa o kadar az doz alınacağı açıktır.

1.2.2. Mesafe Kuralı (Distance Rule)

Bir radyasyon alanının şiddeti kaynaktan olan uzaklık arttıkça azalır. R yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayımlayan bir nokta kaynak varsa; kürenin yüzeyindeki akı kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.

Bu kanun ters kare kanunu olarak bilinir. Kaynağın boyutlarının kaynakla söz konusu nokta arasındaki uzaklık ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olması yani kaynağın nokta kaynak olması halinde geçerlidir.

$$D_2 = D_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1)$$

Bir girici radyasyon yayan nokta kaynak varsa, radyasyon kaynağının şiddetinde mesafeye bağlı azalma, mesafenin karesiyle ters orantılıdır.

1.2.3. Zırhlama Kuralı (Shielding Rule)

Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu dozdan etkilenme olasılığı olan kişiler arasına kurşun, tuğla, beton, duvar gibi malzeme konulmasına zırhlama denilmektedir. Radyasyon dozunu azaltan malzemeye de zırhlama malzemesi denir. Zırhlama malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırhlama özelliği o kadar artar. Zırhlama, cihazın zırhlaması ve cihazın bulunduğu odanın zırhlaması olarak iki farklı şekilde yapılır [3].

1.2.4. Müsaade Edilen Maksimum Dozlar

(Maximum Permissible Doses)

Radyasyondan korunmanın sınırlarını belirlemek amacıyla 1931 yılında toplanan Amerikan ulusal radyasyondan korunma konseyince, bir kişinin yılda tüm vücudunun alabileceği maksimum müsaade edilebilir doz, 500mSv olarak belirlenmiştir. Bu rakam o dönemden günümüze çok sayıda değişiklikler geçirerek son olarak 50 mSv/yıl olarak değişmiştir. Mesleği nedeniyle radyasyon alan binlerce kişi araştırılmış ve oldukça az kişinin bu rakamın biraz üzerine çıktığı görülmüştür. Yıllık doz sınırları sağlığa zarar vermeyecek şekilde uluslararası standartlara uygun olarak, kurum tarafından

radasyon görevlileri ve toplum üyesi kişiler için ayrı ayrı belirlenmiştir. Yıllık toplam doz aynı yıl içindeki dış ışınlama ile iç ışınlamadan alınan dozların toplamıdır. Kişilerin, denetim altındaki kaynaklar ve uygulamalardan dolayı bu sınırların üzerinde radyasyon dozuna maruz kalmalarına izin verilemez ve bu sınırlara tıbbi ışınlamalar ve doğal radyasyon nedeniyle maruz kalınacak dozlar dahil edilemez.

Çizelge 1. İzin verilen maksimum radyasyon dozları

MÜSAADE EDİLEN MAKSİMUM RADYASYON DOZLARI			
		Görevli	Halk
Yıllık Etkin Doz		20 mSv	1 mSv
Yıllık Eşdeğer Doz	Göz	150 mSv	15 mSv
	Cilt	500 mSv	50 mSv
	Kol-bacak	500 mSv	50 mSv

İnsanların radyasyondan etkilenmesinin biyolojik zararları olduğu bilindiği için maruz kalınacak dozun sadece izin verilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır.

Çizelge 2. Zırh malzemelerinin Yarı ve Onda Bir Değer Kalınlıkları

	RADYOAKTİF KAYNAK			
	Co-60		Cs-137	
ZIRH MALZ.	YDK	ODK	YDK	ODK
KURŞUN (cm)	1.24	4.11	0.63	2.13
BETON (cm)	7.43	24.68	8.36	27.78
BARİTLİ B.(cm)	5.31	17.64	5.00	16.61

2. KULLANILAN MALZEMELER VE DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL MATERIALS AND METHODS)

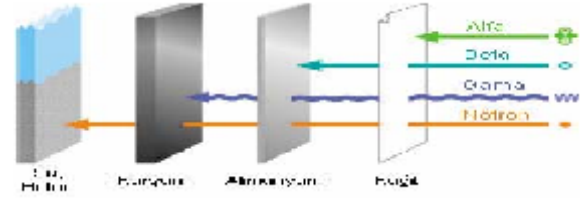
2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada radyasyon zırhlamasında kullanılacak radyasyon kaynağı olarak bir gama kaynağı olan Cobalt 60 ve Cs-137 seçilmiştir. Hesaplamalar 1 Mev ile 100 Mev enerji aralığında yapılmıştır. Zırh malzemesi olarak üç tipte malzeme seçilmiştir. Bunlar yüksek yoğunluklu barit agregalı ağır beton $3,2 \text{ gr/cm}^3$, normal beton ($2,35 \text{ gr/cm}^3$) ve kurşun ($11,34 \text{ gr/cm}^3$) dur.

2.1.2. Zırh Malzemesi Olarak Kullanılan Başlıca Yapı Malzemeleri ve Özellikleri (Used as shielding materials and properties)

Zırh tasarımında kullanılacak yapı malzemesi, zırhlanacak radyasyon türüne göre farklılık gösterir. Alfa ışınımı yapan bir kaynak kâğıtla ondan daha fazla giriciliği olan betalar hafif olan alüminyum ile zırhlamak yeterli olmaktadır. Gama ışınlarının giriciliği ise ışınım yapan kaynağın enerjisine bağlı olmak kaydı ile betalardan 100 kat, alfalardan 10000 kat daha fazladır. Bu kadar yüksek giriciliğe sahip radyasyonlar ise

ancak yüksek yoğunluğa ve yüksek atom numarasına sahip malzemeler ile zırhlanabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Radyasyon türlerinin malzemelere giricilikleri

Radyasyon zırhlaması alanında geniş bir kullanım alanına sahip olan malzemelerden atom numarası en yüksek olan malzeme kuşundur. Zırhlama malzemesinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırhlama özelliği de o oranda artar [4]. Düşük maliyette, kolay kullanıma ve iyi yapısal özelliklere sahip olan beton da mükemmel bir zırh malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak bunun için kurşunda olduğu gibi yüksek yoğunluğa sahip olmalıdır. Beton karışımlarında yüksek yoğunluklu agregalar kullanılarak bu amaç sağlanabilir. Yurdumuzda oldukça geniş rezervi bulunan barit agregası kullanılarak üretilen ağır betonlar zırhlama için gerekli olan yüksek yoğunluk özelliğini karşılamaktadır [5].

2.1.2.1. Ağır Betonlar (Heavyweight Concrete)

Birim ağırlığı $2,8 \text{ t/m}^3$ ' den büyük olan betonlara ağır beton denilmektedir. Ağır beton üretiminde yararlanılan özel agregalar genellikle barit, limonit, magnetit ve demir cevheri gibi doğal agregalar veya demir kırıntıları gibi sanayi atıkları olabilmektedir. Betonun birim ağırlığını artırmak için kullanılan agreganın birim ağırlığının büyük olması gerekir. Ağır betonlar ile geleneksel betonları birbirinden ayıran en önemli fark; ağır betonda kullanılan agregaların birim ağırlığının büyük olmasıdır. Ağır betonlar, yurt dışında birçok ülkede özellikle Kanser Araştırma Merkezlerinde zırhlama malzemesi olarak kullanılmakta olup bir sektör haline gelmiştir. Buralarda genellikle ağır agregalar madenin temin kolaylığına bağlı olarak; magnetit, ilmenit ve limonit kullanılmaktadır [5-7]. Radyasyon kalkını olarak kullanılan ağır betonun bileşiminde karma ve hidratasyon suyunda hafif elementler, agregasında ise ağır elementler bulunmaktadır. En çok kullanılan ağır agregalar barittir [8]. İnşaatlarda kullanılacak betonun aynı zamanda yönetmeliklerde belirtilen fiziksel ve mekanik standartlarda olması ve bu özelliklerine göre malzeme davranışı ve betonarme hesaplamaları için taşıma gücünün belirlenmesi gereklidir. Baritli ağır betonun gama ışınlarını yutma kapasitesi, barit agregası yüzdesine ve betonun birim ağırlığına göre değişir [9].

2.1.2.2. Barit Agregalı Betonların Özellikleri (Properties of Concrete Made with Barite Aggregate)

Barit agregalı ağır betonlara ait bilinen bazı özellikleri aşağıda verilmiştir. Barit agregalı ağır betonların radyasyona karşı koruyucu özellikleri geleneksel betona göre daha yüksektir. Betonun birim kütlesi ve

kalkan kalınlığı, radyasyona karşı geçirimsizlikle orantılıdır.

Barit agregalı betonların ısıl iletkenliği, birim kütle ve su içeriğine bağlı olarak değişmekle beraber, genellikle geleneksel betonlara göre yüksek olmaktadır. Betonların birim kütleleri arttıkça ısıl iletkenlikleri artmaktadır. Isıl iletkenliği yüksek olan malzemelerin yangına karşı dayanımları düşük olmaktadır. Barit agregalı ağır betonların ortalama rötresi geleneksel betonlardan daha azdır. Barit agregalı ağır betonların aşınma dayanımları geleneksel betonlardan daha büyüktür. Barit agregalı ağır betonların ortalama birim kütlelerinden % 50 civarında daha büyük olmaktadır. Barit agregalı ağır betonların donma-çözünme olayına karşı dayanıklılığı geleneksel betonlardan daha azdır. Doğal ağır agregalardan üretilerek yerine yerleştirilen Barit agregalı ağır betonların boşluk oranları genel olarak geleneksel betonların boşluk oranlarına eşit, yapay ağır agregalardan üretilenlerin ki ise geleneksel betonlardan daha büyük olmaktadır. Belli bir beton kıvamı için gerekli olan su oranı doğal ağır agregaların kullanılması halinde geleneksel betonlarda kullanılan su oranından önemli bir fark olmamaktadır. Eşit su/çimento oranı için barit agregalı betonların işlenebilirliği geleneksel betonlardan daha düşüktür [7].

2.2. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

2.2.1. Zırhlama Teorisi (Shielding Theory)

Bütün canlılar gerek doğal gerekse yapay olarak meydana gelen iyonizan karakterli radyasyonların kaçınılmaz ve sürekli olarak etkisindedir. Bu nedenle radyasyondan korunmak günlük hayatın gereklerinden olmuştur. Bu amaçla ilk belirlenmesi gereken kavram özel şekillerde tarif edilmiş bazı şartlar altında radyasyon ile çalışanların ve bunların dışındaki insanların maruz kalabilecekleri azami doz değerlerini gösteren maksimum izin verilen doz seviyesinin belirlenmesi gerekir. İyonlayıcı etkiye sahip olmayan radyasyonlar belirli bir yüke ve kütleyle sahip oldukları için etkileşime girdikleri maddeler tarafından yutulurlar. Yani bu radyasyonların zırhlanmaları belli bir özellik göstermez. Ancak iyonlayıcı etkiye sahip elektromanyetik radyasyonlar şiddetleri ölçüsünde belirlenen şartlar için zararlı etkilerini kabul edilebilir seviyelere indirmek için zırhlanmalıdır. Kullanılacak zırh malzemesinin secimi ve zırh kalınlığının belirlenmesi;

1- Malzemenin kimyasal bileşimi ve malzemenin radyasyon zayıflatma katsayısı,

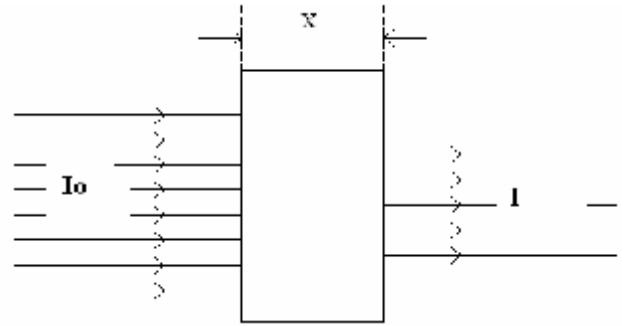
2-Radyasyon enerjisi ve türü faktörlerine bağlıdır.

Görüldüğü gibi zırh malzemesi ile karşılaşmadan önce yoğunluğu I_0 olan radyasyon şiddetinin X kalınlığındaki zırh malzemesinden geçtikten sonraki yoğunluğu I arasında

$$\Delta I = -\mu I \Delta X \quad (2)$$

bir ilişki vardır. Bu eşitliğin karşılıklı integrali alınır,

$$I_0 = I \cdot e^{-\mu X} \quad (3)$$



Şekil 2. Radyasyon şiddeti yoğunluğunun X kalınlığındaki madde içerisindeki zayıflaması

Bağıntısı elde edilir (Beer Yasası).

Eşitlik 3 de

I_0 = Radyasyonun başlangıçtaki şiddet yoğunluğu

I = Radyasyonun x kalınlığındaki şiddet yoğunluğu

x = zırh malzemesinin kalınlığı

μ = lineer radyasyon zayıflatma katsayısı

Lineer soğurma katsayısı (μ)

$$\mu = \tau + \sigma + K \quad (4)$$

τ =fotoelektrik soğurma katsayısını, σ

Compton soğurma katsayısını ve K çift oluşumu soğurma katsayısını göstermek üzere üç ayrı enerji kaybetme olayının soğurma katsayılarının toplamına eşittir. Lineer soğurma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümü ile kütle soğurma katsayısı (μ_m) elde edilir [9].

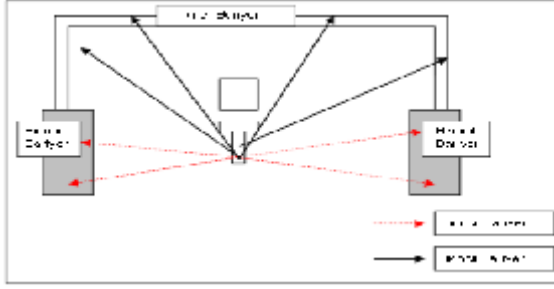
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

Bir zırh malzemesinin lineer zayıflatma veya kütleli zayıflatma katsayıları daha önce hazırlanan tablolar ile hesaplanır. Amerika Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST)'nin Berger ve Hubble hazırladığı XCOM adlı web bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program enerjisi 1keV'dan 100 GeV'ye kadar olan herhangi bir element veya malzemenin kütleli zayıflatma katsayılarını hesaplar [10].

2.2.2 Geleneksel Kalkan Dizaynı (Traditional Shielding Design)

Günümüzde Ulusal Radyoloji Konseyi raporuna göre kullanılan makinelerde 10 MeV (milyon elektron volt) veya daha yüksek enerji için kalkan dizaynı hesaplanır. Bu raporlar Mutscheller tarafından belirtilen basit empirik denklemlere dayanır.

Şekil3. (>15 MeV)'den yüksek enerji için planlanan tipik bir odayı gösterir. Radyasyon bariyerleri veya kalkanların iki çeşidi kabul edilir-birinci ve ikinci. Birinci bariyer ile sikrotlar tarafından üretilen x-ray ışınları tutulur ve ikinci bariyer tedavi odası ise ısı kaçımının yüzeyinden ve hastadan parçalanmış radyasyon



Şekil 3. Birincil Bariyer ve İkincil bariyer ışınları ve yapı elemanları

ışınları tutulur. Radyasyonun zararlı doz seviyelerini en aza indirmek için kullanılması gereken zırh malzemesinin seçimi ve buna bağlı olarak kalınlığının belirlenebilmesi için radyasyonun enerjisine, iş yüküne, kaynağın durumuna ve korunacak kişilerin radyasyon ile çalışan kişiler olup olmadığı gibi parametrelere dayanan transmisyon yüzdesi bulunmalıdır.

$$B = \frac{P.d^2}{W.U.T} \quad (6)$$

(Eşitlik 6) da verilen transmisyon denklemi radyasyon kaynağından çıkan ışınların yapı elemanının direkt üzerine düştüğü primer zırh hesabı için kullanılır. Sıçrama ve sızıntı radyasyon ışınlarının düştüğü ikincil zırh hesabı için ise;

$$B = \frac{1000.P.d^2}{W.U.T} \quad (7)$$

şeklinde kullanılması gerekir [11].

(Eşitlik 7' de;

P: Haftalık izin verilen maksimum doz miktarını ifade eder.(Sv/week). Daha öncede açıklandığı gibi izin verilen maksimum doz miktarı radyasyon ile çalışılan kontrollü alanlar için 0,02 Sv/week radyasyon alanı olmayan kontrolsüz alanlar için 0.001 Sv/week olarak uluslararası radyasyondan korunma komitesi tarafından belirlenmiştir.

d: Radyasyon kaynağının merkezinden zırhlana-cak yapı elemanına olan mesafedir.

W: Radyasyon kaynağının 1 m mesafedeki Gy / hafta biriminde çalışma yükünü göstermektedir. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesine göre enerjisi 10Mev'den düşük kaynaklar için 350 Gy / hafta 10Mev'den büyük kaynaklar için 250 gray/hafta olarak belirlenmiştir [11].

T: Meşguliyet faktörünü göstermektedir ve radyasyon kaynağının bulunduğu odaya koşu olan mekânların işgal edilme sürelerine göre belirlenen faktördür. Bu faktör 1, 1/4, 1/16 olmak üzere üç kademeye ayrılmıştır.

U: Radyasyon kaynağının çalışır halde olduğu süre içerisinde çıkan ışının yapı elemanları üzerinde oluşturduğu kullanım faktörüdür. Kullanım faktörü ikincil zırh hesabı için daima 1 olarak kabul edilir. Gelen radyasyon şiddetini yarıya indiren soğurucu madde-

nin kalınlığına Yarı Tabaka Kalınlığı (YTK), onda birine indiren kalınlığa onuncu tabaka kalınlık (OTK) denir [12].

Yarı Tabaka Kalınlığı

$$(YTK) = \frac{l_n 2}{\mu} \quad (8)$$

Onuncu Tabaka Kalınlığı

$$(OTK) = \frac{l_n 10}{\mu} \quad (9)$$

burada, $l_n 10$ ve $l_n 2$ sabit değerler olup, μ madde-nin lineer zayıflatma katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 3. Enerji değişimine göre OTK Değerleri

Enerji KeV	Normal B	Kurşun	Baritli Bet.
1	2.83E-04	3.90E-05	1.13E-04
5	6.99E-03	2.78E-04	3.51E-03
20	3.49E-01	2.35E-03	4.35E-02
50	2.87E+00	2.53E-02	1.08E-01
100	5.64E+00	3.66E-02	6.41E-01
500	1.10E+01	1.26E+00	7.73E+00
1000	1.51E+01	2.86E+00	1.18E+01
2000	2.15E+01	4.41E+00	1.67E+01
5000	3.37E+01	4.75E+00	2.22E+01
10000	4.30E+01	4.08E+00	2.29E+01
20000	4.83E+01	3.27E+00	2.09E+01
50000	4.64E+01	2.52E+00	1.76E+01
100000	4.45E+01	2.18E+00	1.44E+01

Canlılar için zararlı olan elektromanyetik radyasyonlardan X ve gama ışınlarının zararlı doz seviyelerini yönetmeliklerce belirlenen kabul edilebilir seviyelere getirmek için uygulanan zırhlama hesapları transmisyon yüzdesi ile kullanılan zırh malzemesinin X kalınlığına bağlı olan ve radyasyon şiddetini onda birine indiren onuncu tabaka kalınlık değerleri ile arasındaki

$$n = -\text{Log}(B) \quad (10)$$

şeklinde ifadesine bağlı olarak bulunacak n değerler ile çeşitli zırh malzemelerinin X kalınlıkları

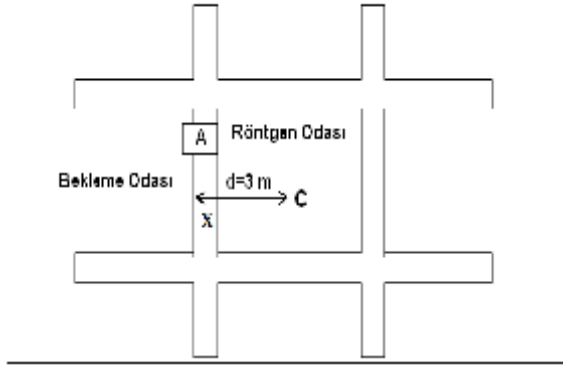
$$X = n.OTK \quad (11)$$

olarak bulunur.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH RESULTS)

Bu bölümde alınmış olan veriler doğrultusunda üç yapı malzemesine ait hesaplar yapılmıştır.

3.1.Zırh Hesabı (Shielding Calculation)



Şekil 4. Röntgen Odası Kesiti

Şekil 4.'de radyasyon kaynağı C noktasında bulunan bir röntgen odası görülmektedir. Bu odanın A ile sembolize edilen duvarının komşu olduğu mekân hastaların muayene sıralarını bekledikleri bir bekleme salonudur. Kaynak olarak enerji seviyesi 10 Mev olan bir lineer hızlandırıcı kullanılmaktadır.

Kaynak ile A duvarı arası 3 m olarak belirtilmiştir. Zırhlanan alan radyasyon ile radyasyon ile çalışmayanlar için olan bir alan olduğu için P değeri 0.001 olarak belirtilmiştir. Verilenlere göre istenilen A duvarı zırh kalınlığı beton, baritli beton ve kurşun kullanımına karşılık belirlenecektir.

Çizelge 4. Zırh Kalınlığı Hesap Kriterleri

Zırh Kalınlığı İçin Kullanılacak Parametreler	
p	Maksimum doz miktarı
μ	Radyasyon tutuculuk katsayısı
d	Radyasyon kaynağı ile yapı elemanı arasındaki mesafe
U	Kullanım faktörü
T	Meşguliyet faktörü
P	Yoğunluk
W	Çalışma yükü
TVL	Onuncu tabaka kalınlığı

Verilen değerler sonucunda zırhlaması istenilen A duvarı kalınlığı normal beton ile 165 m kalınlığında olmalıdır. A duvarı için tüm veriler aynı kalmak suretiyle zırh malzemesi seçimini kurşun ve barit agregalı ağır beton için yapıldığında zırhlama verileri ve zırh kalınlıkları değişimi Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Zırh Malzemelerinin Zırh Kalınlığı Değişimleri

Zırh Malzemesi	Normal Beton	Barit Agr. Beton	Kurşun
$\mu(\text{cm}^{-1})$	0.0493	0.1	0.564
$p(\text{gr}/\text{cm}^3)$	2.35	3.2	11.34
OKT (cm)	46.7	22.9	4.08
Kalınlık (cm)	165	81	14

4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

Zırhlama hesaplamaları, işgal edilen pozisyonda, radyasyon görevlileri için doz hızını müsaade edilen haftalık doz sınırına düşürmek için yapılır. Bunun için personelle radyasyon kaynağı arasında kurşun, beton, dolu tuğla veya başka maddelerden engeller yerleştirilir. Dolu tuğla, beton, kurşun gibi zırhlama malzemelerinin zırhlama hesaplamaları dar ve geniş demet durumu için iki şekilde yapılır. Geniş demet durumunda zırh kalınlığı uzmanlarca, iş yükü, meşguliyet faktörü ve kullanma faktörleri uygun yapı malzemeleri için (tuğla, beton, baritli beton, kurşun gibi) hazır tablo ve grafikler yardımıyla hesaplanır. İyonlanıcı radyasyon ışınlarının çevrelerinde bulunabilecek kişilere zarar vermemeleri için zırhlaması gerekir. Maruz kalınan radyasyon dozu kabul edilebilir seviyelerde tutulur ise canlılara hiç bir zarar gelmez görüşüne karşın emniyetli bir radyasyon dozunun olduğunu söylemek mümkün değildir [13]. Ancak canlıların yaşamları boyunca doğal radyasyon kaynaklarının sürekli etkisinde kaldıkları unutulmamalı ve kabul edilebilir doz seviyeleri göz ardı edilmemelidir. Zırhlama işlemi çeşitli parametrelerin bir araya gelmesi ile hesaplanan değerler sonucunda gerçekleştirilebilmektedir. Zırhlamada; kaynak özellikleri, kaynağın bulunduğu mekânın özellikleri kullanım özellikleri, kullanılacak zırh malzemelerinin özellikleri ve uygulanacak zırh tipi özellikleri büyük önem taşır. Kaynağın yayınladığı ışın tipi, enerjisi, kaynak özelliklerini, bu mekânlarda insanların bulunma sıklıkları ve bu kişilerin radyasyon ile olan ilişki dereceleri mekân özelliklerini, radyasyon ışın tipine göre hangi malzemenin kullanılacağı malzemelerin radyasyon ile etkileşiminin ifadesi olan radyasyon tutucuk özellikleri zırh malzemelerinin özelliklerini, kaynağın ışın doğrultusu ve yönüne göre birincil veya ikincil zırh tipi seçileceği ile ilgili özellikler ise zırh tipi özelliklerini belirler.

Bu parametrelerden birinin değişmesi ya da yanlış tespit edilmesi, radyasyon koruması için yapılan zırhlamanın yetersiz kalmasına sebep olur [14]. Bu çalışmada söz konusu parametrelerin ışığı altında ve ilgili literatür destekleri ile 0.001 Mev ile 10000 Mev enerji aralığında beton barit agregalı ağır beton ve kurşun malzemeleri için zırh kalınlığı hesaplanmıştır. Zırh malzemesi kalınlığının yoğunlukları sırası ile $11.35 \text{ gr}/\text{cm}^3$, $3.2 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ve $2.35 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olan kurşun, baritli ağır beton ve normal beton; yoğunluğa ters orantılı olarak azaldığı görülmüştür.

Uygun zırh malzemesi seçiminde, radyasyon kaynağının enerji seviyesi, yüksek yoğunluklu olması ve kimyasal bileşiminde hidrojen içermesi, ekonomik ve yapımı kolay olan malzemelerden oluşması gibi etkenler dikkate alınmalıdır. Barit agregalı ağır betonlar agregalarında bulunan barit ile yüksek yoğunluk, karma suyuunda bulunan su ile hidrojen içeriği ve yurdumuzda barit yataklarının mevcut olması yapımı kolay ve ekonomiklik ölçütlerini sağladığını gösterir. Ayrıca zırh olarak barit agregalı ağır beton kullanmak, zırh kalınlığını azaltacak zırh etkisini artıracaktır.

Barit agregalı ağır betonların kullanılması sayesinde, zırh duvarı olarak normal betona göre daha ince kesit gereksinim duyulacaktır. Böylece daha az malzeme ve çimentoya ihtiyaç duyuracak, doğal malzeme ve enerji kullanımı azalacak; ekolojik ve sağlıklı yapılar inşa edilmiş olacaktır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Johns, H.E., Cunningham, J.R., 1983. The Physics of Radiology, C. Thomas Publisher.
2. Lamarch John R., 1977. Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley Publishing Company.
3. Yülek, G., 1992. Radyasyon Fiziği ve Radyasyonda Korunma, SEK Yayınları No:14, 198s. Ankara.
4. Shapiro, J., 1972. Radiation Protection, Harward University Press. Cambridge.
5. Akyüz, S., 1977. Gamma Işınlarından Korunmada Barit Agregalı Ağır Beton, İTÜ Dergisi, Cilt 35, Yıl35, Sayı 5, Sayfa 59-69, İstanbul.
6. Akkurt, I., Basyiğit, C., Kılınçarslan, Ş., Mavi, B., The Shielding of γ -rays by Concretes Produced with Barite, Progress in Nuclear Energy, 46/1, 1-11, 2005
7. Kılınçarslan, Ş., 2004. "Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması" S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
8. Akman, M.S., 1987. Yapı Malzemeleri, 1. Baskı, İTÜ Matbaası, İstanbul.
9. Kılınçarslan, Ş., Basyiğit, C., Akkurt, I. 2007 "Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 2, 393-399, Ankara
10. Hubbell, J.H., 2000. X-Ray Cross-Sections And Crossroads, Radiation Physics and Chemistry, 59, 113-125
11. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design and evaluation for medical use of x-ray and gamma rays of energies up to 10 MeV. Washington, DC:NCRP, NCRP Report N0 49, 1976
12. Şarer, B., 2001 Nükleer Fizik Palme Yayıncılık , Ankara,
13. "Shielding Techniques Radiation Oncology Facilities" Patton H. McGinley
14. Kaçar, A. 2006 "Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi Isparta