



Cevdet Emin Ekinci

Fırat University, cee@firat.edu.tr, Elazığ-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.3.1A0437
ORCID ID	0000 0002 7114 4832
CORRESPONDING AUTHOR	Cevdet Emin Ekinci

SAVUNMA VE SIĞINMA YAPILARINDA KBRN TEHDİTLERİNE KARŞI BETONLARIN ZIRHLANMASI

ÖZ

Bu çalışmada savunma ve sığınma yapılarında kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) tehditlerine karşı betonların zırhlanması ele alınmıştır. Bu kapsamda; KBRN tehditleri, savunma ve sığınma yapılarına olan ihtiyaç, savunma ve sığınma yapılarının bazı teknik özellikleri, savunma ve sığınma yapılarında beton kullanımı, ağır betonun önemi, kullanılacak betonlarda aranılması gereken bazı teknik özellikler açıklanmıştır. Konu ile ilgili yapılan literatür incelemesi sonucunda en etkin beton zırhlamanın ağır agregalı, yüksek kompasiteli, tercihen bor mineral katkılı, S/Ç oranı düşük, soğuk derzsiz, en az 60cm çekirdek çaplı, en az 350kg/m³ çimento dozlu betonlarda sağlanabileceği anlaşılmıştır. Radyoaktivite düzeyi yüksek olan malzemeler beton üretiminde ve bina yapımında kullanılmamalıdır. Diğer taraftan son yıllarda canlı hayatını tehdit eden unsurlarda yaşanan çeşitliliğin artma ihtimali olması nedeniyle daha nitelikli savunma ve sığınma yapılarına ihtiyaç artmaya başlamıştır.

Anahtar Kelimeleri: Beton, Savunma Yapıları, Sığınma Yapıları, Nükleer ve Radyoaktif Tehlikeler, Betonun Zırhlanması

ARMORING OF CONCRETE AGAINST KBRN THREATS IN DEFENSE AND REFUGE BUILDINGS

ABSTRACT

In this study, the defense of the concrete against the chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) threats in the defense and refuge buildings was discussed. In this context, CBRN threats, the need for defense and refuge buildings, some technical features of defense and refuge buildings, the use of concrete in defense and refuge buildings, importance of heavy concrete, and some technical features to be sought in the concrete to be used are explained. As a result of the literature review, it was understood that the most effective concrete armoring could be provided with heavy aggregate, high density-capacity concrete, preferably boron mineral added, low S/C ratio, cold jointless, at least 60cm core diameter, at least 350kg/m³ cement dose concrete. Materials with high radioactivity level should not be used in concrete production and building construction. On the other hand, due to the possibility of increase in the diversity of life threatening elements in recent years, the need for more qualified defense and refuge structures has increased.

Keywords: Concrete, Defense Buildings, Refuge Building (Bunker), Nuclear and Radioactive Hazards, Armoring of Concrete

How to Cite:

Ekinci, C.E., (2019). Savunma ve Sığınma Yapılarında KBRN Tehditlerine Karşı Betonların Zırhlaması, **Engineering Sciences (NWSAENS)**, 14(3):119-153, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.3.1A0437.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tarih boyunca insanoğlu doğanın ve diğer insanların istenmeyen saldırılarına karşı kendini savunmak için büyük çaba göstermiştir. 20. yüzyılda cephenin çok gerisindeki bir askeri üs ve yapıları, şehir veya kamu tesisi tehditlere ve hasarlara karşı korunaklı kabul edilmekteydi. Günümüzde ise ön cephe söz konusu değildir ve savaş alanının ölümcüllüğü her kenti ve askeri tesisi tehdit etmektedir. Modern savaşta yanıltıcı-karmaşık uydu haberleşmesi, iyi organize edilmiş istihbarat ağı ve akıllı silahlar sayesinde tüm hedefler vurulabilmektedir. Bu tehlide karşı mühendisler insan hayatını ve yaşamsal tesisleri koruyabilmek için büyük çaba harcamaktadırlar. Modern savaş teknolojisine karşı koymanın en etkili yöntemi, canlıların ve önemli savunma tesislerinin korunması için sağlam yapı ve sığınaklar oluşturulmasıdır. Hiçbir biçimde tahrip edilemez bir sığınak yapılmasının mümkün değildir. Artık çok kalın beton perdeleri ve sığınakları delici delebilen silahlar geliştirilmiştir [1].

Genel bir ifadeyle, savunma yapıları; kale, kule, sur, burç, hendek, kışla, tabya, istihkamlar ile bunlarda bulunan sabit silahlar ve tophanelerdir. Tarihte, toplumlar bu savunma yapılarının inşasına çok önem vermişlerdir. Günümüzde savunma yapılarının tarihteki önem ve işlevini kaybettiği söylenebilir.

Sığınaklar ise kullanıcılara göre olanlar, özel ve genel amaçlı sığınaklardır. Kullanım amacına göre sığınaklar ise basınç ve serpinti sığınaklarıdır. Sığınaklar sivil halkın korunması için yapılan ve kendi içinde kapalı, hava sızdırmaz ve kilitlenebilir inşaat birimleridir.

Sığınma yapıları ise nükleer ve konvansiyonel silahlarla, biyolojik ve kimyevi harp maddelerinin tesirlerinden ve tabii afetlerden insanlarla, insanların yaşaması ve ülkenin harp gücünün devamı için zaruri canlı ve cansız kıymetleri korumak maksadıyla inşa edilen korunma yerleridir [1, 2 ve 3]. Bu yapıların inşasında genel ve özel olması bakımından farklı esaslar söz konusudur. Örneğin; kullanım amacına göre basınç ve serpinti şeklinde ortaya çıkabilecek nükleer, biyolojik, kimyasal, radyoaktif gibi tehlikeler için değişik işlev ve teknik özelliklere sahip yapıların inşası söz konusu olabilmektedir.

Basınç sığınakları özellikle nükleer silahların ani (ışık, ısı, basınç ve ilk radyasyon) ve kalıntı (radyoaktif serpinti) etkileriyle konvansiyonel silahların tesirlerine, kimyasal ve biyolojik harp maddelerine karşı korunmak amacıyla inşa edilen sığınaklardır. Serpinti sığınakları ise radyoaktif serpinti etkilerine karşı korunmak amacıyla inşa edilen sığınaklardır. Bu sığınaklar; kimyasal ve biyolojik harp maddelerine, nükleer silahların zayıflamış basınç ve ısı tesirlerine ve konvansiyonel silahların parça tesirlerine karşı da korunmayı sağlar. Serpinti sığınakları bina ve tesislerin en alt bodrum katlarında veya toprağa oturan katlarında yapılması uygun olacaktır. Ayrıca, savunma ve sığınma yapılarının önemli bir kısmı (kabuk) beton esaslıdır. Bu nedenle tehlikenin türü ve şekli ne olursa olsun betonun bazı teknik özelliklere sahip olması beklenilir [1].

Radyasyon, bir ortamdan geçen enerji transferi, elektromanyetik dalgaların yayınımlı veya radyoaktif parçacıkların yayımlandığı parçacık akımıdır [4]. Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada suda toprakta ve hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her an ışınımına maruz kalmaktadırlar [5]. Radyasyondan tamamen arındırılmış savunma ve sığınma amaçlı bir ortamda yaşamamız ve ondan tümüyle korunmamız şimdilik mümkün gözükmemektedir. Ancak, bazı önlemler alarak maruz kalabileceğimiz radyasyon miktarını en aza indirgenmesi mümkün görünmektedir. Radyasyon bir enerji olup, uzaydan, soluduğumuz havadan, yediğimiz

yiyeceklerden, evlerimizin yapı malzemelerinden radyasyona maruz kalırız. Bu nedenle, radyasyon yaşadığımız çevrenin bir parçasıdır ve zamanın başlangıcından itibaren vardır [6].

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Radyasyondan korunmanın üç temel unsuru zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır. Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu dozdan etkilenme olasılığı olan kişiler arasına kurşun, tuğla, beton, gibi malzemeden duvar konulmasına zırhlama ve kullanılan malzemeye de zırh malzemesi denir. Zırh malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırhlama etkinliği o kadar artar. Radyasyon kaynağı ile insan arasına zırhlama malzemesi konulmasıyla maruz kalınacak doz azaltılır. X ve gama ışınlarının zırhlaması, genel olarak zırh malzemesinin yoğunluğuna bağlıdır. Bu zırhları gerçekleştirmede ağır agregalı betonlar en elverişli malzeme olmaktadır [30].

Ağır betonlar; kayma ve devrilmeye karşı emniyette olmayan yapılarda ağırlığından dolayı kullanılmakla beraber, radyoaktif maddelerin yaydığı nükleer ışıklardan özellikle cisimlerin içine girebilen öldürücü nötron ve gama ışınlarına karşı korunmak için gerçekleştirilen yapılarda kullanılır. X ve gama ışınları madde içinde başlıca üç çeşit etkileşme ile enerji kaybederler. Bunlar;

- Atomun iç yörünge elektronları ile etkilenerek oluşan "Foto Elektrik Olayı",
- Atomun dış yörünge elektronları ile oluşan "Compton Olayı",
- Atomun çekirdeğine yakın bir yerde bir pozitron ve bir elektron meydana getirmesi ile oluşan "Çift Oluşumu Olayı"dır [7 ve 8].

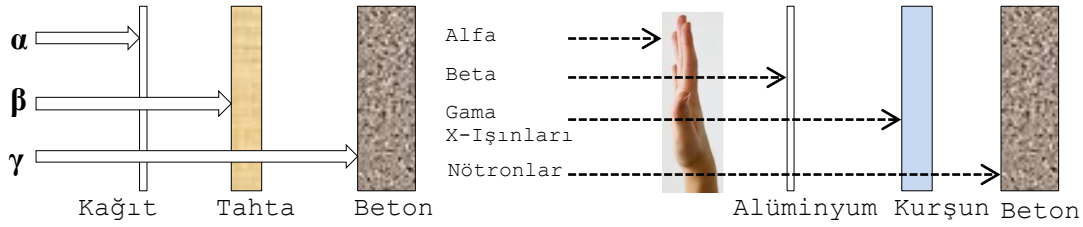
Radyasyonun şiddetini zayıflatmak için önüne konan veya onu çevreleyen malzemeye zırh denilmektedir. Radyasyon kaynağı ile kişi arasına engel konmasına da zırhlama denilmektedir. Zırhlama, alınan dozu en aza indirmeye yardımcı olur. Radyasyon tipine göre zırhlama gereksinimleri farklılık göstermektedir. Şekil 1'de görüleceği üzere, alfa kaynağını zırhlamada bir kağıt parçası yeterli olurken, beta kaynakları için alüminyum, gama ve x-ışınları için kurşun tabaka ve nötronlar için beton kullanılır [9].

Diğer taraftan, radyasyon olma ihtimali olan tüm mekanlarda kolimatörler ve uyarıcı sistemler kullanılmalıdır. Radyasyona maruz kalan hücre ölebilir veya zamanla doku tarafından onararak kurtulabilir. Eğer kurtulan hücre, kromozomlarındaki kırılmalar nedeniyle fiziksel ve kimyasal yapısı değişerek mutasyona uğrarsa, bunun sonucunda hücre normal işlevini yapamaz ve ileride kişinin kendisinde (somatik) veya gelecek nesillerde (genetik) zararlar meydana getirebilir. Kısa bir süre içinde ve bir defada yüksek dozlara maruz kalınması durumundan hemen sonra meydana gelecek hasarlara erken etkiler (akut ışınlanma etkileri), kanser, ömür kısalması ve genetik bozukluklar gibi sonradan çıkacak hasarlara da gecikmiş etkiler (kronik ışınlanma etkileri) denir [10 ve 91].

Radyasyon kaynağının enerjisi, kaynağın bulunduğu yer ve komşu mekânlar ile olan ilişkisi, meşguliyet biçimleri ve bu mekânlarda insanların bulunma sıklıkları ile bu kişilerin radyasyon ilişki dereceleri, zırh malzemesinin radyasyon soğurma katsayısı ve yoğunluğu, birincil veya ikincil zırh gibi parametreler zırh kalınlığı seçimini ve kullanılacak zırh malzemesi özelliklerini belirler. Bu parametrelerden birinin değişmesi ya da yanlış tespit edilmesi, radyasyon korunması için yapılan zırhlamanın yetersiz kalmasına sebep olur [11 ve 30].

Zırhlama işlemi çeşitli parametrelerin bir araya gelmesi ile hesaplanan değerler sonucunda gerçekleştirilebilmektedir. Zırhlamada; kaynak özellikleri, kaynağın bulunduğu mekanın özellikleri kullanım

özellikleri, kullanılacak zırh malzemelerinin özellikleri ve uygulanacak zırh tipi özellikleri büyük önem taşır. Kaynağın yayınladığı ışın tipi enerjisi kaynak özelliklerini, kaynağın bulunduğu yer ve komşu mekanlar ile olan ilişkisi, komşu mekanların işlevleri, bu mekanlarda insanların bulunma sıklıkları ve bu kişilerin radyasyon ile olan ilişki dereceleri mekan özelliklerini, radyasyon ışın tipine göre hangi malzemenin kullanılacağı malzemelerin radyasyon ile etkileşiminin ifadesi olan radyasyon tutuculuk 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 [11].



Şekil 1. Değişik radyasyon türüne göre zırhlama örnekleri [12]
(Figure 1. Examples of different types of radiation armoring [12])

Betonların Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer (KBRN) tehditlerine karşı betonların zırhlaması konusunda yapılan bazı çalışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir. Buna göre;

Yarar'ın yaptığı çalışmada (1994), kolemanit katkısı ile beton zırhın termal nötron zırhlama etkinliğinin arttığı, buna karşılık zırh içerisinde nötron yutulma reaksiyonları sonucunda yayımlanan ikincil gama ışınlarından kaynaklanan gama dozunun artmadığı gözlenmiştir. Zırh içerisinde toplam nötron dozunun düşmesi sonucunda, aynı değerde nötron dozunun normal betona kıyasla, daha ince bir zırh ile sağlanabileceği ve böylece zırh kütlelerinin azaltılabileceğini ileri sürmektedir. Bu inceleme sonucunda, kolemanit katkılı betonun ışınlamanın durdurulduğu anda sahip olduğu toplam aktivitesinin, aynı koşullarda ışınlanan normal portland betonu ile aynı düzeyde olduğu, radyoaktif envantere etkin olan radyo izotopların kısa yarı ömürlü olmaları nedeniyle aktivite kaybının çok hızlı bir şekilde gerçekleştiği, fakat bor reaksiyonları sonucu kolemanitli betonda H-3 aktivitesinin artması nedeniyle, bozunma sürecinde kolemanitli betonun normal portland betonuna kıyasla daha aktif olduğu bulunmuştur. Yarı ömrü 12.3 yıl olan H-3, ışınlamanın durdurulmasından sonraki 100 yıllık süreçte, yaklaşık 10 yarı ömür sonra, tamamen bozunuma uğramaktadır. Bu süreçten sonra kolemanitli beton, normal beton ile aynı düzeyde bir aktiviteye sahip olmakta ve kolemanit katkısından kaynaklanan en önemli aktivite problemi ortadan kalkmış olmaktadır [13].

Onur'un yaptığı deneysel çalışmada (2002), beş farklı beton tipinin zırhlama durumu incelenmiştir. Zırh betonu olabileceği düşünülen demir cevheri tozu katlı maddeli beton, ince iri taneli olmak üzere iki farklı şekilde hazırlanmıştır. Gama radyasyon kaynağının çok çeşitli olması nedeniyle, çalışmada "Cs-137 Tek Enerjili", "Co-60 Çift Enerjili" ve "Ir-192 Çok Enerjili" gama kaynağı uygulanmıştır. Çalışılan beton tipleri içinde zırhlama özelliğinin en yüksek baritli betonda olduğu daha sonra sırasıyla, iri taneli demir cevheri tozlu beton, demir cevheri tozlu beton, yüksek yoğunluklu

normal beton ve düşük yoğunluklu normal betonun olduğu gözlemlenmiştir [14].

Kan ve diğerleri (2004), demir cevheri ve çelik bilyeler ile ürettikleri ağır betonlarda, ağır agrega oranının artmasıyla beton basınç ve eğilme dayanımlarının pek fark etmediğini, ancak elastiklik modülünün arttığını gözlemişlerdir. Radyasyona karşı en iyi korumanın kırılma tokluğu en fazla, dolayısıyla çatlama riski en az olan %40 oranında metal agrega içeren karışımlarda sağlanabileceğini ileri sürmektedirler [15 ve 25].

Sakr ve El-Hakim (2005), çakıl, barit ve ilmenit agregaları ile yapılmış betonların radyasyon ve yüksek sıcaklık (25-550°C) etkisi altında fiziksel ve mekanik özellikleri ile γ -ışını absorbe etme katsayısını incelemişler ve ilmenit agregası ile üretilen betonların birim ağırlıklarının, basınç, çekme ve eğilme dayanımları ile elastiklik modüllerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğunu ve ayrıca ilmenit agregalı betonların γ -ışınlarını absorbe etme katsayısının yüksek sıcaklıklardan barit agregalı betonlara göre daha az etkilendiğini gözlemişlerdir [16 ve 25].

Kılıçarslan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (2007), barit oranının artışı ile tüm beton serilerinde betonların yoğunluğu ve radyasyon geçirgenlik değeri arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Barit oranının artması, lineer soğurma katsayısı değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Tüm serideki betonlarda, barit boyutu farklılığının betonlardaki basınç dayanımı değerlerini değiştirmedeği ve basınç dayanımı değerleri üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Lineer soğurma katsayısını belirlemek için yapılan deneysel ve teorik hesaplamalar da barit oranına bağlı radyasyon geçirgenliği katsayısı artmaktadır [8].

Kılıçarslan'ın bir başka çalışmasında (2008), yüzdesel olarak farklı miktarlarda barit ve normal agrega kullanılarak, S/Ç oranı ve barit yüzdesi değişken olan beton serileri üretilmiştir. Üretilen betonlarda radyasyon zayıflatma katsayısı deneysel olarak elde edilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak bulanık mantık metodu ile bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model ile deney sonuçları yüksek oranda tahmin edilebilmiş ve deney yapılamayan beton serilerinin radyasyon tutuculuğunun da kestirilebileceği belirlenmiştir [17].

Turhan, Yücel ve Arıkan'ın çalışmalarında (2009), inşaat sektöründe kullanılan uçucu kül (UK) katkılı çimento ve beton örneklerindeki 226Ra, 232Th ve 40K radyonu kitinin spesifik aktiviteleri, HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Türkiye'deki kömür yakıtlı termik santrallerden atık olarak elde edilen uçucu küllerin (UK) geoteknik uygulamalarda, UK katkılı çimento ve beton örneklerinin ise inşaat sektöründe kullanılabilirliğini radyolojik açıdan değerlendirmek amacıyla, her bir örnek için eşdeğer ($R_a(eq)$) aktivite derişimi, aktivite derişim indisi (I_γ), alfa indisi (I_α), iç ve dış ortamdaki dış ışınlamanın sebep olduğu gama doz hızları ($D(io)$, $D(do)$) ve etkin doz hızı ($H(io)$, $H(do)$) hesaplanmış ilgili sınır veya ölçüt değer ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, hesaplanan R_{aeq} , I_γ (%30 Kangal UK katkılı beton örneklerine ilişkin ortalama değer hariç), I_α (%30-%35 UK katkılı çimento örneklerine ilişkin ortalama değer hariç) ve yapı içi etkin doz hızı (%30-%35 UK katkılı çimento örneklerine ve %30 Kangal UK katkılı beton örneklerine ilişkin ortalama değerler hariç) ortalama değerlerin, yapı malzemelerinin güvenli kullanımı için tavsiye edilen ölçüt veya sınır değerlerden küçük veya yakın olduğunu göstermiştir [18].

Kıpçak'ın tarafından yapılan termal analizlerinde (2009), boraks'ın yapısının 100°C'den önce yapısal suyunu kaybettiği, inyoit,

inderit ve kurnakovit'in yapılarının 150°C'den önce yapısal suyunu kaybettiği ve breşli kolemanit'in yapısının 350°C'den önce yapısal suyunu kaybettiği ileri sürülmektedir. Hidrojen elementi nötron radyasyonunun tutulmasında önemli rol oynadığı için yapısal suyu fazla olan bor bileşikleri daha fazla nötron tutacaktır. Bu sebeple eğer boraks kullanılmak istenirse yüksek sıcaklıklarda kullanılması verimli olamayacaktır. Aynı şekilde zırh malzemesi tasarımında yapısal su kaybetme sıcaklıklarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Deneysel bulgulardan yola çıkarak kurnakovit'in diğer bor minerallerine göre yüksek nötron tutma kapasitesine sahip olduğunu söylemek mümkündür. Boroksit miktarlarına bakıldığında diğer bor minerallerinden daha az miktarda bulunsa da yapısında bulunan hidrojen atomlarının fazlalığı daha fazla nötron tutmasına olanak sağlamaktadır. İnderit'in kurnakovit ile benzer yapıda olduğu hatta aynı sayıda aynı elementleri içerdiği göz önüne alınırsa, inderit'in kurnakovit gibi yüksek nötron tutma özelliğinin olması gerektiği düşünülebilir. Ama deneysel bulgulara bakılırsa inderit'in, kurnakovit gibi yüksek nötron tutma oranına sahip olmadığı görülmektedir. Her ne kadar kapalı formülleri birbirinin aynısı olsa da, bağlanmalarının farklı olmasından kaynaklanan bu fark kurnakovit'i, inyonit'e göre daha kullanılabilir kılmaktadır [19].

Yıldız, Bölükbaş ve Keleştemur'un çalışmalarında (2010), beton dayanım sınıfı C30 olarak belirlenmiş, farklı oranlardaki cam elyaf katkısının betonun basınç ve çekme dayanımı üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla, C30 beton sınıfında, sabit su/çimento oranına sahip 300 ve 350 dozlu beton numuneler hazırlanarak bu numunelerin ultrases geçiş hızı, basınç ve yarmada çekme dayanımları incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde özellikle 5 ve 10kg/m³ cam lif katkısının beton basınç dayanımına olumlu etkisi gözlenmiştir. Ayrıca, cam lif oranındaki artışa bağlı olarak betonların çekme dayanımlarında artış meydana gelirken, ultrases geçiş hızlarında da düşüşler meydana gelmiştir [20].

Bayasi ve Soroushian, (1994) ile Kützing ve König (1999) tarafından yapılan araştırmalar beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığını göstermiştir [21 ve 22].

Suaris ve Shah (1982), tarafında yapılan araştırma ile çelik lifli numunelerin lifsiz numunelere nazaran 20-100 kat daha fazla darbe dayanımı gösterdiği; lif ile matris arasındaki şekil değiştirme derecesinden hemen hemen bağımsız olduğu gözlenmiştir [23].

Akyıldırım ve Akkurt'un yaptığı çalışmada (2011), farklı agregalardan üretilmiş dört tip ağır betonun gama radyasyonu zırhlama özellikleri incelenmiştir. Çalışmada tek tip hafif betonun ($\Delta=2.476\text{g/cm}^3$) olivin kullanılarak üretilmiş tek tip ağır betonun ($\Delta=2.72\text{g/cm}^3$) ve farklı oranlarda barit kullanılarak üretilmiş iki tip ağır betonun ($\Delta=2.994$ ve $\Delta=3.463\text{g/cm}^3$) gama radyasyonu zayıflatma özellikleri araştırılmış, sonuçlar standart zırh malzemesi olan kurşun için elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca barit oranının betonların radyasyon zayıflatma özellikleri üzerine etkisi de incelenmiştir. Deneylerde 0.662 MeV, 1.173 MeV ve 1.332MeV enerjili gama ışınlarının ölçümü NaI(Tl) sintilasyon detektörüyle yapılmıştır. Zayıflatma katsayılarının kuramsal hesapları ise 10-3-105MeV aralığında XCOM kodu ile gerçekleştirilmiştir [24].

Özturan çalışmasında (2013), ağır betonları doğal veya yapay agregalar kullanılarak üretilen ve etüv kurusu birim ağırlığı 2600 kg/m³'den büyük olan betonlar olarak tanımlanmaktadır. Önceleri bazı özel yapıların kayma veya devrilmeye karşı güvenliğini sağlamak amaçlı kullanılan ağır betonlar günümüzde nükleer enerji santrallerinde, tıp

birimlerinde ve nükleer araştırma ve deney laboratuvarlarında radyasyona karşı koruyucu olarak kullanılmaktadırlar [25].

Çetin'in kurşunlu malzemelere alternatif olarak üretilen kurşunsuz malzemelerin radyasyon soğurma kapasitelerinin değerlendirilmesi amaçlı çalışmasında (2011), kurşuna alternatif olabilecek elementler; toksik özellikleri, atom numaraları, yoğunlukları, K tabakası eşik enerjileri ve kolay temin edilebilir olmaları gibi özellikler dikkate alınarak kalay, antimon, bizmut ve tungsten olarak seçilmiştir. Seçilen elementlerden oluşan karışım, polimer malzeme ile %50, %70, %80 ve %85 oranlarında karıştırılarak dört örnek üretilmiştir. Bu örneklerin dijital radyografi cihazları ile birincil x-ışını altında ve saçılan radyasyona karşı soğurma yetenekleri ölçülmüştür. Aynı zamanda, hazırlanan örneklerle kıyaslanmak amacıyla 0.25 ve 0.50 mmPb kurşunsuz iki önlük için de ölçümler tekrarlanmıştır. Ölçüm verileri değerlendirildiğinde, her örneğin 50-125 kV arasında % soğurma etkisi belirlenmiş ve soğurma yetenekleri kurşunsuz önlüklerle kıyaslanmıştır. Bununla birlikte, örneklerin kurşun eşdeğeri kalınlıkları da hesaplanmıştır. Birinci örneğin radyasyon soğurma yeteneği, referans olarak alınan iki önlüğe göre çok düşük seviyede kalmıştır. Diğer tüm örneklerin radyasyon soğurma yetenekleri ise 0.25 mmPb önlükten daha iyidir. Ancak hiçbir örnek 0.50 mmPb önlüğün performansına erişememiştir [26].

Akkurt ve arkadaşlarının ağır agregaların radyasyon zırhlama özellikleri konusunda yaptıkları çalışmada (2011), ağır agrega çeşidi olan ve sık kullanılan barit tercih edilmiş olup farklı oranlarda barit katkılı olarak zenginleştirilmiş beton numunelerinden elde edilen radyasyon zayıflatma katsayıları bulunmuştur. Beton içerisinde bulunan baritin bulunma oranı arttıkça betonun radyasyon soğurma özelliğinin de arttığı gözlemlenmiştir [27].

Kılıçarslan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (2011), barit agregası kullanılarak elde edilen ağır betonlarda etriye kullanılmaması durumunda eğilme dayanımlarının çok düşük olduğu, etriye oranı arttıkça eğilme dayanımı değerlerinin de arttığı ve ağır beton ile donatı arasında bir aderansın oluştuğu ve barit agregalı betonların betonarme yapılarda kullanılabileceğini gösterilmiştir [28].

Başığit ve arkadaşlarının bir çalışmasında (2011), 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 çıktığı ve bu sayede daha az malzeme ve çimentoya ihtiyaç duyuluyor olması; baritli betonu zırhlama işleminde üstün kılmıştır. Baritli beton kullanılması ile ince kesitli, sağlıklı, ekonomik ve bunun bir sonucu olarak da ekolojik yapıların inşaedilmesini olanaklı kılabileceği ileri sürülmektedir [29].

Başığit ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada (2012), normal betonlar için belirlenen onuncu tabaka kalınlıkları kullanılarak farklı radyasyon değerlerinde betonların radyasyon soğurması için gerekli olan kalınlıklar Yapay Sinir Ağları (YSA) ve çoklu regresyon metotları ile tahmin edilmiştir. Programa girdi parametresi olarak radyasyon enerji değerleri, Onuncu Tabaka Kalınlıkları (OTK) ile transmisyon yüzde değerlerinin negatif logaritmasını ifade eden (n) değerleri ve beton zırh kalınlık değerleri ise çıktı parametresi olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda, geliştirilen modeller ile elde edilen çıktı değerlerinin veriler ile uyumlu olduğu ve radyasyona zırhlama hesaplarında alternatif bir çözüm yolu olarak kullanılabileceği görülmüştür [30].

Binici ve arkadaşları (2013) barit, uçucu kül ve kurşun kullanılarak üretilen kompozitlerin 20.7, 26 ve 60 keV enerji

aralığında zırhlama özelliklerini araştırılmışlardır. Çalışmanın sonucunda radyasyona maruz mekanların korunmasında kurşun levhayla birlikte barit agregalarından yapılmış kompozelerin kullanılması önerilmiştir [31].

Yaltay'ın yapmış olduğu deneysel çalışma sonuçlarına göre (2015), kolemanit katkısı hafif betonun radyasyon zırhlama özelliğinde iyileştirme yapmış, ancak kolemanit oranı (%0.4-2) ile lineer ve kütle soğurma katsayıları arasında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmüştür. Özellikle uzun süreli (360 gün) kütleme yaşının lineer ve kütle soğurma katsayılarını yükseltmiş ve ortalama serbest yol değerlerini düşürmüş, kür yaşı ile söz konusu parametreler arasında güçlü doğrusal bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur [32].

Darıyer ve Küçer (2015), yaptıkları hesaplamalar sonucu 1000 MeV enerjili proton hızlandırıcısı için elde edilen doz dağılımları ve zırh kalınlıklarına göre demirin, toprak ve betona göre daha iyi bir zırh maddesi olduğu görülmüştür. Demir, özellikle yüksek enerjili proton hızlandırıcılarında kalınlık sınırlaması olan konumlar için iyi bir zırh maddesi olabileceği ileri sürülmüştür [33].

Aygün'ün reaktörün bulunduğu ortama yayacağı radyasyonun önlenmesi için performansı faal durumda bulunan reaktörlerde kullanılan malzemelerden daha yüksek radyasyon tutucu ve daha kullanışlı yeni zırh malzemelerinin üretimi ve dizaynı amaçlı çalışmada (2015), kullanılan katkı malzemelerinin bir kısmı Renyum (Re), Lityum (Li), Bor (B), Tantal (Ta), Krom (Cr), Nikel (Ni), Demir (Fe), Bor Karbür (B₄C), Tungsten (W), Bakır (Cu) ve Alüminyum (Al) için yapılan deneme simülasyonları sonucu iyi birer nötron zırh oldukları belirlenmiştir. Ayrıca yeni numunelerin performanslarının bir göstergesi olarak, malzemeler ile nötronların etkileşmesi sonucu oluşacak ikincil radyasyonlar da tespit edilmiştir. Üretilen yüksek performanslı yeni zırh malzemelerinin reaktörlerde kullanılabilirliği göz önüne alınarak ısı iletimlerine ait bir değerlendirme daha yapılmıştır. Buna ek olarak üretilen numunelerin korozyona dayanımları ve ayrıca mekanik dayanımları açısından bir takım testler gerçekleştirilmiştir. Üretilen ürünler sadece reaktörlerde değil nükleer tıpta tedavi odalarında, nükleer atıkların depolanmasında, nükleer araştırma laboratuvarlarında, kozmik radyasyona karşı uzay araçlarında ve sığınaklarda da güvenle kullanılabilir niteliklere sahip oldukları belirtilmektedir [34].

Ünal ve arkadaşları (2016), barit agregalı ağır betonların soğurma özellikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yapılan çalışmada karışıma katılan taş unu miktarı azalırken soğurma miktarları düşmüştür. Diğer taraftan her iki seride basınç dayanımların arttığı görülmüştür. Karışımdaki taş unu oranı %30'dan %20'ye azalması halinde S/Ç oranı 0.46 serisinde birim ağırlık değerlerinde %0.6'lık basınç dayanımında ise %15 oranında artış sağlanmıştır. Dayanımdaki artış eğilimi her iki seride soğurma katsayılarında da görülmüştür. Bu açıdan barit agregalı ağır betonların dayanım ve soğurma özelliklerinin olumlu olması nükleer santral yapılmasında ve hastanelerdeki radyoaktif geçirimsizlik gereken yerlerde ağır beton kullanımına öncelik verilmesi sağlık açısından da yararlı olacağı ileri sürülmektedir [35].

Kılıçoğlu, Tekin ve Singh çalışmalarında (2019), nükleer teknoloji, radyasyondan korunma ve medikal tıp alanında potansiyel kullanıma sahip betonların kütle azaltma katsayılarını, μ/ρ , farklı foton enerjilerinde MCNPX (versiyon 2.6.0) Monte Carlo kodu kullanılarak hesaplanmaktadır. Foton enerjisini değiştirerek betonların kütle azaltma katsayıları için kayda değer farklılıklar kaydedilmiştir. MCNPX sonuçları mevcut deneysel araştırmalar ve teorik XCOM sonuçları ile karşılaştırılmış ve iyi bir uyum gözlenmiştir [36].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada savunma ve sığınma yapılarında kullanılacak betonların zırhlanması konusu ele alınmıştır. Çalışmada bir betimleme çalışması olup; ele alınan konunun çok geniş olması nedeniyle öncelikle bir derleme çalışmasının yapılması ve bu derlemenin de tümevarım yöntemiyle hedefe ulaşılması düşünülmüştür. Böylece, çalışmada ele alınan konu ve içerik bu konuda yapılacak yeni çalışmalara ışık tutması ve ilgili taraflara nicel veri ve bilgiler sunması amaçlanmıştır [37].

Çalışmanın araştırma sorusu "Savunma ve sığınma yapılarında kullanılan betonlar zırhlanabilir mi?"dir. Çalışmanın hipotezleri ise şunlardır;

- H1: Savunma ve sığınma yapıları kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer tehditlere karşı zırhlanarak canlı hayatı korunabilir.
- H2: Günümüzde zırhlanmış yapılara olan önem giderek artmaktadır.
- H3: Betonların zırhlanma teknikleriyle ilgili fazla çalışma bulunmamaktadır.

Yukarıda verilen hipotezler bu çalışma ile önemli ölçüde karşılanmıştır. KBRN olaylar, tarihsel süreçte çevre, iklim, insan yaşamı, toplumsal düzen üzerinde önemli etkiler doğurmuştur. Günümüzde ise teknolojik gelişmeler, hızlı sanayileşme, silahlanmada artış, silahlara terörist gruplar gibi devlet dışı aktörlerin erişmesi, uluslararası alanda giderek artan gerginlikler ve siyasi gerilimlere bağlı olarak KBRN maddelerin kazaen veya kasten çevreye yayılma olasılığı artmaktadır. KBRN tehdit ve tehlikelerin niteliği ve boyutu göz önünde bulundurulduğunda idareye bu tehdit ve tehlikelerinin önlenmesi ve oluşabilecek zararların azaltılması konusunda önemli rol düştüğü açıktır. Bu doğrultuda gerçekleşen KBRN tehdit ve tehlikelere bağlı olarak meydana gelen zararlar bakımından idarenin mali sorumluluğu idare hukuku bağlamında incelenmesi gereken önemli bir sorun alanıdır [39].

Bu bağlamda Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer tehdit ve tehlikeler KBRN maddelerinden elde edilen silahların kasten terör ve sabotaj eylemlerinde kullanılması veya KBRN maddelerin sanayii ve sağlık alanlarında veya laboratuvarlarda ve bilimsel araştırmalarda kullanımı sırasında kaza ile çevreye dağılması ile oluşmaktadır.

AFAD, bu tehdit ve tehlikelere bağlı olarak ortaya çıkan KBRN olayları "kimyasal, biyolojik, radyoaktif ve nükleer maddelerin kasten veya kazaen yayılmasıyla oluşan, insan ve çevre için zararlı ve tehlikeli durumlara yol açan olay" olarak tanımlanmaktadır [38]. KBRN olaylar nedeniyle toplumun tamamı veya belirli bir kesimi bakımından fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıpların ortaya çıkması, yaşamın olağan akışının ve insan etkinliklerinin aksaması veya kesintiye uğraması ve olayın etkilediği alandaki insanların kendi kapasiteleri ile meydana gelen olumsuz durumun üstesinden gelememesi halinde KBRN afetler oluşmaktadır [38 ve 39].

3. SAVUNMA VE SİĞİNMA YAPILARI BEKLEYEN TEHDİTLER VE TEMEL ÖZELLİKLERİ (THREATS AWAITING DEFENSE AND REFUGE STRUCTURES AND BASIC FEATURES)

Savunma ve sığınma yapıları bekleyen tehditler, bu yapıların inşa edilme gerekçesini de ortaya koymaktadır. Bu tür yapıları tehdit eden tehlikeler kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer kaynaklıdır. Tüm bu tehditler günümüzde çok farklı şekil ve türlerde (dolaylı ve dolaysız) ortaya çıkabilmektedirler.

3.1. Kimyasal Tehditler (Chemical Threats)

Kimyasal tehditler üç ana başlık altında toplanabilir:

- Kimyasal savaş ajanlarının savaş veya terörist saldırı amaçlı kullanılması ile oluşan tehditler.
- Toksik endüstriyel kimyasal maddelerin kaza sonucu çevreye yayılması ile oluşan tehditler.
- Evde kullanılan tehlikeli kimyasal maddelerin oluşturduğu tehditler [40].

3.1.1. Kimyasal Savaş Ajanları (Chemical Warfare Agents)

Kimyasal ajanlar; insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerine doğrudan toksik etkileri nedeniyle kullanılan, öldürmek, yaralamak, insanları etkisiz hale getirmek, bitkisel ve hayvansal besin kaynaklarını, besin stoklarını kirletmek ve yok etmek, ekonomik önemi olan hedefleri işlemez hale getirmek, kaosa ve paniğe neden olmak amacıyla kullanılan her türlü katı, sıvı ve gaz halindeki zehirli kimyasal maddelerdir. Kimyasal ajanların bazıları kokusuz veya tatsız olabilir, bu nedenle fark edilmeleri oldukça zordur [41].

Kimyasal ajanlar, insan vücuduna solunum ya da deri yolu ile nüfus ettikten sonra, başta merkezi sinir sistemi olmak üzere değişik organları hedef alarak, organın işlevini bozar. Gösterdikleri fizyolojik etki ile kısa sürede ölüme neden olmak ya da geçici süre kişiyi etkisiz hale getirmek için genellikle gaz veya aerosol formda kullanılır. Solunum yolu ile daha hızlı ve büyük etki gösterdikleri için terör saldırılarında kapalı ortamlarda kullanılır [42].

3.1.2. Toksik Endüstriyel Kimyasal Maddeler (Toxic Industrial Chemical Substances)

Toksik endüstriyel maddelerin kaynağı başta üretim tesisleri olmak üzere, hastaneler, atık tesisleri, laboratuvarlar vb. olabilir. Toksik endüstriyel maddeler ölüme, ciddi yaralanmalara, uzun dönemli sağlık sorunlarına neden olabilmekte, binalara, evlere ve eşyalara önemli ölçüde zarar verebilmektedir. Toksik endüstriyel kimyasallar; üretim, depolama, taşıma veya imha aşamalarında tehdit oluşturabilmektedir [12].

3.1.3. Evde Kullanılan Tehlikeli Kimyasal Maddeler (Hazardous Chemical Materials Used At Home)

Evde kullanılan tehlikeli kimyasal maddeler arasında şunlar gösterilebilir. Oda spreyleri, yüzey temizleyicileri, çamaşır deterjanları ve yumuşatıcılar, çamaşır suyu, bulaşık deterjanları, fırın temizleyicileri, antibakteriyel temizleyiciler, cam temizleyiciler, tuvalet temizleyiciler, küf gidericiler, lavabo açıcılar, pas ve kireç sökücüler, kilim ve hali temizleyiciler, mobilya cilaları, oda kokuları, güve ve böcek ilaçları, yapıştırıcılar, naftalin, motor yağlarıdır [43, 44, 45 ve 46].

3.1.4. Kimyasal Tehditlere Neden Olan Ajanlar (Agents Causing Chemical Threats)

Erkekoğlu ve Koçer-Gümüsel'e göre (2018), "kimyasal savaş ajanları (chemical warfare agents, CWA)"nın kitle imha silahı olarak ilk kullanımları Birinci Dünya Savaşı'nda başlamıştır. Bununla beraber, toksik kimyasal maddelerin savaş ve saldırı amacıyla kullanımı yazılı tarihin ilk dönemlerinden başlamıştır. Yeni birçok kimyasal maddenin ve özellikle de farklı organofosfatlı bileşiklerin sentezlenmesiyle kimyasal silah kullanım tehditi 20. yüzyılın son yarısına önemli boyutlara ulaşmış ve toplu öldürme ve terörizm olaylarında kullanımları gündeme gelmiştir. Dolayısıyla içinde

bulduğumuz şu günlerde ve hatta daha genel olarak 21. yüzyılda, kimyasal silahların konvansiyonel silahların hemen yanında yer alarak en olası savaş ve saldırı yöntemleri haline geldikleri gerçeğini kabul etmek gerekmektedir. Bugün kimyasal ve biyolojik silahlara mevcut en iyi savunma yönteminin 'korunma' olduğu kabul edilmektedir. Hazırlıklı olmanın iki bileşeni vardır: bilgi ve donanım. Bilgi eğitimle sağlanır. Donanımın bileşenleri ise personel, araç ve gereç donanımı ile organizasyon ve koordinasyondur [45].

Tablo 1. Kimyasal savaş ajanları [42, 46, 47 ve 48]
(Table 1. Chemical warfare agents [42, 46, 47 ve 48])

Açıklama	Örnek
Sinir Ajanları	Tabun (GA), Sarin (GB), Soman (GD), Venom Benzeri Ajan X(VX), Siklosarin (GF)
Yakıcı-Vezikan Gazlar	Azotlu Hardal ve Kükürtlü Hardal (Sülfür Mustard, Nitrojen Mustard, Arsenik Lewisite) ve Levizit)
Boğucu-Akciğer İrritanları	Fosgen, Difosgen ve Klor Gazı
Kan Zehirleri	Hidrosiyanik Asit-Siyanür ve Siyanojen ve Siyanojen Klorür
Kapasite Bozucu Ajanlar	Narkotik Bileşikler (Liserjik Asit Dietilamid (LSD), Fentanil, 3-Kuinüklidnil Benzilat (BZ) Trankilizanlar
Kargaşa Yaratıcı Ajanlar	Göz Yaşartıcı Ajanlar (CS, CR, CA, CN), Kusturucu Ajanlar (DM, Clark-I, Clark-II)

3.2. Biyolojik Tehditler (Biological Threats)

Biyolojik tehditler; biyolojik ajanların ve emniyetsiz laboratuvar prosedürleri gibi koşulların oluşturduğu tehditlerin tümüdür. Bu tanım; doğal oluşumlu biyolojik hastalıkları (bulaşıcı ve bulaşıcı olmayan), çevrede bulunan ya da hayvanlarda teşhis edilmiş, insanlara da bulaşma olasılığı olan biyolojik ajanları, biyolojik ajan içeren ya da yayan silahları (biyolojik silahlar), biyolojik ajanlarla yapılan terör saldırılarını (biyoterörizm) kapsamaktadır [41].

Biyolojik silahlar ise; "Canlılar üzerinde zararlı etkiler bırakmak amacıyla kullanılan ve milyonlarca kez üretilen mikroorganizmalar, toksinler, ara konak hayvanlar, bitki öldürücüler, zararlı haşarat ve hayvanlar, vb. ajanlar" olarak tanımlanabilir [50].

Birleşmiş Milletler (BM), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), NATO gibi uluslararası kuruluşlar ve Biyolojik Silahlar Konvansiyonunun belirlemelerine göre, insanlara karşı biyolojik silah haline getirilebilme özelliğine sahip 43 adet mikroorganizma (15 bakteri, 24 virüs, 2 mantar ve 2 parazit) mevcuttur. Söz konusu mikroorganizmaların atılması, yayılması ve dağıtılmasında uçak, insansız hava aracı, roket, füze, top, bomba, mayın, jeneratör, vb. araçlar ile posta/kargo ya da haşarat/böcek ile yayma, havalandırma sistemine enjekte veya yiyecek/içeceklere sabotaj yöntemleri kullanılabilir [51].

Söz konusu biyolojik tehdit ve silah maddelerinden birkaçı şunlardır:

- Bacillus Anthracis (Şarbon),
- Francisella Tularensis (Tularemi, Fare Humması),
- Coxiella Burnetii (Q Humması),
- Brucella Grubu (Dalgalı Humma),
- Yersinia Pestis (Veba),
- Tuberculosis Mycobacterium (Verem),

- Salmonella Enteritidis (Salmonella),
- Vibrio Cholerae (Kolera),
- Variola (Çiçek),
- Sığır Vebası,
- Brucella Malitensis (Bruselloz),
- Aftovirus (Şap),
- Ebola,
- Corynebacterium Diphtheriae (Difteri),
- Salmonella Typhosa (Tifo),
- Rickettsia Provezeki (Tifüs),
- Rickettsia Mooseri (Tifüs),
- Rickettsia Rickettsii (Lekeli Humma),
- Venezüella Enfasolamiası.

Bunlar içinde en büyük tehdit unsuru olarak; şarbon, çiçek, veba hastalığı etkenleri ve botulinum toksini gösterilmektedir. Örneğin botulinum toksini kimyasal bir sinir ajanı olan sarinden 100.000 kat daha zehirlidir [51].

İnsanlarda, hayvanlarda ve bitkilerde hastalık oluşturan veya ölümlere yol açan bakteriler, virüsler ve bunların yan ürünleri, vb. mikroorganizmalara biyolojik ajan denilmektedir [52]. Biyolojik savaş amaçlı kullanılan ajanlar, şu başlıklar altında incelenebilir:

- Mikroorganizmalar ve Toksinler
- Bitki Öldürücüler
- Ara-Konak Hayvanlar
- Zararlı Haşerat ve Hayvanlar [53].

Biyolojik ajanlar, virüs ya da bakteri gibi mikroorganizmaların insana doğrudan, hayvanlar veya bitkiler aracılığı ile bulaştırılarak kullanılır. Temel amaç, insanda hastalık oluşturmak ve hastalığın etkileri ile ölüme neden olmaktır. Bu ajanlar doğada bulunur ve insan hayatı için bir takım doğal riskler barındırır. Ancak saldırı amaçlı kullanımda, ajanın hastalık yapma özelliği, bulaşma özelliği ve mevcut ilaçlara dayanıklılığı arttırılır. 180'den fazla ajanın, biyolojik ajan olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Bu ajanların içerisinde, bu gün için ciddi risk oluşturan kolay yayılan ve insandan insana geçiş yapabilen ajanlar olduğu gibi, yayılımı az ve nispeten kullanımı daha zor olan ajanlar da bulunmaktadır. Bu tehditlere başta şarbon olmak üzere, botulismus toksini ve veba örnek olarak gösterilebilir [42].

Sığınma yapılarında biyolojik tehditlere karşı uyulması gereken öncül ve genel kurallar özetle şunlardır. Sığınağa girenlerin temizliği yapılmalı, kontrol ve muayeneden geçmemiş gıda maddeleri ve su sığınağa sokulmamalı, yiyecek ve içecekler kapalı kutularda bulundurulmalı, yiyecekler pişirilmeden ve sular kaynatılmadan tüketilmemeli, çöp ve dışkıları naylon torbalara konulup ağızları bağlı tutulmalı ve dezenfekte edilmelidir. Bunlara ilaveten, özellikle ahşap binaların temizlenmesi güçtür. Binalar kireç kaymağı, sıcak sabunlu su veya çamaşır sodası ile fırçalanılarak yıkanır ya da havalandırılarak temizlenir. Ayrıca binalar, biyolojik temizleyici madde kullanılarak da arındırılır. Güneş ışığı birçok mikroorganizmayı öldürme etkisine sahip olduğundan genel olarak açık alanlardaki gölgesiz yerleri temizleyebilir. Fakat düşük sıcaklığa sahip gölgeli bölgeler saatlerce tehlikeli olarak kalabilir. Geniş bölgelerin temizlenmesi mümkün değildir. Ancak kirlendiğinden şüphe duyulan bu bölgeler, kimyasal temizleyiciler ve kostik soda eriyiği gibi temizleme maddeleri kullanılarak temizlenir [54 ve 55].

3.3. Radyolojik Tehditler (Radiological Threats)

Radyasyon, bir kaynaktan yayımlanan parçacık ya da dalga formundaki enerji olarak tanımlanabilir. Radyolojik tehditler, iyonlaştırıcı radyasyonun ya da radyoaktif maddelerin; kasten veya kazaen yayılmasıyla oluşan, insan ve çevre için zararlı ve tehlikeli durumları ifade eder. İyonlaştırıcı radyasyon, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon, alfa, beta, gama, nötronlar, görünür ışık, radyo dalgaları, mikro dalgalar [56] birer radyolojik tehdittir. Yani radyolojik olaylar, belli sebeplerle halkın radyasyona veya radyoaktif maddeye maruz kaldığı olaylardır. Radyasyon kaynaklarının taşınması ve uygulamalarda kullanılması sırasındaki kazalar, kayıp ve çalıntı kaynaklar, hurdalardaki olası kaynaklar, donanım ve planlama hataları ile yangın, deprem gibi afetler radyolojik olaylara sebebiyet verebilir. Radyolojik olaylar ve nükleer tesislerle/santrallerle ilgili olaylar halk için radyasyon tehdidi oluşturan olaylardır. Radyolojik olayların görülme sıklığı ve olasılığı nükleer kaza olma olasılığından daha yüksektir fakat etkileri nükleer kazalara ve olaylara göre daha yereldir [47]. Radyolojik tehditler, toplumda büyük ölçekli bir korku ve paniğe neden olurlar. Gündelik hayatı etkileyip ekonomiyi sekteye uğratabilirler. Yüksek temizlenme maliyeti nedeniyle ekonomik zarar oluşturlar. Yaralanmalara ve ölümlere neden olurlar [56].

Tüm dünyada iyonlayıcı radyasyonun endüstriyel amaçlı kullanımı her yıl yaklaşık %10 ila %15 arası oranlarda artmaktadır [57]. Radyasyon şiddetini yarıya indiren kalınlığa yarı değer (Half Value Layer-HVL) "yarı değer kalınlığı" denir. Onda bire indiren kalınlığa da onuncu değer veya "onda bir değer kalınlığı" (Tent Value Layer-TVL) denir [58].

Şekil 1'de görüleceği üzere, alfa radyasyonu, çok yavaş hareket eder ve havada sadece 2-5cm ilerleyebilir. Kağıt, elbise ve deri tarafından kolayca tutulur. Vücuda girmesi halinde oldukça tehlikeli olabilir. Beta radyasyonu, alfa radyasyonuna göre nüfuz etme gücü daha fazladır. İnsan derisine nüfuz ederek deride acı ve yanıklara neden olur. Yutulduğunda ya da solunduğunda tehlikelidir. İnce bir alüminyum plaka ile durdurulabilir. Nötron radyasyonu, nötron radyasyonunun nüfuz etme gücü çok yüksektir. En tehlikeli radyasyon türlerinden biridir. Her ortamda nüfuz edebilir. Sadece kalın beton, su veya parafin kütleleriyle durdurulabilir. Gama radyasyonu ve x-ışınları ise havada çok uzun mesafe yol alabilir. İç organları etkileyecek şekilde vücuda nüfuz edebilir. Ancak kalın kurşun bloklarla durdurulabilirler [54]. Bu nedenle radyoaktif tüm kaynaklar (tıp, endüstri, araştırma ve eğitim alanlarında kullanılan), nükleer santraller, reaktörler ile meydana gelebilecek kazalar ve terörist saldırılar insan yaşamını etkileyecek önemli risk kaynaklarıdır [59].

Bilindiği üzere radyolojik tehditler kısa sürelerde çok yüksek dozda radyasyona maruz kalmak vücutta çok sayıda hücre kaybına neden olabilmektedir. Akut radyasyon sendromları; bulantı, kusma, ishal, baş ağrısı, ateş, saç dökülmesi, kan hücresi (alyuvar) sayısında azalma, deri ve doku yanıkları, bağışıklık sisteminin zayıflaması, gibi hususlar gösterilmektedir. Radyasyonun gecikmeli etkileri ise, lösemi, kemik kanseri, tiroit kanseri, akciğer kanseri ve genetik bozukluklardır [56].

3.4. Nükleer Tehditler (Nuclear Threats)

Nükleer tehditler; nükleer malzemelerin (uranyum, plütonyum, vb.) parçalanması (filyon) veya iki atomun birleşmesi (füzyon) halinde açığa çıkan enerjiden yararlanılarak gerçekleştirilen; yıkıcı basınç dalgasının, öldürücü radyasyonun ve yüksek ısının açığa çıktığı durumları ifade eder. Nükleer bir patlama; kuvvetli bir ışık, ısı ve

basınç dalgasının ortaya çıktığı ve havayı, suyu ve yüzeyleri kirletecek radyoaktif maddelerin kilometrelerce etrafa yayıldığı bir patlamadır. Bir nükleer silah, düşman bir devlet ya da terörist örgüt tarafından fırlatılan bir füze olacağı gibi sadece bir bireyin taşıyabileceği kadar küçük, seyyar bir silah da olabilir [45].

Nükleer enerjinin gelişmesi, kitle imha silahlarına ulaşım kolaylığını ciddi bir şekilde etkilemektedir. Günümüzde 30'dan fazla ülkede 440 sanayi ve 280 araştırma reaktörü çalıştırılmaktadır. Sadece bin megabaytlık bir reaktör, bir yıl içerisinde 40-50 atom bombası yapılacak kadar platon üretebilmektedir [60].

4. SAVUNMA VE SİĞİNMA YAPILARININ BAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİ (SOME TECHNICAL CHARACTERISTICS OF DEFENSE AND REFUGE STRUCTURES)

Dış kuvvetlerin tesiri altında kalan yapı elemanlarında bir takım şekil değişimler ve iç kuvvetler (gerilmeler) meydana gelir. Birim alana gelen iç kuvvet tanımına göre normal gerilme, kayma gerilmesi, eğilme, burulma, burkulma gibi zorlanmalara maruz kalır. Taşıyıcı elemanlar öz ağırlık, servis yükleri, deprem ve rüzgar kuvvetlerinin etkileri altındaki bu zorlanmalara göre hesaplanır, tahkik edilir ve boyutlandırılırlar. Bu mekanik etkilere göre yapıların dayanımları sağlanmış olur [61].

Geçmiş dönemlere göre son yıllarda küresel bir tehdit haline gelen kimyasal, biyolojik, nükleer, termal radyasyon, elektromanyetik dalgalar, atmosferik basınç oluşturan daha pek çok hususa karşısında canlı hayatı risk altına girmiştir. Bu nedenle, savunma ve sığınma yapıları canlıları hayatta tutma ve bunun için gerekli olan yaşam destek sistemlerini, zararlı etkilere karşı istenen düzeyde koruyacak bir sistemlerin inşası kaçınılmaz olmuştur.

Kimyasal, biyolojik ve radyolojik ve nükleer adı altında dört çeşidi olan kitle imha silahları arasında biyolojik silahların uluslararası toplumca önemsenme seviyesi her geçen gün artmaya başlamıştır [53].

Bu tehditlere karşı insan hayatını ve stratejik tesisleri korumak için en etkili yöntem sağlam sığınaklar oluşturmaktadır. Tahrip edilemez bir sığınak yapılması mümkün olmamasına karşın, iyi korunmuş bir hedefi yok etmek için harcanması gerekecek büyük çaba ve olası kayıplar saldırganı saldırıdan vazgeçmek zorunda bırakabilir. Bu tehditlere karşı insan hayatını ve stratejik tesisleri korumak için en etkili yöntem sağlam sığınaklar oluşturmaktadır [2].

Bir sığınacağın sahip olması gereken temel özellikleri şunlardır.

- Patlamaya karşı dayanıklılık,
- Su ve gaz sızdırmazlığı,
- Elektromanyetik radyasyona karşı dayanım ve şok yalıtımını sağlamalıdır.
- Dış atmosfer yaşanamaz durumda olduğundan sığınak içinde yapay bir atmosfer oluşturularak insanların minimum destekle hayatlarına devam etmelerini sağlamalıdır.

Diğer taraftan nitelikli savunma ve sığınma yapılarının inşasına yönlendiren hususlardan bazıları şunlardır;

- Politik, ekonomik, stratejik, anlaşmazlıklar halen devam etmekte olup halen bir potansiyel tehlike devam etmesi,
- Son yıllarda konvansiyonel silahların yanı sıra kimyasal ve biyolojik silahların kullanımında bir artış gözlemlenmesi,
- Mevcut savunma ve sığınma yapılarının önemli bir kısmının özellikle termal radyasyon, elektromanyetik dalga, patlama, yerel serpinti, gecikmiş küresel serpinti gibi hususlara karşısında yetersiz olması,

- Mermi, top, roket, mayın ve füze gibi konvansiyonel silahlar sağlamaştırılmış bina ve sığınaklara karşı içeri girme, aşırı basınç yaratma ve tahrip etme durumlarına karşı daha korungan fiziki mekanların yapılması ihtiyacı doğmaya başlaması,
- Savunma ve sığınma yapılarında özellikle nükleer silahların etkileri uzun süreli pozitif ve negatif basınç, zemin şok yükleri, termal radyasyon, nükleer radyasyon ve elektromanyetik dalgalara ve termal radyasyona karşı koruyucu mekanların yetersiz olmasıdır.
- Patlamanın etkisi ile basınç normal atmosferik basınçtan en yüksek değere ulaşır ve saniyeden çok daha kısa sürede normal seviyeye iner. Bundan sonra basınç normal basıncın altına iner. Bu durum yapı üzerinde şok etkisi yaratır.
- Termal radyasyon; patlama ile ortaya çıkar ve çok kısa sürer. Ama bu durum yangınlar çıkarabilir ve bunun sonucunda havadaki oksijen de azalır [2].

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2000 yılı verilerine göre kamuya ait 270 binin üzerinde bina bulunmaktadır. Söz konusu binaların önemli bir kısmı Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) kullanımındadır. TSK bünyesinde, lojmandan er pavyonuna, karargâhlardan harekât merkezlerine, sağlıktan eğitime uzanan değişik tipte ve kullanım amaçlı binalar bulunmaktadır [62]. Savunma amaçlı yapılan yapı örnekleri Resim 1-4'de verilmiştir.

Kullanıcı kimliği ve kullanım amacı farklı olan bu binalar için tek tip teknik çözüm geliştirmek veya öne sürmek pek mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, özel sığınaklardan olan serpinti sığınaklarının inşasında aşağıdaki hususlara uyulması önerilir.

- **Giriş Yeri:** Sığınağın girişi demir kapılı ve en az bir adet dik açı dönüşlü ve net alanı 100m²'den büyük sığınaklarda iki çıkışın yeri yapılmalıdır [1].
- **Sığınağı Çevreleyen Duvar Kalınlığı:** En az 60cm özel beton (ağır beton olması önerilir), 75cm tuğla veya taş ya da tamamen toprağın altında kalmak koşuluyla 90cm sıkıştırılmış topraktan olmalıdır. Bu yapı elemanı ve malzemeleri ile bunların yerine veya bunlarla birlikte kullanılacak diğer yapı elemanı ve malzemeleri, radyoaktif serpintiye karşı geçirgenlik ve korunma katsayıları da dikkate alınmalıdır. Yapının, yapı elemanının ve malzemenin özelliğine, direncine ve geçirgenliğine göre mimari proje, statik proje ve mekanik tesisat proje müelliflerince gerekli hesap yapılmak ve projelerde gösterilmek suretiyle tamamen veya kısmen birbirlerinin yerine kullanılabilir. Yer ve tavan döşeme kalınlıkları için de aynı ölçülere uyulmalıdır. Ana yapı ile sığınak arasında yapılacak bağlantı elemanının duvar, yer ve tavan döşeme kalınlıkları için de bahçede yer altında veya yer üstünde olmasına bakılmaksızın aynı ölçüler dikkate alınır. Bağlantı elemanının (geçiş koridorunun) genişliği 1.20 m'den az olmamalıdır [1].
- **Büyüklik:** Kişi başına en az net bir metrekarelik sığınak yeri ayrılmalıdır. Sığınaklarda yapılacak WC, duş ve mutfak nişi bu alana dâhil edilmemelidir. Kişi adedi, konutlarda her bir bağımsız bölüm için dört olarak alınır. Yurt, koğuş, misafirhane, yatakhane, bakımevi, otel, pansiyon ve hastane gibi kalıcı veya geçici konaklama amaçlı tesislerde onaylı mimari projesinde belirlenen yatak sayısının yüzde yirmi arttırılması sonucu bulunur. Diğer bina ve tesislerde veya konut ve kalıcı veya geçici konaklama içermeyen mekânlarda, kişi sayısı emsale konu alanın 20 sayısına bölünmesi sonucu çıkan sayıdır. Yönetmeliğe göre yapılacak hesaplamada sığınak yapılması zorunlu

olan akaryakıt ve LPG istasyonu, depo, antrepo ile besihane, tavuk çiftliği, sera gibi tarım ve hayvancılık tesisleri ve her türlü sanayi tesislerinin doğrudan üretimle ilgili yapılarında kişi adedi, işletme ruhsatına esas onaylı yapı ruhsatı eki mimari projesinin ekinde yer alan fizibilite etüt raporunda belirtilen bir vardiyada aynı anda çalışacak en fazla personel sayısıdır. Sığınak alanı wc, duş ve mutfak nişi hariç net dokuz metrekarenin altında belirlenemez. Serpinti sığınaklarında her yüz kişi için erkek ve kadın olmak üzere ayrı ayrı birer WC ve lavabo yeri ayrılır. Küsurlar 100 sayısına tamamlanır. Kişi sayısının hesaplanmasında onaylı imar planı veya yapı ruhsatı eki mimari proje esas alınır. Kişi sayısı dâhil sığınaklara ilişkin hususların mimari projenin ilgili paftalarına işlenmesi zorunludur. Sığınakların iç yüksekliği net 2.40 metreden aşağı olamaz [1].

- **Havalandırma:** Sığınağın çeşidi ne olursa olsun mekanik havalandırma yapılması zorunludur. Koruma zamanlarında dışarıdan alınan hava; nükleer tip hepa filtre, kum havuzu gibi filtreleme sisteminden geçirilerek sığınak içerisine verilir. Barış zamanlarında ise dışarıdan alınan hava sadece G4 tipi kaba filtreden geçirilerek sığınak içerisine verilir. Kanal dizaynı, menfez sayısı ve yerleşimi mekanik tesisat proje müellifi tarafından düzenlenir. Bu düzenleme TS 3419 "Havalandırma ve İklimlendirme Tesisleri-Projelendirme Kuralları" ve TS 3420 "Havalandırma ve İklimlendirme Tesislerini Yerleştirme Kuralları" standartları göz önüne alınarak yapılır. Sığınağın bulunduğu bölgede yangın tehlikesi yüksek ise önce mutlaka kum havuzu sistemi kullanılmalıdır. Sığınak havalandırma fanının enerji ihtiyacı fan elektrik motoruna uygun kapasitede bir jeneratör ile karşılanmalı, jeneratör için sığınak alanı dışında bir alan makine dairesi olarak tasarlanmalıdır. Jeneratör egzozu doğrudan dışarıya verilmelidir. Jeneratörün devre dışı kaldığı durumlarda ise, enerji ihtiyacı fana bağlı insan gücü ile çalışan çevirmeli kol yardımı ile karşılanmalıdır. Pencereler doğal havalandırmanın en verimli olacağı şekilde konumlandırılmalıdır [1].



1



2



3



4

Resim 1-4. Askeri amaçlı bazı savunma-sığınma yapısı örnekleri [2]
(Photo 1-4. Some examples of defense and asylum structures for military purposes [2])

- **Hijyen Tedbirleri:** Sığınak biriken çöplerin ve insan pisliklerinin kolayca atılmasını sağlayıcı özellikte olmalı, helâ taşı yerine klozet kullanılmalı ve mümkünse radyoaktif sızıntıya karşı ilave tedbirler de alınarak WC gideri kanalizasyona bağlanmalıdır. Sığınaklardan dışarı yapılacak pis su bağlantılarında direk olarak kanalizasyon bağlantısı yapıldığı durumda geri tepmeyi engellemek üzere geri tepme ventili uygulaması yapılmalıdır [1].
- **Yalıtım:** Binalar toprakla temasa imkan vermeyecek şekilde yalıtılmalıdır. Bodrum ve zemin katlarının tabanına betondan sızıntıyı önlemek amacıyla çatlağı olmayan şap uygulaması yapılmalıdır. Binalarda temelden gelebilecek radona karşı en iyi çözümlerden birisi de temelde su yalıtımı için yapılan bohçalamadır. Bohçalama uygulamasının esnek, uzun ömürlü yalıtım malzemeleriyle detayına uygun olarak yapılması gereklidir [61]. Isıtma, soğutma, havalandırma, elektrik, topraklama, iletişim, haberleşme, temiz su ve atık tesisat boruları beton dökülmeden önce yerleştirilmeli ve sızdırmazlık testinden sonra beton dökülmelidir.
- **Durabilite:** Durabilite özelliği ise yapının kullanım sırasında hava koşullarına, kimyasal etkenlere, aşınmaya ve diğer yıpratıcı etkenlere karşı dayanıklılık gösterme (dayanma) kabiliyetidir [61]. Betonarme yapıların hemen tamamı az veya çok agresiv etkilere maruz kalmaktadır. Üretilen betonun, diğer yapılarda olduğu gibi betonarme yapılar için de, üretim öncesi hedeflenmiş özelliklerini zamanla yitirmemesi ve çevre şartlarına karşı dayanıklı olması, istenilen çok önemli bir özelliktir. Durabilite kapsamında betonda aranan dayanıklılık şu şekilde sıralanmıştır:
 - o Donma - çözülmeye karşı dayanıklılık,
 - o Islanma - kurumaya karşı dayanıklılık,
 - o Isınma - soğumaya karşı dayanıklılık,
 - o Aşınmaya karşı dayanıklılık,
 - o Ateşe karşı dayanıklılık,
 - o Asit ve tuzlara karşı dayanıklılık,
 - o Hacim değişikliğine yol açıcı kimyasal reaksiyonlara (alkali-agrega reaksiyonuna karşı dayanıklılık [64].
- **Beton Özellikleri:**
 - o **Aşınma ve Erozyon:** Betonda hasar önce yüzeyden başlar ve bu nedenle beton yüzeyinin bitirilme işlemlerine özel itina gösterilmelidir. Beton yüzeylerde zayıf şerbet tabakasının oluşumu önlenmelidir. Yüzey sertleştirici kullanılmalıdır.
 - o **Betonda Don Etkisi:** Su donduğunda hacminde %9'luk bir artış meydana gelir. Suyun donduğu ortam içerisinde suyun genişleyebileceği kadar bir boşluk yoksa beton bu genişlemeyi önleyemez ve hasara uğrar. Betonun hasara uğraması hidrolik basınç nedeniyledir. Betonda hava sürükleyici katkıları kullanmak suretiyle oluşturulan hava boşlukları hidrolik basıncın düşürülmesi ve betonda don hasarını önlemenin en iyi ve etkili yoludur.
 - o **Betona Hava Sürüklenmesi:** Hizmet ömrü süresince donma-çözülme etkilerine maruz kalacak olan bir beton yapısında mutlak surette hava sürükleyici katkı kullanmak gereklidir. Genelde hava sürükleyiciler yalnız başına kullanılmadığından bir su azaltıcı/akışkanlaştırıcı (normal veya süper) ile birlikte kullanmak ekstra avantajlar sağlamaktadır. Betona sürüklenen toplam hava içeriğinin fazlaca bir önemi yoktur. Ancak, 0.1 ile 0.2mm'lik boşluk faktörü'nün önemi büyüktür. Bu boşluk

- faktörü çimento pastasının her noktasında aynı olmalıdır. Betonda boşluk sayısı da önemlidir. Birim hacimdeki çimento pastası içerisindeki boşluk sayısı ne kadar yüksekse beton da o kadar fazla donma-çözülme çevrimine dayanabilecektir.
- o **Betonun Karbonasyonu:** Atmosferde sınır değer üzerinde CO₂ bulunan ortamlarda rutubetli beton içerisine diffüze olan bu gaz beton içerisindeki kireci çözer ve olay uzun süre devam ettiğinde betonu gözenekli hale getirir. Bu durum betonun çevre etkilerine daha az dayanıklı hale gelmesine yol açar. Beton yüzeyinde beyazlanmalar meydana gelir.
 - o **Alkali-Silika Reaksiyonu:** Beton imalâtında kullanmak istediğimiz agrega belirli bir miktar reaktif silis içeriyorsa, kullanmak istediğimiz çimento içerisinde Na₂O olarak %0.6'dan daha fazla alkali varsa, betonun başlıl nemi en az %75-85 civarında ise alkali-silika reaksiyonu oluşumu kaçınılmazdır. Bu etkiyi önlemek üzere, betonda mutlaka çimentoya ilave olarak uygun bir puzolan ikamesi veya katkı çimento kullanmak, alkali-silika reaksiyonu kaçınılmaz ise lityumlu bileşikler (katkılar) kullanmak, betonun su ile olan ilişkisini ortadan kaldırmak oldukça etkilidir.
 - o **Betonda Sülfat Etkisi:** Zemin betonlarında temas suyu çok önemlidir. Özellikle zeminde ve yeraltı suyunda anhidrit veya sülfat varsa beton ona göre imal edilmelidir. Betonda S/Ç oranına dikkat edilmeli ve kullanılan çimentonun cinsi özel olarak seçilmelidir [64, 65 ve 66].

5. SAVUNMA VE SİĞİNMA YAPILARINDA ÖZEL BETON KULLANIMI

(THE USE OF SPECIAL CONCRETE IN DEFENSE AND REFUGE BUILDINGS)

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, kompozit bir yapı malzemesidir. Beton ve/veya betonarme yapılar, hizmet ettiği süre boyunca içten ve dıştan birçok etkiye maruz kalmaktadır. Beton da servis ömrü boyunca dış ve iç etkiler karşısında, fiziksel etkiler (aşınma, erozyon, kavitasyon, donma-çözülme, yüksek sıcaklık gibi), kimyasal etkiler (sülfat, asit, alkali, karbonat, gibi) ve biyolojik etkilere maruz kalmakta ve bozulmakta hatta deformasyona uğrayabilmektedir [65 ve 66]. Bu tür etkilere karşı en ideal beton kürü ağır beton olarak görünmektedir.

Beton birçok yapı malzemesine göre kıyasla yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı dayanıklı bir malzemedir. Genelde beton belirli sıcaklık derecelerine (~250°C) belirli sürelerde dayanabilir. Betonarme yapı elemanının yüksek sıcaklığa dayanıklılığını etkileyen parametreler ise, pas payı tabakasının kalınlığı, alevin içeriye sızmasına karşı direnci ve ısı transferine karşı direncidir. Elemanın yük taşıma kapasitesi ve yükleme seviyesi de önemli faktörlerdir [67]. Isı etkisiyle sığağa bağlı olarak hidrate çimento su kaybederek dehidrate olur. Betonda, hidrate yapıdaki elmanlar belli sıcaklıklarda yapılarındaki suyu kaybeder. Bu dehidratasyon, yapının mukavemetinde önemli ölçüde düşmeye sebep olur [68].

Savunma ve sığınma yapılarında kullanılacak betonların durabilite teknik özellikleri oldukça önemlidir. Bu yapılardaki yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini servis ömürleri boyunca bozulmadan yerine getirmeleri beklenilir. Bu özelliğe durabilite; yani dayanıklılık veya kalıcılık özelliği denilmektedir. Bu nedenle, ciddi ve tutarlı yaklaşımlarla projelendirilmiş, üretilmiş, geçirimsiz, yalıtımlı ve korunmuş yapılar için bu kavram vazgeçilmez bir özelliktedir. Özetle durabilite; betonun hizmet ömrü boyunca fiziksel ve kimyasal etkilere karşı koyması, dayanması anlamına gelmektedir.

Betonarme yapıların kalıcılığını etkileyen kimyasal ve fiziksel işlemlerin hemen hepsinde ana faktör, su ve beton bünyesindeki boşluklar ile çatlaklar içindeki taşınımıdır. Gazların, suyun ve zararlı maddelerin beton içine taşınımı ve bunların beton ile etkileşimi, bozulma sürecinin gelişimi açısından çok önemlidir. Taşınımın boyutu, hızı ve etkisi büyük ölçüde beton bünyesindeki boşluk ve çatlakların çapı ve dağılımına ayrıca beton yüzeyindeki "mikroklima" bağlıdır.

Agrega beton içinde çimento hamuru ile kaplanmış olduğundan ve normalde az boşluk içermesi nedeniyle, betonun geçirimsizliği büyük ölçüde çimento hamurunun ve agrega-hamur arayüzeyinin geçirimsizliğine bağlıdır. Çimento hamuru ve betondaki çatlak ve boşluklar; çoğunlukla beton teknolojisi kurallarına uyulmaması sonucu, yetersiz sıkıştırma, yetersiz kür, kimyasal reaksiyona girmeyen fazla suyun terleme, buharlaşma olayları veya hava sürükleyici katkı maddeleri eklenmesi gibi nedenlerle oluşur. Çimento hamurundaki ve betondaki boşluklar mikro, kapiler ve makro olarak gruplandırılabilir. Kalıcılığı büyük ölçüde etkileyenler kılcal (kapiler) ve makro boyutta olanlardır [69].

Betonun geçirimsizlik (permabilite) özelliği ise çimento hamuru ile agrega yüzeyindeki mikro çatlaklar ve beton yüzeyinde bulunan kılcal boşluklardan kaynaklanmaktadır. Geçirimsiz betonların içerisine sızan sular ve bu sulardaki yabancı maddeler, betonda kimyasal ve fiziksel olaylara yol açmaktadır. Beton süneklilik özelliği gösteren bir malzeme olduğundan bu olay betonda çatlamalara hatta çökerek parçalanmalara (deformasyona) neden olmaktadır [70].

Ağır betonlar, üretim prosesleri olarak normal betonlarla pek farklılık göstermez. Ağır beton üretiminde yararlanılan özel agregalar genellikle barit ($BaSO_4$), magnetit (Fe_3O_4), limonit ($2Fe_2O_3 \cdot H_2O$) gibi demir cevherleri olan agregalar ya da sanayi atıkları olan demir ve kurşun parçacıkları gibi yapay agregalar olabilmektedir.

Ağır betonlar nükleer reaktörlerde, röntgen odalarında, onkoloji hastanelerinde ve savunma amaçlı sığınaklarda radyoaktif ışınlarla karşı kullanılır. α ve β parçacıkları ile γ ve x ışınları ve nötronlar canlı dokular üzerinde zararlı etkilere neden olabilirler. Bu nedenle radyasyon dozlarını olabildiğince azaltabilmek amacıyla zırh veya kalkan denilen tabakalar yapılır. Radyoaktif ışın ve parçacıkların ortam dışına çıkışını engellemek amacıyla kullanılan kurşun tabakaların nötronları yakalama kapasiteleri zayıftır. Nötron hareketini hidrojen atomu zengin olan ortamlar durdurabildiğinden hidrojen içeriği açısından yoğun olan betonlar bu açıdan en yararlı malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır [35 ve 71].

Betonun üzeri kaplama malzemeleri ile örtülmeden, çıplak olarak kullanımı her ne kadar estetik kaygılara, mimaride yalınlık ilkesine dayandırılrsa da zaman içinde malzemenin kimyasal yapısı gereği çeşitli nedenlerle kirli, çirkin yüzeyler oluşabilmektedir. Yüzeyde zamanla çiçeklenmeler, oksidasyon, korozyon ve çeşitli kimyasal tepkimeler sonucu lekelenmeler, parça kopmaları görülmektedir. Çiçeklenme, çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitinin ($Ca(OH)_2$) ve beton içerisinde bulunan bazı tuzların ($MgCl_2$, $NaCl$) zamanla sertleşmiş beton yüzeyine çıkarak oluşturduğu beyaz lekelerdir. Gri betonlarda estetik açıdan renk kalitesini bozarak görsel kirliliğe neden olmakla beraber, betonun dayanım gibi performans özelliklerine fazla bir etkisi bulunmamaktadır [35 ve 72].

Biyolojik korumada iki tip radyasyon etkisi önemlidir. Yüksek enerji ve frekanslı elektromanyetik dalgalar olan x ve γ ışınları yüksek nüfuz etme yetenekleri nedeniyle ancak birim kütlesi yüksek olan malzeme tarafından durdurulabilmektedir. Elektrik yükü taşıyan ve atom çekirdeğinin ağır parçacığı olan yüksek hızlardaki nötronlar demir yüksek atom ağırlıklı malzemeler ile elastik olmayan çarpışma

sonunda yavaşlatılır. Hidrojen gibi hafif elemanlar orta hızdaki nötronlar ile elastik çarpışma yaparak daha da yavaşlamalarına neden olurlar. Yavaş hareket eden nötronlar ise yine hidrojen atomu ya da bor minerali tarafından tamamen emilerek yok edilirler. Bu nedenle beton dayanımına olumsuz etkisi olmaması için suda çözünmeyen boron kullanılmalıdır. Nötron ve γ ışınlarını yavaşlatabilme karakterinin yanında yeterli mekanik özelliklere sahip ve ilk mukavemeti ve bakım masrafları düşük olan beton bu amaç için en ideal malzeme olarak görülmektedir. Karma suyun bünyesindeki hidrojen ve oksijen gibi hafif atomlu cisimlerin yanında içerdiği yüksek özgül ağırlıklı agregalar ve parçacıklar ile ağır beton yüksek enerjili γ ışınlarını ve nötronları pratik koşullar altında durdurmaya yeterli olmaktadır [25, 35, 73 ve 92].

Normal betonlarda nötronların durdurulması için gerekli hidrojen miktarı karma suyunun yaklaşık %4'üne karşılık gelir. Bu su, çimento hamurunun hidrate elemanlarında serbest olarak ya da kristal suyu olarak çimento hamurunda ve agregada bulunur. Ağır beton üretiminde kullanılan agregaların özgül ağırlıkları genellikle 4000kg/m^3 'ün üzerinde olur. Bu nedenle ağır beton üretiminde en çok tercih edilen agrega barittir [35 ve 71]. Yüksek birim ağırlıklı agregalarla radyoaktif geçirimsizliği sağlamak için üretilen ağır betonun kullanılması sonucu gerekli olan normal beton kalınlığını 1.5 ile 2.5 kat azaltmak mümkündür.

Betonların birim ağırlıkları arttıkça radyasyona karşı koruyucu etkileri de o ölçüde artmaktadır. Bu nedendir ki birim ağırlığı 2400kg/m^3 civarında olan geleneksel betonlar radyasyona karşı koruyucu perde yapıldığında kalınlıklarının daha büyük olması gerektiği bilinmektedir. Nükleer santrallerde atom çekirdeklerinin kontrollü bir şekilde parçalandıkları yerlerde α , β , γ , x ve nötron adı verilen ışın ve parçacıklar açığa çıkar. Bu parçacıkların insanlara zararını en aza indirmek için bu tür tesislerde zırh denilen tabakalar oluşturulur. Bu zırhı oluşturmak için en uygun malzeme ağır betonlardır. Atomun parçalanmasından sonra açığa çıkan nötron ışınları hafif elementler tarafından α , β , γ , x ışınları ise ağır elementler tarafından tutulma özelliğine sahiptir. Ağır betonlarda karma suyu bünyesinde bulunan H ve O nötron ışınlarının yutulmasında veya yavaşlatılmasında, ağır agrega ise α , β , γ , x ışınlarının tutulmasında katkıda bulunurlar [35 ve 74].

6. SAVUNMA VE SİĞİNMA YAPILARINDA ZIRHLI BETON KULLANIMI (THE USE OF ARMORED CONCRETE IN DEFENSE AND REFUGE BUILDINGS)

Günümüzde nükleer teknolojinin kullanım alanlarının artmasına paralel olarak bu radyasyonlardan korunmanın önemi de artmıştır. Radyasyondan korunmak için kurşun gibi değişik materyallerin kullanımı standart hale gelmiştir. Ancak betonların en yaygın yapı malzemesi olduğu düşünülürse bu betonların radyasyon zayıflatma özelliklerinin geliştirilmesi daha önemli hale gelmiştir [35 ve 71].

Hiçbir malzeme veya yapı sonsuza kadar dayanıklı olamaz. Malzemenin veya yapının bulunduğu ortam ve çevre şartlarına dayanabilmesi durabiliteyi belirler. Her yapı inşa edilirken önceden ortam ve çevre şartları belirlenmeli ve yapı bulunduğu ortama uygun olarak uzun yıllar dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle betonda durabilite, sertleşen betonun servis ömrü boyunca hava ve çevre şartlarına, kimyasal etkilere, aşınmaya veya diğer zarar verici etkilere karşı direnç gösterebilme kabiliyeti hakkında çok önemli özellikleri içermektedir.

Dış kuvvetlerin tesiri altında kalan savunma ve sığınma yapı ve elemanlarında bir takım şekil değişimleri ve iç kuvvetler (gerilmeler) meydana gelir. Birim alana gelen iç kuvvet tanımına göre normal

gerilme, kayma gerilmesi, eğilme, burulma, burkulma gibi zorlanmalara maruz kalır. Taşıyıcı elemanlar öz ağırlık, servis yükleri, deprem ve rüzgar kuvvetlerinin etkileri altındaki bu zorlanmalara göre hesaplanır, tahkik edilir ve boyutlandırılırlar. Bu mekanik etkilere göre yapıların dayanımları sağlanmış olur [61].

Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler savunma ve sığınma bina yapımında kullanılmamalıdır.

Diğer taraftan bir yapının bazı kısımları her zaman sürekli ve kesitli olumsuz çevresel etkiye maruz kalmayabilir. Ancak, yapının dış kısımlarına bakan betonarme elemanlarında karbonatlaşma tehlikesi her zaman mevcuttur. Pratik olarak, aynı yapının değişik kısımlarında farklı beton sınıflarının kullanılması mümkün olmadığından, beton sınıfının seçilmesinde çevresel etkinin olmadığı durum söz konusu olmayabilir. Nemin ortamdan uzaklaştırılması çok ender bir durum olduğundan çevresel etki açısından C30/37 ve üstündeki beton sınıflarının kullanılması önerilmektedir [69].

Betonun performans özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda katılan, belirli boy/çap (narinlik oranı) oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemelere lif (fiber) denilir. Lifler; çelik, plastik, cam gibi değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler [75]. Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan bu lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam lifleridir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun çekme ve eğilme dayanımı artıran faktörler darbe etkisine karşı da dayanımı artırır [35].

Beton elyafı, çimento bazlı ürünlerin rötne ve büzülme çatlaklarını büyük ölçüde azaltan, donma-çözülme, darbe ve aşınma dayanımı gibi özelliklerini arttırarak yüksek performans sağlayan polipropilen veya cam elyaf liflerdir. Bu nedenle beton elyafı betonu üç boyutlu donatılandırdığı için betonda mikro çatlak oluşmamaktadır. Beton tozumasını önlenir, aşınma miktarı azalır, sünek bir yapı elde edilir, segregasyon önlenir ve agregalar birbirine daha iyi bağlanmış olur.

Geleneksel betonda kullanılan cam, sentetik, karbon ve çelik liflerin en önemli etkisi, betonda çatlak gelişimine engel olmasıdır. Bu nedenle, betondaki iç gerilmelere bağlı olarak oluşan mikro çatlakların büyümesi ve ilerlemesi, liflerin gerilme aktarma özelliği ile önlenmektedir. Lifler, şekil ve miktarlarına bağlı olarak çimento matrisinde oluşan bazı gerilmeleri taşımakta ve uygun çimento-matris oranlarında gerilmeleri aktarmaktadır [76].

Normal betonlardaki agregaların özgül ağırlığı 2.6kg/dm^3 civarında iken Barit (BaSO_4) özgül ağırlık 4.2kg/dm^3 , Magnetit (Fe_3O_4) özgül ağırlık 4.6kg/dm^3 ve Limonit'in ise ($2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$) özgül ağırlık 3.7kg/dm^3 'tür. Ağır agregalarla beton üretiminde aşağıdaki hususların dikkate alınması oldukça önemlidir. Bunlar, özetle;

- Mikserler tam kapasite ile doldurulmamalı,
- Karıştırma süresi kısa tutulmalı (segregasyonu önlemek amacıyla),
- 25cm'lik tabakalar şeklinde döküm yapmalı,

- Vibrasyonun güçlü ve kısa süreli olmalı,
- İç vibratör daldırma yerleri arasındaki mesafenin 30-50cm arasında olmalı,
- Taze betondan doğan basınçları karşılayabilmek için kalıpların daha rijit olması gereği gibi detaylar nedeni ile normal betonların üretimlerine göre farklılıklar gösterir [77].

Zırhlama, genel bir ifade ile canlı hayatına olumsuz etkisi olan unsur ve tehlikelere karşı yapılan proaktif çalışmalardır. Örneğin; bir sağlık yapısında kullanılan radyasyon cihazının önünde bulunan zırh ne kadar fazla ise o kadar az doza maruz kalması beklenen bir durumdur. Bu nedenle bu tür yapılarda en güvenli ve en az masraf gerektirecek şekilde yapılabilmesi için binanın zemin/giriş katında, diğer bölümlerden bağımsız olacak şekilde, hasta ve personel yoğunluğunun en az olduğu yerde, alt ve üst bitişik alanları daima mesken olarak kullanılmayan alanlar tercih edilmelidir [78]. Beton kumaş barınak zırhlamasıyla ilgili örnek bir çalışma Resim 5 ve 6'da verilmiştir.

Zırh tasarımında kullanılacak yapı malzemesi, zırhlanacak radyasyon türüne göre farklılık gösterir. Alfa ışınımı yapan bir kaynak kağıtla ondan daha fazla giriciliği olan betaları 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 zırhlatabilir [11].

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. 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 agrega kullanılarak bu amaç sağlanabilir. Yurdumuzda oldukça geniş rezervi bulunan barit agregası kullanılarak üretilen ağır betonlar zırhlama için gerekli olan yüksek yoğunluk özelliğini karşılamaktadır [7 ve 8].

Birim ağırlığı $2.8t/m^3$ '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 agrega madeninin temin kolaylığına bağlı olarak; magnetit, ilmenit ve limenit kullanılmaktadır [7].

Radyasyon kalkanı olarak kullanılan ağır betonun bileşiminde karma ve hidrasyon suyunda hafif elementler, agregasında ise ağır elementler bulunmaktadır. En çok kullanılan ağır agrega barittir. 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 [11].



Resim 5. Beton kumaş barınak zırhlama uygulama örneği [79] (Photo 6. Concrete fabric refuge application example [79])



Resim 6. Kurşun tuğlalarla zırhlama [80] (Photo 6. Armoring with lead bricks [80])



Resim 7. Kurşun tuğlalarla tabanda-zeminde zırhlama uygulaması [81] (Photo 7. Base bricks on the ground-floor armoring application [81])



Resim 8. Kurşun tuğlalarla duvarda zırhlama uygulaması [81] (Photo 8. Armoring of wall with lead bricks [81])



Resim 9. Bina dış cephe balistik zırhlama [82] (Photo 9. Building exterior ballistic armoring [82])

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 ısı iletkenliği, birim kütle ve su içeriğine bağlı olarak değişmekle beraber, genellikle geleneksel betonlara göre yüksek olmaktadır. Betonların birim kütleleri arttıkça ısı iletkenlikleri artmaktadır. Isı iletkenliği yüksek olan malzemelerin yangına karşı dayanımları düşük olmaktadır.

Barit agregalı ağırların ortalama rötresi geleneksel betonlardan daha azdır. Barit agregalı ağırların aşınma dayanımları geleneksel betonlardan daha büyüktür. Barit agregalı ağırların ortalama birim kütleleri geleneksel betonlardan ortalama birim kütlelerinden %50 civarında daha büyük olmaktadır. Barit agregalı ağırların donma - çözünme olayına karşı dayanıklılığı geleneksel betonlardan daha azdır. Doğal ağır agregalardan üretilerek yerine yerleştirilen Barit agregalı ağırların boşluk oranları genel olarak geleneksel betonların boşluk oranlarına eşit, yapay ağır agregalardan üretilenlerin ki ise geleneksel betonlardan daha büyük olmaktadır [8 ve 91].

Savunma ve sığınma yapılarının betonları yüksek kompoziteli olmasının yanı sıra beton donatı fiberleriyle takviye edilmiş olması gerekir. Çünkü beton donatı fiberleri, yapısal olmayan donatı görevi için tasarlanmış, üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri olan beton donatı fiberidir. Nervürlü yüzey yapısı betona balistik özellik kazandırır ve enerji yutma kabiliyetini artırır. Aynı zamanda kullanıldığı betonun eğilme, çekme ve basınç mukavemetlerinde artış sağlar. Beton karışımında homojen dağılan ve poliolefin kompozit polimer liflerden oluşur, suda çözünmez ve çürümez. Yüksek alkali dayanımlı olup asit ve baz etkisine karşı dayanıklıdır.

Ağır ve radyasyondan korunma amaçlı beton yapılarında kullanılacak agrega türü ve birim ağırlıkları Tablo 2'de, betonların radyasyondan korunma etkisi ise Tablo 3'de verilmiştir. Radyoaktif kaynak türüne göre bazı zırh malzeme seçimi ve ölçüleri de Tablo 3 verilmiştir.



10

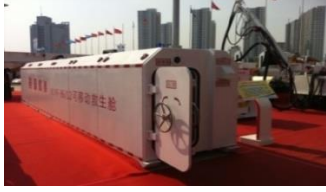


11



12

Resim 10-12. Basınç sığınacağı örnekleri
(Photo 10-12. Examples of pressure refuges)



13



14



15

Resim 13-15. Modüler kaçış sığınak örnekleri
(Photo 13-15. Modular escape refuge samples)



16



17



18

Resim 16-18. Uçak sığınma yapısı örnekleri
(Photo 16-18. Examples of aircraft refuge building)



19



20



21

Resim 19. Svalbart küresel tohum sığınacağı (Norveç) (Photo 19. Svalbart global seed refuge (Norway))

Resim 20. Kıyamet sığınacağı (Photo 20. Doomsday refuge)

Resim 21. Sığınak iç görünümü (Photo 21. Refuge interior view)



22



23



24

Resim 22-24. Savunma ve sığınma amaçlı sığınak iç mekan görünüşleri [83, 84 ve 85]

(Photo 22-24. Refuge interior views for defense and asylum purposes [83, 84 ve 85])

Tablo 2. Ağır ve radyasyondan korunma amaçlı beton agregaları [66 ve 86]
(Table 2. Heavy and radiation protection concrete aggregates [66 ve 86])

Agrega Türü	Açıklama	Tane Yoğunluğu (kg/dm ³)
Normal Agregalar (Normal Agregataneleri)	Çakıl	2.6-2.7
	Kalker	2.6-2.8
	Granit	2.6-2.8
	Bazalt	2.9-3.1
Doğal Ağır Agregalar (Doğal Ağır Taş Taneleri)	Baryt (Barit)	4.0-4.3
	Ilmenit (Titanyum Demir Taşı)	4.6-4.7
	Magnetit (Manyetik Demir Taşı)	4.6-4.8
	Hematit (Kırmızı Demir Taşı)	4.7-4.9
Yapay Ağır Agregalar (Endüstriyel Olarak Üretilen, Ağır Taş Taneleri)	Ağır Metal Cürüfları 1)	3.5-3.8
	Ferrosilisyum	5.8-6.2
	Ferfosfor	6.0-6.2
	Çelik Granüller (<8 mm.)	6.8-7.5
	Çelik Kum (0,2 ... 3 mm)	7.5-7.6
Kristalleşme Suyu Yükseltilmiş Agregalar (Taş Taneleri)	Limonit (4 ... 16 mm)	3.6-3.8
	Serpantin	2.5-2.6
Bor İçeren Malzemeler	Borokalsit, Kolemanit	2.3-2.4
	Borfrit	2.4-2.6
	Bor karbid	2.4

Tablo 3. Betonların radyasyondan korunma etkisi [86]
(Table 3. Radiation protection effect of concretes [86])

Koruyucu Radyasyon	Radyasyon Kaynakları (Örnekler)	Radyasyondan Korunma Betonlarında Nitel Gereksinimler
Röntgen Işınları	Röntgen Cihazları, Lineer Hızlandırıcı	Geleneksel Normal Beton ile beton yoğunluğu; $\rho_R=2.4\text{kg/dm}^3$ ve yaklaşık 300 mm kalınlıklar olmalı
α -Radyasyon β -Radyasyon	Radyonüklidler	Yeterli aralıktaki beton kalınlığı (mm)
γ -Radyasyon	Nükleer/Atom Reaktörleri, Radyonüklidler, Nükleer Patlamalar	Yüksek yoğunluklu ve/veya büyük kalınlık
Nötron Radyasyonu	Nükleer/Atom Reaktörleri, Radyonüklidler, Nükleer Patlamalar	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek oranda kimyasal bağlı su içeriği • Bor, Kadmiyum veya hafniyum ilavesi • Yüksek yoğunluk ve büyük kalınlık

Tablo 4. Radyoaktif kaynak türüne göre bazı zırh malzeme seçimi ve ölçüleri [58]
(Table 4. Selection of some armor materials by radioactive source type and dimensions [58])

Zırh Malzemesi Türü	Radyoaktif Kaynak Türü					
	Co-60		Ir-192		Cs-137	
	HVL	THL	HVL	THL	HVL	THL
Kurşun (cm)	1.24	4.11	0.48	1.62	0.63	2.13
Beton (cm)	6.50	21.84	4.82	15.74	5.33	18.03

Savunma ve sığınma yapının servis ömrü boyunca işlevselliğini koruyabilmesi, maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin türünün ve şiddetinin tasarım aşamasında belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Yapının birden fazla etkiye aynı anda ve tekrarlı olarak maruz kalmasının olası olduğu ve tüm bu etkilerin bir arada değerlendirilmesinin gerektiği gözden kaçırılmamalıdır. Alınacak önlemler yıpratıcı etkinin türüne ve şiddetine göre farklılık gösterebilir. Örneğin sülfat etkisinde kalacak bir yapı için çimento seçiminin önemi büyüktür. Ancak, genel olarak, betonun veya betonarmenin dayanıklılığının sağlanmasında temel felsefe, kaliteli ve geçirimsiz beton kullanılmasıdır. Bu nedenle yıpratıcı etkinin kaynağı her ne olursa olsun, yüksek durabilite ve zırhlı beton için alınması gerekli genel önlemleri şu şekilde özetlenebilir:

- Çevresel etkinin şiddeti dikkate alınarak uygun beton sınıfı seçilmeli,
- Yapısal dizayn açısından ihtiyaç olmasa bile gereğinde beton kalitesi arttırılmalı (min 35 MPa),
- Ağır agregalar türü seçilmeli,
- Ayırışma ihtimaline karşı beton elyaf kullanılmalı,
- Çimento dozajı 350kg/m³'ün üstünde olmalı,
- Reaktif silisli agregalar kullanılmamalı,
- Agreganın D_{max} değeri büyük seçilmeli,
- Su/Çimento oranı en fazla 0.40 olmalı,
- Yüksek oranda C₃S içerikli ve yüksek incelikte öğütülmüş çimentolar tercih edilmeli,
- Beton elyafıyla güçlendirilmeli,
- Dolu/boşluksuz agregalar taneleri tercih edilmeli,
- Uygun bir işlenebilirlik ve yüksek bir beton yoğunluğu için tane dağılımı, mümkün olduğunca A/B gradasyon eğrileri arasındaki bölgede seçilmeli,
- İnşaat derzlerinden (soğuk derz) mümkün olabildiğince kaçınılmalı,
- Betonlar ilk 14 gün nemli olmalı,
- Nötron yakalama olasılığı daha yüksek katkı maddeleri kullanılmalı,
- Beton kalınlığı (çekirdek çap) en az 30cm olmalı,
- Paspayı, toprak veya su ile temas durumunda 5cm, açık havayla temas durumunda da en az 2cm alınmalı,
- Beton yüzeyine nitelikli su ve ısı yalıtımı uygulanmalı,
- Çelik donatı sınıfı BÇ-III olmalı,
- Taze betonların hızlı su kaybetmeleri engellenmeli,
- Beton yüzeyler parafinle kür edilmeli,
- Bor maddesinin saflaştırılmasıyla elde edilen bor türevli madde sodyum pentaboratlı betonların kullanılması.

- Betonun kompasitesi yüksek, porozitesi ise düşük olmalıdır [7, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 25, 27, 28, 31, 32, 35, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 71, 72, 73, 75, 86, 86, 88, 90 ve 92]

7. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan bu betimleme çalışması sonucunda, savunma ve sığınma yapılarının KBRN tehditlerine karşı yapılacak beton zırhlama çalışmaları için dikkat edilmesi gereken bazı genel hususlar, yaklaşımlar, elde edilen sonuçlar ve önerileri aşağıda özetlenmiştir.

Buna göre;

- Yapılan tüm silah kısıtlama anlaşmalarına karşın dünyadaki silah stokları, hala, dünya üzerindeki tüm yaşamı yok edecek boyuttadır. Nükleer silahların yarattığı tehdit ve verdiği hasarın boyutları, İkinci Dünya Savaşı'ndaki ilk kullanımlarından bu yana oldukça iyi anlaşılmiştir. Modern konvansiyonel silahların yok etme güçleri ve ne kadar etkili oldukları 90'lı yıllarda Ortadoğu'da ve hatta Avrupa'da yaşanan savaşlarda açıkça ortaya çıkmıştır.
- Son yıllardaki potansiyel tehlike, dünya çapında bir krizden ziyade hemen her yerde patlayabilecek bölgesel anlaşmazlıklardan kaynaklanacak tehdit senaryolarında görülmektedir. Günümüzde böyle bir yerel veya bölgesel çıkar ve anlaşmazlıklarda, gün geçtikçe etkinliği artan konvansiyonel silahların yanı sıra kimyasal ve biyolojik silahlar da kullanılacağı, kuvvetle muhtemeldir. Her halükarda en modern, hedefi şaşmayan silahlarla sadece askeri tesislerin vurulması durumunda dahi doğru-düzgün savunma ve sığınma yapılarına sahip olunmadığı takdirde yine siviller, modern savaşın gerçek kurbanları ve kaybeden tarafı olabileceklerdir [45].
- Ülkemizde ağır betonların üretim ve kullanımları çok sınırlı durumdadır. Ağır beton üretiminde barit, limonit, hematit, viterit, geotit gibi doğal agregalar ile demir saçmaları, kurşun parçacıkları, ferrosilikon ve ferrofosfor gibi yapay agregalarla olumlu sonuçlar almak mümkündür. Ayrıca bor minerali de bu amaç için kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan baryum sülfat esaslı barit minerali stabil olması nedeniyle betona zarar vermez ve betonun birim ağırlığı 3600kg/m³'e kadar çıkabilmektedir. Magnetit ve limonit ile üretilen betonların birim ağırlıkları da 3400-3600kg/m³ arasında olabilmektedir. Demir parçacıkları tek başlarına ya da diğer ağır agregalar ile kullanıldıklarında betonların birim ağırlıkları 5500-6500kg/m³ değerine yükselmektedir [25 ve 92].
- Geçmiş dönemlerde, bazı KBRN ajanlarının saldırı aracı olarak kullanıldığı olaylar bulunmaktadır. Bununla birlikte, gelişen teknoloji ve bilgiye ulaşımın kolaylaşması ile gelecek senaryosunda daha fazla ajanın, daha büyük riskler oluşturacağı düşünülmektedir [42].
- Yeterli koruma için normal beton koruyucu duvarların çok geniş olması ve aynı korumayı birim ağırlıklarının fazla olması nedeniyle daha ince perde duvarla sağlayan ağır betonlar önem kazanmıştır. Atomun parçalanmasından sonra açığa çıkan nötron ısınları hafif elementler tarafından, α , β , x ve γ ışınları ise ağır elementler tarafından tutulma özelliğine sahiptirler. Böylece düşük ve orta enerjili nötronların tutulmasında ve/veya yavaşlatılmasında gerekli olan hafif elementler, ağır betonun karma suyu bünyesinde hidrojen ve oksijen olarak bulunmaktadır.
- Radyasyon dozunu azaltan diğer bir yöntem olan zırhlama, radyasyon kaynağı ile kişi arasına bir engel konulmasıdır. Bu

engeli oluşturan materyal zırh olarak isimlendirilir. Muhtelif radyasyon kaynaklarından korunmanın bir yolu olarak, radyasyon zırhlama, çok disiplinlidir ve birçok geometrik dizayn ile oluşturulabilir. Genel olarak, yüksek yoğunluklu maddelerden yapılmış malzemeler özellikle X ve gama ışınlarına karşı etkili bir korunma sağlarlar. Savunma ve sığınma yapılarında ağır beton kullanımı önerilir.

- Birkaç on mikrometre kadar menzile sahip olmaları nedeniyle, alfa parçacıkları, ince bir tabaka ile kolayca zırhlanaabilir. Aynı durum diğer hafif iyonları zırhlama için de geçerlidir. Beta parçacıklarında ise zırhlama maksimum enerjilerine tekabül eden bir menzile eşit veya daha büyük kalınlıkta bir malzeme ile yapılabilir. Buna rağmen yüksek enerjili Beta parçacıkları (büyük Z'li maddelerde) bremsstrahlung ışını üretebileceğinden, Beta parçacıkları zırhlamada plastik, alüminyum ve diğer küçük z'li malzemelerden sonra, bremsstrahlung ve karakteristik x-ışınları için kurşun ya da benzeri yoğun malzemeler kullanılmalıdır [87].
- Modern bir sığınak, en zor koşullarda dahi insanların hayatta kalmasını sağlayacak komplike bir teknik sistemdir. KBRN farkındalık eğitimlerine hız ve önem verilmelidir.
- Mühendislik ve mimarlık eğitim ve öğretiminde müfredat programlarına seçmeli ders olarak yer alması sağlanmalıdır.
- Gelecekte meydana gelebilecek nükleer savaşlardan ve/veya nükleer santral kazalarından dolayı çevreye yayılan radyasyon etkisinden korunmak için sığınak gibi yapılar yapmak ve yapıların kayma-devrilme emniyetlerini daha ucuza sağlamak istekleri ağır betonların üretim ve kullanımının giderek yaygınlaşmasını gerektirmektedir. Oysa ülkemizde ağır beton üretimine elverişli doğal ağır agrega yatakları, bunların genel jeolojik, petrografik, mineralojik özellikleri ve rezervleri ciddi ve tutarlı yaklaşımlarla tam olarak bilinmemektedir. Bu da gelecekte araştırmaların bir kısmının bu alanda yapılmasının önemini ortaya koymaktadır [88].
- Ağır betonların üretiminde kullanılan ağır agrega granülometrilerinin boşluk oranını azaltacak ve çatlama riskini minimum düzeyde tutacak özellikte olması gerekmektedir. Söz konusu özellikte beton elde etme şansını yükseltmek için agreganın ince kısmının ayrılması ve betonun doğru olarak yerleştirilmesine imkan tanıyan minimum karma suyunun kullanılması uygun olmaktadır [88].
- Ağır beton, üretiminde kullanılan ağır agregalar dışında diğer malzemeler ve karışım oranları açısından normal betonlardan pek farklı değildir. Kullanılan agreganın granülometrisi taze betonda ayrılmaya neden olmayacak ve sertleşmiş betonun boşluk oranı en aza indirecek uygunlukta olmalıdır. Mümkün olan en yüksek birim ağırlığı sağlamak ve de betonda ayrılmayı önlemek için hem ince hem de iri agreganın yüksek özgül ağırlıklı kayaç ve minerallerden olması tercih edilmelidir. Ağır kırma agregaların genellikle düzgün olmayan şekillerde ve yüzeyleri çok pürüzlü olduğu için taze betonda kıvamı sağlamak için kumun inceliği artırılmalı ve çimento dozajı 350kg/m^3 değerinin üzerinde olmalıdır. Süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile istenen akışkanlıkta, S/Ç oranı 0.40'ın altında ve boşluk oranı ve çatlama riski en düşük düzeyde beton üretmek mümkündür. Ağır betonların taze haldeki işlenebilmesi sorun olabilmekte ve yerleştirme sırasında ayrışma oluşabilmektedir. Bu nedenle ağır betonların pompalanabilmesi ya da oluklar ile akıtılarak

yerleştirilmesi ancak kısa mesafeler ile sınırlı kalmaktadır. Ayrışma sorununu çözebilmek için bazı durumlarda prepakt tekniği uygulanabilmektedir. Dikkat edilmesi gereken önemli hususlar arasında karıştırma sürelerinin kısa tutulması, en fazla 25 cm kalınlığında tabakalar halinde dökülmesi, yerleştirme sırasında kısa süreli güçlü vibrasyon uygulanması ve kalıpların daha rijid olması sayılabilir. Diğer taraftan bazı bor minerali türevleri çimentonun hidrasyonunu yavaşlatıp priz sürelerini uzatabildiklerinden dolayı kullanımlarında dikkatli davranmak gerekmektedir [16, 88, 89, 90 ve 92].

- Radyasyona karşı koruma amaçlı olarak taşıyıcı olmayan kalın kütle beton duvarlar kullanılması durumunda beton basınç dayanımlarının yaklaşık 20MPa olması yeterli görülürken, taşıyıcı beton duvarlar kullanılması durumunda ise beton dayanımları 30-35 MPa arasında olması gerekmektedir. Diğer taraftan nükleer enerji santrallerinin beton reaktör silolarında özellikle ağır beton perdeler ve öngermeli beton reaktör silolarının kullanımı tercih edilmektedir. Bu betonlar 0.30-0.35 su/çimento oranında 7 günlük dayanımları 50-65 MPa ve 28 günlük dayanımları ise 60-75 MPa olacak şekilde üretilmelidirler. Ayrıca bu betonların normal şartlarda 70°C ve kaza anında çok daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı olacak şekilde üretilmeleri gereklidir [92].
- Radyasyona karşı koruma amaçlı olarak barit agregası ile üretilen ağır betonların elastisite modülleri kırmataş agregalı normal betona göre daha yüksek bulunurken, barit agregası kullanımı betonun ultrases hızı ile Schmidt sertliği değerlerini etkilememiştir. Barit agregalı ağır betonların γ -ışınlarını absorbe etme katsayısının kullanılan malzemeler ve karışım oranları ile değişimi birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve γ -ışını absorbe etme katsayısının beton birim ağırlığı ile doğrudan arttığı, su-çimento oranı ve basınç dayanımının önemli etkisinin olmadığı gözlenmiştir.
- Şekil 1'de de görüleceği üzere, alfa radyasyonu, ince bir kağıt tabakası veya cildimiz tarafından soğurulur. Beta radyasyonu, ince bir metal tabakası tarafından soğurulur. Gama radyasyonu giricilik özelliği daha fazla olup kurşun ve beton gibi yoğun malzemelerde soğurulur. Notron esaslı radyasyon ise parafin, beton, su gibi hidrojen zengin ortamlarda soğurulur.
- Balistik amaçlı yapılacak duvarlar ise en az BR4 seviyesinde olmalıdır. Ayrıca duvarlar ısı, ses, su ve yangın yalıtımı özelliklerine göre değişik malzemelerle zırhlmalıdır. Bu duvarlar mobil, prefabrik, demontabil durumlarında ST70 galvanizli çelik kafes donatısı ve yüksek çimento dozajlı püskürtme sıva katmanları ile en az BR4 seviyesinde balistik performansa sahip taşıyıcı duvar sistemli olmalıdır. Yani, mermi çekirdeği birinci beton katmanı geçebilse de ikinci katmanda kalmaktadır. Her bir m²'de en az 100 çapraz donatı ve en az 400 punto kaynağa sahip özel çelik kafes donatısına sahip olmalıdır. Diğer taraftan patlayıcılara karşı kolay parçalanmaz ve molozlaşmaz özellikler kazandırılmalıdır.
- Zaman, mesafe ve zırhlama şeklinde üç ana unsurdan oluşan radyasyondan korunmada, zırhlama, birey ile kaynak arasına zırhlama materyali koyularak, bireyin maruz kalacağı radyasyon dozu düşürülerek gerçekleştirilir. Zırhlama için kullanılacak malzeme yoğunluğu gama ve X-ışınlarının zırhlamasında önemlidir. Ağır agrega kullanılarak üretilen betonlar bu tür zırhlamada uygun malzemelerdir. Yapılarda kayma ve devrilmeye

karşı kullanılan ağır betonlar aynı zamanda radyoaktif elementlerin yaydığı öldürücü nötron ve gama ışınlarına karşı kullanılmaktadır. Ağır beton üretiminde barit gibi yoğunluğu 4000kg/m^3 'ün üzerinde olan ağır agregalar kullanılır. Ağır betonlar özellikle zararlı ışınlara (radyasyon kalkanı) karşı bir zırh perde oluşturmak amacıyla kullanılan, birim ağırlıkları $2.800\text{--}5.000\text{kg/dm}^3$ arasında olan betonlardır. Ağır beton üretiminde yararlanılan özel agregalar genellikle barit (BaSO_4) ve limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$), manyetit (Fe_3O_4) gibi demir cevherleri doğal agregaları veya demir kırıntılarını gibi sanayi artıkları olabilmektedir. Bor tuzları nötronların yutulmasında önemli rol oynadığı için betona katılan diğer bir malzeme olmaktadır [88, 89 ve 90].

- Üçüncü bölümde belirtilen (3.1. ve 3.2.) kimyasal ve biyolojik maddeler savunma ve sığınma yapılarında bulundurulmamalıdır. Bulunması elzem olanlar için ise Malzeme Güvenlik Bilgi Formları (MSDS) hazırlanmalı ve doğal bakış açısı mesafesinde duvarlara mekanik olarak tespit edilmelidir.

Sonuç olarak, zırhlama, KBRN kaynaklarının şiddetini ve zararlı etkilerini zayıflatmak için önüne konan veya onu çevreleyen engeldir. Kurşun, beton ve su radyasyona karşı oldukça iyi koruma ve şiddette azalmayı sağlamaktadır. Zırhlamada kullanılacak malzemelerin yüksek yoğunluklu malzemelerden seçilmiş olması özellikle X ve gama ışınlarına karşı etkili sonuçların alınmasına neden olacaktır. Bu nedenle savunma ve sığınma amaçlı yapılarda ağır agregaların ve hammaddesi polipropilen olan beton elyaflarının kullanımı oldukça önemlidir. Bu liflerin saha betonlarında kullanılması durumunda 19mm, şap betonlarında 12mm ve sıva işlerinde de 6mm boyutunda olması yeterlidir. Beton elyaf kullanımı sonucunda betonlarda önemli mukavemeti artışı hem de betonda mikro çatlak önlenerek dolaylı bir zırhlama elde edilmiş olacaktır. Bu bağlamda en etkinli ve verimli beton zırhlamanın; ağır agrega kullanımlı, yüksek kompasiteli, tercihen bor mineral katkılı, S/Ç oranı düşük, soğuk derzsiz, en az 60cm çekirdek çaplı ve en az 350kg/m^3 çimento dozlu betonlarda yapılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] URL-1. (1988). Sığınak Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 25.08.1988 Resmi Gazete Sayısı: 19910.
- [2] URL-2. (2019). Sığınak İhtiyacı ve Tehditler. <http://www.meteksistem.com/siginak-ihtiyaci-ve-tehditler.html> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2019) (Erişim: 24 Mart 2019).
- [3] URL-3. (2019). Sığınaklar. <https://www.afad.gov.tr/tr/23445/Siginaklar> (Erişim: 24 Mart 2019).
- [4] Johns, H.E. ve Cunningham, J.R., (1983). The Physics of Radiology, C. Thomas Publishers.
- [5] TAEK. (1999). Nükleer Enerji, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi. Bilgiler-Haberler, Sayı: 57.
- [6] Hızarcı, S., (2019). Radyasyon Kaynakları ve Radyasyondan Korunma. http://www.cyg.gov.tr/CYGM/Files/Guncelbelgeler/Radyasyon_olcum_sunum.pdf
- [7] Kılınçarslan, Ş., (2004). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması, (Doktora Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C. ve İskender Akkurt, İ., (2007). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 22(2):393-399.

- [9] AFAD, (2019). İçsel ve Dışsal Radyasyondan Korunma. <https://www.afad.gov.tr/tr/23729/Icel-ve-Dissal-Radyasyondan-Korunma-Ait-Tehdit-Değerlendirmesinde-Risk-Analizi-ve-Yönetimi>. Güvenlik Bilimleri Dergisi, Kasım 2012, 1(1):79-94.
- [10] Mülayim, S. ve Diğ. (2019). Aktif Ol Radyoaktif Olma! tip.kocaeli.edu.tr/docs/todup/todup16-17/C4aktifolradyoaktifolma.pptx
- [11] Kaçar, A., (2006). Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Isparta: SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] URL-11. (2019). Toksik Endüstriyel Kimyasallar. <https://www.afad.gov.tr/tr/23671/Toksik-Endustriyel-Kimyasallar>
- [13] Yazar, Y., (1994). Kolemanitli Betonların Nötron Zırhlama Etkinliğinin ve Aktivitesinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü.
- [14] Onur, S., (2002). Gama Radyasyonu Zırhlaması Amacıyla Farklı Betonların Değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü.
- [15] Kan, Y-C., Pei, K-C. ve Chien, C-L., (2004). Strength and Fracture Toughness of Heavy Concrete with Various Iron Aggregate Inclusions, Nuclear Engineering and Design, (228):119-127.
- [16] Sakr, K. ve El-Hakim, E., (2005). Effect of High Temperature or Fire on Heavyweight Concrete Properties, Cement and Concrete Research, (35):590-596.
- [17] Kılıçarslan, Ş., (2008). Ağır Betonların Radyasyon Zayıflatma Katsayılarının Belirlenmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımı. Engineering Sciences, 3(2):171-180.
- [18] Turhan, Ş., Yücel, B. ve Arıkan, İ.H., (2009). Türkiye'deki Kömür Yakıtlı Termik Santrallerden Elde Edilen Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanılabilirliğinin Radyolojik Açından Değerlendirilmesi. Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- [19] Kıpçak, A.S., (2009). Bazı Bor Bileşiklerinin Nötron Zırhlamasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [20] Yıldız, S., Bölükbaş, Y. ve Keleştemur, O., (2010). Cam Elyaf Katkısının Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisi. Politeknik Dergisi, 13(3):239-243.
- [21] Bayasi, Z. and Soroushian, P., (1991). Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, (88): 129-134.
- [22] Kützing, L. and König, G., (1999). Design Principles for Steel Fibre Reinforced Concrete, A Fracture Mechanics Approach, University of Leipzig.
- [23] Suaris, W. and Shah, S.P., (1982). Strain Rate Effects in Fiber Reinforced Concrete Subjected to Impact and Impulsive Loadin", Composites, 153-159.
- [24] Akyıldırım, H. ve Akkurt, İ., (2011). Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması, (Doktora Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] Özturan, T., (2013). Özel Betonlar. Hazır Beton Dergisi, (2013 Temmuz-Ağustos):70-83.
- [26] Çetin, H., (2011). Tıbbi Amaçlı X Işını Uygulamalarında Radyasyondan Korunmak Amacıyla Kullanılan Kurşunlu Önlük Malzemelerine Alternatif Olarak Üretilen Kurşunsuz Örneklerin Soğurma Özelliklerinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

- [27] Akkurt, İ., Başyiğit, C., Mavi, B., Günoğlu, K., Kılınçarslan, Ş., ve Akkaş, A., (2011). Ağır Agregaların Radyasyon Zırhlama Özellikleri. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4):1A0254.
- [28] Kılınçarslan, Ş., Sancar, S. ve Uzun, İ., (2011). Barit Agregalı Ağır Betonların Betonarmede Kullanılabilirliği. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011
- [29] Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C., Molla, T. ve Sancar, S., (2011). Radyoaktif Işınlardan Korunaklı Ekolojik Yapılar. *Politeknik Dergisi*, 14(2):93-99.
- [30] Başyiğit, C., Kaçar Akkaş, A. ve Kurtarıcı, M.N. (2012). Betonların Radyasyon Zırh Kalınlıklarının Yapay Sinir Ağları ve Çoklu Regresyon Metotlarıyla Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1):77-81.
- [31] Binici, H., Küçükönder, A., Sevinç, A.H., Eken, M. ve Kara, M., (2013). Hafif ve Ağır Malzemelerin Isı, Ses ve Radyasyon Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2):113-123.
- [32] Yaltay, N., (2015). Kolemanit Katkılı Çimento İle Üretilen Pomza Agregalı Hafif Betonun Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, (Doktora Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [33] Darıyer, D. ve Küçer, R., (2015). Farklı Yoğunluktaki Malzemelerin Nötron Zayıflatma Özelliklerinin İncelenmesi. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10(1):49-53.
- [34] Aygün, B., (2015). Nükleer Uygulamalarda Radyasyon Güvenliği Amacıyla Yeni Kalkan Malzemelerin Deneysel ve Monte Carlo Simülasyon Kodları (Cern-Fluka ve Geant4) İle Belirlenmesi ve Fabrikasyonu, (Doktora Tezi). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35] Ünal, O., (1994). Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi, (Doktora Tezi), İstanbul: Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] Özge Kılıçoğlu, Ö., Tekin, H.O. ve Viswanath P. Singh, V.P., (2019). Farklı Türdeki Betonların Kütle Zayıflatma Katsayılarının Monte Carlo Metodu ile Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2019(15): 591-598.
- [37] Ekinci, C.E., (2018). Fen ve Mühendislik Bilimleri İçin Bilimsel Araştırma Yöntemleri (3.Baskı). Ankara: Data Yayınları
- [38] AFAD, (2014). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü, Ankara: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- [39] Ütük, U., (2018). KBRN Tehdit ve Tehlikelerden Kaynaklı Zararlar Nedeniyle İdarenin Risk İlkesine Dayalı Sorumluluğu. *Dirençlilik Dergisi*, 2(1): (39-56).
- [40] URL-15. (2019). <https://www.afad.gov.tr/tr/23669/Kimyasal-Tehditler>
- [41] URL-10. (2019). Kimyasal Savaş Ajanları. <https://www.afad.gov.tr/tr/23670/Kimyasal-Savas-Ajanlari>
- [42] Ekşi, A., (2016). KBRN Terörizminde Risk Değerlendirmesi ve Yönetimi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(42).
- [43] URL-12. (2019). Evlerde Kullanılan Tehlikeli Kimyasallar Nelerdir? <https://www.bilgiustam.com/evlerde-kullanilan-tehlikeli-kimyasallar-nelerdir/>
- [44] URL-13. (2019). http://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/e0f05f77c1b19d1_ek.pdf?tipi=2&turu=H&sube=7
- [45] Erkekoğlu, P. ve Koçer-Gümüşel, B., (2018). Kimyasal Savaş Ajanları: Tarihçeleri, Toksisiteleri, Saptanmaları ve Hazırlıklı

- Olma. Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy, Review Article, 38(1):24-38.
- [46] Kenar, L. ve Karayılanoğlu, T., (2007). Kimyasal Silahlar, Afet Tıbbı Cilt:II. (Ed; M.Eryılmaz ve U.Dizdar). Ankara: Ünsal Yayınları
- [47] Ashcroft, J., Daniels, D.J. ve Hart, S.V., (2002). Guide for the Selection of Personal Protective Equipment for Emergency First Responders, National Institute of Justice, Washington, USA.
- [48] Kenar, L., (2002). Bir NBC Atağı Karşısında Ülkemiz İçin Ulusal NBC Savunma ve İlk Yardım Sisteminin Oluşturulması, (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Ankara: Gülhane Askeri Tıp Akademisi.
- [49] Kiremitçi, İ., (2014). Küresel Boyutta Biyolojik Terör Tehdidi. Savunma Bilimleri Dergisi, 13(2):27-58.
- [50] Yüksel, O. ve Erdem, R., (2016). Biyoterörizm ve Sağlık. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 19(2):203-222.
- [51] Bağdatlı, Y. ve Çeviker, K., (2009). Biyolojik Silahların Kişi, Toplum ve Ülke Açısından Değerlendirilmesi. I. Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer (KBRN) Kongresi, İstanbul.
- [52] Seyhan, E. ve Sarı, G., (2012). Terör Maksatlı Biyolojik-Kimyasal Saldırılarına Ait Tehdit Değerlendirmesinde Risk Analizi ve Yönetimi. Güvenlik Bilimleri Dergisi, 1(1):79-94.
- [53] Takafuji, E.T. and Kok A.B. (1997). The Chemical Warfare Threat and The Military Healthcare Provider, Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare, Walter Reed Army Medical Center, Washington, USA.
- [54] Özbek, M., (2016). Radyolojik Tehditler Giriş Radyolojik Olayların Tarihçesi. <https://slideplayer.biz.tr/slide/9238238/>
- [55] Taner, A.C., (2019). Yeni Kuşak Radyasyon Teknolojileri Uygulamaları ve Kobalt-60 (Co-60) Gama Işınlama Tesisleri. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. www.fmo.org.tr/wp-content/belgeler/yeninesilkargondongusu.doc (E.T.: 29.04.2019)
- [56] Sağlam, Y., (2018). Radyasyondan Korunma. VKV Amerikan Hastanesi. http://www.rttder.org.tr/wp-content/uploads/2018/03/radyasyondan-korunma-8.4.2018.yucel_.pdf
- [57] Ayan, A. ve Dönmez, S., (2018). Radyolojik Nükleer Kaza ve Terör Olaylarında Tıbbi Yönetim. Ankara Eğt. Arş. Hast. Dergisi, 51(2):154-162.
- [58] Demirci, S., (2012). Nükleer Terörizm ve Tehdit Boyutlarına Yönelik Çıkarımlar. Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 3(1):59-84.
- [59] Küçük, B., (2000). Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler. Pamukkale Üni. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1):79-85.
- [60] Yılmaz, M. ve Yıldız, S., (2015). Askeri Binalar İçin Sürdürülebilirlik Ölçütleri. Savunma Bilimleri Dergisi. 14(2):165-188. ISSN(Basılı):1303-6831. ISSN (Online): 2148-1776.
- [61] Cabi Değerli, F. ve Umuroğulları, F., (2017). Binalarda Radon ve Sağlık Üzerindeki Etkileri. Yeşil Bina Dergisi. Sayı: 264.
- [62] Erdoğan, T.Y., (1995). Betonun Oluşturan Malzemeler, Karışım ve Bakım Suları, Agregalar, Çimentolar. Ankara: ODTÜ
- [63] Ekinci, C.E., (2016). Yapı. Ankara: Data Yayınları.
- [64] Oymael, S., (2018). Beton. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [65] Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., (2010). Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). İstanbul: THBB Yayınları.
- [66] Cilason, N. ve Aksoy, N., (2000). Beton Yapı Hasarları Onarım ve Korunması ve Sıcak İklimlerde Beton, http://www.academia.edu/1534146/Beton_Yapi_Hasarlari_Onarim_ve_Korunmasi_ve_Sicak_Iklimlerde_Beton.

- [67] Baradan, B. ve Aydın, S., (2013). Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). Hazır Beton Dergisi, (54 (Kasım-Aralık):54-68.
- [68] Burhan, K., (2013). Betonda Durabilite. Lisans Tezi. Kırklareli: Kırklareli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.
- [69] Ünal, O., İçağa, Y. ve Çoşkun, A., (2016). Barit Agregalı Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması. AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 015602 (125-131)
- [70] Salgın, B., (2007). Brüt Beton, Brütalizm ve Türkiye Örnekleri, (Yüksek Lisans Tezi). Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [71] Neville, A.M., (1981). Properties of Concrete, Longman Scientific and Technical, 3rd Edition.
- [72] Çoşkun, A., (2010). Ağır Betonlarda Barit Agregasının Kullanımı ve Beton Özelliklerinin Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi). Afyonkarahisar: Afyonkocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [73] Kozak, M., (2013). Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. SDU Teknik Bilimler Dergisi, 3(5):26-35.
- [74] Bentur, A. ve Mindess, S., (1990). Fiber Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science, London.
- [75] Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., (2015). Beton (2.Baskı). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- [76] Bulakbaşı, N., (2015). Radyolojide Zırhlama (Ders Notları: <https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/Radyolojide-Z%C4%B1rhlama-Nail-Bulakba%C5%9F%C4%B1.pdf>). Yakın Doğu Üniversitesi.
- [77] Kanvas Beton (2019). Beton Kumaş Barınak Zırhlama. <http://kanvasbeton.com/Z%FDzrhlama.php>
- [78] URL-7. (2019). <https://www.kursunpanel.com/kursunlu-urunler/kursun-tugla/>
- [79] URL-8. (2019). Kurşun Tuğla. <http://www.senoldisli.com/tr/kursun-tugla.html>
- [80] URL-9. (2019). <https://www.madoors.com.tr/urun/bina-dis-cephe-balistik-zirh-kaplama>.
- [81] URL-4. (2019). ERYAP: <http://www.eryap.com.tr/ProjeDetay.aspx?id=30> (Erişim Tarihi: 24 Mart 2019).
- [82] URL-5. (2019). Sığınak Alanının Kaldırılması Mümkün Müdür? <https://3dkonut.com/siginak-alaninin-kaldirilmesi-mumkun-mudur-/haberi/>
- [83] URL-6. (2019). <https://www.haberturk.com/yasam/haber/1377489-savas-korkusu-siginak-satislarini-arttirdi>
- [84] İçemer, Ö., (2018). Radyasyona Karşı Ağır Beton. Hazır Beton Dergisi, (2018 Eylül-Ekim):71-79.
- [85] Martin, J.E., (2013). Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği (Çev.: G.Tanır, M.H.Bölükdemir, K.Koç). Ankara: Palme Yayınları.
- [86] Akgün, Y., Durmuş, A. ve Durmuş, A., (?). Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3173.pdf>
- [87] Alam, M.N., Mahi, M.M.H., Chowdhury, M.I., Kanal, M. ve Rahman, R., (2001). Attenuation Coefficients of Soils and Some Building Materials in Energy Range 276-1332keV, Applied Radiation and Isotopes, (54):973-976.
- [88] Akkurt, I., Başığit, C., Kılınçarslan, S. ve Mavi, B., (2003). The Shielding of γ -rays by Concretes Produced with Barite, Progress in Nuclear Energy, (46):1-11.
- [89] Mostofinejad, D., Reisi, M., Shirami, A., (2012). Mix Design Effective Parameters on J-ray Attenuation Coefficient and



-
- Strength of Normal and Heavyweight Concrete, Construction and Building Materials, (28):224-229.
- [90] Topçu, İ.B., (2006). Beton Teknolojisi, Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim.Fak.
- [91] Kılıçarslan, S. ve Seven, A., (2014). Baritli Hazır Sıva Kaplamalarının Radyasyon Zırh Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(3):9-14.
- [92] Akyol, B., (2015). Radyoterapi Merkezi İnşaatlarında Malzeme Seçiminin Tasarıma Etkisinin Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.