



⁶⁰Co Radyoaktif Nokta Kaynağı ile Uçucu Külün Gama Radyasyon Koruma Özellikleri

Gökhan Külekçi^{1*}

^{1*} Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2971-4045),
gkulekci@gumushane.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 8 Haziran 2021 ve Kabul Tarihi 16 Ağustos 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.949686)

ATIF/REFERENCE: Külekçi, G. (2021) ⁶⁰Co Radyoaktif Nokta Kaynağı ile Uçucu Külün Gama Radyasyon Koruma Özellikleri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 145-151.

Öz

Gelişmekte olan beton teknolojisi sayesinde hafif beton ve uçucu kül betonla ilgili birçok alanda kullanılabilir. Dünyanın güncel sorunlarından olan radyasyondan, korunmak için birçok araştırmacı uçucu külü kullanmış fakat çok az sayıda araştırmacı hafif beton üzerinde çalışmıştır. Radyasyonun etkilerinden korunmak için araştırmacılar ağır beton ve ağır agregalar kullanılarak gama ışını soğurma miktarlarını incelemiştir. Bu çalışmada c sınıfı uçucu kül, çimento yerine %30-50-100 dozajlarında kullanılarak 3 farklı hafif beton hazırlanmıştır. 50*50*50 mm boyutlarında hazırlanan kompozit bloklar üzerinde yoğunluk ve basınç dayanımı deneyleri yapılmış, doğrusal zayıflama katsayısı (cm⁻¹), kütle zayıflama katsayısı (MAC) ve onuncu katman değeri (TVL) (cm) gibi radyasyon etkileşim parametreleri ölçülmüştür. Radyasyon etkileşim parametreleri HP Ge gama dedektörü kullanılarak elde edilmiştir. Radyasyon ölçümleri için 1173 keV (⁶⁰Co) ve 1332 keV (⁶⁰Co) olarak 2 farklı foton enerjisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda uçucu kül içeriği arttıkça basınç dayanımının azaldığı, hazırlanan kompozitlerden %100 uçucu kül içeren örneklerin basınç dayanımının en az olduğu, uçucu kül miktarı düştükçe yoğunluğun arttığı belirlenmiştir. Hazırlanan kompozitlerde enerji seviyeleri arttıkça doğrusal zayıflama katsayısı arttığı görülmüştür. Bu çalışma sayesinde birçok alanda kullanılan uçucu küllerin radyasyon kalkanı olarak kullanılabilceği ortaya konmuştur. Ayrıca bu çalışma ile radyasyon kalkanı üretiminde, ağır agrega kullanılmaması ve hafif beton üretilmesi nedeni ile kalkan üretim maliyeti önemli derecede düşecektir

Anahtar Kelimeler: Doğrusal zayıflama katsayısı, Gamma radyasyon kalkanı, Hafif beton, Uçucu kül.

Gamma Radiation Shielding Properties of Fly Ash With ⁶⁰Co Radioactive Point Source

Abstract

With the help of the developing concrete technology, light concrete and fly ash may be used in several concrete-related fields. Many researchers have used fly ash to protect against radiation, which is one of the current problems of the world, but very few researchers have worked on lightweight concrete. In order to protect from the effects of radiation, the researchers investigated the gamma ray absorption amounts by using heavy concrete and heavy aggregates. In this study, by using Class C fly ash at the doses of 30-50-100% instead of cement, 3 different light concretes were prepared. Density and compressive strength experiments were conducted on the composite blocks prepared with dimensions of 50*50*50 mm, and linear absorption coefficients (cm⁻¹), mass attenuation coefficients (MAC) and Tenth value layer (TVL) radiation interaction parameters were measured. Radiation interaction parameters were obtained using an HP Ge gamma detector. For radiation measurements, 2 different photon energies as 1173 keV (⁶⁰Co), and 1332 keV (⁶⁰Co) were used. As a result of the analyses, it was determined that compressive strength decreased as the fly ash content increased, the lowest compressive strength values were obtained in the samples containing 100% fly ash among the prepared composites, and density increased as the fly ash content decreased. It was observed that, in the prepared composites, as the energy levels increased, the linear absorption coefficients also increased. With this study, it was revealed that fly ashes that are used in many fields could be used as a radiation shield. Additionally, with this study, due to not using heavy aggregates and due to production of light concrete in the production of radiation shields, the cost of shield production will significantly decrease

Keywords: Liner absorption, Gamma radiation shielding, Lightweight concrete, Fly ash

* Sorumlu Yazar: gkulekci@gumushane.edu.tr

1. Giriş

Radyasyon kaynakları gelişen teknoloji ile birlikte nükleer santraller, uzay araştırmaları, tıp ve tarım gibi birçok sektörde kullanılmaya başlamıştır (Mann vd., 2010). Radyasyonun insanoğlunun hayatına bu denli fazla girmesi sonucu, insanoğlu radyasyondan korunmak için farklı arayışlara girmiştir. Birçok araştırmacı uygulanabilirliği ve dayanıklılığı nedeni ile beton, çimentolu kompozit gibi ürünleri radyasyon kalkanı olarak tercih etmektedir (Mehta ve Monteiro 2006; Singh vd.,2014; Belgin ve Aycik,2017; Sanjuán vd.,2021). Son zamanlarda yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunun da yüksek yoğunluğundan dolayı ağır betonlar üzerine odaklanılmıştır (Mheemmed vd., 2012; El-Mahllawy, 2008; Sarkar vd., 2010; Rondi vd., 2016; Nadeem ve Pofale 2012; Ahmedzade ve Sengoz 2009; Ouda, 2015; Alwaeli, 2016). TS EN 206:2013+A1, standartlarında yoğunluğu 800 kg/m³ 'ten büyük olup 2000 kg/m³ 'ü geçmeyen betonlar hafif beton, 2001 kg/m³ 'ten büyük 2500 kg/m³ arasına normal beton, 2500 kg/m³ 'ten büyük betonlara ise ağır beton olarak tanımlanır (TS EN 206, 2017). Ağır ve hafif beton gibi özel betonları farklı özellikteki agregalar kullanarak, katkı malzemesi ekleyerek veya yapım yöntemi değiştirilerek üretilebilir. Yakın zamanda, radyoaktif radyasyonların zayıflaması üzerine ağır agregaların (kolemanit, manyetit, hematit, kurşun-çinko, barit gibi) etkisi üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Kishore, 2013; Davraz vd., 2017). Dong vd. (2016), ağır manyetit betonun yoğunluğunun, basınç dayanımının ve elastisite modülünün azalan w / c oranıyla arttığını, Ouda (2015), ağır manyetit betonun, ağır barit ve götüt betonlara göre gama ışınlarına karşı daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere ve daha yüksek radyasyon zayıflama gücüne sahip olduğunu, Horszczaruk vd. 2015, ağır manyetit agregalarının uygulanmasının, yüksek sıcaklığın koruyucu betonun mekanik özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri azaltabileceğini bulmuşlardır. Çullu ve Bakırhan 2018, yaptıkları çalışmada ağır agregalı (kurşun-çinko) betonlarda betonun dayanım derecesi ile radyasyon soğurma katsayısının etkilediğini belirtmişlerdir. Radyasyon zirhlayıcı malzeme üretirken doğal agrega yerine ağır agregaların kullanılması hem maliyeti artırmakta hem de doğal kaynakları tüketilmesine neden olmaktadır (BIS, 2009; Esen ve Doğan, 2008). Bu nedenle radyasyon zırhı olarak üretilecek kompozitlerde, atık ve endüstriyel yan ürünlerin kullanımı sağlanmalıdır. Bu kullanım sayesinde, bertarafı küresel olarak büyük bir sorun olan atıklara ve yan ürünlere alternatif kullanım alanı sağlanacak ve maliyet önemli ölçüde düşürülecektir. Bu konuda yapılan çalışmalar az olmakla birlikte, çimento yerine veya ikame olarak öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı, dökümhane kumu, çimento fırın tozu ve uçucu kül gibi yan ürünler incelenen başlıca malzemelerdir (Singh vd.,2014; Çullu ve Bakırhan 2018; Ameri vd., 2020).

Çeşitli katkılar arasında uçucu kül, puzolanik yapısı nedeniyle en uygun olanıdır. Uçucu kül sadece dolgu görevi görmez, aynı zamanda bir bağlayıcı özelliği de taşır. Çimentonun hidratasyonu sırasında açığa çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek betonun uzun yaş dayanımını olumlu yönde etkiler (Küleççi, 2018). Uçucu külün radyasyon önleme özelliğini birçok araştırmacı çalışmıştır (Singh vd., 2003; Ignjatovic vd., 2017; Gerasimova, 2016; Küleççi, 2021b). Bazı araştırmacılar farklı oranlarda çimentoya ilave olarak uçucu kül kullanmışlardır. Sonuç olarak uçucu külün dayanımı ve mekanik özellikleri olumlu yönde artırdığı görülürken radyasyon kalkanına çok az etki yaptığını raporlamışlardır (Singh vd.,2014;

Küleççi, 2018). Ayrıca birçok araştırmacı uçucu külün fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir (Singh vd., 2003; Ignjatovic vd., 2017).

Literatürde yapılan çalışmaların genelinde yoğunluğu yüksek ağır beton kullanılmıştır (Esen ve Doğan, 2008; Ignjatovic vd., 2017; Gerasimova, 2016). Bu çalışmada ise düşük yoğunluklu hafif beton kullanılmıştır. Bu açıdan hafif betonda yapılan ilk çalışmalardandır (Küleççi, 2021b). Maliyeti düşürmek, doğal kaynakların kullanımını azaltmak ve çevresel açıdan zararlı olan yan ürünlerin kullanım alanlarını artırmak için, daha ucuz malzemeler kullanarak radyasyon koruyucu kompozitler geliştirmeye ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, çimento yerine yüzde 30, 50 ve 100 oranlarında uçucu kül kullanılarak 50*50*50 boyutlarında 12 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler için mekanik özellikler, yoğunluk ve basınç dayanımı ölçülmüştür. Bu mekanik özelliklerin yanı sıra, hazırlanan numuneler için radyasyon etkileşim parametrelerinden; doğrusal (μ) ve kütle zayıflama katsayısı (MAC), onuncu katman değeri (TVL) ⁶⁰Co radyasyon kaynağı kullanılarak 1173 keV ve 1332 keV foton enerjisinde hesaplanmıştır.

1.1. Teorik Bilgi

Radyasyon kalkan malzemesinden gama ışını zayıflamasının özellikleri, doğrusal zayıflama katsayısı (μ), onuncu değerli katman (TVL) ve ortalama serbest yol (MFP) gibi çeşitli fiziksel parametreler hesaplanarak test edilebilir. Bunlar bir malzemedeki gama radyasyonunun karakterizasyonunda önemli parametrelerdir. Bu parametreler, yollanan radyasyon enerjisine, kütle yoğunluğuna ve malzemenin atom numarasına bağlı olarak farklılık gösterir. Bunları hesaplamak için kullanılan formüller aşağıda verilmiştir (Gökçe vd., 2020).

Doğrusal zayıflama katsayısı Bira-Lambert yasası ile belirlenebilir:

$$I=I_0e^{-\mu x} \quad (1)$$

Burada μ belirli bir gama ışını enerjisi için doğrusal zayıflama katsayısıdır. I_0 ölçüm cihazının boş durumdaki ilk sayımı, X radyasyon kalkanı olarak kullanılacak malzemenin kalınlığı, I ise yalıtım malzemesi varken okunan enerjidir.

Kütle zayıflama katsayısı (MAC) aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$MAC=\mu/\rho=[1/(\rho x)]*\ln(I_0/I) \quad (2)$$

Burada ρ , malzemenin fiziksel yoğunluğudur.

Onuncu katman kalınlığı (TVL), bir malzeme için radyasyon yoğunluğunu onda bir oranında azaltmak için kullanılması gereken minimum kalınlığıdır. Bu değer denklemle hesaplanabilir:

$$TVL=2.30/\mu \quad (3)$$

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 R (TS EN 197-1) sınıfı çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun

Tablo 1. Uçucu kül ve çimentonun kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri.

	Kimyasal içerik (%)			Fiziksel özellikler	
	Uçucu kül	Çimento		Uçucu kül	Çimento
SiO ₂	23.08	18.59	Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.44	3.05
Al ₂ O ₃	6.25	4.69	Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	2496	4145
Fe ₂ O ₃	2.58	3.04	Öğütme süresi (min.)	30	-
MgO	1.6	1.92	7 günlük pozzolanik aktivite (MPa)	15.8	-
CaO	47.03	60.34	Kalsinasyon derecesi (0C)	-	800-1000
Na ₂ O	0.32	0.11			
K ₂ O	0.47	0.64			
LOI*	3.95	7.19			

* Kızdırma kaybı

2.2. Metot

2.2.1. Deneysel numunelerinin hazırlanması

Araştırmada kullanılan beton numuneleri 30FA, 50FA, 100FA olmak üzere üç grup halinde tasarlanmış ve hazırlanan kompozitler üzerinde radyasyon kalkanlama ve mekanik testler yapılmıştır. Çimento yerine farklı oranlarda (%30-50-100) uçucu kül kullanılarak 50 * 50 * 50 mm boyutlarında 21 kompozit numune hazırlanmıştır. Karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir.

2.2.2. Yoğunluk analizi

Üretilen numunelerin yoğunluğu TS EN 2823 standartına göre belirlenmiştir (TS EN 2823, 2011). Her grup kendi içerisinde yoğunluk hesabı yapılmış ve ortalamanın %7'sinden fazla veya az değerler hesaplamaya katılmamıştır.

2.2.3. Basınç dayanımı

5×5×5 cm büyüklüğündeki numunelerin tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanım deneyi TS EN 2823 göre belirlenmiştir.

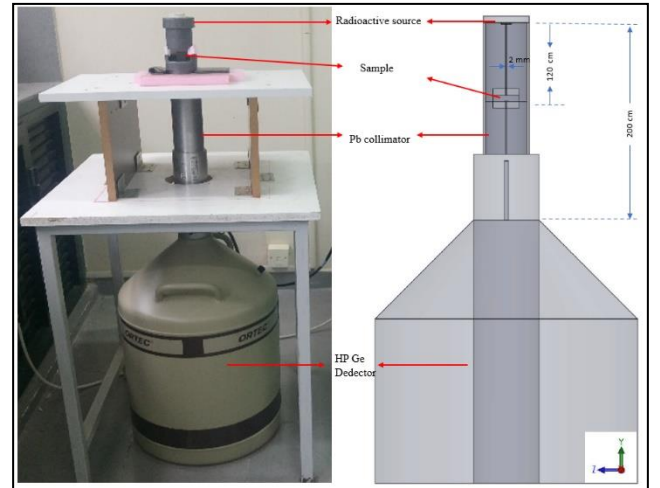
2.2.4. Radyasyon geçirgenliği

Hazırlanan beton kompozitlerin radyasyon geçirgenlikleri, ⁶⁰Co radyo izotopu kullanılarak 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerinde test edilmiştir. Bu deneyler ile doğrusal zayıflama katsayısı (μ), kütle zayıflama katsayısı, onuncu tabaka yarılanma kalınlığı (TVL) parametreleri 2 farklı foton enerjisinde belirlenmiştir. Ölçümlerde HP Ge detector kullanılmıştır. Kullanılan dedektörün özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Öncelikli olarak dedektör boş çalıştırılmış ve sayım yapılmıştır daha sonrasında örnekler hazneye konarak sayım yapılmış ve formüller yardımı ile kompozit malzemelerin radyasyon geçirgenliği ölçülmüştür.

kimyasal, fiziksel ve basınç özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Külekçi, 2013).

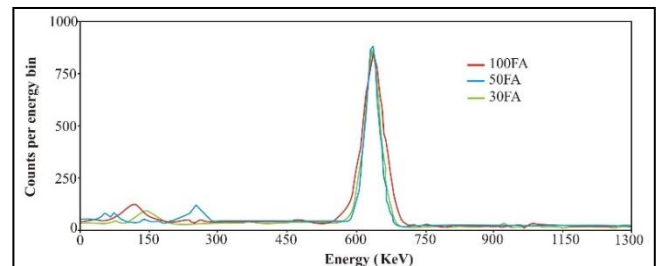
2.1.2. Uçucu Kül

Bu çalışmada termik santralden elde edilen pozzolan katkı maddesi C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün kimyasal, fiziksel ve mineralojik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Radyasyon geçirgenlik ölçümü için deneysel düzeneğin şematik görünümü ve örnek enerji pik grafiği.

Denyde dar ışın geometrisi yöntemi kullanılmıştır. Radyasyon geçişini görmek için örnekler inceltilecek Şekil 1'de görülen düzende yerleştirilmiştir. Her bir kompozit grubu için üç ölçüm olmak üzere toplam 9 ölçüm yapılmıştır. Detektörde okunan örnek spektrum dağılımları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Veri toplama sistemi ile kaydedilen örnek bir spektrum.

Tablo 2. Karışım oranları

Malzemeler	Yoğunluk (kg/m ³)	Örnek Kodları/Üretilen adet					
		100FA/ 7 adet		50FA/ 7 adet		30FA/ 7 adet	
		Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)
Kum	2.18	727	1585	741	1615	745	1625
Uçucu kül	2.44	123	300	61	150	37	90
Çimento	3.08	0	0	49	150	68	210
Su	1	150	150	150	150	150	150
W/C		0.5		0.5		0.5	
Toplam		1000	2035	1001	2065	1000	2075

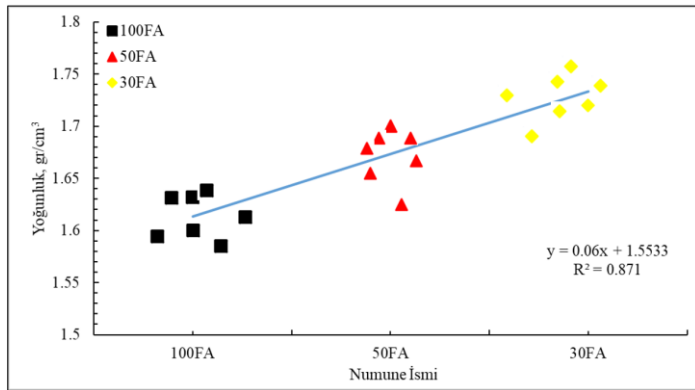
Tablo 3. Ölçümlerde kullanılan HP Ge dedektörünün parametreleri (Çelik, 2012)

Tür	Kristal çapı	Kristal aktif hacim	Kristalin boyu	Giriş penceresi	Giriş penceresi kalınlığı	Ge ölü tabaka kalınlığı	Verimlilik
p	7.3 cm	201.9 cm ³	0.5 cm	Al	1 mm	600 µm	55%

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Uçucu kül kullanılarak üretilen 15 kompozit üzerinde 3 farklı kür süresi (3-7-28 gün) sonrasında yoğunluk ve basınç mekanik deneyleri, 28 günlük kürlenme işlemi sonrasında doğrusal zayıflama katsayısı (μ), kütle zayıflama katsayısı ve onuncu kat değer katmanı (TVL), değerleri ölçülmüştür. Ölçüm işlemi 60Co kaynağı kullanılarak 1173 keV, 1332 keV olmak üzere 2 farklı foton enerjisinde test edilmiştir.

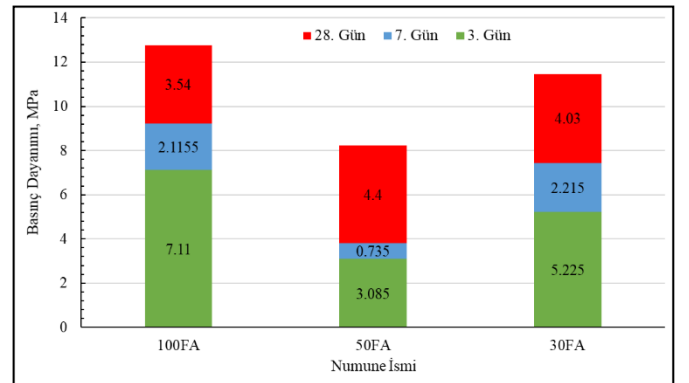
Yapılan çalışmalarda, kompozitlerin uçucu kül içeriği ile yoğunluklarının ters orantılı olduğu görülmüştür. Uçucu kül oranının %100 olduğu 100FA numunelerinde kompozit yoğunluğu 1.6 g/cm³ olurken 30FA numunelerinde yoğunluk 1.72 g/cm³ olarak ölçülmüştür. (Şekil 3). Ayrıca yapılan çalışmada kompozit yoğunluklarının 1,8 g/cm³ den düşük olduğu ve hafif beton sınıfına girdiği ortaya konmuştur (TS EN 206, 2017).



Şekil 3. Kompozit malzemelerin ortalama yoğunluğu ve standart sapma değerleri.

Literatürde yapılan gama soğurma çalışmalarının, büyük bir çoğunluğunun ağır betonlar üzerinde yapılması nedeni ile bu çalışma ender çalışmalardandır.

3 karışım oranı ile farklı kür süresinde yapılan basınç dayanım deneyi sonucunda 30FA kompozit malzemelerin dayanımlarının bütün kür süreleri için en fazla dayanım sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte %100 uçucu kül (100FA) içerikli kompozitlerin 3 gün sonra da 3.09 MPa, 28 gün sonunda ise bu değeri %166 artarak 8.22 MPa değerine ulaştığı ve serideki en düşük dayanımı ürettiği görülmüştür (Şekil 4). Genel olarak dayanımda puzolonik aktivite etkili olsa da, bu etki uzun kür sürelerinde görünmektedir (Çullu ve Bakırhan, 2018). Bu açıdan uçucu kül puzolonik olmasına rağmen dayanımı çimentodan düşük olduğu için çimento oranı azaldıkça dayanım düşmüştür. Dayanımı etkileyen ikinci bir parametrede tane boyutuna bağlı 'dolgu' etkisidir. Dolgu etkisi (filler) beton matrisin daha kompakt bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde de benzer çalışmalarda filler etkisi konusunda benzer sonuçlar bulunmuştur (Külekçi vd., 2018; Nikbin vd., 2019; Lee ve Kweon, 2020).



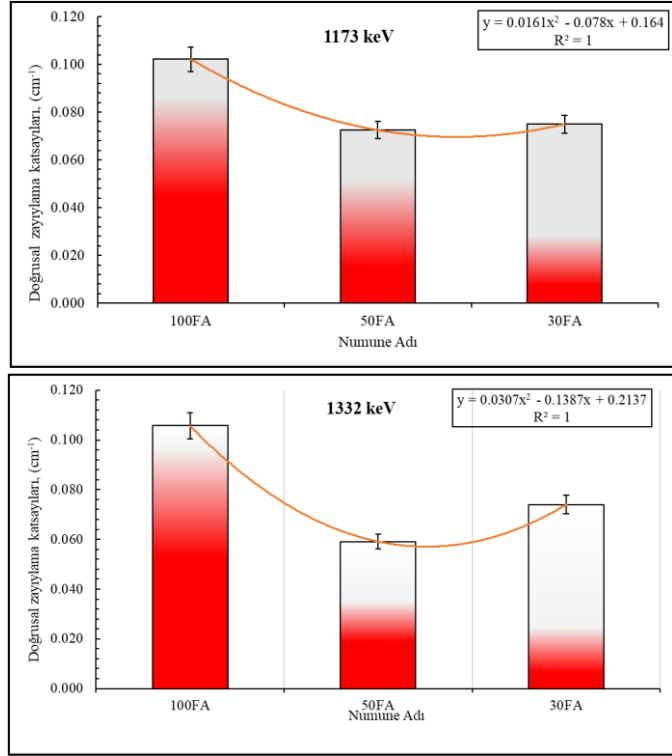
Şekil 4. Kür süresine bağlı basınç dayanımları

Yapılan radyasyon soğurma deneylerinde, her iki enerji seviyesinde de en yüksek doğrusal zayıflama katsayısını (μ) 100FA göstermiştir. Enerji seviyesi yükseldikçe μ azalmıştır. Bu azalmanın sebebi fotonların, üretilen kompozitler ile gösterdiği etkileşimdir. Gama ışınlarının etkileşim mekanizması düşük enerji seviyesi için fotoelektrik soğurma, orta enerji seviyesi için

Compton saçılması, yüksek enerji seviyeleri için ise çift üretilir (Akkurt vd., 2005). Şekil 5 de fotoelektrik etkinin baskınlığı nedeniyle FA numunelerinde doğrusal zayıflama katsayısının azaldığı görülmüştür. Önceki uçucu kül ve betonda yapılmış benzer çalışmalarda da bu şekilde düşüş saptanmıştır (Mann vd., 2010; Kilincarslan vd., 2006; Hassan vd.,2015).

Doğrusal zayıflama katsayılarının foton enerjisine ve koruyucu malzemenin yoğunluğuna bağlı olduğu, buna bağlı olarak en yüksek yoğunlukta ki 30FA kompozit numunelerin gama ışınlarının korunmasında dikkat çekici derecede etkili olduğu açıkça görülmektedir. Benzer sonuçlar literatürde de bulunmuştur (Mann vd., 2010; Wongso vd., 2020; Faramawy vd., 2015)

Şekil 6 da görüldüğü gibi kütle soğurma katsayısı kompozit malzemelerdeki uçucu kül oranı ile ilişkilidir. Çimento yerine tamamen uçucu kül kullanıldığı 100FA numunelerinde, kütle soğurma katsayısı 1173 keV enerjide 0,064 cm²/g iken 1332 keV enerjide 0,066 cm²/g dir. %50 uçucu kül içeren 50FA kompozitlerin kütle soğurma katsayıları 1173 keV enerjide 0,043 cm²/g iken 1332 keV enerjide %18,6 azalarak 0,035 cm²/g olmuştur.

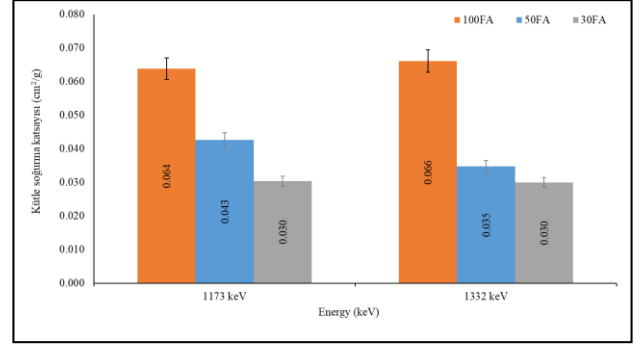


Şekil 5. Farklı enerji seviyelerinde FA örneklerinin doğrusal zayıflama katsayıları

4. Sonuç

Çimento yerine %0-30-50 ve 100 oranlarında uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozitler üzerinde yoğunluk, basınç dayanımı deneyleri ve 2 farklı enerji seviyesinde doğrusal (cm⁻¹) ve kütle zayıflama katsayıları (cm²/gr), TVL (cm) kalınlıkları incelenmiştir. İnceleme sonucunda;

Hazırlanan kompozit blokların yoğunluklarının 2 gr/cm³ den düşük olduğu ve hafif beton sınıfına girdikleri,

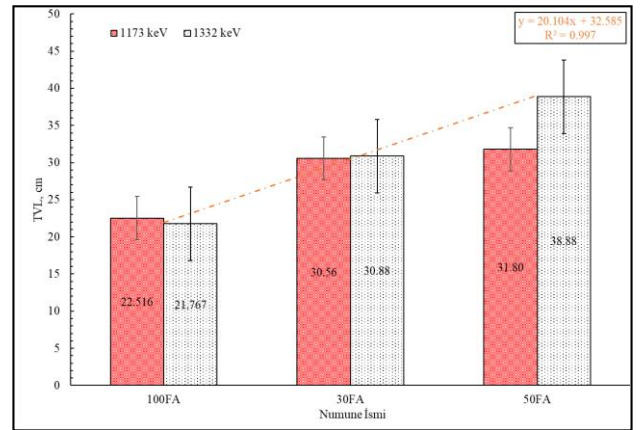


Şekil 6. Enerji değişimine bağlı kütle zayıflama katsayılarının değişimi

Onuncu değer katmanı (TVL), foton yoğunluğunu on kat zayıflatmak için gereken numune kalınlığıdır (Tekin vd., 2020; Sayyed ve El-Mallawany,2017). Yapılan çalışmada en iyi TVL değeri 100FA numuneleri için çıkmıştır. 1173 keV enerjide%30 uçucu kül ile üretilen kompozitlerin (30FA) onuncu değer katmanı 30,56 cm olarak ölçülmüştür. 1332 keV enerjide TVL değeri 100FA numunelerinde 21,77 cm ölçülürken 50FA örneklerinde ise 38,88 cm olarak ölçülmüştür (Şekil 7).

Genel olarak bütün numunelerde uçucu kül oranı azaldıkça TVL kalınlığının arttığı belirlenmiştir. Bunun sebebi çimento içeren kompozitlerde radyasyon emiliminin azaldığıdır. Daha yüksek enerji seviyelerinin zayıflatılması için numune kalınlığının artırılması gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda bunu destekler niteliktedir (Külekcı 2021; Elalaily vd., 2016; Koksall vd., 2019; Junior vd., 2017; Singh vd.,2015; Omran vd., 2019).

Ayrıca Mann vd., 2010, yapmış oldukları çalışmada uçucu kül içeriğinin TVL değerini bir miktar artırdığı ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalar yapmış olduğumuz çalışmayı destekler niteliktedir.



Şekil 7. Uçucu kül içeriğinin TVL üzerine etkisi

Uçucu kül içeriği ile yoğunluklarının ters orantılı olduğu ve uçucu kül oranı arttıkça yoğunluğun düştüğü,

Kompozit blokların mekanik özellikleri incelendiğinde, çimento yerine %100 uçucu kül kullanılan kompozit malzemelerin dayanımlarının bütün kür süreleri için en fazla dayanım sağladığı,

Radyasyon etkileşim parametreleri incelendiğinde, bütün enerji seviyelerinde en yüksek doğrusal zayıflama katsayısını (μ) 100FA örneklerinin gösterdiği,

Yapılan çalışmada çimento içeren kompozitlerde radyasyon emiliminin azaldığı enerji seviyesi arttıkça TVL kalınlığının genel olarak arttığı buna bağlı olarak, bütün numunelerde uçucu kül oranı azaldıkça TVL kalınlığının arttığı belirlenmiştir

Enerji seviyeleri düştükçe FA katkılı blokların enerji seviyesi değişiminden çok az etkilendiği saptanmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada laboratuvar imkanlarını kullanılmasına izin veren ve bilgi desteği sağlayan Prof. Dr. Gökhan APAYDIN ve Prof. Dr. Necati ÇELİK'e çok teşekkür ederiz.

Kaynakça

Ahmedzade, P.; Sengoz, B. (2009). Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete, *J. Hazard. Mater.*, 165, 300–305.

Akkurt, I.; Mavi, B.; Akkurt, A.; Basyigit, C.; Kilincarslan, S.; Yalim H.A. (2005). Study on Z-dependence of partial and total mass attenuation coefficients *J. Quant. Spectrosc. Radiat.*, 379-385.

Alwaeli, M. (2016) The implementation of scale and steel chips waste as a replacement for raw sand in concrete manufacturing, *J. Clean. Prod.*, 137,1038–1044.

Ameri, F.; Brito, J.; Madhkan, M.; Taheri, R.A. Steel fibre-reinforced high-strength concrete incorporating copper slag: Mechanical, gamma-ray shielding, impact resistance, and microstructural characteristics *Journal of Building Engineering* 2020, 101-118.

Belgin EE, Aycik GA (2017) Effect of particle size of mineral fillers on polymer-matrix composite shielding materials against ionizing electromagnetic radiation *J Radioanal Nucl Chem* 311, 1953–1961 <https://doi.org/10.1007/s10967-016-5156-z>

Bureau of Indian Standards, Indian Standard: Concrete Mix Proportioning – Guidelines (First Revision) 2009, <http://www.mis.wbprd.gov.in/Engineering/Codes/IS10262.pdf>.

Çelik, N. Determination of the dependence of HPGe virtual point detector location on source dimensions in 60 keV–2 MeV range using Monte Carlo simulation, *Journal of Instrumentation* 2012, 7.

Çullu, M.; Bakırhan E. Investigation of radiation absorption coefficients of lead-zinc mine waste rock mixed heavy concrete at 662–1460 keV energy range *Constr. Build. Mater.* 2018, 173, 17-27

Davraz, M.; Pehlivanoglu, H.E.; Kilincarslan, S.; Akkurt, I. Determination of radiation shielding of concrete produced from Portland cement with boron additives, *Acta Phys. Pol.* 2017, 132,702-704.

Dong, M.; Xue, X.; Yang, H.; Liu, D.; Wang, C.; Li, Z. A novel comprehensive utilization of vanadium slag: as gamma ray shielding material, *J. Hazard. Mater.* 2016, 318, 751–757.

Elalaily, N.A.; Abou-Hussien E. M.; Saad, E.A. Bismuth silicate glass containing heavy metal oxide as a promising radiation shielding material, *Radiation Effects and Defects in Solids* 2016, 840-854.

El-Mahllawy, M.S. Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag, *Constr. Build. Mater.* 2008, 221887–1896.

Esen, Y.; Dogan, Z.M. Investigation of usability of limonite aggregate in heavyweight concrete production, *Prog. Nucl. Energy* 2008, 105, 185–193.

Faramawy, N.E.; Ramadan, W.; Zakla, T.E.; Sayed, M.; Dessouky, M.E. and Sakr, K. Effect of ilmenite on the attenuation coefficient of gamma ray shielding cementitious matrix, *Radiation Effects and Defects in Solids.* 2015, 876-886.

Gerasimova, E. The Effect of Fe₂O₃ on the Mechanical Properties of the Polymer Modified Cement Containing Fly Ash, *Procedia Eng.* 2016, 150, 1553-1557.

Gökçe, H.S.; Canbaz, Ö.B.; Çam, N.F.; Çakır, A.Ö. Natural radioactivity of barite concrete shields containing commonly used supplementary materials, *Construction and Building Materials* 2020, 236, 10, 117569.

Hassan, H.E.; Badran, H.M.; Aydarous, A.; Sharshar T. Studying the effect of nano lead compounds additives on the concrete shielding properties for γ -rays *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 2015, 360, 81-89.

Horszczaruk, E.; Sikora, P.; Zaporowski, P. Mechanical properties of shielding concrete with magnetite aggregate subjected to high temperature, *Procedia Eng.* 2015, 108,39–46.,

Ignjatovic, I.; Sas, Z.; Dragas, J.; Somlai, J.; Kovacs, T. Radiological and material characterization of high volume fly ash concrete, *Journal of Environmental Radioactivity* 2017, 168, 38-45.

Junior, T.A.A.; Nogueira, M.S.; Vivolo, V.; Potiens, M.P.A.; Campos L.L. Mass attenuation coefficients of X-rays in different barite concrete used in radiation protection as shielding against ionizing radiation *Radiat. Phys. Chem.* 2017, 140, 349-354.

Kilincarslan, S.; Akkurt, I.; Basyigit, C. The effect of barite rate on some physical and mechanical properties of concrete, *Mater. Sci. Eng.* 2006, 424, 83-86.

Kishore, K. Sand For Concrete From Steel Mills Induction Furnace Waste Slag. 2013.

Koksal, O.K.; Apaydin, G.; Tozar, A.; Karahan, I.H.; Cengiz, E. Assessment of the mass attenuation parameters with using gamma-rays for manganese substituted nano hydroxyapatite. Mixture proportions, 2019, 159, 76-80.

Külekçi G, The Effect of Pozzolans and Mineral Wastes on Alkali-silica Reaction in Recycled Aggregated Mortar, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2021a, 65 (3), 741-750

Külekçi, G., Investigation of fly ash added light concretes with respect to gamma radiation transmission properties of 133-Ba and 137-Cs, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2021b, <https://doi.org/10.1080/10420150.2021.1963726> .

Külekçi G. “Investigation of the utilization areas of construction and demolition wastes in the black sea region instead of aggregate and their areas of usage in the mining industry”, KTÜ, Institute of science, PHD dissertation, Trabzon, 2018.

Külekçi, G. “The Effect of Pozzolans and Mineral Wastes on Alkali-silica Reaction in Recycled Aggregated Mortar”, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.3311/PPci.17355>

Külekçi, G. Investigation of the utility of the waste brick and marble powders on the paste backfill, master's thesis, Karadeniz Technical University, 2013

- Külekeçi, G., Erçikdi, B., Aliyazicioğlu, Ş. Effect of waste brick as mineral admixture on the mechanical performance of cemented paste backfill, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, 44 (4), 042039.
- Lee, J.W.; Kweon D.C. Evaluation of radiation dose reduction by barium composite shielding in an angiography system, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2020.
- Mann HS, Brar GS, Mann KS, Mudahar GS (2016) Experimental Investigation of Clay Fly Ash Bricks for Gamma-Ray Shielding. *Nuclear Engineering and Technology* 48(5), 1230-1236
- Mehta PK, Monteiro PJM (2006) *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 3rd edition
- Mheemeed AK, Hasan HI, Al-Jomaily FM (2012) Gamma-ray absorption using rubber—lead mixtures as radiation protection shields. *J Radioanal Nucl Chem* 291, 653–659 <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1556-2>
- Nadeem, M.; Pofale, A. Experimental investigation of using slag as an alternative to normal aggregates (coarse and fine) in concrete, *Int. J. Civ. Struct. Environ. Infrastruct. Eng. Res. Dev.* 2012, 3, 117–127.
- Nikbin, I.M.; Mohebbi, R.; Dezhampannah, S.; Mehdipour, S.; Mohammadi, R.; Nejat T. Gamma ray shielding properties of heavy-weight concrete containing Nano-TiO₂ *Radiat. Phys. Chem.* 2019, 162, 157-167.
- Omran, O.L.; Sadrumontazi, A.; Nikbin, I.M. A comprehensive study on the effect of water to cement ratio on the mechanical and radiation shielding properties of heavyweight concrete *Construction and Building Materials* 2019, 229, 116905.
- Ouda, A.S. Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding, *Prog. Nucl. Energy* 2015, 79, 48–55.
- Rondi, L.; Bregoli, G.; Sorlini, S.; Cominoli, L.; Collivignarelli, C.; Plizzari, G. Concrete with EAF steel slag as aggregate: a comprehensive technical and environmental characterisation, *Compos. Part B Eng.* 2016, 90, 195–202.
- Sanjuán MÁ, Suarez-Navarro JA, Argiz C. et al. (2021) Radiation dose calculation of fine and coarse coal fly ash used for building purposes *J Radioanal Nucl Chem* 327, 1045–1054. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07578-8>
- Sarkar, R.; Singh, N.; Das, S.K. Utilization of steel melting electric arc furnace slag for development of vitreous ceramic tiles, *Bull. Mater. Sci.* 2010, 33, 293–298.
- Sayyed, M.I.; El-Mallawany, R.; Shielding properties of (100-x) TeO₂-(x)MoO₃ glasses. *Mater. Chem. Phys.* 2017, 201, 50–56.
- Singh K, Singh S, Singh G (2014) Effect of Fly ash Addition on Mechanical and Gamma Radiation Shielding Properties of Concrete. *Journal of Energy* 7
- Singh, K.; Singh, C.; Sidhu, G.S.; Singh, J.; Singh, P.S.; Mudahar, G.S. Fly ash: a radiation shielding material, *Indian Journal of Physics*, 2003, 77A, 41–45.
- Singh, V.P.; Medhat, M.E.; Badiger, N.M.; Rahman A.Z.M.S. Radiation shielding effectiveness of newly developed super conductors *Radiat. Phys. Chem.* 2015, 106, 175-183.
- Tekin, H.O.; Kavaz, E.; Sayyed, M.I.; Agar, O.; Kamislioglu, M.; Altunsoy Guclu E.E. and Eke C. An extensive study on nuclear shielding performance and mass stopping power (MSP)/projected ranges (PR) of some selected granite samples, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2020.
- TS EN 206:2013+A1, Concrete - Specification, performance, production and conformity, Turkish Standard, Turkey 2017.
- TS EN 2823, Standard Members of Pumice, Definitions and Requirements, Ankara, 2011.
- Wongso, P.M.; Dewang, S.; Jumpeno, B.Y.E.B.; Firmansyah, O.A.; Mellawati, J. Experimental Study of Concrete Composites of Fly Ash and Ferronickel Slag for Gamma-Ray Shielding, *A Scientific Journal for The Applications of Isotopes and Radiation* 2020, 16, 1.