



Atf için / For Citation: A. Nadi Kaplan, C. Özel, "Perlit ve pomza agregalı polimer betonların radyasyon zırhlama performanslarının araştırılması", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 16(1), 287-300, 2021.

Perlit ve Pomza Agregalı Polimer Betonların Radyasyon Zırhlama Performanslarının Araştırılması

Ali Nadi KAPLAN*¹, Cengiz ÖZEL¹

¹*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye*

*yazışılan yazar e-posta: nadikaplan@isparta.edu.tr

(Alınış / Received: 07.04.2021, Kabul / Accepted: 19.05.2021, Yayınlanma / Published: 27.05.2021)

Özet: Polimer betonların inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanımı yüksek mukavemetlerinin yanı sıra çevresel etkilere ve sıvı temasına karşı geçirimsizlik özelliklerinden dolayı her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda üretilen polimer betonların farklı amaçlar için de kullanılabilirlikleri büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, polyester reçine ile hacimce %0, %15, %30 ve %45 oranlarında perlit ve pomza agregalarının karıştırılmasıyla üretilen polimer betonların radyasyon zırhlama performansları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Polimer betonların gama radyasyonu etkisi altındaki radyasyon zırhlama özellikleri deneysel olarak ⁶⁰Co ve ¹⁵²Eu radyoaktif kaynakları kullanılarak, teorik olarak ise XCOM programı ile hesaplanmış, her bir polimer beton numunesi için radyasyon zayıflatma katsayıları belirlenmiştir. Son olarak yapılan deneysel çalışmadan ve teorik hesaplamadan elde edilen bulguların birbirleri ile ilişkileri karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve elde edilen bulguların birbirleri ile uyum içerisinde olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Polimer beton, Agregat, Gama, Radyasyon zırhlama, Zayıflatma katsayısı, XCOM.

Investigation of Radiation Shielding Performance of Perlite and Pumice Aggregate Polymer Concretes

Abstract: The use of polymer concretes in civil engineering applications is increasing day by day due to their high strength as well as impermeability properties to environmental effects and liquid contact. In this context, it is very important that the polymer concretes produced can be used for different purposes. In this study, the radiation shielding performances of polymer concretes produced by mixing polyester resin with perlite and pumice aggregates in the ratio of 0%, 15%, 30% and 45% by volume were investigated experimentally and theoretically. Radiation shielding properties of polymer concretes under the effect of gamma radiation were calculated experimentally using ⁶⁰Co and ¹⁵²Eu radioactive sources and theoretically using XCOM program. Radiation attenuation coefficients were determined for each polymer concrete sample. Finally, the relationships of the findings obtained from the experimental study and the theoretical calculation with each other were considered comparatively and it was revealed that the obtained findings were in harmony with each other.

Key words: Polymer concrete, Aggregate, Gamma, Radiation shielding, Attenuation coefficient, XCOM.

1. Giriş

Teknolojideki gelişmelerle birlikte radyasyon günlük yaşantımıza çeşitli şekillerde etki etmektedir. Tıpta, sanayide ve enerji üretiminde farklı amaçlar doğrultusunda kullanılan radyasyon çok geniş bir alana yayılmaktadır.

Radyasyon bir enerji olup, parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon olarak ikiye ayrılmaktadır [1].

Elektromanyetik radyasyon; belirli bir enerjiye sahip ancak kütlesi olmayan radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları şeklindedir. Yayılmaları sırasında buldukları ortamla etkileşime giren, hava ile teması halinde az da olsa enerji kaybına uğrayan elektromanyetik dalgalar, boşlukta ışık hızı ile yayılmaktadırlar. Ancak elektromanyetik radyasyonlar bir engele çarptıklarında, enerji transferi gerçekleşerek çarpışma sonrası oluşan ikinci dalga ile enerji farklılığı göstermektedirler. Aynı hız değerine sahip olan elektromanyetik dalgalar frekansları ile doğru ve dalga boyları ile ters orantılı olan enerji seviyelerine göre bir spektrum oluştururlar. Bunlara örnek olarak Gama ve X-Işınları gösterilmektedir. Spektrum içinde yer alan gama ışınları, atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyasyona örnek olarak gösterilirken, X-Işınları ise atomun yörüngelerinden kaynaklanan radyasyona örnek olarak gösterilmektedir [2].

X-Işınları çok yüksek elektromanyetik dalgalar halinde yayılır ve kimyasal bağları kırabilecek enerjiye sahiptirler. Bu enerji DNA'nın yapısını bozarak parçalayacak kadar büyük bir enerji taşımaktadır. Bunun neticesinde ise kanser gibi ölümcül hastalıklara neden olmaktadır [3].

Gama ışınları ise, atom çekirdeğinin kararlı hale gelmesi sırasında salınan elektromanyetik dalgalardır. Gama ışınları tanecik değildir. Bunlar foton denilen kısa dalga boylu enerji demetleridir. Gama ışınları enerjilerini iletene kadar boşlukta ışık hızında epey yol alırlar ve ancak kurşun ve beton gibi özgül ağırlığı yüksek malzemelerle durdurulabilmektedirler [4].

Elektromanyetik radyasyonun soğurulması çeşitli olaylar sonucu gözlenmektedir. Fotonlar, içinden geçtikleri ortamın atomları ile etkileşime girerek soğurulabileceği gibi saçılmaya da uğrayabilmektedirler. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi çoğunlukla üç temel şekilde olmaktadır [2,5].

Bunlar; düşük foton enerjilerinde (0 – 0,5 MeV) atomun yörünge elektronu ile etkileşimi sonrası ortaya çıkan fotoelektrik olay, atoma zayıf olarak bağlanmış bir dış yörünge elektronu veya serbest elektronun, enerjisi kendisine kıyasla çok daha büyük olan bir fotonla (0,5 – 1 MeV) çarpışması sonucunda meydana gelen etkileşim olan Compton saçılımı ve yüksek enerjili bir fotonun atom çekirdeği içerisindeki yüksek elektromanyetik alan ile etkileşime girerek yok olması ve bir elektron-pozitron çifti oluşturması ile gerçekleşen çift oluşumu olayıdır [2,5-8].

Bu olayların ortaya çıkma ihtimali X ve gama ışınlarının foton enerjisine ve etkileştiği maddenin atom numarasına bağlı olarak değişmektedir [6,8].

Tüm bu anlatılanların ışığında günümüzde insanlar radyasyon ile doğrudan veya dolaylı bir şekilde temas halinde bulunmaktadır. Bu etkileşim sonucunda ise toplumda ve tüm canlı organizmalarda sağlık açısından risk oluşabilmektedir.

Canlılarda radyasyondan kaynaklı oluşması muhtemel riskleri ortadan kaldırmak için radyasyondan korunma kavramı ortaya çıkmıştır. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmanın üç temel kuralı; zaman, mesafe ve zırhlama olarak belirtilmektedir [9].

Zaman kuralını ele alacak olursak; radyasyon ortamında ne kadar az zaman geçirilirse o kadar az doza maruz kalınmakta, geçirilen zaman ne kadar çok artarsa alınan doz o kadar artmaktadır. Dolayısıyla radyasyona maruz kalan maddenin soğurduğu doz miktarının zamanla doğru orantılı olarak değiştiği ortaya çıkmaktadır [2].

Mesafe kuralında ise; radyasyon kaynağından uzaklaştıkça radyasyonun şiddeti, kaynağa olan uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Yani radyasyon kaynağından ne kadar çok mesafeli olunursa maruz kalınabilecek doz miktarı o ölçüde azalacaktır [10].

Radyasyon zırhlaması kavramı ise radyasyonun beklenmedik etkilerinden korunmak için hayati bir öneme sahiptir. Radyasyon zırhı en basit şekilde radyasyon kaynağı ile canlı arasına konulan ve radyasyonun etkilerinin canlılara ulaşmasını mümkün olduğunca engellemesi gereken malzemelerdir.

Yüksek radyasyon zayıflatma performansına sahip malzemelerin hazırlanması, radyasyondan korunma uygulamalarındaki en önemli konulardan biridir [11]. Radyasyon zırhlaması çeşitli malzemelerle yapılmaktadır. Zırhlama bakımından etkili malzemeler yüksek atom numaralı ve özgül ağırlığı büyük olan elemanlardan yapılmış malzemelerdir. En genel kullanılan malzemeler kurşun ve betondur. Betonların özgül ağırlıkları arttırılarak radyasyon kalkanı olarak kullanılması daha elverişli hale gelmektedir. Bu amaçla genel olarak radyasyona maruz kalınan yerlerde ağır beton denilen yüksek birim ağırlıklı agregalar ile üretilen yüksek yoğunluklu betonların kullanımı ile radyasyon zırhlama özellikleri iyileştirilebilmektedir. Beton; nükleer santrallerde, tıbbi birimlerde ve radyoaktif sızdırmazlığın gerekli olduğu yapılarda, ekonomik olması, üstün zırhlama performansları, düşük bakım ve üretim kolaylıkları nedeniyle radyasyon koruyucu malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3,8,12-14].

Bir beton çeşidi olan polimer betonlar ise, beton üretiminde kullanılan çimento bağlayıcısının tümü veya bir kısmı yerine polimerlerin kullanılması ile elde edilir [15].

Polimer Beton (PC), Portland çimento betonuna kıyasla yüksek sıkışma mukavemeti, geliştirilmiş dayanıklılık özellikleri, yüksek süneklik, agresif kimyasallara direnç ve üstün sağlamlık derecesi ile çelik ve beton yüzeyler için inşaat ve onarım çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir [16].

Ayrıca polimer betonlar ile sadece birkaç saat içinde çok yüksek (140 MPa) basınç dayanımlarına ulaşılmasına olanak sağlanmıştır [17].

Polimer betonlar; agrega ve/veya fiber içeren faz malzemeleri ile faz malzemeleri bir arada tutan, yükü faz malzemelere ileten ve faz malzemeleri çevresel etkilerden koruyan bağlayıcı matris malzemelerin fiziksel olarak bir araya gelmesinden oluşmaktadır [18].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında matris malzeme olarak polyester reçine, faz malzeme olarak çeşitli oranlarda perlit ve pomza agregalarının kullanıldığı polimer beton kompozitleri üretilmiştir. Çalışmada kullanılan matris malzeme sıvı formda olup, faz malzemeler ise en büyük tane boyutu 150 µm (mikron) olacak şekilde granül halde sabit tane büyüklüğünde seçilmiştir.

Üretilen polimer beton numunelerinin radyasyon zırhlama performansları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır.

2.1. Malzemeler ve özellikleri

2.1.1 Polyester reçine

Polimer betonların üretiminde bağlayıcı polimer malzeme olarak kullanılan polyester reçine Poliya firmasından temin edilen Polipol 314-DT alev ilerletmeyen dolgu tipi polyester reçinedir. Polyester reçine seçilmesindeki temel sebep yüksek kimyasal ve mekanik dayanımlarının yanı sıra gıda temasına da uygun olduğu için insan sağlığına olumsuz etkide bulunmamalarıdır.

2.1.2 Perlit

Perlit, elverişli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında genleşen ve gözenekli bir hale gelen volkanik menşeli ve doğal olarak oluşan asidik bir camdır. Çalışmada kullanılan perlit agregası Pomza Export Madencilik San. ve Tic. A.Ş. İzmir ili Menderes ilçesi fabrikasından temin edilmiştir. Perlit agregasının teknik özellikleri de aynı fabrikadan temin edilmiş olup Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Perlit agregasının teknik özellikleri

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂
Ağırlıkça Yüzde	73	14	0,98	0,13	3,45	4,5	0,35	0,12

2.1.3 Pomza

Isparta pomza yatakları olarak zengin bir ilimizdir. Türkiye bilinen pomza rezervinin yaklaşık %2’sine sahiptir. Çalışmada kullanılan pomza agregası Isparta Belediyesi Bims Yapı Elemanları San. ve Tic. A.Ş. (ISBAŞ) bünyesinde bulunan ISBAŞ Bimsblok Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan pomza agregasının teknik özellikleri ISBAŞ Bimsblok Fabrikası’ndan temin edilmiş ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Pomza agregasının teknik özellikleri

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂
Ağırlıkça Yüzde	58,88	18,74	5,93	2,95	4,25	3,66	2,16	0,45

2.2. Uygulanan testler ve kullanılan cihazlar

2.2.1. Polimer betonların yoğunluklarının belirlenmesi

Polimer betonların deneysel yoğunluklarını belirlemek için Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında üretilen her karışımdaki numunelerin kuru ağılık, suya doymun ağılık ve Arşimet terazisi ile su altındaki ağılıkları hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan denklem [19] aşağıda gösterilmiştir.

$$\rho_{pc} = \rho_w \frac{M_0}{M_1 - M_2} \quad (1)$$

Burada;

ρ_{pc} : Polimer betonların deneysel yoğunluğu

ρ_w : Suyun ölçüm sıcaklığındaki yoğunluğu

M_0 : Numunenin kuru ağırlığı

M_1 : Numunenin suya doymun ağırlığı

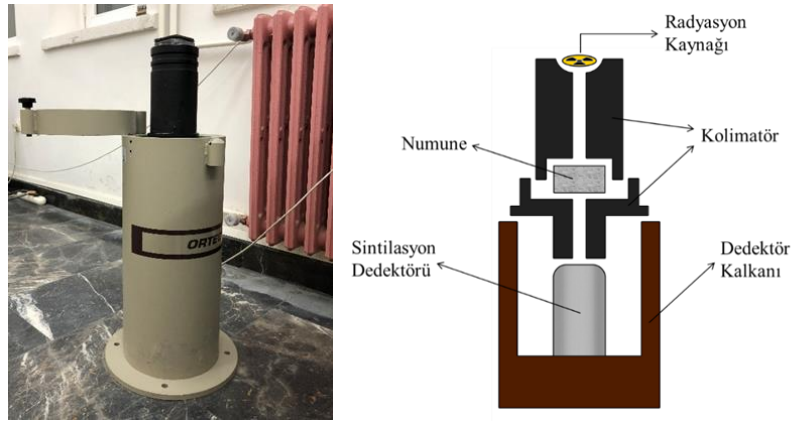
M_2 : Numunenin su altındaki ağırlığı (Arşimet terazisi ile ölçülen)

2.2.2. Radyasyon zırlaması deneyi

Radyasyon zırlaması deneyleri Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü bünyesinde bulunan Nükleer Fizik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere her polimer beton serisi için 40x40x10 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Deneysel çalışmada ^{60}Co ve ^{152}Eu radyoaktif kaynaklarının NaI(Tl) dedektörü üzerine yerleştirilmesi için özel olarak tasarlanmış bir deneysel düzenek ile birlikte gama spektrum analizi yapan bilgisayar kullanılmıştır. Deney düzeneği ve şeması Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Ayrıca deneysel hesaplamalarla karşılaştırmak için web tabanlı bir veri tabanı olan XCOM programı (XCOM: Photon Cross Sections Database) kullanılarak her polimer beton serisi için teorik hesaplamalar da yapılmıştır [20].



Şekil 1. Radyasyon zırhlaması deney düzeneği



Şekil 2. Deneilerde kullanılan kaynak, numune ve dedektör düzeneği

Deney düzeneğinde radyoaktif ışınların huzmesinin çapını ve şeklini sınırlayan kolimatörler ile birlikte ORTEC marka NaI(Tl) sodyum iyodür sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Radyoaktif kaynak olarak ^{60}Co ve ^{152}Eu kaynakları kullanılmıştır. ^{60}Co kaynağından 1,173 ve 1,333 MeV, ^{152}Eu kaynağından ise 0,122, 0,245, 0,344, 0,444, 0,779, 0,964, 1,112 ve 1,408 MeV gama enerjileri için ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deneye tabi tutulan polimer beton numunesi ve radyoaktif kaynaklar Şekil 3'te gösterilmiştir.

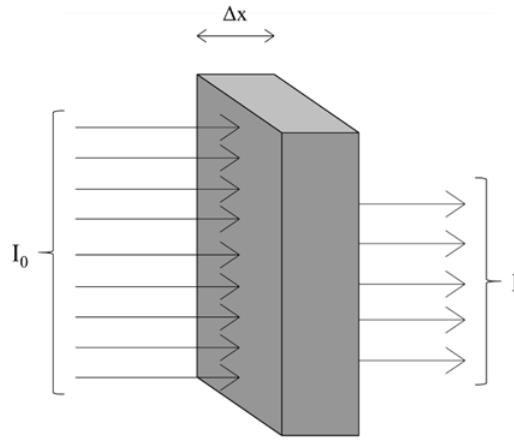


Şekil 3. Deneilerde kullanılan radyoaktif kaynaklar ve polimer beton numunesi

Deneysel ölçümlerdeki veriler dedektörün bağlı olduğu bilgisayardaki Scintivision 32 programı aracılığıyla spektrum olarak alınmıştır [2]. Radyoaktif kaynaklardan elde

edilen gama enerjilerinin Scintivision 32 programında tanımlanabilmesi için tüm spektrumlarda pik noktaların enerjileri için kalibrasyon yapılmış ve spektrumlardaki pik alanları seçilmiştir. İlk olarak düzeneğe, içerisinde deney numunesi olmadan çalıştırılmış, pik alanları deneyde kullanılacak tüm numuneler için aynı gauss dağılım aralığında seçilmiş ve boş ölçüm yapılarak I_0 değeri tüm malzemeler için aynı olarak belirlenmiştir. Daha sonra düzeneğe sırasıyla tüm deney numuneleri yerleştirilerek her pik alanlarındaki sayım sayıları ölçülmüş ve Beer-Lambert yasasına göre deneysel hesaplamalar gerçekleştirilmiştir [11].

Gelen radyasyonun şiddeti maddede aldığı yol boyunca azalmaktadır. Bir başka deyişle bir ışın demeti bir maddeden geçerken şiddeti azalmaktadır. Radyasyon şiddetindeki bu azalma matematiksel olarak Beer-Lambert yasası ile ifade edilmektedir. Beer-Lambert yasasına göre; radyasyonun zayıflatılması amacıyla önüne konulan bir engel; radyasyonun şiddetini, radyasyonun cinsinden bağımsız olacak şekilde üstel olarak zayıflatmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Radyasyon şiddetinin malzeme tarafından zayıflatılması

I_0 şiddetindeki ışın demetinin Δx kalınlığındaki bir madde tabakasına nüfuz etmesi halinde bu maddeden geçen ışınlar Beer-Lambert yasasına göre üstel olarak soğurulacak ve maddeden geçen ışın demetinin yeni şiddeti I olacaktır. I değeri her zaman I_0 değerinden küçük olmaktadır.

Atomik parçacığın ya da fotonun verilen bir zırh malzemesi ile etkileşime girme olasılığı lineer zayıflatma katsayısı (μ), olarak tanımlanmakta ve birimi cm^{-1} olarak ifade edilmektedir. Lineer zayıflatma katsayısı; fotoelektrik olay, Compton saçılımı ve çift oluşumu etkileşimlerinin toplamıdır. Radyasyonun cinsine, enerji seviyesine ve etkileşime girdiği maddenin içerik, kalınlık, yoğunluk gibi özelliklerine bağlıdır.

Bu verilerin ışığında, lineer zayıflatma katsayısı aşağıdaki formülasyona göre bulunmaktadır [11].

$$\mu = \frac{1}{\Delta x} \ln \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

Burada Δx zırh malzemesinin kalınlığı, I_0 malzemeye gelen radyasyon enerjisi, I ise malzemedan geçen radyasyonun enerjisini göstermektedir.

Fotonların soğurulmasında soğurucu ortamın kalınlığının yanı sıra yoğunluğu da önemli olmaktadır. Kütleli zayıflatma katsayısı (μ_m) ise lineer zayıflatma katsayısının malzeme yoğunluğuna bölünmesiyle elde edilir. Birimi cm^2/g olarak ifade kütleli zayıflatma katsayısı aşağıdaki şekilde elde edilmektedir [11].

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

Burada ρ , zırh malzemesinin yoğunluğunu göstermektedir.

Deneysel hesaplamaların yanı sıra verilerin karşılaştırılması için teorik hesaplamalar da gerçekleştirilmiştir. Teorik hesaplamalar web tabanlı XCOM programı kullanılarak yapılmıştır. XCOM programında herhangi bir element, bileşik veya karışım malzemelerinin 1 keV'den 100 GeV'e kadar olan enerji aralıklarındaki kütleli zayıflatma katsayıları teorik olarak hesaplanabilmektedir.

XCOM bilgisayar programı aracılığı ile malzemelerin çeşitli enerjilerdeki radyasyon karşısındaki saçılma, fotoelektrik olay, çift oluşumu, tesir kesitleri ve buradan da toplam kütleli zayıflatma katsayıları hesaplanmaktadır. Bu teorik hesaplama için programa her bir malzemenin kimyasal içeriklerinin ve ağırlıkça yüzdelerinin girilmesi gerekmektedir.

3. Bulgular

3.1. Polimer betonların karışım oranları ve yoğunlukları

Polimer betonların üretilebilirliği açısından reçine ve faz malzemeler için aynı standardın sağlanması amacıyla karışım oranları %50'yi geçmeyecek şekilde birbirleri ile de orantılı olması açısından hacimce %0, %15, %30 ve %45 olarak belirlenmiştir.

Polimer beton numunelerinin tüm serileri için %0, %15, %30, ve %45 olarak belirlenen hacimce karışım oranları malzemelerin yoğunluklarındaki farklılıklar nedeniyle her karışım için ağırlıkça farklı oranlara karşılık gelmektedir. Üretilen tüm numunelerin yoğunlukları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Polimer beton numunelerinin yoğunlukları

Numune	100P	15PE	30PE	45PE	15PO	30PO	45PO
Yoğunluk (g/cm^3)	1,482	1,495	1,511	1,582	1,582	1,623	1,678
Açıklama	%0 Agrega	%15 Perlit	%30 Perlit	%45 Perlit	%15 Pomza	%30 Pomza	%45 Pomza

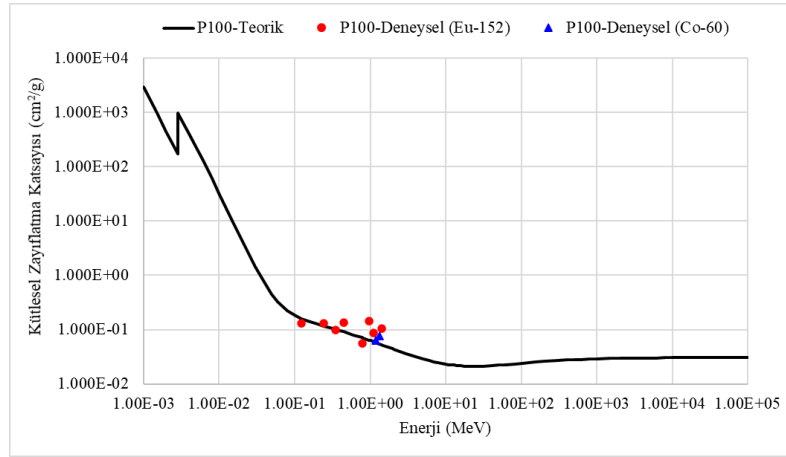
3.2. Polimer betonların radyasyon zırlaması deneyi sonuçları

^{60}Co kaynağının kullanıldığı deneysel ölçümlerde deney süresi, gerekli kalibrasyon işlemleri yapılarak 1000 sn olarak seçilmiştir. ^{152}Eu kaynağında ise aynı deneysel ölçümler ^{152}Eu kaynağının radyoaktivitesinin ^{60}Co kaynağına göre daha yüksek olmasından dolayı 500 sn gibi bir deney süresinde gerçekleştirilebilmiştir. Her iki kaynak kullanılarak gerçekleştirilen tüm deneysel ölçümlerde Beer-Lambert yasasında kullanılacak olan I_0 ve I değerleri elde edilmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile karşılaştırılması için XCOM programı kullanılarak 0.001 MeV'den 100000 MeV'e kadar olan gama enerji aralıklarında her polimer beton serisi için teorik hesaplamalar da yapılmıştır.

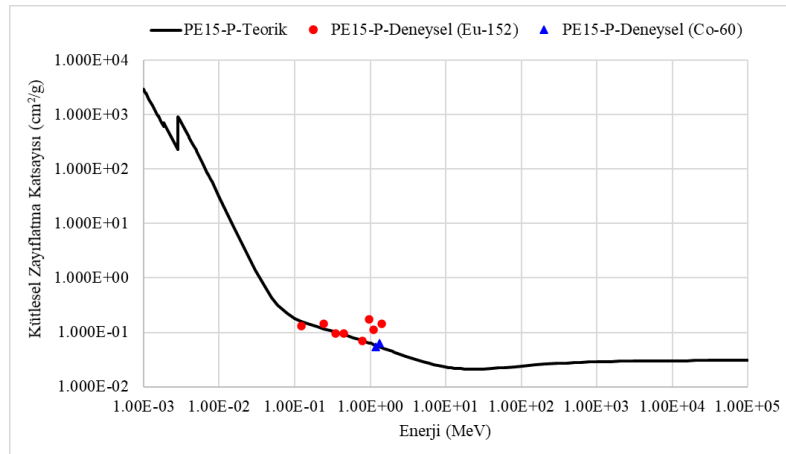
Gerçekleştirilen deneysel ve teorik hesaplamalara göre, polimer betonların çeşitli enerjilerdeki gama radyasyonları için lineer zayıflatma ve kütleli zayıflatma katsayıları elde edilmiştir.

Çalışmadaki tüm polimer beton numuneleri için belirtilen gama enerjilerinde deneysel olarak elde edilmiş kütleli zayıflatma katsayıları ile XCOM programı kullanılarak teorik olarak elde edilen kütleli zayıflatma katsayıları, Şekil 5-11 arasında karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

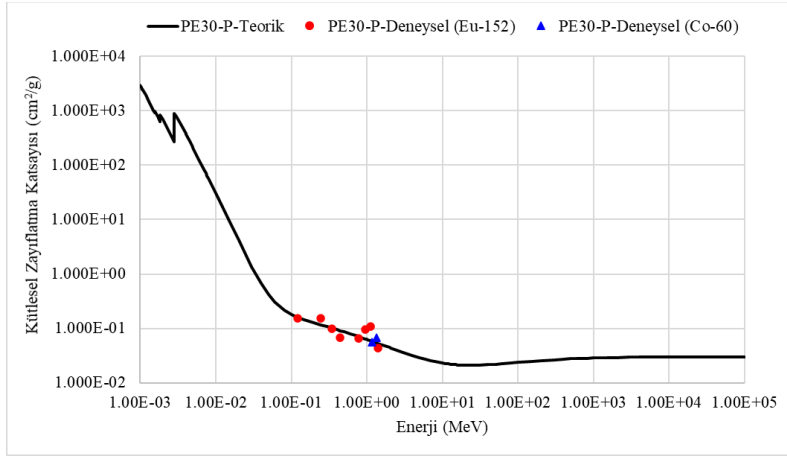


Şekil 5. Faz malzemesiz polyster reçineli polimer betonun kütleli zayıflatma katsayısının deneysel ve teorik olarak gösterilmesi

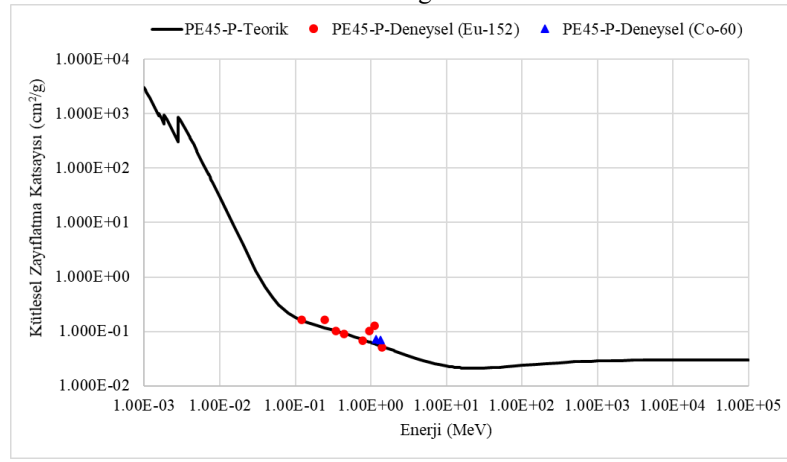
Şekil 5'te görüldüğü gibi polyster reçine kullanılarak üretilen faz malzemesiz polimer betonda gama radyasyonu için kütleli zayıflatma katsayılarının, teorik ve deneysel hesaplamalarda birbirleri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu uyum hem ¹⁵²Eu hem de ⁶⁰Co radyoaktif kaynaklarının tüm enerjilerinde geçerlidir.



Şekil 6. %15 Perlit içeren polyster reçineli polimer betonların kütleli zayıflatma katsayısının deneysel ve teorik olarak gösterilmesi

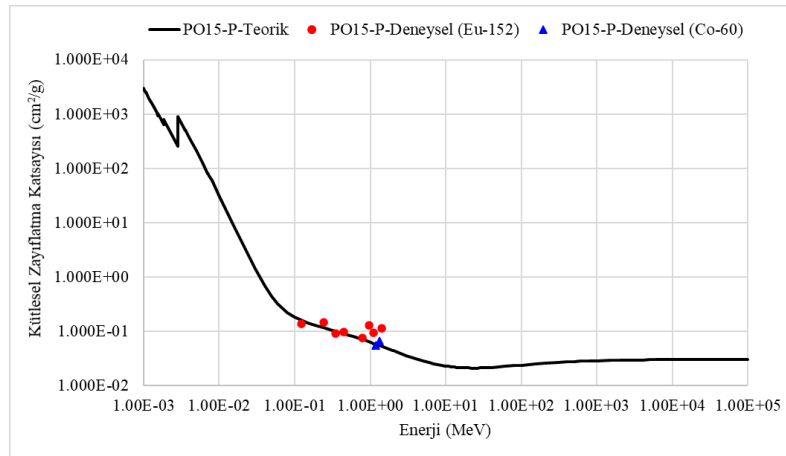


Şekil 7. %30 Perlit içeren polyester reçineli polimer betonların kütleli zayıflatma katsayısının deneysel ve teorik olarak gösterilmesi

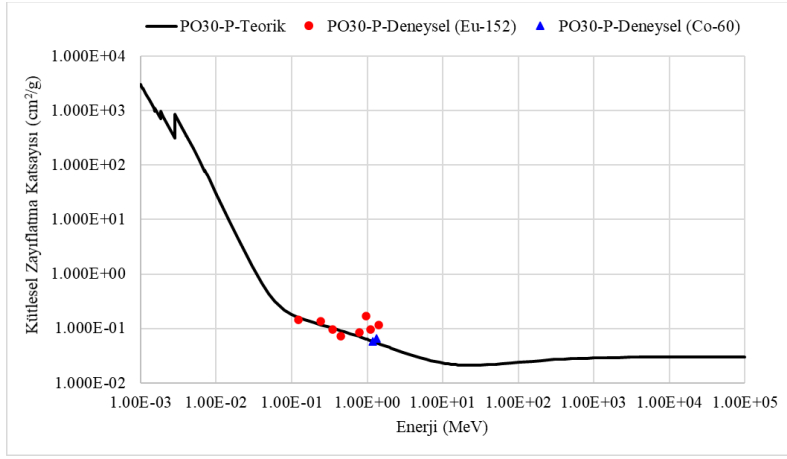


Şekil 8. %45 Perlit içeren polyester reçineli polimer betonların kütleli zayıflatma katsayısının deneysel ve teorik olarak gösterilmesi

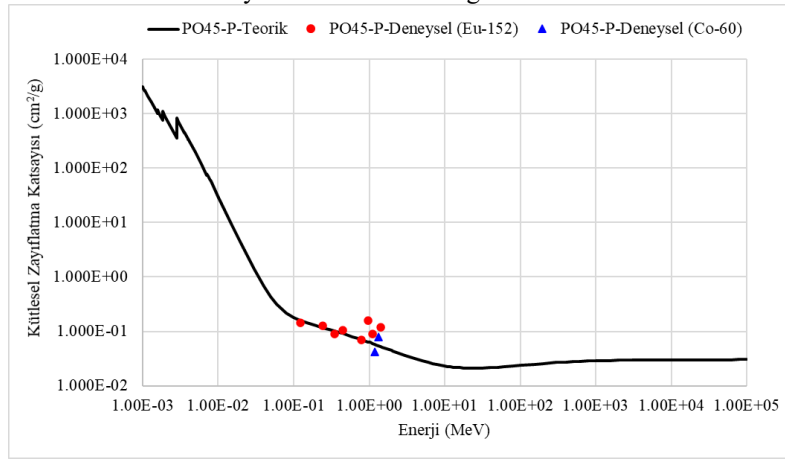
Şekil 6-8'de görüldüğü gibi perlit içeren polimer betonlarda gama radyasyonu için kütleli zayıflatma katsayılarının, teorik ve deneysel hesaplamalarda birbirleri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu uyum faz malzemesiz numune olduğu gibi hem ¹⁵²Eu hem de ⁶⁰Co radyoaktif kaynaklarının tüm enerjileri için geçerlidir.



Şekil 9. %15 Pomza içeren polyester reçineli polimer betonların kütleli zayıflatma katsayısının deneysel ve teorik olarak gösterilmesi



Şekil 10. %30 Pomza içeren polyester reçineli polimer betonların kütleli zayıflatma katsayısının deneysel ve teorik olarak gösterilmesi

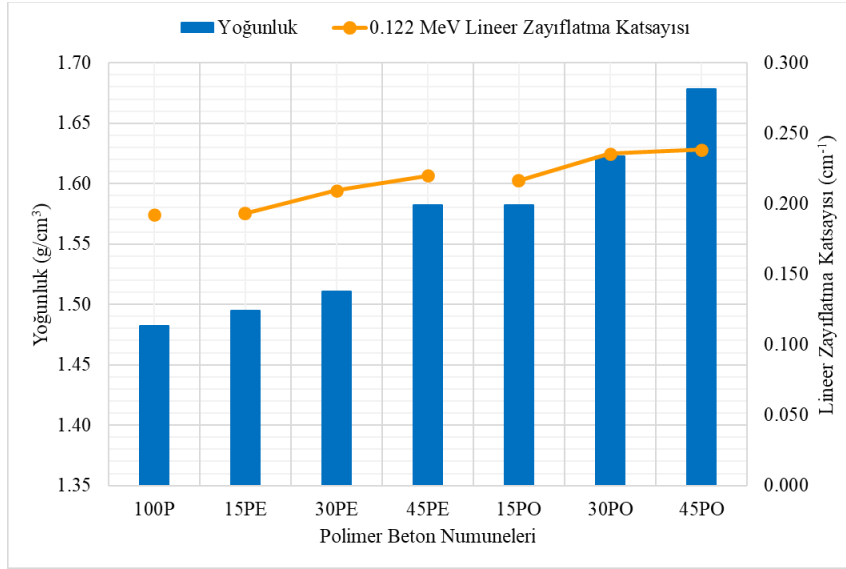


Şekil 11. %45 Pomza içeren polyester reçineli polimer betonların kütleli zayıflatma katsayısının deneysel ve teorik olarak gösterilmesi

Şekil 9-11'de görüldüğü gibi pomza içeren polimer betonlarda gama radyasyonu için kütleli zayıflatma katsayılarının, teorik ve deneysel hesaplamalarda birbirleri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu uyum perlit içeren numunelerde de olduğu gibi radyoaktif kaynakların tüm enerjileri için geçerlidir.

Kütlesel zayıflatma katsayılarının teorik ve deneysel sonuçları her ne kadar birbirleri ile uyumlu olsa da düşük enerjilerde yüksek enerjilere göre daha anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle yoğunluğu birbirine yakın olan numunelerde ve birbirine çok yakın olan enerjilerde kütleli zayıflatma katsayısının sayısal değerleri de birbirlerine çok yakın bulunmuştur. Bu da literatürce de bilindiği üzere malzeme yoğunluğunun ve radyasyon şiddetinin radyasyon zırlaması üzerine etkilerinin bir sonucudur [14].

Ayrıca üretilen tüm polimer beton numunelerinin, yoğunlukları ile radyasyon zırlama deneyi sonrası elde edilen lineer zayıflatma katsayıları arasındaki ilişkiler Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Polimer betonların yoğunluk lineer zayıflatma katsayısı ilişkisi

Şekil 12’de görüldüğü gibi tüm polimer beton numuneleri yoğunlukları ve radyasyon zırlama deneyi sonuçları incelendiğinde yoğunluklar ile lineer zayıflatma katsayıları arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu ilişkiyi ortaya çıkarmak için 0,122 MeV enerjisindeki sonuçlar grafiğe aktarılmıştır. 0,122 MeV enerjisinin seçilmesindeki temel sebep bu enerjinin deneysel çalışmadaki en düşük gama enerjisi olmasından dolayı deney sonuçlarını yorumlamada daha anlaşılır olmasıdır.

Genel olarak polimer betonlarda yoğunluğun artmasıyla lineer zayıflatma katsayıları da artmıştır. Yani yoğunluğu yüksek olan numunelerin lineer zayıflatma katsayıları yüksek, yoğunluğu düşük olan numunelerin ise lineer zayıflatma katsayılarının düşük olduğu görülmektedir.

Ayrıca faz malzeme miktarının %15 – %30 – %45 artışına bağlı olarak yoğunluğun artmasıyla hem perlit hem pomzalı serilerde lineer zayıflatma katsayılarında artış görülmektedir. Bu durum agrega artışına bağlı olarak malzemelerin yoğunluklarının arttığının bir göstergesidir.

4. Sonuç ve Yorum

Bu çalışma kapsamında, polyester reçine ile çeşitli oranlarda perlit ve pomza agregalarının karıştırılmasıyla üretilen polimer betonların radyasyon zırlama performansları deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Tüm polimer betonlarda, gama radyasyonu için kütleli zayıflatma katsayılarının hem teorik hem de deneysel hesaplamalarda birbirleri ile uyum içerisinde olduğu ortaya çıkmıştır.
- Perlit ve pomza içeren polimer betonlar kendi içlerinde karşılaştırıldıklarında yoğunluğu fazla olan pomza içeren beton numunelerinin perlit içeren betonlara göre radyasyon zırlaması açısından daha elverişli olduğu ortaya çıkmıştır.

- Elde edilen radyasyon zayıflatma katsayıları incelendiğinde yoğunluğu daha yüksek agregalar ile üretilecek olan betonların radyasyon zırlaması açısından daha uygun olacağı önerilmektedir.
- Yoğunluğu birbirine yakın olan polimer beton numunelerinde ve birbirine çok yakın olan gama enerjilerinde kütleli zayıflatma katsayıları birbirlerine yakın değerlerde bulunmuştur. Bu da malzeme yoğunluğunun ve radyasyon şiddetinin radyasyon zırlaması üzerine etkilerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.
- Üretilen polimer betonların yoğunlukları dikkate alındığında kütleli zayıflatma katsayılarının düşük enerjilerdeki ölçümlerinde yüksek enerjilere göre daha anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.
- Agregasyon oranlarının %15 – %30 – %45 artışına bağlı olarak polimer betonların lineer zayıflatma katsayılarında artış görülmektedir. Bu durum agregasyon artışına bağlı olarak malzemelerin yoğunluklarının arttığı bir göstergesi olarak ortaya çıkmıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Ali Nadi KAPLAN: Araştırma, Kaynak/Materyal/Malzeme Temini, Orijinal Taslak Yazımı.
Cengiz ÖZEL: Denetim/Gözlem/Tavsiye, İnceleme ve Düzenleme, Veri İyileştirme.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Ali Nadi KAPLAN'ın doktora tezinden türetilmiştir. Yazarlar olarak radyasyon zırlama deneylerini gerçekleştirmemizi sağlayan Ondokuz Mayıs Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Hasan GÜMÜŞ hocamıza teşekkür ederiz.

Çatışma Beyanı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çatışma beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Etik Kurul Onayı ve/veya Aydınlatılmış Onam Bilgileri

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onayı ve/veya aydınlatılmış onam bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Kaynakça

- [1] Ş. Kılınçarslan, "Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırlamasındaki özellikleri ve optimal karışımlarının araştırılması," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2004.
- [2] A. Küçükılınç, "Samsun ilindeki bazı yapı malzemelerinin gama soğurma özelliklerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 2019.
- [3] Z. M. Doğan, "Limonit ve siderit agregalarının ağır beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2012.
- [4] B. Akyol, "Radyoterapi merkezi inşaatlarında malzeme seçiminin tasarıma etkisinin araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2015.
- [5] A. Akkaş, "Alüminyum-Bor-Karbür kompozit malzemelerin radyasyon karşısındaki davranışının belirlenmesi, XCOM bilgisayar programı ile incelenmesi ve yeni bir hibrit kompozit radyasyon zırlama malzemesi önerisi," Doktora Tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.

- [6] S. Özen, “Denge ağırlığı ve radyasyonlu ortamlarda zırh işlevi amacına yönelik ağır beton tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2013.
- [7] H. Ertaş, “Kurşun madeni atıklarının radyasyon zırhlama etkilerinin araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, 2014.
- [8] E. Bakırhan, “Kurşun maden atığı katkılı ağır betonların radyasyon soğurma katsayılarının araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, 2017.
- [9] Ş. Kılınçarslan ve A. Seven, “Baritli hazır sıva kaplamalarının radyasyon zırh malzemesi olarak kullanımının araştırılması,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3), 9-14, 2014.
- [10] Ş. Biber Temircik, “Yapı Malzemelerinin Radyasyon Geçirgenliği ve Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2015.
- [11] A. Sharma, M. I. Sayyed, O. Agar, M. R. Kaçal, H. Polat, and F. Akman, “Photon-shielding performance of bismuth oxychloride-filled polyester concretes,” *Mater. Chem. Phys.*, 241, 1-9, 2020.
- [12] O. Gencil, W. Brostow, C. Ozel, and M. Filiz, “Concretes containing hematite for use as shielding barriers,” *Mater. Sci.*, 16 (3), 1392–1320, 2010.
- [13] İ. B. Topçu ve A. Uğurlu, “Barit ile üretilmiş ağır betonlar üzerine bir çalışma,” *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, 474 (4), 51-57, 2012.
- [14] I. M. Nikbin, R. Mohebbi, S. Dezhampahanah, S. Mehdipour, R. Mohammadi, and B. Nejat, “Gamma ray shielding properties of heavy-weight concrete containing nano-TiO₂,” *Radiat. Phys. Chem.*, 162, 157–167, 2019.
- [15] Ç. Akkaya Özden, “Polimer betonların donma - çözülme etkisine dayanıklılığı,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2010.
- [16] A. Douba, M. Genedy, E. N. Matteo, U. F. Kandil, J. Stormont, and M. M. Reda Taha, “The significance of nanoparticles on bond strength of polymer concrete to steel,” *Int. J. Adhes. Adhes.*, 74, 77-85, 2017.
- [17] T. Özturan, “Özel betonlar,” *Hazır Beton Dergisi*, 118, 70-82, 2013.
- [18] O. Soykan, C. Öcal, C. Özel, A. Eren ve O. Çelik, “Deprem sonrası betonarme elemanların polimer beton ile onarım ve güçlendirilmesi,” *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu (IBEES2015)*, Burdur, 2015, s. 227-232.
- [19] TS EN 12390-7, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneylemleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini,” *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)*, 14 s., Ankara, 2019.
- [20] M. J. Berger, J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, J. Chang, J. S. Coursey, R. Sukumar, D. S. Zucker, and K. Olsen, “XCOM: Photon cross section database,” *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, Gaithersburg, USA, 2010.