

Üleksit, kolemanit, klinoptilolit zeolitli sıvaların radyoaktif ışınlam soğurumu, basınç mukavameti, ısı yalıtımı ve antibakteriyel özelliklerinin karşılaştırılması

Ali Deniz KÜÇÜKÖZER¹, Tuana KAYA¹, İrem YALÇIN¹, N. Sibel ÖZATLI^{1*}

¹ Şehit Turgut Solak Fen Lisesi, Balıkesir

Geliş Tarihi (Received Date): 26.09.2024

Kabul Tarihi (Accepted Date): 19.04.2025

Öz

Bu çalışmada, üleksit, kolemanit ve klinoptilolit zeolitli sıvaların radyoaktif ışınlam soğurumu, ısı yalıtımlığı, su tutma kapasitesi, ses yalıtımlığı, antibakteriyel özellik ve basınç dayanım açısından inşaat malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Klinoptilolit zeolit, üleksit ve kolemanit temin edilip, belirli oranlarda karıştırılarak gaz beton üzerine uygulanmıştır. Sıva örnekleri onar tekrar ile Geiger Müller dedektörü kullanılarak radyoaktif ışınlam soğurumu için değerler alınmıştır. Çalışma sonucunda klinoptilolit zeolit-sıva harcı karışımlarında; %30 klinoptilolit zeolit örneğinde 0.48 Bq ile en yüksek radyoaktif ışınlam soğurumu değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Klinoptilolit zeolitli sıvanın radyoaktif ışınlam soğurum değerinin üleksitli ve kolemanitli sıvalara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda klinoptilolit zeolitli sıvaların radyoaktif ışınlam olan ortamlarda kullanımı önerilmektedir. Ayrıca klinoptilolit zeolit en iyi soğurum değerini verdiği %30 malzeme-%70 sıva harcı oranında klinoptilolit zeolit, üleksit ve kolemanit için ısı yalıtımlığı, su emme, ses iletim, basınç mukavamet ölçümleri yapılarak ve antibakteriyel özellikler incelenerek inşaat malzemesi olarak kullanımları açısından veriler değerlendirilmiştir. Su emme ölçümlerinde %20.35 ile kolemanitli sıva; en düşük ısı iletkenliğine 0.3384 W/mK ile üleksitli sıva; en az ses iletkenliğine 46.55 dB ile klinoptilolitli sıvanın sahip olduğu ölçülmüştür. Basınç mukavameti ölçümlerinde %100 sıva harcının 4.028 mPa ile en yüksek dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Radyoaktif ışınlam, basınç mukavameti, ısı yalıtımı, ses iletimi

Ali Deniz Küçüközer, alidenizkucukozer@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-6831-2889>

Tuana Kaya, tkaya7749@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-2870-5650>

İrem Yalçın, iremylc798@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0779-5612>

*Nuriye Sibel ÖZATLI, nozatli@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9652-1780>

Comparison of radioactive radiation absorption, compressive strength, thermal insulation and antibacterial properties of ulexite, colemanite, clinoptilolite zeolite plasters

Abstract

In this study, it was aimed to investigate the usability of plasters with urexite, colemanite and clinoptilolite zeolite as construction materials in terms of radioactive radiation absorption, thermal insulation, water retention capacity, sound insulation, antibacterial properties and compressive strength. Clinoptilolite zeolite, urexite and colemanite were obtained and mixed in certain proportions and applied on aerated concrete. The plaster samples were repeated ten times and values were taken for radioactive radiation absorption using a Geiger Müller detector. As a result of the study, it was determined that the highest radioactive radiation absorption value with 0.48 Bq in 30% clinoptilolite zeolite-render mortar mixtures was found in the clinoptilolite zeolite sample. It was determined that the radioactive radiation absorption value of the plaster with clinoptilolite zeolite was higher than the plasters with urexite and colemanite. In this context, it is recommended to use clinoptilolite zeolite plasters in environments with radioactive radiation. In addition, thermal insulation, water absorption, sound transmission, compressive strength measurements and antibacterial properties were made for clinoptilolite zeolite, urexite and colemanite at 30% material-70% plaster mortar ratio where clinoptilolite zeolite gives the best absorption value and the data were evaluated in terms of their use as construction materials. In water absorption measurements, the lowest thermal conductivity was 20.35% for colemanite plaster; the lowest thermal conductivity was 0.3384 W/mK for urexite plaster; and the lowest sound conductivity was 46.55 dB for clinoptilolite plaster. In compressive strength measurements, it was determined that 100% plaster mortar had the highest strength with 4.028mPa.

Keywords: *Radioactive radiation, compressive strength, thermal insulation, sound transmission*

1. Giriş

Deniz kıyısındaki volkanların patlaması ve yüzeye çıkan lavların deniz suyuyla karışmasıyla milyonlarca yıl önce mikro gözenekli bir kaya yani zeolit oluşmuştur. Zeolit keşfinden yaklaşık 200 yıl sonra kimyacılar Weigel ve Steinhoff'ın araştırmalarında kullanmışlardır. Çalışmalarında zeolit küçük molekülleri emme özelliğinin oldukça gelişmiş olduğunu görmüşlerdir. Bu özelliğin kaynağı ise yapısındaki kanala benzer boşluklardır. Zeolit gelişmiş emme özelliğinin ortaya konulması da endüstriyel alanda bolca kullanılmasına yol açmıştır. Ülkemizin zeolit rezervi yaklaşık 50 milyar tondur [1].

Zeolitlerin ağır olmaması, gözenekli yapısı, iyon değişikliği yapabilmesi, absorpsiyon özelliğinin yüksek olması ve açık renkli olmaları farklı endüstriyel alanlarda ham madde olarak kullanılmasına neden olmuştur. Bu alanlardan bazıları kirlilik kontrolü,

enerji, tarım, hayvancılık, maden ve metalürjidir [2]. Zeolitin inşaat sektöründe, boyar madde giderimi ve derin sulardaki radyoaktivite seviyesine etkisi araştırılmıştır [3-6].

Teknolojinin gelişmesiyle elektronik aletler gelişmiş ve hayatımızın her alanına girmiştir. Bununla birlikte maruz kaldığımız radyasyon miktarı da artmıştır. Radyasyon, canlılarda hücresel ve moleküler düzeylerde kimyasal, biyolojik ve fiziksel çeşitli değişikliklere yol açar [7].

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayılımıdır. İyonlaştırıcı olan ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki türü vardır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun enerjisi düşük ve giriciliği çok azdır, kızılötesi dalgalar, mikrodalga, radyo dalgaları örnek olarak verilebilir. İyonlaştırıcı radyasyonun ise enerjisi ve giriciliği yüksektir. Buna örnek olan X ve gamma ışınları yüksek enerjili elektromanyetik radyasyon; alfa ve beta ışınları ise yüksek enerjili parçacık radyasyonudur. Alfa ve beta radyoaktif elementlerin atom çekirdeğinin parçalanmasıyla oluşan radyoaktif parçacıklardır. Bazı elementlerin çekirdeği kararsız yapıya sahiptir, yani nötron sayısının proton sayısına oranı büyüktür. Bu kararsız çekirdekler kararlı hale gelebilmek için kendiliğinden alfa(α), beta(β) gibi yüklü parçacıklar ve gamma(γ) ışını yayarlar. Bu olaya radyoaktiflik veya radyoaktif bozunma denir [8].

Maruz kalınacak radyasyon etkilerinin gözden geçirilerek net bir yarar sağlamayan radyasyon uygulamalarına izin verilmemesi günümüzde radyasyondan korunmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Uygulamanın sağlayacağı yararın ortaya çıkacak zarara değeceğine karar verilmesiyle maruz kalınacak radyasyon miktarının en az seviyeye indirilmesi sağlanmaktadır [9]. Dış radyasyondan korunmanın üç ana kuralı vardır. Bunlar; zaman, mesafe ve zırhlama. Zırhlama, radyasyon kaynağı ile korunmak istenen kişiler arasına kurşun, tuğla, beton gibi malzemelerin konulmasıdır. Zırhlama malzemesi radyasyon miktarını azaltan malzemedir. Zırhlama işlemi, cihazın zırhlanması ve cihazın içinde bulunduğu odanın zırhlanması olmak üzere iki şekilde yapılır. Genellikle zırhlama, radyasyon tehlikesini önlemede en etkin yoldur. Radyasyon türüne göre zırhlama malzemesi değişkenlik gösterir. Alfa ışınları bir kâğıttan, beta ışınları ise alüminyumdan geçemezken x ve gama ışınlarından korunmak için kurşun kullanılır [10-11]. Örneğin, hastanelerdeki röntgen odaları gibi radyasyonun yoğun olduğu bölgelerde duvarlar arasında zırh malzemesi olarak kurşun bulunmaktadır. Kurşun günümüzde çok tercih edilmesine rağmen pratik bir çözüm olmaması, çevreye zararlı olması, ağır olması ve pahalı olması nedeniyle; yapıya ek yük getirmeyecek, elverişli, canlı sağlığına zararı olmayan kurşuna alternatif seçeneklere ihtiyaç vardır [12]. Bu amaçla nükleer reaktörlerde kullanılan malzemelerden birisi de bordur. Borla malzemelerin zırhlanması sonucu ortama geçen radyasyon miktarının azaldığı ortaya konulmuştur [13]. Fakat bor türevleri de mali açıdan uygun değildir.

Son yıllarda bakteri ve virüslerin dirençli hale gelmesiyle yapı malzemelerinde kullanılan bakteri karşıtı uygulamalar yetersiz kalmış ve antibakteriyel uygulamalarda yeni yöntemlerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır [14]. Mikroorganizmaların tekrar çoğalmasını önlemek için betonun iç yapısının değiştirilmesi ile çeşitli alanlarda kullanılan antibakteriyel özelliklerin betona kazandırılması istenmiştir. Bu doğrultuda çimento katkılı bileşim malzemelerine üretim aşamasında TiO_2 eklenerek kendi kendini temizleme özelliği kazanmaları ve yüzey kirleticilerinden arınmalarını sağlayan çalışmalar bulunmaktadır. Bu alanda zeolitler; iyon değişimi, adsorpsiyon yetenekleri ve katalizör olarak kullanılabildikleri için tercih edilmiştir. Literatürde zeolit ile

tekstilde, kimyasallarda ve film kaplamada antibakteriyel özellik kazandırma çalışmaları yapılmıştır ama doğrudan inşaat sektöründeki yapı malzemelerinde yapılmamıştır [15].

Betonarme yapılar ve yapı elemanları kullanıldıkları süre boyunca eğilme bükülme, basınç gibi farklı dış yüklerle karşı karşıya kalırlar. Söz konusu yapıların kullanım ömrünü uzatmak için dış yüklere karşı basınç dayanım değerinin artması gerekmektedir. Basınç dayanımı, betonların sertleştikten sonra üzerlerine etki eden yüklere karşı gösterdiği maksimum dirençtir. Basınç dayanımının liman, baraj, köprü, viyadük, uçak pistleri gibi yapılarda yüksek olmasına dikkat edilir [16]. Fakat gelişen silah teknolojisiyle birlikte özellik de konu nükleer tehdit olduğunda uzmanlar ancak yer altındaki sığınak türü yapıların tamamen koruma sağlayabileceğini öngörmektedir. Bu durum sığınaklarda kullanılan betonarme yapı ve yapı malzemelerinin basınç dayanımının önemini vurgulamaktadır [17].

Gürültü kirliliği, insanlarda hipertansiyon, stres, uyku bozuklukları, kulak uğuldaması gibi çeşitli sorunlara yol açabilir. Gürültü kontrolünü sağlamak için ses emici paneller olarak sentetik, gözenekli ve elyafli akustik malzemeler kullanılmaktadır. Ancak bu iş için sıklıkla tercih edilen köpük, taş yünü ve cam yünü gibi ürünler hem insan sağlığına hem de çevreye zarar vermektedir [18-19].

Günümüzde sınırlı enerji kaynakları nedeniyle enerjinin verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda yükselen enerji maliyetleri, enerji verimli yapılar kavramına yönelik taleplerde belirgin bir artışa sebep olmuştur. Binaların dış duvarlarının uygun tasarımı ve seçimi enerji verimliliğini arttırabilmektedir [20]. Uygun yapı malzemenin seçilebilmesi için kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı küçüldükçe ısı yalıtım performansı artış gösterir [21].

Bir yapının yüzey kaplamasındaki gözenekli bir yapı taşı, yağmur ya da yüzey suları ile teması sonucunda kılcallık olayı etkisiyle suyu emer. Bu olay sonucunda yapı içine giren su; yapı malzemesinin nem içeriği ile sıcaklığının değişmesine sebep olmakta ve malzemede büzülme, şişme gibi hacimsel sorunlara yol açmaktadır [22]. Hâlihazırda inşa edilmiş yapılarda da kılcallık ile su emmeye bağlı olarak bozulmalar meydana gelebilir. Özellikle tarihi yapılarda bulunan sanat değeri yüksek motiflerin önemli derecede bozulduğu gözlemlenmiştir. Gelişen bu tarz nemlenme zararlarının azaltılması için uygun malzeme seçiminin yapılması gerekmektedir [23].

İnşaat sektöründe kullanılacak malzemelerin sadece bir özellik açısından değil, birkaç özellik açısından yüksek değerlere sahip olması çevresel etkileri azaltması, yapısal ve maliyet açısından önem arz etmektedir. İnşaat malzemelerinde basınç dayanımı, ses ve ısı izolasyonunun yanı sıra son yıllarda antibakteriyel özellikte ön plana çıkmıştır.

Geçmişten günümüze tıp, tarım, endüstri ve askeri gibi birçok alanda kullanılan yöntem ve araçlar gelişme göstermiş buna bağlı olarak canlıların maruz kaldığı radyasyon miktarı gün geçtikçe artmıştır. Radyasyondan korunmak için kullanılan yöntemlerden en çok tercih edileni zırhlama yöntemidir. Günümüzde kullanılan zırhlama malzemelerinin ekonomik olmamasından ve bu alanda daha etkili bir alternatifin bulunmamasından kaynaklanan soruna bu çalışmada tasarlanan siva harcının çözüm üreteceği düşünülmektedir. Çalışmamızda Klinoptilolit zeolit, Üleksit, Kolemanit

uygulama kolaylığı sağlaması açısından hazır sıva harcıyla belirli oranlarda yer değiştirilmiştir. Ülkemizde rezervi bulunan klinoptilolit zeolit, üleksit ve kolemanit karışımları ile geliştirilen sıvaların radyoaktif ışınım soğurumu, ısı yalıtkanlığı, su emme, ses iletim, antibakteriyel özellik ve basınç dayanımı deneysel çalışmalarla tespit edilerek inşaat sektöründe kullanılabilirliği incelenmiştir. Eski ve yeni binalarda kullanılabilecek Türkiye’de rezervi bulunan bir sıva malzemesinin tespit edilmesinin halk sağlığının korunmasının yanı sıra milli sermayeye ve literatüre katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

2. Malzeme ve methodlar

Bu bölümde yapılan çalışmada kullanılan cihazların, malzemelerin ve yöntemin tanıtımı yapılmıştır.

2.1. Malzemeler ve sıvaların hazırlanması

2.1.1. Klinoptilolit zeolit

Klinoptilolit zeolitler (Şekil 1, Şekil 2); yapısında Na, K gibi alkali ve Mg, Ca, Ba, St gibi toprak alkali elementler bulunduran, kristal yapıda sulu alümina silikatlardan, üç boyutlu kristal bir yapıdadır [1].



Şekil 1. Toz halinde klinoptilolit zeolit



Şekil 2. Taş halinde klinoptilolit zeolit

2.1.2. Kolemanit

Kristalize, özellikleri açısından elmasla benzerlik gösteren ve elmas kadar sert olan kolemanit bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır (Şekil 3). Dünyada ABD’de; Türkiye’de ise Balıkesir, Kütahya ve Bursa’da bulunur [24].

2.1.3. Üleksit

Doğada sütun, lifsi ve masif şeklinde bulunur(Şekil 4). Üleksit sıcak su içerisinde daha kolay çözünür. Dünya bor rezervinin %73’üne sahip olan Türkiye’de zengin bor yatağı Balıkesir, Eskişehir ve Kütahya’da bulunmaktadır. Üleksit mineralinin kullanıldığı birçok alana boraks ve borik asit üretimi, ses ve ısı izolasyonu, seramik, cam ve gübre endüstrisi örnek olarak verilebilir [24-26].

2.1.4. Gaz beton

Gaz beton, kolay işlenebilir, gözenekli yapıya sahip ve ısı yalıtkanlığı yüksek bir yapı malzemesidir (Şekil 5). Sönmemiş kireç, yüksek silisli bir dolgu maddesi, çimento ve alüminyum tozu içerir. Gözenekli olmasını sağlayan alüminyum tozudur. Yapısındaki maddelerin; %59’u uçucu kül, %33’ü çimento, %8’i kireç ve %0,07’si alüminyum

şeklindedir. En önemli ve en ayırıcı özelliği gözenekli bir yapıda olmasıdır. Toplam gözeneklilikleri hacimsel olarak %75- %90 arasında değişen gaz betonlar en fazla kullanılan gaz beton tipleridir [27].



Şekil 3. Kolemanit



Şekil 4. Üleksit



Şekil 5. Kullanılan gaz beton

2.1.5. Hazır sıva harcı

Dış ve iç cephelerde yüzeyde ısı yalıtım amaçlı kullanılan mantolama sıvısıdır. Çimento esaslıdır [28]. Hazır sıva harcının teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hazır Sıva Harcının Özellikleri

Kullanılacak su miktarı	5,5-6,5 L
Hazırlanan harcın olgunlaşma süresi	5 dakika
Hazırlanan harcın kullanılabilme süresi	2 saat
Uygulama kalınlığı	4 mm
Tüketim	4-5 kg/m ²

2.1.6. Sıvaların hazırlanışı

Klinoptilolit zeolit, üleksit ve kolemanit farklı oranlarda hazır sıva harcı ve suyla karıştırılmıştır. Elde edilen sıva harçları gaz betonlara uygulanmış ve farklı boyutlardaki iki kalıba dökülmüştür. Sıva uygulanan gaz betonlar; radyoaktif ışınım geçişi, ısı iletimi ve ses yutumu ölçümlerinde kullanılmıştır. 5x5x5 boyutundaki kalıba dökülen sıvalar basınç dayanım ve su emme ölçümlerinde kullanılmıştır. 2x2x2 boyutundaki kalıba dökülen sıvalar antibakteriyel özelliğin araştırılmasında kullanılmıştır. Hazırlık aşamaları Şekil 10,11 ve 12’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Malzemelerin karıştırılması



Şekil 7. Sıvaların gaz betonlara uygulanması



Şekil 8. Sıva uygulanan gaz beton

Gaz betonlara uygulanan sıvaların malzeme miktarı, malzeme oranları, su miktarı ve kalınlıkları Tablo 2’de verilmiştir. Uygulamanın yapıldığı gaz betonların eni 10 cm, boyu 25 cm’dir. Sıvaların hazırlanması esnasında kullanılan su ve malzeme miktarları,

uygulanacak sıva kalınlıkları yapı sektöründe çalışan sıvacılar ile görüşüldükten sonra belirlenmiştir.

Tablo 2. Gaz betonlara uygulanan sıvalarda kullanılan malzemeler ve oranları

Malzeme	Malzeme Miktarı (g)	Su Miktarı (ml)	Malzeme Oranı (%)	Sıva Kalınlığı (cm)
Sıva Harcı	400	230	%100 Sıva Harcı	1
Klinoptilolit Zeolit-Sıva Harcı	400	200	%50 Klinoptilolit Zeolit-%50 Sıva Harcı	1
Klinoptilolit Zeolit-Sıva Harcı	400	200	%40 Klinoptilolit Zeolit-%60 Sıva Harcı	1
Klinoptilolit Zeolit-Sıva Harcı	400	150	%30 Klinoptilolit Zeolit-%70 Sıva Harcı	1
Üleksit- Sıva Harcı	400	170	%30 Klinoptilolit Zeolit-%70 Sıva Harcı	1
Kolemanit- Sıva Harcı	400	150	%30 Klinoptilolit Zeolit-%70 Sıva Harcı	1
Klinoptilolit Zeolit-Sıva Harcı	400	190	%20 Klinoptilolit Zeolit-%80 Sıva Harcı	1

Basınç dayanımı ve su emme ölçümleri için hazırlanan sıvaların kalıplara dökülmesi gerekmektedir. Bu 5x5x5'lik kalıplar Şekil 13'de görüldüğü gibidir. Kalıplara dökülen sıvalarda kullanılan malzemeler miktarları ve oranları, su miktarları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. 5x5x5 Boyutundaki sıvalarda kullanılan malzemeler ve oranları

Malzeme	Malzeme Miktarı (g)	Su Miktarı (ml)	Malzeme Oranı (%)	Kalınlık (cm)
Klinoptilolit Zeolit	200	100	%30 Klinoptilolit zeolit-%70 Sıva harcı	5
Üleksit	200	100	%30 Üleksit-%70 Sıva harcı	5
Kolemanit	200	100	%30 Kolemanit-%70 Sıva harcı	5
Hazır Sıva Harcı	200	100	%100 Sıva harcı	5

Kalıplara dökülen sıvalar kalıp içinde 1 gün kalıptan çıkarıldıktan sonra da 14 gün boyunca bekletilmiştir. Elde edilen numune örneği Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 9. Sıvaların kalıplara dökülmesi

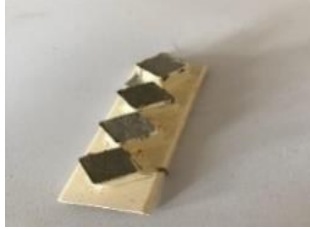


Şekil 10. 5x5x5 boyutundaki sıva

Antibakteriyel özelliklerin araştırılması için hazırlanan sıvalar 2x2x2 boyutundaki kalıplara dökülmüştür (Şekil 15, 16). Kalıplara dökülen sıvalarda kullanılan malzemelerin miktarları ve oranları, su miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. 2x2x2 Boyutundaki sıvalarda kullanılan malzemeler ve oranlar

Malzeme	Malzeme Miktarı (g)	Su Miktarı (ml)	Malzeme Oranı (%)	Kalınlık (cm)
Klinoptilolit Zeolit	10	6	%30 Klinoptilolit Zeolit- %70 Sıva harcı	2
Üleksit	10	3	%30 Üleksit-%70 Sıva harcı	2
Kolemanit	10	4	%30 Kolemanit- %70 Sıva harcı	2
Hazır Sıva Harcı	10	4	%100 Sıva harcı	2



Şekil 11. Sıvaların kalıplara dökülmesi



Şekil 12. 2x2x2 boyutundaki sıvalar

2.2. Test ve ölçüm yöntemleri

Toz malzemelerin ölçümlerinde hassas terazi kullanılmıştır. Taş halindeki klinoptilolit zeolitler havanlarda ezilerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen malzemeler (klinoptilolit zeolit, üleksit ve kolemanit) su ve sıva harcı ile belirlenen oranlarda karıştırılmıştır. Elde edilen sıva karışımları gaz betonlar üzerine uygulanmıştır.

2.2.1. QTM-500 cihazı

Seramik, tuğla, plastik ve beton gibi çeşitli yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarını ölçmede kullanılır. Bu cihazda prensip olarak sıcak tel metodunu kullanılmaktadır. Sıcak tel metodunda maddelerin ısı iletkenliği, metal bir tel ısıtılarak maddenin zaman içindeki sıcaklığındaki artışa göre belirlenir. QTM-500 cihazının teknik özellikleri; 0.023-11.63 W/mK ölçüm aralığı, %5 ölçüm hassasiyeti, (-10)- 200°C sıcaklık aralığı, 120x60x20mm minimum örnek boyutu şeklindedir (Şekil 6) [29].

2.2.2. Geiger Müller detektörü

Bilimsel araştırmalarda parçacık sayısının tespit edilmesi için kullanılır ve birçok çeşidi vardır. Çeşitlerine gazlı detektörler, sintilasyon detektörleri, yarı iletken detektörler örnek verilebilir. Bu projede gazlı detektör olan Geiger Müller detektörü kullanılmıştır. Geiger Müller detektörü (Şekil 7) alfa, beta, gama olarak bilinen rasyasyon ışınları tespit eder ve sayar. Yüksek gerilim kullanarak çalışır. Geiger Müller detektöründe parçacık enerjisinin ölçülmesi veya parçacık cinslerinin birbirinden ayrılması mümkün değildir. Bu çalışmada kullanılan Geiger Müller detektörünün özellikleri; 9 V besleme gerilimi, 315 mW gücü ve 250-600 V tüp voltajı bulunmaktadır. Geiger Müller sayacıyla Bekerel (Bq) biriminden ölçüm yapılır. Bekerel (Bq) birimi ile çekirdeğin birim zamandaki bozunma sayısı tespit edilir [30].

2.2.3. Desibelmetre

Ses iletkenlik ölçümünde kullanılan cihaz desibel metredir. Desibelmetreler (Şekil 8) ses basıncını ölçerek sesin seviyesini belirleyen cihazlardır. Ses desibelmetrenin içerisine mikrofon sayesinde alındıktan sonra cihaz içerisinde değerlendirilir ve ölçüm sonuçları cihaz ekranında desibel cinsinden görüntülenir. Hata payı: ± 1 . 4dB



Şekil 13. QTM 500 cihazı Şekil 14. Geiger müller dedektörü Şekil 15. Desibelmetre

2.2.4. Otomatik çimento basma deney presi

Basınç mukavamet ölçümlerinde kullanılan cihaz çimento basma deney presidir (Şekil 9). Bu cihazda, küp şeklindeki numunelerde bozulmalar gözlenene kadar sabit bir yükleme hızıyla kuvvet uygulanır bu sayede mm^2 başına düşen mPa değeri hesaplanmaktadır. Çimento basma deney pres cihazının teknik özellikleri: Kapasite: 250kN, Yükleme hızı: 0,5kN/sn.



Şekil 16. Otomatik çimento basma deney presi

2.2.5. Radyoaktif ışınım geçiş ölçümü

Radyoaktif ışınım geçiş ölçümleri ilimizdeki üniversitenin fizik laboratuvarında uzman gözetiminde yapılmıştır. Öncelikle radyoaktif ışınım soğurulmasında klinoptilolit zeolitinin etkili olup olmadığını belirlemek amacıyla yirmi saniyelik periyotlarda Geiger Mülller dedektörü kullanılarak ölçümler yapılmıştır (Şekil 17, Şekil 18). Kaynak-dedektör arası madde yokken ölçülen değer 5.35 Bq, saf klinoptilolit zeolit kullanılan ön ölçümde elde edilen değer ise 1.7Bq'dir. Yapılan ön ölçümlerle saf klinoptilolit zeolitinin radyoaktif ışınım soğurumunda etkili olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 17. Zeolitile ön ölçümün yapılması Şekil 18. Zeolitile ön ölçümün yapılması

Gaz beton üzerine uygulanmış sıvalar Geiger Müller dedektörü ve kullanılan radyoaktif kaynak olan Radium 226 arasına yerleştirilmiştir. Her oran için 30 saniyelik onar ölçüm yapılmıştır. Her ölçümde Radium ile dedektör arasındaki mesafe ve sıvaların kalınlığı sabit tutulmuştur. Bu ölçümlere ek olarak radyoaktif kaynak ve dedektör arasında malzeme yokken ve gaz beton sıvasız iken kontrollü deneyler için ölçümler yapılmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Radyoaktif ışınım geçiş ölçümü

2.2.6. Isı iletkenlik katsayısının ölçümü

%30 malzeme-%70 sıva harcı oranındaki sıvaların gaz betona uygulanmasıyla elde edilen örneklerin ve %100 sıva harcı uygulanmış gaz betonun termal iletkenlik katsayıları QTM-500 ısı iletkenliği ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Her örnek için 1 dakikalık üçer ölçüm yapılmıştır. Isı iletkenlik katsayısı ölçümleri ilimizdeki üniversitenin kimya bölümünde yapılmıştır (Şekil 20, Şekil 21).



Şekil 20. Isı iletkenlik katsayısının ölçümü Şekil 21. Isı iletkenlik katsayısının ölçümü

2.2.7. Basınç mukavamet ölçümü

5x5x5 boyutunda %30 malzeme-%70 sıva harcı oranındaki örneklerin beton pres cihazı ile basınç mukavametleri ölçülmüştür. Her örnek için üçer kez ölçüm alınmıştır. Aynı ölçüm %100 sıva harcı kullanılarak elde edilen örneklerle de yapılmıştır. Basınç mukavamet ölçümleri ilimizdeki üniversitenin inşaat mühendisliği bölümünde yapılmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Basınç mukavamet ölçümü

2.2.8. Su emme ölçümü

5x5x5 boyutunda hazırlanmış örnekler hassas terazide tartılarak kuru kütleleri belirlenmiştir. Ardından 500 ml su içinde 24, 48 ve 72 saat boyunca bekletilmiştir (Şekil 23). Belirtilen süreler sonunda tekrardan kütleleri ölçülerek sıvaların ne kadar su emdikleri ölçülmüştür (Şekil 24).



Şekil 23. Sıvaların suda bekletilmesi



Şekil 24. Sıvaların tartılması

2.2.9. Ses iletkenliği özelliklerinin incelenmesi

%30 malzeme-%70 sıva harcı oranındaki sıvaların gaz betona uygulanmasıyla elde edilen örneklerin beşer adeti, %100 sıva harcı ile yapılan örneklerin 5 adeti ve sıvasız gaz betonların 5 adeti ses yutum özellikleri ölçümünde kullanılmıştır. Gaz betonlar sıvalı kısmı dışarıda kalacak, aralarında boşluk kalmayacak şekilde ve arasına sabit şiddetli ses kaynağı konularak Şekil 25'deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 25. Gaz betonların yerleştirilmesi



Şekil 26. Ses iletkenliği ölçümü

Ses kaynağı ile aynı hizada, kaynağa 1.5 metre mesafede bulunan bir desibelmetre ile ölçümler alınmıştır. Kaynak ve desibelmetre arasında engel yokken de ölçüm alınmıştır. Her malzeme için 30 saniyede 10 ölçüm alınmış ve ortalamaları hesaplanmıştır (Şekil 25, Şekil 26).

2.2.10. Antibakteriyel özelliğin araştırılması

2x2x2 boyutunda %30 malzeme-%70 sıva harcı ve %100 sıva harcı oranındaki örneklerin antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Malzemelerimizin antibakteriyel etkinliklerinin sayısal olarak tespitinde, ASTM E2149 test yöntemi kullanılmıştır. Deneysel süreçte, Staphylococcus aureus (ATCC 6538) Gram-pozitif bakteri suşu olarak seçilmiştir. Numunelere, 2×10^5 cfu/mL yoğunlukta Staphylococcus aureus bakteri çözeltisi ilave edilmiş, 37°C'de 100 devir/dakika çalkalama hızında ilk olarak 2. 5 saat, devamında 24 saat süre ile inkübe edildikten sonra seri sulandırılmalar yapılarak besi yerlerine ekimler yapılmış ve antibakteriyel etkinlik değeri tespit edilmiştir.

3. Sonuç ve tartışma

Çalışmanın amacı doğrultusunda farklı miktarlarda ve oranlarda sıva harcıyla karıştırılan klinoptiloid zeolit, kolemanit, üleksitle elde edilen örneklerin radyoaktif ışınım geçiş, ısı iletkenlik katsayısı, basınç dayanımı, ses iletkenliği, su emme ölçümleri ve antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Bu kısımda çalışmanın sonuçları sunulmaktadır.

3.1. Su emme ölçümü sonuçları

Sıvaların kütlege su emme yüzdeleri hesaplanırken %100 sıva harcı ve %30 malzeme-%70 sıva harcı oranında 5x5x5 küp şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin 24,48 ve 72 saat suda bekletilmesiyle ölçümler tamamlanmıştır. Zaman geçtikçe her malzeme için su emme yüzdeleri çok az artmakla birlikte ölçümler sonunda kütlege su emme yüzdesi en yüksek olan sıva yaklaşık %30 ile klinoptiloid zeolitli sıva en az olan sıva ise yaklaşık %17 ile üleksitli sıva olmuştur. Tablo 5’de sıvaların 24, 48 ve 72 saat sonraki su emme ölçümlerine ait sonuçlar sunulmuştur.

Tablo 5. Su emme ölçümleri sonucunda elde edilen bulgular

Malzeme	İlk Kütle	24 Saat Sonraki Kütle	24 Saat Sonundaki Kütlege Su Emme Yüzdesi	48 Saat Sonraki Kütle	48 Saat Sonundaki Kütlege Su Emme Yüzdesi	72 Saat Sonraki Kütle	72 Saat Sonundaki Kütlege Su Emme Yüzdesi
Hazır Sıva Harcı	152,4	183,3	%19,61	183,6	%20,47	183,9	%20,66
Klinoptiloid zeolit	145,1	189,1	%30,34	189,7	%30,73	190,8	%31,49
Üleksit	161,4	190,1	%17,78	189,8	%17,59	189,8	%17,59
Kolemanit	176,4	211,3	%19,78	211,8	%20,06	212,3	%20,35

Tablo 5’de görüldüğü gibi %30 malzeme - %70 sıva harcı oranındaki sıvaların su emme yüzdeleri %100 sıva harcının su emme yüzdesi ile karşılaştırıldığında ise %70 sıva harcı - %30 klinoptiloid zeolit oranındaki sıvanın %100 sıva harcına göre daha çok su emdiği, %30 üleksit - %70 sıva harcı ve %30 kolemanit - %70 sıva harcı oranındaki sıvaların ise daha az su emdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin zeolitin gözenekli yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bağlamda nem yüzdesi yüksek olan bölgelerde ve binaların dış cephesinde kullanılmasının uygun olmadığı düşünülmektedir. Literatürde zeolit miktarının artmasına bağlı olarak su emme miktarında artış gözlemlenen çalışma bulunmaktadır [31].

3.2. Radyoaktif ışınım geçiş ölçümü sonuçları

Hazırlanan harçlar gaz beton üzerine 1 cm’lik tabaka halinde sıvandıktan sonra ölçümler alınmıştır. Tablo 6’da %50 klinoptiloid zeolit - %50 sıva harcı, %40 klinoptiloid zeolit - %60 sıva harcı, %60 klinoptiloid zeolit - %40 sıva harcı içeren sıvaların; Tablo 7’de sıvasız gaz beton %100 sıva harçlı gaz beton %30 Malzeme - %70 sıva harçlı sıvaların radyoaktif ışınım geçiş ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 6. %50- %40- %60 Klinoptiloid Zeolit içeren sıvaların radyoaktif ışınım geçiş bulguları

ÖLÇÜM	%50 Klinoptiloid Zeolit-%50 Sıva Harcı	%40 Klinoptiloid Zeolit-%60 Sıva Harcı	%20 Klinoptiloid Zeolit-%80 Sıva Harcı
Radyoaktif Işınım Geçiş (Bq)	0,61	0,63	0,53

Tablo 6’da görüldüğü gibi %50 klinoptiloid zeolit - %50 sıva harcında 0,61 Bq, %40 klinoptiloid zeolit - %60 sıva harcında 0,63 Bq, %20 klinoptiloid zeolit - %80 sıva harcında 0,53 Bq ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu kaynak ile detektör arası madde yokken 1,06 Bq geçiş değeri elde edilmiştir. Bu değer sıvasız gaz betonda 0,64 Bq olmasından dolayı gaz betonun yapısındaki maddelerin de radyoaktif ışınları soğurduğu anlaşılmıştır. Aynı şekilde hazır sıva harcı için 0,56 Bq ölçülmesi hazır sıva harcının radyoaktif ışınım soğurum özelliğinin olduğunu göstermektedir. Klinoptiloid zeolit oranı farklı sıvalar arasında %30 klinoptiloid zeolit - %70 sıva harcı oranının en iyi soğurum değerine sahip olduğu görülmüştür (Tablo 7). Bunu sebebinin klinoptiloid zeolit miktarı azaldıkça kafesli yapısının tutuculuğunun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

%30 malzeme - %70 sıva harcı oranında farklı malzemelerle yapılan sıvalar arasında en iyi değer 0.48 Bq ile klinoptiloid zeolitli sıvada elde edilmiştir. Üleksitli ve kolemanitli sıvalarda ise soğurum değerinin sırasıyla 0,63 Bq ve 0,61 Bq olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar “ İnşaatlarda sıva malzemesi olarak klinoptiloid zeolit, üleksit ve kolemanite göre zırlama açısından alternatif bir malzeme midir? ” sorumuzu desteklemektedir.

Zeolitin, kirli suların arıtılması[32], enerji tasarrufu sağlanması[33] ile ilgili araştırmalar literatürde yer almaktadır. Ancak inşaat sektöründe zeolitin sıva harcı ile karıştırılarak radyoaktif ışınım soğurumunda kullanılmasıyla ilgili çalışma bulunamamıştır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farklı olmasını sağlayan niteliği de buradan gelmektedir. Bu çalışmanın sonucuna göre zeolitli sıva harçları radyoaktif ışınım soğurumu ölçümleri sonucunda üleksit ve kolemanitli sıvalara göre daha kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak zeolitin bor türevlerine kıyasla daha ekonomik oluşu ve daha iyi sonuç vermesi ayrıca kurşuna kıyasla da binalara yük getirmemesi ve zeolitli sıvaların eski binalara da uygulanabilecek oluşu zeolitin bu alanda kullanılabileceğini göstermektedir.

3.3. Isı iletkenlik katsayısı ölçümü sonuçları

QTM-500 cihazı ile %30 Malzeme - %70 sıva harcı oranındaki farklı malzemeler için gerçekleştirilen ölçümler en düşük ısı iletimine sahip olan sıvanın üleksitli sıva olduğunu ortaya koymuştur. Ancak üleksitli ve zeolitli sıvaların da %100 sıva harcına göre ısı iletiminin yaklaşık %50 oranında daha düşük olması ve zeolitli sıvanın maliyetinin üleksitli ve kolemanitli sıvalara göre daha düşük olması gibi kıstaslar göz önüne alınca zeolitli sıva daha avantajlıdır. Ayrıca literatürde doğal klinoptiloid zeolit içeren harçların iyi bir yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceğini belirten çalışmalar da bulunmaktadır [34]. Tablo 7’de sıvasız gaz beton %100 sıva harçlı gaz beton %30 Malzeme - %70 sıva harçlı sıvaların ısı iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

3.4. Basınç mukavemet ölçümü sonuçları

Hazırlanan 5x5x5 küp şeklindeki sıvaların UTCM-6431 cihazı ile basınç dayanım ölçümlerine bakılmıştır. %100 hazır sıva harcı ile %70 sıva harcı - %30 malzeme oranındaki sıvalar arasından en iyi ölçüm değerini 4. 028 mPa ile %100 sıva harcı vermiştir. Ardından 1.789 ile üleksit katkılı sıva harcı gelmektedir. Literatürde zeolit katkılı harçlarda basınç mukavemet değerinin %100 sıva harcına göre daha düşük olduğunu belirten çalışma bulunmaktadır [35]. Tablo 7’de sıvasız gaz beton %100 sıva harçlı gaz beton %30 Malzeme - %70 sıva harçlı sıvaların ses iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

3.5. Ses iletkenlik ölçümü sonuçları

Ses iletkenlik ölçümleri, aynı malzeme ile sıvanan 5 gaz betonun aralarında boşluk kalmayacak ve ses kaynağı oluşturulan yapının içinde kalacak şekilde yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Ölçümler sonucu ses iletkenliği en fazla olan maddenin 48,33 dB ile %100 sıva harcı oranındaki sıva olduğu görülmüştür. Sıvasız gaz betonun ölçüm yapılan malzemeler arasında en iyi yalıtım malzemesi olmasının nedeninin gözenekli bir yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En iyi soğurum değerinin sıvasız gaz betonda olmasına rağmen binalarda üzerine sıva uygulanmadan kullanılamaması gaz betonu bu alanda işlevsiz hale getirmektedir. İkinci en iyi soğurum değerine sahip %70 sıva harcı -%30 klinoptilolit zeolit oranındaki sıvanın ise ses yalıtımında alternatiflerine göre daha etkili olduğu yapılan ölçümlerle gösterilmiştir. Tablo 7’de sıvasız gaz beton %100 sıva harçlı gaz beton %30 Malzeme - %70 sıva harçlı sıvaların ses iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. Sıvasız gaz beton %100 sıva harçlı gaz beton %30 Malzeme - %70 sıva harçlı sıvaların radyoaktif ışıyım geçiş, ısı iletkenlik, ses iletkenlik ve gerilme değerleri bulguları

Malzeme	Radyoaktif Işıyım Geçiş (Bq)	Isı İletkenlik (W/mK)	Ses İletkenliği (dB)	Gerilme Değerleri (mPa)
Sıvasız Gazbeton	0,64	-	46,36	-
%100 Sıva Harçlı Gazbeton	0,56	0,6205	48,33	4,028
%30 Klinoptilolit Zeolit-%70 Sıva Harcı	0,48	0,3932	46,55	1,728
%30 Üleksit-%70 Sıva Harcı	0,61	0,3384	48,21	1,789
%30 Kolemanit -%70 Sıva Harcı	0,63	0,3772	48,06	0,823

3.6. Antibakteriyel özelliğin incelenmesi

Sıvaların ASTM E2149 test yöntemine göre antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Bu inceleme sonucu %100 sıva harcı kullanılarak yapılan sıvada herhangi bir antibakteriyel etkinlik tespit edilmemiştir. %30 malzeme - %70 sıva harcı kullanılarak yapılan sıvaların hepsi bakteri gelişimi üzerinde negatif etki göstermiştir. Yapılan ölçümlerin devamında inhibisyon etkisinin 24 saat boyunca sürdüğü ve neredeyse hiç bakteri kalmadığı görülmüştür. En fazla antibakteriyel özellik sırasıyla zeolitli, üleksitli ve kolemanitli sıvada gözlenmiştir. Bunun nedeni kullanılan maddelerin kimyasal özelliklerine bağlanmaktadır.

Önceki yıllarda zeolitin sıva harcı, antibakteriyel katkı ve TiO₂ ile karıştırılarak antibakteriyel etkinliğinin ve kendi kendini temizleme özelliğinin incelendiği bir çalışma yapılmıştır [36]. Ancak literatürde sadece hazır sıva harcı ve klinoptilolit zeolitin karıştırılmasıyla elde edilen sıvanın antibakteriyel etkinliği ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışmamız inşaatlarda kullanılan hazır sıva harçları belirli oranlarda klinoptilolit zeolit, üleksit ve kolemanit ile yer değiştirilirse radyoaktif ışıyım geçişini ne kadar engelleyebileceği üzerine yapılandırılmıştır. Yapılan radyoaktif ışıyım geçiş ölçüm sonuçlarından en iyi ölçüm %30 klinoptilolit zeolit - %70 sıva harcında (0,48 Bq) elde edildikten sonra inşaat sektöründe önemli olan ısı iletkenlik, ses iletkenlik, basınç

mukavemeti, su emme ve antibakteriyel özelliklere ait deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Sonuç olarak; radyoaktif ışıının geçişine ait en iyi değer 0,48 Bq ile klinoptiloid zeolitli sıvada elde edilmiştir. Su emme ölçümlerinde 72 saatlik ölçüm sonucunda %20,35 ile kolemanitli sıvanın en iyi olduğu tespit edilmiştir. Isı iletkenlik ölçümünde en düşük ısı iletimine sahip sıvanın üleksitli sıva olduğu ölçülmüştür (0,3384 W/mK). Basınç mukavemeti ölçümlerinde %100 sıva harcının (4,028 mPa) en dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Ses iletkenlik ölçümlerinde 46,55 dB ile klinoptiloid zeolitli sıvanın en az ses iletkenliğine neden olduğu saptanmıştır. Sıvaların ASTM E2149 test yöntemi ile incelenen antibakteriyel özelliğe en fazla sahip olan sıvanın zeolitli sıva olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmamızdan elde edilen deneysel sonuçlar; “ Klinoptiloid zeolit, üleksit ve kolemanit katkılı sıva harçlarının ses ve ısı iletimi, antibakteriyel özellik, su emme ve basınç mukavemet özellikleri birbirinden farklı mıdır? ” “ Klinoptiloid zeolit radyoaktif ışıının soğurulması ve maliyet açısından inşaat sektöründe kullanılacak alternatif bir malzeme midir?” sorularımızı desteklemiştir.

Günümüzde kullanılan zırhlama malzemelerinin ekonomik olmamasından ve bu alanda daha etkili bir alternatifin bulunmamasından kaynaklanan soruna bu çalışmada tasarlanan sıva harcının çözüm üreteceği düşünülmektedir. Geliştirilen sıvanın ısı ve ses yalıtımında kullanılabilir olması ve antibakteriyel özelliğinin bulunması kullanım kolaylığının yanı sıra daha avantajlı bir zırh malzeme olmasını sağlamaktadır.

Ayrıca klinoptiloid zeolit ülkemizde çıkarıldığından bu alanda kullanımının yaygınlaşması ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın klinoptiloid zeolitin radyoaktif ışıının soğurumunda kullanılabilirliği ile ilgili Türk Patentve Marka Kurumuna 2022/005112 dosya numarası ile “Faydalı Model” başvurusu yapılmış ve inceleme aşamasına gelmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda klinoptiloid zeolit katkılı sıva harcının radyoaktif ışıını soğurma özelliğinden aşağıda belirtilen alanlarda kullanılması önerilmektedir.

- 1) Hava savunma silahlarının yaydığı radyasyonun önlenmesi için klinoptiloid zeolitli sıva harcı kullanılabilir.
- 2) Hastanelerde bulunan radyasyon yayan cihazların bulunduğu odaların duvarları antibakteriyel özelliğinin de olmasından faydalanılarak klinoptiloid zeolitli sıva ile sıvanabilir.
- 3) Askeri alanda hava radarlarının bulunduğu odalarda ve genelde alıcı cihazların bloklanmasında kullanılan jammerlarda da kullanılabilir.
- 4) Nükleer fizik laboratuvarlarında dışarıya yayılan radyasyon miktarının azaltılması için klinoptiloid zeolit içeren sıvalar kullanılabilir.
- 5) Radyoaktif kirliliğin olduğu bölgelerde evlerde kullanıma uygundur.

Kaynaklar

- [1] Fakı, A., Reaktif tekstil boyar maddelerinin zeolit kolonda adsorpsiyon yolu ile giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2007).

- [2] Gülen, J., Zorbay, F.ve Arslan, S., Zeolitler ve kullanım alanları, **Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi**, 2(1), 63-68, (2012).
- [3] Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu, C., Çulfaz, A., Uzal, B., Doğal zeolitlerin inşaat endüstrisinde kullanımı. TÜBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: 104M393, Ankara, (2007).
- [4] Bideci, Ö.S., Bideci, A.ve Oymael, S., Zeolit katkılı çimentoların özelliklerinin incelenmesi, **SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi**, 5(3), 70-76, (2013).
- [5] Zal, B., Zeolit, tras ve uçucu kül ile tuğla üretimi ve standart tuğla ile karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, (2010).
- [6] Küçükönder, E. ve Çetin, N.B., Zeolit mineralli filtrelerin derin kuyu sularındaki radyoaktivite seviyesine etkisinin araştırılması, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 23(1), 22-36, (2020).
- [7] Kuş, K., Radyasyon nedir?, (2011).<http://bilheal.bilkent.edu.tr/aykonu/ay2011/radyasyonturk.htm>, (25.11.2022)
- [8] Taylor, J.R., Zafiratos, C.D.ve Dubson, M.A., **Fen ve Mühendislikte Modern Fizik Kitabı**, Okutman Yayıncılık, Ankara, (2008).
- [9] AFAD, Radyasyondan korunmada temel prensipler, (2021).<https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyondan-korunmada-temel-prensip>, (22.11.2022)
- [10] AFAD, İçsel ve dışsal radyasyondan korunma, (2021).<https://www.afad.gov.tr/kbrn/icsel-ve-dissal-radyasyondan-korunma>, (22.11.2022)
- [11] Akkurt I., Başıyigit C., Mavi B., Günoğlu K., Kılınçarslan Ş.ve Akkaş A., Ağır agregaların radyasyon zırhlama özellikleri, **Engineering Sciences**, 6(4), 1481-1485, (2011).
- [12] Seven, A., Baritli hazır sıva kaplamalarının radyasyon zırh elemanı olarak kullanılabilirliğinin görüntü işleme yöntemi ile araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2011).
- [13] Çalık, A., Akkurt, I., Akyıldırım, H. ve Günoğlu, K., Borun radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması, **5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük, (2009).
- [14] Sakarya, G.K., ve Ubay, E., Antibakteriyel özellikli duvar karolarının geliştirilmesi, **Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 4(2), 106-112, (2021).
- [15] Canbaz, M., Gölbaş, M.ve Orhan, M., Zeolit katkısının antibakteriyel ve kendi kendini temizleyen harç özelliklerine etkisi, **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 10(3), 987-998, (2021).
- [16] Oltulu, M. Ve Altun, G.M., Betonun darbe yönlendirmesinin tespitinde ağırlık düşürme deneme yöntemi ve yapılan çalıştırma, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 8 (1), 155-163, (2018).
- [17] Alkayış, M.H.ve Başıyigit, C., Lif katkısının beton darbe dayanımına etkisi, **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi**, (24), 455-462, (2021).
- [18] Kaya, A.İ.ve Dalgat, T., Ses yalıtımı açısından doğal liflerin akustik özellikleri, **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 8(Özel (Special) 1), 25-37, (2017).
- [19] Turan, O.ve Aslan, R., Bağlayıcı püskürtme tekniği ile üretilmiş gözenekli alçı yapıların ses yutma katsayılarının incelenmesi, **4th International Congress On**

- 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry**, Antalya, (2019).
- [20] Geliş, K.ve Yeşildal, F., Klasik ve modern yapı elemanları kullanılması durumunda ısı iletim katsayısının değişimi ile minimum yalıtım kalınlığının tayini, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 10(4), 869-877, (2020).
- [21] Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N. ve Seçer, T., Pomza ve yapı malzemesi olarak kullanım olanakları, **Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, (1997).
- [22] Özdemir, A., Bazı yapı malzemelerin kapiler su emme potansiyelleri, **Jeoloji Mühendisliği Dergisi**, 26(1), 19-32, (2002).
- [23] Dinçer, İ., Özvan, A., Akın, M., Tapan, M.ve Oyan, V., İgnimbiritlerin kapiler su emme potansiyellerinin değerlendirilmesi: ahlat taşı örneği, **Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 17(2), 64-71, (2012).
- [24] Telli, Ö.F.G., Bor uç ürünleri ve üretim yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2008).
- [25] Tekin, G., Kalsine üleksit'in amonyum klorür çözeltileri içinde çözünürleştirilmesi kinetiği, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 6(1), 100-114, (2004).
- [26] Kütük, T., Sub-mikron boyutlarında üleksit mineralinin asfalt karışımların suya hassasiyetine etkisinin incelenmesi, **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 7(2), 141-152, (2017).
- [27] Kartal, S., Ülkemiz inşaat sektöründe gaz beton kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, (2001).
- [28] Bekar, M., Şapıcı, N.ve Gündüz, L., Aksaray bölgesi volkanik tüf serilerinin sıva malzemesi olarak kullanımı, **IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu**, İstanbul, (2006).
- [29] Geothermal Energy Research and Application Center, Thermal Conductivity Meter (KEM QTM 500), <https://geocen.iyte.edu.tr/en/isi-iletim-katsayisi-olcme-cihazı-kem-qtm-500/>, (07.12.2022)
- [30] Uşaklı, A.B., Nükleer Radyasyon ve Etkileri, **Türk Silahlı Kuvvetleri Dergisi**, Ankara, (1997).
- [31] Binici, H., Atık mukavva, alçı, pomza, perlit, vermikülit ve zeolit ile yapılan kompozitlerin yangın direncinin araştırılması, **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 31(1), 1-10,(2016).
- [32] Gülen, J., Zorbay, F.ve Arslan, S., Zeolitler ve kullanım alanları, **Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi**, 2(1), 63-68, (2012).
- [33] Bideci, Ö.S., Bideci, A. ve Oymael, S., Zeolit katkılı çimentoların özelliklerinin incelenmesi, **SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi**, 5(3), 70-76, (2013).
- [34] Türkmen, İ., Fındık, S.B., & Bingöl, A.F., Cam tozu, cüruf ve zeolit ile üretilen ve perlit agregası içeren harçların ısı iletkenlikleri ve mukavemeti, **International ready mixed concrete congress proceedings**, İstanbul, Turkey (2008).
- [35] Aruntaş, H.Y., & Beycioğlu, A.,Puzolanik Zeolit (Klinoptilolit) Katkılı Çimentoların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, **Science and Engineering**, 1(2), 57-67, (2014).
- [36] Canbaz, M., Gültaş, M.ve Orhan, M., Zeolit katkısının antibakteriyel ve kendi kendini temizleyen harç özelliklerine etkisi, **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 10(3), 987-998, (2021)