



Farklı kimyasal koşulların bitüm esaslı ve poliüretan esaslı sürme su yalıtım malzemelerinin özelliklerine etkisi

The effect of different chemical conditions on the properties of bitumen-based and polyurethane-based waterproofing materials

Gamze Sunar Şahin¹, Derya Över^{1*}, Muhsin Yalçın¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
gamzeesunarr@gmail.com, deryaover@eskisehir.edu.tr, muhsiny@eskisehir.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 26.07.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 07.07.2025

Düzeltilme Tarihi/Revision: 13.06.2025

doi: 10.5505/pajes.2025.46736
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Betonarme yapıların en büyük problemlerinden biri, yapı betonunun suyla temas etmesi sonucunda zamanla dayanım kaybının oluşması ve servis ömrünün azalmasıdır. Betonun geçirirli yapısı nedeniyle, su ve kimyasal içerikli suların betonarme yapı elemanına nüfuz etmesi sonucu donatıda korozyon ve beton mikro yapısında genişleyen kimyasal yapıların oluşması yapı elemanının ve yapının dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle betonarme yapılarda, betonun su yalıtımında çeşitli yöntemler ve farklı tür, içerik ve özellikte yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemlerden biri temellerde sürme su yalıtım malzemelerinin kullanımıdır. Bu çalışmada temellerde su yalıtımı amacıyla kullanılabilen bitüm ve poliüretan esaslı sürme su yalıtım malzemelerinin özelliklerine, farklı kimyasal koşulların etkileri araştırılmıştır. Laboratuvar koşullarında üretilen iki tür (bitüm ve poliüretan) ve üç farklı kalınlıktaki (2 mm, 3 mm ve 4 mm) su yalıtım numuneleri, 3, 7, 14 ve 28 gün %5 ve %15 konsantrasyonlarında magnezyum sülfat ve sodyum sülfat çözeltilerine maruz bırakılmıştır. Kimyasal koşullarda farklı süreler bekletilen sürme su yalıtım numunelerinde, kütle değişimi, maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre tüm kalınlıklarda poliüretan esaslı sürme su yalıtım numunelerinin, her iki kimyasal koşul ve oranından bitüm esaslı sürme su yalıtım numunelerine göre daha az etkilendiği görülmüştür. Bitüm esaslı sürme su yalıtım numuneleri, magnezyum sülfat kimyasal koşulundan daha fazla etkilenirken, poliüretan esaslı sürme su yalıtım numuneleri ise sodyum sülfat kimyasal koşulundan daha fazla etkilenmiştir.

Anahtar kelimeler: Temel su yalıtımı, Bitüm esaslı su yalıtım malzemesi, Poliüretan esaslı su yalıtım malzemesi, Sülfat etkisi, Kütle değişimi, Çekme deneyi

Abstract

The biggest problem with reinforced concrete structures is that as a result of contact of the building concrete with water, strength loss occurs over time and the service life is reduced. Due to the permeable structure of the concrete, corrosion in the reinforcement and the formation of expanding chemical structures in the concrete microstructure due to the penetration of water and chemical-containing water into the reinforced concrete structural element adversely affect the strength of the structure. In reinforced concrete structures, different methods and different types, contents, and properties of insulation materials are used for waterproofing concrete. One of them is the use of sliding waterproofing materials on foundations. In this study, the effects of different chemical conditions on the properties of bitumen and polyurethane-based waterproofing materials, which can be used for waterproofing on foundations, were investigated. Two types (bitumen and polyurethane) and three different thicknesses (2 mm, 3 mm, and 4 mm) waterproofing samples produced under laboratory conditions were exposed to magnesium sulphate and sodium sulphate solutions at 5% and 15% concentrations for 3, 7, 14, and 28 days. After chemical conditions, mass change and maximum tensile strength (tensile strength) tests were carried out on the applied waterproofing samples. The test results showed that the polyurethane-based waterproofing material in all thicknesses gave better results than the bitumen-based material in both solution conditions. Bitumen-based waterproofing samples were more affected by the magnesium sulfate chemical condition, while polyurethane-based waterproofing samples were more affected by the sodium sulfate chemical condition.

Keywords: Foundation Waterproofing, Bitumen-based waterproofing, Polyurethane based waterproofing, Sulphate effect, Waterproofing materials

1 Giriş

Günümüzde beton, yapı endüstrisinde en çok kullanılan malzemelerden biridir. Ancak çeşitli dış etkenler nedeniyle zarar görmesine neden olan yıkıcı etkilere maruz kalmaktadır. Bunun sonucunda betonda durabilite problemleri oluşabilir [1]. Yapı, yapı elemanı ve yapı malzemelerinin işlevlerini uzun yıllar bozulmadan yerine getirebilme özelliği dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite olarak tanımlanır. Özellikle deniz atmosferine veya suyu maruz kalan yapılarda ve endüstri yapılarında kalıcılık, en önemli özelliklerden biridir [2].

Betonarme yapıların kalıcılığını etkileyen kimyasal ve fiziksel etkilerin hemen hepsinde ana faktör, su ve beton bünyesindeki boşluklar ile çatlaklar içindeki taşınımdır [3]. Su, içeriğine bağlı olarak, yapılar için ciddi tahribatlara sebep olan başlıca

unsurlardan biri haline gelebilmektedir. Bu nedenle yapıların uzun süreli zararlı etkilere karşı korunması gereklidir [4]. Yapıya etki eden su, yapı güvenliği dışında insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir [5]. Yapı, sürekli olarak yerüstü ve yeraltı sularının etkisi altındadır. Özellikle yağış suları, zemin suları (adsorbe su, birikme suyu, yer altı suyu, kapiler su) ve yapı malzemesi bünyesinden kaynaklanan sular yapıyı olumsuz etkilemektedir. Suyun yapı elemanlarına fiziksel ve kimyasal olarak etkileri vardır. Bu etkiler çürüme, kabarma, sülfat etkisi, korozyon, pullanma, aşınma, çiçeklenme vb. olarak tanımlanabilir [6]. Kimyasal reaksiyonlar değişik tiplerde oluşabilir. En çok karşılaşılan kimyasal saldırılar sülfat, asit ve alkali saldırılarıdır. Deniz suyu ve tuz etkileri de önemli kimyasal ve fiziksel etkileri olan saldırı kaynaklarıdır [3]. Günümüzde korozyon, yapı elemanlarının servis ömürlerini

*Yazışılan yazar/Corresponding author

etkileyen en önemli etken olmaktadır. Paslanan donatının hacmi genişler ve betonarmede donatılara paralel çatlaklar meydana getirir. Beton bir kere çatladıktan sonra, tamamen atmosferik etkilere maruz kalır ve yapı elemanı büyük bir hızla ömrünü doldurur [7].

Depremde birçok yapının yıkılmasının nedeni donatı korozyonudur. Donatı korozyonunun nedeni ise, donatı üzeri beton örtüsünün yeterli olmamasının yanı sıra su yalıtımının yapılmamış olmasıdır [6]. Marmara bölgesinde 1999 yılında yaşanan depremler sonucunda yapılan incelemelerde karşılaşılan hasarların özellikle yapıların yapım ve kullanım aşamalarında gerekli özenin gösterilmemesi sonucu oluştuğu sonucu çıkmıştır. Yapılan incelemelerde korozyon hasarının genellikle bodrum kat kolonlarında yoğun olduğu ve incelenen binaların çoğunda yüzey sularının uzaklaştırılması için gerekli önlemlerin alınmadığı gözlenmiştir [8]. Deprem sonrasında incelenen yapıların büyük bir bölümünde yüzey suyunun uzaklaştırılması için önlemler alınmadığı, temelde su yalıtımı yapılmadığı, hatta bodrum katlarda ince işçilik yapılmadan duvar, kolon ve kirişlerin kaba inşaat halinde bırakıldığı gözlenmiştir. Bunlar korozyonun başlaması ve hızlanması için geçerli sebeplerdir. Suyun korozyon ile yapının dayanım gücüne ve kullanım süresine vermiş olduğu zarar, yaşadığımız depremler sonucunda açıkça görülmüştür. Bu nedenle korozyon sorununun çözümünde yalıtımın öneminin yaşamsal boyutta önemli olduğu unutmamalıdır [9].

Betonarme yapıları olumsuz etkileyen en önemli etkenlerden biri olan sülfat etkisi, betonun hacminin artmasına ve zamanla beton dayanımının azalmasına sebep olmasından dolayı, temel gibi önemli yapıların zarar görmesine neden olur. Sülfat etkisi, sülfat ile hidrate portland çimentosunun reaksiyona girmesiyle oluşur. Toprak ve yeraltı suyu içerisinde yer alan sülfatlar, betona sızan sular ile taşınmaktadır. Betonun geçirimsiz yapıda olması betona daha az miktarda sülfat girmesini sağlar [10]. Magnezyum sülfat, betonda genleşme etkisi ile birlikte C-S-H yapısını dönüştürerek bağlayıcılık ve dayanım kazandıran C-S-H miktarının azalmasına yol açtığı için magnezyum tuzları içerisinde en zararlısı olarak kabul edilir. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleye yayılan beyaz lekeler, çatlak ve dökülmeler şeklinde kendini gösterir. Sülfat etkisinin gelişimini doğrudan etkileyen parametreler; sülfattan etkilenme koşulları (SO_4^{2-} içeriği, ortam koşulları), betonun geçirimsizliği (zararlı madde taşınımı), betonun yapısı ve suyun varlığıdır [3].

Su ve nem kaynaklı bu problemlerin önüne geçilmesi, suya karşı alınacak yalıtım önlemlerinin işlevini yerine getirebilmesi ve uzun ömürlü olması için; standarda uygun ve doğru malzemeler seçilerek, uzman kişiler tarafından uygulama yapılmalıdır [6]. Yapılarda su yalıtımı, suyun hangi şiddette, hangi halde ve nereden gelirse gelsin yapı kabuğundan içeri girerek yapı elemanlarına, dolayısıyla da yapıya zarar vermesini önlemek için yapılır [9]. Temel, kolon, kiriş ve döşeme gibi yapı elemanlarına çeşitli yapı malzemeleriyle su yalıtımı uygulanarak betona su girişi engellenir ve yapı dış etkenler nedeniyle oluşabilecek zararlardan korunur [6]. Su yalıtım sistemlerinin temel görevi, beton içerisine su ve zararlı tuzların girişini engellemektir. Ayrıca su yalıtım malzemeleri, nem ve oksijenin donatıya ulaşmasını engelleyerek, korozyonun oluşum hızının yavaşlamasında etkili olabilir. Donatı korozyonu, yapıların dayanıklılığını etkileyen başlıca sorunlardan biridir [11]. Yapıların toprak altında kalan hacimlerini su ve nemden uzak tutmak ve taşıyıcı

konstrüksiyonun kendisini de suyun olumsuz etkilerinden korumak, temel yalıtımlarını zorunlu kılmaktadır. Zeminde su durumu değerlendirmesi sonucuna göre temel tipi, yalıtım sistemi, yapıya uygun tüm detay çözümü ve malzeme seçimi yapılmalıdır [9]. Temel ve bodrum yalıtımının en önemli özelliği, telafisiz olması ve hata kabul etmemesidir. Bu nedenle yalıtım uygulaması belirlenirken, temel tipi, arazi yapısı, bitişik-ayrık nizam olması, yağış rejimi, yer altı su seviyesi, gibi detaylar belirlenmeli ve çözüme kavuşturulmalıdır. Yer altı suları, basınçlı su, basınçsız su ve toprak nemi (zemin rutubeti) olmak üzere gruplandırılır. Yer altı suundaki duruma göre yalıtım ve korunma önlemleri farklılık gösterir [12]. Zemin rutubeti; zeminde daima mevcut bulunan, kılcalık yoluyla yapının bünyesine girip zararlara yol açan, zemin cinsine bağlı olarak etki derecesi değişkenlik gösteren sudur. Basınçsız su, damlayabilir-akabilir durumdaki su olarak tanımlanır. Basınçlı su ise yapıya ve yalıtıma sürekli belli bir hidrostatik basınç yapan suları kapsamaktadır. Su basıncıyla ilgili yapının etkileneceği su basıncına göre yalıtımın kaç kat olması gerektiği; bina yükü ile ilgili yapının zemine yapacağı basınca göre yalıtım kat adetleri tespit edilmelidir [9].

1 Haziran 2018 yılında yayımlanan “Binalarda Su Yalıtım Yönetmeliği” ile binalarda su yalıtımı zorunlu hale gelmiştir. Bu yönetmelikte yer alan madde 11(1)’e göre yalıtım yöntemleri ve malzeme seçimi; toprakla temas eden temel, döşeme ve perde duvarlarda su yalıtımının “örtü veya sürme esaslı su yalıtım malzemeleri ile yüzeyel yalıtım sistemi” oluşturularak ve/veya “yapısal yalıtım” sağlanarak yapılabileceği belirtilmiştir [13]. Yönetmeliğe göre temellerde yapılacak su yalıtımı uygulamaları polimer bitümlü örtüler, plastik/kauçuk esaslı örtüler ve sürme malzemeler ile yapılan uygulamalar olmak üzere sınıflandırılmıştır [14]. Yapının mevcut çevre koşullarına göre yalıtımının yapılmasında suyun yoğunluğu kadar, malzemelerin seçimi ve uygulama şekilleri ile bu malzemelerin yapı servis ömrü boyunca performansını kaybetmemesi de önemli faktörlerdendir. [9]. Su yalıtım malzemeleri yapısal ve yüzeyel su yalıtım malzemeleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Yapısal ve yüzeyel su yalıtım malzemeleri de kendi içinde çeşitlere ayrılmaktadır [14].

Yapısal su yalıtımı; beton yapı elemanlarının imal edilmesi sırasında, beton kalitesinin iyileştirilmesi/artırılması, imalat kolaylığı, betona verilmek istenilen özelliklerin verilebilmesi sağlamak ve su sızdırmazlığını elde etmek amacıyla sıvı veya toz haldeki yapı kimyasallarının betona katılması ile yapı elemanlarına su sızmasının engellenmesi ve suyun etkilerini azaltıcı uygulamaların bütünü olarak tarif edilir. Su çimento oranını azaltarak betonda mevcut kapiler boşlukları azaltan, beton içerisindeki kılcal boşlukların doldurulmasına katkı sağlayan özelliklere sahip beton katkıları yapısal su yalıtımı kapsamında değerlendirilir. Yüzeyel su yalıtımı; su yalıtım malzemesinin pozitif veya negatif yönden uygulanması ile geçirimsiz bir yüzey elde edilmesini sağlayan sistemdir [12].

Yüzeyel su yalıtımı uygulamalarında kullanılan su yalıtım malzemeleri; sürme ve serme tip malzemeler olmak üzere ikiye ayrılır. Sürme tip su yalıtım malzemeleri içeriklerine göre çimento, bitüm, poliüretan ve akrilik esaslı ürünler olmak üzere gruplara ayrılır [5]. Çimento, bitüm ve akrilik esaslı yalıtım malzemeleri kullanılarak yalıtım yapılan bir çalışmada betonların fiziksel özellikleri ve korozyona karşı dayanıklılıkları deneysel olarak incelenmiştir. Çimento, akrilik ve bitüm esaslı su yalıtım malzemelerinin kullanılması ile su/çözelti emme değerlerinin sırasıyla %3.34, %72.17 ve %85.34 oranında azaldığı tespit edilmiş ve yalıtım

uygulamaları arasında korozyonun en geç bitüm esaslı su yalıtım malzemesinde başladığı tespit edilmiştir [11].

Su yalıtım malzemeleri ve yalıtım etkisi üzerine yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmada poliüretan (PU) ve bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemeleri tercih edilmiştir. Temellerde kullanılan iki farklı su yalıtım malzemesinin özelliklerine sülfat içerikli yer altı suyu kimyasallarının etkilerinin araştırılması amacıyla %5 ve %15 konsantrasyonlu magnezyum sülfat ($MgSO_4$) ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltileri kullanılmıştır.

2 Deneysel çalışma

2.1 Su yalıtım malzemeleri ve numunelerin üretimi

Bu çalışmada temel/temel perde su yalıtımında kullanıma uygun, içeriği ve özellikleri farklı iki tür su yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan su yalıtım malzemelerinin karakteristik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Su yalıtım malzemelerinin karakteristik özellikleri

Table 1. Properties of waterproofing materials

Malzeme özellikleri / içeriği	Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi	PU esaslı su yalıtım malzemesi
Bileşen sayısı	Çift	Çift
Uygulama alanı	Temel/temel perde	Temel/temel perde
Uygulama kalınlığı	2 mm, 3 mm, 4 mm	2 mm, 3 mm, 4 mm
Karışım özellikleri	A ve B bileşenleri 3:1 oranında	A ve B bileşenleri 1:1 oranında
Bileşen özellikleri	A= Bitüm B= Çimento esaslı toz	A= Solventli bitüm solüsyonu B= Aromatik poliüretan reçine
Renk	Siyah	Siyah

Hazırlanan su yalıtım karışımları, 2 mm, 3 mm ve 4 mm kuru film/tabaka kalınlığı elde edilmesi için 30x60 cm boyutundaki kalıplara Tablo 2’de verilen kullanım miktarlarına göre dökülmüştür.

Tablo 2. Kalınlığa göre bitüm ve PU esaslı sürme su yalıtım malzemelerinin kullanım miktarları

Table 2. Usage amounts of bitumen and PU-based waterproofing materials according to thickness

Yalıtım türü	Kalınlık (mm)	Tüketim (kg/m^2)
Bitüm esaslı su yalıtım malzemesi	2	3.0
	3	4.5
	4	6.0
PU esaslı su yalıtım malzemesi	2	2.0
	3	3.0
	4	4.0

Bitüm esaslı sürme yalıtım malzemelerinin üretiminde Şekil 1’de verilen donatı filesi kullanılmıştır. PU esaslı su yalıtım malzemelerinde, uygulamada donatı filesi kullanımı önerilmediği için kullanılmamıştır.



Şekil 1. Su yalıtımı donatı filesi

Figure 1. Reinforcement and glass-fiber mesh for waterproofing application

Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra 28 gün, PU esaslı su yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra 7 gün boyunca laboratuvar ortamında kurumaya/küre bırakılmıştır. Kuruma sonrası yalıtım malzemeleri kalıptan çıkartılarak 0.001 mikron hassasiyetli kumpas ile malzeme kalınlıkları ölçülmüştür. Elde edilen levha şeklindeki su yalıtım malzemeleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bitüm ve PU esaslı su yalıtım malzemeleri

Figure 2. Bitumen and PU-based waterproofing materials

Kürünü alan 30x60 cm levha şeklindeki yalıtım malzemeleri TS EN 12311-2 [15] standardında tanımlanan ölçülerde kesilerek papyon şeklinde su yalıtım numuneleri elde edilmiştir. Her bir deney için, tüm kalınlıklardan iki adet papyon numune kesilmiştir. Papyon numune elde edilmesinde kullanılan kesim cihazı ve elde edilen numune ve boyut ölçümü Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. a) Kesim cihazı b) Papyon yalıtım numunesi c) Kumpas ile yapılan boyut ölçümü

Figure 3. a) Cutting machine b) Waterproofing materials sample c) Thickness measurement with micrometer

TS EN 12311-2 standardına göre tanımlanan ve elde edilen papyon numune boyutları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Standart ve ölçülen papyon numune boyutları [12]

Table 3. Waterproofing materials sample dimensions

Boyut	Standart Değer, (mm)	Ölçülen Değer, (mm)
Tüm uzunluk (minimum)	> 115	116
Genişlik (uç kısım)	25±1	25
Uzunluk (dar kısım)	33±2	33
Genişlik (dar kısım)	6±0.4	6.2
İç yarıçap	14±1	14
Dış yarıçap	25±2	26

Su yalıtım malzemelerinin hedeflenen ve ölçülen ortalama kalınlık değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Papyon numune kalınlıkları

Table 4. Waterproofing materials thickness

Yalıtım Malzemesi Türü	Hedef Kalınlık, (mm)	Ortalama Ölçülen Kalınlık, (mm)
PU esaslı su yalıtım malzemesi	2	2.02
	3	3.00
	4	4.00
Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi	2	2.07
	3	3.06
	4	4.02

2.2 Kimyasal koşullar

Çalışma kapsamında yer altında bulunan kimyasalların su yalıtım malzemelerinin özelliklerine etkisini araştırmak için, sülfat esaslı $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 kimyasal tuzları kullanılmıştır. Susuz $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 kimyasalları ile %5 ve %15 oranında toplam dört farklı çözelti hazırlanmıştır. Kimyasalların özellikleri Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. $MgSO_4$ özellikleri

Table 5. $MgSO_4$ properties

Spesifikasyon	Değerler
Safılık	≥ 98.0%
Nem	2.0 – 2.5 %
Sudaki Çözünürlük (20 °C)	≥ 96.8%
Çözünmeyen madde	≤ 0.003%
Suda çözünür magnezyum oksit	9.5-16.0%
Klorür (Cl)	≤0.03%
Demir (Fe)	≤0.0005%
Kurşun (Pb)	≤0.0005%

Mangan (Mn)	≤0.001%
pH (5%, H_2O , 25 °C)	5.0-9.0
Görünüm	Beyaz renksiz kristal

Tablo 6. Na_2SO_4 özellikleri

Table 6. Na_2SO_4 properties

Spesifikasyon	Değerler
Safılık	≥ 99.0%
Sodyum Klorür (NaCl)	≤0.3%
Demir (Fe)	≤0.001%
Magnezyum (Mg)	≤0.05%
Kalsiyum (Ca)	≤0.2%
Nem	≤0.3%
Suda Çözünmeyen	≤0.2%
pH (1%, H_2O , 20°C)	6.0-8.0

Susuz $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 kimyasalları ile ASTM C 1012 [16] standardına uygun olarak %5 ve %15 oranında çözeltiler hazırlanmıştır. Kimyasal çözeltiler, distile su hacmine (L) kütle (gr) oranında kimyasal malzeme ilave edilerek manyetik karıştırıcı yardımıyla hazırlanmıştır. Çözeltiler ağız kapalı kaplar içerisinde koyularak laboratuvar şartlarında ($23 \pm 2^\circ C$ ve 50 ± 5 bağıl nem) bekletilmiştir. $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin hazırlanması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin hazırlanması

Figure 4. Preparation of $MgSO_4$ and Na_2SO_4 solutions

Bitüm ve PU esaslı 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlığındaki papyon numuneler, iki farklı konsantrasyonda hazırlanan $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinde sıcaklık ve nem kontrollü laboratuvar ortamında ($23 \pm 2^\circ C$ ve 50 ± 5 bağıl nem) ağız kapalı kaplar içerisinde 3, 7, 14 ve 28 gün bekletilmiştir. Numunelerin çözeltilerde bekletilme koşulu Şekil 5'te verilmiştir.



(a) Şekil 5. a) Numunelerin çözeltiye yerleştirilmesi
b) Sıcaklık ve nem kontrollü laboratuvar ortamında bekletilmesi

Figure 5. a) Placing samples in solutions
b) Keeping in laboratory conditions

Çözeltilerin başlangıç pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik ölçüm değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Deney öncesindeki pH değerlerine göre $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinde bekletilen bitüm ve poliüretan numuneler baz etkisinde kalmıştır.

Tablo 7. Çözeltilerin başlangıç pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik ölçüm değerleri

Table 7. Measurement values of initial pH, temperature and electrical conductivity of solutions

Çözelti türü ve oranı	PH Değerleri	Sıcaklık, °C	Elektriksel iletkenlik, mS/cm
%5 $MgSO_4$	7,31	21,2	17,56
%15 $MgSO_4$	8,46	21,1	37,41
%5 Na_2SO_4	8,78	21,4	45,7
%15 Na_2SO_4	9,62	21,3	96,07

2.3 Deneyler

Her bir deney, çözeltiden çıkarılan numunelerin yüzeyleri temiz bir gazlı bez yardımıyla kurulandıktan sonra yapılmıştır.

2.3.1 Kütle değişimi deneyi

Bitüm ve PU esaslı yalıtım numunelerinde kütle değişimi deneyi ASTM D 570-98’e [17] göre yapılmıştır. Bitüm ve PU esaslı 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıktaki papyon su yalıtım numunelerinin çözelti öncesi kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numuneler %5 ve %15 konsantrasyonlu $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltiler içerisinde yerleştirilmiştir. Çözelti içinde 3, 7, 14 ve 28 gün bekleyen numunelerin yüzeyleri kurulandıktan sonra ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Numunelerde çözelti sonrası kütle ölçümü Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Kimyasal çözeltilerde bekleyen numunelerin ağırlıklarının ölçülmesi

Figure 6. Measuring the weights of samples waiting in chemical solutions

2.3.2 Çekme deneyi

Bitüm ve PU esaslı su yalıtım numunelerinde çekme deneyi, ASTM D 412 [18] standardına göre uygulanmıştır. Çekme deneyi, 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıktaki referans ve %5, %15 konsantrasyonlu $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinde 3, 7 ve 28 gün bekleyen papyon şeklindeki numunelerde yapılmıştır. Referans numuneler deney gününe kadar laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Numunelerde çekme deneyi, Şekil 7’de verilen bilgisayar kontrollü otomatik çekme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonunda numunelerde, maksimum çekme gerilmesi (çekme dayanımı) ve kopmada uzama değerleri elde edilmiştir.



Şekil 7. Maksimum gerilme (çekme dayanımı) deneyi

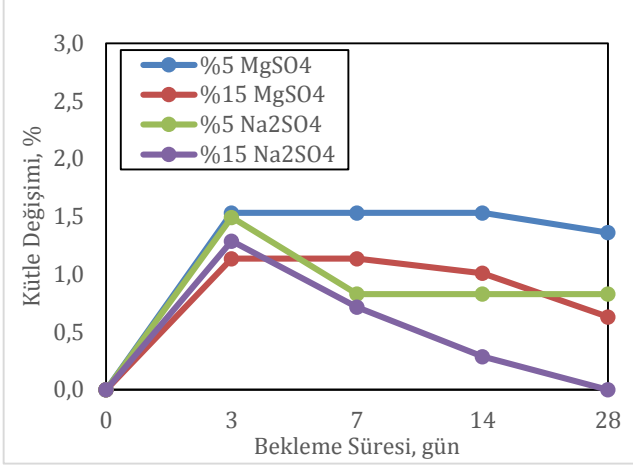
Figure 7. Maximum tensile (tensile strength) test

3 Deney sonuçları

Her bir deneydeki ortalama deney sonuçlarına göre grafiksel ilişkiler verilmiştir.

3.1 Kütle değişimi deney sonuçları

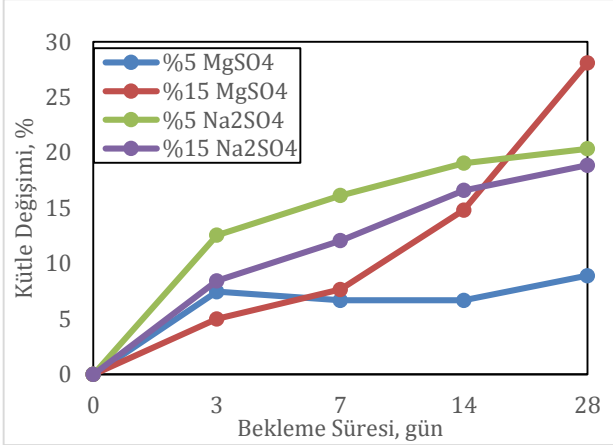
Aynı oranlarda ve sürelerde $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilisine maruz bırakılan PU ve bitüm esaslı numunelerde kütle değişimi sonuçları, 2 mm kalınlık için Şekil 8 ve Şekil 9; 3 mm kalınlık için Şekil 10 ve Şekil 11 ve 4 mm kalınlık için Şekil 12 ve Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 8. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kütle değişimine etkisi

Figure 8. Effect of chemical conditions on weight change of PU-based insulation samples (2 mm)

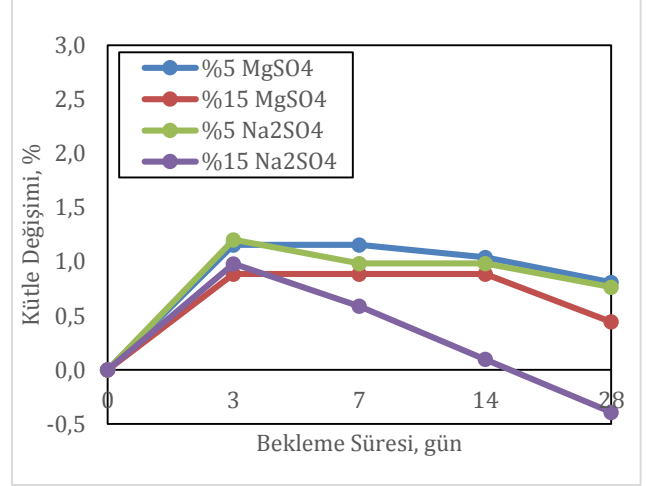
Kütle değişimi deney sonuçlarına göre PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında 3 gün bekletme süresinde PU numunelerde mevcut boşluklara kimyasal çözeltilerin girmesi ile kütle artışı meydana gelmiştir. Her iki çözelti türü ve oranında, bekletme süresi arttıkça PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde, 3 gün bekletme süresinden sonra kütle kayıplarının arttığı belirlenmiştir. PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde en fazla kütle kaybının 28 gün bekletme sonrasında %15 Na₂SO₄ çözeltisinde ve en az kütle kaybının ise %5 MgSO₄ çözeltisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Her iki çözelti türünde oran arttıkça PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde kütle kaybının daha fazla olduğu gözlenmiştir.



Şekil 9. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kütle değişimine etkisi

Figure 9. Effect of chemical conditions on weight change of bitumen-based insulation samples (2 mm)

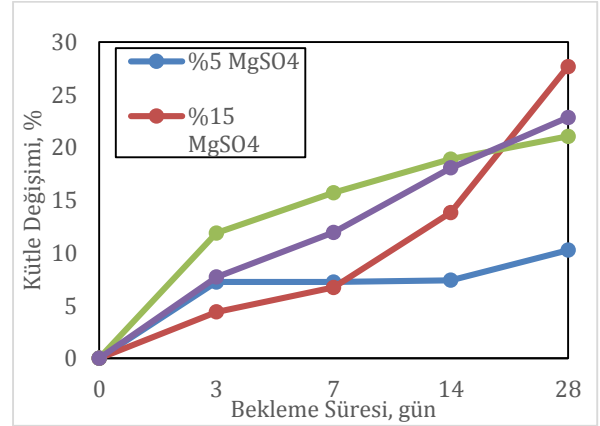
Bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekletme süresi arttıkça kütle artışı gözlenmiştir. Bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde en fazla kütle artışının 28 gün bekleme sonrasında %15 MgSO₄ çözeltisinde ve en az kütle artışının ise %5 MgSO₄ çözeltisinde meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 10. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kütle değişimine etkisi

Figure 10. Effect of chemical conditions on weight change of PU-based insulation samples (3 mm)

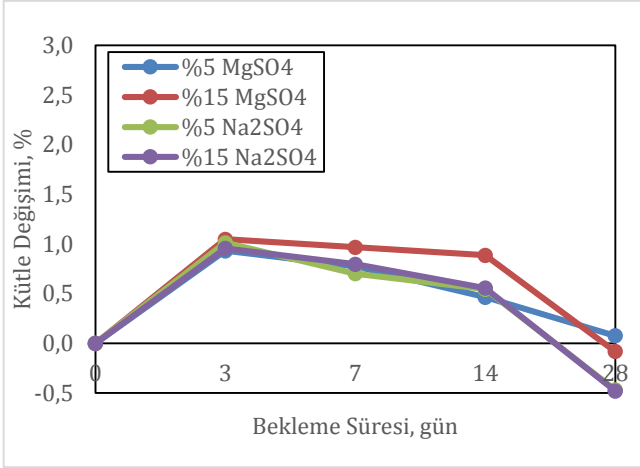
PU esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekletme süresine göre kütle değişimlerinin, PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde meydana geldiği görülmüştür. PU esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde en fazla kütle kaybının 28 gün bekletme sonrasında %15 Na₂SO₄ çözeltisinde meydana geldiği gözlenmiştir. Bu kütle kaybının, aynı çözeltide 28 gün bekletilen PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerin kütle kaybına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 11. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kütle değişimine etkisi

Figure 11. Effect of chemical conditions on weight change of bitumen-based insulation samples (3 mm)

Bitüm esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekletme süresine göre kütle değişimlerinin 2 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde meydana geldiği görülmüştür. Bitüm esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde en fazla kütle artışının 28 gün bekleme sonrasında %15 MgSO₄ çözeltisinde ve en az kütle artışının ise %5 MgSO₄ çözeltisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Bitüm esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında 28 gün bekleme süresi sonrasındaki kütle artışının, 2 mm kalınlığındaki bitüm esaslı numunelere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

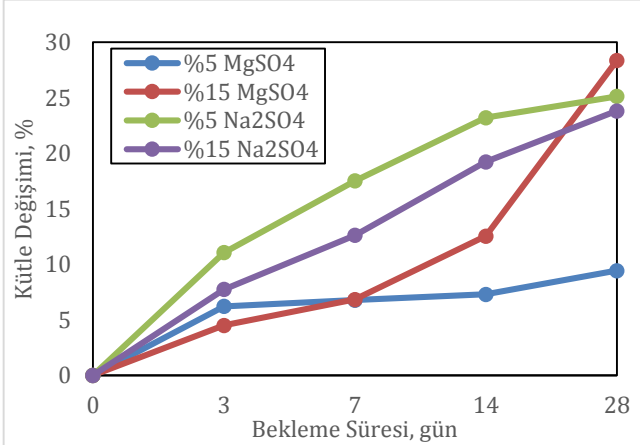


Şekil 12. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kütle değişimine etkisi

Figure 12. Effect of chemical conditions on weight change of PU-based insulation samples (4 mm)

PU esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekletme süresine göre kütle değişimlerinin 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde meydana geldiği görülmüştür. PU esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde en fazla kütle kaybının 28 gün bekletme sonrasında %15 Na₂SO₄ çözeltisinde meydana geldiği gözlenmiştir. Bu kütle kaybının, aynı çözeltide 28 gün bekletilen PU esaslı 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki numunelerin kütle kaybına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Tüm PU esaslı numunelerde 28 günlük çözeltide bekletme sonucunda, kalınlık arttıkça kütle kayıplarının da arttığı gözlenmiştir.



Şekil 13. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kütle değişimine etkisi

Figure 13. Effect of chemical conditions on weight change of bitumen-based insulation samples (4 mm)

Bitüm esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekletme süresine göre kütle değişimlerinin 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde meydana geldiği görülmüştür. Bitüm esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde en fazla kütle artışının 28 gün bekletme sonrasında %15 MgSO₄ çözeltisinde ve en az kütle artışının ise %5 MgSO₄ çözeltisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Na₂SO₄

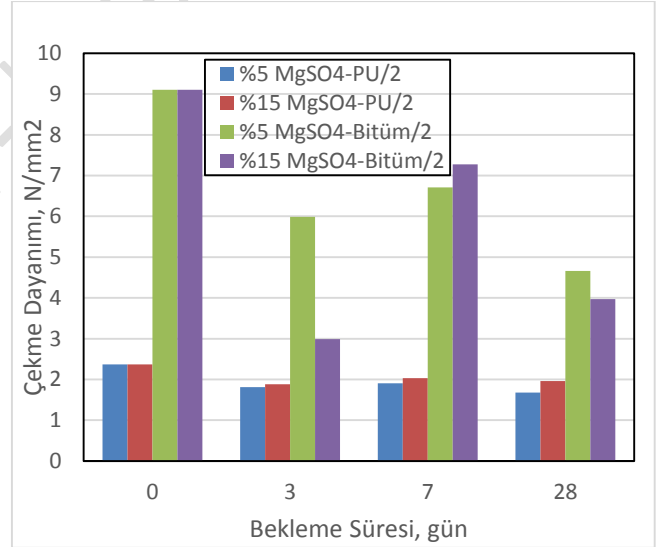
çözeltisinde bekletilen numunelerde daha düşük çözelti oranında daha yüksek kütle artışları belirlenmiştir.

Tüm kalınlıklar için bitüm esaslı numunelerde en fazla kütle artışı %15 MgSO₄ çözeltisinde 28 gün bekletme süresi sonrasında meydana gelmiştir. Bitüm esaslı numunelerde, 28 gün çözelti sonrasındaki kütle artışlarının kalınlık arttıkça daha fazla olduğu gözlenmiştir.

PU esaslı su yalıtım numunelerinde çözeltide bekletme süresine bağlı olarak oluşan kütle kaybındaki artışın, yalıtım numunelerinde kimyasal etki nedeniyle meydana gelen çözünmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bitüm esaslı su yalıtım numunelerinde, çözeltide bekletme süresine bağlı olarak meydana gelen kütle artışının ise bitüm esaslı yalıtım numunelerinin bileşeni olan çimentonun çözeltideki su ile reaksiyonları sonucunda oluşan CSH yapısının zamanla artışından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

3.2 Maksimum gerilme (çekme dayanımı) deney sonuçları

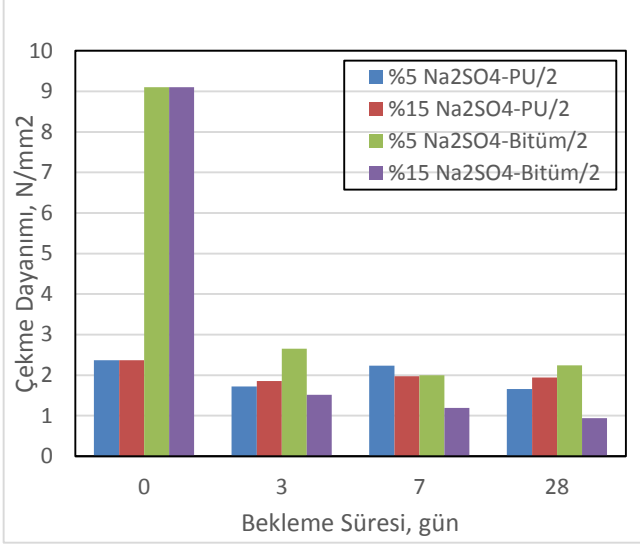
Çözelti türü, oranı ve bekletme süresinin PU ve bitüm esaslı numunelerin çekme dayanımına etkisi, MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltisinde bekleyen 2 mm kalınlığındaki numuneler için Şekil 14 ve Şekil 15, 3 mm kalınlığındaki numuneler için Şekil 16 ve Şekil 17 ve 4 mm kalınlığındaki numuneler için Şekil 18 ve Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 14. MgSO₄ oranı ve bekletme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) çekme dayanımına etkisi

Figure 14. The effect of MgSO₄ ratio and residence time on the tensile strength of PU and bitumen-based insulation samples (2 mm)

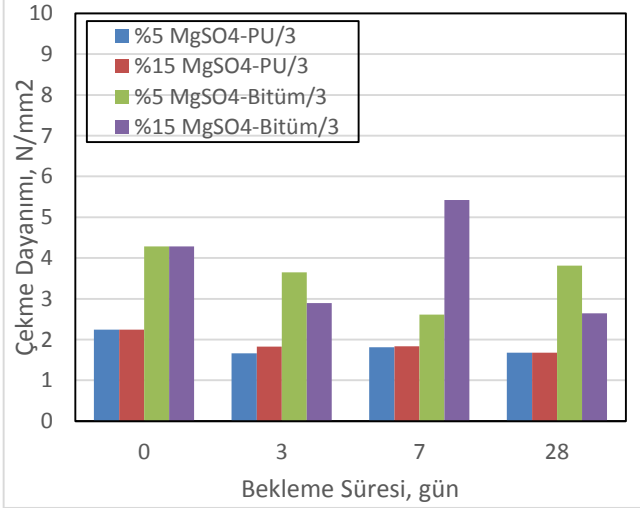
Çekme deneyi sonuçlarına göre her iki yalıtım türündeki 2 mm kalınlıklı numunelerde, MgSO₄ çözeltisinde bekletme süresi arttıkça çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. MgSO₄ çözeltisi sonrasında bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde çekme dayanımındaki azalmanın PU esaslı numunelere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Genel olarak %15 MgSO₄ çözeltisinde bekleyen bitüm esaslı numunelerde daha düşük çekme dayanımları elde edilmiştir. PU esaslı numunelerin MgSO₄ çözeltisinden daha az etkilendiği görülmüştür.



Şekil 15. Na₂SO₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) çekme dayanımına etkisi

Figure 15. The effect of Na₂SO₄ ratio and residence time on the tensile strength of PU and bitumen-based insulation samples (2 mm)

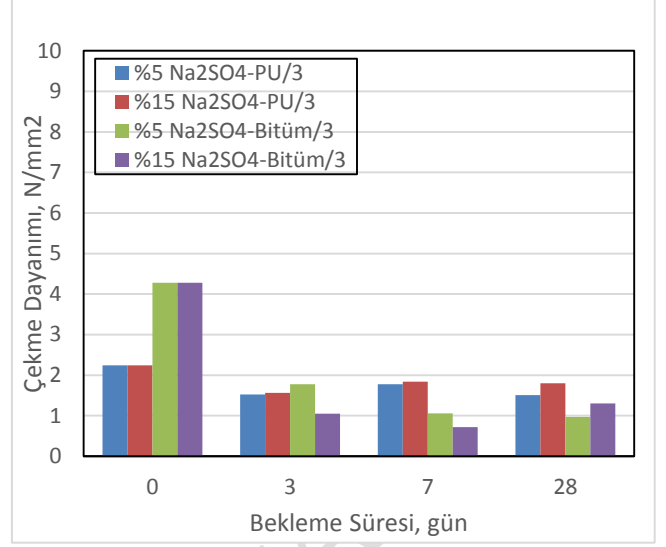
%5 ve %15 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen PU ve bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen PU ve bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerin çekme dayanımı, MgSO₄ çözeltisine göre daha fazla azalmıştır.



Şekil 16. MgSO₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) çekme dayanımına etkisi

Figure 16. The effect of MgSO₄ ratio and residence time on the tensile strength of PU and bitumen-based insulation samples (3 mm)

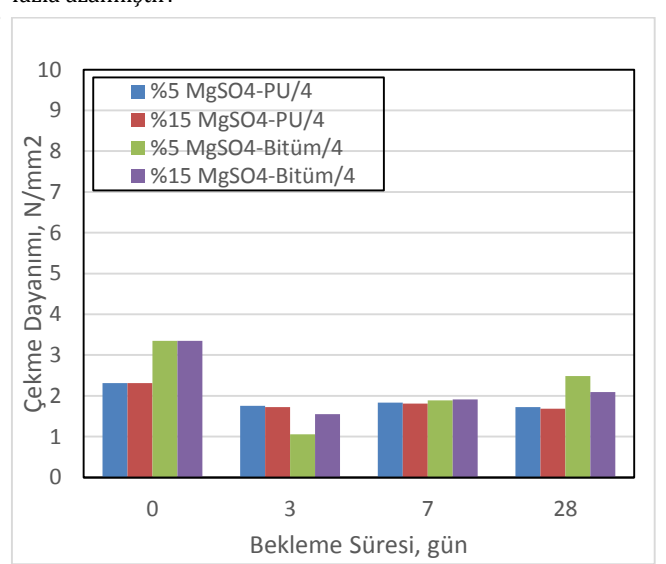
Her iki yalıtım türünde 3 mm kalınlığındaki numunelerde MgSO₄ çözeltisi sonrasında çekme dayanımındaki değişimin 2 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde azaldığı gözlenmiştir. MgSO₄ çözeltisi sonrasında çekme dayanımındaki en fazla azalma bitüm esaslı numunelerde %15 çözelti oranında, 28 gün bekleme süresinde elde edilmiştir.



Şekil 17. Na₂SO₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) çekme dayanımına etkisi

Figure 17. The effect of Na₂SO₄ ratio and residence time on the tensile strength of PU and bitumen-based insulation samples (3 mm)

Her iki yalıtım türündeki 3 mm kalınlığındaki numunelerde 2 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde Na₂SO₄ çözeltisi sonrasında bekleme süresi arttıkça çekme dayanımında azalmalar belirlenmiştir. %5 ve %15 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen PU ve bitüm esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerin çekme dayanımı, 2 mm kalınlığındaki numunelere göre daha fazla azalmıştır.

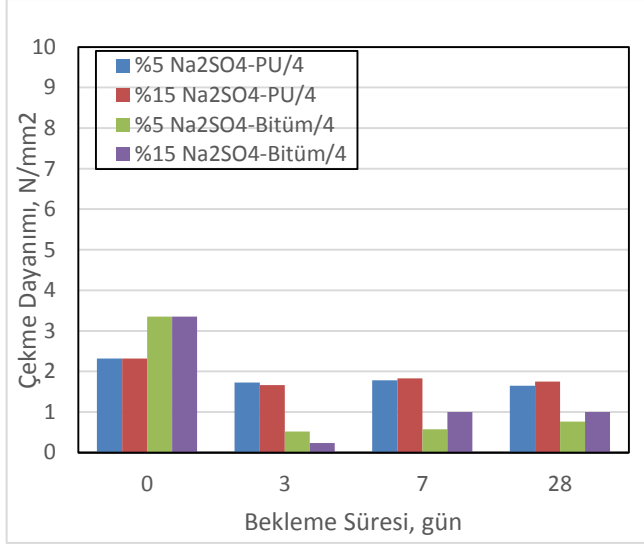


Şekil 18. MgSO₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) çekme dayanımına etkisi

Figure 18. The effect of MgSO₄ ratio and residence time on the tensile strength of PU and bitumen-based insulation samples (4 mm)

Her iki yalıtım türünde 4 mm kalınlığındaki numunelerde, MgSO₄ çözeltisinde bekleme süresi arttıkça çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. MgSO₄ çözeltisi sonrasında, numunelerde 28 gün bekleme süresinde PU esaslı numunelerdeki en düşük çekme dayanımı elde edilmiştir.

Ancak başlangıç çekme dayanımı ile 28 gün sonundaki dayanım sonucuna bakıldığında, en fazla oranda azalma, %15 MgSO_4 çözeltisinde bekletilen 4 mm kalınlığındaki bitüm numunede görülmüştür.



Şekil 19. Na_2SO_4 oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) çekme dayanımına etkisi

Figure 19. The effect of Na_2SO_4 ratio and residence time on the tensile strength of PU and bitumen-based insulation samples (4 mm)

PU ve bitüm esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde Na_2SO_4 çözeltisi sonrasında bekleme süresi arttıkça çekme dayanımının azaldığı gözlenmiştir. %5 ve %15 Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen PU ve bitüm esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde çekme dayanımında azalmanın 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki numunelere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bitüm esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde çekme dayanımında en fazla azalma %5 Na_2SO_4 çözeltisinde 28 gün bekleme süresinde elde edilmiştir.

Bitüm esaslı referans numunelerde, PU esaslı referans numunelere göre daha yüksek çekme dayanımları elde edilmiştir. Bitüm esaslı numunelerde daha yüksek çekme dayanımının, çimento bileşeni ve donatı filesi nedeniyle kompozit bir yapı oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bitüm esaslı referans numunelerde, kalınlık arttıkça çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Kalınlık arttıkça bitüm esaslı referans numunelerde daha düşük çekme dayanımının, donatı filesinin kompozit yapıdaki (numune en kesitindeki) oranının azalmasına bağlı olarak gerilme üzerindeki etkisinin azalması ve esnekliğin artmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

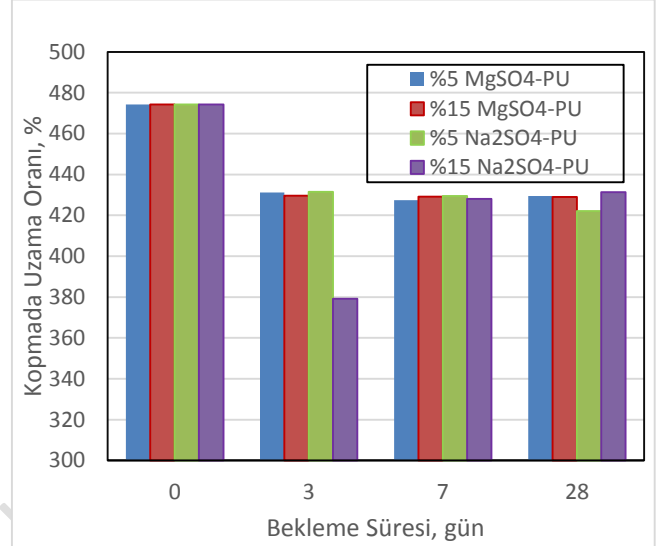
Donatı filesi içeren bitüm esaslı su yalıtım numunelerinde, kesme işlemi nedeniyle kopma bölgesindeki file göz sayısı dağılımının eşit olmamasının referans ve çözeltide bekletilen numunelerde çekme dayanımının değişiklik göstermesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak aynı kimyasal koşul ve bekleme süresinde PU ve bitüm esaslı numunelerin çekme dayanımının, kalınlık arttıkça azaldığı belirlenmiştir. Her iki kimyasal koşul ve oranında 28 gün bekleme süresi sonunda elde edilen çekme dayanımlarına göre, bitüm esaslı su yalıtım numunelerinin kimyasal koşullardan daha fazla olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bitüm esaslı numunelerde en düşük çekme dayanımı Na_2SO_4

çözeltisinde elde edilmiştir. PU esaslı numunelerdeki çekme dayanımı, tüm kimyasal çözelti türü, oranı ve bekleme sürelerinde benzer bir değişim göstermiştir.

3.3 Kopmada uzama deney sonuçları

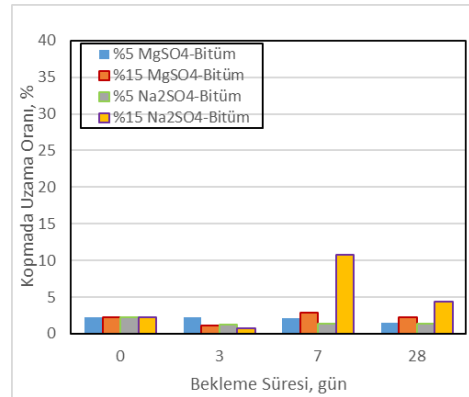
Aynı oranlarda ve sürelerde, MgSO_4 ve Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan PU ve bitüm esaslı numunelerde kopmada uzama sonuçları, 2 mm kalınlık için Şekil 20 ve Şekil 21; 3 mm kalınlık için Şekil 22 ve Şekil 23 ve 4 mm kalınlık için Şekil 24 ve Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 20. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Figure 20. The effect of chemical conditions and ratios on the elongation at break of PU-based insulation samples (2 mm)

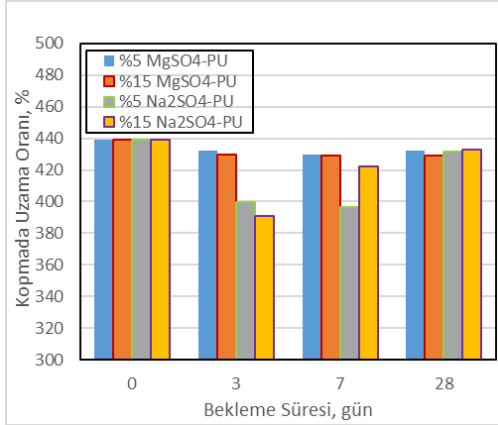
Kopmada uzama deney sonuçlarına göre PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekleme süresi arttıkça kopmada uzama oranının azaldığı gözlenmiştir. PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde 28 gün bekleme süresi sonucunda, kopmada uzama oranındaki en fazla azalma %5 Na_2SO_4 çözeltisinde görülmüştür. Tüm bekleme sürelerine ve çözeltilere bakıldığında, en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na_2SO_4 çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.



Şekil 21. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Figure 21. The effect of chemical conditions and ratios on the elongation at break of bitumen-based insulation samples (2 mm)

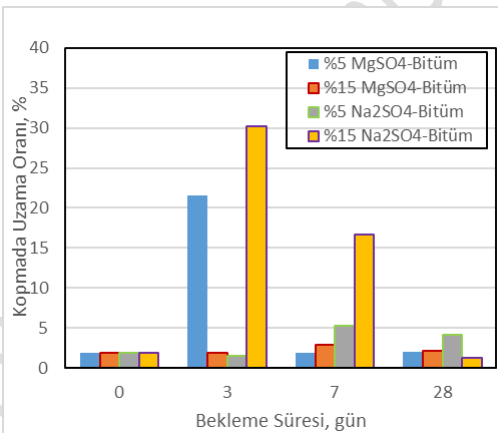
Bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde %5 $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerindeki bekleme süresi arttıkça uzama oranının azaldığı gözlenmiştir. Ancak %15 $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerindeki numunelerde 3 gün bekleme süresinden sonra kopmada uzama oranında artışlar görülmüştür. Çözelti türü, oranı ve bekleme sürelerine göre, en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na_2SO_4 çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.



Şekil 22. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Figure 22. The effect of chemical conditions and ratios on the elongation at break of PU-based insulation samples (3 mm)

%5 ve %15 $MgSO_4$ çözeltisindeki PU esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde, bekleme süresi arttıkça uzama oranında doğrusal azalmalar gözlenmiştir. Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerde 3 gün bekleme süresine kadar uzama oranları azalırken 3 günden sonraki bekleme sürelerinde uzama oranının arttığı görülmüştür. Genel olarak PU esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözeltide 28 gün bekleme sonunda uzama oranlarında azalma meydana gelmiştir. Tüm bekleme sürelerine ve çözeltilere bakıldığında, en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na_2SO_4 çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.

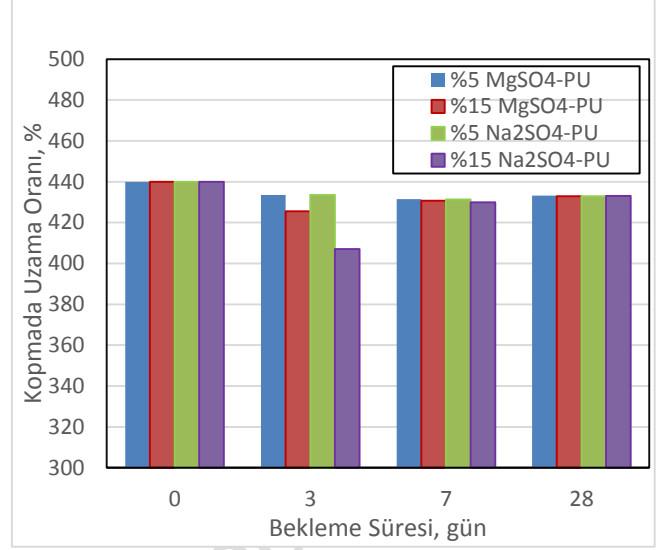


Şekil 23. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Figure 23. The effect of chemical conditions and ratios on the elongation at break of bitumen-based insulation samples (3 mm)

Bitüm esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde her iki kimyasal koşulda 3 gün bekleme süresinde uzama oranlarında artış

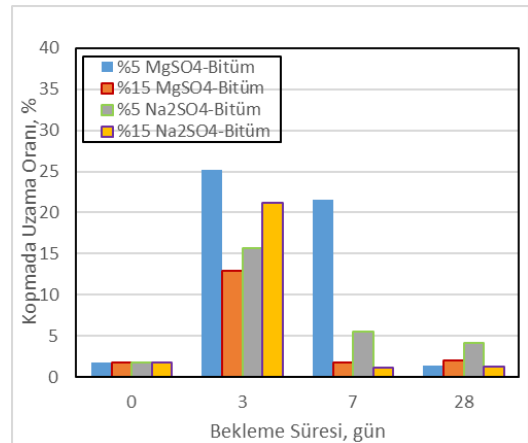
gözlenmiştir. %15 Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerde 3 gün bekleme sürelerinde uzama oranının arttığı görülmüştür.



Şekil 24. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Figure 24. The effect of chemical conditions and ratios on the elongation at break of PU-based insulation samples (4 mm)

PU esaslı 4 mm kalınlığındaki %15 Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerde 3 gün bekleme süresine kadar uzama oranları azalırken 3 günden sonraki bekleme sürelerinde uzama oranının arttığı görülmüştür. PU esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde çözeltiler sonrasındaki uzama oranında 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki numunelere göre daha az azalma meydana gelmiştir. Kalınlık arttıkça ürün esnekliği artmıştır. PU esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözeltide 28 gün bekleme süresi sonunda uzama oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tüm bekleme sürelerine ve çözeltilere bakıldığında, en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na_2SO_4 çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.



Şekil 25. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Figure 25. The effect of chemical conditions and ratios on the elongation at break of bitumen-based insulation samples (4 mm)

Bitüm esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde her iki kimyasal koşul ve oranında 3 gün bekleme süresinde uzama oranlarında

artış gözlenmiştir. Çözelti türü, oranı ve bekleme sürelerine göre en yüksek kopmada uzama oranı, %5 $MgSO_4$ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde ve en düşük kopmada uzama oranı ise %15 Na_2SO_4 çözeltisinde 28 gün bekletilen numunelerde elde edilmiştir. Bitüm esaslı 4 mm kalınlığındaki numunelerde, çözeltilerde 3 gün bekletme süresinden sonra bağlayıcı bitüm malzemesinin kimyasal yapısının olumsuz etkilenmesi ve deformasyon kabiliyetinin azalması nedeniyle uzama oranında azalma meydana geldiği düşünülmektedir.

Bitüm esaslı su yalıtım numunelerinde film kalınlığının ürünün yapısı ve uygulama koşulları (donatı filesi) nedeniyle homojen olarak sağlanamaması ve kopma bölgesindeki donatı filesi göz dağılımının farklı olabilmesi her iki çözelti türü ve oranında kopmada uzama oranına bekleme süresinin etkisinin değişkenlik göstermesine neden olduğu değerlendirilmektedir.

PU esaslı su yalıtım malzemesinin yapısı, uygulama koşulları ve kuruma/sertleşme özelliği nedeniyle numunelerde daha homojen bir kalınlık, düzgün bir yüzey ve daha boşluksuz bir yapı elde edilmiştir. Bu nedenle uzama oranı sonuçlarında genel olarak benzer değişimler gözlenmiştir. PU esaslı su yalıtım numunelerinde kopmada uzama oranında görülen azalmaların, malzemenin kimyasal yapısının Na_2SO_4 çözeltisinden olumsuz etkilenmesi ile esnekliğinin azalması sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada iki farklı tür ve içerikte 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklardaki temel su yalıtım malzemelerinin özelliklerine %5 ve %15 oranlarında $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan kütle değişimi, maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kütle değişimi deney sonuçlarına göre; PU esaslı numunelerde her iki çözelti türü ve oranında 3 gün bekleme süresinden sonra kütle kaybının arttığı görülmüştür.

PU esaslı su yalıtım malzemelerinde, çözeltide bekletme süresine bağlı olarak oluşan kütle kaybındaki artışın, yalıtım malzemesindeki çözünme nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir.

PU esaslı her bir kalınlıktaki numunelerde en fazla kütle kaybı, 28 gün bekleme süresinde %15 Na_2SO_4 çözeltisinde ve en az kütle kaybı ise %5 $MgSO_4$ çözeltisinde elde edilmiştir. PU esaslı numunelerde çözelti oranı ve kalınlık arttıkça kütle kaybının daha fazla meydana geldiği belirlenmiştir.

Bitüm esaslı her bir kalınlıktaki numunelerde, her iki çözelti türü ve oranında bekleme süresi arttıkça daha fazla kütle artışı meydana gelmiştir.

Bitüm esaslı su yalıtım numunelerinde, çözeltilerde bekleme süresine bağlı olarak meydana gelen kütle artışının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin bileşeni olan çimentonun çözeltideki su ile reaksiyonları sonucunda oluşan kimyasal yapıların zamanla artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bitüm esaslı her bir kalınlıktaki numunelerde, en fazla kütle artışının, 28 gün bekleme süresinde %15 $MgSO_4$ çözeltisinde ve en az kütle artışının ise %5 $MgSO_4$ çözeltisinde elde edilmiştir.

Bitüm esaslı Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerde, daha düşük çözelti oranında daha yüksek kütle artışları gözlenmiştir.

Her iki kimyasal koşul ve oranında bekleyen her bir kalınlıktaki PU esaslı numunelerdeki kütle değişiminin bitüm esaslı numunelere göre daha az olduğu görülmüştür.

Çekme dayanımı deney sonuçlarına göre; PU ve bitüm esaslı numunelerde, her iki çözelti türünde bekleme süresi arttıkça çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir.

Her iki çözelti türünde çekme dayanımında en fazla azalma, %15 $MgSO_4$ çözeltisinde bekleyen bitüm esaslı numunelerde gözlenmiştir. PU esaslı numunelerin $MgSO_4$ çözeltisinden daha az etkilendiği görülmüştür.

PU ve bitüm esaslı %5 ve %15 Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerde, kalınlık arttıkça çekme dayanımında daha fazla azalma meydana gelmiştir.

Bitüm esaslı numunelerde kalınlık arttıkça çekme dayanımı azalmıştır. PU esaslı numunelerde ise belirgin bir fark görülmemiştir.

Kopmada uzama deney sonuçlarına göre; PU esaslı numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekleme süresi arttıkça uzama oranlarında azalma meydana gelmiştir.

PU esaslı numunelerde en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na_2SO_4 çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.

%15 $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerindeki PU esaslı numunelerde 3 gün bekleme süresinden sonra kopmada uzama oranında artışlar görülmüştür.

Bitüm esaslı numunelerde her iki kimyasal koşulda 3 gün bekleme süresinde uzama oranları artarken çözeltilerde bekleme süresi arttıkça uzama oranlarında azalma meydana gelmiştir.

Bitüm esaslı numunelerde, en yüksek kopmada uzama oranı, %5 $MgSO_4$ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde ve en düşük kopmada uzama oranı ise %15 Na_2SO_4 çözeltisinde 28 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.

Her bir kalınlık ve çözeltide bekleme süresinde PU ve bitüm esaslı numunelerde en düşük kopmada uzama oranı %15 Na_2SO_4 çözeltisinde meydana gelmiştir. PU ve bitüm esaslı numunelerin kopmada uzama oranı sonuçları açısından değerlendirildiğinde en fazla %15 Na_2SO_4 çözeltisinden olumsuz etkilendiği görülmüştür.

Kimyasalların etkisiyle PU ve bitüm esaslı su yalıtım numunelerinin 28 gün sonunda deformasyon kabiliyeti referans numunelere göre azalmıştır. Tüm çözelti türü ve oranları için 28 gün bekleme süresindeki PU esaslı numunelerin deformasyon kabiliyetinin, bitüm esaslı numunelere göre yaklaşık 200 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

Çözeltilerde bekletilen tüm numunelerin yalıtım bütünlüğü bozulmamış ve parçalanma, kopma vs. etkiler gözlenmemiştir. Genel olarak PU ve bitüm esaslı numunelerin kimyasal koşullara dayanaklı olduğu görülmüştür. PU esaslı numunelerin deformasyon kabiliyeti ve kimyasal koşullara dayanıklılığının bitüm esaslı numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

5 Conclusions

In this study, in order to determine the effects of 5% and 15% $MgSO_4$ and Na_2SO_4 solutions on the properties of basic waterproofing materials with 2 mm, 3 mm and 4 mm thicknesses in two different types and contents, the results obtained from weight change, maximum tensile strength and elongation at break tests were carried out the results are given below.

According to the mass change test results; It was observed that mass loss increased after 3 days of waiting time in both solution types and ratios in PU-based samples.

It is thought that the increase in mass loss in PU-based waterproofing materials due to the soaking time in the solution is due to the dissolution of the insulation material.

The highest mass loss was obtained in 15% Na₂SO₄ solution and the least mass loss was obtained in 5% MgSO₄ solution during 28 days of residence time in PU-based samples of each thickness. It has been determined that the weight loss occurs more in PU-based samples as the solution ratio and thickness increase.

In the bitumen-based samples of each thickness, more mass increase occurred as the waiting time increased in both solution types and ratios.

It is thought that the increase in mass in bitumen-based waterproofing samples due to the waiting time in the solutions is due to the increase in the chemical structures formed as a result of the reactions of the cement, which is the component of the bitumen-based insulation samples, with the water in the solution.

In the bitumen-based samples of each thickness, the highest mass increase was obtained in 15% MgSO₄ solution and the least mass increase was obtained in 5% MgSO₄ solution during 28 days of waiting time.

In the samples kept in bitumen-based Na₂SO₄ solution, higher mass increases were observed at lower solution ratio.

It has been observed that the mass change in PU-based samples at each thickness, waiting for both chemical conditions and ratios, is less than that of the bitumen-based samples.

According to the tensile strength test results; In PU and bitumen-based samples, tensile strength decreased as the waiting time increased in both solution types.

The greatest decrease in tensile strength in both solution types was observed in bitumen-based samples immersed in 15% MgSO₄ solution. It was observed that the PU-based samples were less affected by the MgSO₄ solution.

In the PU and bitumen-based samples kept in 5% and 15% Na₂SO₄ solutions, more decrease in tensile strength occurred as the thickness increased.

The tensile strength of the bitumen-based samples decreased as the thickness increased. No significant difference was observed in PU-based samples.

According to the results of the elongation at break test; In PU-based samples, the elongation rates decreased as the waiting time increased in both solution types and ratios.

The lowest elongation at break in PU-based samples was observed in samples kept in 15% Na₂SO₄ solution for 3 days.

In the PU-based samples in 15% MgSO₄ and Na₂SO₄ solutions, an increase in elongation at break was observed after 3 days of waiting time.

In bitumen-based samples, while the elongation rates increased in both chemical conditions in the 3 days waiting time, the elongation rates decreased as the waiting time increased in the solutions.

In bitumen-based samples, the highest elongation rate at break was observed in samples kept in 5% MgSO₄ solution for 3 days

and the lowest elongation rate at break in samples kept in 15% Na₂SO₄ solution for 28 days.

The lowest elongation rate at break occurred in 15% Na₂SO₄ solution in PU and bitumen-based samples at each thickness and residence time in solution. When PU and bitumen-based samples were evaluated in terms of elongation at break results, it was observed that they were adversely affected by a maximum of 15% Na₂SO₄ solution.

With the effect of chemicals, the deformation ability of the PU and bitumen-based waterproofing samples decreased after 28 days compared to the reference samples. For all solution types and ratios, it was observed that the deformation ability of the PU-based samples in 28 days of waiting time was approximately 200 times higher than the bitumen-based samples.

Insulation integrity of all samples kept in solutions is intact and fragmentation, rupture etc. effects were not observed. In general, PU and bitumen-based samples were found to be resistant to chemical conditions. It has been observed that the deformation ability and resistance to chemical conditions of PU-based samples are higher than bitumen-based samples.

6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Yazar 1 fikrin oluşması, tasarımın yapılması, veri toplama ve literatür taraması başlıklarında; Yazar 2 elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi; Yazar 3, kullanılan malzemelerin temin edilmesi ve sonuçların incelenmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

8 Kaynaklar

- [1] Bohus S, Drochytka R, Taranza L. "Fly-Ash Usage in New Cement-Based Material for Concrete Waterproofing". *Advanced Materials Research*, 535-537:1902-1906, 2012
- [2] Haberal Y. Uçucu Küllü Betonlarda Klor İyonu Geçirgenliğinin ve Donatı Korozyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Eskişehir, Türkiye, 2010.
- [3] Baradan B, Aydın S., "Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık) Durability of Concrete", *Beton 2013-Hazır Beton Kongresi Çağrılı Bildirileri*, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [4] Dağ F. E. Suyun Yapıdaki Etkileri ve Yapıların Suya Karşı Yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul, Türkiye, 2001.
- [5] Kartal S, Üstündağ S. I., "Yapılarda Su Yalıtım Uygulamalarının Önemi ve Maliyeti" *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Cilt 7. Sayı:3, 399-408, 2016.
- [6] Dal M, Yılmaz D., "Su-Nemin Yapı Elemanlarına ve Yapı Konforuna Olumsuz Etkileri", *Int. J. Pure Appl. Sci.* 1: 89-99, 2015.
- [7] Çil İ. "Betonarme Donatısında Elektriksel Yöntemlerle Korozyon Ölçümü (Corrosion Measurement of Rebars By Electrical Methods)", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik*

Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1, s. 59-63, 2006.

- [8] Coşgun T. "İstanbulda Deprem Sonrası Yapılan İncelemelerde Karşılaşılan Korozyon Hasarı Üzerine Bir İnceleme," 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Turkey, pp.269-277, 2003.
- [9] Tekin, Ç. "Deprem Güvenliğinde Temellerin Suyu Karşı Yalıtımının Önemi",Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, İstanbul, Türkiye, 4-5 Mart 2010.
- [10] Akçay O, Çullu M. "Farklı Karışım Özelliklerine Sahip Betonların Sülfat Dirençlerinin Belirlenmesi" *ALKU Journal of Science*, Sayı 4 (1), 21-31, 2022.
- [11] Uygunoğlu T, Topçu İ.B, Çınar E, Eryeşil Ö. "Yüzeysel Su Yalıtımlı Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin Araştırılması", *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 7, No: 3, 1245-1257, 2020.
- [12] Naimi S, Özdemir Z. "Yapılarda Yer Altı Suyuna Karşı Yapılan Koruma Sistemlerinin Uygulanabilirliği ve Güvenliğinin İncelenmesi", *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, Cilt 4, sayı 1, 113-133, 2020.
- [13] Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü. "Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği" (2017, 27 Ekim). Resmî Gazete (Sayı: 30223). Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü (resmigazete.gov.tr) (08.06.2023)
- [14] İzoder. "Bölüm 1 - Temel, Döşeme ve Perde Duvarlarda Su Yalıtımı - Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği - Açıklama ve Uygulama Kılavuzu". İstanbul, 2017.
- [15] Türk Standartları Enstitüsü. "Su Sızdırmazlık Amaçlı Esnek Levhalar-Çekme Özelliklerinin Tayini Bölüm:2 Çatı Sızdırmazlığı İçin Plastik ve Kauçuk Levhalar". TS EN 12311-2, 2020.
- [16] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution", ASTM C 1012 – 02, 2016.
- [17] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Method for Water Absorption of Plastics", ASTM D 570-98, 1998.
- [18] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension", ASTM D 412 – 06a, 2021