



**FARKLI KİMYASAL KOŞULLARIN SÜRME
SU YALITIM MALZEMELERİ VE YALITIMLI
BETONUN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Gamze SUNAR ŞAHİN

Eskişehir 2023

**FARKLI KİMYASAL KOŞULLARIN SÜRME SU YALITIM MALZEMELERİ
VE YALITIMLI BETONUN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Gamze SUNAR ŞAHİN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Malzemesi Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kasım 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Gamze SUNAR ŞAHİN'in FARKLI KİMYASAL KOŞULLARIN SÜRME SU YALITIM MALZEMELERİ VE YALITIMLI BETONUN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ başlıklı çalışması 03/11/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER (Tez Danışmanı)

Üye

: Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

Üye

: Doç. Dr. Burak IŞIKDAĞ

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

03/11/2023

DANIŞMAN ONAYI

DaniŐmanlıđını yuruttuğum Yıksek Lisans oğrencisi Gamze SUNAR ŞAHİN, FARKLI KİMYASAL KOŞULLARIN SÜRME SU YALITIM MALZEMELERİ VE YALITIMLI BETONUN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ başlıklı tez çalıŐmasını tamamlamıŐtır. HazırlamıŐ olduğu tez tarafımca incelenmiş ve oğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun gürülmüŐtür.

Tez DaniŐmanı

Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER

ÖZET

FARKLI KİMYASAL KOŞULLARIN SÜRME SU YALITIM MALZEMELERİ VE YALITIMLI BETONUN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Gamze SUNAR ŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Malzemesi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kasım 2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER

Betonarme yapıların en büyük problemlerinden biri, betonun suyla teması sonucunda zamanla dayanımını kaybetmesi ve servis ömrünün azalmasıdır. Su ve içeriğinde yer alan kimyasal maddelerin betonarme yapı elemanına nüfuz etmesi, betonun geçirimli yapısı sebebiyle, fiziksel ve kimyasal açıdan negatif etkiler meydana getirir. Bu nedenle betonun suya karşı korunması için çeşitli yalıtım malzemeleri ile su yalıtımı uygulamaları yapılmaktadır. Bu yöntemlerden biri, en önemli yapı elemanlarından biri olan temellerde, yeraltı suyu etkisine karşı sürme su yalıtım malzemelerinin kullanımınıdır. Bu çalışmada bitüm ve poliüretan esaslı su yalıtım malzemeleri ve bu malzemeler ile yalıtımı yapılan beton numuneleri farklı kimyasal koşullara maruz bırakılmıştır. 2, 3 ve 4 mm kalınlıklarda hazırlanan bitüm ve poliüretan esaslı su yalıtım numuneleri, %5 ve %15 konsantrasyonlu magnezyum sülfat ve sodyum sülfat çözeltilerinde 28 gün boyunca bekletilmiştir. Aynı yalıtım malzemeleri ile C25/30 sınıfında tasarlanan beton numunelerine yalıtım uygulaması yapılmış ve elde edilen numuneler %7,5 ve %15 konsantrasyonlu magnezyum sülfat ve sodyum sülfat çözeltilerinde 28 ve 56 gün boyunca bekletilmiştir. Sürme su yalıtım numunelerinde, kütle değişimi, maksimum gerilme ve kopmada uzama deneyleri yapılırken; yalıtımlı beton numunelerinde ise kütle değişimi, ultrases, basınç, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, poliüretan esaslı su yalıtım malzemesinin bitüm esaslı malzemeye göre kimyasallara karşı daha dayanıklı olduğu ve hem dayanım hem kütle değişimi açısından daha olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Temel su yalıtımı, Bitüm esaslı su yalıtım malzemesi, Poliüretan esaslı su yalıtım malzemesi, Sülfat etkisi, Su yalıtım malzemeleri.

ABSTRACT

THE EFFECT OF DIFFERENT CHEMICAL CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF WATERPROOFING MATERIALS AND INSULATED CONCRETE

Gamze SUNAR ŞAHİN

Department of Civil Engineering

Programme in Construction Materials

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, November 2023

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Derya ÖVER

One of the biggest problems of reinforced concrete structures is that concrete loses its strength over time and its service life decreases as a result of contact with water. The penetration of water and the chemicals it contains into the reinforced concrete structural element creates negative physical and chemical effects due to the permeable structure of concrete. For this reason, waterproofing applications are made with various insulation materials to protect the concrete against water. One of these methods is using waterproofing materials against the influence of groundwater in foundations, which are one of the most important building elements. In this study, bitumen and polyurethane-based waterproofing materials and concrete samples insulated with these materials were exposed to different chemical conditions. Bitumen and polyurethane-based waterproofing samples prepared in 2, 3 and 4 mm thickness were kept in 5% and 15% concentrated magnesium sulfate and sodium sulfate solutions for 28 days. Insulation was applied to concrete samples that were produced in the C25/30 class with the same insulation materials, and the obtained samples were kept in 7.5% and 15% concentrated magnesium sulfate and sodium sulfate solutions for 28 and 56 days. While mass change, maximum stress, and elongation at break tests are performed on waterproofing samples; Mass change, ultrasound, pressure, bending strength, and splitting tensile strength tests were carried out on insulated concrete samples. According to the test results, it has been determined that polyurethane-based waterproofing material is more resistant to chemicals than bitumen-based material and gives better results in terms of both strength and mass change.

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

TEŞEKKÜR

Tüm yüksek lisans sürecim boyunca bana her konuda destek olan ve motivasyonumu sürekli artıran başta sevgili eşim İsmail ŞAHİN olmak üzere, bu çalışmanın gerçekleşmesinde benden bilgi ve önerilerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER hocama ve tüm sabrıyla çalışmalarımın her noktasında yardımcı olan Sayın Öğr. Gör. Dr. Muhsin YALÇIN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca hayatım boyunca yürüdüğüm tüm yollarda, yaşadığım tüm zorluklarda, maddi manevi desteği hiçbir zaman esirgemeyen sevgili anneme, babama, kardeşlerime ve diğer tüm aile üyelerime yanımda oldukları ve bana güç verdikleri için minnettarım.

Gamze SUNAR ŞAHİN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Gamze SUNAR ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Literatür.....	2
2. YAPIYA ETKİ EDEN SU TÜRLERİ, ETKİLERİ VE SU YALITIMI	6
2.1. Yapıya Etkiyen Su Türleri	6
2.1.1. Toprak (zemin) altı suları.....	6
2.1.1.1. Sızıntı sular	6
2.1.1.2. Yeraltı suları.....	7
2.1.2. Toprak üstü suları.....	8
2.1.2.1. Yağış suları.....	9
2.1.2.2. Tatlı ve tuzlu su kütleleri	9
2.1.2.3. Havadaki nem (su buharı).....	9
2.1.2.4. Yapı içerisindeki su ve nem	10
2.2. Suyun Yapıya Etkileri	10
2.2.1. Suyun fiziksel etkisi	10
2.2.1.1. Donma etkisi	10

2.2.1.2. Islanma- kuruma etkisi.....	11
2.2.1.3. Çiçeklenme (effloresans).....	12
2.2.1.4. Yoğuşma ve buharlaşma etkisi.....	12
2.2.2. Suyun kimyasal etkisi.....	12
2.2.2.1. Asit etkisi.....	13
2.2.2.2. Sülfat etkisi.....	14
2.2.2.3. Klor etkisi.....	15
2.2.2.4. Karbonatlaşma.....	15
2.2.2.5. Korozyon.....	16
2.2.2.6. Deniz suyu etkisi.....	17
2.2.2.7. Alkali- silika reaksiyonu (ASR).....	18
2.3. Su Yalıtımı.....	19
2.3.1. Yapısal su yalıtımı.....	20
2.3.2. Yüzeysel su yalıtımı.....	20
2.3.3. Temelerde su yalıtımı.....	21
2.3.3.1. Temelerde su yalıtımı tasarımı.....	21
2.3.3.2. Zemin nemine karşı yalıtım.....	23
2.3.3.3. Drenaj.....	24
2.3.3.4. Basınçsız suya karşı yalıtım.....	24
2.3.3.5. Basınçlı suya karşı yalıtım.....	25
2.4. Su Yalıtım Malzemeleri.....	25
2.4.1. Sürme tip su yalıtım malzemeleri.....	26
2.4.1.1. Çimento esaslı malzemeler.....	27
2.4.1.2. Bitüm esaslı malzemeler.....	27
2.4.1.3. Reaksiyon esaslı malzemeler.....	28
2.4.1.4. Akrilik esaslı malzemeler.....	30
2.4.2. Serme tip su yalıtım malzemeleri.....	30
2.4.2.1. Bitüm esaslı su yalıtım örtüleri.....	31
2.4.2.2. Sentetik esaslı su yalıtım örtüleri.....	31
2.4.2.3. Bentonit esaslı su yalıtım örtüleri.....	33
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	33
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	33

3.1.1. Beton malzemeleri	33
3.1.1.1. Çimento	33
3.1.1.2. Agregası	34
3.1.1.3. Su.....	35
3.1.2. Su yalıtım malzemeleri.....	35
3.1.2.1. Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi	35
3.1.2.2. Poliüretan (PU) esaslı sürme su yalıtım malzemesi	35
3.1.2.3. Yüzey hazırlayıcı astar malzemeleri.....	35
3.1.2.4. Su yalıtımı donatı filesi.....	36
3.1.3. Kimyasal malzemeler	37
3.2. Su Yalıtım Numunelerinin Üretimi	37
3.3. Agregası Deneyleri.....	39
3.3.1. Agregası elek analizi deneyi	39
3.3.2. Agregası tane yoğunluğu deneyi	40
3.4. Agregası Karışım Oranlarının Belirlenmesi	42
3.5. Beton Karışım Hesabı.....	43
3.6. Beton Numunelerin Üretimi.....	45
3.7. Beton Numunelere Yalıtım Uygulaması	46
3.7.1. Yüzey hazırlayıcı astar uygulaması	46
3.7.2. Su yalıtım malzemesi uygulaması	46
3.8. Kimyasal Çözeltilerin Hazırlanması	48
3.9. Numunelerin Kimyasal Çözeltilere Maruz Bırakılması.....	48
3.9.1. Yalıtım numunelerinin kimyasal çözeltilere maruz bırakılması	48
3.9.2. Beton numunelerin kimyasal çözeltilere maruz bırakılması.....	49
3.10. Deneyler	50
3.10.1. Yalıtım numunelerine uygulanan deneyler.....	50
3.10.1.1. Kütle değişimi deneyi.....	50
3.10.1.2. Maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deneyi.....	50
3.10.2. Taze beton deneyleri	51
3.10.2.1. Slump deneyi.....	51
3.10.3. Sertleşmiş beton deneyleri	52
3.10.3.1. Kütle değişimi deneyi.....	52

3.10.3.2. <i>Ultrases dalga hızı deneyi</i>	52
3.10.3.3. <i>Basınç deneyi</i>	53
3.10.3.4. <i>Yarmada çekme deneyi</i>	54
3.10.3.5. <i>Plak eğilme deneyi</i>	54
4. DENEYSSEL SONUÇLAR	56
4.1. Deneyler	56
4.1.1. Yalıtım numunelerine uygulanan deney sonuçları	56
4.1.1.1. <i>Kütle değişimi deney sonuçları</i>	<i>56</i>
4.1.1.2. <i>Maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deney sonuçları</i>	<i>60</i>
4.1.2. Beton numunelerine uygulanan deney sonuçları	69
4.1.2.1. <i>Kütle değişimi deney sonuçları</i>	<i>69</i>
4.1.2.2. <i>Ultrases dalga hızı deney sonuçları</i>	<i>71</i>
4.1.2.3. <i>Basınç deney sonuçları</i>	<i>72</i>
4.1.2.4. <i>Yarmada çekme deney sonuçları</i>	<i>74</i>
4.1.2.5. <i>Plak eğilme deney sonuçları</i>	<i>76</i>
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKÇA	84
ÖZGEÇMİŞ	

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	34
Tablo 3.2. Çimentonun kimyasal özellikleri	34
Tablo 3.3. Agregaların fiziksel özellikleri	34
Tablo 3.4. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesinin karakteristik özellikleri	35
Tablo 3.5. PU esaslı su yalıtım malzemesinin karakteristik özellikleri	35
Tablo 3.6. Yüzey hazırlayıcı astar malzemelerinin özellikleri	36
Tablo 3.7. Donatı filesinin karakteristik özellikleri	36
Tablo 3.8. Susuz MgSO ₄ kimyasalının özellikleri	37
Tablo 3.9. Na ₂ SO ₄ kimyasalının özellikleri	37
Tablo 3.10. Bitüm ve PU esaslı sürme su yalıtım malzemeleri tüketim bilgileri	38
Tablo 3.11. Papyon numune boyutları [32]	39
Tablo 3.12. Agregada elek analizi sonuçları.....	40
Tablo 3.13. Agregada incelik modülü hesabı için belirlenen değer ve kabuller.....	42
Tablo 3.14. Agregada oranları	43
Tablo 3.15. Beton bileşen miktarları, kg/m ³	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yapıyı etkileyen su türleri ve etki alanları [10].....	6
Şekil 2.2. Yeraltı suyunun bodrum duvar ve döşemelerinde neden olduğu hasarlar [17].....	7
Şekil 2.3. Hidrostatik basınç [19]	8
Şekil 2.4. Su döngüsü [20].....	9
Şekil 2.5. a) ve b) Donma çözünme hasarına uğramış temel, c) Betonarme bir döşemede oluşan taze beton hasarı [3].....	11
Şekil 2.6. 140 kez donma-çözülme çevrimine maruz kalan beton numune [3]	11
Şekil 2.7. Çiçeklenme örnekleri [18,17].....	12
Şekil 2.8. Asit etkisiyle bozulma mekanizması ve asit etkisiyle bozulmaya uğrayan bir kanalizasyon tüneli [3].....	14
Şekil 2.9. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton eleman [23]	15
Şekil 2.10. Karbonatlaşma ve klorür iyonları nedeniyle betonun donatıyı korozyondan koruma etkinliğinin kaybolması [3].....	16
Şekil 2.11. (a) Korozyona uğramış köprü ayağı, (b) Korozyonun betonun dışına çıkmaya başlaması [25].....	17
Şekil 2.12. Korozyon hasarı [3].....	17
Şekil 2.13. Yarımca Pektim iskelesinde 1999 Marmara depremi sonrası deniz suyu ve deprem hasarı, aynı yerde deniz altında kalan betonarme elemanlar [23]	18
Şekil 2.14. ASR hasarına uğramış beton [23]	19
Şekil 2.15. ASR hasarına uğramış köprü ayağı [3]	19
Şekil 2.16. Bina temellerini etkileyecek su etki tiplerinin belirlenmesi (http-3).....	22
Şekil 2.17. Çimento esaslı su yalıtımı uygulaması (http-4).....	27
Şekil 2.18. Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi ile dıştan temel perdesi yalıtımı (http-5).....	28
Şekil 2.19. PU esaslı malzeme uygulaması (http-6).....	29
Şekil 2.20. Poliürea esaslı malzeme uygulaması (http-7).....	29
Şekil 2.21. Polimer bitümlü örtü uygulaması [20]	31
Şekil 2.22. Sentetik su yalıtımı örtü uygulaması [20]	32
Şekil 2.23. Bentonit şilte [20].....	33

Şekil 3.1. Su yalıtımı donatı filesi	36
Şekil 3.2. Bitüm ve PU esaslı su yalıtım malzemeleri.....	38
Şekil 3.3. a) Kesim cihazı b) Papyon yalıtım numunesi.....	39
Şekil 3.4. Agregata elek analizi.....	40
Şekil 3.5. İnce agregata tane yoğunluğu deneyi	41
Şekil 3.6. İri agregata tane yoğunluğu deneyi (Arşimet düzeneği)	42
Şekil 3.7. Karışım agregasının granülometri eğrisi	43
Şekil 3.8. Beton üretimi.....	45
Şekil 3.9. Beton numune üretimi	45
Şekil 3.10. a) Epoksi reçine esaslı astar, b) Bitüm emülsiyon esaslı astar	46
Şekil 3.11. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesi uygulaması.....	47
Şekil 3.12. PU esaslı su yalıtım malzemesi uygulaması	47
Şekil 3.13. Çözeltiye yerleştirilmeye hazır su yalıtımlı beton numuneleri	48
Şekil 3.14. $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin hazırlanması	48
Şekil 3.15. Numunelerin çözeltiye yerleştirilmesi ve laboratuvar koşullarında bekletilmesi	49
Şekil 3.16. Su yalıtımlı beton numunelerin çözeltiye yerleştirilmesi.....	49
Şekil 3.17. Kimyasal çözeltilerde bekleyen numunelerin ağırlıklarının ölçülmesi.....	50
Şekil 3.18. Maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deneyi.....	51
Şekil 3.19. Taze beton slump deneyi.....	51
Şekil 3.20. Yalıtımlı numunelere uygulanan ultrases dalga hızı deneyi	52
Şekil 3.21. Basınç deneyi	53
Şekil 3.22. Yarmada çekme deneyi	54
Şekil 3.23. Plak eğilme deneyi	55
Şekil 4.1. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kütle değişimine etkisi	56
Şekil 4.2. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kütle değişimine etkisi.....	57
Şekil 4.3. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kütle değişimine etkisi	57
Şekil 4.4. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kütle değişimine etkisi.....	58

Şekil 4.5. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kütle değişimine etkisi	58
Şekil 4.6. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kütle değişimine etkisi	59
Şekil 4.7. MgSO ₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) çekme dayanımına etkisi.....	60
Şekil 4.8. Na ₂ SO ₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) çekme dayanımına etkisi.....	61
Şekil 4.9. MgSO ₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) çekme dayanımına etkisi.....	61
Şekil 4.10. Na ₂ SO ₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) çekme dayanımına etkisi.....	62
Şekil 4.11. MgSO ₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) çekme dayanımına etkisi.....	62
Şekil 4.12. Na ₂ SO ₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) çekme dayanımına etkisi.....	63
Şekil 4.13. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kopmada uzama oranına etkisi	64
Şekil 4.14. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kopmada uzama oranına etkisi	65
Şekil 4.15. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kopmada uzama oranına etkisi	66
Şekil 4.16. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kopmada uzama oranına etkisi	66
Şekil 4.17. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kopmada uzama oranına etkisi	67
Şekil 4.18. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kopmada uzama oranına etkisi	68
Şekil 4.19. MgSO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) ve yalıtımsız beton numunelerin 28 ve 56 günlük kütle değişimi.....	69
Şekil 4.20. Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) ve yalıtımsız beton numunelerin 28 ve 56 günlük kütle değişimi.....	70

Şekil 4.21. MgSO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük ultrases deney sonuçları	71
Şekil 4.22. Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük ultrases deney sonuçları	72
Şekil 4.23. MgSO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük basınç deneyi sonuçları	73
Şekil 4.24. Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük basınç deneyi sonuçları	74
Şekil 4.25. MgSO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük yarmada çekme deneyi sonuçları	75
Şekil 4.26. Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük yarmada çekme deneyi sonuçları	75
Şekil 4.27. MgSO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük plak eğilme deneyi sonuçları	76
Şekil 4.28. Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük plak eğilme deneyi sonuçları	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

APP	: Ataktik polipropilen
ASR	: Alkali- silika reaksiyonu
ASTM	: American society for testing materials
B	: Bitüm
Ca	: Kalsiyum
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum hidroksit
Cl ⁻	: Klor iyonu
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
cm ³	: Santimetreküp
CO ₂	: Karbondioksit
CPE	: Klorinepolietilen
CSPE	: Klorosülfone polietilen
dk	: Dakika
DKY	: Doygun kuru yüzey
dm ³	: Desimetreküp
ECB	: Etilen kopolimerbutil
EPDM	: Etilen propilen dienmonomer
Fe	: Demir
g	: Kütle
gr	: Gram
H ₂ O	: Su
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
HCl	: Hidroklorik asit
HNO ₃	: Nitrik asit
K ⁺	: Potasyum
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
L	: Hacim

L	: Yol (m)
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
Mg	: Magnezyum
MgSO ₄	: Magnezyum sülfat
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
MPa	: Mega paskal
N	: Newton
Na	: Sodyum
Na ₂ SO ₄	: Sodyum sülfat
NaCl	: Sodyum klorür
NH ₄ ⁺	: Amonyum
O ₂	: Oksijen
Pb	: Kurşun
PE	: Polietilen
PIB	: Poliizobitülen
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinilklorür
SBS	: Elastomer bitüm
SO ₄	: Sülfat
t	: Zaman
TS	: Türk standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
V	: Hız
%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
~	: Yaklaşık

1. GİRİŞ

Yapı endüstrisinde en çok kullanılan malzemelerden birisi betondur. Ancak betonda çeşitli dış etkenler nedeniyle durabilite (kalıcılık) kayıpları görülebilir [1]. Durabilite (kalıcılık), yapı elemanının uzun yıllar boyunca bozulmadan işlevini yerine getirebilme özelliğidir. Durabilite kaybı, özellikle deniz suyu etkisine maruz kalan yapılarda en fazla gözlenen ve en önemli sorunların başında gelmektedir [2]. Su, betonarme yapıların kalıcılığını etkileyen en önemli etkidir. Su, betonda bulunan çatlaklar nedeniyle beton içerisine nüfuz ederek, betonu fiziksel ve kimyasal olarak olumsuz etkilemektedir [3]. Su, betondaki çatlaklardan sızarak yapı elemanlarında bulunan donatıların korozyona uğramasına neden olur. Böylece donatılarda kesit kaybı oluşur, yapı elemanı yük taşıma kapasitesini yitirir ve betonun dayanımı düşer. Özellikle yer altı suyuna maruz kalan yapılarda, yeraltı suyu içerisinde bulunan sülfat tuzları nedeniyle betonun yapısında bozulmalar meydana gelir ve beton dayanımı olumsuz etkilenir. Yeraltı suyu ve zemin nemi, yapının toprak ile temas eden yüzeylerinden betona nüfuz ederek olumsuz etki eder [4]. Yapıların suya maruz kalması, betonun yapısal olarak zarar görmesi dışında, küf, mantar vb. organik maddelerin oluşumuna yol açması nedeniyle insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir [5]. Suyun yapıyı olumsuz etkileyen başlıca etken olması nedeniyle, yapıların suyun fiziksel ve kimyasal etkilerine karşı korunması gereklidir [6]. Suyun tüm bu olumsuz etkilerine karşı yapıyı korumak, daha kalıcı ve uzun ömürlü yapılar inşa etmek için su yalıtımı yapılması gereklidir [7]. Su yalıtımı; suyun zararlı etkilerine karşı yapıyı korumak için yapılan çalışmalara denir. Su yalıtımı yapının temelinden çatısına kadar tüm yapı elemanlarının suyun zararlı etkilerine karşı korunması için uygulanır. Suyun yapıların üzerinde meydana getirdiği etkiler yapının güvenliği için tehdit oluşturur. Bu nedenle su yalıtımı hayati önem taşımaktadır. Yapı ömrü ve güvenliğinin yanı sıra su yalıtımı, insan sağlığı ve konforu açısından da önemlidir. Suyun yapıya verdiği yapısal zarar çoğunlukla gözle görülemez, ancak sonuçlarıyla karşılaşıldığında fark edilir. Yaşanacak büyük bir deprem sonucunda yapısal hasara uğrayan bir yapının ayakta kalması neredeyse imkansızdır. Bu yüzden Türkiye gibi deprem kuşağında yer alan ülkeler için su yalıtımının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır [4].

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Temel, bir yapının en önemli yapı elemanıdır. Özellikle yer altı suyunun olumsuz etkilerine direkt maruz kalan yapı elemanı olması nedeniyle temellerin suya karşı korunması yapı güvenliği ve yapının taşıyıcılığı açısından oldukça kritiktir. Ülkemizin deprem kuşağında bulunması nedeniyle de yapıların güvenliğinin sağlanması, servis ömrünü koruması ve özellikle donatı korozyonuna karşı alınacak önlemler hayati önem taşır. Su yalıtımı eksikliğinde veya yetersiz ve yanlış uygulamalar yapılması sonucunda betona etkileyen su ve içeriğindeki çeşitli kimyasallar nedeniyle betonda dayanım kayıpları ve donatılarda korozyon meydana gelir. Bu nedenle yapıların temelden çatıya kadar tamamının doğru yalıtım malzemeleri ve doğru uygulamalar ile korunması gereklidir.

Bu çalışmanın amacı yeraltı suyu etkisinde kalan temel/temel perdelerinde kullanılan su yalıtım malzemelerinin kimyasal çözeltiler altındaki etkisinin, betonu koruma performansının belirlenmesidir. Çalışma kapsamında temel/temel perde betonunda kullanılan bitüm ve poliüretan (PU) esaslı sürme su yalıtım malzemelerinin yeraltı suyunda en fazla bulunan tuzlardan olan, magnezyum ve sodyum sülfat içeren kimyasal çözeltilere karşı performansının belirlenmesi ve yalıtımlı betonun kimyasal çözeltilere maruz kaldığında, yalıtım malzemelerinin betonu koruma performansının belirlenmesi için deney ve gözlemler yapılmıştır.

1.2. Literatür

Şimşek (2019) tarafından yapılan çalışmada, Bursa'nın Nilüfer İlçesinde bulunan 50 yapının çatı ve cephe su yalıtım özellikleri incelenerek, kullanılan yalıtım malzemeleri ve alınan önlemler belirtilmiştir. İncelenen yapıların %8'inde PU kullanılırken, %19 oranında bitümlü likit sürme yalıtım malzemelerinin kullanıldığı görülmüştür. Bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesinin ekonomik ve kolay uygulanabilir olması tercih edilmesinde etkili olmuştur. PU esaslı su yalıtım malzemesinin, yüksek performanslı su yalıtımı sağladığı, yağmur, kar, nem, aşırı soğuk veya sıcak hava gibi koşullara ve basınca dayanıklı olması nedeniyle tercih edildiği görülmüştür [8].

Akyol (2008) tarafından yapılan çalışmada, yapılarda su yalıtımı için kullanılan su yalıtım malzemeleri, su yalıtımı uygulamaları ve geçirimsizlik sağlayan katkı türlerinin beton üzerindeki etkileri incelenmiştir. Türkiye ve Dünya'daki su yalıtımı çalışmaları, su yalıtımının önemi, yapılardaki su sorunları incelenmiştir. Ayrıca temellerde su yalıtımı, su ve korozyonun etkileri, temellerde su yalıtımının tasarımı ve uygulamaları açıklanmıştır [9].

Şen (2006) tarafından yapılan çalışmada, yalıtım teknikleri olan ısı, su, ses ve yangın yalıtımı sırasıyla ele alınmıştır. Ülkemizdeki ve dünyadaki yalıtım çalışmaları karşılaştırılmış, ülkemizdeki yalıtım çalışmalarının çok daha az olduğu görülmüştür [4].

Dağ (2001) tarafından yapılan çalışmada, suyun yapılarda meydana getirdiği zararlara karşı, yapılarda alınması gereken yalıtım önlemleri, tam geçirimsiz tabakanın oluşturulması için kullanılan su yalıtım sistemleri, bu sistemlerin özellikleri ve kullanım alanları ele alınmıştır [6].

Kartal ve Üstündağ (2016) tarafından yapılan çalışmada binalarda kullanılan su yalıtım malzemeleri araştırılarak, yapılan su yalıtımı uygulamaları incelenmiş ve su yalıtımı maliyetinin, binanın toplam maliyeti içerisindeki yeri belirlenmiştir. Bir üniversitenin laboratuvar binasında yapılan su yalıtımı uygulamaları incelenerek, su yalıtımının toplam maliyetteki yeri tespit edilmiş ve yaklaşık %5 olarak belirlenmiştir. Tasarım nedeniyle oluşan su sorunları tespit edilerek, buna istinaden farklı uygulama ve malzeme kullanımına ilişkin öneri sunulmuştur. Öneri uygulama sonucunda ise su yalıtım uygulamasının toplam maliyet içerisindeki oranının yaklaşık %6,5 olacağı hesaplanmıştır [5].

Baradan ve Aydın (2013) tarafından yapılan çalışmada, yapıların servis ömürlerinin azalmasına yol açan fiziksel ve kimyasal etkenler üzerinde durulmuştur. Yapının servis ömrü boyunca işlevselliğini koruyabilmesi, maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin türünün ve şiddetinin tasarım aşamasında belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması konusunda çalışma yapılmıştır [3].

Naimi ve Özdemir (2020) tarafından yapılan çalışmada, yapılarda yer altı suyuna karşı yapılan koruma sistemleri, sistemlerin özellikleri ve kullanım alanları incelenmiştir. Bu doğrultuda, su yalıtım uygulamalarında kullanılan malzemeler sınıflandırılmış, özellikleri, uygulama usul ve kaideleri anlatılmıştır. Su yalıtım malzemelerinin kullanım alanları, doğru uygulama ve malzeme seçimi üzerine çalışma yapılmıştır [7].

Mayuk (2020) tarafından yapılan çalışmada, yeni yapılacak bina temellerinde alınacak su yalıtımı önlemleri ve bunların denetimine yönelik öneri sunulmuştur. Denetimlerde yapılacak kontrollerin, temelin imalatı sırasında uygulanması ile temellerde yaşanabilecek su sorunlarının azaltılması veya engellenmesi amaçlanmıştır [10].

Akçay ve Çullu (2022) tarafından yapılan çalışmada, farklı dayanım sınıflarında hazırlanan beton örneklerin, karışım suyunda yapılacak değişimin etkisiyle betonun sülfat dayanımındaki etki değişimi incelenmiştir. Bu amaçla CEM I 42,5 R çimentosuyla,

C20/25, C30/37 ve C40/50 sınıflarında hazırlanan beton karışım tasarımlarında, karışım suyu oranları %10, %20, %40, %70 ve %100 oranında artırılıp %10 ve %20 oranında azaltılmıştır. Beton numunelerin sülfata karşı dayanımının belirlenmesi amacıyla, numuneler ıslanma kuruma çevrimine maruz bırakılmıştır. 105 °C'de 2 gün boyunca bekletilen numuneler, Na₂SO₄ içeriği %5 olan solüsyon içerisinde 2 gün daha bekletilmiştir. Çevrimi tamamlanan numunelerdeki kütle kayıpları belirlenmiştir. Karışım suyu miktarının artırılmasının da azaltılmasının da betonun sülfat dayanımını önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir [11].

Yıldırım (2012) tarafından yapılan çalışmada, betonarme yapılardaki su geçirimsizliği, sebepleri, uygulama yöntemleri ve detayları ele alınarak, yalıtım teknolojileri hakkında bilgi verilmiştir. Yapıların suya karşı korunmaları için geliştirilen yalıtım malzemeleri, malzemelerin uygulama detayları, yapıya etki eden su türleri ve suyun yapı üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkileri incelenerek, yapıların suya karşı korunması için yapılması gerekenler üzerinde durulmuştur. Ayrıca ülkemizdeki su yalıtımı ile ilgili eksikliklerin giderilmesi hakkında önerilerde bulunulmuştur [12].

Uygunoğlu vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, çimento, bitüm ve akrilik esaslı sürme su yalıtım malzemeleri kullanılarak yalıtım yapılan betonların fiziksel özellikleri, ultrases geçiş hızları, su emme kapasiteleri ve korozyona karşı dayanıklılıkları deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda korozyon başlama süreleri incelendiğinde, korozyonun ilk başladığı numunenin şahit numune olduğu, en son başladığı numunenin ise bitüm esaslı su yalıtım malzemesi uygulanan beton numune olduğu gözlenmiştir. Ayrıca %85,34 oranında su emmeyi azaltarak, su emme oranını en çok azaltan yalıtım malzemesinin de bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesi olduğu görülmüştür. Ultrases deneyi sonucunda ise, en düşük ses geçiş hızı bitüm esaslı sürme yalıtım malzemesi uygulanan numunede ölçülmüştür [13].

Şimşek (2005) tarafından yapılan bu çalışmada, suya karşı alınacak tüm önlemlerin, yapı üzerinde oluşturacağı olumlu ve olumsuz etkiler incelenmiş ve betonun dış etkilere karşı dayanıklı ve su geçirimsiz şekilde üretilmesi için yöntemler araştırılmıştır. Yapılan çalışmada yapıda hasar oluşumunun engellenmesi için suyun yapı ile temas etmesini engelleyecek sistemler ve uygulamada kullanılan malzemeler belirtilmiştir. Zemin yer kabuğu etkileşimi göze alınarak yapılaşmaya elverişli ve elverişsiz zeminler tespit edilip, bu zeminlere uygun temel seçimi, yalıtım malzemelerinin seçimi ve uygulama

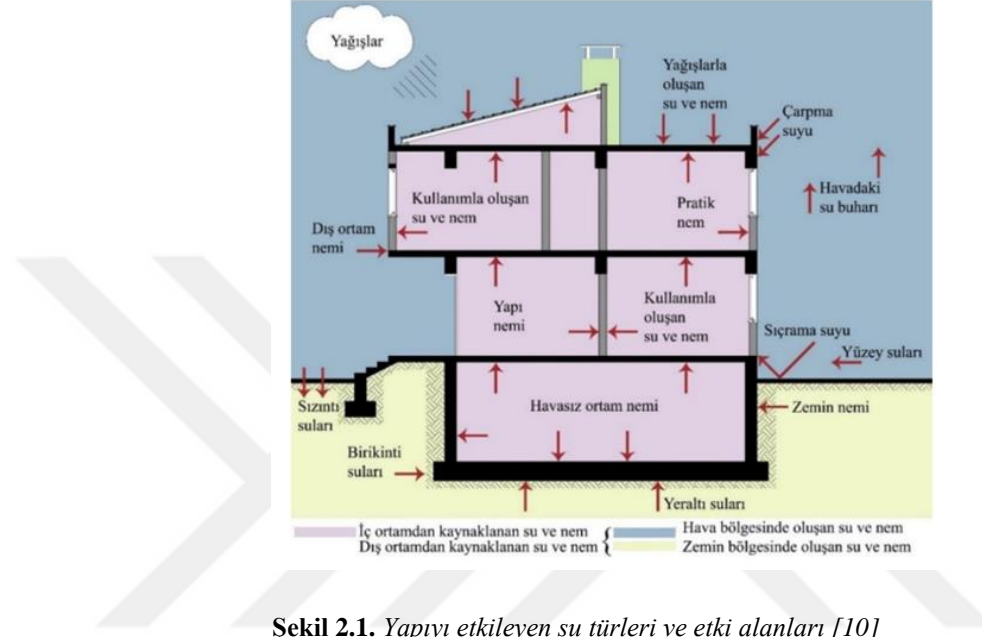
teknikleri hakkında tespitler yapılmış, bu sistemlerin tercih edilme nedenleri ve olumlu-olumsuz yönleri ortaya koyulmuştur [14].

Tüfekçi vd. (2022) tarafından yapılan bu çalışmada, taze betona karıştırılan katkı ve sertleşmiş beton yüzeyine sürülen sürme tip malzemelerin su geçirimsizlik potansiyeli incelenmiştir. Deney kapsamında C30/37 sınıfı beton numuneler üretilmiş ve basınçlı suya maruz bırakılmıştır. Su yalıtımı beton katkılarının temelde ve sürme tipi su yalıtımı malzemelerin, perdelerde ya da temellerde kullanımında su geçirimsizlik performansı simüle edilmiştir. Yapılan çalışmalar, bu tür su geçirimsizlik beton katkılarının ve sürme esaslı malzemelerin özellikle nispeten geçirimli ve yüksek durabiliteye sahip olmayan betonların performansını kısmen iyileştirebildiklerini, yüksek kalıcılık için gerekli özellikleri sağlayamadıklarını, su ve zararlı iyonlara karşı betonu tamamen geçirimsiz kılan bir bariyer fonksiyonu göremediklerini göstermiştir [15].

2. YAPIYA ETKİ EDEN SU TÜRLERİ, ETKİLERİ VE SU YALITIMI

2.1. Yapıya Etkiyen Su Türleri

Su, yapılara; yağış, yeraltı suyu, sızıntı suları, toprak nemi, yoğunlaşan su buharı ve yapı içerisinde kullanılan kullanım suları şeklinde etki eder [7]. Yapı üzerinde etkili olan su türleri ve etki alanları Şekil 2.1’de verilmiştir.



Yapıyı etkileyen sular, toprak (zemin) altı ve toprak (zemin) üstü sular olmak üzere iki gruptadır. Yapıyı tasarlarken, yapı elemanlarının su ile temas etme biçimleri, iklim koşulları, jeolojik ve topografik özellikler dikkate alınır. Tasarım aşamasında, yapıyı suyun olumsuz etkilerinden korumak için gerekli önlemlerin alınması gereklidir [16].

2.1.1. Toprak (zemin) altı suları

Yağış etkisiyle oluşan sular, toprak ile temas ettiğinde yer çekiminin etkisiyle alt tabakaya doğru sızar. Sızan su geçirimsiz bir tabaka ile karşılaştığında hareketsiz kalır ve birikme sularını meydana getirir. Hidrostatik basınç ve kapilariteye neden olan zemin suları, yapının toprak altında bulunan, temel ve bodrumdaki yapı elemanlarına etki eder. Toprak altı suları; toprak nemi, sızıntı suları, yer altı suyu ve kılcal boşluklar olmak üzere dörde ayrılır [16].

2.1.1.1. Sızıntı sular

Yağmur ve kar gibi yağış etkisiyle oluşan ve toprak ile temas eden suların, alt tabakalara doğru sızmasıyla meydana gelen suya sızıntı sular adı verilir. Bu sular yer

çekiminin etkisi ile gittikçe daha derine iner ve suların indiği bu bölge süzülme ya da perkolasyon katmanı olarak adlandırılır. Süzülme bölgesindeki sular, bu bölgede temas ettikleri yapı elemanlarını basınçsız su etkisine maruz bırakır [16].

2.1.1.2. Yeraltı suları

Yapıların toprağın altında kalan kısımları sürekli olarak yeraltı suyu ile etkileşim halindedir. Özellikle temelin sürekli yeraltı suyunun etkisine maruz kalması taşıyıcılığı olumsuz etkileyen en önemli etkidir. Toprakta bulunan sülfatların yeraltı suyu ile taşınarak betona etki etmesi sonucunda kimyasal etkiler oluşur ve bu etkiler sonucunda betonun yapısı bozulur [17]. Suya ve neme maruz kalan bodrum kat betonunda zamanla Şekil 2.2'deki gibi küf, mantar ve çiçeklenme oluşur.



Şekil 2.2. Yeraltı suyunun bodrum duvar ve döşemelerinde neden olduğu hasarlar [17]

Yer altı suları; toprak nemi (zemin rutubeti), basınçlı ve basınçsız su olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu suların etkisine göre alınacak önlemler ve yalıtım yöntemleri çeşitlilik gösterir [7].

Toprak nemi (zemin rutubeti)

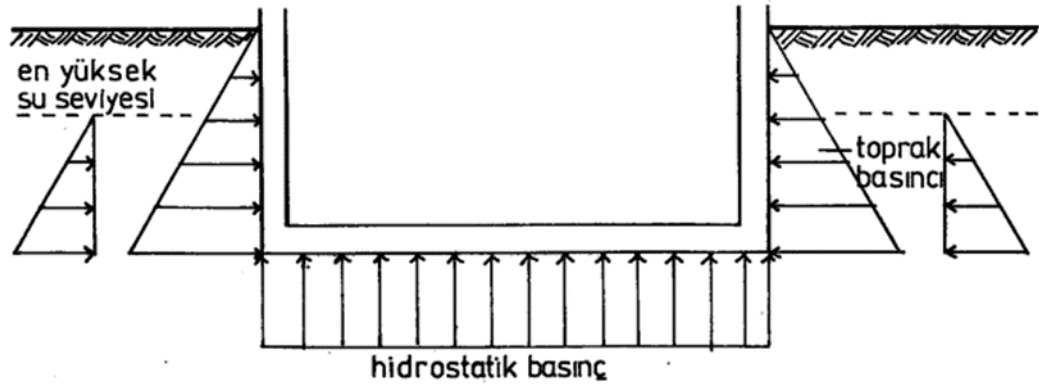
Toprak nemi (zemin rutubeti); sızıntı sularının, temas ettiği zeminde bulunan boşluklardan yer çekimi etkisiyle aşağıya doğru hareket etmesiyle boşlukları suyla doldurması ve bu yüzeylerde adezyon ile ıslaklığın asılı kalmasıyla oluşur. Toprak nemi, yer altı suyunun kılcallık etkisiyle yüzeye doğru yükselmesi sonucunda toprak tabakalarını ıslatmasıyla da oluşabilir. Toprak nemi, sızıntı sularına ve yer altı sularına bağlı olmaksızın daima mevcuttur [16].

Basınçsız su

Basınçsız su, damlayabilen- akabilen durumdaki sudur [18]. Yüzey ve sızıntı suları basınçsız su olarak tanımlanır. Bu sular yağış etkisiyle toprak basıncı oluşturarak, temel/perde ve bodrum duvarlarında geçici olarak hidrostatik basınç etkisi oluşturabilir. Bu nedenle yapının suya karşı korunması için yalıtım önlemi alınması gereklidir [17].

Basınçlı su

Basınçlı su, yapı üzerinde sürekli olarak hidrostatik basınç etkisi yaratan su olarak tanımlanır [18]. Geçirimsiz toprak tabakasında, sızıntı ve yüzey sularının yükselmesi sonucunda zemindeki gözeneklerin dolması ile oluşur. Basınçlı su ve kapilaritenin etkili olduğu yapı elemanları; temel, bodrum perde ve döşemelerdir [17]. Yeraltı suyu seviyesinin altında kalan yapı elemanları basınçlı su etkisine maruz kalır. Yağışlar arttıkça bu basıncın etkisi de artar. Yapının toprak altında kalan ve yer altı suyu etkisiyle suya maruz kalan yapı elemanlarında hidrostatik basınç meydana gelir. Hidrostatik basınç yapıyı yatay ve düşey olarak etkilemektedir. Yapının maruz kaldığı hidrostatik basınç Şekil 2.3'te verilmiştir [19].

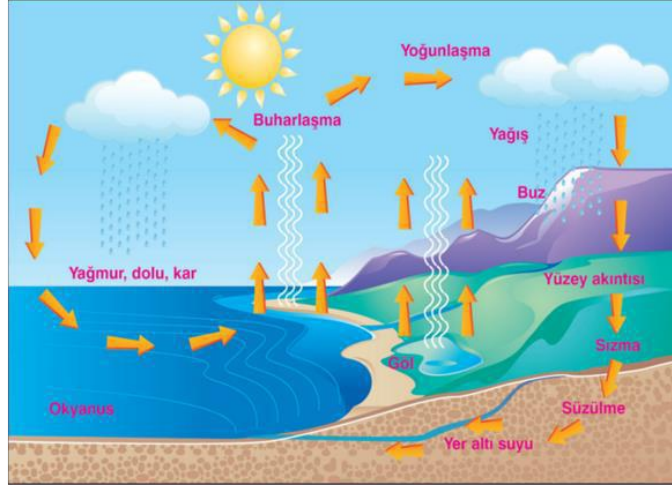


Şekil 2.3. Hidrostatik basınç [19]

Yapıya etki eden hidrostatik basınca göre alınacak yalıtım önlemleri belirlenmelidir [18]. Basınçlı suya karşı; yapının bulunduğu konum ve zemin koşulları dikkate alınmalı, yapıyı suyun zararlı etkilerinden korumak için tüm yapı elemanlarını bohçalayacak şekilde yalıtım yapılmalı ve mutlaka drenaj sistemi oluşturulmalıdır [17].

2.1.2. Toprak üstü suları

Toprak üstü suları, yağışlar, tatlı- tuzlu su kütleleri ve atmosferik nem olarak tanımlanır. Yağışların etkisiyle yeryüzüne düşen suların tatlı- tuzlu su kütlelerine ve yeraltı sularına karışmasıyla Şekil 2.4'teki gibi su döngüsü meydana gelir [20].



Şekil 2.4. Su döngüsü [20]

2.1.2.1. Yağış suları

Yağışların etkisiyle yağmur ve kar şeklinde yeryüzüne düşen sulardır. Yapının konumu ve bulunduğu yerin iklim koşulları suyun yapı üzerindeki etkisi açısından önemlidir [16]. Yağış nedeniyle meydana gelen sular, yapıyı direkt etkilemenin dışında, toprağa karışıp yeraltı sularını meydana getirerek yapıya etki eder [17].

2.1.2.2. Tatlı ve tuzlu su kütleleri

Tatlı ve tuzlu su kütleleri içerdikleri kimyasalların özelliklerine göre yapıya farklı şekillerde etki eder. Az miktarda erimiş tuz, çözülmüş mineral içeren ve sertliği az olan tatlı su kütleleri, yapı üzerinde çok fazla olumsuz etki oluşturur. Deniz suyu içerisinde bulunan çözülmüş tuzlar, beton üzerinde kimyasal etkiler meydana getirir. Deniz suyunun, gel-git etkisi, ıslanma- kuruma etkisi, donma-çözülme etkisi gibi çeşitli etkileri nedeniyle yapı üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır [16].

2.1.2.3. Havadaki nem (su buharı)

Havadaki nem, atmosferde daimen bulunan sudur. Atmosferin su buharı açısından doygunluğa ulaşması sonucunda taşıyamadığı su buharını çeşitli yüzeyler üzerine bırakmasına nem ya da çığ denir [16]. Havada bulunan su buharı, yoğunlaşma ve nemlenme etkisiyle yapıya zarar veren unsurların başında gelir. Nem miktarı az da olsa çok da olsa yapıyı olumsuz olarak etkilemektedir. Su buharı nemin fazla olduğu yerlerde daha fazladır. Havanın su buharını tutma oranı sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, sıcaklık düştüğünde azalır, yükseldiğinde artar. Yapıyı havadaki neme karşı korumak için yapısal ve yüzeysel önlemler alınmalıdır. Alınan önlemlerde en çok dikkat edilmesi gereken nokta, yapının nefes alması ve nem geçişinin sağlanmasıdır. Nem geçişi

sağlanamadığı durumlarda, hava kalitesinin bozulması nedeniyle insan sağlığı açısından olumsuz etkiler meydana gelir [17].

2.1.2.4. Yapı içerisindeki su ve nem

Banyo, mutfak gibi ıslak hacimlerdeki kullanım suları, yapının dış yüzeyinden içeri giren sular, yapı elemanlarının bünyesinde bulunan sular, terleme ve sıcaklık farkları nedeniyle oluşan sular bu kapsama girmektedir [17].

2.2. Suyun Yapıya Etkileri

Yapıların servis ömrünü uzun süre devam ettirebilmesi, insanların konforlu ve sağlıklı yapılar içinde yaşaması için, yapıya etki eden en önemli unsurların başında gelen suya karşı yapıların korunması gereklidir [16]. Suyun yapı üzerindeki etkisi, suyun miktarı, içeriği, sıcaklığı ve yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Suyun yapıdaki etkileri, fiziksel ve kimyasal etkiler olmak üzere ikiye ayrılır [20].

2.2.1. Suyun fiziksel etkisi

Su, farklı yollar ile yapı içerisine girer ve yapıyı fiziksel olarak etkileyerek çeşitli hasarlara neden olur [6]. Suyun neden olduğu fiziksel etkiler; çiçeklenme, çatlama, kopma, şişme-büzülme, ıslanma- kuruma, yoğuşma ve donma etkisi gibi gözle görülebilecek etkilerdir [16].

2.2.1.1. Donma etkisi

Suya doymuş haldeki sertleşmiş betonun, don etkisinde kalması sonucunda betonun içinde yer alan kapiler boşluklardaki su donarak genişir ve sıcaklık artışıyla yeniden çözünür. Bu döngünün devam etmesi sonucunda meydana gelen genişleme kümülatif olarak artış gösterir. Genleşme nedeniyle oluşan gerilmenin, betonun çekme dayanımını aşması sonucunda betonda çatlak, dökülme ve kabuk atmalar meydana gelir. Bu nedenle betonun suyun olumsuz etkilerine karşı korunması gereklidir [3]. Betonun donma etkisine karşı korunması için beton içerisindeki boşlukların minimum seviyeye indirilmesi, düşük su/çimento oranı ile yapılması ve hava sürükleyici katkıların kullanılması gibi önlemler alınabilir [12]. Donma çözülme etkisine uğramış beton örnekleri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. a) ve b) Donma çözünme hasarına uğramış temel, c) Betonarme bir döşemede oluşan taze beton hasarı [3]



Şekil 2.6. 140 kez donma-çözülme çevrimine maruz kalan beton numune [3]

2.2.1.2. İslanma- kuruma etkisi

Betonun ıslanması sonucunda içinde bulunan boşluklar nedeniyle hacminin artmasına şişme adı verilir. Her ıslanmanın sonrasında kuruma evresi olacağından dolayı, beton emdiği suyu kaybedecektir [6]. Şişme ve büzülme miktarları, malzemenin özelliklerine ve bünyesine aldığı su miktarına göre değişkenlik gösterir. Betonun şişme evresinde basınç gerilmesi etkili olurken, kuruma evresinde çekme gerilmesi etkilidir. Yapılan çalışmalar sonucunda malzemelerin kuruma sonrasında daha fazla büzüldüğü görülmüştür [16].

İslanma kuruma etkisi, deniz suyunun gelgit etkisine maruz kalan deniz yapılarında (liman, iskele vs.), sıcak ve kurak bölgelerdeki sulama kanallarında sıklıkla gözlenir. İslanma kuruma etkisi, kuruma süresi, bağıl nem ve ıslanma- kuruma döngüsü sırasında betonun sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir [16].

2.2.1.3. Çiçeklenme (effloresans)

Suyun yapı elemanlarının bünyesine girerek, yapı malzemesinin içerisindeki kılcal boşluklar içerisinde ilerlemesi ve karşısına çıkan çözünebilir tuzları çözerek yüzeye çıkması sonucunda oluşan etkiye “çiçeklenme (effloresans)” adı verilir [12]. Isı etkisiyle sodyum klorür, magnezyum sülfat, potasyum nitrat ve kalsiyum klorür gibi tuzlar suda çözünebilirler. Çözünen tuzlar ile birlikte beton yüzeyine çıkan su buharlaşarak Şekil 2.7’de verilen çiçeklenmeye neden olur. Çiçeklenme, yüzeyin estetik açıdan kötü görünmesine neden olmasının yanı sıra, devam etmesi halinde hacim artışı nedeniyle çatlamaya neden olur [6].



Şekil 2.7. Çiçeklenme örnekleri [18,17]

2.2.1.4. Yoğuşma ve buharlaşma etkisi

Hava içerisinde bulunan su buharı miktarı, hava sıcaklığına, çevrede bulunan su kütlelerine, hava akımına, bitki ve insanlara bağlıdır. Özellikle soğuk havalarda ısınmanın etkisiyle yapının içerisindeki mutlak nem oranı dışarıdaki nem oranına göre daha fazladır. Oluşan kısmi buhar basıncı nedeniyle içeriden dışarıya doğru su buharı geçişi olur ve kısmi buhar basıncı gittikçe azalır. Su buharı akışında, sıcaklık ve basıncın azalma hızı, yapı kabuğunu oluşturan katmanların buhar ve ısı geçirimsizlik değerlerine bağlıdır. Buhar basıncının yeterince azalmaması sonucunda sıcaklığın çiy noktasına düşmesiyle su buharı yoğuşarak su halini alır. Yoğuşma nedeniyle biriken su, bulunduğu katmanı fiziksel olarak olumsuz etkiler. Suyun yeniden buharlaşması ve yoğuşma-buharlaşma döngüsünün tekrar etmesi sonucunda, yoğuşma nedeniyle oluşan su, buharlaşma ile yeniden havaya karışmadığında yapı kabuğunda devamlı olarak artış gösterir [16].

2.2.2. Suyun kimyasal etkisi

Su, doğada en fazla çözücülük özelliğine sahip olan sıvıdır. Su ve suyun içerisinde bulunan kimyasal maddeler nedeniyle, su ile temas eden yapı elemanları olumsuz

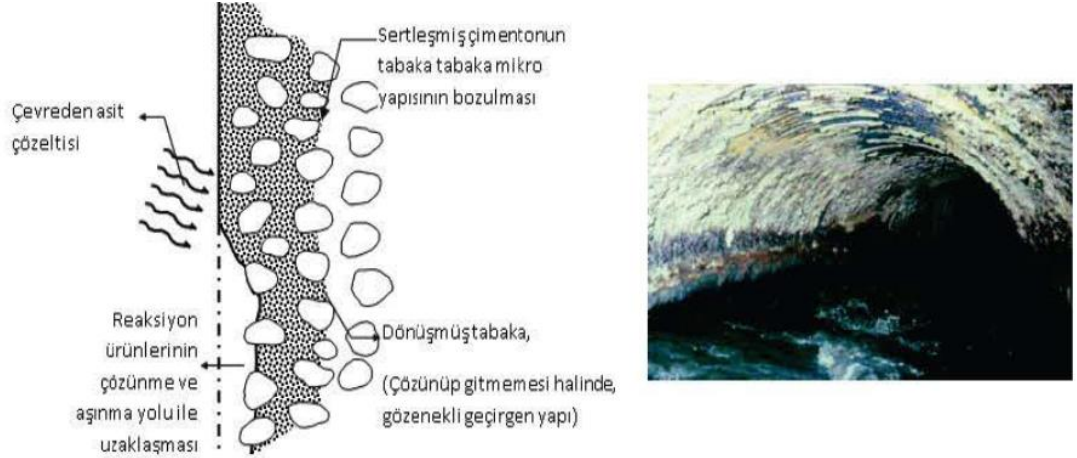
etkilenir ve betonda çeşitli kimyasal bozulmalar meydana gelir [12]. Betonda meydana gelen kimyasal bozulmalar, betonun porozitesinin (geçirimsizliğinin) artması, çatlama, dökülme, kapata atma, yumuşama ve dayanımını kaybetme şeklindedir. Betonun kimyasal olarak zarar görmesi, zararlı kimyasalların beton bünyesine taşınma hızına yani betonun geçirimsizliğine bağlıdır. Sıklıkla görülen kimyasal etkiler, sülfat, asit ve alkali etkisidir [3]. Su içinde bulunan kimyasallar (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , NH_4^+ gibi katyonlar ve SO_4 , Cl^- gibi anyonlar), betonun hacminin artmasına, dayanımın düşmesine ve taşıyıcılığını yitirmesine neden olurlar [6]. Su nedeniyle meydana gelen en önemli kimyasal etkiler şöyledir;

- Karbondioksit = Karbonatlaşma
- Oksijen = Donatı korozyonu
- Klorürler = Donatı korozyonu
- Sülfatlar = Çimento ile genleşme
- Alkaliler = Agrega ile genleşme tepkimesi
- Asitler = Çimento erimesi

Yapının su nedeniyle oluşan kimyasal etkilere karşı korunması için, tasarımı sırasında gerekli kimyasal analizlerin yapılması ve betonun etkilenmesine neden olacak derecede asit, sülfat, klor etkisi mevcut ise önlem alınması gereklidir [16].

2.2.2.1. Asit etkisi

Asit reaksiyonlarının hızı ve şiddeti, asidin tipine, etki süresine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir [3]. Asitlerin olumsuz etki yaratmaları, kalsiyum tuzlarının çözülmesine bağlıdır. H_2SO_4 , HCl , HNO_3 gibi kuvvetli asitler betonun tamamen parçalanmasına neden olur [12]. Asit reaksiyonları sonucunda sertleşmiş beton yüzeyinde yumuşama ve gözenekler meydana gelir. Şekil 2.8'de verilen kanalizasyon tünelineki şekilde, biyolojik oluşumların oluşması da zayıf asitlerin kuvvetli aside dönüşmesinde etkili olur [3].

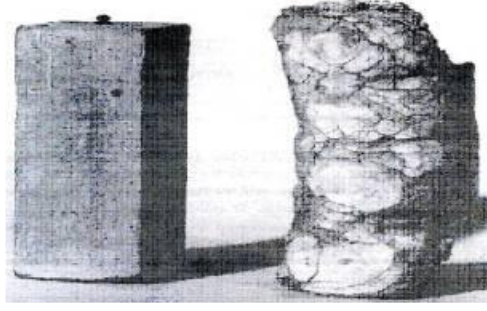


Şekil 2.8. Asit etkisiyle bozulma mekanizması ve asit etkisiyle bozulmaya uğrayan bir kanalizasyon tüneli [3]

Asit dış yüzeyden başlayarak içe doğru etki eder. Bu nedenle aside maruz kalan yüzeylerde dışarıdan yalıtım yapılması gereklidir. Asit etkisine karşı betonun geçirimsiz olması tek başına yeterli olmayıp, betonun mutlaka bitüm, poliüretan, sentetik reçine, özel yağ, boya veya vernik gibi malzemeler yardımıyla korunması gereklidir [3].

2.2.2.2. Sülfat etkisi

Betonarme yapıların durabilitesini (kalıcılığını) en fazla olumsuz etkileyen nedenlerden birisi sülfat etkisidir. Sülfat etkisi, betonun dayanımının düşmesine, genişmesine ve betonda kütle kayıplarına neden olur [11]. Sülfat etkisi, beton içerisinde biriken sülfat tuzlarının kristalleşmesi ve sülfat iyonlarının çimento hidratasyon ürünleri ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşur. Bu reaksiyonlar sonucunda herhangi bir bağlayıcılık özelliğine sahip olmayan alçıtaşı, etrenjit ve tomasit gibi ürünler meydana gelir [21]. Oluşan etrenjitin içeriğinde bulunan kristal suyun fazla olması nedeniyle hacim artışı meydana gelir. Kristalleşen katı haldeki tuz nedeniyle beton içerisindeki boşluklarda basınç gerilmeleri oluşur. Gerilmenin etkisiyle betonda çatlama, ayrışma ve parça şeklinde dökülmeler görülür [22]. Sülfat nedeniyle meydana gelen reaksiyonlar sonucunda oluşan genişleme, çatlaklara yol açar, agrega-çimento hamuru arasındaki aderansı olumsuz etkiler ve böylece betonun mukavemetinin düşmesine neden olur. Sülfat saldırısına maruz kalan betonda, kenar ve köşelerden başlayan ve tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlak ve dökülme gibi etkiler görülür. Sülfat etkisi; maruz kalınan sülfat miktarı, ortam koşulları, betonun porozitesi, yapısı ve suyun varlığına bağlı olarak değişir [3]. Sülfat etkisiyle zarar gören beton eleman Şekil 2.9'da verilmiştir [23].



Şekil 2.9. *Sulfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton eleman [23]*

Sülfatlar, toprak ve yeraltı sularında bulunur. Beton içerisine sızan sular ile birlikte betona nüfuz ederek yapıya zarar verirler. Bu nedenle betonun geçirimsiz olması sülfat etkisinin azalmasını sağlar [11]. Sülfat etkisi daha çok termal kaynak sularında, endüstriyel bölge atık sularında, maden arıtma sularında ve alçılı zeminlerdeki yer altı sularında meydana gelir [12]. Betonun sülfat direncinin artırılması için, silis dumanı, uçucu kül, cüruf gibi mineral katkı maddeleri ve çeşitli kimyasal katkıları kullanılmaktadır [11]. Bunların yanı sıra su ve nem etkisiyle meydana gelen olumsuz etkilere karşı, betonu tam geçirimsiz hale getirmek ve uzun ömürlü yapılar için, uzman uygulayıcılar tarafından yüzeye uygun ürünler kullanılarak yalıtım yapılmalıdır [24].

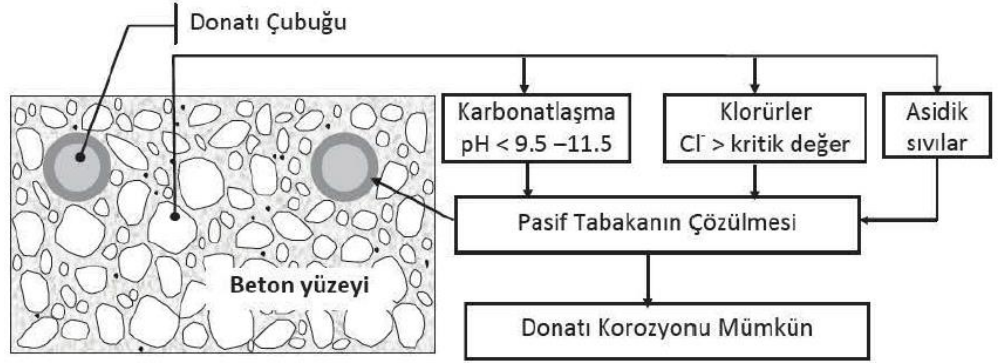
2.2.2.3. Klor etkisi

Suyun içerisinde bulunan klor iyonu, donatıların elektrokimyasal olarak korozyona uğramasına neden olur. Donatı, beton içerisinde donatı yüzeyini pasivize eden oksit tabaka ile kaplıdır. Betonun imalatı için kullanılan malzemeler nedeniyle beton yapısında bir miktar klor bulunur ancak klor serbest halde olmadığı takdirde zarar vermez. Ancak dış etkiler nedeniyle betona etkiyen klor, pasivize oksit tabakasında birikerek, zaman içerisinde bu tabaka ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sırasında oluşan hacim artışı nedeniyle, donatının betondan ayrılması ve betonda çatlama şeklinde hasar meydana gelir [16]. Beton içerisine gömülü donatıların korozyona uğramasında, betonun suya doymuş halde olması ve O_2 gazına geçirimsizliği önemli bir etkidir. Ayrıca pas payının yetersizliği ve betonun kalitesinin düşük olması korozyon ihtimalini artırmaktadır [12].

2.2.2.4. Karbonatlaşma

Karbonatlaşma, betonarme yapı elemanlarının hava ve neme maruz kalması sonucunda meydana gelir. Kılcallık ve difüzyon yoluyla beton içerisine nüfuz eden karbondioksit (CO_2) moleküllerinin, hidrate olmuş çimentonun bünyesinde yer alan kireç ($CaOH_2$) ile tepkimeye girmesi ile kalsiyum hidroksil ($CaCO_3$) iyonları ve karbonik asit

meydana gelmesine “karbonatlaşma” denir [16]. Karbonatlaşma ve klorür iyonları nedeniyle betonun donatı korozyonu Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Karbonatlaşma ve klorür iyonları nedeniyle betonun donatıyı korozyondan koruma etkinliğinin kaybolması [3]

Beton, hidrasyon esnasında oluşan kireç $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve içeriğindeki alkalin iyonları sayesinde bazik (alkali) karaktere sahip olup, pH değeri genellikle 12’nin üzerindedir. Betonun yüksek alkalitesi donatı korozyonunu geciktiren bir etkidir [12]. Karbonatlaşma, betonun dışından içine doğru hızla artarak ilerler. Betonun pH değeri, karbondioksit etkisiyle düşerek, korozyon oluşumunu engelleyen alkali ortamın kaybolmasına neden olur. Pas payı bölgesinde etkiyen karbonatlaşma, donatı korozyonuna neden olur [16].

2.2.2.5. Korozyon

Donatıların çevresi ile girdiği elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelen aşınma ve bozulmaya “korozyon” adı verilir. Betonun içerisine nüfuz eden su ve çeşitli kimyasalların etkisiyle betonarme sistem zamanla yıpranır. Çeşitli dış etkenler nedeniyle betonun pH değerinin düşmesi korozyon oluşumunu etkiler (http-1). Korozyon nedeniyle donatı yüzeyinde, donatının ilk hacminin 2,5 katı kadar demir oksit (pas) oluşur [16]. Pas payının yetersiz olduğu durumlarda, oluşan demir oksit nedeniyle betonda çatlama ve parça şeklinde dökülmeler meydana gelir. Açığa çıkan donatılar nedeniyle korozyon gittikçe hızlanır (http-1).

Korozyon nedeniyle, donatılarda kesit kaybı ve kopma mukavemetinde azalma olur. Beton ve donatı arasındaki aderans düşer, pas payı tabakası zarar görür ve donatılar açığa çıkar. Betonarme yapıları mekanik, fiziksel veya kimyasal olarak etkileyen etkenler, doğrudan veya dolaylı olarak korozyonun başlaması üzerinde etkili olmaktadır

[21]. Korozyon, asit, sülfat, klor etkisi, karbonatlaşma ve alkali-silika tepkimeleri gibi etkilerin sonucudur [16].

Korozyonun, karbonatlaşma nedeniyle betonun pH değeri ve alkalinitesinin düşmesi ve difüzyon yolu ile giren klor iyonlarının donatı ile temas etmesi şeklinde iki ana nedeni vardır. Korozyona karşı alınacak en kritik önlem, betona klor iyonu ve su girişinin engellenmesi için su yalıtımı yapılmasıdır [16]. Korozyona karşı alınabilecek diğer önlemlerden bir diğeri ise beton içerisine ilave edilen korozyon inhibitörleri kullanmaktır. Hem sıvı hem gaz şeklinde beton içerisine sızan inhibitörler donatı üzerinde film tabakası oluşturarak korozyon oluşumunu engeller. Yeterli önlem alınmamış ve korozyon meydana gelmiş yapılar, uygun tamir harcı ile tamir edilmelidir (http-1). Korozyona uğramış beton örnekleri Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.11. (a) Korozyona uğramış köprü ayağı, (b) Korozyonun betonun dışına çıkmaya başlaması [25]



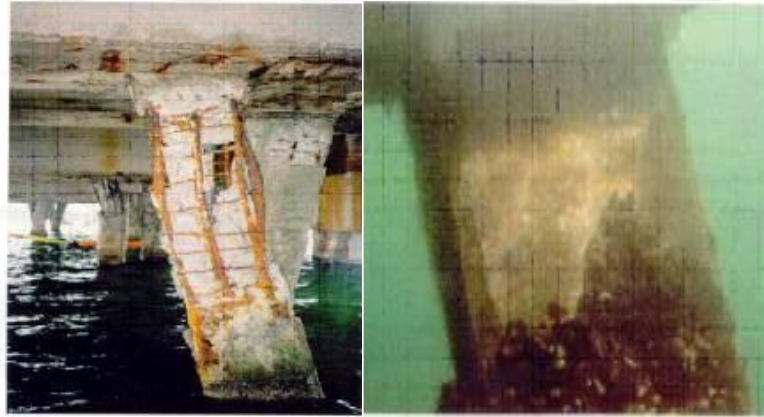
Şekil 2.12. Korozyon hasarı [3]

2.2.2.6. Deniz suyu etkisi

Deniz suyu, donatılarda korozyon oluşumunu hızlandıran iyonlar içermesi nedeniyle beton üzerinde oldukça etkilidir. Deniz suyuna direk maruz kalan yapıların

dışında, denize yakın yapılar da rüzgâr ve nem nedeniyle olumsuz etkilenir [6]. Deniz suyu etkisine karşı betonun geçirimsiz olması, betonun durabilitesi açısından alınabilecek başlıca önlemdir [26].

Deniz suyu içerisinde farklı tür ve miktarda tuzlar yer alır. Deniz suyu içerisinde bulunan sülfat tuzlarının sertleşmiş betona nüfuz etmesi sonucunda meydana gelen reaksiyonlar betonda yıpratıcı etki yaratır. Ancak bu etki, toprak ve yeraltı suyunda bulunan sülfatların oluşturduğu etki kadar şiddetli değildir. Deniz suyu etkisiyle oluşan sülfat etkisinin dışında, beton gözeneklerinde biriken tuz kristallerinin genişmesi nedeniyle de olumsuz etkiler meydana gelebilir. Gözeneklerde biriken tuzlar, deniz suyunun gel-git etkisine bağlı olarak ıslanma-kuruma çevriminin sonucunda oluşur. Islanma-kuruma çevrimine maruz kalan betonlar, sürekli deniz suyu içerisinde kalan betonlara göre daha fazla yıpranır. Deniz suyunun içerisinde bulunan klor, betonun bünyesindeki demir donatıların korozyonunu hızlandırarak betonun parçalanmasına neden olur. Deniz suyu etkisine karşı, betonun geçirimsiz olması ve 0,45'i geçmeyecek şekilde düşük su/çimento oranı ile imal edilmesi gereklidir [23]. Deniz suyu etkisine maruz kalan beton örnekleri Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Yarımca Pektim iskelesinde 1999 Marmara depremi sonrası deniz suyu ve deprem hasarı, aynı yerde deniz altında kalan betonarme elemanlar [23]

2.2.2.7. Alkali- silika reaksiyonu (ASR)

Alkali-silika tepkimeleri, karmaşık reaksiyonlardır. Alkali-karbonat, alkali-silikat ve alkali-silika tepkimesi olmak üzere üç farklı şekilde meydana gelir. En fazla görülen tepkime alkali-silika tepkimesidir. Alkali-silika reaksiyonunun meydana gelmesi için ortamda; aktif silis formu, yeterli miktarda alkali ve nem olmalıdır. Her agregada belli bir oranda silis ve kullanılan tüm çimentolarda alkali içerik bulunur. Agregada içinde yer alan aktif silis ile hidroksitlerin reaksiyona girmesi sonucunda jel şeklinde ürün meydana gelir.

Oluşan jel, çok fazla su emer ve gerilme oluşturur. Gerilme kuvvetinin, betonun çekme dayanımını aşması sonucunda betonda çatlama gözlenir. Alkali silika tepkimelerinin hızları yavaştır. Bu nedenle etkilerinin görülmesi birkaç yılı bulabilir. Alkali-silika reaksiyonu, beton yüzeyinde gözle görünür biçimde Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'teki gibi harita şeklindeki çatlaklardır. Alkali-silika reaksiyonu; betonda genleşme, çatlaklardan jel sızması ve kapak atma gibi olumsuz etkilere neden olur [16].



Şekil 2.14. ASR hasarına uğramış beton [23]



Şekil 2.15. ASR hasarına uğramış köprü ayağı [3]

2.3. Su Yalıtımı

Yapıları suyun olumsuz etkilerine karşı korumak için alınan önlemlerin tümüne “su yalıtımı” denir. Su yalıtım uygulamalarında dikkat edilmesi gereken başlıca unsurlar; doğru teşhis, doğru yüzey hazırlığı, doğru ürün seçimi ve uygulamasıdır [7]. Su ve nemin

yapıya zarar vermesini önlemek için kullanılan özel su geçirimsiz malzemelere “su yalıtım malzemeleri” denir. Su yalıtımı yapısal ve yüzeysel olmak üzere ikiye ayrılır [27].

2.3.1. Yapısal su yalıtımı

Yapısal su yalıtımı; betonun kalitesinin artırılması, uygulama kolaylığı sağlanması ve su geçirimsizlik gibi ilave özellikler eklenmesi amacıyla, sıvı veya toz haldeki yapı kimyasallarının betona eklenmesi ile yapılan uygulamalardır. Su/çimento oranının azalması ile beton içerisindeki gözenekleri azaltan, kılcal boşlukların tıkanmasını sağlayan beton katkıları da yapısal su yalıtımı için yapılan uygulamalardan biridir [7].

Yapı kimyasalları, betonun imalatı sırasında su geçirimsizlik, işlenebilirlik gibi istenilen özelliklerin eklenebilmesi için kullanılır. Toz veya sıvı (likit) halde bulunur [9]. Amaçları, betonun dayanımının artırılması ve servis ömrünün uzatılması dışında, hızlı ve kolay uygulama sağlamaktır. Betonun olumsuz etkilere karşı korunması için mineral ve kimyasal olmak üzere çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Mineral katkıları, beton içerisindeki kılcal boşlukların dolmasını sağlayarak, betonun geçirimsizliğini artırır. Kimyasal katkıları ise hem beton içerisine hem de beton yüzeyine uygulanabilmektedir.

Kimyasal katkıları;

- Su geçirimsizlik
- Akışkanlaştırıcı
- Süper akışkanlaştırıcı
- Su tutucu
- Priz hızlandırıcı
- Priz geciktirici
- Hava sürükleyici olmak üzere sınıflara ayrılmaktadır [20].

2.3.2. Yüzeysel su yalıtımı

Yüzeysel su yalıtımı, yapıları suyun zararlı etkilerinden korumak ve sızdırmazlık sağlamak için, su yalıtım malzemeleri kullanılarak pozitif veya negatif yönden yapılan uygulamalardır [7]. Yüzeysel su yalıtımı uygulamalarında kullanılan su yalıtım malzemeleri; sürme ve serme tip su yalıtım malzemeleri olmak üzere ikiye ayrılır. Sürme tip su yalıtım malzemeleri içeriklerine göre çimento, bitüm, PU ve akrilik esaslı şekilde gruplandırılmaktadır [5].

2.3.3. Temelerde su yalıtımı

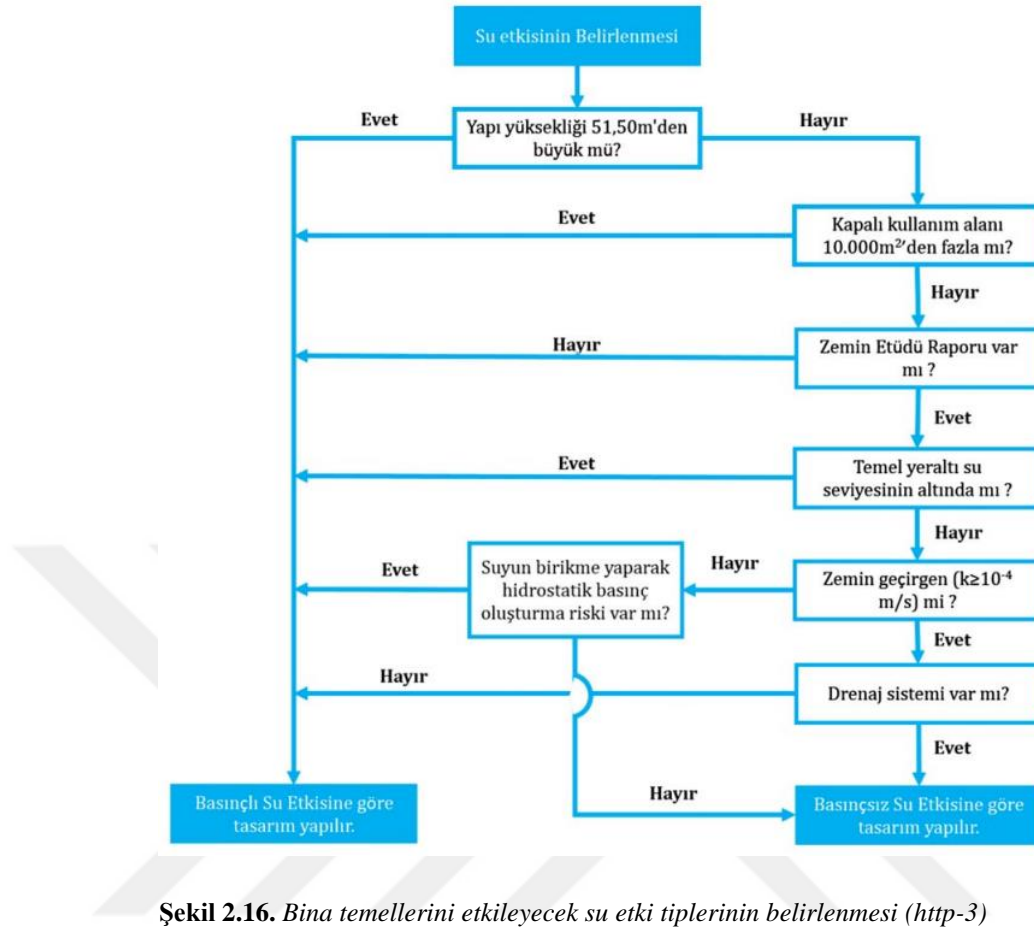
Temel, yapının yükünü taşıyan, yapı-zemin arasındaki ilişkiyi sağlayan en önemli yapı elemanıdır. Zemin tabakaları; katmanların kalınlığı ve yeraltı su seviyesi gibi etkenler nedeniyle yapılar üzerinde doğrudan etkili olmasının dışında, temel tipinin seçilmesi ve yapılacak uygulamalar üzerinde de etkilidir [28].

Temeller, hangi tipte olursa olsun, üzerindeki binayı ömrü boyunca taşıyacak sağlamlıkta olmalıdır. Temelin uzun ömürlü olması için yalnızca iyi tasarlanmış ve sağlam yapılmış olması yeterli değildir. Temelin mutlaka suyun zararlı ve korozif etkilerine karşı korunması ve su yalıtımı yapılması gerekir. Temelerde su yalıtımı, zemin nemine, basınçlı suya ve basınçsız suya karşı su yalıtımı olmak üzere üçe ayrılmaktadır (http-2). Temel ve bodrum perdelerinde su yalıtımı, yapıyı hem sudan hem de toprak bünyesinde bulunan ve yeraltı suyu ile yapıya etki eden kimyasallardan korumak amacıyla yapılır [29].

2.3.3.1. Temelerde su yalıtımı tasarımı

Binalarda su yalıtım yönetmeliğine [30] göre yapıları etkileyen su tipleri, basınçlı ve basınçsız su etkisi olmak üzere iki grupta belirtilmiştir. Su yalıtımının etkili ve doğru bir şekilde yapılması için, ilk olarak yapıya etki eden su etki tipinin belirlenmesi gereklidir. Su etki tipinin belirlenmesiyle birlikte yapılacak su yalıtımı için uygun malzeme seçimi, kullanım miktarı ve uygulama koşulları gibi tasarım parametreleri belirlenir.

Temeli etkileyen su etki tipi, zemin etüdü, saha koşulları ve bina hakkındaki detaylı bilgiler ile tespit edilmektedir. Su etki tipinin belirlenmesinde, zemin etüdü sonucunda belirlenen yeraltı su seviyesi ve zemin geçirgenliği en önemli kriterlerdendir. Su etki tipinin belirlenme aşaması Şekil 2.16'da verilmiştir (http-3).



Şekil 2.16. Bina temellerini etkileyecek su etki tiplerinin belirlenmesi (http-3)

Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği'nde Madde 9'da belirtilen tasarım kuralları şu şekildedir; [30]

(1) Toprakla temas eden yüzeylerin (temeller, perde duvarlar, döşemeler ve benzeri) su yalıtımı tasarımı; binanın kullanım amacı ve yapısal özellikleri, temel tipi ve derinliği ile birlikte zemin ve temel etüt raporunda belirtilen zemin özellikleri (geçirgenlik, yeraltı su seviyesi, zeminin/suyun kimyasal özellikleri ve benzeri) ve mevsimsel olarak en yüksek yeraltı su seviyesi dikkate alınarak yapılır.

(2) Yeraltı su seviyesinin üzerinde bulunan temel ve perdeler için su yalıtımı;

a) Geçirgenlik katsayısı ($k \geq 10^{-4}$ m/s) olan çok geçirgen zeminlerde uygun drenaj sisteminin yapılması şartıyla basınçsız su etkisine karşı,

b) Geçirgenlik katsayısı ($k < 10^{-4}$ m/s) olan az geçirgen zeminlerde suyun birikme yapmayarak hidrostatik basınç oluşturmaması şartıyla basınçsız su etkisine karşı,

c) Drenaj sisteminin bulunmadığı az geçirgen zeminlerde ($k < 10^{-4}$ m/s); suyun geçici süre ile birikme yaparak hidrostatik basınç oluşturma durumunda basınçlı su etkisine karşı, tasarlanır.

(3) Temel ve/veya perdeleri yeraltı su seviyesinin altında bulunan binalarda, zeminin geçirgenliğine bakılmaksızın dıştan etki eden basınçlı su etkisine karşı yalıtım önlemleri alınır.

(4) Yapı yüksekliği 51,50 metreyi aşan veya kapalı kullanma alanı 10.000 m²'den fazla olan bodrumlu binalarda, her koşulda basınçlı su etkisine karşı su yalıtımı yapılır.

(5) Bodrumlu veya bodrumsuz tüm binalarda, uygulanan yalıtım önlemleri en az su basman seviyesine kadar, yalıtım sürekliliği sağlanacak şekilde devam ettirilir.

(6) Bodrumsuz binaların zeminle temas eden döşemelerinde ve temellerinde gerekli drenaj ve su yalıtım önlemleri alınır.

Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği Madde 11(1)'de yalıtım yöntemleri ve malzeme seçimine göre toprakla temas eden temel, döşeme ve perde duvarlarda su yalıtımı;

a) Örtü veya sürme esaslı yalıtım malzemeleri ile yüzeysel yalıtım sistemi oluşturularak ve/veya

b) Yapısal yalıtım sağlanarak yapılabilir [30].

2.3.3.2. Zemin nemine karşı yalıtım

Zemin rutubeti (nemi), zeminde sürekli bulunan, kılcallık etkisiyle yapıya etki eden ve etki derecesi zemin cinsine göre değişkenlik gösteren sudur. Zemin nemi; zemin tanecikleri ile aderans oluşturan ve sızmayan su, zemin tanecikleri arasında asılı kalan su, zemin taneciklerini film şeklinde saran su ve yeraltı suyu veya birikme sularından kılcal olarak emilen sular şeklinde tanımlanır (http-2).

Zemin ile yapı arasında gerçekleşen nem transferi sonucu oluşan nemlenmeyi ve dolayısıyla olumsuz etkilerini önlemek için yapının konumu ve yeraltı suyu durumuna göre farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Bodrumlu yapılarda, yeraltı su seviyesi temel seviyesinin altında ise basınçsız zemin sularına karşı yalıtım (dampproofing) yeterli olmaktadır. Yeraltı su seviyesinin bodrum kat döşemesinin yakınında veya üzerinde olması durumunda ise şu üç alternatif çözüm önerisinden birisi seçilir:

(1) Bodrum kat üzerinde oluşacak hidrostatik basınç, çevresel ve alansal drenaj sistemi kurularak önlenir ve bodrum katında basınçsız zemin sularına karşı kullanılan yalıtım malzemeleri ve düzenleme esaslarına göre yalıtım yapılır.

(2) Bodrum kat üzerinde oluşacak hidrostatik basınç, çevresel ve alansal drenaj sistemi kurularak önlenir ve bodrum katında basınçlı zemin sularına karşı kullanılan yalıtım malzemeleri ve düzenleme esaslarına göre yalıtım yapılır.

- (3) Çevresel ve alansal drenaj sistemi kurulmaz, yeraltı sularının bodrum kat üzerinde hidrostatik basınç oluşturmaya izin verilir ve bodrum katında basınçlı zemin sularına karşı kullanılan yalıtım malzemeleri ve düzenleme esaslarına göre yalıtım yapılır [31].

2.3.3.3. Drenaj

Drenaj, toprak üstü suların ve yer altı sularının kontrol altına alınarak yapıya etki etmesinin engellenmesi ve yapı üzerinde su basıncı oluşmaması için yeraltı su seviyesinin düşürülmesi için yapılan sistemdir. Drenaj, yalnızca suyun yapı üzerindeki olumsuz etkilerinden korunmak için değil, aynı zamanda sel ve toprak kaymalarının önlenmesi için de yapılmaktadır. Yapının konumu, arazinin eğimli ve zeminin geçirimsiz olması drenaj için önemli etkenlerdir. Eğimli arazi ve geçirimsiz tabakaların etkisiyle, temel altındaki geçirimsiz tabakada biriken sular, yapı üzerinde hidrostatik basınç etkisi yaratır. Yapıların bu etkiye karşı korunması için mutlaka drenaj sistemi gereklidir [7].

Temellerde yapılacak su yalıtımının ana prensibi drenaj uygulamasıdır. Ancak drenaj tek başına su ve nem yalıtımı sağlamaz. Ana amacı yapının maruz kalacağı su basıncını düşürmektir. Drenaj sayesinde, temel ve bodrum perdelerinde yapılacak su yalıtımı uygulamaları için kuru bir yüzeyde çalışma yapılması sağlanır [29].

Geçici drenaj

Geçici drenaj, yapının temel altında kalan kısımlarının suyun olumsuz etkilerine maruz kalmaması için geçici olarak uygulanır. Drenaj ve yalıtım uygulamalarının yapılması ile suya karşı alınan tüm önlemlerin tamamlanması sonrasında uygun bir şekilde kapatılmalıdır [7].

Kalıcı drenaj

Yıllık yağış oranı yüksek, yapı temelinin yeraltı su seviyesi altında kaldığı ve yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde, suyun sürekli tahliye edilmesi gereklidir. Kalıcı drenaj sistemi ile su, toprak altı ve üstüne yerleştirilen yatay ve düşey borular ile sürekli olarak tahliye edilir [7].

2.3.3.4. Basınçsız suya karşı yalıtım

Toprak üstü yağış suları ve kullanım sularının zemin tabakası içerisinde sızması ile yapıya etki eden sızıntı sularıdır. Sızıntı suları, yapı üzerinde hidrostatik etki yaratmaz. Bu nedenle basınçlı su etkisine karşı kullanılacak su yalıtım önlemlerinin tümü basınçlı suya karşı etkilidir. Ancak bazı su yalıtım ürünleri ekonomik olmayacağından dolayı,

basıncısız su etkisine karşı kullanılan su yalıtım malzemeleri ile yalıtım yapılması yeterli olacaktır. Basıncısız su etkisine karşı, buhar kesiciler, bitüm ve çimento esaslı malzemeler kullanılmaktadır. Su yalıtım malzemeleri seçimi yapılırken, zemin etüdü ve iklim koşulları dikkate alınmalı ve suyun birikerek hidrostatik basınç oluşturma ihtimaline karşı malzeme seçilmelidir [20].

2.3.3.5. Basıncılı suya karşı yalıtım

Yapının temel ve bodrum kat elemanları, yeraltı su seviyesi hizasında veya altında ise yapının suyla temas eden elemanları hidrostatik basınç etkisindedir [20]. Basıncılı su ve kapilarite (kılcallık) etkisi, temel, bodrum duvar ve döşemeleri üzerinde etkilidir. Bu nedenle suyun yapıdan uzaklaştırılması ve uygun yalıtım malzemesi ile su yalıtımı yapılması gereklidir [28]. Hidrostatik basınç etkisine karşı, pozitif veya negatif yönden yapılacak yalıtım uygulamaları ile önlem alınmalıdır. Pozitif yönden yapılan yalıtım, yapının dış kısmına, negatif yönden yapılan yalıtım ise yapının iç yüzeyine uygulanan yalıtımdır. Pozitif yönden yapılacak uygulamalar, yeraltı suyuna ve suyun korozif etkilerine karşı daha etkilidir. Basıncılı suya karşı yapılacak su yalıtımında kullanılacak malzemeler hidrostatik basınç etkisine göre belirlenir. Sürme esaslı su yalıtım malzemeleri, serme (örtü) membranlar ve kil esaslı malzemeler kullanılır. Seçilecek su yalıtım malzemesinin hidrostatik basınç etkisine karşı dayanıklı olması gereklidir [20].

2.4. Su Yalıtım Malzemeleri

Yapıyı su ve nemin zararlı etkilerinden korumak için alınan önlemlere su yalıtımı denir. Su yalıtımı zemin üzerindeki yapı elemanlarının yağış ve atmosfer gazlarının etkisinden, zemin altında kalan yapı elemanlarının ise yeraltı suyu ve içerisindeki kimyasalların etkisinden korumak için yapılır. Etkili bir yalıtım yapılması için, yapının temelden çatıya kadar tamamının suya karşı korunması ve yalıtımın tüm yapı elemanlarını kapsaması gerekir [4].

Sağlıklı bir su yalıtımı için, yalıtımın proje aşamasında tasarlanması, yapının bulunduğu konum, zemin yapısı ve iklim koşullarına uygun malzeme seçimi, malzemelerin doğru uygulanması ve tüm imalatların hassas bir şekilde denetlenmesi gereklidir [9].

Yapıların suya karşı korunması için kullanılan özel su geçirimsiz malzemelere “su yalıtım malzemeleri” denir [27]. Su yalıtımı, yapısal ve yüzeysel su yalıtımı olarak ikiye ayrılır. Yapısal su yalıtımı, genellikle beton imalatı esnasında beton içerisine toz veya sıvı

haldeki yapı kimyasallarının eklenmesiyle, betona ilave özellikler eklenmesi ve betonun kalitesinin artırılması için yapılan çalışmalardır. Yüzeysel su yalıtımı ise, su yalıtım malzemeleri kullanılarak yapı elemanları üzerinde su geçirimsiz bir katman elde etmek için yapılan çalışmalardır [4].

Yüzeysel su yalıtımında kullanılan su yalıtım malzemeleri, kullanım alanı ve ürün özelliklerine göre sürme ve serme tip malzemeler olmak üzere ikiye ayrılır.

Sürme tip su yalıtım malzemeleri;

- Çimento Esaslı Malzemeler
- Bitüm Esaslı Malzemeler
- Reaksiyon Esaslı Malzemeler
- Akrilik Esaslı Malzemeler

Serme tip su yalıtım malzemeleri;

- Bitümlü Örtüler: Okside Bitümlü Örtüler, Polimer Bitümlü Örtüler (APP veya SBS katkı)
- Sentetik Örtüler
- Bentonit Esaslı Su Yalıtım Örtüleri

Su yalıtım malzemeleri; yapının bulunduğu bölge ve iklim koşullarına, kullanım amacına, ortamdaki su basıncına ve zemin etüdüne göre belirlenmelidir [4].

2.4.1. Sürme tip su yalıtım malzemeleri

Sürme yalıtım malzemeleri, uygulama kolaylığı sağlaması, girintili ve çıkıntılı zor yüzeylerde uygulanabilmesi ve bütünlük sağlaması nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Uygulama yapılacak yüzeyin ihtiyacına göre belirlenmeli ve gelişigüzel kullanılmamalıdır [20].

Sürme su yalıtım malzemeleri, uygulama yapılacak yüzeyde eksiz ve geçirimsiz bir yalıtım sağlayacak şekilde, kullanılacak malzemenin uygulama talimatlarına göre, genelde iki ya da üç kat olacak şekilde uygulanır. Sürme tip su yalıtım malzemeleri uygulanmadan önce tüm su yalıtımı uygulamalarında olduğu gibi mutlaka yüzey hazırlığı yapılmalıdır. Yüzey hazırlığında; tij deliklerinin kapatılması, kenar-köşelere pah yapılması, yüzey çatlaklarının onarılması, yüzeyde yapışmayı engelleyecek zayıf tabakaların kazınması, tutunmayı artırmak için yüzeyin pürüzlendirilmesi ve temizlenmesi gereklidir. Sürme su yalıtım malzemelerinin uygulanmasında ise, yüzey ve ortam sıcaklığına, gerekli ise astar uygulamasına, su yalıtım malzemesinin homojen bir

şekilde tüm yüzeylerde benzer kalınlıkta uygulanmasına, malzemenin kürlenme aşamasında yağmur, su ve güneş ışığı gibi etkilere korunmasına dikkat edilmelidir [7].

Sürme tip su yalıtım malzemeleri, mala, rulo veya fırça ile sürülerek ya da püskürtülerek uygulanır. Sıvı ve toz halde bulunabilirler. Sürme tip su yalıtım malzemeleri, içeriklerine göre çimento, bitüm, PU ve akrilik esaslı olmak üzere gruplara ayrılmaktadır [5].

2.4.1.1. Çimento esaslı malzemeler

Çimento esaslı su yalıtım malzemeleri, elastik, elastik olmayan ve özel ürünler olmak üzere gruplandırılır. Elastik malzemeler ise, tam elastik, elastik ve yarı elastik olmak üzere üçe ayrılır. Genellikle, ıslak hacimlerde, havuz ve teras gibi alanlarda tercih edilir. Ahşap ve çelik gibi esnek yüzeylerde kullanımı uygun değildir. Şekil 2.17'de çimento esaslı su yalıtımı uygulaması verilmiştir.



Şekil 2.17. Çimento esaslı su yalıtımı uygulaması ([http-4](http://4))

Özel ürünler olarak tanımlanan tıkaç malzemeleri, hızlı priz alarak basınçlı suya ve sızıntı sularına karşı etkili olurlar. Bu malzemeler, temel, bodrum perdeleri, havuz, depo ve asansör kuyularında kullanıma uygundur. Elastik olmayan malzeme sınıfında yer alan kristalize malzemeler, beton bünyesindeki kimyasallar ile tepkimeye girerek kristal yapılar meydana getirir. Bu kristaller, beton içerisindeki kapiler boşlukların tıkanmasına neden olur ve böylece su geçirimsiz bir tabaka oluşmasını sağlar. Kristalize malzemeler, negatif veya pozitif yönden uygulanabilir. Kristalize olmayan çimento esaslı su yalıtım malzemeleri ise, brüt beton ve şap benzeri yüzeylerde pozitif yönden uygulanır [21].

2.4.1.2. Bitüm esaslı malzemeler

Bitüm, sıvı, yarı sıvı veya katı halde bulunabilen yüksek moleküllü siyah renkli bir malzemedir. Bitüm malzemeler, sıvı haldeyken yüzeye iyi yapışması nedeniyle tercih edilir [12]. Bitüm esaslı su yalıtım malzemeleri tek veya çift bileşenli olarak bulunabilir.

Genellikle toprak ile temas eden, temel ve bodrum kat yapı elemanlarının yalıtımında kullanılır. Aynı zamanda bitümlü örtü uygulamalarından önce astar olarak da kullanılabilir. Uygulanacak yüzeye mala veya fırça ile sürülerek uygulanabileceği gibi püskürtülerek de uygulanabilir. Pozitif yönden uygulanırlar [17]. Bitüm esaslı su yalıtım malzemeleri kullanılarak, temel perdesinde yapılan yalıtım uygulaması Şekil 2.18’de verilmiştir (http-5).



Şekil 2.18. Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi ile dıştan temel perdesi yalıtımı (http-5)

Bitüm esaslı su yalıtım malzemeleri, temel ve bodrum perdelerinin suya karşı korunmasında, banyo, çatı ve teras gibi yüzeylerin yalıtımında kullanılır [20].

2.4.1.3. Reaksiyon esaslı malzemeler

Reaksiyon esaslı malzemeler, polimer esaslı, akışkan özelliğe sahip ve eksiz bir yalıtım sağlayan malzemelerdir. Genellikle fiziksel ve kimyasal olarak yüksek dayanıma sahip malzemelerdir [20]. Reaksiyon esaslı malzemeler, poliüretan esaslı, poliürea esaslı ve hibrit malzemeler olmak üzere gruplara ayrılır.

Poliüretan (PU) esaslı malzemeler

PU esaslı malzemeler, yüksek elastikiyete sahip, tek ya da çift bileşenli, likit su yalıtım malzemeleridir. Yüksek elastikiyet özellikleri sayesinde çatlak yüzeylerde, sıcaklık farkı olan ve hareketli yüzeylerde yapılacak su yalıtımı için uygundur. Uygulama şekilleri fırça, rulo ile sürme veya püskürtme şeklindedir.

PU esaslı malzeme uygulamasından önce yüzey temizlenerek, PU esaslı veya epoksi esaslı astar uygulaması yapılmalıdır. PU esaslı yalıtım malzemesi üreticilerin belirlediği şekilde ve kalınlıkta uygulanmalıdır. Uygulama sonrasında yüzey, yağmur, su ve güneş ışığı gibi etkilerden korunmalıdır.

PU esaslı malzemelerin kullanım alanları, temel, perde, teras, çatı gibi alanlardır [20]. PU malzemelerin uygulama örnekleri Şekil 2.19’da verilmiştir (http-6).



Şekil 2.19. PU esaslı malzeme uygulaması (http-6)

Poliürea esaslı malzemeler

Poliürea esaslı malzemeler, yüksek elastikiyete ve yüksek çekme dayanımına sahip, aside karşı dayanıklı, düşük sıcaklıklarda bile etkili olan ve hızlı priz alan çift bileşenli malzemelerdir. Bu özellikleri sayesinde çatlaklara karşı dayanıklıdır. Çabuk priz alması sayesinde üzerine yapılacak uygulamalara olanak verir ve zamandan tasarruf sağlar.

Poliürea esaslı su yalıtım malzemeleri, ultraviyole dayanımlı alifatik ve aromatik, sıcak halinde makine soğuk halinde ise rulo yardımıyla uygulanabilen poliaspartik, saf poliürea ve hibrit poliürea şeklinde çeşitlere ayrılır.

Poliürea uygulanacak yüzeyler temizlenmeli ve yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Uygulama yüzeyinin nem oranının en fazla %5 olmasına dikkat edilmelidir. Uygulama yüzeyi üzerinde bulunan zayıf parçalar temizlenmeli, yüzey aşındırılarak gözenekli hale getirilmeli ve epoksi esaslı astar uygulanmalıdır. Poliürea esaslı malzemelerin uygulaması, üretici tarafından belirlenen şekilde yapılmalıdır. Poliürea esaslı su yalıtım malzemelerin kullanım alanları, betonarme yapılar, çatı ve teraslar ve metal kaplamalardır [20]. Poliürea esaslı malzeme uygulaması Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20. Poliürea esaslı malzeme uygulaması (http-7)

Hibrit malzemeler

Hibrit malzemeler, iki farklı türdeki malzemenin bir araya gelmesiyle meydana gelir. Poliüretan-polieter, poliüretan-poliürea, poliüretan-silon, polieter-silon ve akrilik-poliüretan gibi bileşenlerden oluşur. Hibrit malzemelerin temel amacı, farklı tür ve özellikteki malzemelerin avantajlarının tek bir üründe toplanmasıdır. Bu sayede daha etkili su yalıtım malzemeleri meydana gelir. Hibrit su yalıtım malzemeleri, güneş ışınlarına ve düşük sıcaklıklara dayanıklı, çatlak köprüleme özelliğine sahip, ağır metaller içermeyen, hızlı uygulanabilen ve yüksek performanslı sahip malzemelerdir. Bu malzemelerin uygulamasında üreticilerin belirlediği uygulama koşullarına göre uygulama yapılmalıdır. Ancak yüzeyin ıslak olmamasına dikkat edilmelidir. Hibrit esaslı su yalıtım malzemeleri, ıslak hacimlerde, çatı, teras ve balkonlarda, asfalt esaslı zeminlerde, çelik, beton, alüminyum, ahşap ve cam yüzeylerde su yalıtım malzemesi olarak kullanıma uygundur [20].

2.4.1.4. Akrilik esaslı malzemeler

Akrilik esaslı malzemeler, akrilik esaslı emülsiyonlardır. Akrilik kopolimer, stiren ve saf akrilik, akrilik esaslı yalıtım malzemesinin türevidir. Akrilik yalıtım malzemeleri, elastomerik esaslı olarak geliştirildiklerinden dolayı farklı alanlarda uygulanabilirler. Düşük veya yüksek hava sıcaklığında kullanıma uygun olup, farklı iklim koşullarına karşı dayanıklı malzemelerdir. Ürünlerin beyaz renge sahip olması, güneş ışınlarına karşı dayanıklılık sağlar. Akrilik esaslı su yalıtım malzemeleri, küf, yosun, mantar oluşumlarına ve sararmaya karşı dayanıklıdır. Aynı zamanda çatlaklara karşı dayanıklı malzemelerdir. Uygulama alanları genellikle çatı, balkon ve teraslardır. Akrilik esaslı su yalıtım malzemeleri uygulamasından önce yüzey temizlenmeli ve gerekli yüzey hazırlığı yapılmalıdır. Yüzeyin ıslak ve çok nemli olmamasına dikkat edilmelidir. Su yalıtım malzemesi fırça, rulo veya sprey makinesi yardımıyla üretici firmanın belirttiği yöntemlere uygun şekilde uygulanır. Akrilik esaslı su yalıtım malzemeleri, uygulandıktan sonra kürlenme aşamasında nem ve buhardan korunmalıdır. Aksi halde malzeme, uygulama öncesindeki sıvı kıvamına geri dönebilir [20].

2.4.2. Serme tip su yalıtım malzemeleri

Serme tip su yalıtım malzemeleri bitüm esaslı, sentetik esaslı ve betonit esaslı olmak üzere üç şekilde bulunur. Bu malzemeler uygulama öncesinde astar sürülen yüzey

üzerine serilir ve genellikle şalümo aleviyle yapıştırılarak uygulanırlar. Yatay ve düşey yüzeylerde kullanıma uygundur [5].

2.4.2.1. Bitüm esaslı su yalıtım örtüleri

Bitüm esaslı su yalıtım örtüleri, bir taşıyıcı katmanın alt ve üst kısımlarının homojen bir şekilde bitümle kaplanması sonucunda meydana gelir [17]. Taşıyıcılar, organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılır. Keçe, karton ve jüt gibi taşıyıcı olarak kullanılan organik malzemeler, mikroorganizmalara karşı dayanıklı olmamaları nedeniyle tercih edilmemektedir. İnorganik taşıyıcılar ise, cam tülü, polyester keçe, polyester lif ve polietilendir. Günümüzde en sık tercih edilenler cam tülü ve polyester keçedir. Taşıyıcılar, bitümlü örtülerin, yapıda meydana gelebilecek hareketlere, çekmeye, delinmeye ve çatlaklara karşı dayanıklı olmasını sağlar. Bitümlü su yalıtım örtülerinin dayanımını belirleyen en önemli etken taşıyıcılardır. Polyester keçe taşıyıcıları, cam tülü ve cam dokumaya göre kopma, delinme ve yorulma dayanımı açısından daha iyi performansa sahiptir [20].

Taşıyıcıların kullanım amacı, yarı katı ve sıvı halde bulunan bitümün homojen bir şekilde belli kalınlıkta uygulanmasının sağlanması ve su yalıtım örtüsüne yüksek çekme dayanımı, elastikiyet gibi çeşitli fiziksel özelliklerin eklenmesidir. Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri, polimer bitüm ile kaplanan taşıyıcının, fabrika ortamında 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklarda üretilmesiyle elde edilir. Rulo halinde üretilen malzemeler, yapıların temel ve çatılarında kullanılır ve Şekil 2.21'deki [20] gibi şalümo alevi yardımıyla birbirine yapıştırılarak uygulanır [17].



Şekil 2.21. Polimer bitümlü örtü uygulaması [20]

2.4.2.2. Sentetik esaslı su yalıtım örtüleri

Sentetik esaslı su yalıtım örtüleri, kolay uygulanabilmesi, uzun ömürlü su geçirimsizlik sağlaması ve diğer mekanik özellikleri nedeniyle sıklıkla kullanılan malzemelerdir. Güneş ışığına ve farklı sıcaklıklara karşı dayanıklıdırlar. Üretimlerine

bağlı olarak değişkenlik gösterebilen sentetik esaslı su yalıtım örtülerinin bazı çeşitleri şu şekildedir;

- PE (polietilen)
- PVC (polivinilklorür)
- PIB (poliizobitülen)
- CPE (klorinopolietilen)
- EPDM (etilen propilen dienmonomer)
- ECB (etilen kopolimerbutil)
- CSPE (klorosülfone polietilen)

PE, darbe, güneş ışığı, mikroorganizma ve kimyasallara karşı dayanıklı olmakla birlikte benzin ve mazot gibi ürünlere karşı dayanıksızdır. Genleşme nedeniyle ahşap, çelik ve beton yüzeylerde kullanımı uygun değildir.

Polivinilklorür (PVC), güneş ışığı ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı olmalarının yanı sıra yüksek sıcaklıklara karşı dayanıksızdır. Kolay uygulanırlar.

Poliizobitülen (PIB), kimyasallara ve organik çözücülere karşı PE kadar dayanıklı değildir. Maksimum 180 °C sıcaklığa ve güneş ışığına karşı dayanıklıdır.

PIB, PVC, EPDM, CPE ve ECB örtüleri, kanalet ve tünel çatı gibi yerlerde kullanılmaktadır. Uygulama yüzeyi tesviye edilerek, örtülerin alt ve üst yüzeylerine koruyucu keçe ya da polyester kullanılmalıdır. Sentetik esaslı su yalıtım örtüleri genelde sıcak hava yardımıyla birleştirilir. Ancak ECB örtülerinin bindirmesinde sıcak asfalt kullanılırken, EPDM örtülerinde ise solvent bazlı yapıştırıcı, kendiliğinden yapışan bant ve sıcak asfalt kullanılmaktadır.

EPDM ve ECB gibi bazı örtüler yüzeye yapıştırılrsa da sentetik örtüler genel olarak yüzeye yapıştırılmadan tek kat şeklinde uygulanırlar. Örtülerin yüzeye sabitlenmesi için, örtü üzerine koruyucu jeotekstil kullanılarak, çakıl serilmektedir. Sentetik su yalıtım örtü uygulaması Şekil 2.22’de verilmiştir [20].



Şekil 2.22. Sentetik su yalıtım örtü uygulaması [20]

2.4.2.3. Bentonit esaslı su yalıtım örtüleri

Bentonit esaslı su yalıtım örtüleri, su ile temas ettiği anda şişerek, kendi hacminin 15 katı ve kendi ağırlığının ise 6-7 katına çıkabilecek kadar su emme kapasitesine sahip olan malzemelerdir. Bu özelliği sayesinde su yalıtımı uygulamalarında kullanılmaktadır. Delinmeye karşı oldukça dayanıklıdır. Bentonit şilte uygulaması Şekil 2.23'te gösterilmiştir [20].



Şekil 2.23. Bentonit şilte [20]

Bentonit kili, geosentetik standartlara göre üretilerek toz haline getirilir. Bentonit şilte, örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki propilen dokuma arasında üretilir ve jeokompozit ismini alır. Geosentetik kil şilte, bentonit katmanının geosentetik katmanlar arasına yerleştirilmesiyle elde edilir. Bentonit şiltenin çalışma prensibi, ara katmanda yer alan bentonit kilinin su ile teması sonucunda genişlemeye başlaması ile şilte üzerinde oluşturacağı basınç sayesinde su sızdırmazlığının sağlanmasıdır. Elastik yapıya sahip bentonit şilte, düşük sıcaklıklara, kimyasal maddelere ve hidrostatik basınca karşı dayanıklıdır. Ancak bentonitin şişmesiyle birlikte sızdırmazlık oluşturacağı ana kadar yalıtımın oluşmaması, bu malzemeye karşı yeterli güvenin oluşmamasına neden olmuştur. Temeller, metro tünelleri, depolar, hidroelektrik santralleri ve kanal gibi alanlarda kullanılabilir [20].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Beton malzemeleri

3.1.1.1. Çimento

Deneysel çalışmada CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.1'de, kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Değerler
Özgül ağırlık	3.11 gr/cm ³
Özgül yüzey (Blaine)	3600-3900 cm ² /gr
Priz başlangıcı	150-180 dk
Priz sonu	190-220 dk
Su	%23-27
Hacim sabitliği	1,0 mm
0,045 mm elekte kalıntı	%4-6
2 günlük basınç dayanımı	27-29 Mpa
28 günlük basınç dayanımı	51-53 Mpa

Tablo 3.2. Çimentonun kimyasal özellikleri

Özellikler	Değerler
Çözünmeyen kalıntı	0.3-0.6
SiO ₂	19-20
Al ₂ O	4-5
Fe ₂ O	3-3.5
CaO	62-64
MgO	1-2
SO ₃	3.20-3.80
Kızdırma kaybı	3-4.5
Na ₂ O	0.2-0.4
K ₂ O	0.5-0.7
Klorür (Cl)	0.02-0.05

3.1.1.2. Agregalar

Çalışmada kalker esaslı kırmataş agregalar kullanılmıştır. Bunlar, kırma kum (ince agrega, 0-4 mm), kırmataş-1 (iri agrega, 4-16 mm) kırmataş-2 (iri agrega, 16-31,5 mm) olmak üzere üç farklı tane boyutu aralığında işlenmiş doğal agregalardır. Kullanılan agregaların bazı fiziksel özellikler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Türü	Yoğunluk (gr/cm ³)	Su Emme Oranı (%)
Kırma kum (0-4 mm)	2,78	0,33
Kırma taş-1 (4-16 mm)	2,80	0,61
Kırmataş-2 (16-31,5 mm)	2,81	0,53

3.1.1.3. Su

Beton karışımında şebeke suyu, kimyasal çözeltilerin hazırlanmasında ise distile su kullanılmıştır.

3.1.2. Su yalıtım malzemeleri

Bu çalışmada temel/temel perde su yalıtımında kullanıma uygun, içeriği ve özellikleri farklı, bitüm esaslı sürme ve PU esaslı sürme su yalıtım malzemeleri olmak üzere, iki tür su yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Su yalıtım malzemelerinin beton numunelere uygulanmasında yüzey hazırlığı amacıyla epoksi ve bitüm esaslı astar malzemeleri kullanılmıştır.

3.1.2.1. Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi

Bitüm esaslı su yalıtım malzemesinin karakteristik özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesinin karakteristik özellikleri

Malzeme içeriği	Özellikler
Bileşen sayısı	Çift
Karışım özellikleri	A ve B bileşenleri 3:1 oranında
Bileşen özellikleri	A= Bitüm B= Çimento esaslı toz
Renk	Siyah

3.1.2.2. Poliüretan (PU) esaslı sürme su yalıtım malzemesi

PU esaslı su yalıtım malzemesinin karakteristik özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. PU esaslı su yalıtım malzemesinin karakteristik özellikleri

Malzeme içeriği	Özellikler
Bileşen sayısı	Çift
Karışım özellikleri	A ve B bileşenleri 1:1 oranında
Bileşen özellikleri	A= Solventli bitüm solüsyonu B= Aromatik PU reçine
Renk	Siyah

3.1.2.3. Yüzey hazırlayıcı astar malzemeleri

Sürme su yalıtım malzemelerinin betona uygulamasından önce yüzey hazırlayıcı astar uygulaması yapılmıştır. Astarların her biri ürünlerin kimyasal yapısına uygun olarak üretici firmaların teknik bilgi föyünde belirtilen uygulama yöntemlerine göre

belirlenmiştir. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesinin beton yüzeye uygulanmasında bitüm esaslı astar malzemesi, PU esaslı su yalıtım malzemesinin uygulanmasında ise epoksi reçine esaslı astar malzemesi uygulanmıştır. Kullanılan astar malzemelerinin özellikleri Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. *Yüzey hazırlayıcı astar malzemelerinin özellikleri*

Malzeme içeriği	Bitüm esaslı astar	Epoksi esaslı astar
Bileşen sayısı	Tek	Çift
Uygulama alanı	Karışıma hazır	A ve B bileşenleri 3:1 oranında
Karışım özellikleri	Bitüm emülsiyon	A= Epoksi reçine
Bileşen özellikleri	B= Sertleştirici	
Renk	Siyah	Şeffaf

3.1.2.4. Su yalıtımı donatı filesi

Su yalıtımı donatı filesi, bitüm esaslı su yalıtım malzemesinde çekme gerilmeleri dolayısıyla oluşabilecek çatlamları minimize etmek amacıyla ürünün kullanım detaylarında belirtilen şekilde kullanılmıştır. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesinin uygulanmasında kullanılan cam elyaf donatı filesi Şekil 3.1’de ve karakteristik özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.1. *Su yalıtımı donatı filesi*

Donatı filesinin özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. *Donatı filesinin karakteristik özellikleri*

Özellikler	Birim Tanımları	Çözüğü	Atkı
Tipi			Leno
Dokuma		33x2	132
Birim ağırlık	g/m ²	75 ± 5	
Yoğunluk	Uç sayısı/2,54 cm	8,60±0,8	7,0 ± 0,8
Göz aralığı	mm	4	4
Reçine içeriği	%	16,20%	
Su içeriği	%	<% 1	
Çekme mukavemeti	N / 50 m	≥600	≥ 800

3.1.3. Kimyasal malzemeler

Çalışma kapsamında iki farklı tür su yalıtım malzemesinin ve su yalıtımlı beton numunelerin özelliklerine etkisini araştırmak için susuz $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 kimyasal tuzları kullanılmıştır. Kimyasalların özellikleri Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.8. *Susuz $MgSO_4$ kimyasalının özellikleri*

Spesifikasyon	Yaklaşık değerler
Safılık	$\geq 98,0\%$
Nem	2,0 - 2,5 %
Sudaki çözünürlük (20 °C)	$\geq 96,8\%$
Çözünmeyen madde	$\leq 0,003\%$
Suda çözünür magnezyum oksit	9,5-16,0%
Klorür (Cl)	$\leq 0,03\%$
Demir (Fe)	$\leq 0,0005\%$
Kurşun (Pb)	$\leq 0,0005\%$
Mangan (Mn)	$\leq 0,001\%$
pH (5%, H_2O , 25 °C)	5,0-9,0
Görünüm	Beyaz renksiz kristal

Tablo 3.9. *Na_2SO_4 kimyasalının özellikleri*

Spesifikasyon	Yaklaşık değerler
Safılık	$\geq 99,0\%$
Sodyum klorür (NaCl)	$\leq 0,3\%$
Demir (Fe)	$\leq 0,001\%$
Magnezyum (Mg)	$\leq 0,05\%$
Kalsiyum (Ca)	$\leq 0,2\%$
Nem	$\leq 0,3\%$
Suda çözünmeyen	$\leq 0,2\%$
pH (1%, H_2O , 20°C)	6,0-8,0

3.2. Su Yalıtım Numunelerinin Üretimi

Çalışma kapsamında bitüm ve poliüretan esaslı su yalıtım malzemeleri 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklarda hazırlanmıştır.

Bitüm ve PU esaslı su yalıtım ürünleri, her bir ürün için A bileşeni içerisine B bileşeni yavaşça eklenip düşük devirli bir mikser yardımıyla topaksız ve homojen bir kıvamı ulaşıncaya kadar karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan su yalıtım karışımları,

Tablo 3.10’da verilen kullanım miktarlarına göre 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklarda 30x60 cm levha şeklindeki kalıplar içerisine dökülmüştür. Yalıtım malzemelerinin üretimi, üretici firmalar tarafından teknik bilgi föylerinde tanımlanan uygulama yöntemlerine göre yapılmıştır.

Tablo 3.10. Bitüm ve PU esaslı sürme su yalıtım malzemeleri tüketim bilgileri

Malzeme tüketim bilgileri	Numune kalınlığı (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 su yalıtım malzemesinde, katlar arasında su yalıtımı donatı filesi uygulanmıştır. PU esaslı su yalıtım malzemesi üretiminde, üretici firmanın uygulama yöntemlerinde donatı filesi önerilmediği için kullanılmamıştır. Ürünlerin teknik bilgi föyünde belirtilen kuruma sürelerine uygun olarak, bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra 28 gün, PU esaslı su yalıtım malzemesi ise 7 gün boyunca laboratuvar ortamında ($23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem) 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 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Bitüm ve PU esaslı su yalıtım malzemeleri

Kürünü alan yalıtım malzemeleri TS EN 12311-2 [32] standardında tanımlanan ölçülerde kesilerek papyon şeklinde su yalıtım numuneleri elde edilmiştir. Papyon numune elde edilmesinde kullanılan cihaz ve elde edilen numune Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3. a) Kesim cihazı b) Papyon yalıtım numunesi

TS EN 12311-2 [32] standardına göre tanımlanan ve elde edilen papyon numune boyutları Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11. Papyon numune boyutları [32]

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

3.3. Agrega Deneyleeri

3.3.1. Agrega elek analizi deneyi

Beton üretiminde kullanılacak her bir farklı tane boyutu aralığındaki kırmataş agregalarda elek analizi deneyi TS EN 933-2’ye [33] göre yapılmıştır. Elek analizi deneyinden önce, agregalar 24 saat boyunca 105°C’de bekletilerek etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüv kurusu agregalar, küçük elek boyutundan büyük boyuta doğru dizilerek yerleştirilen elek takımının üstünden boşaltılmıştır. Agregaların boşaltılmasından sonra elek takımı ileri-geri ve dairesel hareketlerle sallanarak eleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında elekte kalan malzemelerin miktarı tartılmıştır. Agrega elek analizi deneyi Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Agregada elek analizi

Her bir elekten kalan malzeme miktarına göre elekten geçen kümülatif agregada oranları hesaplanmıştır. Agregada elek analizi sonuçları Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Agregada elek analizi sonuçları

Elek Boyutu (mm)	Elekten Geçen Kümülatif Miktar (%)		
	Kırma kum (0-4 mm)	Kırma taş-1 (4-16 mm)	Kırmetaş-2 (16-31,5 mm)
31.5	100	100	100
16	100	100	15.38
8	99.95	39.78	0.20
4	97.10	1.36	0.17
2	72.01	1.01	0.17
1	48.38	0.92	0.17
0.5	36.63	0.89	0.17
0.25	26.54	0.85	0.16
0	0	0	0

3.3.2. Agregada tane yoğunluğu deneyi

Her bir farklı tane boyutu aralığındaki ince ve iri kırmetaş agregalarda TS EN 1097-6’ya[34] göre tane yoğunluğu ve su emme deneyi yapılmıştır. Deney öncesinde ince ve iri agregalar 24 saat su içerisinde bekletilerek suya doymuş duruma getirilmiştir. Suyu doymuş durumdaki ince ve iri agregalar, kurutma makinesi ve kuru bez yardımıyla yüzeyleri kurutularak DKY durumuna getirilmiştir. DKY durumundaki ince agregada miktarının yarısı su emme deneyi diğer yarısı tane yoğunluğu deneyinde kullanılmıştır.

Agregada su emme deneyi için DKY durumundaki ince ve iri agregada miktarları tartılarak DKY ağırlıkları belirlenmiştir. Aynı numuneler 24 saat 105°C’de etüvide

bekletilerek etüv kurusu ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre ince ve iri agrega su emme oranı Denklem 3.1'e göre belirlenmiştir.

$$m_i = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \times 100 \quad (3.1)$$

M_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı, gr

M_2 : Numunenin DKY durumunda havadaki ağırlığı, gr

İnce agrega tane yoğunluğu deneyinde piknometre yöntemi kullanılmıştır. Önce kullanılan 1000 ml hacimli piknometrenin boş ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra DKY durumundaki ince agrega piknometre içerisine doldurularak, piknometre ve DKY numune ağırlığı belirlenmiştir. Agrega yüzeyinin üstüne çıkacak şekilde piknometre içerisine distile su eklenmiştir. Agrega yüzeyinde bulunan havanın dışarı atılması için vakum pompası yardımıyla Şekil 3.5'teki gibi vakum işlemi uygulanmıştır. İşlem tamamlandıktan sonra 1000 ml çizgisine kadar su ilave edilerek piknometre, su ve numunenin toplam ağırlığı tartılmıştır. Son olarak kullanılan piknometrenin 1000 ml çizgisine kadar iki aşamada her aşamada vakum işlemi uygulanarak distile su dolu piknometre ağırlığı belirlenmiştir.



Şekil 3.5. İnce agrega tane yoğunluğu deneyi

Elde edilen verilere göre ince agrega tane yoğunluğu değeri Denklem 3.2'ye göre belirlenmiştir.

$$\delta_{dky} = \frac{M_2}{(M_2 + M_4 - M_3)} \quad (3.2)$$

M_2 : Numunenin DKY ağırlığı, gr, ($W_2 - W_1$)

M_3 : Piknometre + su + numune ağırlığı, gr

M_4 : Piknometre + su ağırlığı, gr

İri agrega tane yoğunluğu deneyinde Arşimet yöntemi kullanılmıştır. DKY durumundaki iri agregaların önce Arşimet düzeneğinde havadaki ağırlıkları tartılmıştır.

Ardından aynı malzeme Arşimet düzeneğine bağlı olan ve içi su dolu tel sepet içerisine boşaltılmıştır. Agregaya yüzeyindeki hava boşluklarının alınması için tel sepet yukarı- aşağı ve sağa-sola doğru çalkalanmıştır. Terazideki değerin sabit hale gelmesiyle iri agreganın sudaki ağırlığı ölçülmüştür. Kullanılan Arşimet düzeneği Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. İri agregaya tane yoğunluğu deneyi (Arşimet düzeneği)

Elde edilen verilere göre iri agregaya tane yoğunluğu değeri Denklem 3.3’e göre belirlenmiştir.

$$\delta_{dky} = \frac{M_1}{(M_1 - M_2)} \quad (3.3)$$

M_1 : Numunenin DKY durumdaki (havadaki) ağırlığı, gr

M_2 : Numunenin sudaki ağırlığı, gr

3.4. Agregaya Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Beton üretiminde kullanılacak agregaya karışım oranları, incelik modülü yöntemine göre TS 802 [35] standardında maksimum agregaya boyutuna göre tanımlanan referans granülometri eğrileri kullanılarak belirlenmiştir. Agregaya karışımındaki maksimum agregaya boyutu 31,5 mm (D_{maks}) olarak belirlenmiştir. Agregaya karışım oranları, incelik modülü yöntemine göre standartta $D_{maks} = 31,5$ mm için tanımlanan referans granülometri eğrileri ($A_{31,5}-B_{31,5}$), agregaya incelik modülü değerleri ve elek analizi sonuçları kullanılarak belirlenmiştir. Agregaya karışım hesabı için kullanılan değer ve kabuller Tablo 3.13’te belirtilmiştir.

Tablo 3.13. Agregaya incelik modülü hesabı için belirlenen değer ve kabuller

Agregaya Türü	Kabul edilen oran (%)	İncelik Modülü
Kırma kum (0-4 mm)	33	2.62
Kırmataş-1 (4-16 mm)	-	5.55
Kırmataş-2 (16-31,5 mm)	-	6.84
Agregaya karışımı, I_k	-	5.0

Agrega karışım hesabında ince agrega oranına ve alınan kabullere göre Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 ile agrega oranları bulunmuştur. Buna göre agrega karışım oranları Tablo 3.14'teki gibi belirlenmiştir.

$$A_1 + A_2 + A_3 = 1 \text{ (mutlak agrega oranları toplamı)} \quad (3.4)$$

$$I_{k1} \times A_1 + I_{k2} \times A_2 + I_{k3} \times A_3 = I_k \quad (3.5)$$

A_1, A_2 ve A_3 : Her bir agregaya ait karışım oranları

I_{k1} : A_1 agregasının incelik modülü değeri

I_{k2} : A_2 agregasının incelik modülü değeri

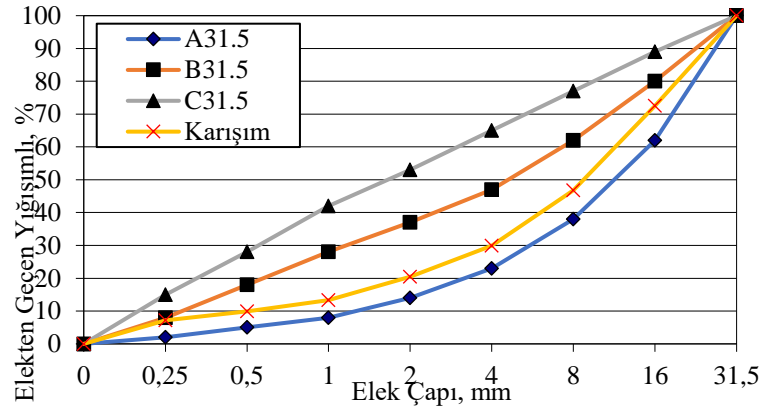
I_{k3} : A_3 agregasının incelik modülü değeri

I_k : Karışımın incelik modülü değeri

Tablo 3.14. *Agrega oranları*

Agrega Türü	Agrega Oranı (%)
Kırma kum (0-4 mm)	0.33
Kırmataş-1 (4-16 mm)	0.35
Kırmataş-2 (16-31,5 mm)	0.32

Karışım agregasının granülometri eğrisi Şekil 3.7'deki gibidir.



Şekil 3.7. *Karışım agregasının granülometri eğrisi*

3.5. Beton Karışım Hesabı

Beton karışım hesabı, TS 802 [35] standardında tanımlanan yöntem ve formüllere göre belirlenmiştir. Beton karışım hesabında, agrega karışımının incelik modülüne göre karışım suyu miktarının belirlenmesi için Denklem 3.6 kullanılmıştır.

$$E = a \times (10 - I_k) \quad (3.6)$$

E: Karışım suyu miktarı, kg/m³

α : 37 (Kırmataş agrega ve plastik kıvamlı beton)

I_k: Karışım agregası incelik modülü

Beton karışımında su/çimento oranı 0,6 olarak belirlenmiştir. Kabul edilen bu orana göre elde edilen çimento miktarının uygunluğu, Denklem 3.7'de tanımlanan minimum çimento miktarına göre kontrol edilmiştir.

$$C_{\min} = \frac{550}{\sqrt{D_{\max}}} \quad (3.7)$$

Beton karışımında yer alan toplam agrega hacmi, Denklem 3.8'de tanımlanan birim hacim bağıntısı ile belirlenmiştir.

$$\frac{C}{\delta_c} + E + V_A + h = 1000 \quad (3.8)$$

C: Çimento miktarı, kg

δ_c : Çimento özgül ağırlığı, kg/dm³

E: Su miktarı, kg

V_A: Toplam agrega hacmi, dm³

h: Hava miktarı, dm³

Karışımındaki agregaların kütle miktarları Denklem 3.9'a göre belirlenmiştir.

$$M_A = V_A \times \delta_A \quad (3.9)$$

M_A: Agrega miktarı, kg

V_A: Agrega hacmi, dm³

δ_A : DKY agrega tane yoğunluğu, kg/dm³

C25/30 beton sınıfı ve su/çimento oranı 0.6 için belirlenen teorik bileşen miktarları Tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15. Beton bileşen miktarları, kg/m³

Bileşenler	Miktar, kg
Su	168.4
Çimento	277.4
Kırma kum, 0-4 mm	674.3
Kırmataş-1, 4-16 mm	709.1
Kırmataş-2, 16-31.5 mm	666.9

3.6. Beton Numunelerin Üretimi

Beton numuneleri, laboratuvar koşullarında beton karışım tasarımında belirtilen miktarlara göre Şekil 3.8'deki 56 dm³ kapasiteli yatay eksenli beton mikseri kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. Tüm karışımlarda bağlayıcı olarak çimento miktarı ve su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Agregalar ve çimento karıştırıcıya konulup 1 dakika boyunca kuru karışım yapılmış, daha sonra karışım suyu da eklenerek karışıma 4 dakika daha devam edilmiştir.



Şekil 3.8. Beton üretimi

Üretilen taze beton karışımı, 3 adet 10x20 cm silindir, 15x6 cm disk (silindir) ve 20x20x5 cm plak numune kalıplarına dökülmüştür. Taze beton karışımı, 10x20 cm silindir numune kalıbına 2 aşamada her aşamada 25 defa, 15x6cm disk (silindir) ve 20x20x5 cm plak/prizma numune kalıplarına tek aşamada 25 defa çelik çubukla şişlenerek ve plastik tokmak yardımıyla tokmaklanarak yerleştirilmiştir. Farklı boyutlarda kalıplara yerleştirilen beton numuneler Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Beton numune üretimi

Taze betonun priz alması için numuneler 24 saat boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiştir. 24 saat sonrasında numuneler kalıptan çıkarılarak 3 gün telis bezi ile nemli kür uygulandıktan sonra 28 gün boyunca laboratuvar koşullarında bekletilmiştir.

3.7. Beton Numunelere Yalıtım Uygulaması

Beton numunelerin 28 günlük kürlenme süreleri beklendikten sonra 3 mm kalınlığında bitüm esaslı ve PU esaslı su yalıtım malzemeleri uygulanmıştır.

3.7.1. Yüzey hazırlayıcı astar uygulaması

Su yalıtım malzemelerinin betona uygulamasından önce, aderansın artırılması ve yüzey emiciliğinin dengelenmesi için yüzey hazırlayıcı astar uygulaması yapılmıştır. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesinin altına bitüm esaslı astar kullanılırken, PU esaslı su yalıtım malzemesinin altına epoksi esaslı astar uygulanmıştır. Astar uygulanan numuneler Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. a) Epoksi reçine esaslı astar, b) Bitüm emülsiyon esaslı astar

3.7.2. Su yalıtım malzemesi uygulaması

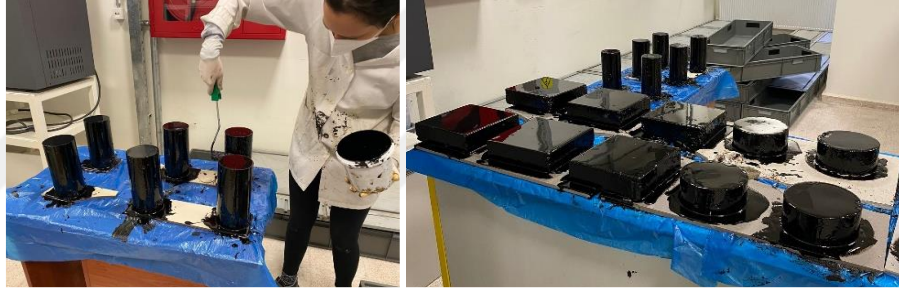
Astar uygulanan numuneler 24 saat kurumaya bırakıldıktan sonra su yalıtımı ürünlerinin uygulaması yapılmıştır. Su yalıtımı ürünleri, A bileşeni içerisine B bileşeni yavaşça eklenip düşük devirli bir mikser yardımıyla topaksız ve homojen bir kıvamaya ulaşınca kadar karıştırılarak hazırlanmıştır. Bitüm esaslı sürme su yalıtım malzemesinde, Şekil 3.11'de verildiği gibi ilk kat üzerine su yalıtımı donatı filesi

koyularak fırça yardımıyla uygulama yapılmıştır. Katlar arasında 24 saat beklendikten sonra son kat uygulaması yapılmıştır.



Şekil 3.11. Bitüm esaslı su yalıtımı malzemesi uygulaması

PU esaslı su yalıtım malzemesi için, üretici firmanın uygulama yöntemlerinde donatı filesi önerilmemiştir. Bu nedenle su yalıtımı donatı filesi kullanılmamıştır. PU esaslı su yalıtım malzemesi rulo yardımıyla beton numuneler üzerine uygulanmıştır. Katlar arasında 24 saat beklendikten sonra son kat uygulaması yapılmıştır. PU esaslı su yalıtımının uygulaması Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. PU esaslı su yalıtımı malzemesi uygulaması

Su yalıtım malzemeleri ile kaplanan beton numuneler, yalıtım malzemesinin kurlenmesi için laboratuvar ortamında bitüm esaslı olanlarda 28 gün, PU esaslı olanlarda ise 7 gün boyunca bekletilmiştir. Kurlenen ve çözeltiye yerleştirilmeye hazırlanan beton numuneleri Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13. Çözeltiye yerleştirilmeye hazır su yalıtımlı beton numuneleri

3.8. Kimyasal Çözeltilerin Hazırlanması

Susuz $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 kimyasalları ile ASTM C 1012 [36] standardına uygun olarak %5, %7,5 ve %15 oranında çözeltiler hazırlanmıştır. Kimyasal çözeltiler, distile su hacmine (L) kütle (g) oranında kimyasal malzeme ilave edilerek manyetik karıştırıcı yardımıyla hazırlanmıştır. $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin hazırlanması Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin hazırlanması

3.9. Numunelerin Kimyasal Çözeltilere Maruz Bırakılması

3.9.1. Yalıtım numunelerinin kimyasal çözeltilere maruz bırakılması

Bitüm ve PU esaslı su yalıtım malzemelerinden oluşan farklı kalınlıklardaki papyon numuneler, %5 ve %15 konsantrasyonlu $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinde tamamı çözeltiye batacak şekilde, ağzı kapalı plastik kovalar içerisine yerleştirilmiş ve laboratuvar ortamında 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca bekletilmiştir. Numunelerin çözeltilerde bekletilme koşulu Şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3.15. Numunelerin çözeltilere yerleştirilmesi ve laboratuvar koşullarında bekletilmesi

3.9.2. Beton numunelerin kimyasal çözeltilere maruz bırakılması

Çözeltilere hazır hale gelen su yalıtımlı beton numuneler, laboratuvar ortamında, ağzı kapalı ve hava almayan plastik kaplar içerisine yerleştirilerek, %7,5 ve %15 konsantrasyonlu $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerine maruz bırakılmıştır. Her bir numune, boyutuna göre kaplar içerisine yerleştirilmiş ve numuneler kendi yüksekliğinin yaklaşık %60'ına kadar çözeltilere batırılmıştır. Şekil 3.16'daki gibi yerleştirilen beton numuneler 28 ve 56 gün boyunca, %7,5 ve %15 konsantrasyonlu $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerine maruz bırakılmıştır. Kimyasal çözeltiler 28.günden sonra yenilenmiştir.



Şekil 3.16. Su yalıtımlı beton numunelerin çözeltilere yerleştirilmesi

3.10. Deneyler

3.10.1. Yalıtım numunelerine uygulanan deneyler

3.10.1.1. Kütle değişimi deneyi

Bitüm ve PU esaslı yalıtım numunelerinde kütle değişimi deneyi ASTM D 570-98'e [37] göre yapılmıştır. Bitüm ve PU esaslı 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıktaki papyon su yalıtım numunelerinin çözelti öncesi ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numuneler %5 ve %15 konsantrasyonlu MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltiler içerisine yerleştirilmiştir. Çözelti içinde 3, 7, 14 ve 28 gün bekleyen numunelerde ağırlık ölçümleri yapılarak kimyasal madde cinsi ve oranının kütle değişimine etkileri belirlenmiştir. Numunelerde çözelti sonrası kütle ölçümü Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Kimyasal çözeltilerde bekleyen numunelerin ağırlıklarının ölçülmesi

Numunelerdeki kütle değişimi Denklem 3.10 ile hesaplanmıştır.

$$\% m = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.10)$$

m: Ağırlıkça su/çözelti emme oranı, %

B: Çözelti sonrası numune ağırlığı, g

A: Çözelti öncesi numune ağırlığı, g

3.10.1.2. Maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deneyi

Bitüm ve PU esaslı su yalıtım numunelerinde çekme deneyi, ASTM D 412 [38] standardına göre uygulanmıştır. Çekme deneyi, 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıktaki referans ve %5, %15 konsantrasyonlu MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltilerinde 3, 7 ve 28 gün bekleyen papyon şeklindeki numunelerde yapılmıştır. Referans numuneler deney gününe kadar laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Numunelerde çekme deneyi, Şekil 3.18'de verilen bilgisayar kontrollü otomatik çekme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonunda

numunelerde, maksimum çekme gerilmesi (çekme dayanımı) ve kopmada uzama değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.18. Maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deneyi

3.10.2. Taze beton deneyleri

3.10.2.1. Slump deneyi

Taze betonun kıvamının belirlenmesi için TS EN 206-1'e [39] göre slump deneyi yapılmıştır. Deney öncesinde slump konisi ve taban plakası nemlendirilerek koni tabana yerleştirilmiştir. Beton slump konisi içerisine, her aşamada koninin 1/3'ü dolacak şekilde toplamda üç aşamada yerleştirilmiştir. Her işlem sonrasında betonun yerleştirilmesi için 25 defa şişleme yapılmıştır. Şekil 3.19'da verilen slump deneyinde tamamen doldurulan koni yavaşça kaldırılmıştır. Betonun kendiliğinden yayılması sonucunda koni ters çevrilerek betonun yanına yerleştirilmiştir. Şişleme çubuğu yardımıyla slump konisi ve taze betonun üst yüzeyi arasındaki mesafe ölçülerek betonun slump (çökme) değeri belirlenmiştir. Deney sonucunda taze beton karışımında çökme değeri 9-12 cm arasında elde edilmiştir.



Şekil 3.19. Taze beton slump deneyi

3.10.3. Sertleşmiş beton deneyleri

3.10.3.1. Kütle değişimi deneyi

Su yalıtımlı ve yalıtımsız beton numunelerinde kütle değişimi deneyi ASTM C 642 [40] 'ye göre yapılmıştır. Bitüm ve poliüretan esaslı su yalıtım numuneleri ile yalıtım yapılan ve yalıtımsız beton numunelerin çözelti öncesi kütleleri ölçülmüştür. Ardından ağzı kapalı kaplar içerisinde %7,5 ve %15 konsantrasyonlu MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözelti havuzu içerisinde bekleyen numuneler için 28. ve 56. günlerde kütle ölçümleri yapılarak kimyasal koşul ve konsantrasyon oranının etkileri incelenmiştir. Elde edilen ağırlık ölçümlerine göre numunelerde kütle değişimi oranı belirlenmiştir. Numunelerin su/çözelti emme sonucundaki kütle değişimi Denklem 3.8 ile hesaplanmıştır.

3.10.3.2. Ultrases dalga hızı deneyi

Su yalıtımlı beton numunelerinde, ultrases dalga hızı deneyi TS EN 12504-4 [41] standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde ses dalgasının bir probtan diğer proba ulaştığı zaman esas alınmaktadır. Betona gönderilen ultrasonik ses dalgaları betonun boşluk oranı hakkında bilgi verir. Deney öncesinde problemlerin temas edeceği yüzey bez yardımıyla temizlenerek, problemlerin tam olarak yapışması için yüzeye vazelin sürülmüştür. Problemlerin beton numuneler üzerinde aynı hizada olması için destek aparatlar kullanılmıştır. Silindir numunelerde doğrusal, plak numunelerde ise doğrusal ve çapraz olmak üzere her iki doğrultuda ultrases ölçümleri yapılmıştır. Ultrases deneyi, yalıtımlı tüm beton numuneler için, yalıtım yapıldıktan sonra ve çözelti sonrasında Şekil 3.20'deki gibi uygulanmıştır.



Şekil 3.20. Yalıtımlı numunelere uygulanan ultrases dalga hızı deneyi

Numunelerin ultrases geçiş hızları Denklem 3.11 ile belirlenmiştir.

$$V=L/t \quad (3.11)$$

V: Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)

L: Problar arasındaki mesafe (km)

t: Zaman (sn)

3.10.3.3. Basınç deneyi

TS EN 12390-4 [42] standardına göre 10x20 cm ölçülerindeki yalıtımlı silindir beton numunelerin çözelti öncesi ve basınç deneyleri, 3000kN kapasiteli yük kontrollü basınç cihazı ile yapılmıştır. %7,5 ve %15 konsantrasyonlu MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözelti havuzu içinde bekleyen numuneler, 28.gün ve 56. Gün sonunda çözelti havuzundan çıkarılarak basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Basınç deneyi öncesinde silindir numunelerin üst yüzeyine çimento esaslı harç ile başlık yapılmıştır. Deney esnasında numunelerin basınç yükü yazılım aracılığıyla otomatik olarak bilgisayar üzerinden alınmıştır. Basınç deneyinde yükleme hızı 0.6 MPa/sn olarak alınmıştır. Deney sonucunda maksimum basınç yükü değeri ölçülmüştür. Basınç deneyi Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Basınç deneyi

Alınan maksimum basınç yükü değerlerine göre silindir numunelerin basınç dayanımı Denklem 3.12 ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = P/A \quad (3.12)$$

σ : Basınç dayanımı, N/mm²

P : Maksimum basınç yükü, N

A : Yükleme yapılan numunenin yüzey alanı, mm²

3.10.3.4. Yarmada çekme deneyi

TS EN 12390-6 [43] standardına göre 15x6 cm ölçülerindeki yalıtımlı disk beton numunelere çözelti öncesi ve sonrası yarmada çekme deneyi basınç cihazı kullanılarak yapılmıştır. %7,5 ve %15 konsantrasyonlu MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözelti havuzu içinde bekleyen numuneler, 28.gün ve 56. Gün sonunda çözelti havuzundan çıkarılarak yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Beton numunelere aynı doğrultuda basınç yükü uygulanabilmesi için deney öncesinde numuneler üzerine çizgisel olarak işaretleme yapılmıştır. Numuneler, yüzeydeki çizgisel işaretler ortalanacak şekilde alt ve üst kısımlarda çelik çubuklar kullanılarak test cihazına yerleştirilmiştir. Gerilme hızı 0.05 MPa/sn alınarak Şekil 3.22'deki gibi uygulanmıştır. Deney sonucunda maksimum yarmada çekme yükü elde edilmiştir.



Şekil 3.22. Yarmada çekme deneyi

Elde edilen maksimum yarmada çekme yükü değerlerine göre disk numunelerin yarmada çekme dayanımı Denklem 3.13 ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{y\zeta} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times L} \quad (3.13)$$

P: Maksimum yarmada çekme yükü, N

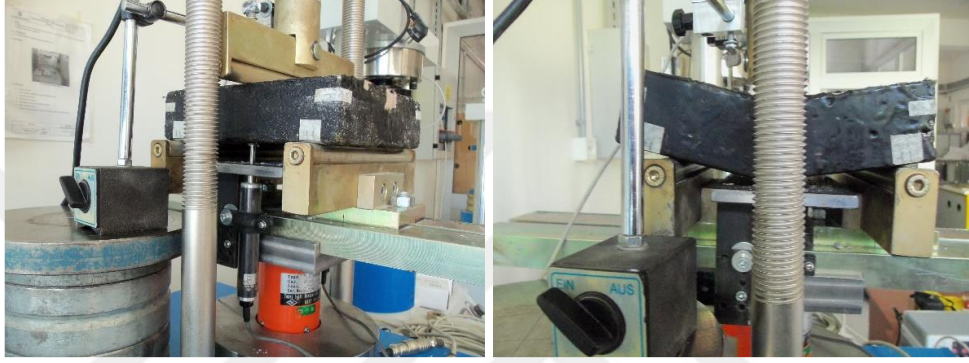
L: Numune uzunluğu/boyu, mm

D: Numune çapı/genişliği, mm

3.10.3.5. Plak eğilme deneyi

EFNARC [44]'a göre 20x20x5 cm ölçülerindeki yalıtımlı plak beton numunelerin çözelti öncesi ve sonrası eğilme dayanımları, 3 noktalı eğilme yüklemesine göre şekil değiştirme kontrollü eğilme cihazı ile belirlenmiştir. %7,5 ve %15 konsantrasyonlu MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözelti havuzu içinde bekleyen numuneler, 28.gün ve 56. Gün sonunda

çözelti havuzundan çıkarılarak eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Plak numuneler eğilme deney cihazına yerleştirilmeden önce, numunelerin mesnetler arasındaki mesafeye göre yerleştirilmesi için numune üzerinde çizgisel olarak işaretlemeler yapılmıştır. Çizgisel olarak yapılan işaretlemeler sonucunda mesnetler arası mesafe 15 cm olarak belirlenmiştir. Numuneler Şekil 3.23'teki eğilme deney cihazına yerleştirilmiştir. Eğilme deneyi, 1 mm/dk şekil değiştirme hızında yapılmıştır. Deney sonunda numunelerde maksimum eğilme yükü yazılım aracılığı ile bilgisayar tarafından otomatik olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.23. Plak eğilme deneyi

Deney sonucunda alınan maksimum eğilme yükü değerlerine göre eğilme dayanımı Denklem 3.14 ile hesaplanmıştır.

$$f_{Rj} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \quad (3.14)$$

f_{Rj} : Eğilme dayanımı, N/mm²

F_j : Kırılmaya neden olan yük, N

l : Açıklık uzunluğu, mm

b : Numune genişliği, mm

h_{sp} : Çentiğin ucu ile numunenin tepesi arasındaki mesafe, mm

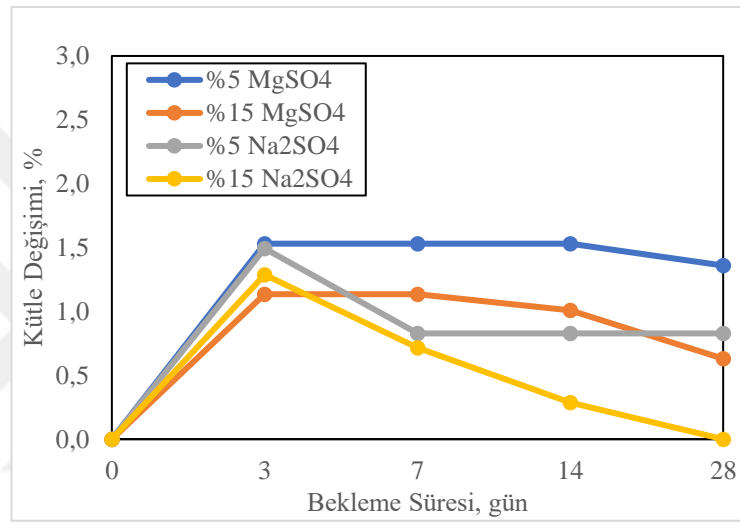
4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Deneyler

4.1.1. Yalıtım numunelerine uygulanan deney sonuçları

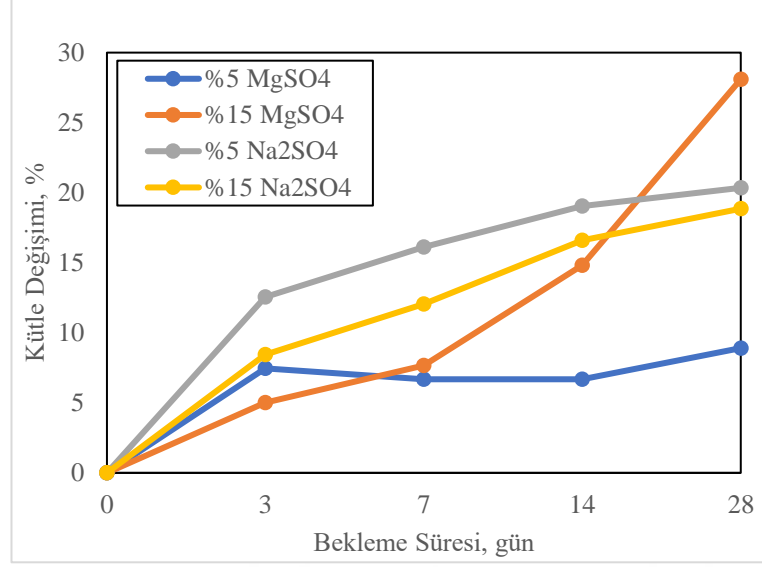
4.1.1.1. Kütle değişimi deney sonuçları

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 4.1 ve Şekil 4.2; 3 mm kalınlık için Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ve 4 mm kalınlık için Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



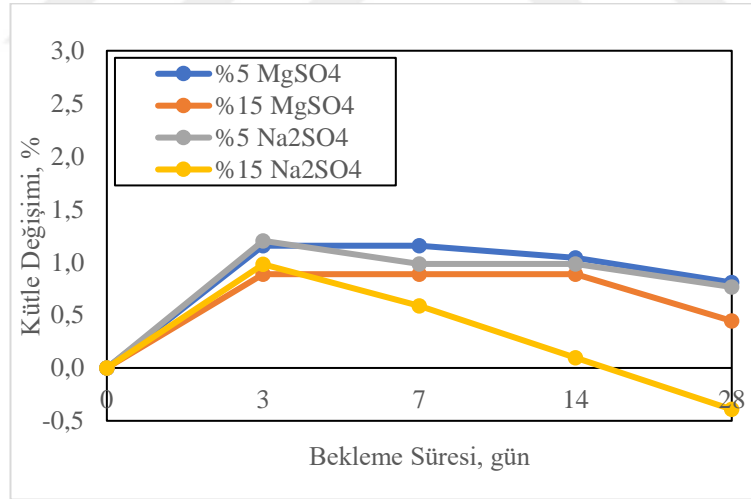
Şekil 4.1. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kütle değişimine etkisi

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 Na_2SO_4 çözeltilisinde ve en az kütle kaybının ise %5 $MgSO_4$ çözeltilisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Her iki çözelti türünde oran arttıkça PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde kütle kaybının daha fazla olduğu gözlenmiştir.



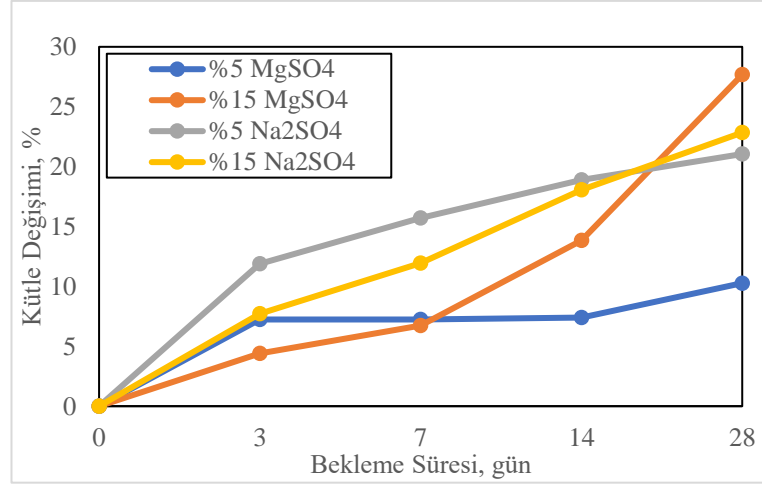
Şekil 4.2. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kütle değişimine etkisi

Bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözelti türü ve oranında bekletme süresi arttıkça kütle arttığı gözlenmiştir. Bitüm esaslı 2 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.



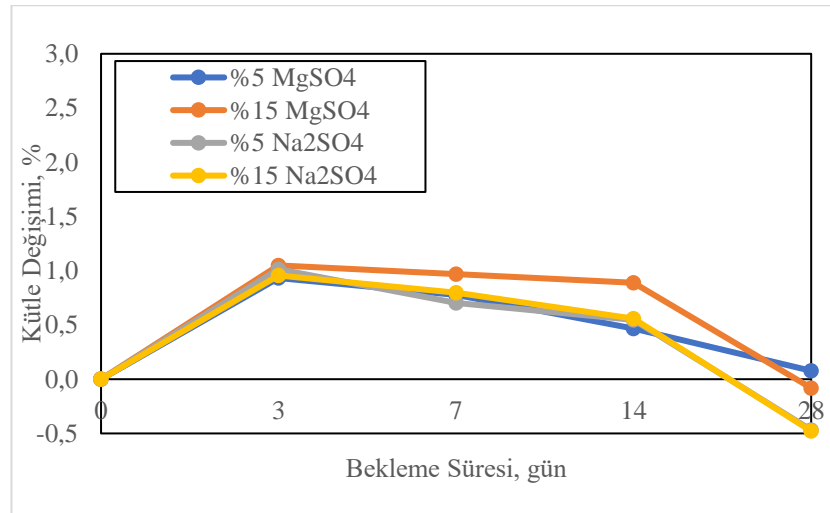
Şekil 4.3. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kütle değişimine etkisi

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

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.

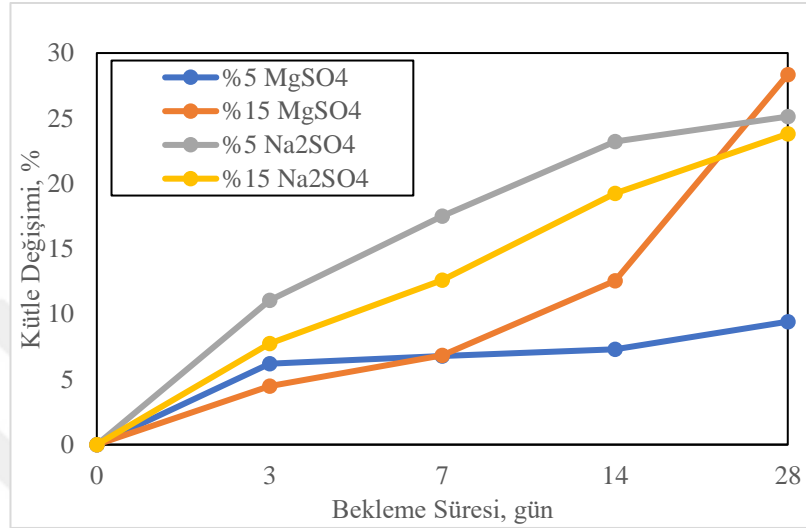


Şekil 4.5. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kütle değişimine etkisi

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 bekleme sonucunda, kalınlık arttıkça kütle kayıplarının da arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.6. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kütle değişimine etkisi

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.

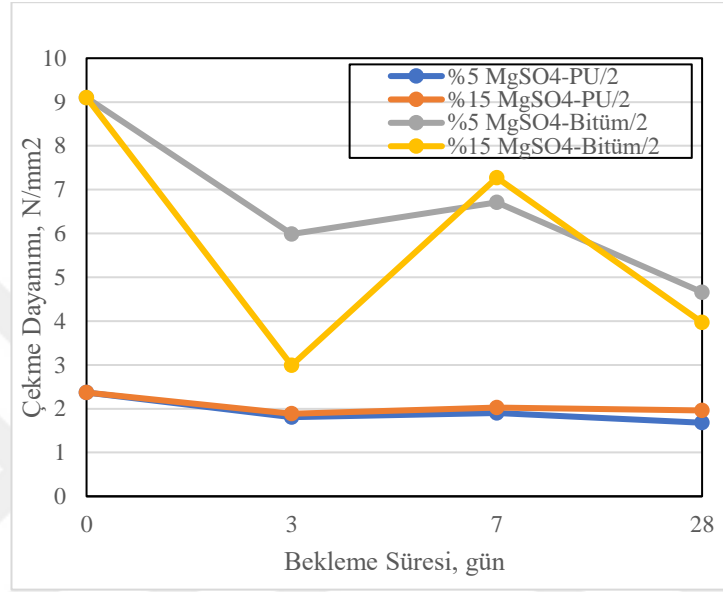
Tüm kalınlıklar için bitüm esaslı numunelerde en fazla kütle artışı %15 MgSO₄ çözeltisinde 28 gün bekletme süresi sonrasında meydana gelmiştir. Bitüm esaslı numunelerde, 28 gün çözelti sonrasında kütle artışlarının kalınlık arttıkça daha fazla olduğu gözlenmiştir.

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, çözeltilerde bekletme süresine bağlı olarak meydana gelen kütle artışının ise bitüm esaslı yalıtım numunelerinin boşluk oranının fazla olması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

4.1.1.2. Maksimum gerilme (çekme dayanımı) ve kopmada uzama deney sonuçları

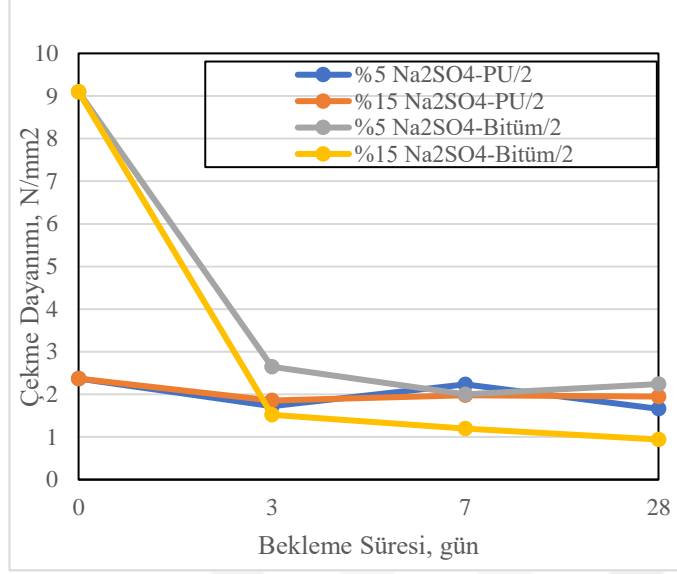
Maksimum gerilme (çekme dayanımı) deney sonuçları

Çözelti türü, oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı numunelerin çekme dayanımına etkisi, $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilisinde bekleyen 2 mm kalınlığındaki numuneler için Şekil 4.7, ve Şekil 4.8; 3 mm kalınlığındaki numuneler için Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 ve 4 mm kalınlığındaki numuneler için Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.



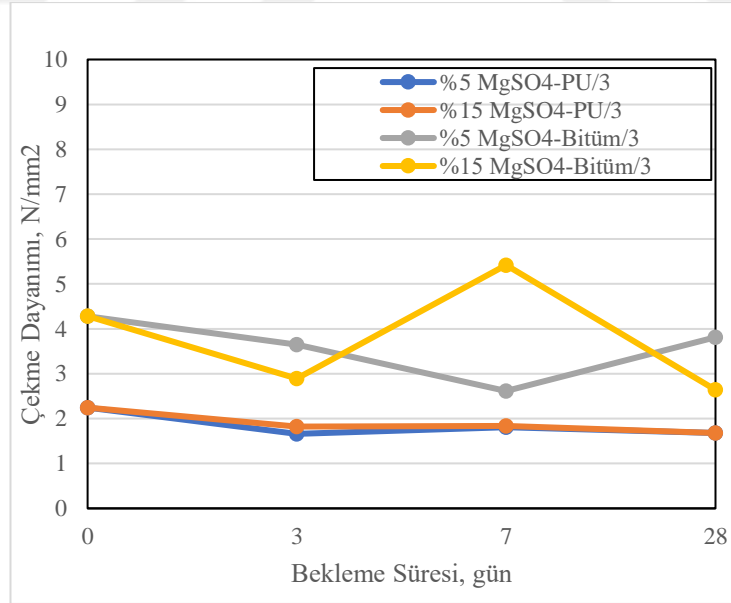
Şekil 4.7. $MgSO_4$ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) çekme dayanımına etkisi

Çekme deneyi sonuçlarına göre her iki yalıtım türündeki 2 mm kalınlıklı numunelerde, $MgSO_4$ çözeltilisinde bekleme süresi arttıkça çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. $MgSO_4$ çözeltisi sonrasında bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde çekme dayanımındaki azalmanın PU esaslı numunelere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Genel olarak %15 $MgSO_4$ çözeltilisinde bekleyen bitüm esaslı numunelerde daha düşük çekme dayanımları elde edilmiştir. PU esaslı numunelerin $MgSO_4$ çözeltilisinden daha az etkilendiği görülmüştür.



Şekil 4.8. Na_2SO_4 oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) çekme dayanımına etkisi

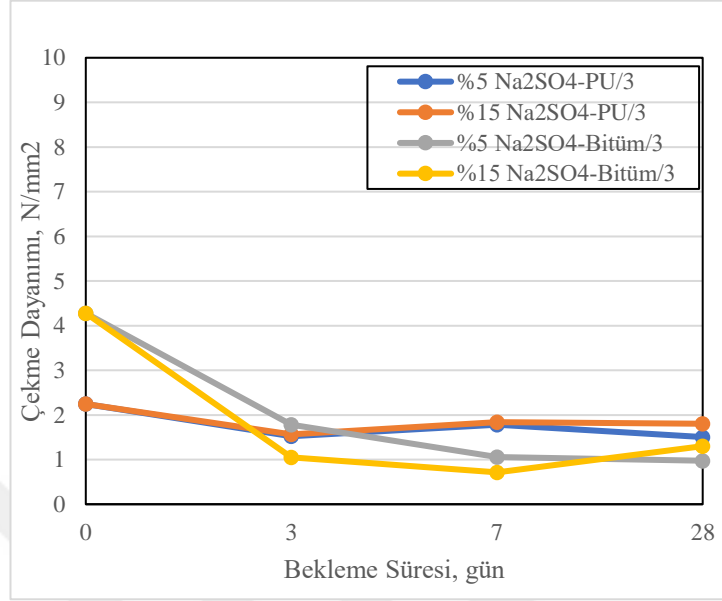
%5 ve %15 Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen PU ve bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen PU ve bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerin çekme dayanımı, $MgSO_4$ çözeltisine göre daha fazla azalmıştır.



Şekil 4.9. $MgSO_4$ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) çekme dayanımına etkisi

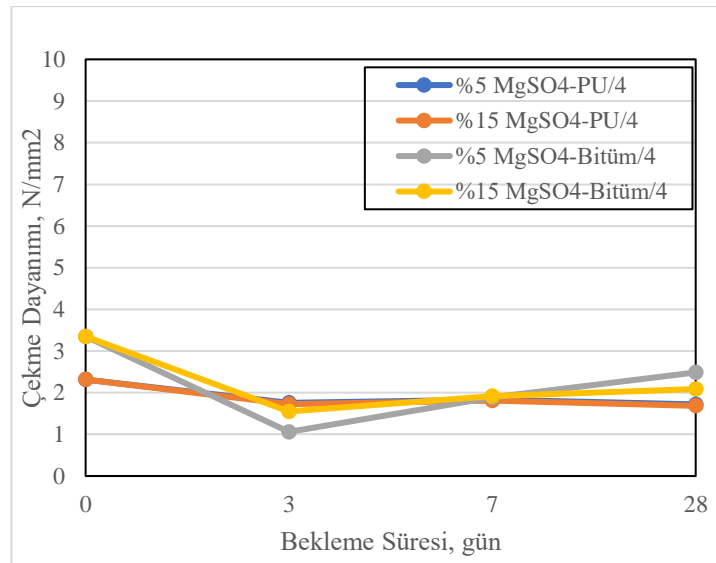
Her iki yalıtım türünde 3 mm kalınlığındaki numunelerde $MgSO_4$ çözeltisi sonrasında çekme dayanımındaki değişimin 2 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde azaldığı gözlenmiştir. $MgSO_4$ çözeltisi sonrasında çekme dayanımındaki en fazla

azalma bitüm esaslı numunelerde %15 çözelti oranında, 28 gün bekleme süresinde elde edilmiştir.



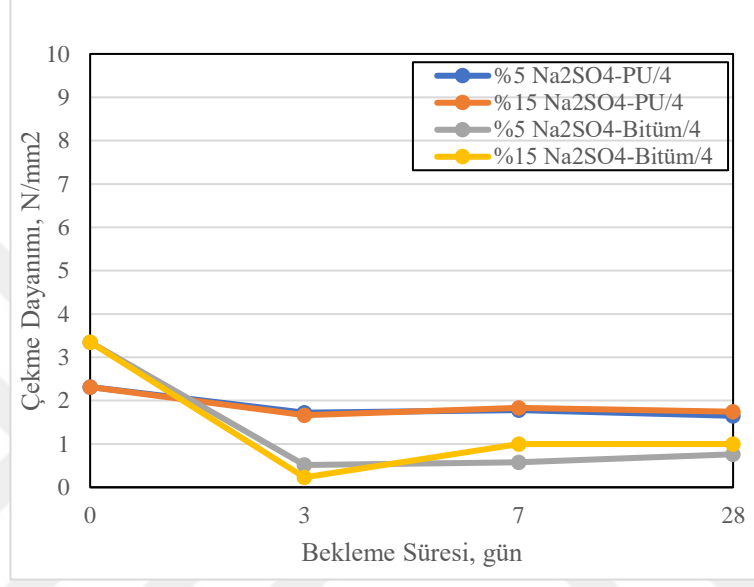
Şekil 4.10. Na₂SO₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) çekme dayanımına etkisi

Her iki yalıtım türündeki 3 mm kalınlığındaki numunelerde 2 mm kalınlığındaki numunelere benzer şekilde Na₂SO₄ çözeltisi sonrasında bekleme süresi artıkça 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 4.11. MgSO₄ oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) çekme dayanımına etkisi

Her iki yalıtım türünde 4 mm kalınlığındaki numunelerde, $MgSO_4$ çözeltisindeki bekleme süresi arttıkça çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. $MgSO_4$ 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 4.12. Na_2SO_4 oranı ve bekleme süresinin PU ve bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) çekme dayanımına etkisi

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.

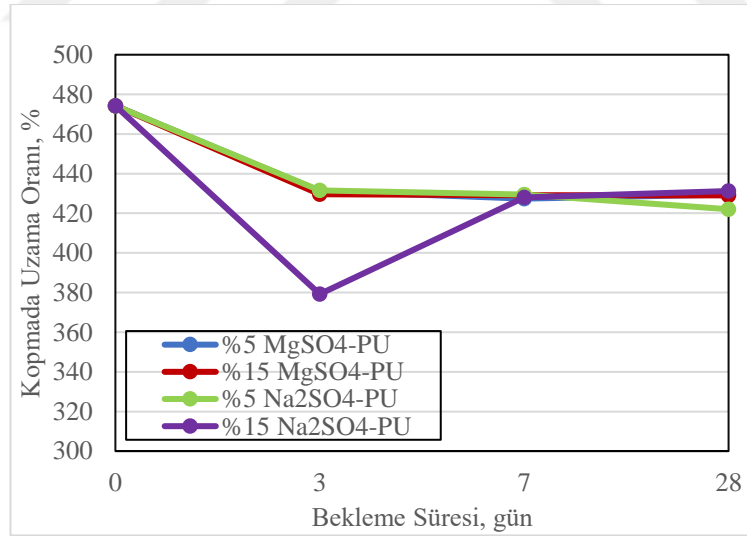
Bitüm esaslı referans numunelerde, PU esaslı referans numunelere göre daha yüksek çekme dayanımları elde edilmiştir. Bitüm esaslı numunelerde daha yüksek çekme dayanımının, çimento bileşeni ve donatı filesi nedeniyle kompozit bir yapı oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bitüm esaslı referans numunelerde, kalınlık arttıkça çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Bitüm esaslı referans numunelerde kalınlık arttıkça çekme dayanımının düşmesinin, 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 çözültide beklenen numunelerde çekme dayanımının değişkenlik göstermesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak aynı kimyasal koşul ve bekleme süresinde PU ve bitüm esaslı numunelerin çekme dayanımının, kalınlık arttıkça azaldığı ve 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 Na₂SO₄ çözültisinde elde edilmiştir. PU esaslı numunelerdeki çekme dayanımı, tüm kimyasal çözülti türü, oranı ve bekleme sürelerinde benzer bir değişim göstermiştir.

Kopmada uzama deney sonuçları

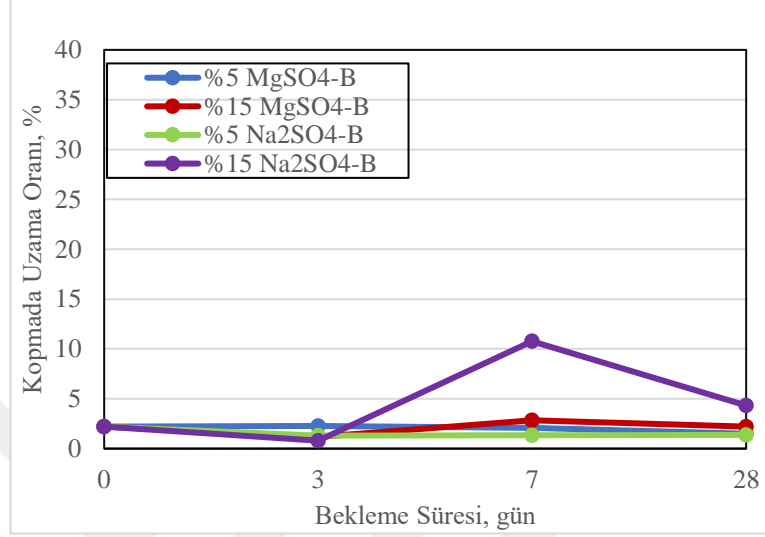
Aynı oranlarda ve sürelerde, MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözültisine maruz bırakılan PU ve bitüm esaslı numunelerde kopmada uzama sonuçları, 2 mm kalınlık için Şekil 4.13 ve Şekil 4.14; 3 mm kalınlık için Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 ve 4 mm kalınlık için Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kopmada uzama oranına etkisi

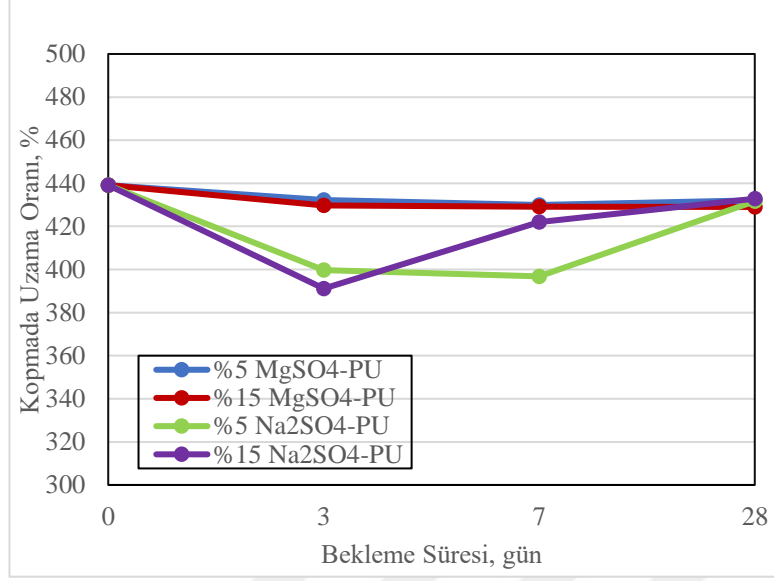
Kopmada uzama deney sonuçlarına göre PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde her iki çözülti türü ve oranında bekleme süresi arttıkça kopmada uzama oranının azaldığı gözlenmiştir. PU esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde 28 gün bekleme süresi sonucunda, kopmada uzama oranındaki en fazla azalma %5 Na₂SO₄

çözeltisinde görülmüştür. Tüm bekleme sürelerine ve çözeltilere bakıldığında, en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na₂SO₄ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.



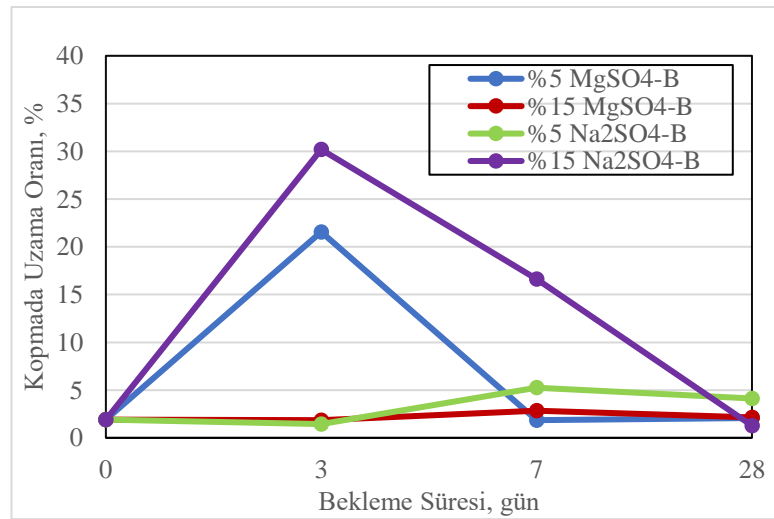
Şekil 4.14. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (2 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Bitüm esaslı 2 mm kalınlığındaki numunelerde %5 MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltilerindeki bekleme süresi artııkça uzama oranının azaldığı gözlenmiştir. Ancak %15 MgSO₄ ve Na₂SO₄ 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 Na₂SO₄ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.



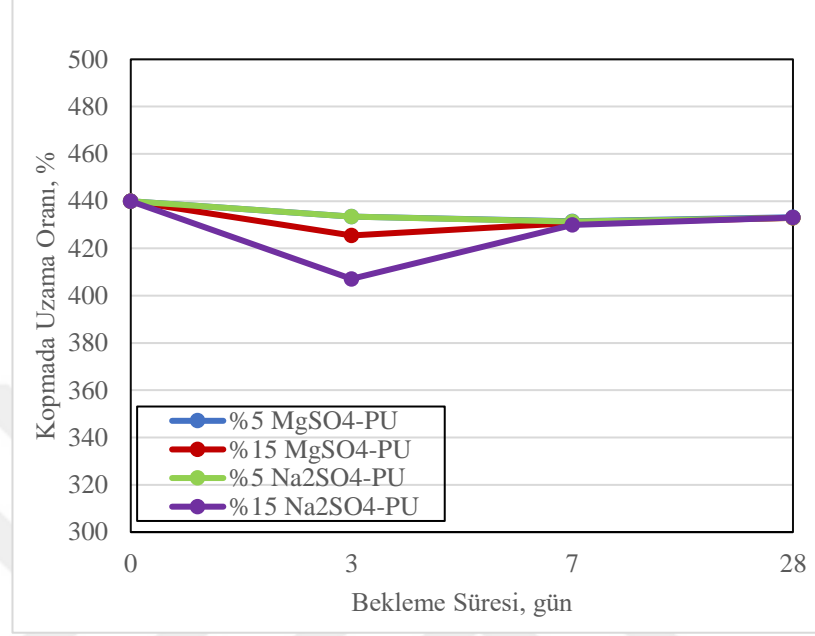
Şekil 4.15. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kopmada uzama oranına etkisi

%5 ve %15 MgSO₄ çözeltilisindeki PU esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde, bekleme süresi arttıkça uzama oranında doğrusal azalmalar gözlenmiştir. Na₂SO₄ çözeltilisinde 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 Na₂SO₄ çözeltilisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.



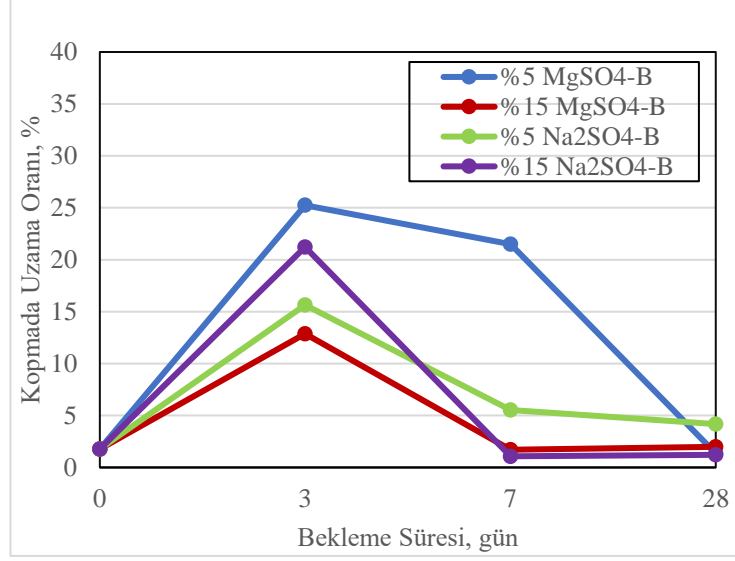
Şekil 4.16. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (3 mm) kopmada uzama oranına etkisi

Bitüm esaslı 3 mm kalınlığındaki numunelerde her iki kimyasal koşulda 3 gün bekleme süresinde uzama oranlarında artış gözlenmiştir. %15 Na₂SO₄ çözeltisinde bekleyen numunelerde 3 gün bekleme sürelerinde uzama oranının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.17. Kimyasal koşul ve oranlarının PU esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kopmada uzama oranına etkisi

PU esaslı 4 mm kalınlığındaki %15 Na₂SO₄ 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 çözeltilde 28 gün bekleme süresi sonunda uzama oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Tüm bekleme sürelerine ve çözeltilere bakıldığında, en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na₂SO₄ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.



Şekil 4.18. Kimyasal koşul ve oranlarının bitüm esaslı yalıtım numunelerinin (4 mm) kopmada uzama oranına etkisi

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 MgSO₄ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde ve en düşük kopmada uzama oranı ise %15 Na₂SO₄ 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.

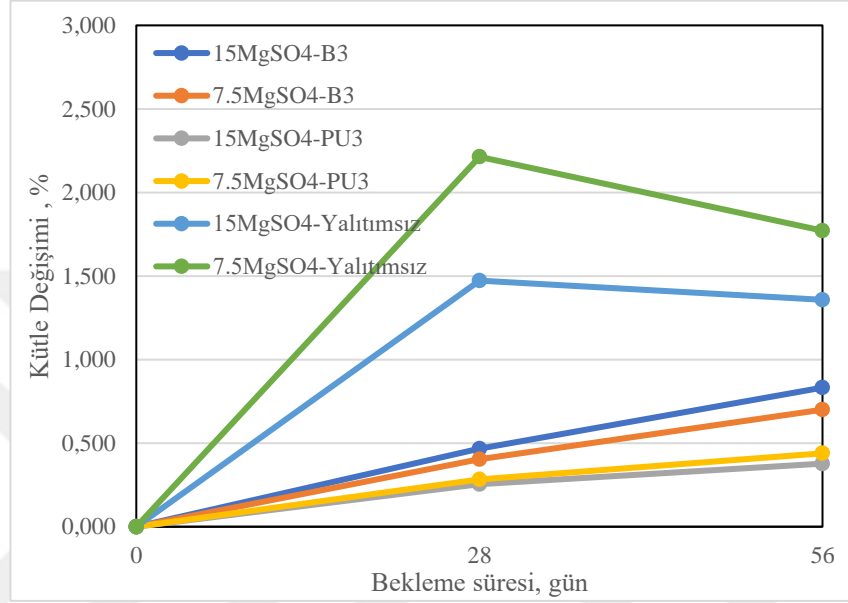
Bitüm esaslı su yalıtım numunelerinde film kalınlığının ürünün yapısı ve uygulama koşulları (donatı filesi) nedeniyle homojen olarak sağlanamaması ve kopma bölgesindeki donatı filesi göz dağılımının farklı olabilmesi her iki çözelti türü ve oranında kopmada uzama oranına bekleme süresinin etkisinin değişkenlik 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 Na₂SO₄ çözeltisinden olumsuz etkilenmesi ile esnekliğinin azalması sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir.

4.1.2. Beton numunelerine uygulanan deney sonuçları

4.1.2.1. Kütle değişimi deney sonuçları

Aynı oranlarda $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan 3 mm kalınlıkta PU ve bitüm esaslı yalıtımlı ve yalıtımsız betonlarda çözeltide bekleme süresinin kütle değişimine etkisi Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

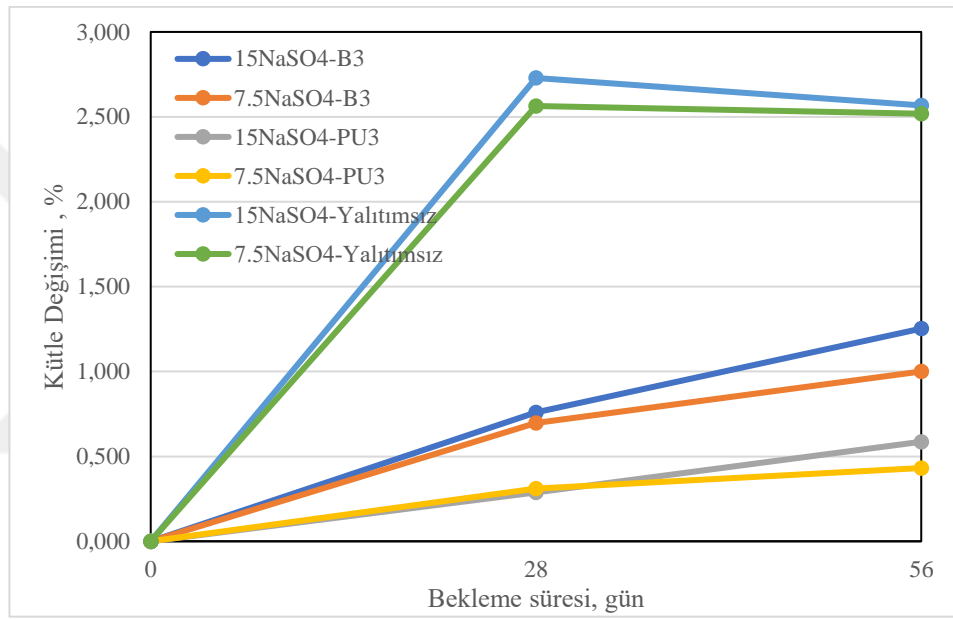


Şekil 4.19. $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) ve yalıtımsız beton numunelerinin 28 ve 56 günlük kütle değişimi

Aynı oranlarda $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımsız beton numunelerde meydana gelen kütle artış oranının yalıtımlı beton numunelere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni yalıtımsız numunelerin daha geçirimli yapıya sahip olması ve doğrudan çözeltiye maruz kalmasıdır. PU ve bitüm esaslı yalıtım malzemelerinin belirli sürede beton yapısına girebilecek çözelti miktarını azaltması nedeniyle yalıtımsız numunelerde daha fazla kütle artışı meydana gelmiştir. Bitüm ve PU esaslı yalıtımlı numunelerde çözeltide bekleme süresi arttıkça kütle artış oranının arttığı gözlenmiştir. Aynı oranlarda $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan bitüm esaslı yalıtımlı numunelerde PU esaslı yalıtımlı numunelere göre daha fazla kütle artışı belirlenmiştir. PU esaslı su yalıtım malzemesi uygulandığında, bitüm esaslı yalıtım malzemesine kıyasla daha homojen bir yapıya sahip olmaktadır. Bu nedenle bitüm esaslı su yalıtım malzemesindeki boşluklu yapıların daha çok olması nedeniyle daha fazla kütle artışı meydana gelmiştir. Ayrıca bitüm esaslı yalıtım malzemesinde kullanılan donatı filesi ile bitüm arasındaki boşlukların, bitüm esaslı numunelerde daha fazla kütle artışına neden olduğu

düşünülmektedir. Yalıtımsız numunelerde her iki $MgSO_4$ oranında 28 gün bekleme süresinden sonra kütlede azalmalar belirlenmiştir. Bu azalmanın $MgSO_4$ etkisiyle numunelerde boşluk oranının artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yalıtımsız numunelerdeki en fazla kütle artışı %7,5 $MgSO_4$ çözeltisinde olmuştur. %7,5 ve 15 oranındaki $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan bitüm ve PU esaslı malzemeler ile yalıtımı yapılan beton numuneler arasında ise 56. Gün sonunda en fazla kütle artışı %15 $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan bitüm esaslı yalıtım malzemesi kullanılan beton numunelerde gözlenmiştir. En az kütle artış oranı ise %15 $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan PU yalıtım malzemesi kullanılan beton numunelerde gözlenmiştir.



Şekil 4.20. Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) ve yalıtımsız beton numunelerin 28 ve 56 günlük kütle değişimi

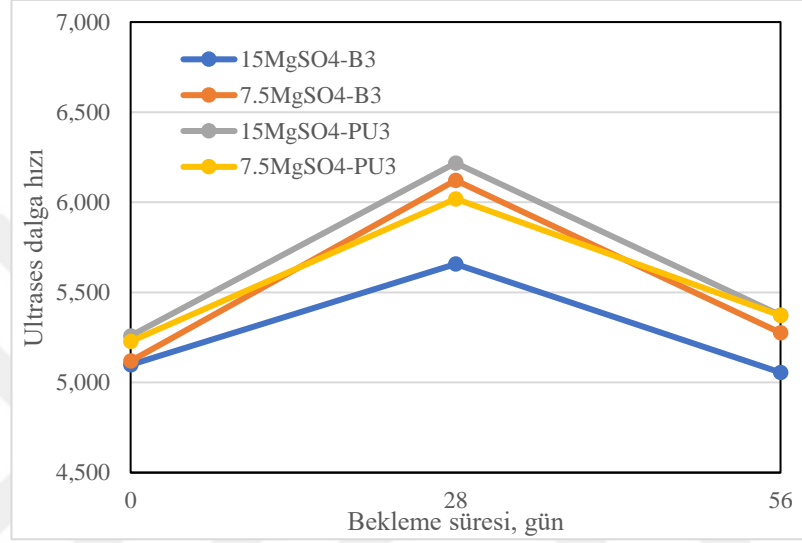
Aynı oranlarda Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı ve yalıtımsız numunelerde kütle değişiminin $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan numunelere benzer olduğu gözlenmiştir. Bitüm ve PU esaslı yalıtımlı numunelerde çözeltide bekleme süresi arttıkça kütle artış oranının arttığı gözlenmiştir. Bitüm ve PU esaslı yalıtımlı numunelerde aynı bekleme süresinde $MgSO_4$ oranı arttıkça daha fazla kütle artışı meydana gelmiştir.

Yalıtımsız numunelerdeki en fazla kütle artışı %15 Na_2SO_4 çözeltisinde olmuştur. Yalıtımlı numunelerde 56 gün sonundaki en fazla kütle artış oranı %15 Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan bitüm esaslı yalıtım malzemesi kullanılan beton numunelerde, en az kütle artışı ise %7,5 Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan PU yalıtım malzemesi kullanılan beton numunelerde gözlenmiştir. %7,5 ve 15 oranındaki Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan bitüm ve PU esaslı malzemeler ile yalıtımı yapılan beton numuneler

arasında ise en fazla kütle artışı bitüm esaslı yalıtım malzemesi kullanılan beton numunelerde gözlenmiştir.

4.1.2.2. Ultrases dalga hızı deney sonuçları

Aynı oranlarda $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilisine maruz bırakılan 3 mm kalınlıkta PU ve bitüm esaslı yalıtımlı betonlarda çözeltide bekleme süresinin ultrases dalga hızına etkisi Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.

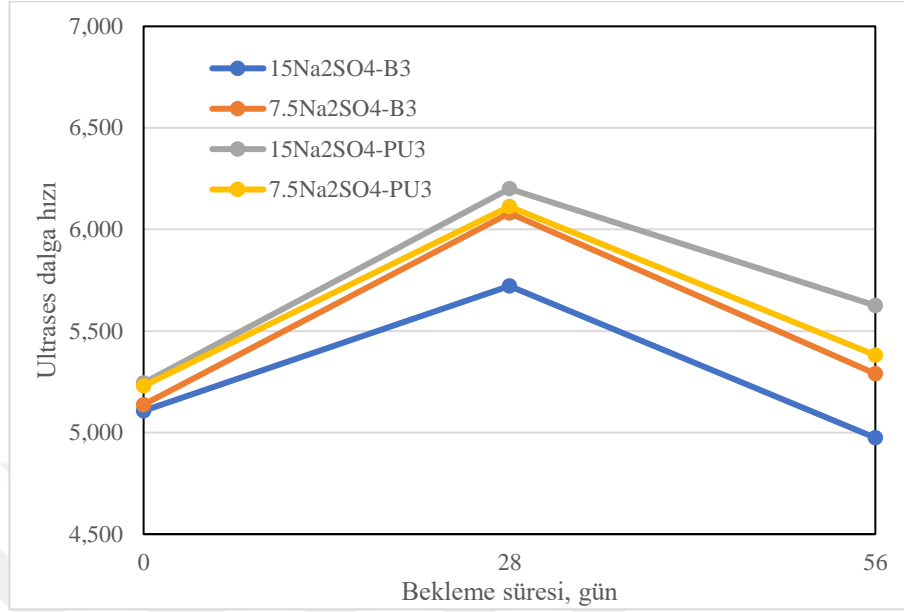


Şekil 4.21. $MgSO_4$ çözeltilisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük ultrases deney sonuçları

Aynı oranlarda $MgSO_4$ çözeltilisine maruz bırakılan bitüm ve PU esaslı yalıtımlı numunelerde ultrases dalga hızının 28 gün bekleme süresine kadar arttığı gözlenmiştir. Bu artışın, yalıtım malzemelerinin yapısında bulunan boşluklarda biriken sülfat kristalleri nedeniyle boşluk yapısının azalmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. PU esaslı yalıtım malzemesinin boşluk oranının daha az olması nedeniyle PU esaslı yalıtımlı betonda 28 gün bekleme süresinde daha yüksek ultrases değerleri elde edilmiştir. Bitüm ve PU esaslı yalıtımlı numunelerde ultrases dalga hızında 28 gün bekleme süresinden sonra azalmalar belirlenmiştir. Bu azalmaların $MgSO_4$ çözeltilisinde 28 gün bekleme süresinden sonra bitüm ve PU esaslı yalıtım malzemelerindeki deformasyona bağlı olarak artan boşluk oranından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Yalıtım malzemesinde boşluk oranı arttıkça, malzemenin geçirimsizliği artmış ve ultrases dalga hızı azalmıştır.

En yüksek geçiş hızı 28. Günde, %15 $MgSO_4$ çözeltilisine maruz bırakılan PU yalıtım malzemesi kullanılan beton numunelerde gözlenmiş olup, tüm gün ve yalıtım

çeşitleri için en düşük ultrases geçiş hızı bitüm esaslı yalıtımlı numunelerde $MgSO_4$ çözeltisinde ve %15 oranında gözlenmiştir.



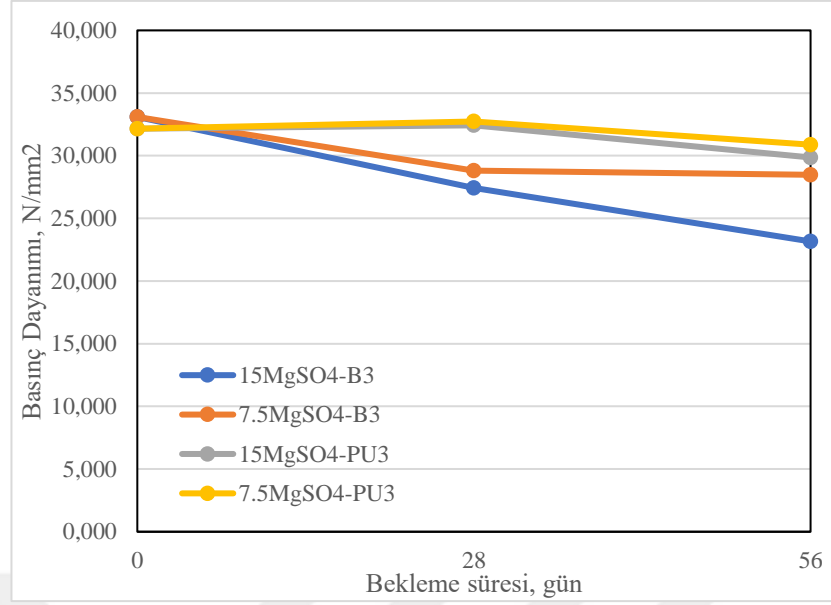
Şekil 4.22. Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük ultrases deney sonuçları

Aynı oranlarda Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan bitüm ve PU esaslı yalıtımlı numunelerde ultrases dalga hızı 28 gün bekleme süresine kadar arttığı gözlenmiştir. Bu artışın, yalıtım malzemelerinin yapısında bulunan boşluklarda biriken sülfat kristalleri nedeniyle boşluk yapısının azalmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. PU esaslı yalıtım malzemesinin boşluk oranının daha az olması nedeniyle PU esaslı yalıtımlı betonda 28 gün bekleme süresinde daha yüksek ultrases değerleri elde edilmiştir. Bitüm ve PU esaslı yalıtımlı numunelerde ultrases dalga hızında 28 gün bekleme süresinden sonra azalmalar belirlenmiştir. Bu azalmaların Na_2SO_4 çözeltisinde 28 gün bekleme süresinden sonra bitüm ve PU esaslı yalıtım malzemelerindeki deformasyona bağlı olarak artan boşluk oranından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

En yüksek geçiş hızı 28. Günde, %15 Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan PU yalıtım malzemesi kullanılan beton numunelerde gözlenmiş olup, tüm gün ve yalıtım çeşitleri için en düşük ultrases geçiş hızı bitüm esaslı yalıtımlı numunelerde Na_2SO_4 çözeltisinde ve %15 oranında gözlenmiştir.

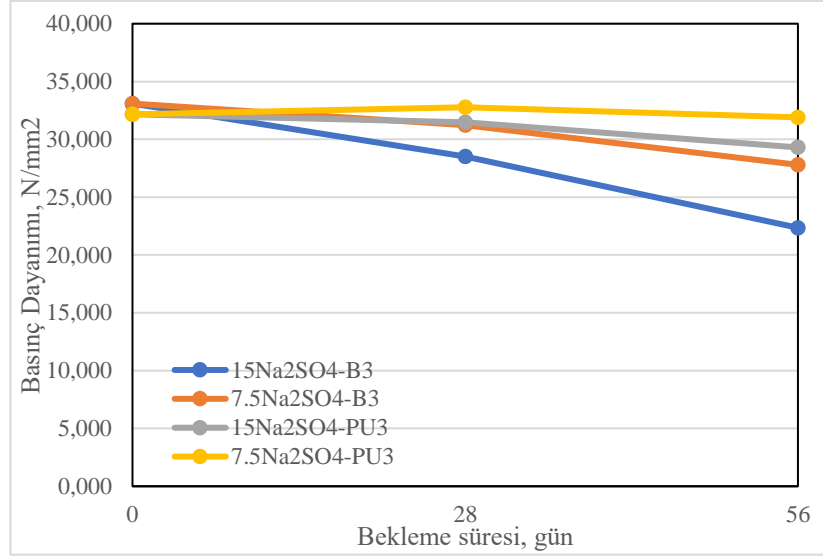
4.1.2.3. Basınç deney sonuçları

Aynı oranlarda $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan 3 mm kalınlıkta PU ve bitüm esaslı yalıtımlı betonlarda çözeltilerde bekleme süresinin basınç dayanımına etkisi Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.23. $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük basınç deneyi sonuçları

Aynı oranlarda $MgSO_4$ çözeltilerine maruz bırakılan 3 mm kalınlığında PU ve bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki 28 ve 56. Günler için en yüksek basınç dayanımı değerleri PU esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtım yapılan beton numunelerde görülmüştür. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki en yüksek basınç dayanımı %7,5 $MgSO_4$, en düşük basınç dayanımı ise %15 $MgSO_4$ çözeltisinde olmuştur. Bitüm esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerde başlangıçtan itibaren çözelti etkisiyle dayanımın düşmeye devam ettiği, PU esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerde ise başlangıç basınç dayanımına göre 28. Gün dayanımında bir fark olmadığı, 28. Günden sonra dayanımın düşmeye başladığı görülmüştür. $MgSO_4$ kimyasalına karşı, PU esaslı yalıtım malzemesinin bitüm esaslı yalıtım malzemesine göre daha dayanıklı olduğu, bitüm esaslı malzemenin çözeltiden daha fazla olumsuz etkilenerek deformasyona uğraması sonucunda çözeltinin betona daha fazla etki ettiği ve basınç dayanımının düştüğü görülmüştür.

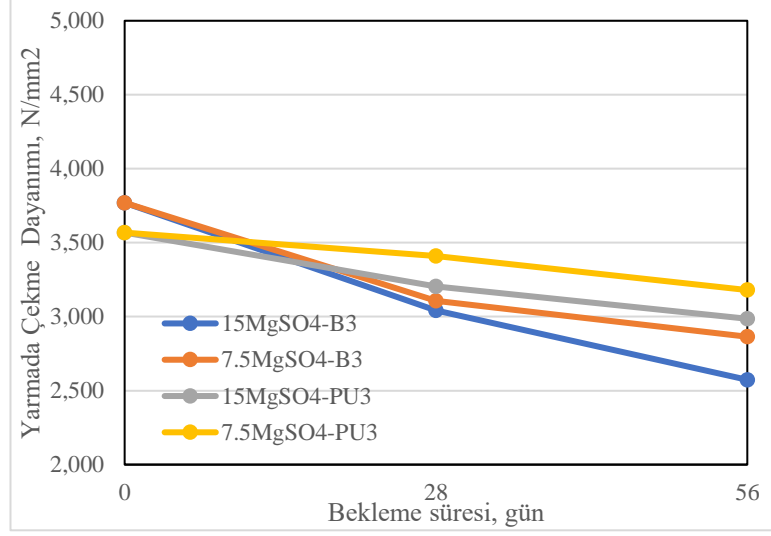


Şekil 4.24. Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük basınç deneyi sonuçları

Aynı oranlarda Na_2SO_4 çözeltilerine maruz bırakılan 3 mm kalınlığında PU ve bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki 28 ve 56. Günler için en yüksek basınç dayanımı değeri %7,5 Na_2SO_4 çözeltisindeki PU esaslı malzeme ile yalıtım yapılan beton numunelerinde görülmüştür. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki en yüksek basınç dayanımı %7,5 Na_2SO_4 , en düşük basınç dayanımı ise %15 Na_2SO_4 çözeltisinde olmuştur. Bitümlü numunelerin PU ile yalıtılan numunelere göre Na_2SO_4 çözeltilerinden daha fazla olumsuz etkilendiği görülmüştür. Özellikle Na_2SO_4 konsantrasyonunun artışı PU esaslı numunelere göre, bitüm esaslı numunelerin dayanımında olumsuz olarak daha etkili olmuştur. Na_2SO_4 kimyasalına karşı, PU esaslı yalıtım malzemesinin bitüm esaslı yalıtım malzemesine göre daha dayanıklı olduğu, bitüm esaslı malzemenin çözeltilerden daha fazla olumsuz etkilenerek deformasyona uğraması sonucunda çözeltinin betona daha fazla etki ettiği ve basınç dayanımının düştüğü görülmüştür.

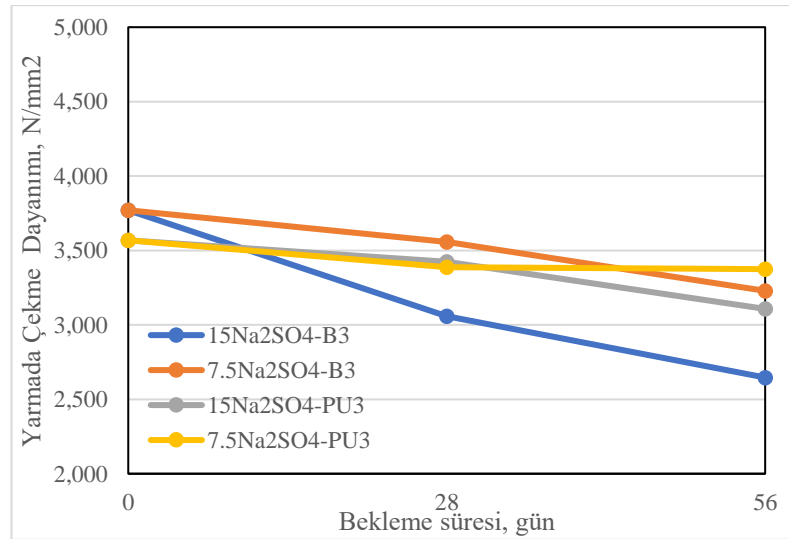
4.1.2.4. Yarmada çekme deney sonuçları

Aynı oranlarda $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan 3 mm kalınlıkta PU ve bitüm esaslı yalıtımlı betonlarda çözeltilerde bekleme süresinin yarmada çekme dayanımına etkisi Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.25. $MgSO_4$ çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük yarmada çekme deneyi sonuçları

Aynı oranlarda $MgSO_4$ çözeltilerine maruz bırakılan 3 mm kalınlığında PU ve bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki 56. Gün sonunda en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri %7,5 $MgSO_4$ çözeltisindeki PU esaslı yalıtım yapılan beton numunelerinde, en düşük dayanım değeri ise %15 $MgSO_4$ çözeltisindeki bitümlü beton numunelerde görülmüştür. Başlangıçtan itibaren 56. Gün sonuna kadarki yarmada çekme dayanım sonuçları incelendiğinde bitüm esaslı numunelerin, PU esaslı numunelere göre $MgSO_4$ çözeltilerinden daha fazla olumsuz etkilenecek deformasyona uğraması ve bu nedenle çözeltinin betona daha fazla etki etmesi sonucunda yarmada çekme dayanımının düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.26. Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük yarmada çekme deneyi sonuçları

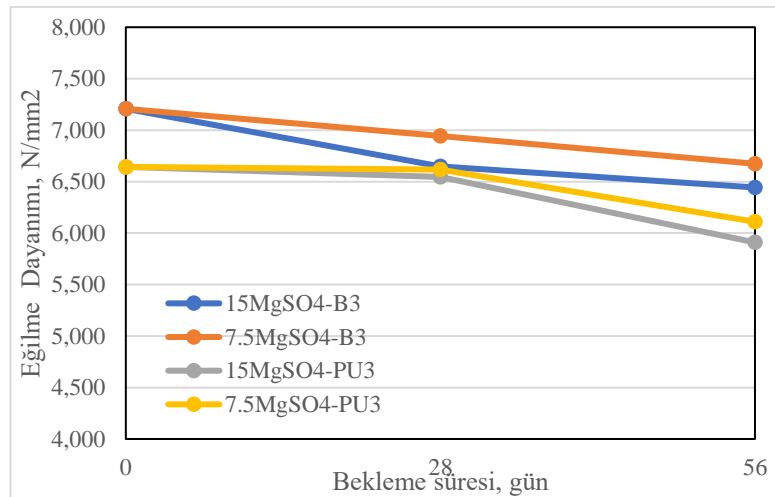
Aynı oranlarda Na_2SO_4 çözeltilerine maruz bırakılan 3 mm kalınlığında PU ve bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki 56. Gün sonundaki en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri %7,5 Na_2SO_4 çözeltisindeki PU esaslı malzeme ile yalıtım yapılan beton numunelerinde görülmüştür. Bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki en yüksek dayanım %7,5 Na_2SO_4 , en düşük dayanım ise %15 Na_2SO_4 çözeltisinde olmuştur.

Bitüm esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerde başlangıçtan itibaren dayanımın düşmeye devam ettiği, PU esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerde her iki konsantrasyon için başlangıç dayanımına göre 28. Gün dayanımında daha az bir düşüş görüldüğü, ancak 28. Günden sonra %15 konsantrasyonlu çözeltideki numunelerin yarmada çekme dayanımının daha fazla düşmeye başladığı görülmüştür.

Başlangıçtan 56. Gün sonuna kadarki yarmada çekme dayanım sonuçları incelendiğinde bitüm esaslı numunelerin, PU esaslı numunelere göre Na_2SO_4 çözeltilerinden daha fazla olumsuz etkilenerek deformasyona uğraması ve bu nedenle çözeltilerin betona daha fazla etki etmesi sonucunda yarmada çekme dayanımının düştüğü görülmüştür.

4.1.2.5. Plak eğilme deney sonuçları

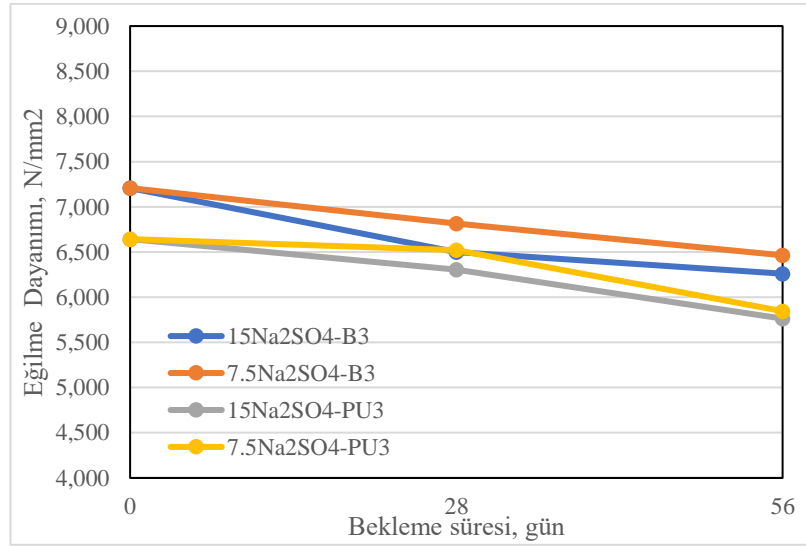
Aynı oranlarda MgSO_4 ve Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan 3 mm kalınlıkta PU ve bitüm esaslı yalıtımlı betonlarda çözeltide bekleme süresinin eğilme dayanımına etkisi Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.27. MgSO_4 çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük plak eğilme deneyi sonuçları

%7,5 ve 15 oranındaki $MgSO_4$ çözeltilerine maruz bırakılan 3 mm kalınlığında PU ve bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki 28 ve 56. Günler için en yüksek eğilme dayanımı değerleri %7,5 $MgSO_4$ çözeltisindeki bitüm esaslı yalıtım yapılan beton numunelerde görülmüştür. 56. Gün sonunda en düşük dayanım ise %15 $MgSO_4$ çözeltisinde PU ile yalıtılan beton numunelerde görülmüştür. Ancak bu durum bitümlü numunelerin başlangıç dayanımlarının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Başlangıçtan 56. Gün sonuna kadarki eğilme dayanımı sonuçlarına bakıldığında %15 $MgSO_4$ çözeltisine maruz kalan bitümlü beton numunelerin daha fazla olumsuz etkilendiği ve bu nedenle betonun çözeltiliye daha fazla maruz kalması nedeniyle dayanımın düştüğü görülmüştür.

PU ile yalıtımı yapılan numunelerde 28. Gün dayanım sonuçları her iki konsantrasyon için yaklaşık sonuçlarda iken, 28. Günden sonra %15 konsantrasyonlu çözeltinin olumsuz etkileri daha fazla görülmeye başlamıştır. Bitüm ile yalıtım yapılan numunelerde ise başlangıçtan itibaren dayanımda düşüş görülmüş olup, PU ile yalıtılan numunelere göre konsantrasyon artışının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi daha fazla görülmüştür. PU esaslı yalıtım malzemesinin 28. Güne kadar kimyasala karşı daha fazla dayanım gösterdiği, 28. Günden sonra çözeltiliye karşı dayanımını yitirmeye başladığı gözlenmiştir.



Şekil 4.28. Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan yalıtımlı (3 mm) beton numunelerin 28 ve 56 günlük plak eğilme deneyi sonuçları

%7,5 ve 15 oranındaki Na_2SO_4 çözeltilerine maruz bırakılan 3 mm kalınlığında PU ve bitüm esaslı su yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerdeki 28 ve 56. Günler için en yüksek eğilme dayanımı değeri 56. Gün sonunda %15 Na_2SO_4 çözeltisindeki

bitüm esaslı malzeme ile yalıtım yapılan beton numunelerinde görülmüştür. En düşük değer ise %7,5 Na₂SO₄ çözeltisindeki PU ile yalıtılan beton numunelerde görülmüştür. Ancak bu durum bitümlü numunelerin başlangıç dayanımlarının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Başlangıçtan 56. Gün sonuna kadarki eğilme dayanımı değerlerine bakıldığında her iki yalıtım malzemesi ile yalıtılan numunelerin Na₂SO₄ çözeltilerinden benzer şekilde etkilendiği görülmüştür. Konsantrasyon artışının eğilme dayanımı üzerindeki olumsuz etkisi her iki yalıtım malzemesine ait numunelerde benzer şekildedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıklardaki temel su yalıtım malzemelerinin özelliklerine %5 ve %15 oranlarındaki $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerin etkilerinin belirlenmesi ve iki farklı su yalıtım ürünü ile 3 mm kalınlığında yalıtımı yapılan beton numunelerin özelliklerine %7,5 ve %15 oranlarında $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin etkilerinin belirlenmesi için iki aşamada deneysel çalışma yapılmıştır.

Buna göre 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;

- 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, çözeltilerde 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 çözeltilerdeki 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 artıkça çekme dayanımında azalmalar meydana gelmiştir.
- Her iki çözelti türünde çekme dayanımında en fazla azalma, %15 MgSO₄ çözeltisinde bekleyen bitüm esaslı numunelerde gözlenmiştir. PU esaslı numunelerin MgSO₄ çözeltisinden daha az etkilendiği görülmüştür.
- PU ve bitüm esaslı %5 ve %15 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerde, kalınlık artıkça çekme dayanımında daha fazla azalma meydana gelmiştir.
- Bitüm esaslı numunelerde kalınlık artıkça 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 artıkça uzama oranlarında azalma meydana gelmiştir.
- PU esaslı numunelerde en düşük kopmada uzama oranı, %15 Na₂SO₄ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.
- %15 MgSO₄ ve Na₂SO₄ 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 artıkça uzama oranlarında azalma meydana gelmiştir.
- Bitüm esaslı numunelerde, en yüksek kopmada uzama oranı, %5 MgSO₄ çözeltisinde 3 gün bekletilen numunelerde ve en düşük kopmada uzama oranı ise %15 Na₂SO₄ çözeltisinde 28 gün bekletilen numunelerde görülmüştür.
- Her bir kalınlık ve çözeltilerde bekleme süresinde PU ve bitüm esaslı numunelerde en düşük kopmada uzama oranı %15 Na₂SO₄ çözeltisinde meydana gelmiştir. PU ve bitüm esaslı numunelerin kopmada uzama oranı sonuçları açısından değerlendirildiğinde en fazla %15 Na₂SO₄ 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 dayanıklı olduğu görülmüştür. PU esaslı numunelerin deformasyon kabiliyeti ve kimyasal koşullara dayanıklılığının bitüm esaslı numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

PU ve bitüm esaslı olmak üzere iki farklı su yalıtım ürünü ile 3 mm kalınlığında yalıtımı yapılan beton numunelerin özelliklerine %7,5 ve %15 oranlarında $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 çözeltilerinin etkilerinin belirlenmesi için yapılan kütle değişimi, ultrases dalga hızı, basınç dayanımı, plak eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar;

- Kütle değişimi deney sonuçlarına göre yalıtımsız numunelerdeki kütle artışı oranı, yalıtımlı numunelere göre çok daha yüksek çıkmıştır. Yalıtımsız betonun gözenekli yapısı nedeniyle daha fazla su/çözelti emerek kütlede artış görüldüğü, yapılan yalıtımın betona etki eden su/çözeltiye engel olması sayesinde PU esaslı yalıtım malzemesinin bitüm esaslı yalıtım malzemesine göre daha koruyucu film tabakası oluşturduğu görülmektedir. Ancak her iki su yalıtım malzemesinin de kütle değişimi açısından olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Tüm çözelti cinsleri ve oranlarının 28 ve 56 gün sonunda yalıtımlı ve yalıtımsız beton numuneler üzerindeki kütle artış oranına etkisi incelendiğinde; yalıtımsız betonun Na_2SO_4 çözeltilerinden daha fazla etkilendiği, bitüm esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan betonların ise 28 ve 56 günler için Na_2SO_4 çözeltilerinden PU ile yalıtılan beton numunelere kıyasla daha fazla etkilendiği görülmüştür. PU esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan betonlar ise her iki çözelti cinsi ve oranından benzer şekilde etkilenmiştir.
- Ultrases dalga hızı deney sonuçlarına göre; her iki çözelti ve konsantrasyonlardaki sonuçlar incelendiğinde ultrases geçiş hızları başlangıca göre 28. Günde artış gösterirken, 28. Günden sonra düşüş eğilimine girmiştir. Geçiş hızlarının 28. Günde artış göstermesinin, yalıtım malzemelerinin yapısında bulunan boşluklarda biriken sülfat kristalleri nedeniyle boşluk yapısının azalmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Çözeltide bekleme süresi arttıkça çözeltinin beton ve yalıtım malzemeleri üzerinde oluşturduğu olumsuz etki ile oluşan deformasyonlar nedeniyle ultrases geçiş hızının da düştüğü düşünülmektedir.

- Basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde; bitüm ve PU esaslı yalıtım malzemelerinin her ikisinin de %15 MgSO₄ çözeltisinden olumsuz etkilendiği ancak bitümlü numunelerin PU esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan numunelere göre MgSO₄ çözeltilerinden daha fazla olumsuz etkilenerek deformasyona uğraması ve bu nedenle çözeltinin betona daha fazla etki etmesi sonucunda basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. Özellikle MgSO₄ konsantrasyonunun artışı PU esaslı numunelere göre, bitüm esaslı numunelerin dayanımında olumsuz olarak daha etkili olmuştur. MgSO₄ kimyasalına karşı, PU esaslı yalıtım malzemesinin bitüm esaslı yalıtım malzemesine göre daha dayanıklı olduğu sonucuna varılabilir.
- Basınç dayanımı sonuçları açısından bitümlü numunelerin, PU ile yalıtılan numunelere göre Na₂SO₄ çözeltilerinden daha fazla olumsuz etkilenerek deformasyona uğraması ve bu nedenle çözeltinin betona daha fazla etki etmesi sonucunda basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. Özellikle Na₂SO₄ konsantrasyonunun artışı PU esaslı numunelere göre, bitüm esaslı numunelerin dayanımında olumsuz olarak daha etkili olmuştur. Na₂SO₄ kimyasalına karşı, PU esaslı yalıtım malzemesinin bitüm esaslı yalıtım malzemesine göre daha dayanıklı olduğu sonucuna varılabilir.
- Her iki çözelti ve oranları içerisinde; bitüm esaslı yalıtım ile yalıtım yapılan numunelerde basınç dayanımının sürekli düştüğü gözlenirken, PU esaslı yalıtım malzemesi ile yalıtılan beton numunelerde ise başlangıça göre 28. Gün dayanımında çok az düşüş gerçekleştiği, 28. Günden sonra dayanımın düşmeye başladığı görülmüştür. Çözeltilerin konsantrasyon oranlarındaki artışın her iki su yalıtım malzemesi ile yalıtım yapılan beton numunelerin basınç dayanımı sonuçlarında düşüşe neden olduğu görülmüştür.
- Başlangıçtan itibaren 56. Gün sonuna kadarki yarmada çekme dayanım sonuçları incelendiğinde bitüm esaslı numuneler, PU esaslı numunelere göre MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltilerinden daha fazla olumsuz etkilenmiştir. Yarmada çekme dayanımı açısından, PU esaslı yalıtım malzemesinin bitüm esaslı yalıtım malzemesine göre MgSO₄ ve Na₂SO₄ kimyasallarına karşı daha dayanıklı olduğu sonucuna varılabilir.
- Eğilme dayanımı sonuçlarına göre bitüm ile yalıtım yapılan numunelerde başlangıçtan itibaren dayanımda düşüş görülmüş olup, PU ile yalıtılan numunelere göre konsantrasyon artışının dayanım üzerindeki olumsuz etkisi daha

fazla görülmüştür. Her iki su yalıtım malzemesi de %15 MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltilerinden daha fazla olumsuz etkilenmiştir. PU esaslı yalıtım malzemesinin 28. Güne kadar MgSO₄ ve Na₂SO₄ kimyasallarına karşı daha fazla dayanım gösterdiği, 28. Günden sonra çözeltilere karşı dayanımını yitirmeye başladığı sonucuna varılabilir. Konsantrasyon artışının eğilme dayanımı üzerindeki olumsuz etkisi her iki yalıtım malzemesine ait numunelerde benzer şekilde sonuçlanmıştır.

- Bitüm esaslı malzemenin tüm çözeltiler ve oranlarından daha kısa sürede etkilenerek dayanım kayıpları olduğu ancak PU esaslı malzemenin kısa vadede çok daha az etki gördüğü ve uzun vadede dayanım kayıpları olduğu görülmüştür.
- Temel yalıtımlarında, yalıtımın üzeri örtüldükten sonraki sürede temellerin açılıp kontrol edilmesi ve gerekli durumlarda su yalıtımının yenilenmesi her zaman mümkün olmamakla birlikte, yapılsa dahi uygulama açısından çeşitli zorluklar yaratmaktadır. Bu nedenle bu çalışmadan sonra yapılacak deneysel çalışmalarda, su yalıtım malzemelerinin kimyasallara karşı uzun vadedeki koruma etkisinin görülmesi için, yalıtım yapılan betonların çözeltilerde daha uzun süre tutulması, çözeltilerin su yalıtım malzemeleri ve beton dayanımları üzerindeki etkilerinin daha ileri yaşlarda incelenmesi önerilebilir. Yapılacak çalışmalar kapsamında yeraltı suyunda bulunan farklı kimyasal çözeltiler ile de çalışmanın kapsamı genişletilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Bohus, S., Drochytka, R. and Taranza, L. (2012). Fly-ash usage in new cement-based material for concrete waterproofing. *Advanced Materials Research.*, Vols (535-537), 1902-1906.
- [2] Haberal, Y. (2010). *Uçucu küllü betonlarda klor iyonu geçirgenliğinin ve donatı korozyonunun incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Baradan, B. ve Aydın, S. (2013). Betonun durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). *Beton 2013-Hazır Beton Kongresi Çağrılı Bildirileri, Makale Article*, 54-68.
- [4] Şen, A. (2006). *Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri dünyada ve Türkiye’de yalıtım*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Kartal, S. ve Üstündağ, S. I. (2016). Yapılarda su yalıtım uygulamalarının önemi ve maliyeti. *Mühendislik Dergisi Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Cilt (7), 399-408.
- [6] Dağ, F. (2001). *Suyun yapıdaki etkileri ve yapıların suya karşı yalıtımı*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] Naimi, S. ve Özdemir, Z. (2020). Yapılarda yer altı suyuna karşı yapılan koruma sistemlerinin uygulanabilirliği ve güvenliğinin incelenmesi. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 4 (1), 113-133.
- [8] Şimşek, Z. (2019). Çatı ve cephede su yalıtım malzemelerinin seçim kriterlerinin incelenmesi. *Journal Of Awareness*, Cilt (4), 227-238.
- [9] Akyol, K. (2008). *Su yalıtımı ve su geçirimsizlik katkı oranlarının beton su emmesine ve basınç dayanımına etkilerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Mayuk, G. S. (2020). Yeni yapılacak bina temellerinde gerekli su yalıtımı önlemlerinin belirlenmesi ve denetimine yönelik bir öneri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 10 (3), 535-544.
- [11] Akçay, O. ve Çullu M. (2022). Farklı karışım özelliklerine sahip betonların sülfat dirençlerinin belirlenmesi. *ALKU Journal of Science*, 4 (1), 21-31.
- [12] Yıldırım, M. (2012). *Yapılarda su geçirimsizliği ve yalıtım teknolojisi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [13] Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Çınar, E. ve Eryeşil, Ö. (2020). Yüzeysel su yalıtımlı betonların bazı durabilite özelliklerinin araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 1245-1257.
- [14] Şimşek, Z. (2005). *Yapı yeraltı kabuğunda su ve nem sorunlarının geçirimsiz malzeme ile giderilmesinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15] Tüfekçi, M.M., Gökçe, A., Kabay, N. ve Kılızkanat, A.B. (2022). Beton yapılarda su yalıtımı uygulamaları üzerine bir araştırma. *Hazır Beton Dergisi*, Eylül-Ekim, 72-76.

- [16] Şahinoğlu, M. (2017). *Su yalıtımında kullanılan malzeme çeşitleri ve temel ve bodrum perdelerinde su yalıtımının önemi*, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi.
- [17] Üstündağ, S. I. (2016). *Su yalıtımının yapı maliyetindeki yeri ve uygulamasının önemi*. Yüksek Lisans Tezi. Edirne: Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] Tekin, Ç. (2010). Deprem güvenliğinde temellerin suya karşı yalıtımının önemi. *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi. 4-5 Mart 2010.
- [19] Nam, E. (1997). *Yeraltı su seviyesi altında bulunan yapı elemanlarında su yalıtım uygulama yöntemleri ve kullanılan malzemeler*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] Ozdemir, Z. (2020). *Yapılarda yeraltı suyuna karşı yapılan koruma sistemlerinin uygulanabilirliğinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Eğitim Enstitüsü.
- [21] Ağaca, M. (2019). *Geçirimsizlik sağlayan beton katkılarının donatı korozyonuna etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] Uygunoğlu, T., Yücel, K.T. ve Yurtçu, Ş. (2006). Betonun zararlı ortamlardaki durumu: Yeraltı suyu etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2006 (1), 29 – 35 ISSN:1305-631X
- [23] Kuyumcu, H.M. (2006). *Deniz suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] Dal, M. ve Yılmaz, D. (2015). Su-Nemin yapı elemanlarına ve yapı konforuna olumsuz etkileri. *Int. J. Pure Appl. Sci.* 1: 89-99.
- [25] Aydın, Ö. (2012). *Beton yapılarda donatı korozyonunun önlenmesine yönelik tedbirlerin araştırılması*. Doktora Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] Ilıca, T. (2008). *Farklı çimentolarla üretilen betonlarda sülfat etkisi ve klorür geçirimsizliği*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [27] Kısa, H. (2015). *Diatomitin su yalıtım membranlarında dolgu malzemesi olarak kullanılmasıyla elde edilecek performans artışlarının analiz edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28] Akıncıtürk, N. (2001). Yapı temellerinde su sorunu ve yalıtım uygulamaları. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi. 23-24-25 Mart 2001 Eskişehir, Türkiye.
- [29] Ekinci, C. ve Yıldırım T. (2004). Betonarme temel ve bodrum perdelerinde su-nem yalıtımının önemi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*. Cilt (2),11-17.
- [30] Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü. “Binalarda Su Yalıtımı Yönetmeliği” (2017, 27 Ekim). Resmî Gazete (Sayı: 30223). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/10/20171027-1.htm> (Erişim tarihi: 23.10.2023)

- [31] Gönül, İ.A. ve Çelebi, G. (2003). Binalarda zeminden kaynaklanan nemlenmeyi önleme yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (4), 109-122.
- [32] TS EN 12311-2. (2020). *Su sızdırmazlık amaçlı esnek levhalar-çekme özelliklerinin tayini – Bölüm 2: Çatı sızdırmazlığı için plastik ve kauçuk levhalar.*
- [33] TS EN 933–2. (2020). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 2: Tane boyutu dağılım tayini-Deney elekleri, elek göz açıklıklarını anma büyüklükleri.*
- [34] TS EN 1097-6. (2022). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini.*
- [35] TS 802. (2016). *Beton karışım tasarımı hesap esasları.*
- [36] ASTM C 1012 – 02. (2016). *Standard Test Method for Length Change of Hydraulic -Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, USA.*
- [37] ASTM D 570-98. (1998). *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, USA.*
- [38] ASTM D 412 – 06a. (2006). *Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension, USA.*
- [39] TS EN 206-A2. (2021). *Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk.*
- [40] ASTM C 642. (2022). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, USA.*
- [41] TS EN 12504-4. (2021). *Yapılarda beton deneyleri- Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini.*
- [42] TS EN 12390-4. (2019). *Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 4: Basınç dayanımı- Deney makinelerinin özellikleri.*
- [43] TS EN 12390-6. (2010). *Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini.*
- [44] EFNARC. (2011). *Three point bending test on square panel with notch.*

http-1:

https://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yal%C4%B1t%C4%B1ma%20Haz%C4%B1rl%C4%B1k.pdf (Erişim tarihi: 02.11.2023)

http-2: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/polimerbitumlumembranlarlatemel-ve-terassuyalitimuyg.pdf> (Erişim tarihi: 02.11.2023)

http-3: https://www.izoder.org.tr/binalarda-su-yalitimi-yonetmeligi-aciklama-ve-uygulama-kilavuzu/syy-kilavuzu-bolum-1-temeller/syy-kilavuzu-bolum-1-temeller_n3.pdf (Erişim tarihi 02.11.2023)

http-4: <https://www.kyk.com.tr/blogdetay-su-yalitimi-malzemeleri> (Erişim tarihi: 02.11.2023)

http-5: <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Su-Yalitimi.pdf> (Erişim tarihi 02.11.2023)

http-6: <https://koster.com.tr/uploads/contents/koster-katalog-2023.pdf> (Erişim tarihi 02.11.2023)

http-7: <https://www.sikawaterproofing.co.uk/sikalastic-8800-the-power-behind-high-concrete-protection-and-waterproofing/> (Erişim tarihi 02.11.2023)



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-6558-0996

Ad Soyad : Gamze Sunar Şahin

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2014, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- 2015-2017, Kontrol Mühendisi, Yöntem Yapı Denetim San.Tic.A.Ş.
- 2019-2024, Pazarlama ve Müşteri Deneyimi Uzmanı, KYK Yapı Kimyasalları A.Ş.