



**SÜLFONAT ESASLI KATKI KULLANILARAK
HAZIRLANAN ÇİMENTO HARÇLARININ MEKANİK
VE MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERİNE KATKI
ORANININ ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Deniz Tuğçe ALGAN

Eskişehir 2019

**SÜLFONAT ESASLI KATKI KULLANILARAK
HAZIRLANAN ÇİMENTO HARÇLARININ
MEKANİK VE MİKROYAPISAL
ÖZELLİKLERİNE KATKI ORANININ ETKİSİ**

Deniz Tuğçe ALGAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ö. Mete KOÇKAR**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mayıs 2019**

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 1708F482 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Deniz Tuğçe ALGAN'ın "Sülfonat Esaslı Katkı Kullanılarak Hazırlanan Çimento Harçlarının Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerine Katkı Oranının Etkisi" başlıklı tezi 28/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Kimya Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Ö. Mete KOÇKAR	
Üye	: Prof. Dr. Nezihe AYAS	
Üye	: Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ	

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET

SÜLFONAT ESASLI KATKI KULLANILARAK HAZIRLANAN ÇİMENTO HARÇLARININ MEKANİK VE MİKROYAPISAL ÖZELLİKLERİNE KATKI ORANININ ETKİSİ

Deniz Tuğçe ALGAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mayıs 2019

Danışman: Prof. Dr. Ö. Mete KOÇKAR

Yapılan tez çalışmasında, sülfonat esaslı katkıların farklı oranlarda kullanılmasının harç ve betonların işlenebilirliğine, basınç dayanımına ve mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sabit su/çimento oranı kullanılarak katkısız ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1,0 oranlarında katkı kullanılarak hazırlanan taze çimento harçlarının işlenebilirliği ölçülmüştür. Katkı oranının artmasıyla, işlenebilirliğin arttığı gözlenmiştir. Çimento harçlarının 7 ve 28 gün sonunda basınç dayanımları ölçülmüştür. Numunelerde kullanılan katkıların mikroyapısal özelliklerde meydana getirdiği değişiklikler X- Işını Kırınımı cihazı (XRD), Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR) ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir. Çimento 1 ile hazırlanan 7 ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerde naftalin sülfonat için en uygun katkı miktarı %0,5 (g/ g çimento), lignosülfonat+naftalin sülfonat için %0,2 (g/ g çimento) ve melamin sülfonat için %1 (g/ g çimento) olarak belirlenmiştir. Çimento 2 ile hazırlanan 7 ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerde, lignosülfonat+naftalin sülfonat için %1,0 (g/ g çimento) ve melamin sülfonat için %0,5 (g/ g çimento) olarak belirlenmiştir. Naftalin sülfonat esaslı katkı için 7 gün yaşlandırılmış numunede %0,5 (g/ g çimento), 28 gün yaşlandırılmış numune için ise %1,0 (g/ g çimento) olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sülfonat esaslı katkıları, Basınç dayanımı, Mekanik özellikler, Mikroyapısal özellikler

ABSTRACT

THE EFFECT OF ADMIXTURE RATE ON THE MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF CEMENT MORTARS PREPARED BY USING SULFONATE BASED ADMIXTURES

Deniz Tuğçe ALGAN

Department of Chemical Engineering

Programme in Chemical Technologies

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, May 2019

Supervisor: Prof. Dr. Ö. Mete KOÇKAR

In the thesis study, the effects of using sulfonate based admixtures on the workability, compressive strength and microstructural properties of mortars and concretes were investigated. Using constant water / cement ratio, the workability of the fresh cement mortars prepared without admixtures and using 0.2%, 0.3%, 0.5% and 1.0% in the ratio of admixtures was measured. With the increase of the admixture rate, it was observed that the workability increased. After curing cement mortars for 7 and 28 days in water, compressive strengths were measured. X-ray diffractometer (XRD), Fourier Transformation Infrared Spectrometer (FT-IR) and Scanning Electron Microscopy (SEM) were used to evaluate the changes in microstructural properties. The most appropriate admixture amount for naphthalene sulfonate in samples aged 7 and 28 days prepared with Cement 1 was 0.5% (g / g cement), 0.2% (g / g cement) for lignosulfonate + naphthalene sulfonate and 1% (g / g cement) for melamine sulfonate. For samples aged 7 and 28 days prepared with Cement 2, the most appropriate admixture amount was 1.0% (g / g cement) for lignosulfonate + naphthalene sulfonate and 0.5% (g / g cement) for melamine sulfonate. For naphthalene sulfonate-based admixture, 0.5% (g / g cement) was determined in the sample aged 7 days and 1.0% (g / g cement) for 28 days aged sample.

Key words: Sulphonate based admixtures, Compressive strength, Mechanical properties, Microstructural properties.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübesiyle yolumu aydınlatan, anlayışı ve bilgisini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Ö. Mete KOÇKAR’a, gerek ders aşaması gerekse tez aşamasında sevgisi, ilgisi ve tecrübesiyle her daim yanımda olduğunu bildiğim sevgili hocam Dr. Öğretim Üyesi Evren ARIÖZ’e, çalışmalarımda sağladığı teknik destekten dolayı Prof. Dr. Ömer ARIÖZ’e, bana öğrettikleri için kıymetli hocam Dr. Ferdi BOZKURT’a, Eskişehir Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümü ile Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü laboratuvarlarına ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkez Laboratuvarı’na teşekkürlerimi sunarım.

Kıymetli ailem, sizin beni yüreklendirmeniz, bana güveniniz ve desteğiniz olmasaydı şu anda bulunduğum noktaya gelemezdim, sizlere ne kadar şükretsem az... Canım Özgür’e, değerli dostlarım ‘Ma girlz’ Emel, Büşra ile Selin’e ve Meltem’e hep yanımda olup tez yazma sürecimi (ve daha bir sürü şeyi) kolaylaştırdıkları için teşekkür ederim.

....../....../20....

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 ilke 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.

.....
Deniz Tuğçe ALGAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇİMENTO.....	3
2.1. Hidratasyon Sırasında Gerçekleşen Tepkimeler	5
3. BETON.....	7
3.1. Beton Harcının Mikroyapısal Özellikleri.....	8
3.1.1. Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeli.....	8
3.1.2. Kalsiyum hidroksit (CH)	8
3.1.3. Kalsiyum mono sülfat	8
3.1.4. Hidrate olmamış çimento tanecikleri	8
4. KATKI MADDELERİ	10
4.1. Mineral Katkı Maddeleri.....	10
4.1.1. Doğal puzolanlar	10
4.1.2. Yapay puzolan	13
4.2. Kimyasal Katkı Maddeleri	13
4.2.1. Hava sürükleyici katkıları	13
4.2.2. Normal ve yüksek oranda su azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar).....	14
4.2.3. Priz geciktirici katkıları.....	19
4.2.4. Priz hızlandırıcı katkıları.....	19
5. ÇİMENTO-SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI UYUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	20
5.1. Çimento Kaynaklı Etkiler	20
5.1.1. Çimentonun kimyasal kompozisyonu.....	20
5.1.2. Çimentonun inceliği.....	20
5.1.3. Kalsiyum sülfat miktarı ve formu	21
5.1.4. Çimentonun alkali içeriği.....	21
5.1.5. Öğütmeyi kolaylaştırıcı katkıların etkisi.....	21
5.2. Süper Akışkanlaştırıcı Kaynaklı Etkiler.....	21
5.2.1. Katkı kökeni, moleküler ağırlık, sülfonasyon ve polimerizasyon derecesi etkisi	21
5.2.2. Karşıt iyon kökeni etkisi	22
5.2.3. Süper akışkanlaştırıcının çimento üzerinde tutunması	22
5.2.4. Süper akışkanlaştırıcının karışıma eklenme zamanı	22
5.2.5. Sıcaklık etkisi.....	22

	<u>Sayfa</u>
6. KONUSYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	23
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
7.1. Kum.....	25
7.2. Çimento	25
7.3. Kimyasal katkı	27
7.4. Yayılma Testi	28
7.5. Eğilme ve Basınç Dayanımı	29
7.6. XRD (X-Ray Diffraction/ X- Işını Kırınımı) Cihazı.....	30
7.7. SEM (Scanning Electron Microscope/ Taramalı Elektron Mikroskobu) Cihazı	31
7.8. FT-IR Spektrometresi (Fourier Transform Infrared Spectrometer/ Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrometresi)	32
8. SONUÇLAR.....	34
8.1. Basınç Dayanımı Sonuçları.....	34
8.1.1. Farklı çimento kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi... 41	41
8.1.2.Farklı tür akışkanlaştırıcı kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi.....	47
8.1.3. Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi.....	51
8.2. X-Işını Kırınımı Spektrometresi (XRD) Cihazı Sonuçları.....	56
8.2.1. Farklı tür akışkanlaştırıcı kullanımının XRD spektrumuna etkisi.....	57
8.2.2.Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının XRD spektrumuna etkisi	71
8.3. FT-IR Spektroskopisi Sonuçları.....	88
8.3.1. Farklı tür akışkanlaştırıcı kullanımının FT-IR spektroskopisi sonuçlarına etkisi	89
8.3.2. Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının FT-IR spektroskopisi sonuçlarına etkisi	102
8.4. SEM Görüntüleri Sonuçları.....	118
8.4.1.Farklı tür akışkanlaştırıcı kullanımının SEM görüntüleri sonuçlarına etkisi	119
8.4.2.Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının SEM görüntüleri sonuçlarına etkisi	131
9. DEĞERLENDİRME, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	148
KAYNAKÇA.....	151
ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1.1. Yaşlandırma süresine göre asgari ve azami basınç dayanımı değerleri	3
Çizelge 2.1. Çimento fazları	6
Çizelge 2.2. Ana Bileşenlerin Özellikleri	7
Çizelge 7.1. CEN Referans kumunun tane büyüklüğü ve dağılımı	25
Çizelge 7.2. Çimento 1'in kimyasal bileşimi.....	26
Çizelge 7.3. Çimento 2'nin kimyasal bileşimi.....	26
Çizelge 7.4. Katkıların ad ve özellikleri	27
Çizelge 8.1. Çimento 1 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin yayılma çapı sonuçları	34
Çizelge 8.2. Çimento 1 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılan numunelerin basınç dayanımı sonuçları	35
Çizelge 8.3. Çimento 1 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin yayılma çapı sonuçları	36
Çizelge 8.4. Çimento 1 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı sonuçları	37
Çizelge 8.5. Çimento 2 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin yayılma çapı sonuçları	38
Çizelge 8.6. Çimento 2 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin dayanımı sonuçları	39
Çizelge 8.7. Çimento 2 ile hazırlanan numunelerin 28 günlük yayılma çapı sonuçları .	40
Çizelge 8.8. Çimento 2 ile hazırlanan numunelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları	41

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 2.1. Çimento üretim aşamaları (1) hammaddenin taşınması, (2) hammadde- nin kırılması, (3) farin değirmeninde öğütme, (4) stoklama, (5) döner fırında pişirme, (6) klinkerin stoklanması ve öğütülmesi, (7) paketleme.....	11
Şekil 3.1. Newton ve Bingham akışkanlarının davranış farkı	15
Şekil 3.2. A: Kısmen hidrate olmuş çimento tanecikleri, B: C – S – H, C: hava boşluğu ve agregalar, D: CH, m: kalsiyum mono sülfat (AFm).....	17
Şekil 4.1. Lignosülfonat esaslı katkının yapısı	22
Şekil 4.2. Naftalin sülfonat esaslı katkının yapısı.....	23
Şekil 4.3. Melamin sülfonat esaslı katkının yapısı	23
Şekil 4.4. Çimento taneciklerinin elektrostatik etkiyle yüklenmesi	24
Şekil 4.5. Çimento tanecikleride görülen sterik etki.....	24
Şekil 7.1. (a) Hassas terazi, (b) Tartı, (c) Mikser, (d) Sarsma cihazı, (e) Su banyosu.....	34
Şekil 7.2. Yayılma tablası	35
Şekil 7.3. Eğilme ve basınç dayanımı cihazı	36
Şekil 7.4. XRD cihazı	37
Şekil 7.5. Taramalı elektron mikroskobu (a) döner pompalı kaplayıcı, (b) numune tablası, (c) SEM cihazı.....	38
Şekil 7.6. FT-IR Spektroskopisi cihazı	39
Şekil 8.1. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri.....	48
Şekil 8.2. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırla- nan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri	49
Şekil 8.3. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri.....	50
Şekil 8.4. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri.....	51
Şekil 8.5. Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırla- nan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri	52
Şekil 8.6. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri.....	53
Şekil 8.7. Naftalin sülfonat esaslı katkının (a) 7 günlük ve (b) 28 günlük	

yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları	54
Şekil 8.8. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının (a) 7 günlük ve (b) 28	
günlük yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları	54
Şekil 8.9. Melamin sülfonat esaslı katkının (a) 7 günlük ve (b) 28	
günlük yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları	55
Şekil 8.10. Naftalin sülfonat esaslı katkının (a) 7 günlük ve (b) 28	
günlük yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları	56
Şekil 8.11. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının (a) 7 günlük ve (b) 28	
günlük yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları	56
Şekil 8.12. Melamin sülfonat esaslı katkının (a) 7 günlük ve (b) 28	
günlük yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları	57
Şekil 8.13. Çimento 1 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında	
7 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları	58
Şekil 8.14. Çimento 1 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında	
28 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları	59
Şekil 8.15. Çimento 2 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında	
7 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları	60
Şekil 8.16. Çimento 2 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında	
28 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları	61
Şekil 8.17. Çimento 1 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 ve 28 günlük XRD	
spektrumu.....	62
Şekil 8.18. Çimento 2 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 ve 28 günlük XRD	
spektrumu.....	63
Şekil 8.19. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7	
günlük XRD spektrumu	64
Şekil 8.20. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırla-	
nan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu	65
Şekil 8.21. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin	
7 günlük XRD spektrumu	66
Şekil 8.22. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7	
günlük XRD spektrumu	67
Şekil 8.23. Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile	

hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu	68
Şekil 8.24. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu	69
Şekil 8.25. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	70
Şekil 8.26. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	71
Şekil 8.27. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	72
Şekil 8.28. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	73
Şekil 8.29. Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	74
Şekil 8.30. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	75
Şekil 8.31. Çimento 1 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu	78
Şekil 8.32. Çimento 1 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu	79
Şekil 8.33. Çimento 1 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu	80
Şekil 8.34. Çimento 1 ve %1 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu	81
Şekil 8.35. Çimento 1 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	82
Şekil 8.36. Çimento 1 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	83
Şekil 8.37. Çimento 1 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	84
Şekil 8.38. Çimento 1 ve %1 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu	85
Şekil 8.39. Çimento 2 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük	

XRD spektrumu	86
Şekil 8.40. Çimento 2 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük	
XRD spektrumu	87
Şekil 8.41. Çimento 2 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük	
XRD spektrumu	88
Şekil 8.42. Çimento 2 ve %1 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük	
XRD spektrumu	89
Şekil 8.43. Çimento 2 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük	
XRD spektrumu	90
Şekil 8.44. Çimento 2 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük	
XRD spektrumu	91
Şekil 8.45. Çimento 2 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük	
XRD spektrumu	92
Şekil 8.46. Çimento 2 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük	
XRD spektrumu	93
Şekil 8.47. Çimento 1 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 ve 28 günlük FT-IR	
spektrumu.....	94
Şekil 8.48. Çimento 2 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 ve 28 günlük FT-IR	
spektrumu.....	95
Şekil 8.49. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7	
günlük FT-IR spektrumu	96
Şekil 8.50. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan	
numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu	97
Şekil 8.51. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin	
7 günlük FT-IR spektrumu	98
Şekil 8.52. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7	
günlük FT-IR spektrumu	99
Şekil 8.53. Çimento 2 ve lignosülfonat- naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan	
numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu	100
Şekil 8.54. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin	
7 günlük FT-IR spektrumu	101
Şekil 8.55. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin	

28 günlük FT-IR spektrumu	102
Şekil 8.56. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu	103
Şekil 8.57. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu	104
Şekil 8.58. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu	105
Şekil 8.59. Çimento 2 ve lignosülfonat- naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu	106
Şekil 8.60. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu	107
Şekil 8.61. Çimento 1 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu.....	108
Şekil 8.62. Çimento 1 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu.....	109
Şekil 8.63. Çimento 1 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu.....	110
Şekil 8.64. Çimento 1 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu.....	111
Şekil 8.65. Çimento 1 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	112
Şekil 8.66. Çimento 1 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	113
Şekil 8.67. Çimento 1 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	114
Şekil 8.68. Çimento 1 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	115
Şekil 8.69. Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu.....	116
Şekil 8.70. Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu.....	117
Şekil 8.71. Çimento 2 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük	

FT-IR spektrumu.....	118
Şekil 8.72. Çimento 2 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu.....	119
Şekil 8.73. Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	120
Şekil 8.74. Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	121
Şekil 8.75. Çimento 2 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	122
Şekil 8.76. Çimento 2 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu.....	123
Şekil 8.77. Çimento 1 ile hazırlanan 7 gün ve 28 gün yaşlandırılmış katkısız numunelerin SEM görüntüleri	124
Şekil 8.78. Çimento 2 ile hazırlanan 7 gün ve 28 gün yaşlandırılmış katkısız numunelerin SEM görüntüleri	125
Şekil 8.79. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş, 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	126
Şekil 8.80. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)0,2 , (b) 0,3, (c) 0,5 ve (d) 1,0 oranında katkı eklenmiş, 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	127
Şekil 8.81. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	128
Şekil 8.82. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	129
Şekil 8.83. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	130
Şekil 8.84. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2,	

(b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	131
Şekil 8.85. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	132
Şekil 8.86. Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	133
Şekil 8.87. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	134
Şekil 8.88. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	135
Şekil 8.89. Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	136
Şekil 8.90. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan (a)%0,2, (b) %0,3, (c) %0,5 ve (d) %1,0 oranında katkı eklenmiş 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri	137
Şekil 8.91. Çimento 1 ve %0,2 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	138
Şekil 8.92. Çimento 1 ve %0,3 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	139
Şekil 8.93. Çimento 1 ve %0,5 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	140
Şekil 8.94. Çimento 1 ve %1,0 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	141

Şekil 8.95. Çimento 1 ve %0,2 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	142
Şekil 8.96. Çimento 1 ve %0,3 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	143
Şekil 8.97. Çimento 1 ve %0,5 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	144
Şekil 8.98. Çimento 1 ve %1,0 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	145
Şekil 8.99. Çimento 2 ve %0,2 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	146
Şekil 8.100. Çimento 2 ve %0,3 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	147
Şekil 8.101. Çimento 2 ve %0,5 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	148
Şekil 8.102. Çimento 2 ve %1,0 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	149
Şekil 8.103. Çimento 2 ve %0,2 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	150
Şekil 8.104. Çimento 2 ve %0,3 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	151
Şekil 8.105. Çimento 2 ve %0,5 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+	

naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	152
Şekil 8.106. Çimento 2 ve %1,0 oranında (a) naftalin sülfonat, (b) lignosülfonat+ naftalin sülfonat ve (c) melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri.....	153



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- C-S-H: Kalsiyum silikat hidrat
C-H: Kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
AFt: Etrenjit ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CS} \cdot \text{H}_{32}$)
AFm: Monosülfat ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CS} \cdot \text{H}_{12}$)
FT-IR: Fourier Transform Infrared Spektrometresi
XRD: X-Işını Kırınımı
SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu
 C_2S : Dikalsiyum Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
 C_3S : Trikalsiyum Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
 C_3A : Trikalsiyum Alüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)
 C_4AF : Tetrakalsiyum Alümino-Ferit
ASTM: American Society for Testing and Materials
TS EN: Türk Standartları Enstitüsü
MPa: Megapaskal
CEN: European Committee for Standardization

1. GİRİŞ

Büyük bir bölümü deprem kuşağında olan ülkemizde, yaşadığımız afetler sebebiyle can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Yaşadığımız yapıların dayanıklılığı ise beton kalitesine bağlıdır. Son yıllarda önemi daha iyi anlaşılan beton katkı maddeleri, daha iyi ve istenen özelliklere sahip beton üretilebilmesi için betona eklenmektedir. Mineral ve kimyasal olmak üzere iki gruba ayrılan beton katkı maddelerinin betonun performansı ve ekonomisi üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Betonun akışkanlaştırılması, priz sürelerinin istenilen yönde değiştirilmesi, erken ve yüksek dayanım kazandırılması, betona eklenen kimyasal katkı maddelerinin ana işlevleridir (Uysal ve ark, 2012, Yıldırım ve ark., 2010, Topçu ve ark., 2006, Erdoğan ve ark., 2007).

Çizelge 1.1.

Farklı tür süper akışkanlaştırıcılar olacağı gibi, içerik farklılığından dolayı farklı etki gösteren aynı tür süper akışkanlaştırıcı katkıları da olabilir. İçerik farklılıkları, kimyasal kompozisyonlarındaki ve molekül ağırlıklarındaki farklılıklardır. Lignosülfonat esaslı katkıların molekül ağırlıkları 20000-30000 civarında iken, melamin ve naftalin sülfonat esaslı katkıların molekül ağırlıkları 30000 civarındadır. Molekül ağırlığı arttıkça akışkanlık artar fakat ağırlıktaki artış viskozitede artışı da beraberinde getirir (Ramyar, 2007).

Katkının çözeltideki derişimi, süper akışkanlaştırıcının etkinliğini etkiler. Hidratasyon sürecinde, katkının derişimi çimento taneleri ve hidratasyon ürünlerine tutunarak azalır. Negatif yükle yüklenmiş olan süper akışkanlaştırıcı katkı, daha az negatifliğe sahip olan C_3A (Trikalsiyum alüminat) bileşeni üzerine tutunur. Araştırmalarda görüldüğü üzere C_3A bileşeni üzerine C_3S (Trikalsiyum silikat) bileşeninden daha çok tutunma olduğu, C_3A ve C_4AF (Tetrakalsiyum alümina ferrit) bileşenlerine birlikte bakıldığında ise C_3S ve C_2S (Dikalsiyum alüminat) bileşenlerinden daha çok tutunulduğu görülmüştür. C_3A ve C_4AF bileşenlerine tutunma tüm akışkanlaştırıcı katkılarda gözlenmiştir. Hidratasyon ürünleri üzerinde tutunma gerçekleştiğinde etrenjit kümeleri oluşmaya başlar, ortamdaki katkı bittiğinde ise iğne şeklindeki etrenjit oluşumu görülür (Ramyar, 2007).

Sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan çimento harçlarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerine su/çimento oranının etkisinin incelendiği bu çalışmada, 3 farklı sülfonat esaslı katkı ve dört farklı oranda süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Sülfonat esaslı katkıların basınç dayanımı, işlenebilirlik ve mikroyapısal özelliklere etkilerinin araştırıldığı çalışmada yayılma tablası, eğilme ve basınç dayanımı cihazı kullanılarak eğilme ve basınç dayanımı değerleri ölçülmüş; Fourier Transform Infrared Spektrometresi (FTIR), X-Işını Kırınımı cihazı (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak betonların mikroyapısal analizleri yapılmıştır.

2. ÇİMENTO

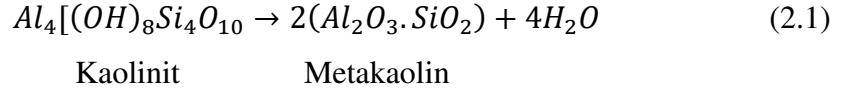
İlk olarak Romalılar tarafından kullanılan çimento kelimesi, ilk önce alçı taşı ve kırılmış taşların karıştırılmasıyla oluşturulmuştur. 1800’lü yıllarda Joseph Aspdin, yüksek sıcaklıkta pişmiş alçı taşı ve kil karışımına “Portland çimentosu” adını vermiştir. Çimentonun şimdiki tanımı ise kalsiyum oksidin alüminyum oksit, silisyum dioksit ve demir oksit bileşikleri ile sinterleşme veya ergime yoluyla oluşturduğu öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır (Knöfel,1983).

Çimento üretiminde sırasıyla, ocaklardan alınan hammaddeler kırılmak üzere konkasörlere taşınırlar. Kırılan hammaddeler stoklanır ve belirli oranlarda karıştırılarak farin değirmenine aktarılarak öğütülür, bu karışıma farin adı verilir ve pişirmek üzere stoklanır. Döner fırına aktarılmadan önce ön ısıtıcılarda ısıtılan farin 1400-1450 °C sıcaklıkta pişirilir. Kireçtaşı ve kil karışımı fırında dehidrasyon, kalsinasyon, klinkerleşme ve soğutma evrelerinden geçerek klinkeri oluşturur. Klinker ile alçıtaşı öğütülerek çimento üretilir. Stoklara alınan çimento, türüne göre satışa sunulur (Kapkaç, 2013, Mindess, 2008).

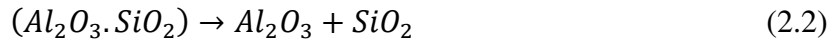
Çimento üretim şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Şekil 2.1.

Alçı taşı ve kil karışımının öğütülmesinden elde edilen farinin, klinkerleşebilmesi için 1450°C'ye ısıtılması gerekir. Kurutma evresi, farinin içindeki fazla suyun buharlaştığı evredir. Kimyasal tepkimenin gerçekleşmediği kurutma 100-400°C aralığında gerçekleşir. 400-750 °C arasında gerçekleşen dehidrasyon tepkimeleri sonucunda kurutma evresinde bağlı suyunu kaybetmiş olan kil minerali (kaolinit) metakaoline dönüşür (Eşitlik 2.1).



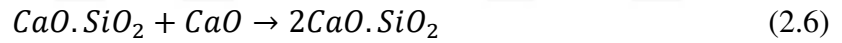
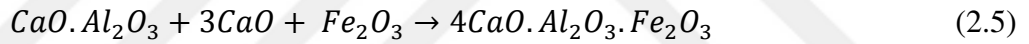
Sıcaklık 900 °C'ye geldiğinde ise metakaolin oksitlere dönüşür (Eşitlik 2.2).



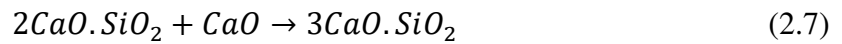
Karbonasyon evresinde, kalker 896 °C'de bileşenlerine ayrılır (Eşitlik 2.3).



Klinkerleşme süresince, klinkerleşme sıcaklığının çok altında gerçekleşen tepkimeler vardır. Bu tepkimelere katı tepkimeler denir ve 550-600 °C aralığında gerçekleşirler (Eşitlik 2.4-2.6).



1260-1310 °C arasında gerçekleşen klinkerleşme evresinde ise alit oluşur. Ortamda tepkimeye girmemiş halde bulunan CaO ve belit, aliti oluşturur (Eşitlik 2.7) (Knöfel,1983).



Çimento üretiminde gerçekleşen tepkimelerde oluşan anabileşenler ve sembolleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1.

Bağlayıcı özelliğe sahip olan çimento, su ile karıştırıldığında “çimento hamuru” olarak adlandırılır. Başlangıçta şekil verilebilir olan çimento hamurunun bu haline “plastik hal” adı verilir. Çimento ile suyun arasında gerçekleşen tepkimeler sonucunda çimento hamuru sertleşmeye başlar ve bir süre sonra donar (Erdoğan, 2007).

2.1. Hidratasyon Sırasında Gerçekleşen Tepkimeler

Kalker ve kil karışımının uygun oranlarda birleştirilmesiyle ve döner fırınlarda yaklaşık 1450 °C’de pişirilmesiyle elde edilen klinkerin, bir miktar alçı taşıyla öğütülmesi sonucunda Portland çimentosu ortaya çıkar. Portland çimentosu bileşenleri, sıcaklığın etkisiyle birtakım tepkimeler gerçekleştirir.

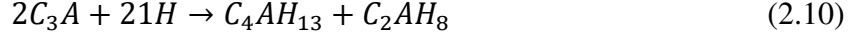
Portland çimentosu, su ile birleştiğinde çimento hidratasyonu adı verilen, her bir bileşenin belirli kimyasal tepkimeler sonucu enerji açığa çıkardığı bir evre başlar. Bu evrede ayrı ayrı hidratasyon ürünleri oluşmaktadır ve her birinin farklı etkileri vardır.

Bileşenlerin hidratasyon hızına, ısısına ve betonun dayanımına olan etkisi Çizelge 2.2’de verilmiştir.

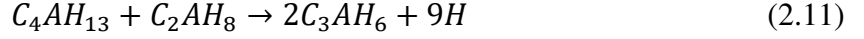
Çizelge 2.2.

bulunmaktadır. Portland çimentosu içeriğindeki C_3A ne kadar fazla olursa dayanım problemi o kadar fazla olur.

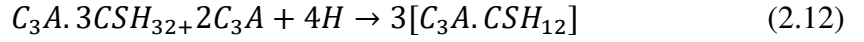
C_3A 'nın su ile tepkimesinin ürünleri aşağıdaki gibidir (Eşitlik 2.10).



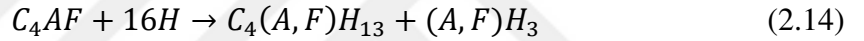
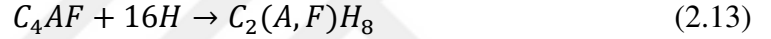
Bu iki bileşik termodinamik açıdan kararsız olduğundan aşağıdaki tepkime gerçekleşir (Eşitlik 2.11).



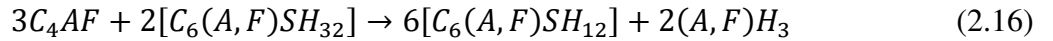
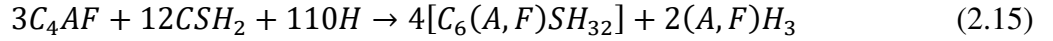
Ortamda oluşacak ani prizi kontrol altına almak için ortama alçıtaşı eklenmelidir. C_3A ile alçıtaşının tepkime ürünleri aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.12).



Ferrit faz tepkimeleri, diğer tepkimelere kıyasla tepkimelerde daha az rol almaktadır. Ferrit fazının C_3A ile benzer ürün dizisini sağladığı bilinmektedir ancak tepkimeleri daha yavaş gerçekleşir. Bu tepkimeler; (Eşitlik 2.13-Eşitlik 2.14)



Alçıtaşı eklendiğinde C_4AF , C_3A 'dan daha yavaş tepkimeye girer ve C_4AF reaksiyonları kübik fazın oluşumunu arttırır (Eşitlik 2.15-Eşitlik 2.16) (Ramachandran, 1996b).



3. BETON

Çimento, su, agrega ve katkı maddelerinden oluşan yapıtaşına beton denir. Taze beton, betonun plastikliğini koruduğu süredeki haline verilen isimdir. Beton donduktan sonraki haline ise sertleşmiş beton adı verilir (Erdoğan, 2007).

Diğer inşa malzemelerine kıyasla basınç ve çekme dayanımı daha yüksek olan beton, modern yaşamın sürdürülebilmesi için gerekli olan binalar, barajlar, havaalanları, yollar köprüler ve kent mobilyaları gibi yapıların temelini oluşturur (Yılmaz ve ark., 2003).

Birçok değişkene bağlı olan basınç dayanımı betonun en önemli özelliklerindendir. Betonun basınç dayanımı; çimentonun türüne, özgül ağırlığına, boyutuna, içerdiği su oranına, basınç ölçüm cihazının yükleme hızına ve saklama koşulları gibi etkenlere bağlıdır (Yılmaz ve ark., 2003).

Çimento, agrega ve katkının karılması işleminde kullanılan karışım suyunun 2 önemli işlevi vardır:

- Hidratasyonun gerçekleşmesi
- Betonun karılabilirliğini, sıkıştırılabilirliğini, düzeltilebilirliğini ve yerleştirilebilirliğini arttırıp ayrışmayı azaltma (Erdoğan, 2007).

Kullanılan agrega ile karışım suyu doğru orantılı olmalıdır. Gerekenden az veya çok su içeriği betonun yapısını olumsuz yönde etkiler (Şimşek, 2004).

Taze betonu en iyi açıklayan model Bingham modelidir. Bingham eğrisi, Newtonian modelinden farklı olarak orijinden geçmez. Akma gerilimi τ_0 'ın üstünde olduğu sürece, kayma gerilmesindeki artış kayma hızındaki artışla doğru orantılıdır (Yahia ve ark., 2016).

Newton ve Bingham akışkanlarının davranış biçimleri Şekil 3.1'de verilmiştir.

Şekil 3.1.

3.1. Beton Harcının Mikroyapısal Özellikleri

Portland çimentosunun hidrasyon ürünlerinin yapısında yaklaşık olarak %50-60 kalsiyum silikat, %20-25 kalsiyum hidroksit, %15-30 kalsiyum sülfoalüminat (Etrenjit-Aft), mono sülfat (AFm), hidrate olmamış çimento tanecikleri ve boşluk bulunur.

3.1.1. Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeli

Dayanıma en büyük katkıyı sağlayan C-S-H jeli yüksek sıcaklıklarda zayıf bir şekilde sıralanmaktadır, yaşlandıkça ve normal sıcaklığa geldikçe düzensiz bir ağ örgüsüne dönüşen bağlayıcı son üründür.

SEM yardımıyla kimyasal yapısı ve içerdiği element özellikleri belirlenebilen C-S-H jelinin kalsiyum silisyum (Ca-Si) oranı su bağlayıcılık oranı veya katkının yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

3.1.2. Kalsiyum hidroksit (CH)

Çimento ve agrega ara yüzeyinin bağlantılarını güçlendirme eğiliminde olan, altıgen prizma, zayıf, uzun kristal veya yassı şekilllerde görülebilen kristallere kalsiyum hidroksit (CH) kristali adı verilir.

3.1.3. Kalsiyum mono sülfat

SEM cihazında etrenjit, iki farklı mineralojik özellikte tanımlanır. İlki; erken hidrasyon esnasında iğne biçiminde olan, daha sonra genişleyen kristallere dönüşerek parçalanmalara sebep gösterilen kalsiyum sülfoalüminat (Aft)tır. Mono sülfat ise, kristalleşerek zayıf altıgen tabakalar halini alır.

3.1.4. Hidrate olmamış çimento tanecikleri

Heterojen boşluk yapısı meydana getirmekte olan hidrate olmamış çimento tanecikleri, karışım suyunu emme ve birbirini çekme eğiliminde olup taramalı elektron mikroskopu tarafından dağılımı kolayca tespit edilebilir (Kırgız, 2011).

Şekil 3.2



4. KATKI MADDELERİ

Taze veya sertleşmiş betonun reolojik özelliklerini değiştirmek için eklenen kimyasallara beton katkı maddeleri adı verilir. Beton katkı maddeleri, çimento, agrega ve su karışımına eklenen, betonun performansını iyileştirebilen ve betonu ekonomikləştiren malzemelerdir (Şimşek, 2004, Yalçın ve ark., 2006).

Daha az su kullanılarak mukavemette artış sağlamak ve daha dayanıklı beton üretmek için katkı maddeleri istenilen özelliklere uygun ve doğru oranda kullanılmalıdır. Bu durum göz ardı edilirse mukavemette azalma görülebilir ve dış etkilere dayanıksız betonlar üretilebilir (Şimşek, 2004).

4.1. Mineral Katkı Maddeleri

Sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştğinde hidrolik bağlayıcılık özelliğini kazanan, ince taneli, silika ve alümina içeren malzemelere puzolanlar denir. Puzolanlar, doğal ve yapay puzolan olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal puzolanlar arasında, volkanik kül ve tuf, pişirilmiş kil sayılırken, yapay puzolanlara silis dumanı, fırın cürufu ve uçucu kül örnek gösterilebilir (Erdoğan ve ark., 2007).

4.1.1. Doğal puzolanlar

Söndürülmüş kireçle birleştirildiğinde suya dayanıklı hale gelen ve beton yapımında da kullanılan doğal puzolanlar, ekonomik olmaları ve betonun özelliklerini iyileştirmeleri bakımından çimento sektöründe önemli bir yere sahiptir.

Volkanik dağlar olan Hasandağı ve Erciyes Dağı'na yakın olmasının da etkisiyle volkanik esaslı puzolan içerdiği anlaşılan, Çatakhöyük'te yapılan araştırmalarda yaşam alanlarında kullanılan harçların yaklaşık 8000 yıllık olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Romalılar, söndürülmüş kireç ve suyla birleştirdikleri volkanik esaslı puzolanlardan elde ettikleri harçların içine taş doldurarak betona benzer yapılar elde etmiştir. Kilden yapılan ve pişirilen malzemelerin öğütülmesi ve sönmüş kireçle birleştirilmesiyle elde edilen harca Horasan harcı' adı verilmiştir. Bu harç Osmanlılar devrinde sıklıkla kullanılmıştır (Erdoğan ve ark., 2007).

4.1.2. Yapay puzolan

Fabrikalardaki üretimin yan ürünü olarak ortaya çıkan ve puzolanik özellik taşıyan malzemelere yapay puzolanlar adı verilir. Yapay puzolanlara uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu ve silis dumanı örnek verilebilir (Erdoğan ve ark., 2007).

Boyutları 1 µm- 150 µm arasında değişen, demir oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit, silika ve alümina içeren; termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan yan ürüne uçucu kül adı verilir (Erdoğan ve ark., 2007).

Granüle yüksek fırın cürufunda, yüksek fırın içerisine kalker taşı, kok kömürü ve cevher yerleştirilir ve kok kömürü yakılır. Demir cevheri demir oksit halde bulunur ve demir oksitteki oksijen ile kömürdeki karbon birleşerek karbon monoksit veya karbondioksit olarak fırını terk eder. Eriyik durumda kalan cüruf içerisinde alümina, silika ve kalsiyum oksit bulunur. Eriyik durumdaki cüruf suya dökülür veya cürufa hızlı bir soğutma işlemi uygulanırsa cüruf granül haline gelir, öğütülerek ince hale getirildiğinde ise puzolanik özellik gösterir (Erdoğan ve ark., 2007).

Silika tozu, silika füme, mikro silika gibi isimleri de olan silis dumanı, %85-%98 oranında silika içerir. Silis dumanı, kuvarsın, silikon veya alaşımlarına 2000 °C’de indirgenmesiyle elde edilir (Erdoğan ve ark., 2007).

4.2. Kimyasal Katkı Maddeleri

Kimyasal katkı maddeleri, betonun karılması esnasında eklenen taze- sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Kimyasal katkı maddeleri, suyun için de homojen olarak çözünen, priz hızlandıran, yavaşlatan ve su ihtiyacını azaltan katkılardır (Yalçın ve ark., 2006, Erdoğan ve ark., 2007).

Kimyasal katkı maddeleri, hava sürükleyici, normal veya yüksek oranda su azaltıcı, priz, hızlandırıcı ve priz geciktirici katkılar olmak üzere dört ana grupta incelenir (Erdoğan ve ark., 2007).

4.2.1. Hava sürükleyici katkılar

Betonun içine karıştırılan, çözünmeyen, betonu dona karşı daha dayanıklı hale getiren katkılardır. Bu katkılar su içinde çözünmediğinden ayrı bir gruba ayrılmıştır. Hava sürükleyici katkılar, betona hava girişi sağlar. Hidrofilik (suyu seven) ve hidrofobik

olmak üzere iki kutba sahip olan bu katkılar, su- hava arayüzünde yoğun olarak bulunur. Hidrofilik kutup suyla, hidrofobik kutup ise hava ile ilişkilidir. Yüzey gerilimi azaldığı için hava baloncukları daha kolay oluşur ve oluştuğu halini korur.

Hava sürükleyici katkılar birçok avantaj sağlar:

- Hava sürükleyici katkı akışkan bir yapıya sahip olduğundan beton daha işlenebilir hale gelir.
- Betonun geçirgenliği artar.
- Betonun darbe direnci iyileştirilebilir.
- Betonun dayanımı ve donma-çözünme kabiliyeti artar (Yalçın ve ark., 2006).

4.2.2. Normal ve yüksek oranda su azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar)

Betonun içerdiği su/çimento oranını azaltarak her yaştaki numunenin basınç dayanımını arttıran akışkanlaştırıcı katkılar, en çok kullanılan kimyasal katkıdır (Yılmaz ve ark., 2003). Karışımın işlenebilirliğini arttıran süper akışkanlaştırıcı katkılar, betonun daha düşük su oranıyla çalışmasını sağlar, pompalanmayı kolaylaştırır ve sıkışma mukavemetini artırır. Çimentoya uygun bir süper akışkanlaştırıcı eklenerek daha düşük su/çimento oranına sahip beton elde edilebilir. Süper akışkanlaştırıcı katkıların eklenmesiyle çimento tanecikleri negatif yükle yüklenir ve birbirini iterek topaklanmayı engeller. Bu duruma elektrostatik etki denir (Rabbii, 2001, Prince ve ark., 2002).

Çimentonun homojen biçimde dağılması, adsorpsiyonun artması, morfolojik ve reolojik özelliklerin iyileştirilmesi için süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılması gerekir. Süper akışkanlaştırıcı katkıların avantajları:

- Çimento tanecikleri homojen olarak dağılır.
- Betonun gözenekliliği azalır.
- Betonun viskozitesi azalır.
- Betonun rötresi azalır.
- Betonun dayanımı ve mukavemeti artar (Rabbii, 2001).

Süper akışkanlaştırıcılar ya da yüksek oranda su azaltıcılar, işlenebilirliğin artması için betona eklenen önemli bir malzemedir. Betonun dayanımı su/çimento oranına ters orantılıdır. Daha dayanıklı beton üretmek için daha az su kullanılır, bu durum da işlenebilirliği azaltır ve çimento harcının karışmasını zorlaştırır. Bunun gibi olumsuzluklardan dolayı akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcılar kullanılır.

Akışkanlaştırıcılar %10-15 kadar su azaltabilirken süper akışkanlaştırıcılar %30 kadar su azaltabilir (Büyükyavaş ve ark., 2009).

Akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar, betonun kıvamını bozmadan su içeriğini azaltan, su miktarını değiştirmeden slumpı iyileştiren veya bu iki etkiyi de eşzamanlı sağlayabilen katkılardır. Akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar, lignosülfonat, melamin sülfonat, naftalin sülfonat veya polikarboksilat içerirler (Topçu ve ark., 2016).

Belirli bir su/çimento oranında süper akışkanlaştırıcı katkılar betonun işlenebilirliğini artırır ve kuma etkisini azaltır (Erdoğan, 2000, Mollah ve ark., 1995, Pei ve ark., 2004).

Düşük su/çimento oranı kullanılarak yapılan yüksek performansı betonlarda istenilen kıvamın sağlanabilmesi için doğru bir kimyasal katkı kullanılması gerekir (Hallal ve ark., 2010).

Süper akışkanlaştırıcı katkılarının avantajları;

- Betonun su ihtiyacını %30'a kadar azaltmak ve başlangıç- bitiş dayanımlarında artış sağlamak
- Daha fazla suya ihtiyaç duymadan istenen akışkanlığı sağlamak
- Çimentonun hidrasyonunu iyileştirmek
- Betonun kıvamını yumuşatarak kuma ve ayrışmayı önlemek
- Çatlakları önlemek
- Su geçirimsizlik direncini artırarak karbonasyon ve klorür iyon ataklarını, donma çözünme dayanımını ve çelik- beton adhezyonunu engellemek
- Bütün Portland çimentolarıyla uyum sağlamak (Anagnostopoulos, 2014, Mollah ve ark., 1995, Pei ve ark., 2004).

Farklı türde birçok kimyasal katkı, farklı amaçlara hizmet etmek üzere piyasaya sunulmuştur. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkılar temel olarak dört gruba ayrılır. Bunlar; modifiye melamin sülfonatlar, modifiye naftalin sülfonatlar, modifiye lignosülfonatlar ve sülfonik ve karboksil grubu içeren kopolimerlerdir (Erdoğan, 2000, Yousuf ve ark., 1995, Pei ve ark., 2004).

4.2.2.1. Sulfonat esaslı katkıları

Betonda su azaltıcı katkı olarak kullanılan ilk katkıları lignosulfonatlarıdır (LS). 1930'lu yıllardan beri kullanılan Lignosulfonatlar kâğıt endüstrisinde siyah likörden ayrılmış, ucuz ve suda çözünebilir ürünlerdir ve beton endüstrisinde kimyasal katkı olarak kullanılır. Lignin, selülozdan sonra dünyada en çok bulunan organik moleküldür.

Yüksek sıcaklıklarda (140-170 °C) sülfid ve bisülfid tuzlarının kullanılmasıyla delignifikasyon işlemi gerçekleşir. Bu işlem esnasında ligninin bağları koparak daha düşük ağırlıklı lignin birimleri oluşur. Sülfonasyon işlemiyle lignin suda çözünür hale gelir. Karboksilik asit, fenolik hidroksil, katekol, metoksil ve sülfonik asit gibi çeşitli türleri olan LS'nin yapısı Şekil 4.1'de verilmiştir (Gelardi ve ark., 2016).



Şekil 4.1.

Naftalin sülfontar, naftalin sülfürük asit, formalin ve alkaliden oluşur ve sülfürleme, hidroliz, yoğunlaşma ve nötrleşme tepkimelerinden geçer. Naftalin sülfontat esaslı katkıının yapısı Şekil 4.2’de verilmiştir (Gelardi ve ark., 2016)

Şekil 4.2.



katkının oluşturduğu elektrostatik etkiyle, negatif elektriksel yükle yüklenerek, imento taneciklerini iterek dağıtır ve topaklanmalarını engeller. Bunun sonucunda daha akışkan bir imento hamuru elde edilir. Süper akışkanlaştırıcı katkılar hidrasyon ürünleriyle de tepkimeye girer. Bugünlerde süper akışkanlaştırıcı kullanımı oldukça yaygındır (Erdoėdu, 2000, Yousuf ve ark., 1995, Pei ve ark., 2004, Lei ve ark., 2012).



4.2.3. Priz geciktirici katkılar

Sıcak hava koşullarında, taze beton istenilenden daha hızlı sürede katılaşmaktadır. Bu durumda betonda çökme kaybı ve çatlamlar meydana gelmektedir. Priz geciktirici katkılar kullanıldığında, taze betonun priz alma süresi (Beton döküldükten katılaşmaya başlayana kadar geçen süre) artar ve çökme kaybı ve çatlama gibi sorunlar ortadan kalkar (Erdoğan ve ark., 2007).

4.2.4. Priz hızlandırıcı katkılar

Soğuk hava koşullarında, taze beton istenilenden daha yavaş katılaşmaktadır. Bu durumda beton dayanımında azalma ve betonun hidrasyonunda yavaşlama meydana gelmektedir. Priz hızlandırıcı katkılar, taze betonun priz alma süresini azaltarak sorunlara çözüm olma amacıyla kullanılır (Erdoğan ve ark., 2007).

5. ÇİMENTO-SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKI UYUMUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanımıyla arttırılabilen çimento hamuru akışkanlığı, beton kalitesini etkilemektedir. Süper akışkanlaştırıcı ve çimentonun reolojik olarak uyumsuz olduğu durumlarda, çimento hamurunun akışkanlığı ve işlenebilirliği zamanla azalır. Çimento ve süper akışkanlaştırıcı uyumu etkileyen çeşitli faktörler vardır, bunlar çimento kaynaklı ve süper akışkanlaştırıcı kaynaklı faktörler olarak ele alınır (Ramyar, 2007).

5.1. Çimento Kaynaklı Etkiler

Çimento kaynaklı etkiler; çimentonun kimyasal kompozisyonu, inceliği, alkali içeriği, kalsiyum sülfat miktarı ve formu ile çimentonun öğütülmesini kolaylaştırıcı maddeler başlıkları altında incelenmiştir.

5.1.1. Çimentonun kimyasal kompozisyonu

Kübik ve ortorombik yapıda bulunan C_3A bileşeni, yapısına göre farklı yapıda etrenjit kristalleri oluşturur. Daha reaktif olan kübik yapı, sülfat iyonlarıyla hızlıca tepkimeye girer ve üzerinde bir etrenjit tabakası oluşur. Ortorombik yapıda olan C_3A ise, sülfat iyonlarıyla daha yavaş tepkimeye girer ve üzerinde sürekli etrenjit iğneleri oluşur. Süper akışkanlaştırıcı eklendiğinde, sülfat iyonlarıyla olan tepkime kontrol edilebilir. Süper akışkanlaştırıcı etrenjit iğnelerine tutunarak hidrasyonun yavaşlamasını engeller, ancak süper akışkanlaştırıcının asıl amacı C_3S ve C_2S 'ye tutunarak dağıtma etkisini arttırmaktır bu yüzden çimento içeriğindeki C_3A 'nın fazla olması istenmez.

C_3A içeriğinin fazla olması, süper akışkanlaştırıcı katkının C_3A 'ya daha fazla tutunması, C_2S ve C_3S 'nin nazaran boşta kalması ve akışkanlığın azalmasıyla sonuçlanır. Süper akışkanlaştırıcılar hidrasyon ürünlerinin üzerine tutunarak etrenjit oluşumunu engeller ve harcın akışkanlığının devamı sağlanır.

5.1.2. Çimentonun inceliği

Çimento tanelerinin inceliği harcın viskozitesini etkiler. Çimento inceliğine bağlı olarak uygun akışkanlaştırıcı kullanılmalıdır. Düşük inceliğe ve C_3A içeriğine sahip

çimentoların akışkanlığı daha yüksektir. Küresel tanecikli çimentoların da daha az katkıya gereksinim duyar.

5.1.3. Kalsiyum sülfat miktarı ve formu

Çimentoda ani ve yalancı priz almaya sebep olabilen kalsiyum sülfatın tipi ve çimentoya eklendiği miktar çok önemlidir. Süper akışkanlaştırıcı katkı alçıtaşının çimento harcındaki çözünübilirliğini değiştirebilir.

5.1.4. Çimentonun alkali içeriği

Çimentonun akışkanlığı azalan alkali içeriğiyle artar. Lignosülfonat esaslı katkı içeren harçlarda, çimento yüksek oranda C_3A ve alkali içeriyorsa katkının su azaltma özelliği azalır ve priz geciktirme özelliği artar.

Düşük alkali içeren naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan harçlarla yapılan çalışmalarda ise, karışım içerisine alkali sülfat eklenerek akışkanlığın arttırılabildiği gözlenmiştir. Alkali sülfatın ortama verdiği sülfat iyonları alüminalı hidrasyon ürünlerine tutunarak katkının işini yapabilmesine olanak sağlar.

5.1.5. Öğütmeyi kolaylaştırıcı katkıların etkisi

Öğütmeyi kolaylaştırıcı katkılar, çimento üretimine klinker oluşumu aşamasında katılır ve katkıların çimentoya daha kolay tutunmasıyla işlenebilmeyi arttırır.

5.2. Süper Akışkanlaştırıcı Kaynaklı Etkiler

Süper akışkanlaştırıcı katkıların daha verimli çalışabilmesini etkileyen birçok faktör vardır. Bunların başlıcaları olan katkı kökeni, moleküler ağırlık, sülfonasyon-polimerizasyon derecesi, karşıt iyon etkisi, sıcaklık etkisi ve katkının çimento üzerine tutunması aşağıda incelenmiştir.

5.2.1. Katkı kökeni, moleküler ağırlık, sülfonasyon ve polimerizasyon derecesi etkisi

Akışkanlaştırıcı katkılar hem katkı kökeni hem molekül ağırlığı açısından farklılık gösterebilir. Örneğin lignosülfonat esaslı katkılar yaklaşık 20000-30000 molekül

ağırlığına sahipken, melamin ve naftalin sülfonat esaslı katkıların molekül ağırlıkları yaklaşık 30000'dir. Moleküler ağırlık arttıkça zincir uzunluğunun akışkanlığı olumsuz yönde etkilediği, su/çimento oranı azaldıkça da daha az moleküler ağırlığı olan katkıların akışkanlığı arttırdığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda sülfonasyon derecesinin işlenebilirliği moleküler ağırlıktan daha çok etkilediği; polimerizasyon derecesinin ise polimer türüne bağlı olarak etkiler gösterdiği belirlenmiştir.

5.2.2. Karşıt iyon kökeni etkisi

Naftalin sülfonat esaslı katkılarla yapılan araştırmalarda, karşıt iyon olarak sodyum kullanıldığında magnezyum ve kalsiyum kullanılan katılara göre daha iyi reolojik özellikler elde edilmiştir.

5.2.3. Süper akışkanlaştırıcının çimento üzerinde tutunması

Naftalin ve melamin sülfonat esaslı katkıları üzerinde yapılan çalışmalarda, katkılar silikat içeren hidrasyon ürünlerine oranla alümina içeren ürünlere daha fazla tutunur. Bu durum ise kümeleniş etrenjit oluşumunu tetikler.

5.2.4. Süper akışkanlaştırıcının karışıma eklenme zamanı

Süper akışkanlaştırıcı katkının karışım suyundan bir süre sonra harca eklenmesi, süper akışkanlaştırıcı katkının dağıtma özelliğini artırır. Karışım suyunun hidrat tabakası oluşturmasıyla katkı reaktif bileşenlere değil C_2S ve C_3S üzerine tutunur. Çökme kaybı miktarı ve oluşmasını da etkileyebilecek olan bu durum dağıtma özelliği üzerinde pozitif bir etki sağlar.

5.2.5. Sıcaklık etkisi

Sıcaklıktaki artış, katkının tutunma miktarını artırarak akışkanlıkta olumlu bir etki sağlayabilir ancak genel olarak sıcaklık artışı çökme kaybı ve akışkanlıkta azalmaya da sebep olabileceğinden çalışmalarda tutarlı sonuçlar elde edilememiştir (Ramyar, 2007).

6. KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Colleparadi tarafından yapılan araştırmalar incelendiğinde, süper akışkanlaştırıcıların belirli bir su/çimento oranında işlenebilirliği arttırarak betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliğini iyileştirdiği sonucuna varılır (Colleparadi, 1998).

Uyan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda sabit su/çimento oranında lignosülfonat, naftalin ve melamin sülfonat esaslı katkıları kullanılmış ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerin rötresinin (büzülme), katkısız harçların rötresinden düşük olduğu gözlenmiştir. Lignosülfonat kullanılan numunelerde ise rötrenin, kontrol numunesine nazaran arttığı belirlenmiştir. Yine aynı çalışmada varılan sonuçlarda süper akışkanlaştırıcı kullanımının basınç dayanımlarını arttırdığı gözlenmiştir (Uyan ve ark., 1996).

1, 7 ve 28'inci günlerde basınç dayanımlarına bakılan lignosülfonat esaslı katkıları içeren harçların basınç dayanımlarının, katkısız betonların basınç dayanımlarına göre arttığı gözlenmiştir. Kandemir ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda, katkı cinsine bağlı olarak melamin sülfonat esaslı katkılarda doz aşımı yapılmadığı takdirde (%1'lik oranın üzerine çıkılmadığında) basınç dayanımının ve kalıp almanın istenilen aralıkta olduğu görülmüştür. Naftalin sülfonat esaslı katkılarda da doz aşımı yapılmaması gerektiği, yapıldığı takdirde basınç dayanımına etkisi olmadığı saptanmıştır ve kalıp alma süresinin uzadığı gözlenmiştir. Lignosülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise normal katkı dozajında (%0,4) basınç dayanımında artış gözlenmiş, katkı oranı 5 katına çıkarıldığında bile basınç dayanımının en yüksek seviyede olduğu gözlenmiştir (Ekinci ve ark., 2016, Kandemir, 2003).

El- Gamal'ın çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında melamin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcının basınç değerlerini arttırdığı görülmüştür, ayrıca su içeriğini %5 oranında azaltmıştır. Süper akışkanlaştırıcı katkıların oluşan hidrasyon ürünlerini etkilemediği, sadece hidratların yapılarını etkilediği görülmüştür (El- Gamal ve ark., 2012).

Mollah ve arkadaşlarının araştırmasında, iki ana çimento bileşeni olan alit ve beliltin hidrasyonunun portlandit ve C-S-H jelini oluşturduğu görülmüştür. Katkısız numuneler ile sodyum lignosülfonat katkılı numunelerin XRD pikleri arasında birtakım farklar gözlenmiştir. Katkılı çimentoların XRD görüntülerinde portlandit pikleri daha görünür haldedir (Mollah ve ark., 1995).

Çimento parçacıkları suyla ilk temas ettiğinde, farklı hidroksil gruplarına sahip bir modifiyeli bölge oluşur, bu hidroksil grupları pasif durumdadır. FT-IR verilerinden elde edilen bilgilere göre etrenjit oluşumu sülfat bandındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır (Mollah ve ark., 2000).

Mollah ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar incelendiğinde, sodyum lignosülfonat akışkanlaştırıcının çimentonun hidrasyonunu geciktirdiği sonucuna varılmıştır. Kalsiyum iyonları, süper akışkanlaştırıcıdan gelen iyonlar ve çözünmüş olan iyonlardan dolayı gecikme gerçekleşir. Etrenjit- kalsiyum mono sülfat (AFt + AFm) dönüşümü dengelenir (Mollah ve ark., 1999).

Yapılan başka bir çalışmada ise ligno sülfonat katkı ve su tutucu katkının birbirine olan etkisi araştırılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı katkı su tutuculuğu arttırırken, su tutucu madde katkının etkisini arttırır. Çimento hidrasyonunun gecikmesi, lignosülfonat esaslı katkının su tutucu madde ile birbirlerine pozitif etki yapmalarından kaynaklanır. Etkileşen katkı ve madde, geçirgenliği düşük olan bir bileşik oluşturur ve hidrasyonu yavaşlatır. Genellikle birlikte kullanılan katkıları birbirini negatif yönde etkilerken, yapılan çalışmada iki katkının birbiriyle uyum içinde çalışabileceği gözlenmiştir (Recalde Lummer ve ark., 2012).

Topçu ve arkadaşlarının çalışmasında, lignosülfonat ve naftalin sülfonat katkı kullanılmıştır. Şahit numune ile kıyaslandığında iki katkının da akışkanlığı sağladığı, naftalin sülfonat katkının ise lignosülfonattan daha çok akışkanlaştırdığı görülmüştür. Ancak optimum katkı oranının üstüne çıkıldığında, katkı akışkanlığa negatif yönde etki etmektedir.

Doz aşımı sadece akışkanlığı değil, sertleşmiş beton testlerini de negatif yönde etkilemiştir. Basınç dayanımı değerleri doz aşımından sonra azalmıştır. XRD analizi incelendiğinde, doz aşımı sonucunda her iki katkının da numune görüntülerinde alit ve belitin fazlasıyla bulunduğu ancak doz aşımından dolayı C-S-H ve CH içeriğinin azaltıldığı görülmüştür (Topçu ve ark., 2016).

Habib ve arkadaşlarının çalışmasında katkılı betonların basınç dayanımı değerlerinin şahit betona göre daha yüksek olduğu ve katkının dozu arttıkça basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. Katkıların hidrasyon ürünlerini etkilemediği sadece fiziksel olarak etkilediği görülmüştür (Habib ve ark., 2016).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalarda iki farklı Portland çimentosu, üç farklı süper akışkanlaştırıcı katkı, standart kum ve saf su kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerde sabit su/çimento oranı kullanılmış olup dört farklı süper akışkanlaştırıcı oranı denenmiştir. Numuneler arasında doğru bir kıyaslama yapılabilmesi için katkısız bir numune hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numune katkısız numune olarak adlandırılmıştır ve kütlece üç kısım standart kum ve bir kısım çimentodan oluşmaktadır. Deneysel çalışma için hazırlanan diğer numunelerde katkı oranları çimento miktarının %0,2, %0,3, %0,5 ve %1'i kadardır. Deneylerde damıtık veya deiyonize su kullanılmış ve deneysel çalışma boyunca su/çimento oranı 0,5'te sabit tutulmuştur.

Çimento, su ve katkıların tartımı $\pm 0,1$ doğrulukta hassas terazide yapılmalıdır. Kullanılacak bütün malzemeler laboratuvar sıcaklığında olmalıdır. Kullanılan çimentoların kimyasal bileşimleri, Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında XRF cihazı ile tayin edilmiştir.

7.1. Kum

CEN referans kumu, silisyum dioksit oranı en az %98 olan, referans malzeme olarak depolarda bekletilen yuvarlak tanecikli silis kumudur. CEN referans kumunun tanecik dağılımı Çizelge 7.1'de belirtilmiştir (TS EN 196-1).

Çizelge 7.1.

Çizelge 7.2.



7.3. Kimyasal katkı

Yapılan deneylerde sülfonat esaslı üç farklı katkı kullanılmıştır. Katkılar %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında karışım suyuna eklenmiştir. Kullanılan katkıların adları ve özellikleri Çizelge 7.4’te verilmiştir.

Çizelge 7.4.





Şekil 7.1.

Üzerinde bulunan, harcın doldurulduğu koninin alt tabanı $100\pm0,5$ mm, üst tabanı $70\pm0,5$ mm ve yüksekliği $60\pm0,5$ mm'dir (Eşitlik 7.1).

$$\text{Koninin ortalama çapı} = \frac{\text{Alt taban(mm)} + \text{Üst taban(mm)}}{2} \quad (7.1)$$

formülü ile bulunur. Taze çimento harcı bu koninin içine iki parça halinde, tokmakla sıkıştırılarak konur. Daha sonra bu konu yavaşça çekilir. Cihaz, saniyede bir düşme yapacak şekilde 15 saniyeye ayarlanır ve işlem tamamlandığında yayılan harcın çapı ölçülerek not alınır (Eşitlik 7.2).

$$\text{Harcın yayılma oranı} = \frac{\text{Harcın son çapı (mm)} - \text{Koninin ortalama çapı(mm)}}{\text{Koninin ortalama çapı (mm)}} * 100 \quad (7.2)$$

formülüyle bulunur (TS EN 1015-3, ASTM C230).



Şekil 7.2.

tabi tutulur. Yarım prizmalar, cihazın plakaları arasına $\pm 0,5$ mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan veya yardımcı plakalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilir. Yük, cihaz tarafından otomatik olarak ayarlanır ve işlem tamamlandığında değer, ekrandan okunur (TS EN 12390-3 (2010)).



Şekil 7.3.

gerilmeleri ölçer. İncelenecek malzemenin hem izotropik hem homojen hem de kristal yapıda olması gereklidir (Eşitlik 7.3) (Shokrieh ve ark., 2014).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (7.3)$$

n: yansıma sırası

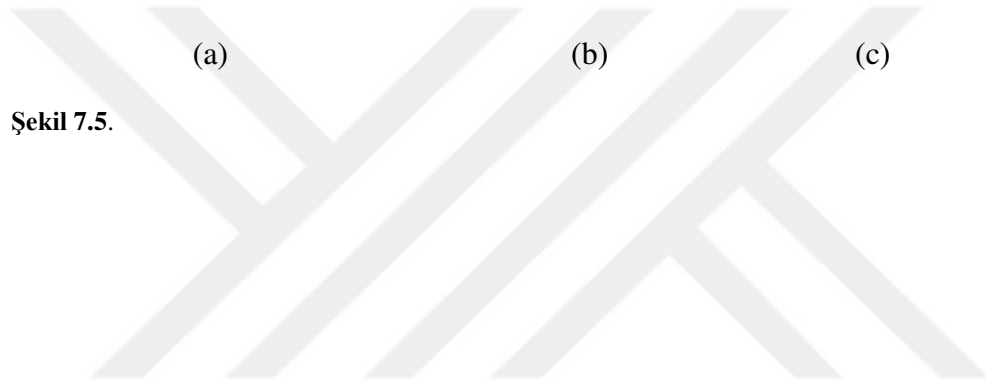
λ : X- ışınlarının dalga boyu

d: kristal düzlemleri arasındaki karakteristik boşluk

θ : gelen ışın ile normal arasındaki yansıtıcı örgü düzlemi arasındaki açı (Chatterjee, 2001)



Şekil 7.4.



Şekil 7.5.



Şekil 7.6.

8. SONUÇLAR

8.1. Basınç Dayanımı Sonuçları

İki farklı çimento ve üç farklı süper akışkanlaştırıcı/ yüksek oranda su azaltıcı katkı ile dört ayrı katkı oranında hazırlanan numuneler taze beton iken yayılma tablasında yayılma değerleri ölçülüp not edilmiştir. Taze beton 4x4x16 cm çelik kalıplara dökülerek sarsma tablasında sarsıldıktan sonra daha sonra 24 saat kalıpta bekletilmiştir. Kalıptan çıkarıldıktan sonra 7 ve 28 gün boyunca suda kürlenmiştir. Kür edilen numuneler eğilme ve basınç dayanımı ölçülmek üzere dayanım cihazında basınç uygulanarak kırılmıştır. Numunelere uygulanan basınç değerleri not edilmiştir; kırılan numunelerin orta kısmından alınan örnekler, mikroyapısal analizler için de numuneler halkalı öğütücüde öğütülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri aşağıda çizelgeler ve şekiller halinde verilmiştir. 2 farklı çimento kullanılarak hazırlanan numunelerde naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkıları kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,5 olarak sabit tutulan numunelerin katkı oranları %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 olarak değiştirilmiştir. Çimento 1 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin yayılma çapı sonuçları Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1.

Çimento 1 ile hazırlanan numunelerin 7 günlük yayılma çapı sonuçları incelendiğinde, üç katkıda da katkı oranı arttıkça yayılma çapı da artmıştır. Naftalin sülfonat ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerin yayılma çapları birbirine yakın sonuçlar verirken, melamin sülfonat esaslı katkı diğer iki katkıyla kıyaslandığında daha az yayılma sağlamıştır. En yüksek yayılma değeri %1 oranında lignosülfonat+naftalin sülfonat katkı kullanılan numune için 21,4 cm olarak bulunmuştur.

Çimento 1 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı sonuçları Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2.



Çimento 1 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin yayılma çapı sonuçları Çizelge 8.3'te verilmiştir.

Çizelge 8.3.



Çimento 1 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin dayanımı sonuçları Çizelge 8.4'te verilmiştir.

Çizelge 8.4.



Çimento 2 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin yayılma çapı sonuçları Çizelge 8.5'te verilmiştir.

Çizelge 8.5.



Çimento 2 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı sonuçları Çizelge 8.6’da verilmiştir.

Çizelge 8.6



Çimento 2 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin yayılma çapı sonuçları Çizelge 8.7’de verilmiştir.

Çizelge 8.7.



Çimento 2 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı sonuçları Çizelge 8.8’te verilmiştir.

Çizelge 8.8.





Şekil 8.1.

Şekil 8.2.





Şekil 8.3.



Şekil 8.4.

Şekil 8.5.





Şekil 8.6.

(a)

(b)

Şekil 8.7.



kullanılan numunenin yayılma çapı değeri diğer numunelerden yüksek olmasına rağmen basınç dayanımı değeri daha düşük çıkmıştır. 7 gün yaşlandırılmış, %1 oranında katkı içeren numunede yayılma çapı 21,4 cm iken basınç dayanımı 38,7 MPa'dır. 28 gün yaşlandırılmış %1 oranında katkı içeren numunelerde ise yayılma çapı 21,6 cm ve basınç dayanımı 48,46 MPa olarak ölçülmüştür. Sadece naftalin sülfonat içeren katkı ile lignosülfonat+naftalin sülfonat içeren katkı kıyaslandığında Lignosülfonat+naftalin sülfonat içeren katkının olduğu numunelerin diğer katkıya göre daha yüksek yayılma çapı ve basınç değerlerine ulaştığı görülmektedir.

Şekil 8.9'da melamin sülfonat esaslı katkının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları verilmiştir.



Şekil 8.9.

(a)

(b)

Şekil 8.10.



sülfonat içeren katkının olduğu numunelerin diğerkatkıya göre daha yüksek yayılma çapı ve basınç değerlerine ulaştığını görürüz.

Şekil 8.12’de melamin sülfonat esaslı katkının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları verilmiştir.



Şekil 8.12.



Şekil 8.13.



Şekil 8.14.



Şekil 8.15.

Şekil 8.16’da Çimento 2 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında 28 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 8.16.

8.2. X-Işını Kırınımı Spektrometresi (XRD) Cihazı Sonuçları

Çimento 1 ve Çimento 2 kullanılarak yapılan ve su/çimento oranı 0,5'te sabit tutulan numunelerde naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkıları kullanılmıştır. Katkı oranı %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 olarak belirlenmiştir. 7 ve 28 günlük yaşlandırma süreleri için Çimento 1 ve Çimento 2 için katkısız numuneler de hazırlanmıştır. X- Işını kırınımı spektrometresinde analizi yapılan katkısız numunelerde 21° , 26° , 39° , 40° , 60° ve 68° 'te görülen pikler kuvars (SiO_2) olarak adlandırılır. $\sim 35^\circ$, 45° , 50° , 65° 'de görülen pikler ise portlandit (Ca(OH)_2) olarak adlandırılır. Her iki çimento türünde de katkısız numunelerde 28 gün yaşlandırılmış numunelerin kuvars pikleri, 7 gün yaşlandırılmış numunelerin kuvars piklerine kıyasla daha keskindir. Portlandit pikleri ise 7 gün yaşlandırılmış numunelerde, 28 gün yaşlandırılmış numunelere göre daha keskindir. Portlandit pikleri CH olarak da isimlendirilir. Çimento 1 ile hazırlanan katkısız numunenin 7ve 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.17'de verilmiştir.

Şekil 8.17.

yaşlandırılmış numunelerdeki 35°, 45°, 50°, 65°’teki portlandit (Ca(OH)_2) piklerinin şiddeti 28 gün yaşlandırılmış numunelere göre artmıştır.

Çimento 2 ile hazırlanan katkısız numunelerin 7 ve 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.18’de verilmiştir.



Şekil 8.18.

Şekil 8.19.





Şekil 8.20.



Şekil 8.21.

Şekil 8.22.



Şekil 8.23.





Şekil 8.24.



Şekil 8.25

Şekil 8.26.





Şekil 8.27.



Şekil 8.28.



Şekil 8.29.



Şekil 8.30.

eklenen katkıya kadar artmış, %1 katkı oranında azalmıştır. 28 gün yaşlandırılmış numunelerde ise katkı oranı arttıkça 21°, 26°,55°, 60° ve 70°'deki kuvars piklerinin şiddeti, %1 katkı oranına kadar doğrusal olarak artmıştır.

Melamin sülfonat katkı kullanılan numunelerde kür süresi arttıkça %0,2, %0,3 ve %0,5 esaslı katkı içeren numunelerde piklerin şiddeti artmış ancak %1 katkı kullanılan numunede pik şiddeti azalmıştır. Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 ve 28gün yaşlandırılmış numunelerde katkı oranı arttıkça 26°,55°, 60° ve 70°'deki kuvars piki %1 katkı oranına kadar artmıştır. 28 gün yaşlandırılmış numunelerde 50°'deki portlandit pikinin, %0,5 eklenen katkı oranı haricinde, şiddetinde değişim gözlenmemiştir.60° pikinin şiddeti katkı oranı arttıkça azalmıştır

Çimento 2 kullanılmış, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde kür süresi arttıkça %0,2 esaslı katkı içeren numunede 70°'deki kuvars pikinin şiddeti azalmış ancak diğer piklerin şiddeti artmıştır. %0,3 esaslı katkı içeren numunede pik şiddetleri genel olarak azalmış, 27° ve 50° piklerinin şiddeti artmıştır. %0,5 esaslı katkı içeren numunelerin pik şiddetlerinde kür süresinin artmasına rağmen belirgin bir değişiklik olmamıştır. %1 esaslı katkı içeren numunede ise piklerin şiddeti artmıştır. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerde katkı oranı arttıkça 21°, 26°,55°, 60° ve 70°'deki kuvars piki %1 katkı oranına kadar artmıştır. 21°'deki kuvars piki en şiddetli haline %0,3 oranında eklenen katkıya ulaşmıştır, pik şiddeti artan katkı oranıyla azalmıştır. .50°'deki kuvars piki ise artan katkı oranıyla birlikte artmıştır. 7 gün yaşlandırmada 42°'de gözlenen alit pikleri %0,5 ve %1 oranında katkı kullanılan numunelerde açıkça gözlenmektedir.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde %0,2 ve %1 esaslı katkı içeren numunelerde kür süresinin artmasıyla pik şiddetleri artmış ancak %0,3 ve %0,5 esaslı katkı içeren numunelerde kür süresinin artmasıyla pik şiddetleri azalmıştır. Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 gün yaşlandırılmış numunelerde kuvars piki şiddeti ve 55°'deki portlandit pikinin %0,3 oranında eklenen katkıya kadar artmış, daha sonra artan katkı oranıyla pik şiddeti azalmıştır. 37°'deki kuvars piki şiddeti artan katkı oranıyla birlikte azalmıştır. Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan 28 gün yaşlandırılmış numunelerde kuvars piki şiddeti ve 55°'deki portlandit pikinin %0,5 oranında eklenen katkıya kadar artmış, daha sonra artan katkı oranıyla pik şiddeti azalmıştır. 60°'deki kuvars pikinin şiddeti artan katkı oranıyla birlikte azalmıştır.

Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise %0,2, %0,5 ve %1 esaslı katkı içeren numunelerde kür süresinin artmasıyla pik şiddeti artmış ancak %0,3 esaslı katkı içeren numunede kür süresinin artmasıyla pik şiddeti azalmıştır. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 gün yaşlandırılmış numunelerde katkı oranı arttıkça 26°, 55°, 60° ve 70°'deki kuvars piki %1 katkı oranına kadar artmıştır. 47°'deki portlandit pikinin şiddeti katkı oranının artmasıyla azalmıştır. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 gün yaşlandırılmış numunelerde katkı oranı arttıkça 21°, 26° ve 50°'deki kuvars piki %0,5 katkı oranına kadar artmıştır, daha sonra artan katkı oranıyla azalmıştır. Hazırlanan katkısız numunelerde ise kür süresinin artmasıyla pik şiddeti artmıştır.

8.2.2. Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının XRD spektrumuna etkisi

Çimento 1 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 7 günlük X- Işını kırınımı spektrometresinde ~21°, 26°, 55°, 60° ve 70°'deki pikler kuvars (SiO₂) pikidir. ~35°, 47°, 51°'deki pikler portlandit (Ca(OH)₂) pikine işaret eder.

Çimento 2 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 7 günlük X- Işını kırınımı spektrometresinde ~21°, 26°, 37°, 40°, 50°, 60° ve 70°'deki pikler kuvars (SiO₂) pikidir. ~35°, 47°, 51° ve 55°'deki pikler portlandit (Ca(OH)₂) pikine işaret eder.

Çimento 1 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.31'de verilmiştir.



Şekil 8.31



Şekil 8.32

Şekil 8.33.





Şekil 8.34.



Şekil 8.35.



Şekil 8.36.

Şekil 8.37.





Şekil 8.38.



Şekil 8.39.

Şekil 8.40





Şekil 8.41.



Şekil 8.42.



Şekil 8.43.



Şekil 8.44.



Şekil 8.45.



Şekil 8.46.

8.3. FT-IR Spektroskopisi Sonuçları

Çimento 1 ve Çimento 2 kullanılarak yapılan ve su/çimento oranı 0,5'te sabit tutulan numunelerde naftalin sülfonat, lignosülfonat- naftalin sülfonat karışımı ve melamin sülfonat esaslı katkılar kullanılmıştır. Katkı oranı %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 olarak belirlenmiştir. 7 ve 28 günlük yaşlandırma süreleri için Çimento 1 ve Çimento 2 için katkısız numuneler de hazırlanmıştır.

Çimento 1 ve Çimento 2 kullanılarak hazırlanan 7 ve 28 gün yaşlandırılmış katkısız numunelerinin FT-IR spektrumlarında 3640 cm^{-1} 'de görülen bant Ca(OH)_2 bileşiğinden gelen -OH bağıdır. 3440 cm^{-1} 'de görülen bant ise suya ait olan -OH bağıdır. 2800 cm^{-1} civarı görülen pik, karbonat pikidir. 2400 cm^{-1} 'de ise CO_2 görülür. 1500 cm^{-1} civarı görülen bant C=O bağıdır. 778 cm^{-1} 'de karbonatlaşma ve 694 cm^{-1} 'de N-H bağı görülmüştür. 458 cm^{-1} 'de ise Si-O oluşumuna rastlanmıştır (Mollah ve ark., 2000, Mollah ve ark., 1995, Ylmén ve ark., 2009, Trezza, 2007, Zhou ve ark., 2007, Feng ve ark., 2018).

Çimento 1 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 ve 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.47'de verilmiştir.

Şekil 8.47

28 gün yaşlandırılmış katkısız numuneye ait 3640 cm^{-1} 'deki -OH bağı, 7 gün yaşlandırılmış numunenin -OH bağından daha keskindir. 1500 cm^{-1} ve 780 cm^{-1} civarındaki karbonat pikinin 7 gün yaşlandırılmış numunede daha keskin olduğu görülmektedir.

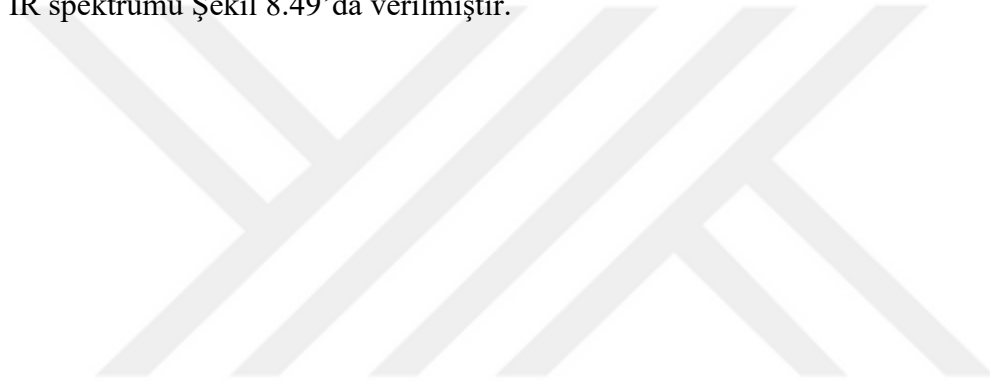
Çimento 2 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 ve 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.48'de verilmiştir.



Şekil 8.48.

Çimento 1 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 7 günlük Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisinde 3645 cm^{-1} 'de görülen pik $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ten gelen -OH bağıdır. 3450 cm^{-1} 'de ise sudan gelen -OH bağı bulunmaktadır. 1440 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} 'de civarı görülen pik, karbonat pikidir. 1900 cm^{-1} 'de karbonil grubu bulunmaktadır. 1000 cm^{-1} civarı sülfonik gruplar bulunmaktadır. 450 cm^{-1} civarında ise Si-O bağı görülmektedir (Mollah ve ark., 2000, Pickelmann ve ark., 2012, Mollah ve ark., 1995, Ylmén ve ark., 2009, Kamoun ve ark., 2003, Trezza, 2007, Rabbii, 2001, Zhou ve ark., 2007, Janowska- Renkas, 2013, Feng ve ark., 2018).

Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.49'da verilmiştir.



Şekil 8.49.

Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.50’de verilmiştir.



Şekil 8.50.

Şekil 8.51.



Şekil 8.52.





Şekil 8.53.



Şekil 8.54.



Şekil 8.55.



Şekil 8.56.



Şekil 8.57.



Şekil 8.58.



Şekil 8.59.



Şekil 8.60.

8.3.2. Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının FT-IR spektroskopisi sonuçlarına etkisi

Çimento 1 ve 2 ile hazırlanan, naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkıları kullanılan numuneler 7 ve 28 gün yaşlandırılmıştır. Hazırlanan numunelerin FT-IR spektrumları incelenmiştir. Çimento 1 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.61’de verilmiştir.



Şekil 8.61.



Şekil 8.62



Şekil 8.63.



Şekil 8.64.

Şekil 8.65.



Şekil 8.66.



Şekil 8.67.



Şekil 8.68.





Şekil 8.69.



Şekil 8.70.



Şekil 8.71.



Şekil 8.72.

Şekil 8.73.



Şekil 8.74



Şekil 8.75.



Şekil 8.76.



8.4. SEM Görüntüleri Sonuçları

Çimento 1 ve Çimento 2 kullanılarak yapılan ve su/çimento oranı 0,5'te sabit tutulan numunelerde naftalin sülfonat, lignosülfonat- naftalin sülfonat karışımı ve melamin sülfonat esaslı katkılar kullanılmıştır. Katkı oranı %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 olarak belirlenmiştir. 7 gün ve 28 günlük yaşlandırma süreleri için Çimento 1 ve Çimento 2 için katkısız numuneler de hazırlanmıştır.

Çimento 1 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 gün ve 28 günlük SEM görüntüleri Şekil 8.77'de verilmiştir.



Şekil 8.77.

Şekil 8.78.



c

d

Şekil 8.79.



c

d

Şekil 8.80.



c

d

Şekil 8.81.



c

d

Şekil 8.82.



c

d

Şekil 8.83.



c

d

Şekil 8.84.



c

d

Şekil 8.85.



c

d

Şekil 8.86.



c

d

Şekil 8.87.



c

d

Şekil 8.88.



c

d

Şekil 8.89.

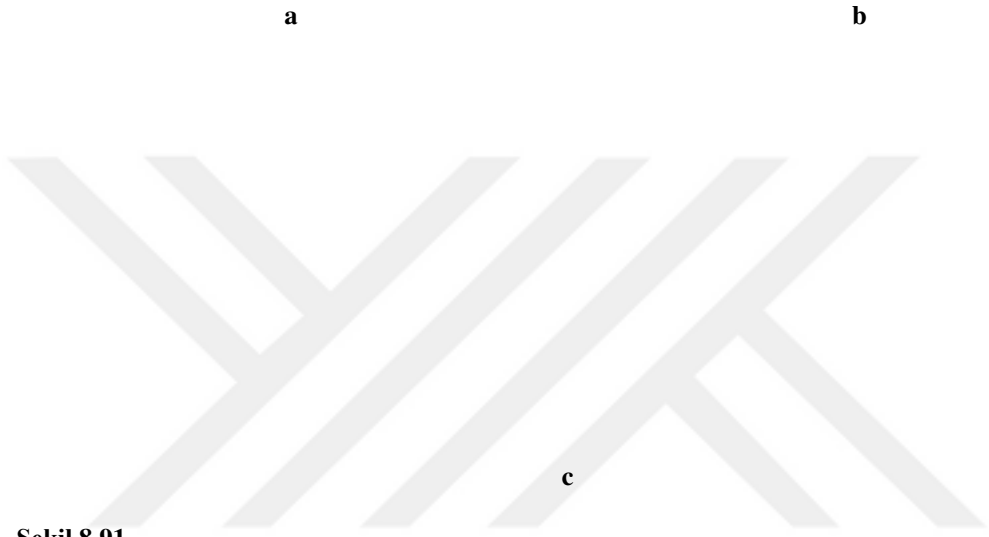


c

d

Şekil 8.90.





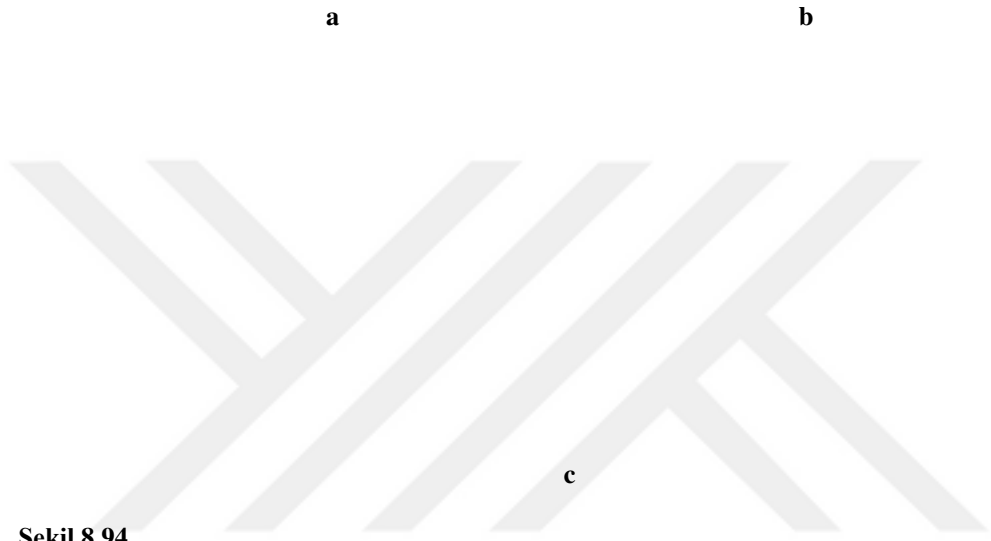
Şekil 8.91.



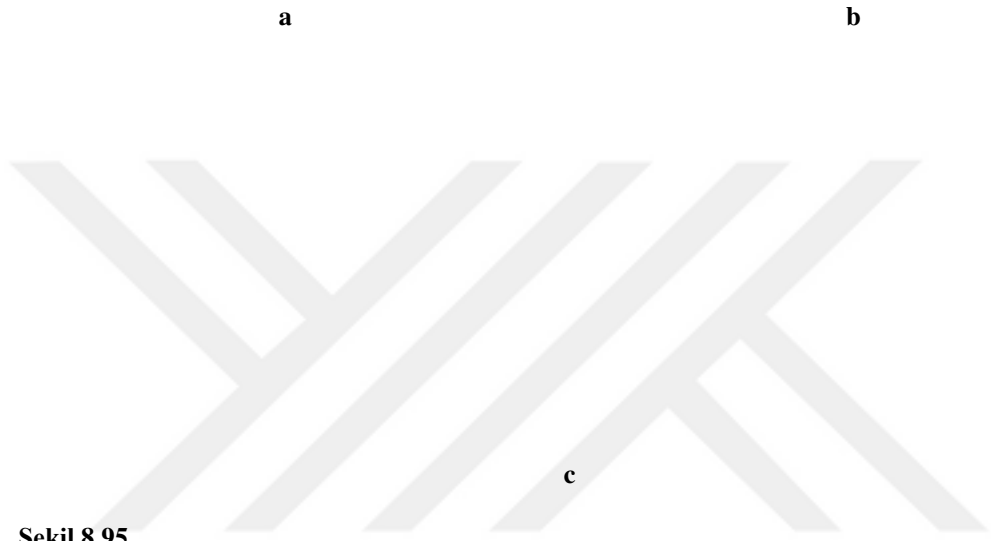
Şekil 8.92



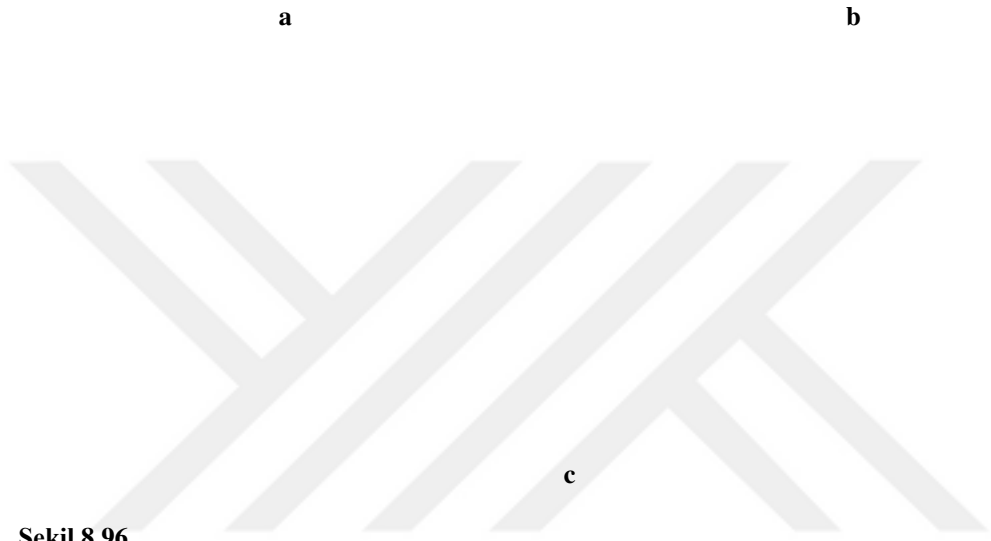
Şekil 8.93.



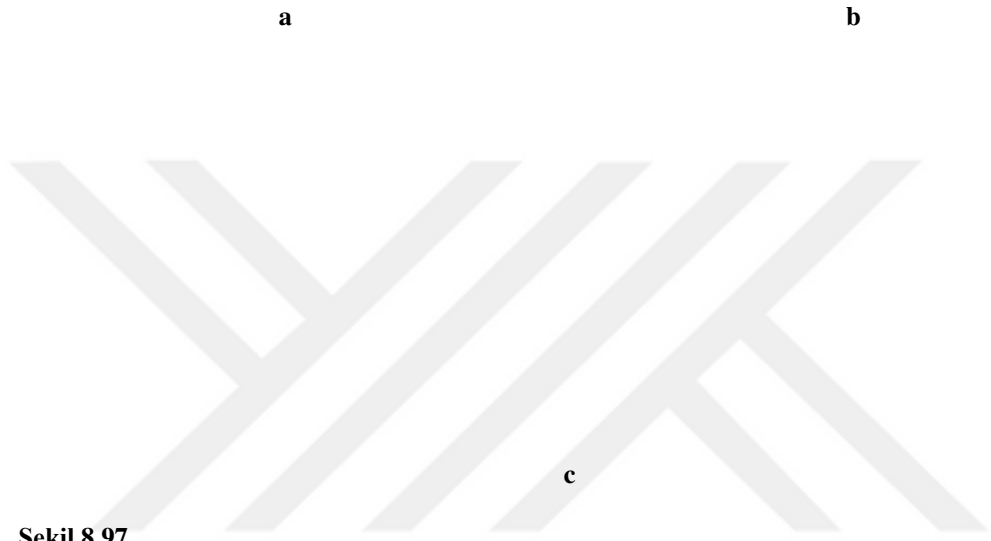
Şekil 8.94.



Şekil 8.95.



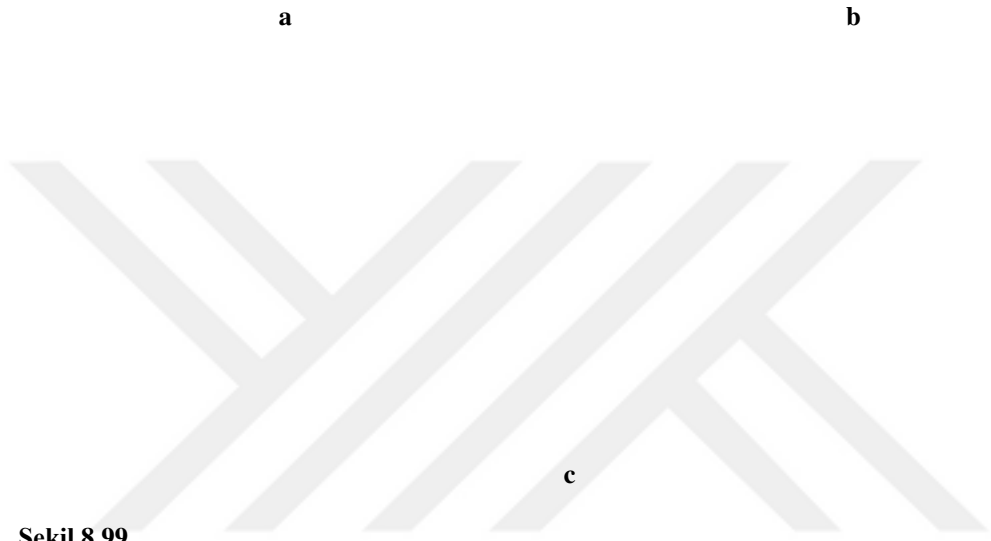
Şekil 8.96.



Şekil 8.97.



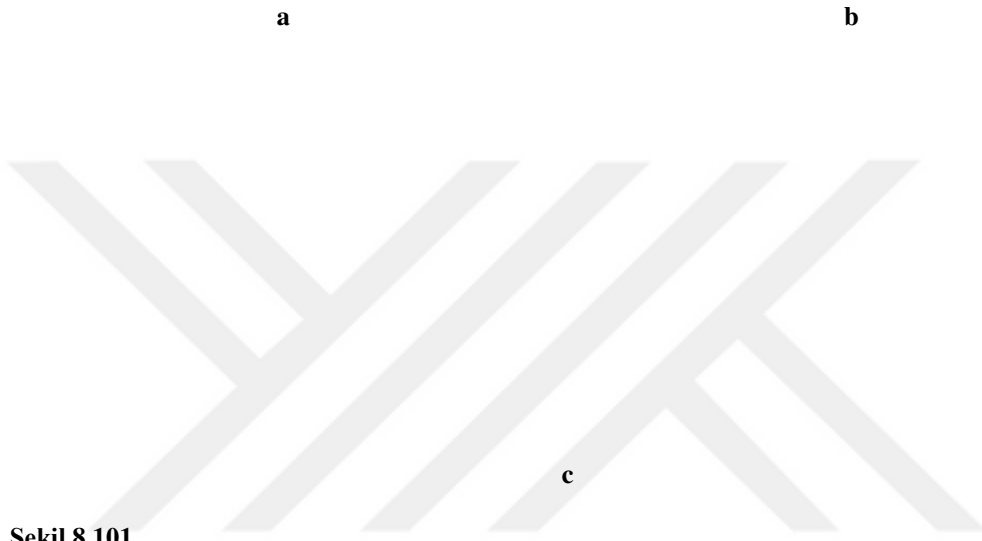
Şekil 8.98.



Şekil 8.99.



Şekil 8.100.



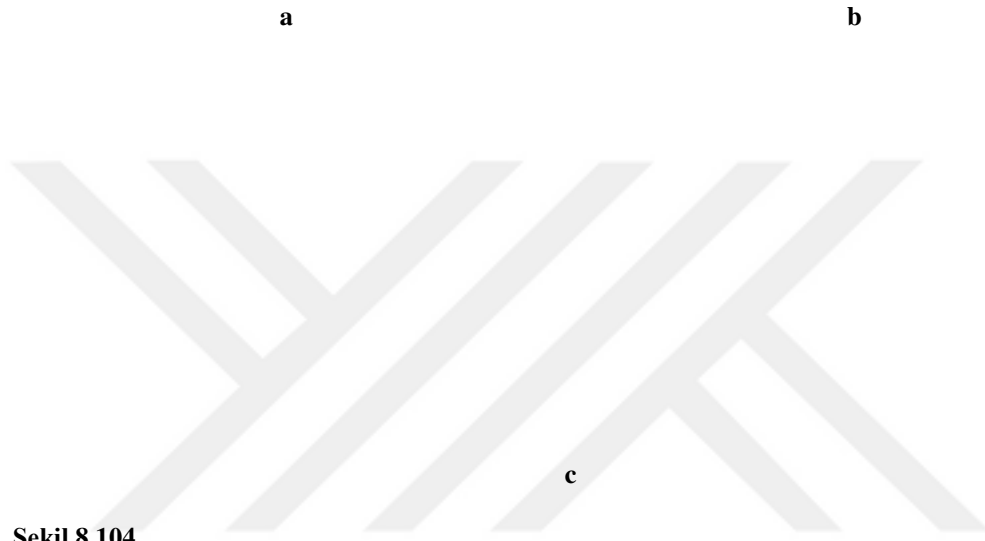
Şekil 8.101.



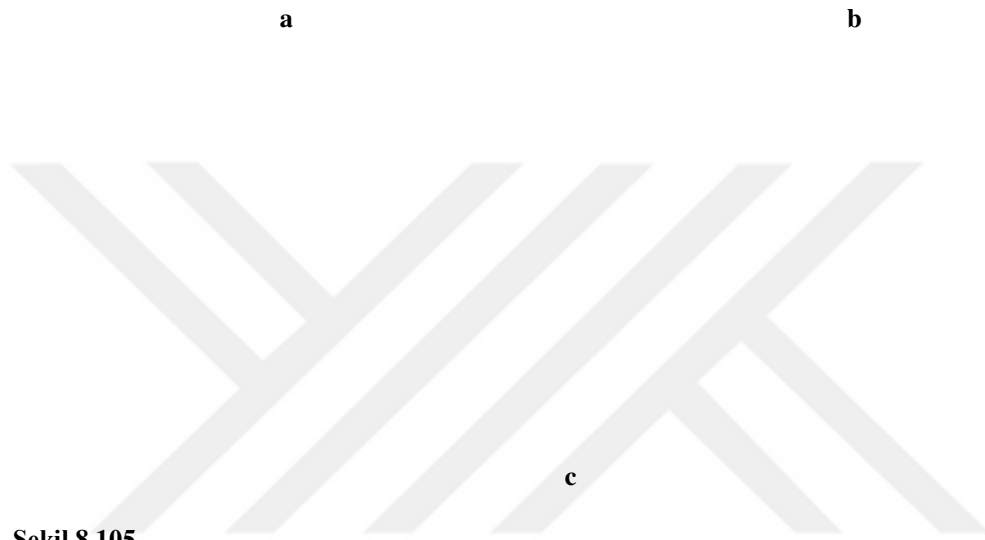
Şekil 8.102.



Şekil 8.103.



Şekil 8.104.



Şekil 8.105.



Şekil 8.106.

9. DEĞERLENDİRME, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar maddeler halinde özetlenmiştir:

- Farklı tür ve oranlarda kullanılan katkıları, betonun taze ve sertleşmiş halindeki özelliklerini değiştirmiştir. Katkısız numune ile karşılaştırıldığında, akışkanlaştırıcı katkıları ile hazırlanan numunelerin taze beton halinde işlenebilirlikleri iyileşmiştir. Çimento harcına eklenen katkı miktarı arttıkça akışkanlık da artmıştır.
- Çimento 1 kullanılarak hazırlanan numunelerde, 7 ve 28 günlük yaşlandırılmış numunelerde işlenebilirliği en çok arttıran katkı yayılma çapını %53 oranında arttıran %1 (g/ g çimento) oranında kullanılan lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıdır.
- Çimento 2 kullanılarak hazırlanan numunelerde ise, 7 gün yaşlandırılmış numunede işlenebilirliği en çok arttıran katkı yayılma çapını %46 oranında arttıran %1 (g/ g çimento) oranında kullanılan lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıdır. 28 gün yaşlandırılmış numunede ise işlenebilirliği en çok arttıran katkı yayılma çapını %40 oranında arttıran %1 (g/ g çimento) oranında kullanılan lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıdır.
- Çimento 1 ile hazırlanan 7 ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerde, naftalin sülfonat esaslı katkının basınç dayanımını en çok arttırdığı katkı oranının %0,5 (g/ g çimento) olduğu görülmüştür. %0,5 (g/ g çimento) oranında eklenen naftalin sülfonat esaslı katkı, katkısız numune ile kıyaslandığında 7 gün yaşlandırılmış numunenin basınç dayanımı değerini %18, 28 gün yaşlandırılmış numunenin basınç dayanımı değerini %9 kadar arttırmıştır.
- Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının en uygun katkı oranının %0,2 (g/ g çimento) olduğu görülmüştür. 7 gün yaşlandırılmış numunenin basınç dayanımı değeri %14, 28 gün yaşlandırılmış numunenin basınç dayanımı değeri ise %12 oranında artmıştır.
- Melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerde ise en uygun katkı oranının %1,0 (g/ g çimento) olduğuna karar verilmiştir. 7 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı değerlerinde %2'lik bir artış gözlenirse de 28 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı değerlerinde bir artış gözlenmemiştir.

- Çimento 2 ile hazırlanan 7 yaşlandırılmış numunelerde, naftalin sülfonat esaslı katkının en uygun oranının %0,5 (g/ g çimento) ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerde %1,0 (g/ g çimento) olduğu saptanmıştır. Katkısız numunelere kıyasla, 7 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı değeri %24, 28 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı değeri ise %28 artmıştır.
- Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde, 7 ve 28 günlük yaşlandırma için en uygun katkı oranının %1,0 olduğu belirlenmiştir. 7 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı değerlerinde %27, 28 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı değerlerinde ise %15 oranında artış gözlenmiştir.
- Melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde ise en uygun katkı oranının %0,5 (g/ g çimento) olduğuna karar verilmiştir. Katkısız numunenin basınç dayanımı değeri ile 7 ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı değeri kıyaslandığında, katkılı numunenin basınç dayanımı değerinin sırasıyla %10 ve %17 arttığı görülmüştür.
- Çimento 1 ile hazırlanan numuneler ile basınç dayanımını en çok arttıran katkının %0,2 (g/ g çimento) oranında kullanılan lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı olduğu görülmüştür.
- Çimento 2 ile hazırlanan numuneler ile basınç dayanımını en çok arttıran katkının ise %1,0 (g/ g çimento) oranında kullanılan lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı olduğu görülmüştür.
- XRD grafikleri incelendiğinde katkısız numunelerde kalsiyum hidroksit (CH) piki azaldıkça basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. 7 gün yaşlandırılmış katkısız numunedeki CH pikleri 28 gün yaşlandırılmış numunenin CH piklerinden daha şiddetlidir. Bu durum basınç dayanımı değerleri ile ilişkilendirilebilir.
- Kuvars (SiO₂) piki şiddetli ve düşük CH pikleri olan katkılı numunelerin basınç dayanımları yüksek çıkmıştır. 7 gün yaşlandırılmış numunelerde görülen alit piki, hidrasyonun devam etmesiyle birlikte 28 gün yaşlandırılmış numunelerde C-S-H jeline dönüşmüştür. Bu sebeple, 28 gün yaşlandırılmış numunelerin basınç dayanımı, 7 gün yaşlandırılmış numunelerden daha yüksektir.
- FT-IR spektroskopisinde kalsiyum hidroksitten gelen -OH bağlarının pik şiddeti fazla olduğunda basınç dayanımının da yüksek olduğu gözlenmiştir.

- Si- O bandının 925 cm^{-1} 'den 970 cm^{-1} 'e kayması C-S-H jeli oluşumunun işaretidir. Bu durum çimento 1 ile hazırlanan ve %0,2 oranında katkı kullanılan numunelerde gözlenmiştir.
- SEM görüntüleri incelendiğinde boşluklu yapılarda etrenjit oluşumuna rastlanılmıştır. Etrenjit oluşumunun yoğun görüldüğü numunelerde basınç dayanımı azalmıştır.
- Yoğun C-S-H jeli yapısı gözlenen numuneler daha tok bir yapıya sahip olup basınç dayanımları daha yüksektir. C-S-H jeli topaklı olan numunelerde basınç dayanımının daha düşük olduğu gözlenmiştir.
- Yapılan çalışmalar sonucunda süper akışkanlaştırıcı kullanımının uygun oranlarda yapılmasının taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştireceği görülmüştür.
- İleride yapılacak çalışmalarda farklı katkı ve su/çimento oranlarının denenmesi önerilebilir.

KAYNAKÇA

Anagnostopoulos, C.A., ‘Effect of different superplasticisers on the physical and mechanical properties of cement grouts’,



Erdoğan T.Y. (2007).



Janowska-Renkas, E., (2013). ‘The effect of superplasticizers’ chemical structure on their efficiency in cement pastes’,



Mollah, M. Y. A, Yu, W., Schennach, R., Cocke, D. L., (2000). 'A Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate',



Recalde Lummer, N., Plank, J., (2012). ‘Combination of lignosulfonate and AMPS®-co-NNDMA water retention agent—An example for dual synergistic interaction between admixtures in cement’,



Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Ersoy, B., Evcin, A., (2017). ‘Kendiliğinden yerleşen polimerik harçlarda mineral katkının reolojik özelliklere etkisi’,



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Deniz Tuğçe ALGAN
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir/ 04.02.1992
E-Posta : deniztugce@yahoo.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2006-2010 Özel Gelişim Anadolu Lisesi (92,29)
- 2010-2016 Anadolu Üniversitesi
Lisans, Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği (2,34)
- 2013-2018 Anadolu Üniversitesi
Lisans, İşletme Fakültesi, İşletme (A.Ö., 2,81)
- 2016- 2019 Eskişehir Teknik Üniversitesi
Yüksek Lisans, Kimyasal Teknolojiler B.D. (3,44)