



**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.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
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, çalışmalarımnda 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

	Sayfa
6. KONUYLA 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	
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) paketlenme.....	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 hazırlanan 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	

	<u>Sayfa</u>
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+	

Sayfa

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
C₂S: Dikalsiyum Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
C₃S: Trikalsiyum Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
C₃A: Trikalsiyum Alüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)
C₄AF: Tetrakalsiyum Alümino-Ferrit
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.

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı			
	Erken Dayanım		Standart Dayanım	
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	
32,5 N	-	≥16	≥32,5	≤52,5
32,5 R	≥10	-	-	-
42,5 N	≥10	-	≥42,5	≤62,5
42,5 R	≥10	-	-	-
52,5 N	≥10	-	≥52,5	-
52,5 R	≥10	-	-	-

Akışkanlaştırıcılar veya su azaltıcı katkıları, su/çimento oranının azaltılarak aynı işlenebilmeyi elde etmek, çimento miktarını azaltarak hidrasyon ısısını düşürmek veya daha akışkan beton elde etmek amacıyla kullanılan katkılarıdır. Akışkanlaştırıcı katkıları, %5-11 kadar su azaltıyorsa normal miktarda su azaltıcı katkıları olarak, eğer %12 ve daha fazla miktarda su azaltıyorsa yüksek oranda su azaltıcı katkıları olarak anılırlar (Uysal ve ark., 2012, Yıldırım ve ark., 2010, Erdoğan ve ark., 2007).

Akışkanlaştırıcı katkıları su içinde çözünerek çimentonun topaklanmasını engellemektedir. Topaklanmayı önleyen 2 mekanizma vardır. Bunlar elektrostatik ve stearik etkidir. Elektrostatik etkide negatif yükle yüklü katkıları çimento tanelerine tutunarak bu taneleri birbirinden iter. Bu şekilde topaklaşma engellenir ve çimento hamuru akışkanlık kazanır. Stearik etkide ise uzun yan polimer zincirleri olan ana polimerler fiziksel etkiyle çimento taneciklerinin topaklanmasını engeller (Ramyar, 2007).

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).

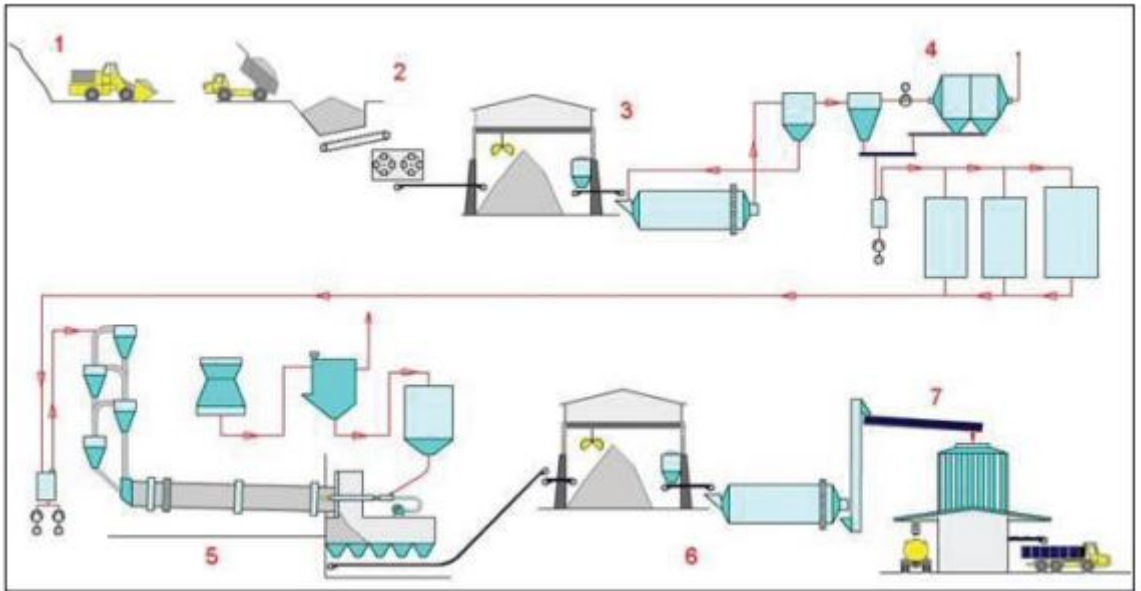
Sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan çimento harçlarının mekanik ve mikroyapısal özelliklerine su/çimento oranının etkisinin incelendiği bu çalışmada, 3 farklı sülfonat esaslı katkı ve dört farklı oranda süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Sülfonat esaslı katkıların basınç dayanımı, işlenebilirlik 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 Mikroskopu (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 bileşikleriyle sinterleşme veya ergime yoluyla oluşturduğu öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır (Knöfel,1983).

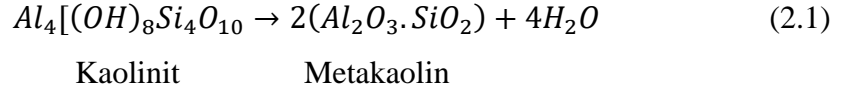
Çimento üretiminde sırasıyla, ocaklardan alınan hammaddeler kırılmak üzere konkasörlere taşınırlar. Kırılan hammaddeler stoklanır ve belirli oranlarda karıştırılarak farin değirmenine aktarılır ve öğütülür, bu karışıma farin adı verilir ve pişirilmek üzere stoklanır. Döner fırına aktarılmadan önce ön 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.

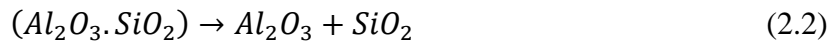


Şekil 2.1.

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).



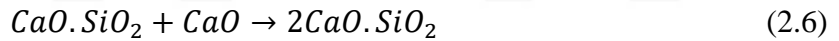
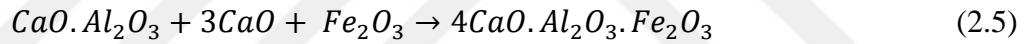
Sıcaklık 900 °C'ye geldiğinde ise metakaolin oksitlere dönüşür (Eşitlik 2.2).



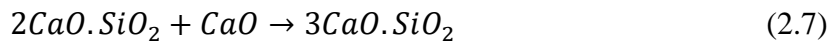
Karbonasyon evresinde, kalker 896 °C'de bileşenlerine ayrılır (Eşitlik 2.3).



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.

Anabileşenler	Çimento Kimyasına Göre Sembolü
Trikalsiyum silikat 3CaO.SiO ₂ (Alit)	C ₃ S
Dikalsiyum Silikat 2 CaO. SiO ₂ (Belit)	C ₂ S
Trikalsiyum Alüminat 3CaO.Al ₂ O ₃ (Selit)	C ₃ A
Tetrakalsiyum Alümino Ferrit 4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ (Brownmillerit)	C ₄ AF

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.

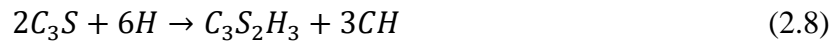
Portland çimentosu, su ile birleştiğinde çimento hidratasyonu adı verilen, her bir bileşenin belirli kimyasal tepkimeler sonucu enerji açığa çıkardığı bir evre başlar. Bu evrede ayrı ayrı hidratasyon ürünleri oluşmaktadır ve her birinin farklı etkileri vardır.

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

Çizelge 2.2.

Çimento Özellikleri	Bileşenlerin Özellikleri			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Tepkime Hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Orta	Az	Çok	Orta
Bağlayıcılık Değeri				
-İlk zamanlar	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
-Sonunda	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

Bu bileşenlerin hidratasyon reaksiyonları aşağıdaki gibidir (Eşitlik 2.8, Eşitlik 2.9).

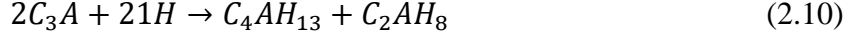


Denklemlerdeki CH kalsiyum hidroksittir, C₃S₂H₃ ise tobermorit (C-S-H jeli) adı verilen, çok küçük parçalı ve çimentonun bağlayıcılığını sağlayan bir üründür (Erdoğan, 1995).

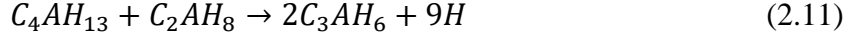
Hızlı priz alma, çeşitli karbo- sülfö alüminat, kalsiyum alüminat, hidratların oluşumunda önemli rol oynayan C₃A, Portland çimentosunda %4-11 kadar

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

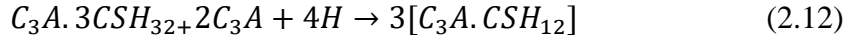
C_3A 'nın su ile tepkimesinin ürünleri aşağıdaki gibidir (Eşitlik 2.10).



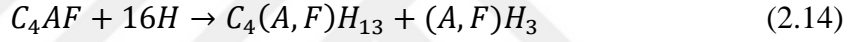
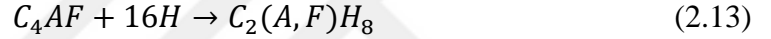
Bu iki bileşik termodinamik açıdan kararsız olduğundan aşağıdaki tepkime gerçekleşir (Eşitlik 2.11).



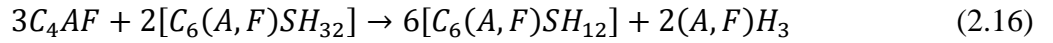
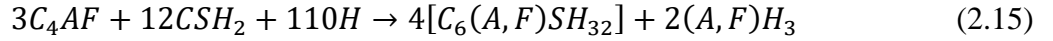
Ortamda oluşacak ani prizi kontrol altına almak için ortama alçıtaşı eklenmelidir. C_3A ile alçıtaşının tepkime ürünleri aşağıda verilmiştir (Eşitlik 2.12).



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 özelliklerindedir. 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).

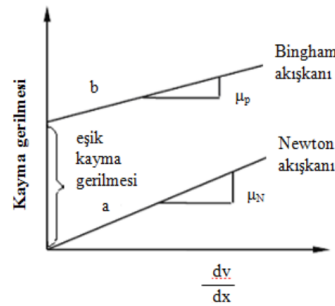
Çimento, agrega ve katkının karılması işleminde kullanılan karışım suyunun 2 önemli işlevi vardır:

- 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)

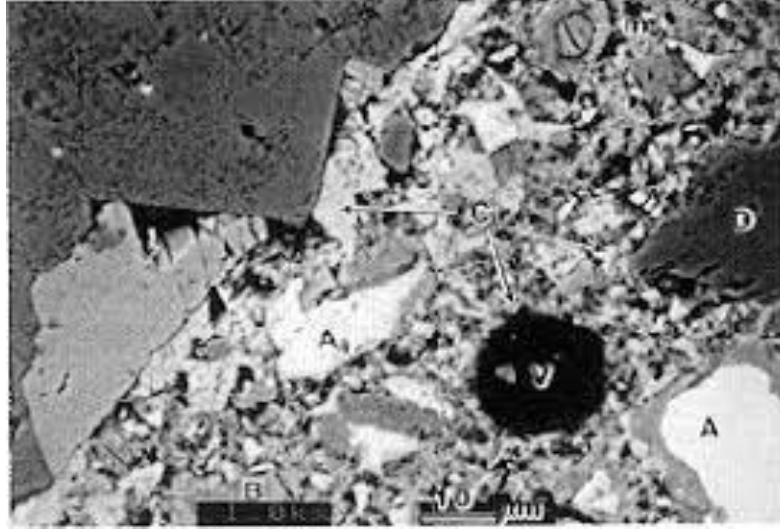
Çimento ve agrega ara yüzeyinin bağlantılarını güçlendirme eğiliminde olan, altıgen prizma, zayıf, uzun kristal veya yassı şekillerde görülebilen kristallere kalsiyum hidroksit (CH) kristali adı verilir.

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.

S

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 ekonomikleştiren 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 birleştiğinde 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, kuvarsin, 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 arttırır. 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 (Büyükyağcı ve ark., 2009).

Akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar, betonun kıvamını bozmadan su içeriğini azaltan, su miktarını değiştirmeden slampını 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 katkıların avantajları;

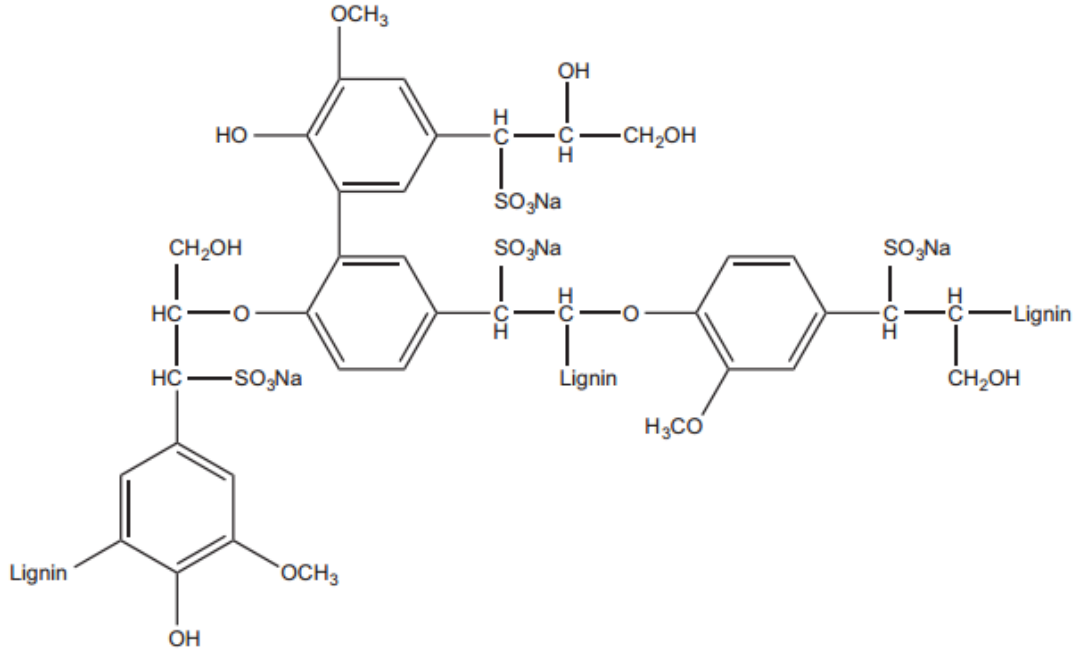
- Betonun su ihtiyacını %30'a kadar azaltmak ve başlangıç- bitiş dayanımlarında artış sağlamak
- Daha fazla suya ihtiyaç duymadan istenen akışkanlığı sağlamak
- Çimentonun hidrasyonunu iyileştirmek
- Betonun kıvamını yumuşatarak kuma ve ayrışmayı önlemek
- Çatlakları önlemek
- Su geçirimsizlik direncini 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. Sülfonat esaslı katkılar

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

Yüksek sıcaklıklarda (140-170 °C) sülfite ve bisülfite tuzlarının kullanılmasıyla delignifikasyon işlemi gerçekleşir. Bu işlem esnasında liginin bağları koparak daha düşük ağırlıklı ligin birimleri oluşur. Sülfonasyon işlemiyle liginin 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).

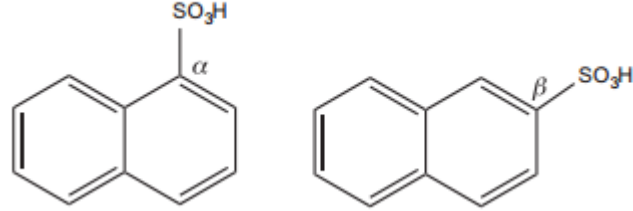


Şekil 4.1.

1930'larda üretilmeye başlanan naftalin sülfonatlar önce tekstil endüstrisinde ve sentetik kauçuk üretiminde kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda ise Japon pazarına beton katkıları olarak tanıtılmıştır.

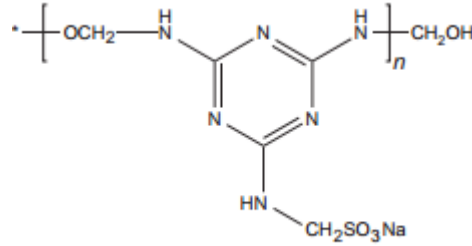
Naftalin sülfonat esaslı katkıları üzerinde molar ağırlığın adsorpsiyon ve dispersiyon üzerine etkisi ve çimentonun hidratasyonu açısından araştırmalar yapılmıştır. Naftalin sülfonatın faydaları arasında donmaya karşı direnç sağlanması ve betonun içine hava vermesi sayılabilir.

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



Şekil 4.2.

Melamin sülfonat esaslı katkıları 1970’li yıllarda piyasaya sürülmüştür ve renksiz, kokusuz ve termal kararlılığının iyi olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak karmaşık prosesi sebebiyle geleneksel melamin su azaltıcı katkı üretimi eskisi kadar fazla yapılmamaktadır. Melamin sülfonat esaslı katkıının yapısı Şekil 4.3’te verilmiştir (Topçu ve ark., 2016, Jumadurdiyev ve ark., 2005, Wang ve ark. 2013).



Şekil 4.3.

40

4.2.2.2. Çimento taneciklerine etki eden mekanizmalar

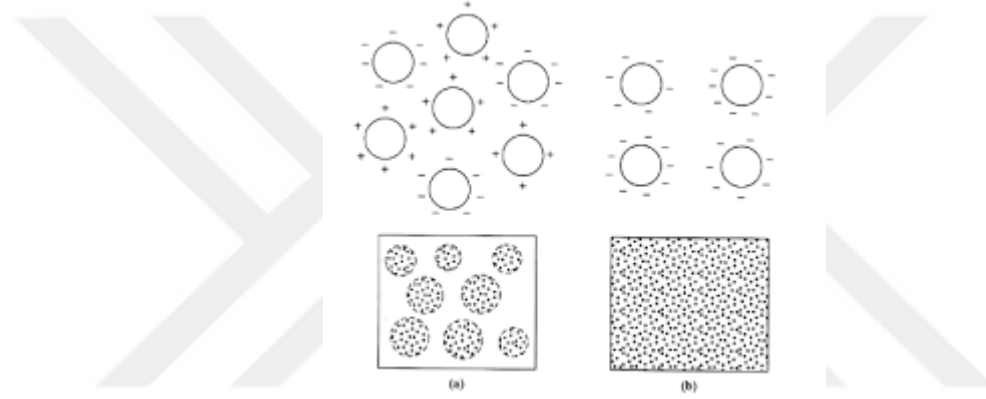
Süper akışkanlaştırıcıların eklenmesi, çimento taneciklerinin birbirine yaklaşmasına engel olur. Taneciklerin birbirinden uzaklaşmasıyla Van der Waals kuvveti ve akışkanlık için gereken kuvvetlerin büyüklüğü artar. Süper akışkanlaştırıcıların çimento taneciklerine olan etkisi elektrostatik etki ve sterik etki altında incelenir.

Süper akışkanlaştırıcı katkıları betonun reolojisini iyileştirmiştir. Bu katkıları çimento taneciklerine adsorplanarak sterik etkiyle ve çimento taneciklerine tutunan

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

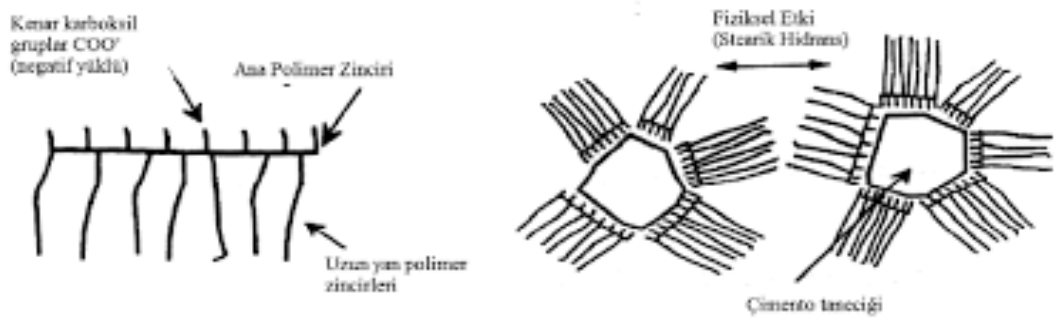
4.4

Beton karışımına eklenen akışkanlaştırıcılar çimento taneciklerinin dağılmasına ve çimento harcının akışkanlaşmasına sebep olur. Naftalin ve melamin sülfonat esaslı katkıları gibi süper akışkanlaştırıcıların sayesinde, topaklanan çimento taneleri negatif yüklerle yüklenecek ve birbirini itecektir (Collepardi, 2005, Ramyar, 2007).



Şekil 4.4.

Sterik etkide, en önemli parametreler ana zincir uzunluğu, yan zincir uzunluğu ve yan zincir arasındaki mesafedir.



Şekil 4.5.

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 iğnelere tutunarak hidrasyonun yavaşlamasını engeller, ancak süper akışkanlaştırıcının asıl amacı C_3S ve C_2S 'ye tutunarak dağıtma etkisini arttırmaktır bu yüzde 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 C₃A 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, katkıları 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 alma aralığında 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.

-1

Kare Göz Açıklığı (mm)	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Elekte Kalan Yığılımlı (%)	0	7 \pm 5	33 \pm 5	67 \pm 5	87 \pm 5	99 \pm 1

CEN standart kumu 1350 \pm 5 gramlık torbalarda, Çizelge 7.1'de verilen CEN referans kumu tane büyüklüğü ve dağılımına uygun olarak ambalajlanır. Yapılan deneylerde CEN standart kumu kullanılmıştır.

7.2. Çimento

Deneyde kullanılacak çimento hava geçirmeyen bir kapta muhafaza edilmelidir. Çimento 1'in kimyasal bileşimi Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2.

Oksitli Bileşik	Ağırlıkça (%)
Na ₂ O	0,3893
MgO	1,8218
Al ₂ O ₃	4,7248
SiO ₂	18,9675
P ₂ O ₅	0,0866
SO ₃	2,6057
K ₂ O	0,6058
CaO	62,2583
TiO ₂	0,4928
Cr ₂ O ₃	0,0613
MnO	0,0387
Fe ₂ O ₃	2,9604

Çimento 2'nin kimyasal bileşimi Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3.

Oksitli Bileşik	Ağırlıkça (%)
MgO	2,5058
Al ₂ O ₃	4,9290
SiO ₂	19,0946
P ₂ O ₅	0,1108
SO ₃	2,8224
K ₂ O	0,6762
CaO	61,8950
TiO ₂	0,3296
Cr ₂ O ₃	0,0800
MnO	0,0585
Fe ₂ O ₃	3,5081

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.

Katkı Adı	Yoğunluk	pH
Naftalin Sülfonat	1,166 g/mL	8,24
Lignosülfonat+Naftalin Sülfonat	1,149 g/mL	8,21
Melamin Sülfonat	1,204 g/mL	9,61

TS EN 196-1 ve ASTM C305'de belirtilen şekilde laboratuvar tipi mikser yardımıyla çimento harçları oluşturulur. Tartımı alınan su ve katkı, bir beher içinde baget yardımıyla homojen olacak şekilde karıştırılır. Tartılan çimento mikser teknesine alınır, su- katkı karışımı da çimentonun üzerine eklenir ve cihaz düşük devirde (140 ± 5 r/min) çalıştırılır. 30 saniye karıştırıldıktan sonra, takip eden 30 saniye boyunca da kum eklenir. Üçüncü 30 saniyede cihaz yüksek devirde (280 ± 10 r/min) çalıştırılır, daha sonra 15 saniye boyunca durdurulur. Bu 15 saniyelik arada harç silikon bir sıyrıcı yardımıyla kabın çeperlerinden ve tabanından sıyrılarak ortada toplanır. Cihaz tekrar yüksek devirde 60 saniye boyunca karıştırılır, bunun sonunda çimento harcı elde edilir.

Deney numuneleri için kullanılacak 40 mm x40mmx 160 mm'lik kalıplar yağlandıktan sonra hemen harçla doldurulmalıdır. Kalıplar bir kaşık yardımıyla yarısına kadar doldurulur. Birinci tabaka 60 sarsmada sıkıştırılır. Kalıpların kalan yarısı da doldurulur ve üzeri düzeltilir. İkinci tabaka tekrar 60 sarsma ile sıkıştırılır.

Kalıplar, numune döküldükten 24 saat sonra sökülmeli, deney numarasına göre tebeşirle işaretlenmeli, daha sonra ise su banyosuna alınarak 7 ve 28 günlük kür süreleri başlatılmalıdır. Su banyosunun sıcaklığı (20 ± 1) °C ve su seviyesi numuneleri geçecek kadar olmalıdır. Daha sonra günü gelen numuneler çıkarılarak deneye tabi tutulmalıdır (TS EN 196-1, ASTM 305-14, TS EN 12390-2 (2010)).



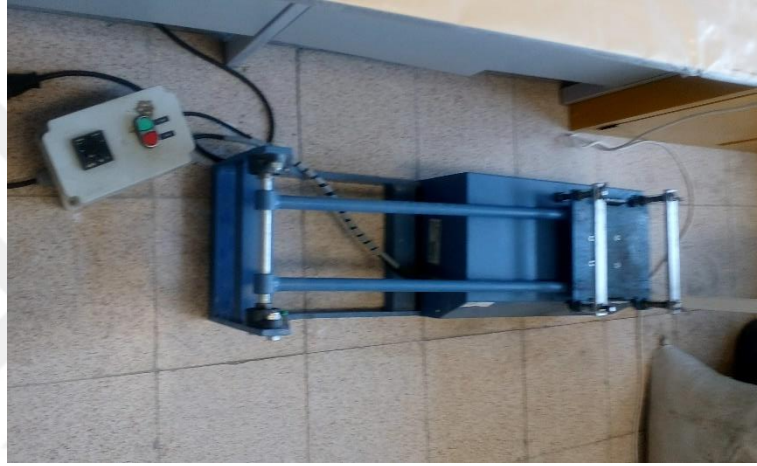
a



b



c



d



e

Şekil 7.1.

7.4. Yayılma Testi

Taze çimento harcının akıcılığının ölçülebilmesi için yapılan bir deneydir. Bu deneydeki amaç, harcın yayılma çapı ve yayılmanın homojenliğinin nitel gözlemine dayanır. TS EN 1015-3 ve ASTM C230 standardına göre üretimi ve deneyleri yapılır.

Üzerinde bulunan, harcın doldurulduğu koninin alt tabanı $100\pm 0,5$ mm, üst tabanı $70\pm 0,5$ mm ve yüksekliği $60\pm 0,5$ 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.

7.5. Eğilme ve Basınç Dayanımı

Prizma deney cihazına yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna ekseni mesnet silindirlerinin eksenine dik olacak şekilde mesnet silindirleri üzerine yerleştirilir. Yük, yükleyici silindir vasıtası ile prizmanın karşı yan yüzünden dik olarak uygulanır ve otomatik olarak (50 ± 10) N/s hızında olacak şekilde prizma numune kırılıncaya kadar artırılır (TS EN 12390-5 (2010)).

Basınç dayanımında kullanılacak deney cihazının (2400 ± 200) N/s'lik bir yükleme hızı sağlaması gereklidir. Her yarım prizma yan yüzeylerinden yüklemek suretiyle deneye

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.

7.6. XRD (X-Ray Diffraction/ X- Işını Kırınımı) Cihazı

Yapılar hakkında bilgi, fazlar, tercih edilen kristal dokular, kristallik, ortalama tane büyüklüğü, kristal kusurları gibi parametreleri sağlayan x- ışını kırınımı (XRD) kristal malzemelerin karakterizasyonu için kullanılan güçlü ve zarar vermeyen bir tekniktir. XRD pikleri, her numunedeki örgü düzleminden belli açılarda yayılan monokromatik bir x ışını yardımıyla üretilir. Pik yoğunlukları örgüdeki atomların dağılımı ile belirlenir. (Bunaciu ve ark., 2015)

Kristal yapıya sahip malzemelerle kullanılabilen bir yöntem olan XRD, düzlemler arasındaki farklılıkları inceleyerek polikristal malzemelerin kristal örgüsündeki

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

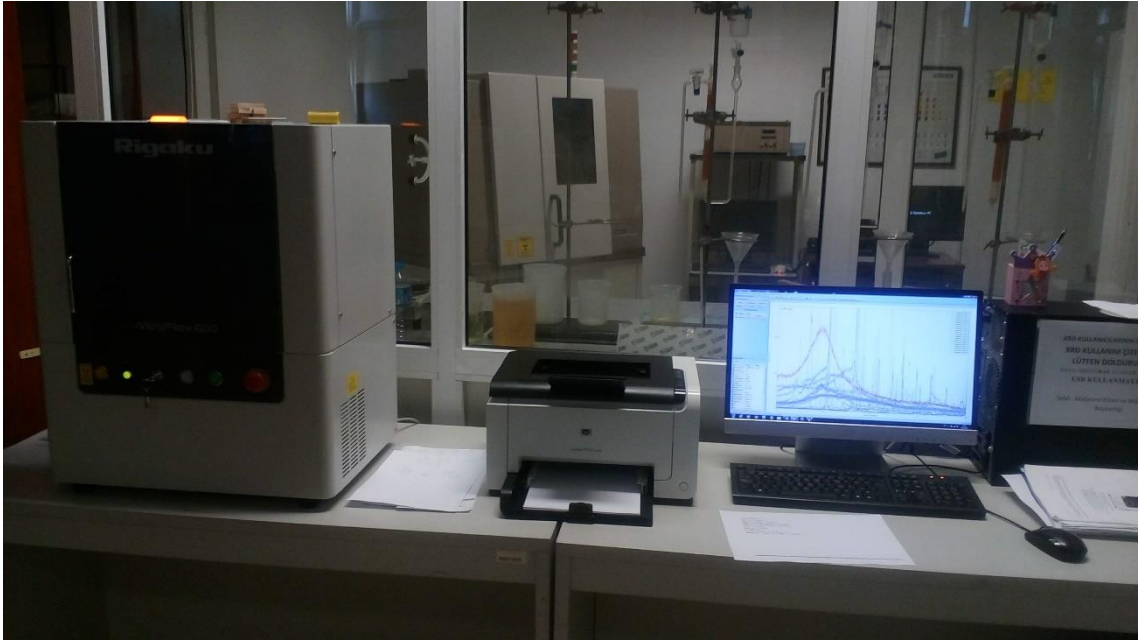
$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (7.3)$$

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.

7.7. SEM (Scanning Electron Microscope/ Taramalı Elektron Mikroskobu) Cihazı

Taramalı elektron mikroskobu, elektron ışınının katı bir cisme gönderilmesi ve katı cisimden yansıyan elektronların cismin iç yapısını göstermesi esasıyla çalışır. Cisme gönderilen elektronlar ya yansır ya da yutulur. Çeşitli sinyaller gönderen, yansıyan elektronlar ikincil yansıyan (SE), geri yansıyan (BSE), diğer yansıyan ve Auger (AE) elektron sinyalleri olarak isimlendirilir. Yutulan elektronlar sayesinde ise yapının mikro analizi yapılır.

Yapı malzemelerinin mikro analizi yapılırken 0,2-30 kV aralığında voltaj seçilebilir. Çimento örneklerinin 15-20 kV arasında görüntülenmesi uygun olduğundan yapılan SEM çekimlerinde 15 kV voltaj uygulanmıştır (Kırgız, 2011).



(a)

(b)

(c)

Şekil 7.5.

7.8. FT-IR Spektrometresi (Fourier Transform Infrared Spectrometer/ Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrometresi)

Organik veya inorganik bileşiklerin karakterizasyonunda kullanılan Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrometresi, maddenin parmak izini ve atomlarının arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslara karşılık gelen pikleri gösterir.

FT-IR spektrofotometresi katı, sıvı ve gaz örneklerin analizinde kullanılmaktadır. Katı örneklerde üç farklı numune hazırlama tekniği olup bunlardan ilki KBr ile numunenin belli oranlarda karıştırılıp pellet haline getirilmesi, ikincisi sadece numunenin ince film haline getirilmesi, üçüncüsü ise çözücü içinde çözdürülen örneğin analize hazırlanmasıdır.

Yapılan analizlerde katı numuneler, KBr ile belli oranda karıştırılarak pellet haline getirilmiş, daha sonra bu numuneler cihazda analize tabi tutulmuştur (Büyüksırt ve ark., 2014).



Şekil 7.6. F -

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.

	Numune	Yayılma Çapı(cm)- 7 Gün	Yayılma Oranı (%)
	Katkısız numune	14	%40
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	15,1	%51
	%0,3 katkılı	15,5	%55
	%0,5 katkılı	16,3	%63
	%1 katkılı	19,5	%95
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	15,3	%53
	%0,3 katkılı	15	%50
	%0,5 katkılı	16	%60
	%1 katkılı	21,4	%114
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	14	%40
	%0,3 katkılı	14,1	%41
	%0,5 katkılı	16,5	%65
	%1 katkılı	17,9	%79

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.

	Numune	7 Günlük Dayanım (MPa)
	Katkısız numune	35,31
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	39,9
	%0,3 katkılı	40,09
	%0,5 katkılı	41,61
	%1 katkılı	38,03
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	40,3
	%0,3 katkılı	39,54
	%0,5 katkılı	38,65
	%1 katkılı	38,7
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	32,59
	%0,3 katkılı	32,64
	%0,5 katkılı	34,6
	%1 katkılı	35,86

Çimento 1 ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,5 oranında katkı eklendiğinde 41,61 MPa olarak elde edilmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,2 oranında katkı eklendiğinde 40,3 MPa olarak elde edilmiştir. Melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde ise en yüksek basınç dayanımı değeri %1 oranında katkı eklendiğinde 35,86 MPa olarak elde edilmiştir.

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

Çizelge 8.3.

	Numune	Yayılma Çapı (cm)- 28 Gün	Yayılma Oranı (%)
	Katkısız numune	14,1	%41
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	14,9	%49
	%0,3 katkılı	15,5	%55
	%0,5 katkılı	16,3	%63
	%1 katkılı	19,1	%91
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	15,5	%55
	%0,3 katkılı	16,3	%63
	%0,5 katkılı	16	%60
	%1 katkılı	21,6	%116
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	13,7	%37
	%0,3 katkılı	13,9	%39
	%0,5 katkılı	17	%70
	%1 katkılı	17,6	%76

Çimento 1 ile hazırlanan numunelerin 28 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 çapı 21,6 cm ile %1 oranında lignosülfonat+naftalin sülfonat katkı eklenen numunede elde edilmiştir.

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

Çizelge 8.4.

	Numune	28 Günlük Dayanım (MPa)
	Katkısız numune	45,9
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	42,19
	%0,3 katkılı	46,85
	%0,5 katkılı	49,95
	%1 katkılı	45,25
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	51,33
	%0,3 katkılı	50,99
	%0,5 katkılı	50,13
	%1 katkılı	48,46
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	41,46
	%0,3 katkılı	41,63
	%0,5 katkılı	43,28
	%1 katkılı	44,04

Çimento 1 ile hazırlanan numunelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde 7 günlük basınç dayanımı sonuçlarına paralel bir sonuç elde edilmiştir. Naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,5 oranında katkı eklendiğinde 49,95 MPa olarak elde edilmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,2 oranında katkı eklendiğinde 51,33 MPa olarak elde edilmiştir. Melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde ise en yüksek basınç dayanımı değeri %1 oranında katkı eklendiğinde 44,04 MPa olarak elde edilmiştir.

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

Çizelge 8.5.

	Numune	Yayılma Çapı (cm)- 7 Gün	Yayılma Oranı (%)
	Katkısız numune	13,5	%35
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	14,75	%47,5
	%0,3 katkılı	15	%50
	%0,5 katkılı	17,6	%76
	%1 katkılı	18,5	%85
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	14,55	%44,5
	%0,3 katkılı	15	%50
	%0,5 katkılı	15,7	%57
	%1 katkılı	19,65	%96,5
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	15,5	%55
	%0,3 katkılı	16,3	%63
	%0,5 katkılı	17,6	%76
	%1 katkılı	18,6	%86

Çimento 2 ile hazırlanan numunelerin 7 günlük yayılma çapı sonuçları incelendiğinde, üç katkıda da katkı oranı arttıkça yayılma çapı da artmıştır. En yüksek yayılma çapı değeri %1 katkı ile lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 19,65 cm olarak elde edilmiştir.

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

Çizelge 8.6.

	Numune	7 Günlük Dayanım (MPa)
	Katkısız numune	34,44
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	34,73
	%0,3 katkılı	38,7
	%0,5 katkılı	42,54
	%1 katkılı	41,93
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	36,95
	%0,3 katkılı	37,43
	%0,5 katkılı	39,93
	%1 katkılı	43,86
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	35,83
	%0,3 katkılı	36,15
	%0,5 katkılı	37,75
	%1 katkılı	36,32

Çimento 2 ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde naftalin sülfonat esaslı katkı ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,5 oranında katkı eklendiğinde sırasıyla 42,54 MPa ve 37,75 MPa olarak elde edilmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %1 oranında katkı eklendiğinde 43,86 MPa olarak elde edilmiştir.

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

Çizelge 8.7.

	Numune	Yayılma Çapı (cm)- 28 Gün	Yayılma Oranı (%)
	Katkısız numune	13,5	%35
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	14,1	%41
	%0,3 katkılı	15,75	%57,5
	%0,5 katkılı	16	%60
	%1 katkılı	18,75	%87,5
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	14,9	%49
	%0,3 katkılı	15,1	%51
	%0,5 katkılı	15,8	%58
	%1 katkılı	18,9	%89
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	16,1	%61
	%0,3 katkılı	16,4	%64
	%0,5 katkılı	16,8	%68
	%1 katkılı	18	%80

Çimento 2 ile hazırlanan numunelerin 28 günlük yayılma çapı sonuçları incelendiğinde, üç katkıda da katkı oranı arttıkça yayılma çapı da artmıştır. En yüksek yayılma çapı değeri %1 katkı ile lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 18,9 cm olarak elde edilmiştir.

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

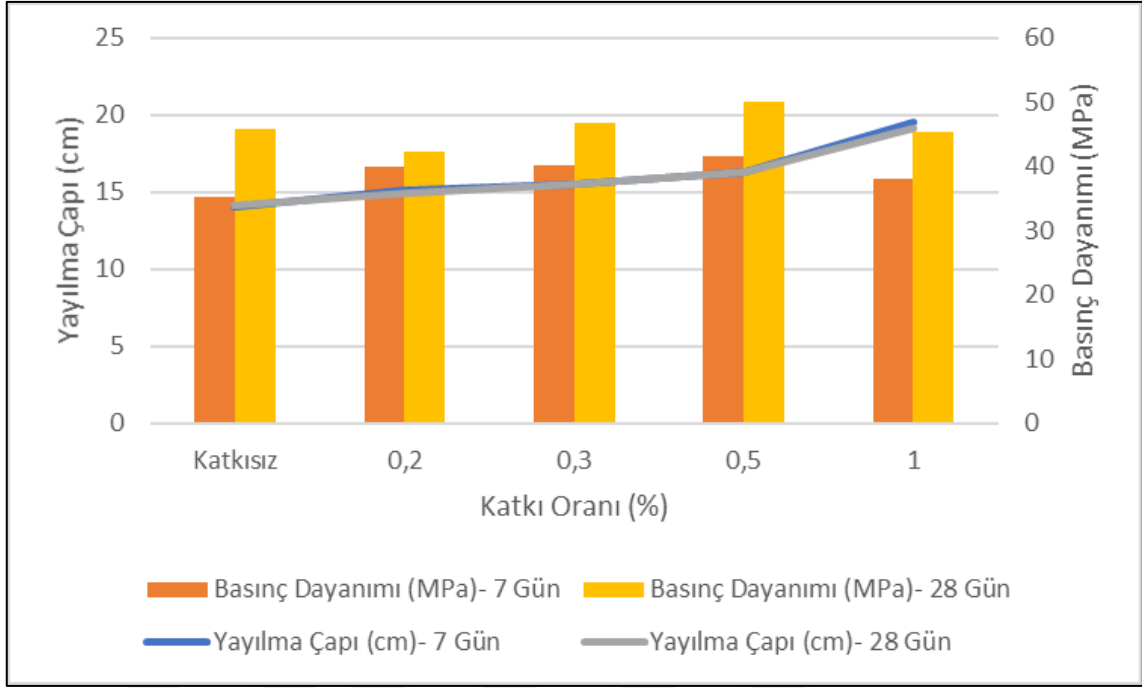
Çizelge 8.8.

	Numune	28 Günlük Dayanım (MPa)
	Katkısız numune	38,55
Naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	42,36
	%0,3 katkılı	46,27
	%0,5 katkılı	48,03
	%1 katkılı	49,5
Lignosülfonat+naftalin Sülfonat	%0,2 katkılı	38,79
	%0,3 katkılı	39,95
	%0,5 katkılı	43,4
	%1 katkılı	44,42
Melamin Sülfonat	%0,2 katkılı	44,32
	%0,3 katkılı	44,35
	%0,5 katkılı	45,04
	%1 katkılı	42,19

Çimento 2 ile hazırlanan numunelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %1 oranında katkı eklendiğinde 49,5 MPa olarak elde edilmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,5 oranında katkı eklendiğinde sırasıyla 43,4 MPa ve 45,04 MPa olarak elde edilmiştir.

8.1.1. Farklı çimento kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi

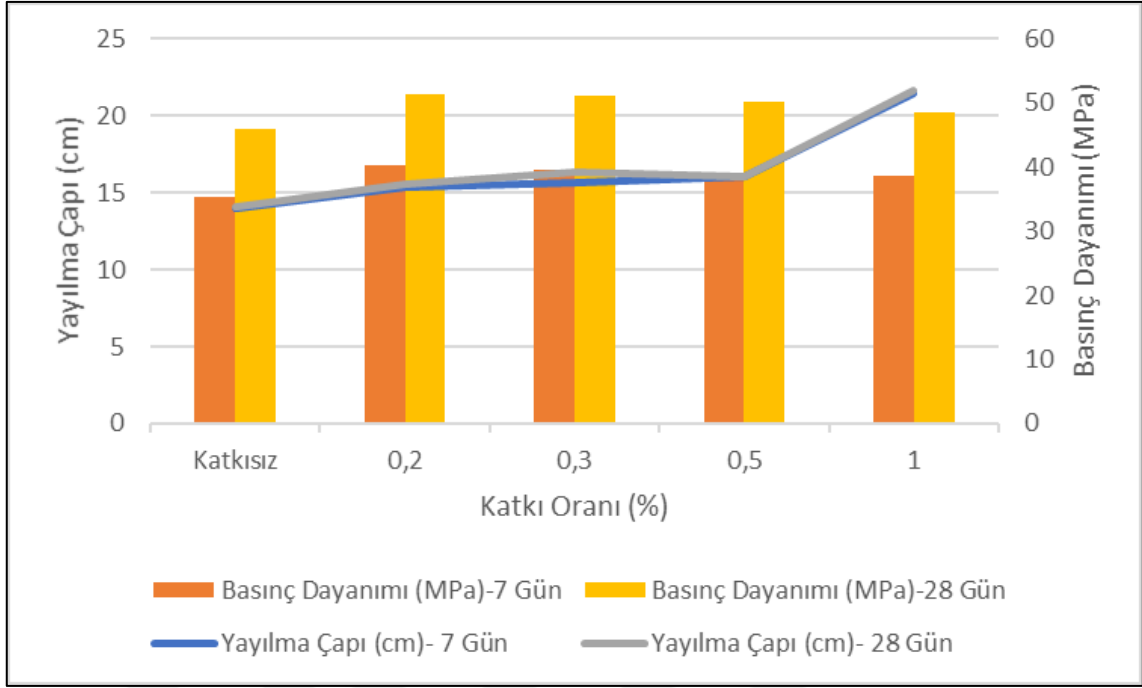
Çimento 1 ve Çimento 2 kullanılarak hazırlanan numunelerde, farklı çimento kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri Şekil 8.1’de verilmiştir.



Şekil 8.1.

%0,2 oranından %0,5 oranına kadar yayılma çapı arttıkça basınç dayanımı da artmıştır. Katkı, %0,5 oranında %1 oranına arttığıında ise yayılma çapı artarken basınç dayanımı azalmıştır. Çimento 1 kullanılan hazırlanan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,5 katkı kullanılan 28 gün yaşlandırılmış numunede 49,95 MPa olarak elde edilmiştir.

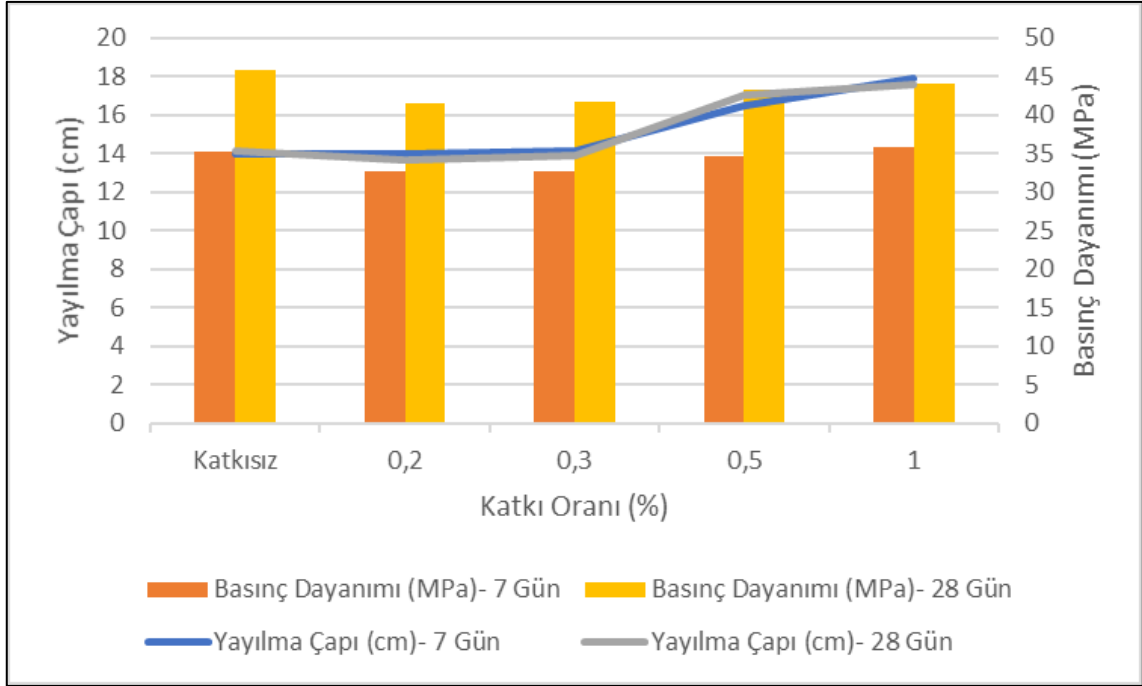
Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri Şekil 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.2.

Katkı oranı %0,2'den %1'e arttıkça basınç dayanımı değerlerinde azalma görülmüştür. Yayılma çapı değerleri ise katkı oranı arttıkça artmıştır. Çimento 1 kullanılan kullanılarak hazırlanan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,2 katkı kullanılan numunede 51,33 MPa olarak elde edilmiştir.

Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri Şekil8.3'te verilmiştir.

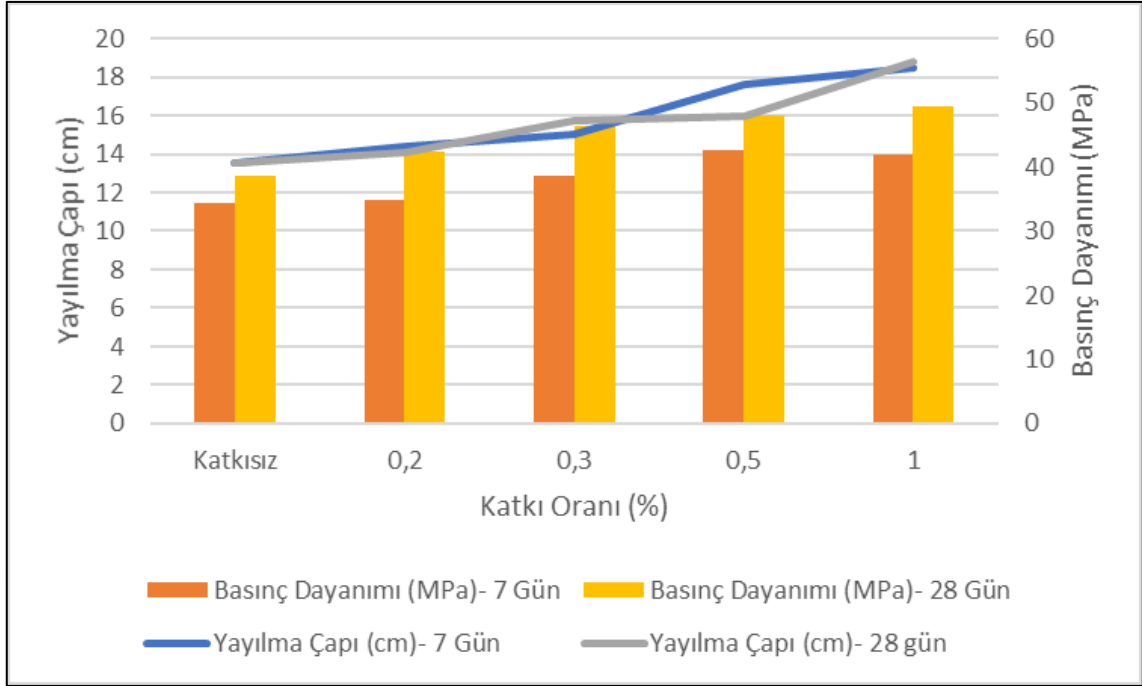


Şekil 8.3.

Katkı oranı %0,2'den %1' arttıkça yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri artmıştır. Çimento 1 kullanılarak hazırlanan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %1 katkı kullanılan numunede 44,04 MPa olarak elde edilmiştir.

Çimento 1'in naftalin sülfonat ve lignosülfonat- naftalin sülfonat esaslı karışımla düşük katkı yüzdelerinde daha çok uyum sağladığını, daha yüksek yayılma çapı ve basınç değerlerinin elde edildiğini görürüz ancak melamin sülfonat esaslı katkı ile Çimento 1 arasında uyum diğer iki katkıda olduğu kadar yakalanamamıştır.

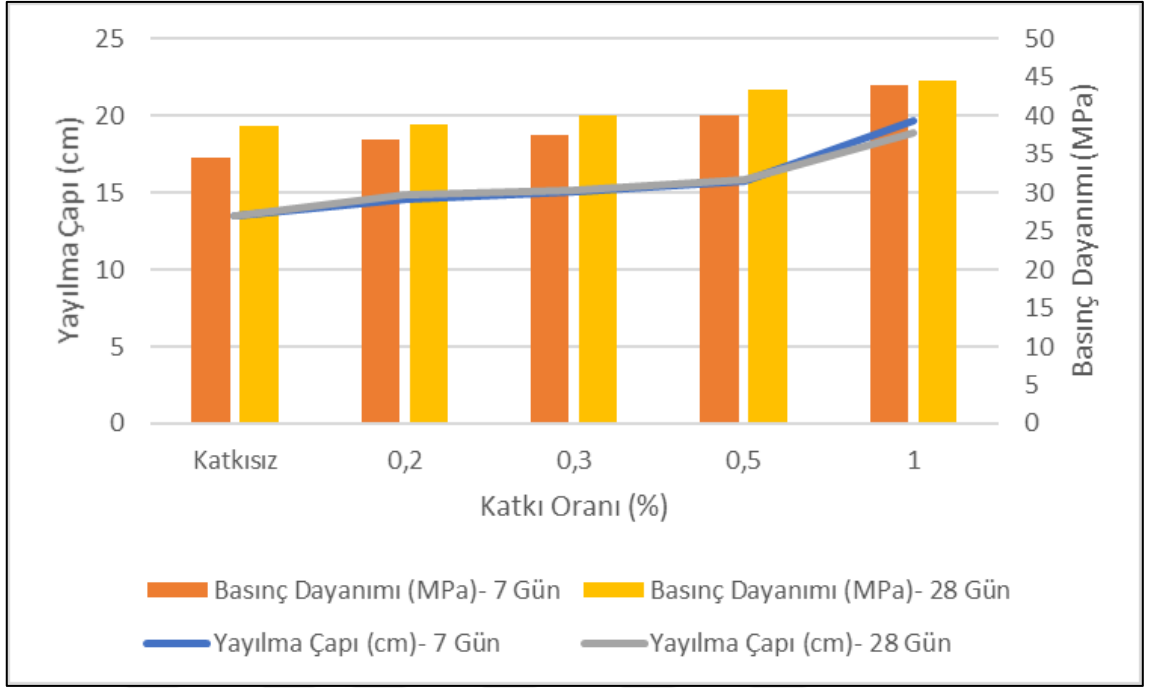
Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri Şekil 8.4'de verilmiştir.



Şekil 8.4.

Katkı oranı %0,2'den %1' arttıkça yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri artmıştır. Çimento 2 kullanılan kullanılarak hazırlanan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %1 katkı kullanılan numunede 49,5 MPa olarak elde edilmiştir.

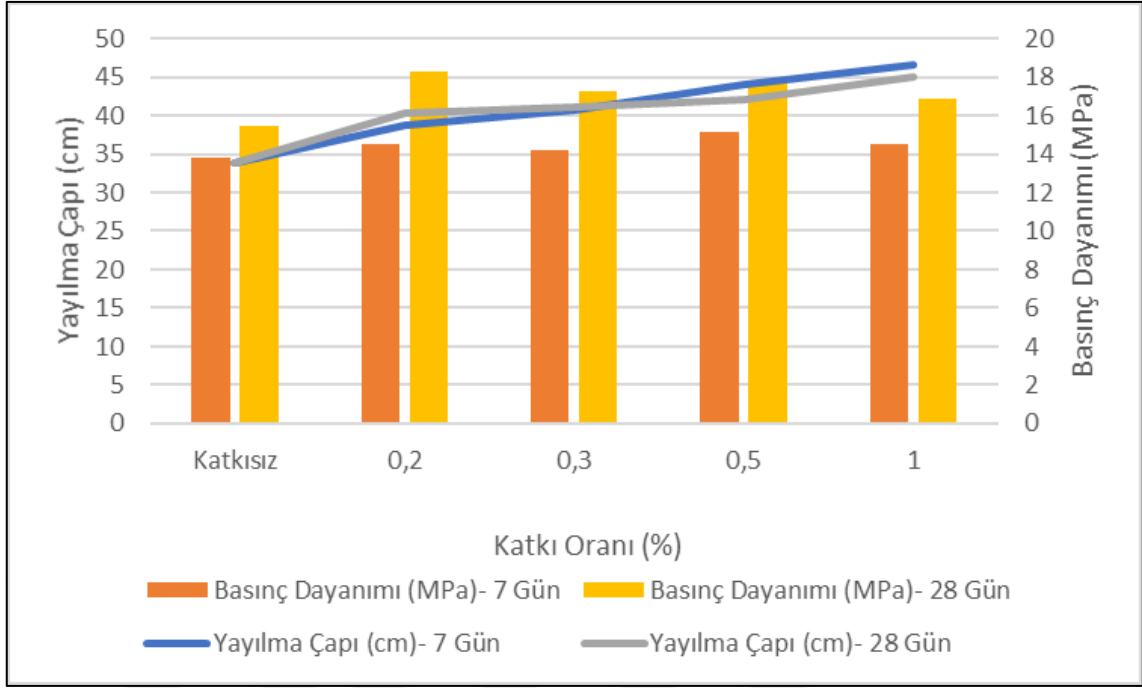
Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri Şekil 8.5'te verilmiştir.



Şekil 8.5.

Katkı oranı %0,2'den %1' arttıkça yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri artmıştır. Çimento 2 kullanılan kullanılarak hazırlanan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %1 katkı kullanılan numunede 44,2 MPa olarak elde edilmiştir.

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 ve 28 günlük yayılma çapı ve basınç dayanımı değerleri Şekil 8.6'da verilmiştir.



Şekil 8.6.

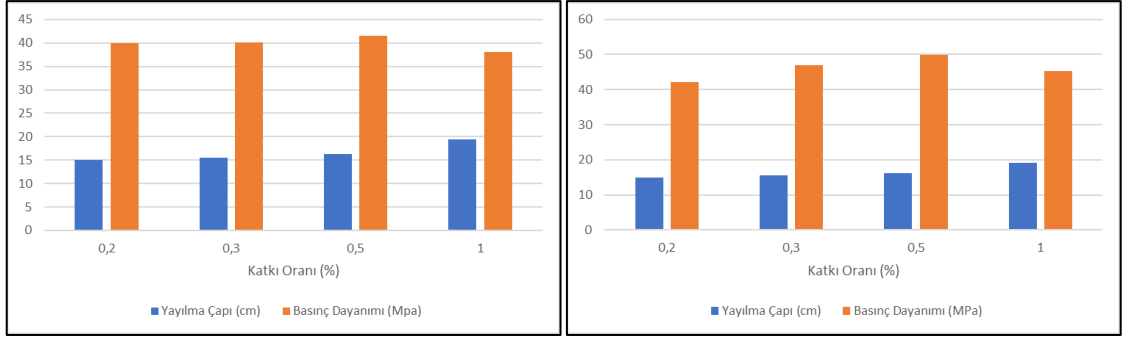
Katkı oranı %0,2'den %1'e arttıkça basınç dayanımı değerlerinde azalma görülmüştür. Yayılma çapı değerleri ise katkı oranı arttıkça artmıştır. Çimento 1 kullanılan kullanılarak hazırlanan numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri %0,2 katkı kullanılan numunede 45,04 MPa olarak elde edilmiştir.

Çimento 2'de ise melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde düşük katkı yüzdelerinde daha yüksek yayılma çapı ve basınç dayanımı değeri elde edildiği gözlemlendi. Çimento 2 bütün katkılarla uyum sağlamıştır ancak istenilen düzeyde değerleri melamin sülfonat esaslı katkıda elde etmiştir.

8.1.2. Farklı tür akışkanlaştırıcı kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi

Naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat karışımı ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde, farklı akışkanlaştırıcı katkı kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi aşağıdaki şekiller yardımıyla incelenmiştir.

Şekil 8.7'de Çimento 1 ile hazırlanan numunelerde naftalin sülfonat esaslı katkının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları verilmiştir.



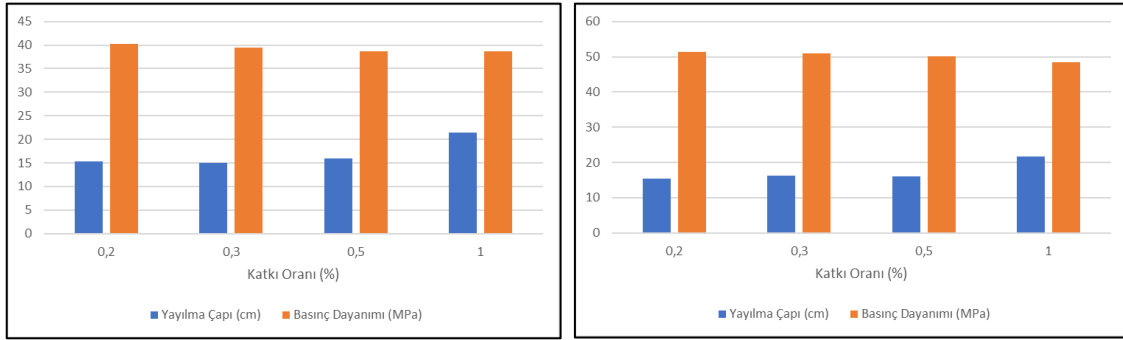
(a)

(b)

Şekil 8.7.

Çimento 1 kullanılan numuneler incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı %0,2, %0,3 ve %0,5 oranlarında katkı kullanıldığında 7 ve 28 günlük deney sonuçlarında hem yayılma çapı değerlerinde hem de basınç değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmektedir; ancak %1 oranında katkı kullanılan numunenin yayılma çapı değeri diğer numunelerden yüksek olmasına rağmen basınç dayanımı değeri daha düşük çıkmıştır.

Şekil 8.8’de lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının 7 günlük ve 28 günlük yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları verilmiştir.



(a)

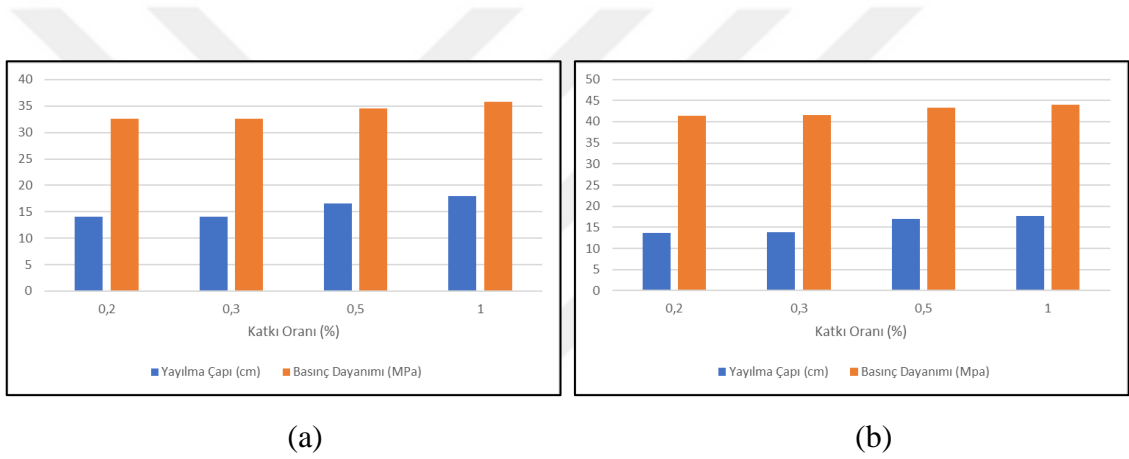
(b)

Şekil 8.8.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı %0,2, %0,3 ve %0,5 oranlarında kullanıldığında 7 ve 28 günlük deney sonuçlarında hem yayılma çapı değerlerinde hem de basınç değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmektedir; ancak %1 oranında katkı

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.

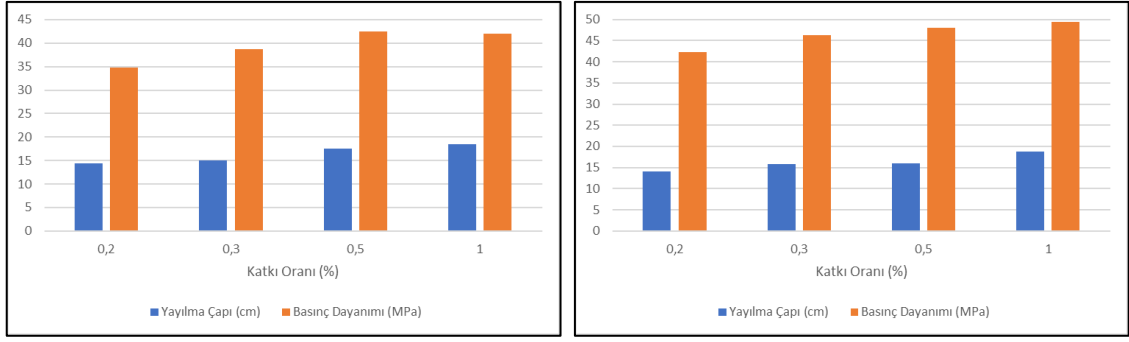


Şekil 8.9.

Melamin sülfonat esaslı katkı %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranında katkı kullanıldığında 7 ve 28 günlük deney sonuçlarında hem yayılma çapı değerlerinde hem de basınç değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmektedir.

Melamin sülfonat kullanılan numunelerin yayılma çapı ve basınç dayanımı değerlerinin kullanılan diğer iki katkıya göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak melamin sülfonat esaslı katkı diğer iki katkı ile kıyaslandığında istenilen düzeyde numuneleri akışkanlaştırmadığı ve dayanımını arttırmadığı düşünülmektedir.

Şekil 8.10'da Çimento 2 ile hazırlanan numunelerde naftalin sülfonat esaslı katkının yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları verilmiştir.



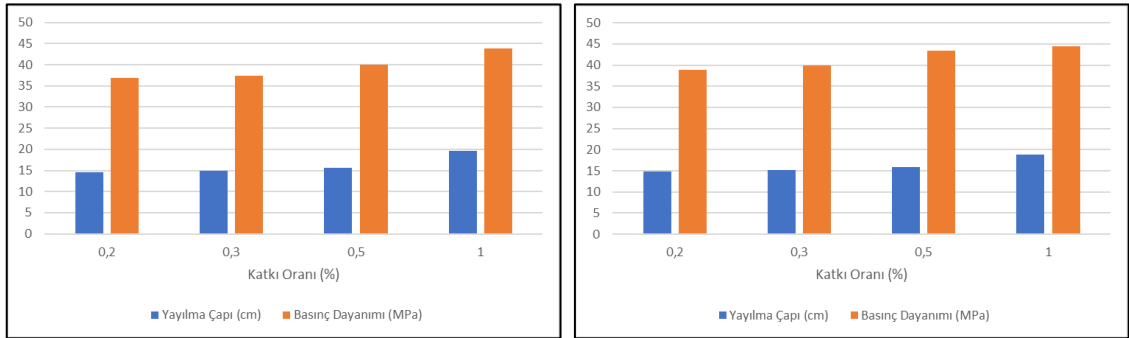
(a)

(b)

Şekil 8.10.

Çimento 2 kullanılan numuneler incelendiğinde de naftalin sülfonat esaslı katkı %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranında katkı kullanıldığında 7 ve 28 günlük deney sonuçlarında hem yayılma çapı değerlerinde hem de basınç değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmektedir.

Şekil 8.11’de lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının (a) 7 günlük ve (b) 28 günlük yaşlandırmasının yayılma çapı- basınç dayanımı değerleri sonuçları verilmiştir.



(a)

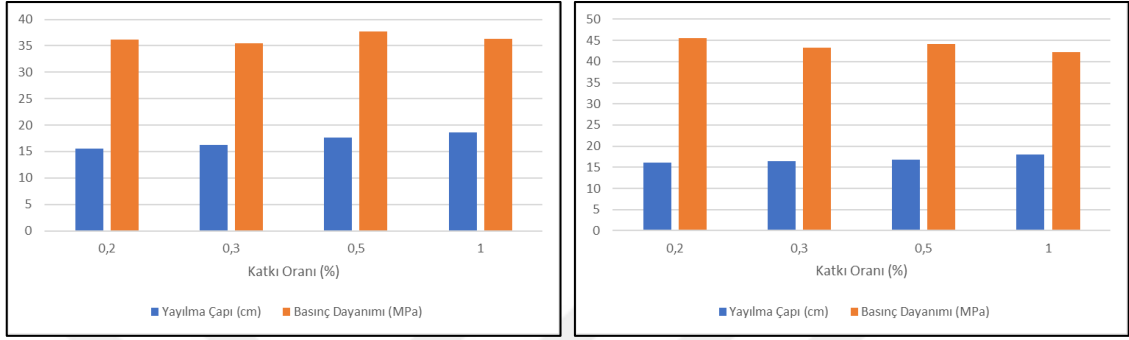
(b)

Şekil 8.11.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranında katkı kullanıldığında 7 ve 28 günlük deney sonuçlarında hem yayılma çapı değerlerinde hem de basınç değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmektedir. Sadece naftalin sülfonat içeren katkı ile lignosülfonat+naftalin sülfonat içeren katkı kıyaslandığında naftalin

sülfonat içeren katkıının olduğu numunelerin diğer katkıya göre daha yüksek yayılma çapı ve basınç değerlerine ulaştığını görürüz.

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



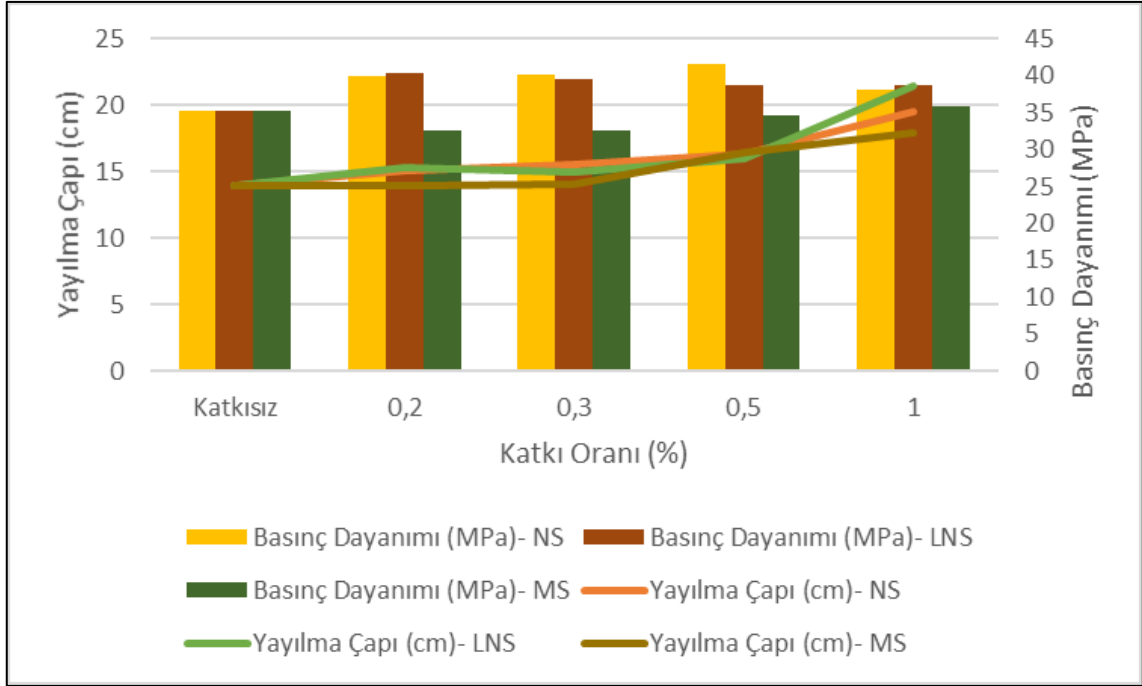
Şekil 8.12.

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde, %0,2, %0,3 ve %0,5 oranında katkı kullanıldığında 7 ve 28 gün yaşlandırılma sonucunda yayılma çapı değerleri arttıkça basınç dayanımı değerleri de artmıştır. %1 oranında katkı kullanılan numunede ise yayılma çapı artmış ancak basınç dayanımı değeri azalmıştır.

8.1.3. Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi

%0,2, 0,3, %0,5 ve %1 oranlarında akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde, farklı oranlarda akışkanlaştırıcı katkı kullanımının yayılma çapı ve basınç dayanımına etkisi incelenmiştir.

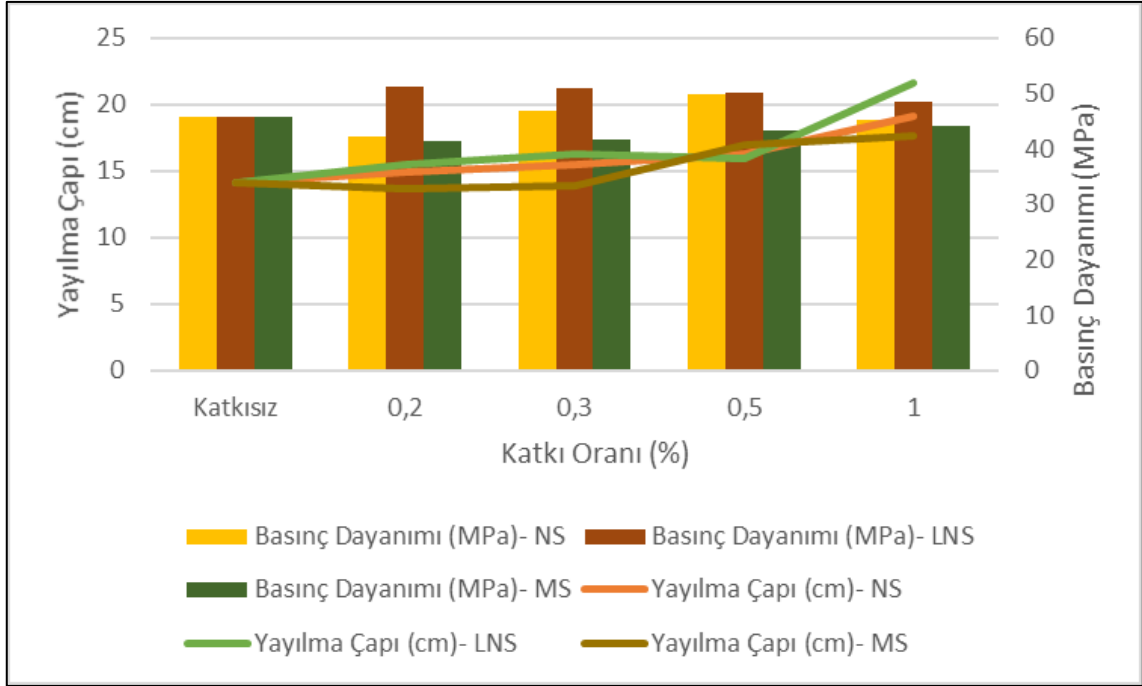
Çimento 1 ile hazırlanan, %0,2 oranında katkı kullanılan numunelerde, lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıının diğer katkıya oranla daha fazla yayılma sağladığı ölçülmüştür. Şekil 8.13’te Çimento 1 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında 7 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 8.13.

%0,3 oranında katkı kullanılan numunelerde,7 gün yaşlandırılmış numunelerde ve naftalin sülfonat esaslı katkının diğer katkılara oranla daha fazla yayılma sağladığı ölçülmüştür.

Şekil 8.14'te Çimento 1 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında 28 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları gösterilmiştir.



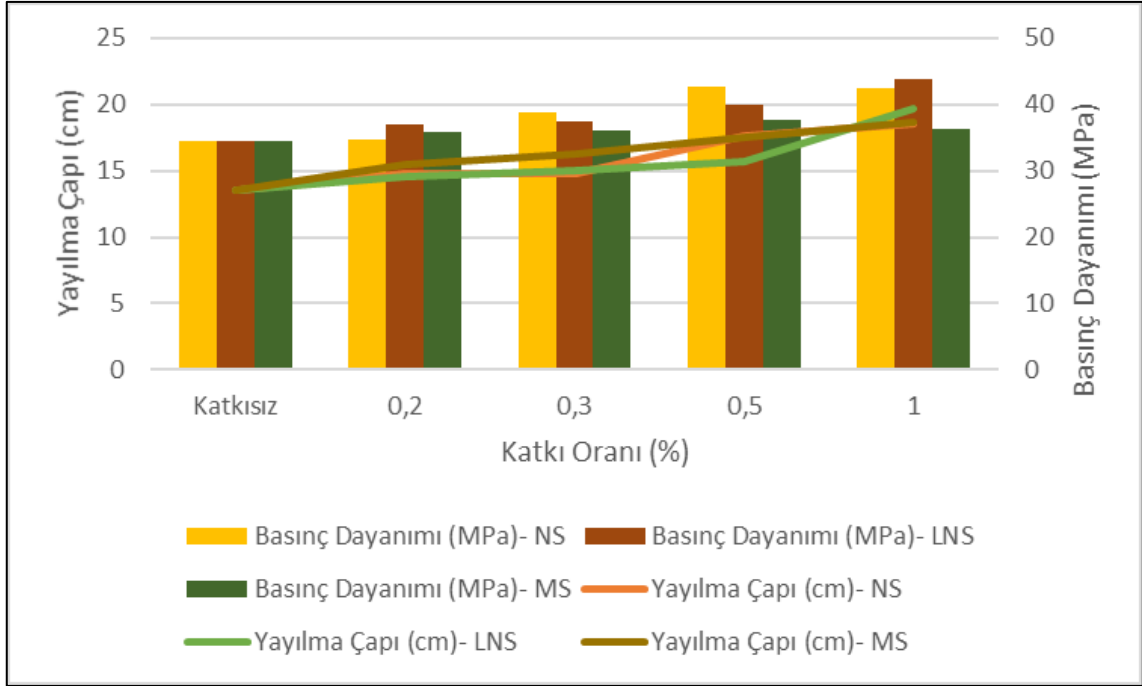
Şekil 8.14.

m

28 gün yaşlandırılmış numunelerde lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıının diğer katkılara oranla daha fazla yayılma sağladığı ölçülmüştür. İki ayrı yaşlandırma süresinde de basınç dayanımı değerleri arttıkça yayılma çapları da artmıştır. %0,5 oranında katkı kullanılan numunelerde melamin sülfonat esaslı katkıının diğer katkılara oranla daha fazla yayılma sağladığı ölçülmüştür. Naftalin sülfonat ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıları ise sırasıyla melamin sülfonat katkıya oranla daha az yayılma çapına sahiptir ancak basınç dayanımı değerleri lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunenin 50,13 MPa ve naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunenin 49,95 MPa olduğundan, melamin sülfonat esaslı katkıının basınç dayanımı değeri olan 43,28 MPa değerinden daha yüksektir.

%1 oranında katkı kullanılan numunelerde, Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıının diğer katkılara oranla daha fazla yayılma sağladığı ölçülmüştür. Şekil ve çizelgelerden de görüleceği üzere yayılma çapları sırasıyla lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numune, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numune ve son olarak melamin sülfonat esaslı katkı içeren numune olarak sıralanır. Basınç dayanımı değerleri arttıkça yayılma çapı değerleri de artmıştır.

Şekil 8.15'te Çimento 2 kullanılan numunelerde farklı oranlarda katkı kullanımında 7 günlük yaşlandırma etkisinin yayılma çapı ve basınç dayanımı sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 8.15.

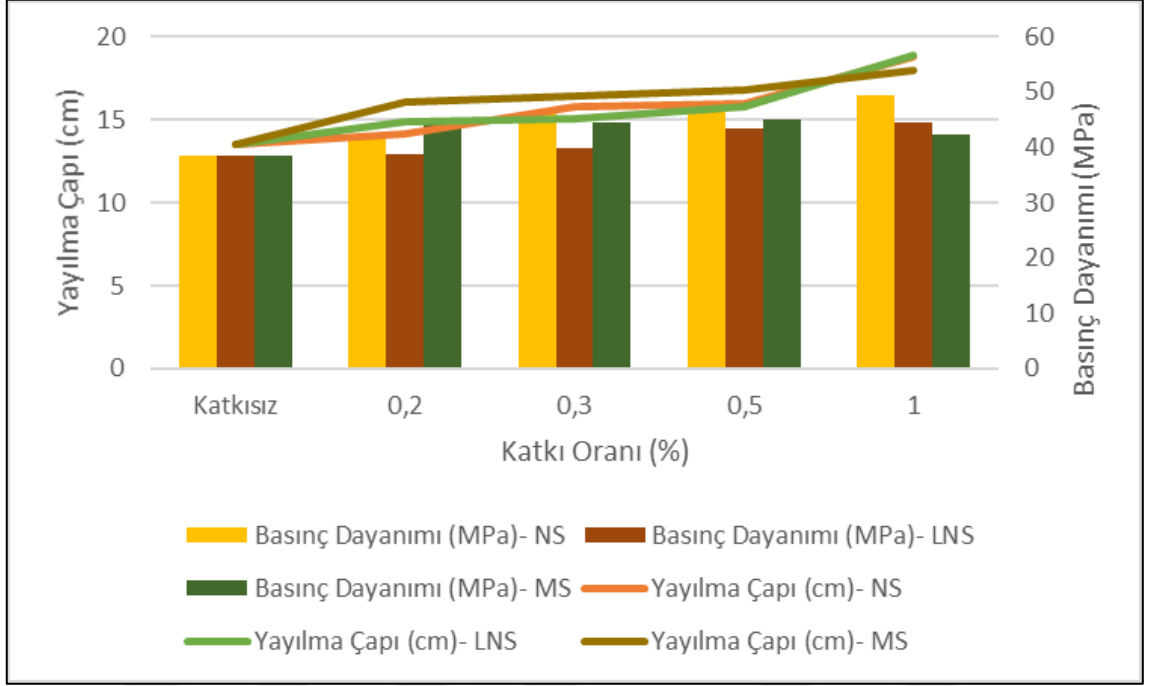
Çimento 2 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numuneler incelendiğinde, %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde en düşük yayılma çapı lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıda elde edilmiş olup en yüksek basınç değeri bu katkı ile sağlanmıştır. Naftalin sülfonat esaslı katkı ve melamin sülfonat esaslı katkıda ise yayılma çapı değerleri arttıkça, basınç dayanımı değerleri de artmıştır.

%0,3 oranında katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde yayılma çapları sırasıyla melamin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonar ve naftalin sülfonat esaslı katkı olarak ölçülmüştür. Basınç dayanım değerleri azalırken yayılma çap değerleri artmıştır.

%0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde en yüksek yayılma çapı naftalin sülfonat esaslı katkıda elde edilmiş olup en yüksek basınç değeri bu katkı ile sağlanmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ve melamin sülfonat esaslı katkıda ise yayılma çapı değerleri arttıkça basınç dayanımı değerleri azalmıştır.

%1 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde en yüksek yayılma çapı lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıda elde edilmiş olup en yüksek basınç değeri bu katkı ile sağlanmıştır. melamin sülfonat esaslı katkı naftalin sülfonat esaslı katkıda ise yayılma çapı değerleri artarken ile basınç dayanımı değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.

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.

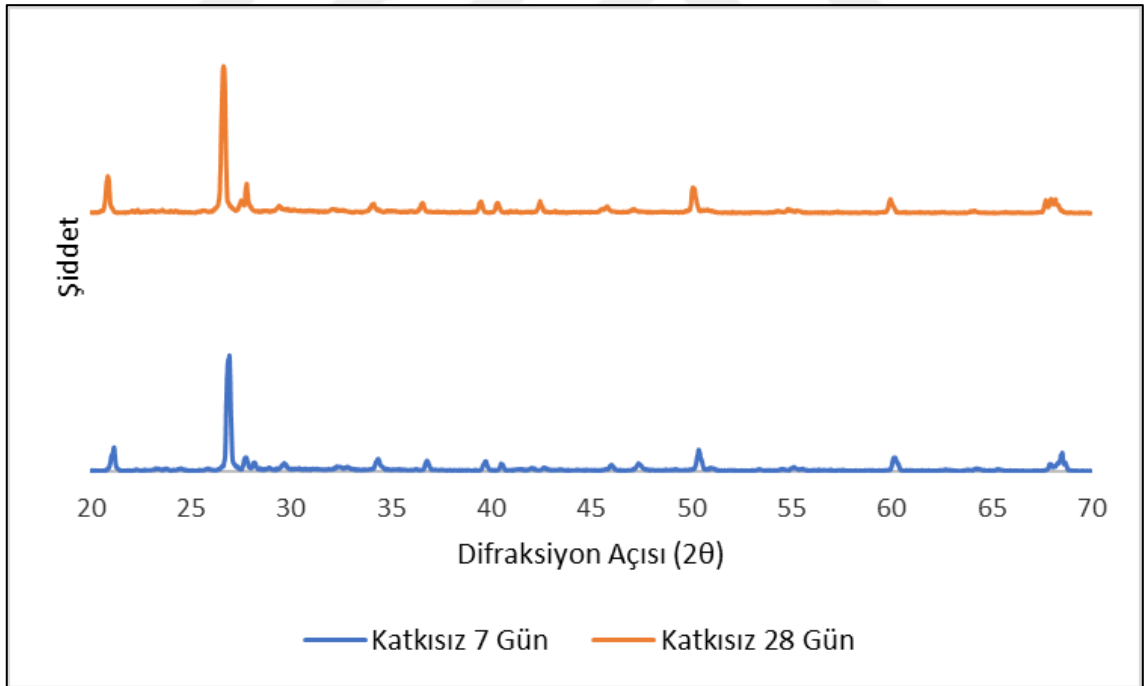
Çimento 2 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numuneler incelendiğinde, %0,2 oranında katkı hazırlanan numunelerde en yüksek yayılma çapı naftalin sülfonat esaslı katkıda elde edilmiş olup en yüksek basınç değeri bu katkı ile sağlanmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ve melamin sülfonat esaslı katkıda ise yayılma çapı değerleri artarken basınç dayanımı değerleri azalmıştır.

%0,3 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde en düşük yayılma çapı lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıda elde edilmiş olup en düşük basınç değeri bu katkı ile sağlanmıştır. Melamin sülfonat esaslı katkı naftalin sülfonat esaslı katkıda ise yayılma çapı değerleri arttıkça basınç dayanımı değerlerinde azalma gözlenmiştir.

%0,3 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde en yüksek yayılma çapı melamin sülfonat esaslı katkıda elde edilmiş olup en düşük basınç değeri bu katkı ile sağlanmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı naftalin sülfonat esaslı katkıda ise yayılma çapı değerleri arttıkça basınç dayanımı değerleri azalmıştır.

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 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. X- Işını kırınımı spektrometresinde analizi yapılan katkısız numunelerde 21°, 26°, 39° 40°, 60 ve 68°'te görülen pikler kuvars (SiO₂) olarak adlandırılır. ~35°, 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.

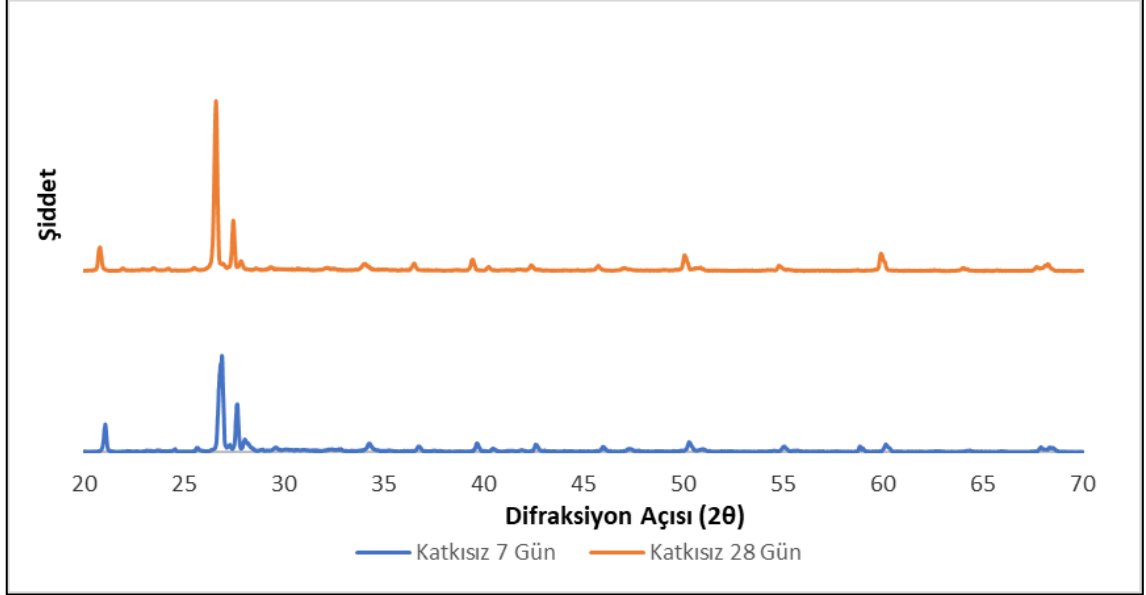


Şekil 8.17.

Çimento 1 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunede 30° piki tobermorit [Ca₅Si₆O₁₆(OH)₂•4(H₂O)] olarak adlandırılır. 30°'deki pik C-S-H olarak da isimlendirilir. 21°, 26°, 39° 40°, 60 ve 68°'te görülen kuvars (SiO₂) piklerinin şiddeti 28 gün yaşlandırılmış numunelerde, 7 gün yaşlandırılmış numunelere göre artmıştır. 7 gün

yaşlandırılmış numunelerdeki 35°, 45°, 50°, 65°'teki portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 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.

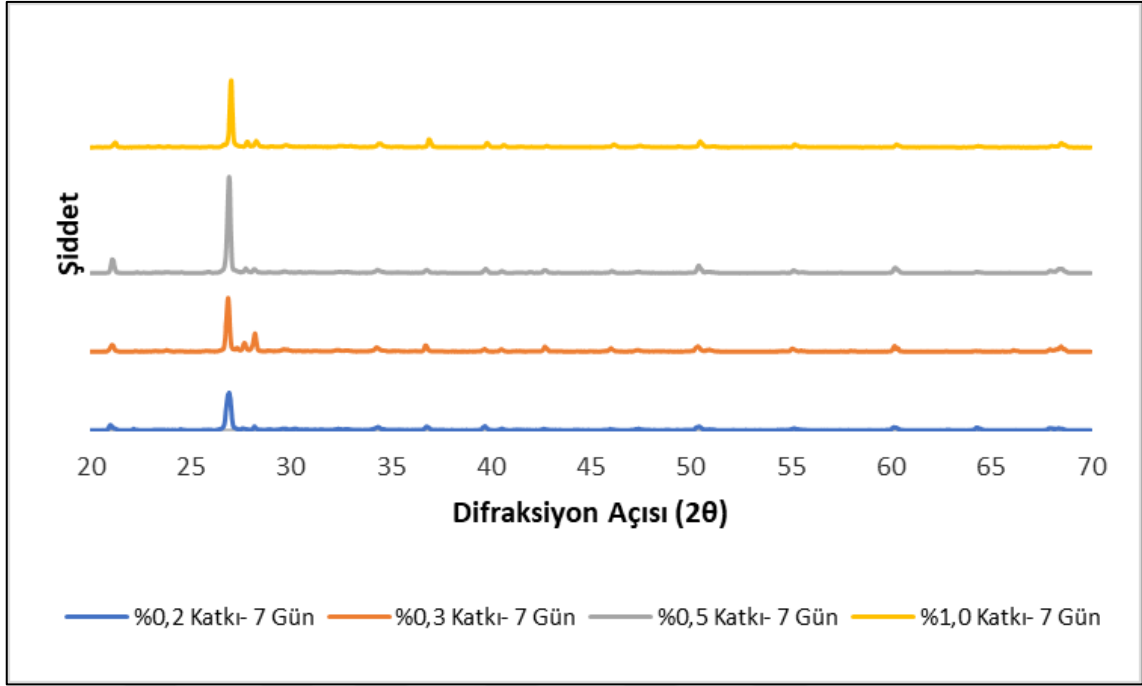


Şekil 8.18.

7 gün yaşlandırılan numunede 29°, 32°, 42°'de gözlenen pikler alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. 28 gün yaşlandırılan numunede ise 27°'te gözlenen pik anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) pikini işaret eder. 21°'deki kuvars ve 35°'deki portlandit pikleri 7 gün yaşlandırılmış numunede 28 gün yaşlandırılmış numuneye göre daha şiddetlidir. 50°'deki portlandit ve 60°'deki kuvars piklerinin şiddeti ise 28 gün yaşlandırılmış numunelerde artmıştır.

8.2.1. Farklı tür 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 (SiO_2) pikidir. ~35°, 47°, 51°'deki pikler portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pikine işaret eder. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.19'da verilmiştir.



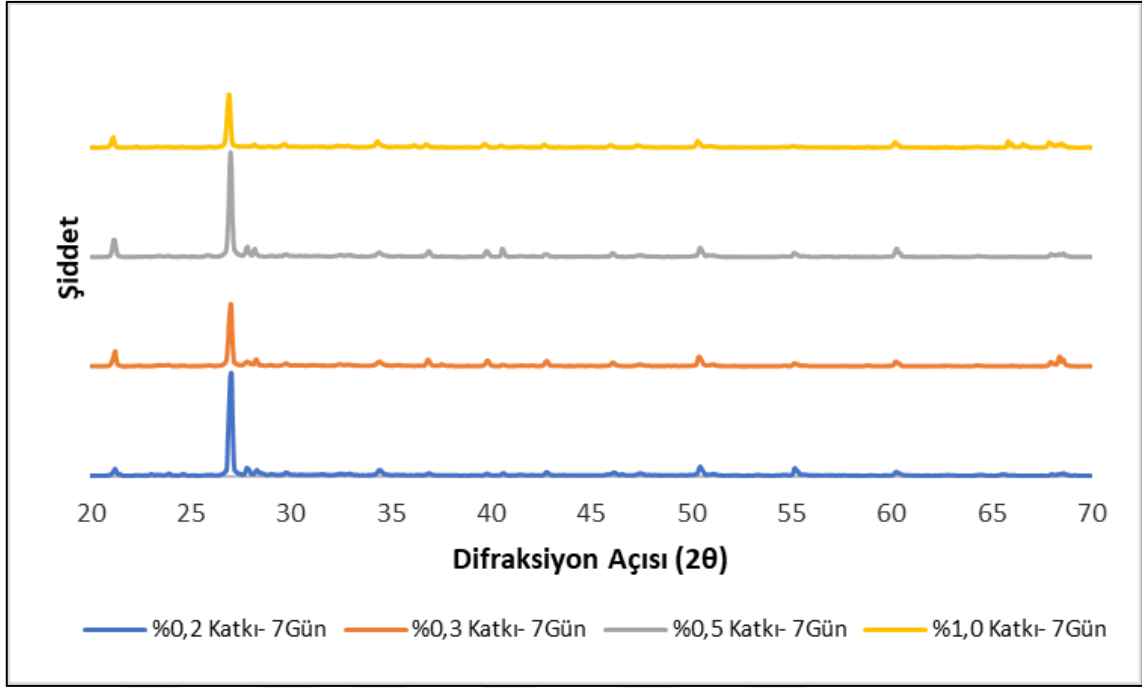
Şekil 8.19.

ör

Çimento 1 ile hazırlanan naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,5 katkı eklenen numunedeki kuvars piklerinin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır. %0,2 katkı eklenen numunede $\sim 29^\circ$ ve 31° 'deki pikler alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %0,3 katkı eklenen numunede $\sim 27^\circ$ 'deki pikler anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) kristaline aittir. %0,5 katkı eklenen numunede 27° 'deki pikler rankinite (Ca_3SiO_7) işaret eder.

Portlandit piklerinin şiddeti katkı oranının %0,3'ten %1'e artmasıyla azalmıştır. %0,2 oranında eklenen katkıda ise en şiddetli portlandit pikleri gözlenmiştir.

Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.20'de verilmiştir.

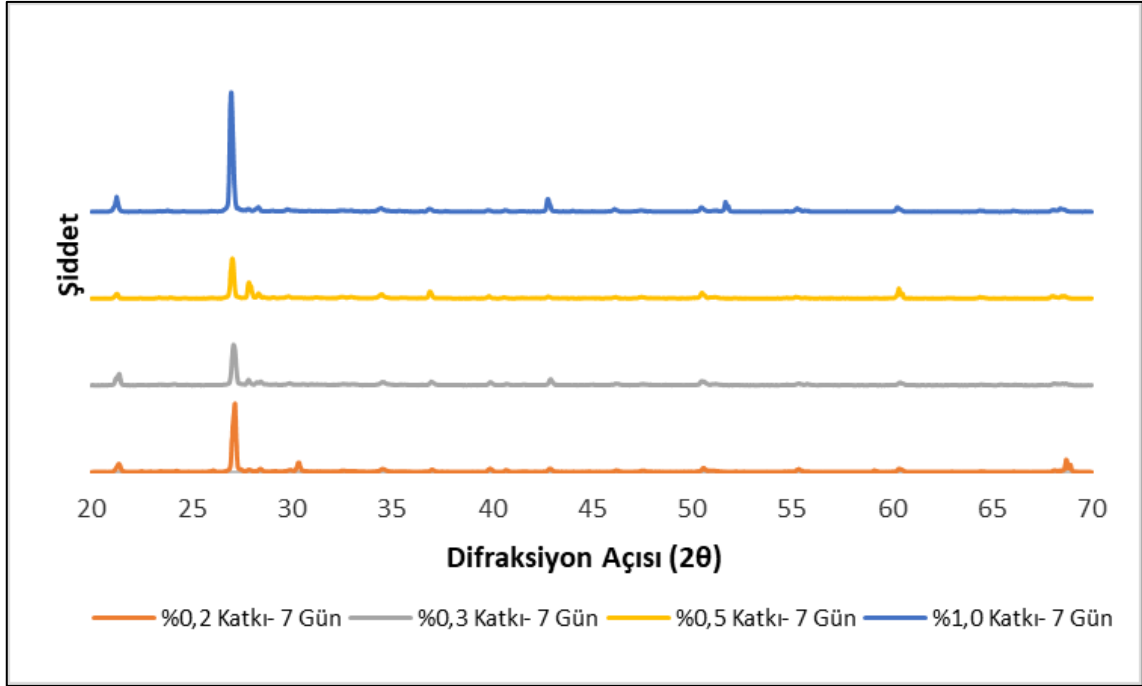


Şekil 8.20.

81

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılarak yapılan deneylerde $\sim 29^\circ$ ve 31° 'deki pikler ise alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %0,2 katkı eklenen numunede 26° civarındaki pikler tobermorit [$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$] kristaline aittir. %0,2 oranında katkı eklenen numunede C-S-H jeli oluşumu gözlenir. %0,3 katkı eklenen numunede 55° 'deki pik de alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %0,5 katkı eklenen numunede 26° civarındaki pikler afwillite [$\text{Ca}_3(\text{HSiO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] kristaline aittir. Afwillite bir tür kalsiyum silikat hidrat mineralidir. %0,5 katkı eklenen numunede de C-S-H oluşumu gözlenebilir. %1 katkı eklenen numunede 32° ve 68° 'deki pikler ise rankinit (Ca_3SiO_7). %0,2 katkı eklenen numunedeki kuvars piklerinin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır.

Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.21'de verilmiştir.



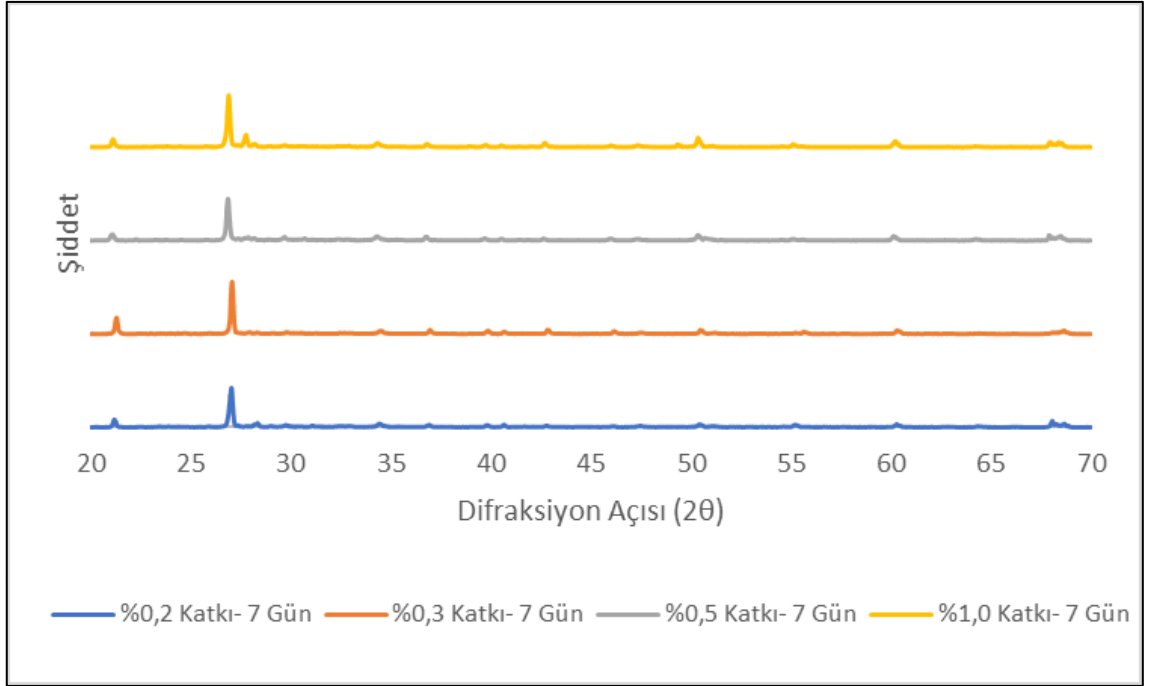
Şekil 8.21.

ör

Melamin sülfonat esaslı katkı kullanılarak yapılan numunelerde $\sim 29^\circ$, 31° , 36° 'deki pikler ise alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %0,2 katkı eklenen numunede 59° civarındaki pik Brownmillerit [$\text{Ca}_2\text{Al}_{1.1}\text{Fe}^{2+}_{0.9}\text{O}_5$] kristaline aittir. Brownmillerit kristali C_4AF olarak da anılır. %0,3 katkı eklenen numunede 32° 'deki pik de alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %0,5 katkı eklenen numunede $\sim 27^\circ$ ve 33° 'deki pik tobermorit [$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$] olarak adlandırılır, C-S-H oluşumu görülür. %0,2 katkı eklenen numunede 42° 'deki pik ise alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %0,2 katkı eklenen numunedeki kuvars piklerinin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır.

Çimento 2 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 7 günlük X- Işını kırınımı spektrometresinde $\sim 21^\circ$, 26° , 37° , 40° , 50° , 60° ve 70° 'deki pikler kuvars (SiO_2) pikidir. $\sim 35^\circ$, 47° , 51° ve 55° 'deki pikler portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pikine işaret eder.

Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.22'de verilmiştir.

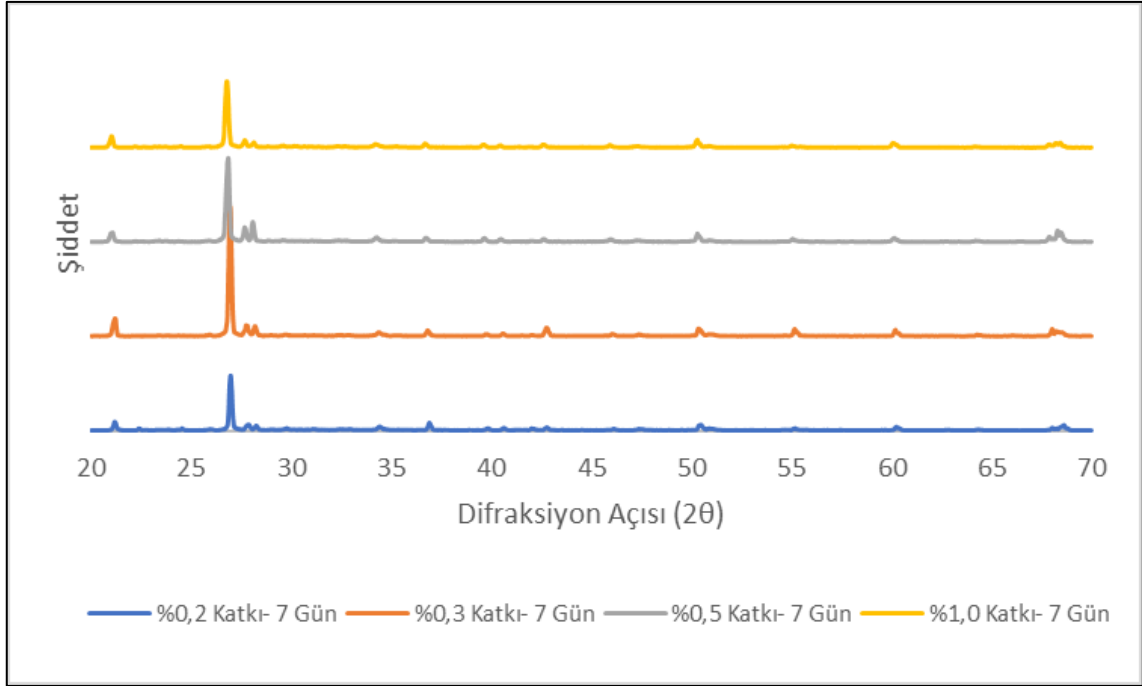


Şekil 8.22.

ör

Naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,5 katkı eklenen numunede $\sim 30^\circ$, 45° , 55° 'de alit (Ca_3SiO_5) pikleri gözlenmiştir. 29° 'de görülen da pik anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) olarak adlandırılır. Anortit bir tür kalsiyum alümina silikattır. %1 katkı eklenen numunede $\sim 32^\circ$, 42° 'de alit (Ca_3SiO_5) pikleri gözlenmiştir. %1 katkı eklenen numunedeki kuvars piklerinin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır. Portlandit piklerinin şiddeti ise %0,5 oranında eklenen katkıdan %1 oranında eklenen katkıya doğru azalır.

Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.23'te verilmiştir.

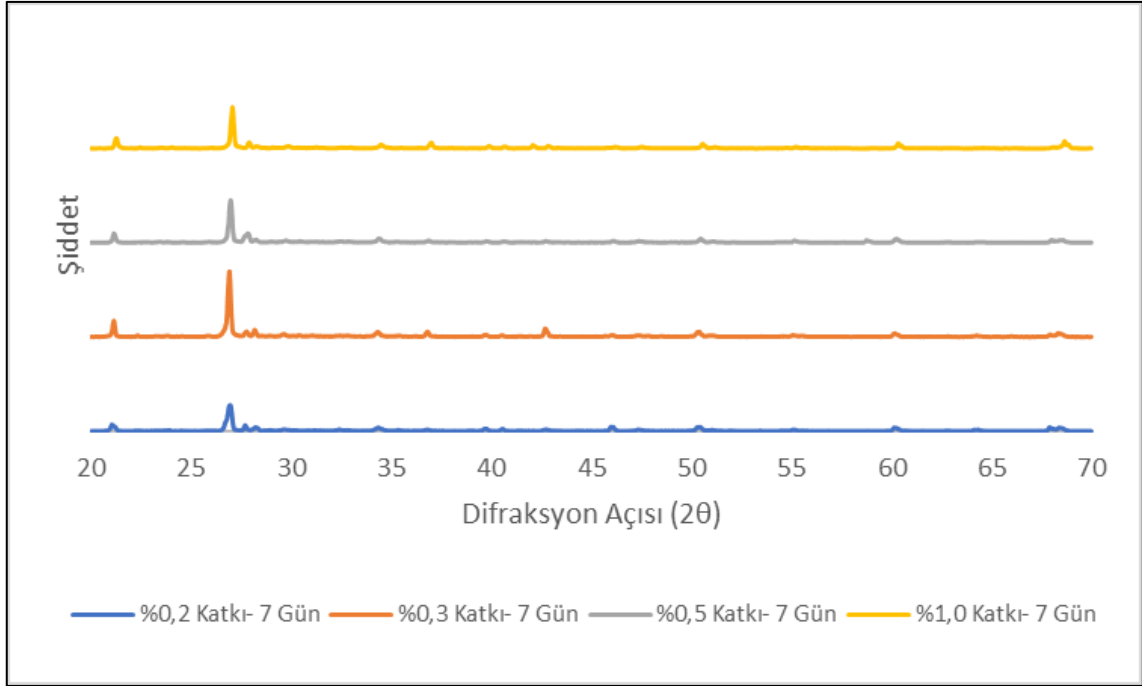


Şekil 8.23.

B1

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,5 katkı eklenen numunede $\sim 32^\circ$ 'de alit (Ca_3SiO_5) pik pikleri vardır. En yüksek pik şiddeti %0,3 katkı eklenen numunede gözlenmiştir. Katkı oranının %0,2'den %0,5'e arttırılmasıyla piklerin şiddetlerinin arttığı gözlenmiştir.

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.24'te verilmiştir.

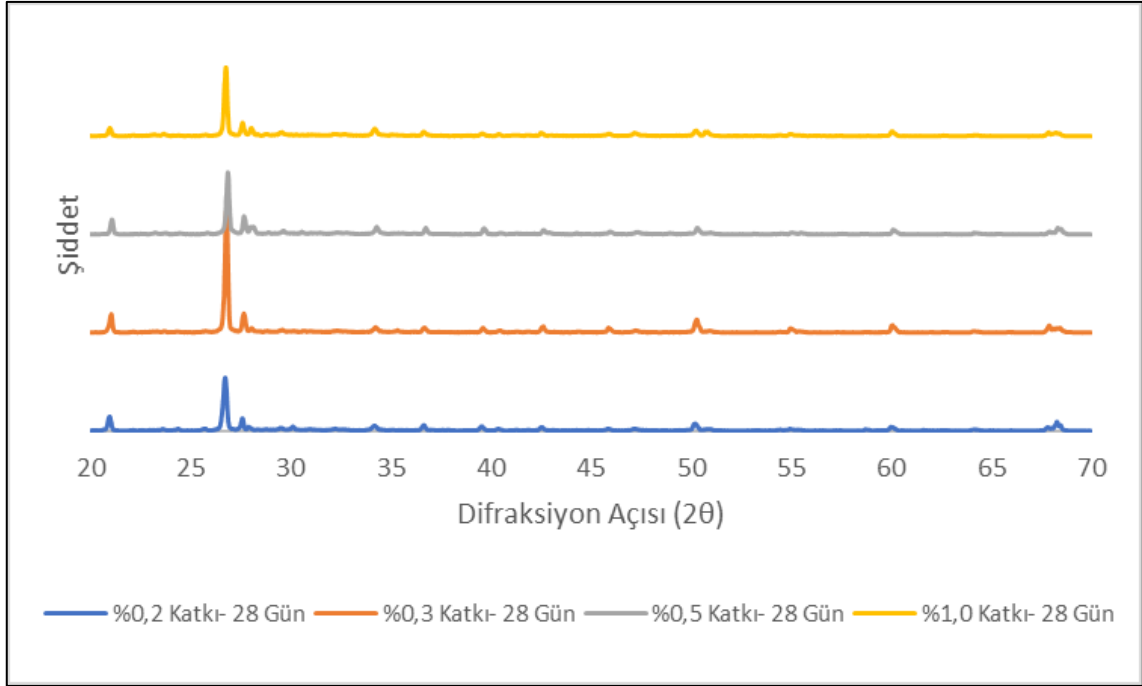


Şekil 8.24.

ör

Melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,5 katkı eklenen numunede 45°'de alit (Ca₃SiO₅) pikleri gözlenmiştir. 29°'de görülen pik anortit (CaAl₂Si₂O₈) olarak adlandırılır. %0,3 oranında katkı eklenen numunedeki kuvars piklerinin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır.

Çimento 1 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 28 günlük X- Işını kırınımı spektrometresinde ~20°, 26°, 37°, 40°, 60°, 70° pikleri kuvars (SiO₂) olarak adlandırılır. ~35°, 45°, 50°, 55° ve 65° portlandit (Ca(OH)₂) olarak adlandırılır. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.25'te verilmiştir.

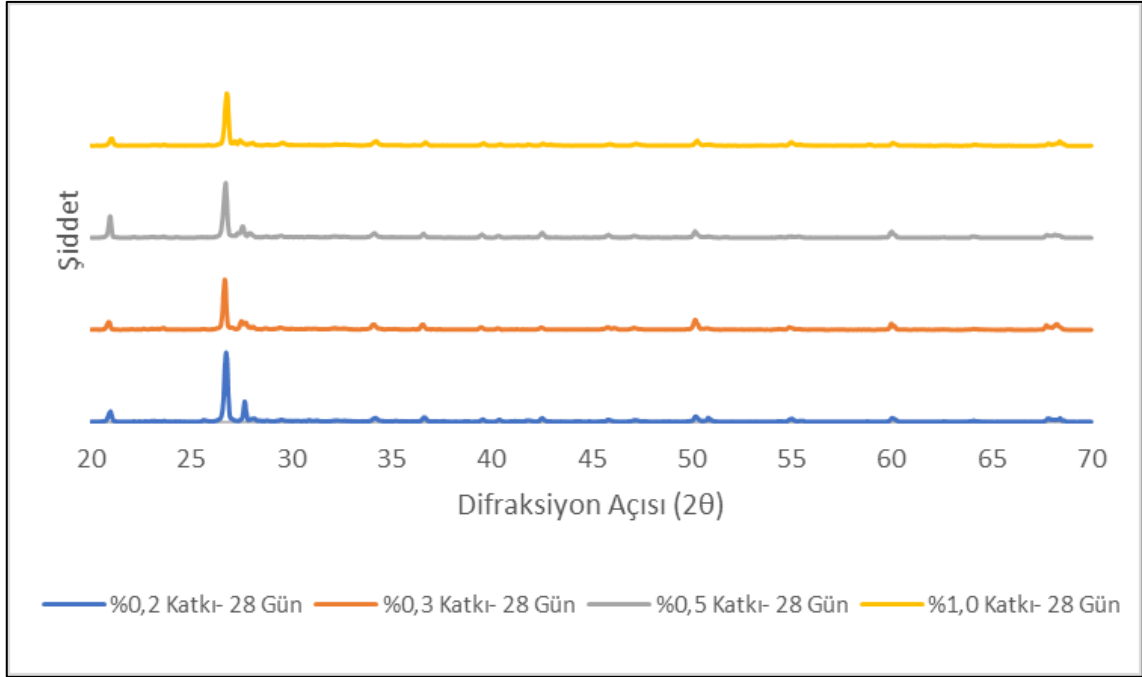


Şekil 8.25.

1

Naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,2 ve %1 katkı eklenen numunelerde 30° piki tobermorit [$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$] olarak gözlenmiştir. %0,2 ve %1 oranında katkı eklenen numunelerde C-S-H jeli gözlenir. C-S-H jelinin dayanıma olumlu etkisi vardır. %0,3 katkı eklenen numunelerde 27° piki afwilliteyi [$\text{Ca}_3(\text{HSiO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] işaret eder. Afwillite de C-S-H mineralidir. %0,5 katkı eklenen numunelerde 27° piki anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}$) olarak gözlenmiştir. %0,3 katkı eklenen numunelerdeki piklerin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır.

Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.26'da verilmiştir.

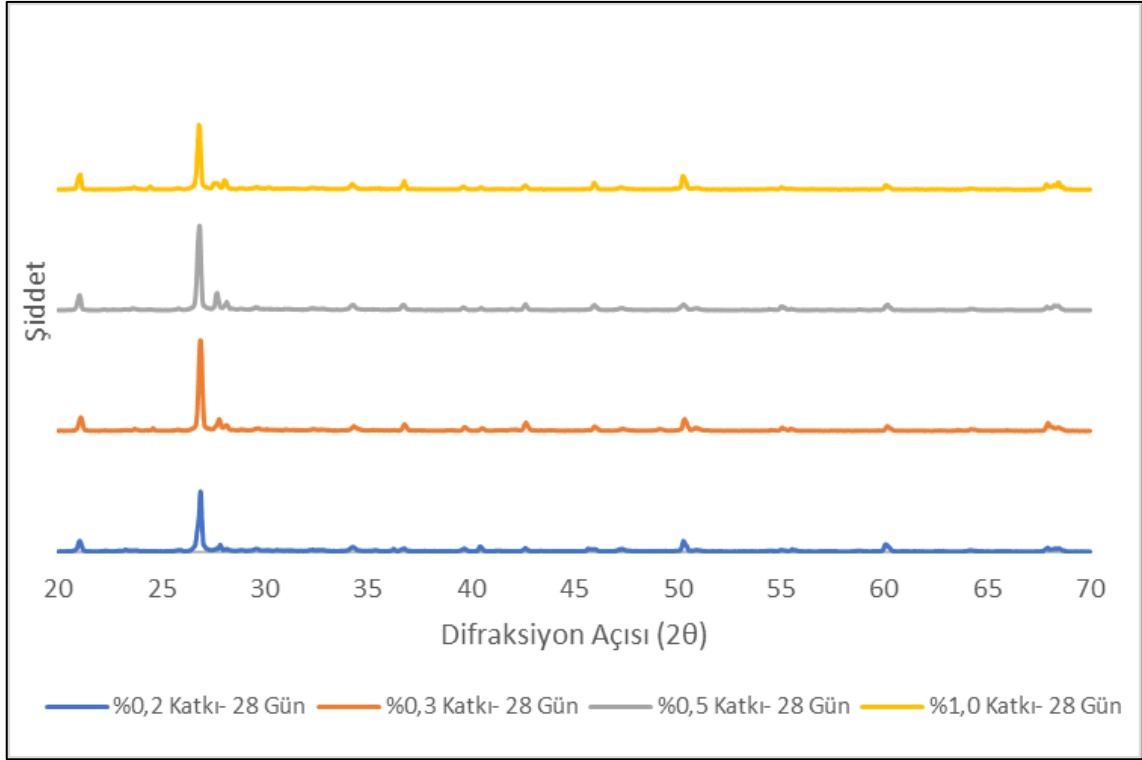


Şekil 8.26.

ın

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,3 katkı eklenen numunede $\sim 29^\circ$ ve 31° 'deki pikler ve 55° 'deki pik ise alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %0,5 ve %1 katkı eklenen numunelerde 27° ve 32° pikleri alit (Ca_3SiO_5) olarak adlandırılır. %0,3 katkı eklenen numunedeki portlandit piklerin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır. Kuvars piklerinin şiddeti %0,5 oranında eklenen katkıdan %0,2 oranında eklenen katkıya doğru azalır.

Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.27'de verilmiştir.

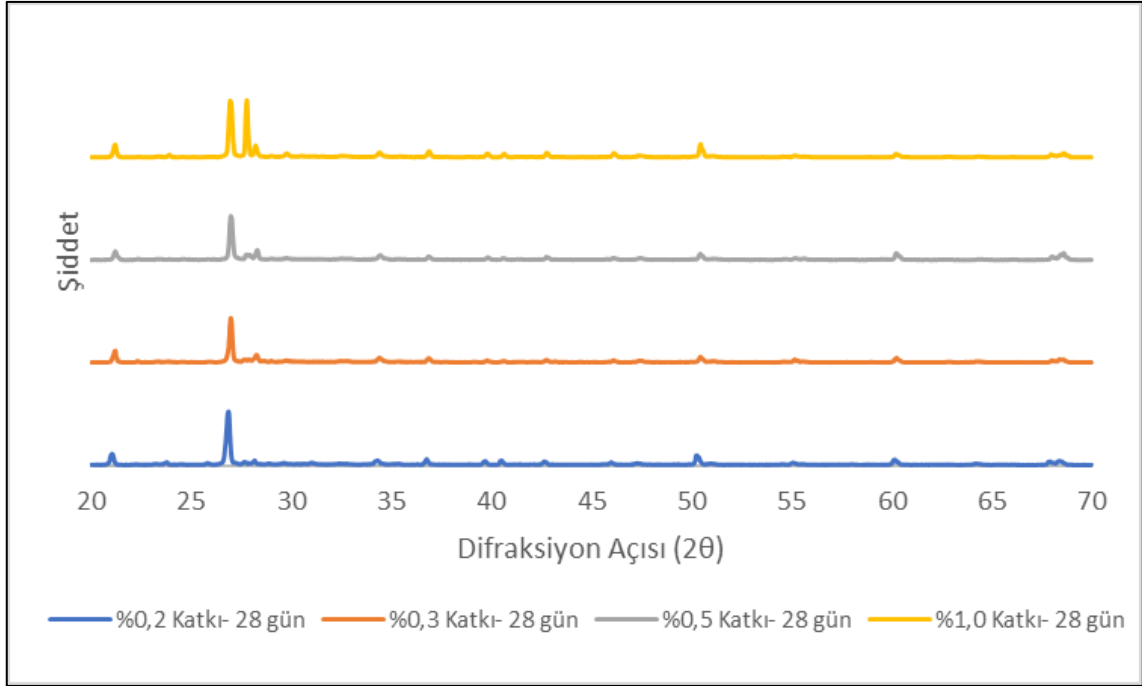


Şekil 8.27.

¶

Melamin sülfonat %0,5 ve %1 katkı kullanılan numunelerde 27° piki anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) olarak gözlenmiştir. Anortit bir feldspattır. %1 katkı kullanılan numunede ~29°, 31°, 36°'deki pikler ve 42°'deki pik ise alit (Ca_3SiO_5) kristaline aittir. %1 katkı kullanılan numunedeki portlandit piklerinin şiddeti diğer numunelerden fazladır. %0,3 oranında katkı eklenen numunenin kuvars pikleri ise %1 katkı eklenen numuneye göre daha şiddetlidir.

Çimento 2 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 28 günlük X- Işını kırınımı spektrometresinde ~21°, 26°,37°,40°, 42°, 50°, 55°, 60° ve 70°'deki pikler kuvars (SiO_2) pikidir. ~35°, 47°, 51° ve 65°'deki pikler portlandit (Ca(OH)_2) pikine işaret eder. Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.28'de verilmiştir.

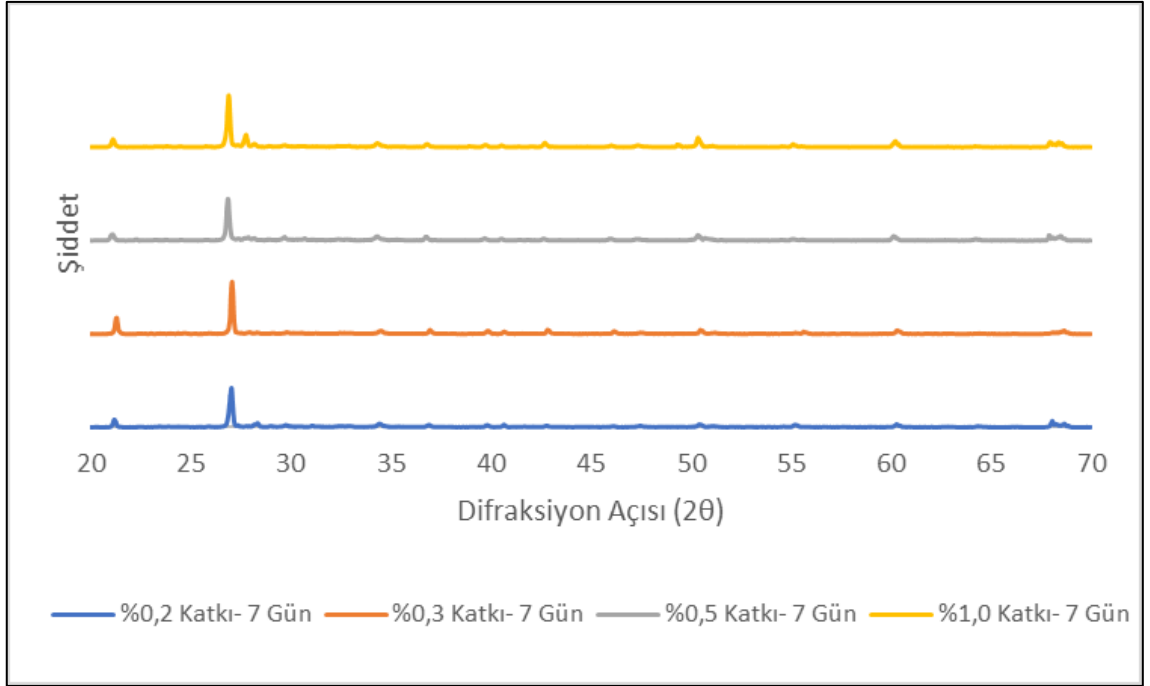


Şekil 8.28.

ör

Naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,3 katkı eklenen numunede $\sim 30^\circ$ 'de tobermorit [$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$] ve alit (Ca_3SiO_5) pikleri gözlenmiştir ve 46° 'de görülen pik tobermorit [$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$] olarak adlandırılır. %0,3 oranında katkı eklenen numunede C-S-H jeli görülür. %0,5 katkı eklenen numunede 32° 'de ve 48° 'de Brownmillerit piki görülür. Brownmillerit C_4AF olarak da adlandırılır. Kuvars piklerinin şiddeti %0,2 oranında eklenen katkıdan %0,5 oranında eklenen katkıya doğru azalır. En şiddetli kuvars pikleri ise %1 oranında katkı eklenen numunede görülür. Portlandit piklerinin şiddeti ise %0,2 oranında eklenen katkıdan %1 oranında eklenen katkıya doğru azalır.

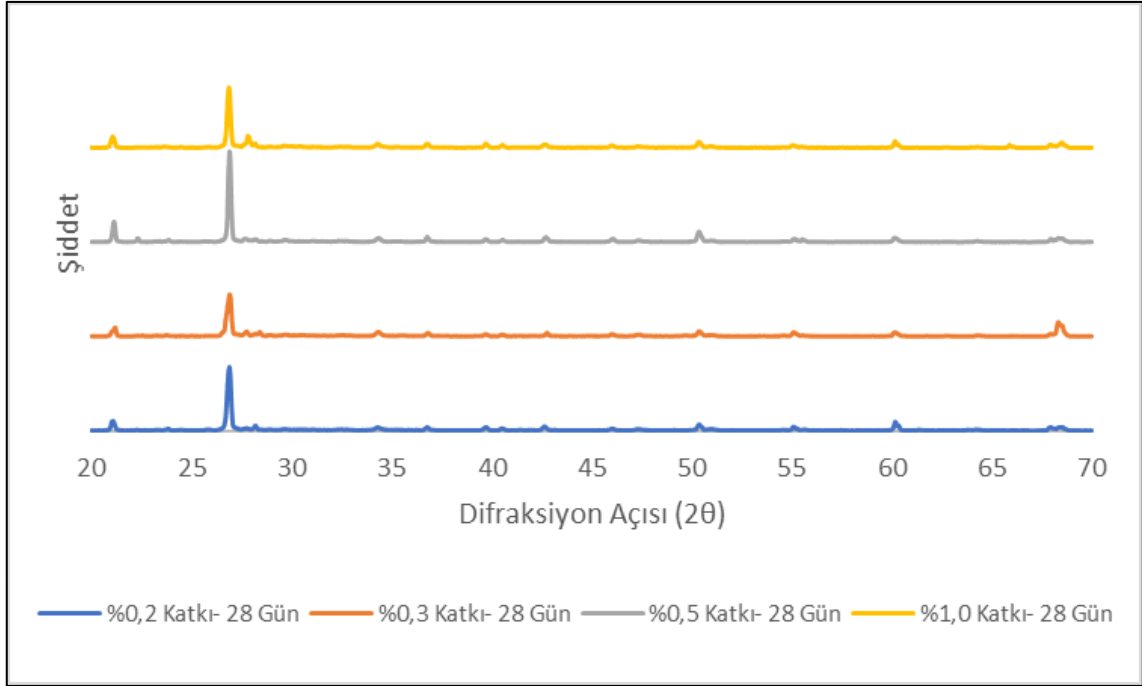
Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.29'da verilmiştir.



Şekil 8.29.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %0,2 katkı eklenen numunede 27° piki anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) olarak adlandırılır. 42° ve ~50° pikleri ve 55°’deki pik alit (Ca_3SiO_5) pikini işaret eder. %0,5 katkı eklenen numunede 42° alit (Ca_3SiO_5) pikini işaret eder. Alitin erken dayanıma etkisi vardır. %1 katkı eklenen numunede 27° piki anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) olarak adlandırılır. %1 katkı eklenen numunenin portlandit piki şiddeti diğer numunelere göre daha azdır. (Ramyar, 2007)

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.30’da verilmiştir.



Şekil 8.30.

ör

Melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde %%1 katkı eklenen numunede 27 °deki pik anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) olarak adlandırılır. %0,5 katkı eklenen numunenin pik şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır.

Kür sürelerine bağlı olarak numunelerin pik şiddetleri kıyaslandığında, Çimento 1 kullanılmış, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde kür süresi arttıkça %0,2 ve %0,3 katkı kullanılan numunelerde pik şiddetinin daha fazla olduğu görülmüştür. %0,2 katkı kullanılan numunede 65°'deki portlandit pikinin şiddetinde bir azalma gözlenmiştir. %0,3 katkı kullanılan numunede ise 37°'deki kuvars pikinin şiddetinde bir azalma gözlenmiştir. %0,5 ve %1 katkı kullanılan katkılarda ise kür süresi arttıkça pik şiddeti azalmıştır. Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerde katkı oranı arttıkça 21°, 26°, 55°, 60° ve 70°'deki kuvars piki %0,5 oranında eklenen katkıya kadar artmış, %1 katkı oranında azalmıştır.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat katkı kullanılmış numunelerde kür süresi arttığında %0,2 oranında pik şiddeti azalmıştır. %0,3 esaslı katkı içeren numunelerde kuvars pikleri kür süresi arttıkça artmıştır. %0,5 katkı kullanıldığında alit pikinin şiddeti artmıştır. %1 katkı kullanılan numunelerde ise kür süresi arttıkça pik şiddeti artmıştır. Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 gün yaşlandırılmış numunelerde katkı oranı arttıkça 21°, 26°, 55°, 60° ve 70°'deki kuvars piklerinin şiddeti %0,5 oranında

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.

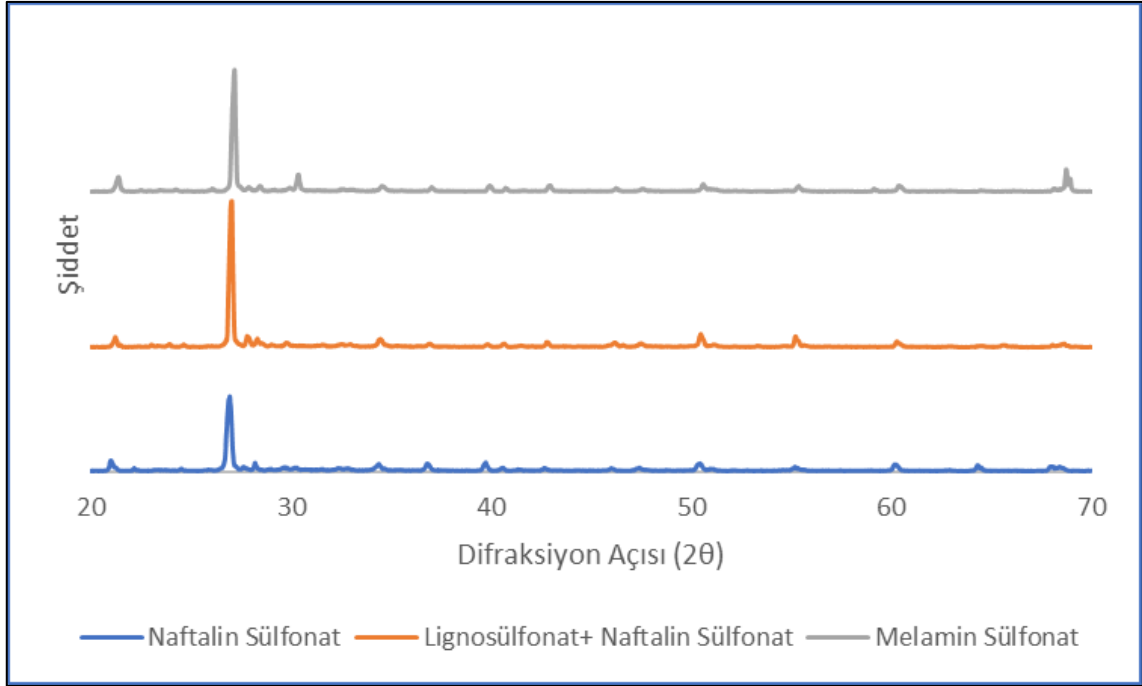
Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise %0,2, %0,5 ve %1 esaslı katkı içeren numunelerde kür süresinin artmasıyla pik şiddeti artmış ancak %0,3 esaslı katkı içeren numunede kür süresinin artmasıyla pik şiddeti azalmıştır. Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan 7 gün yaşlandırılmış 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.

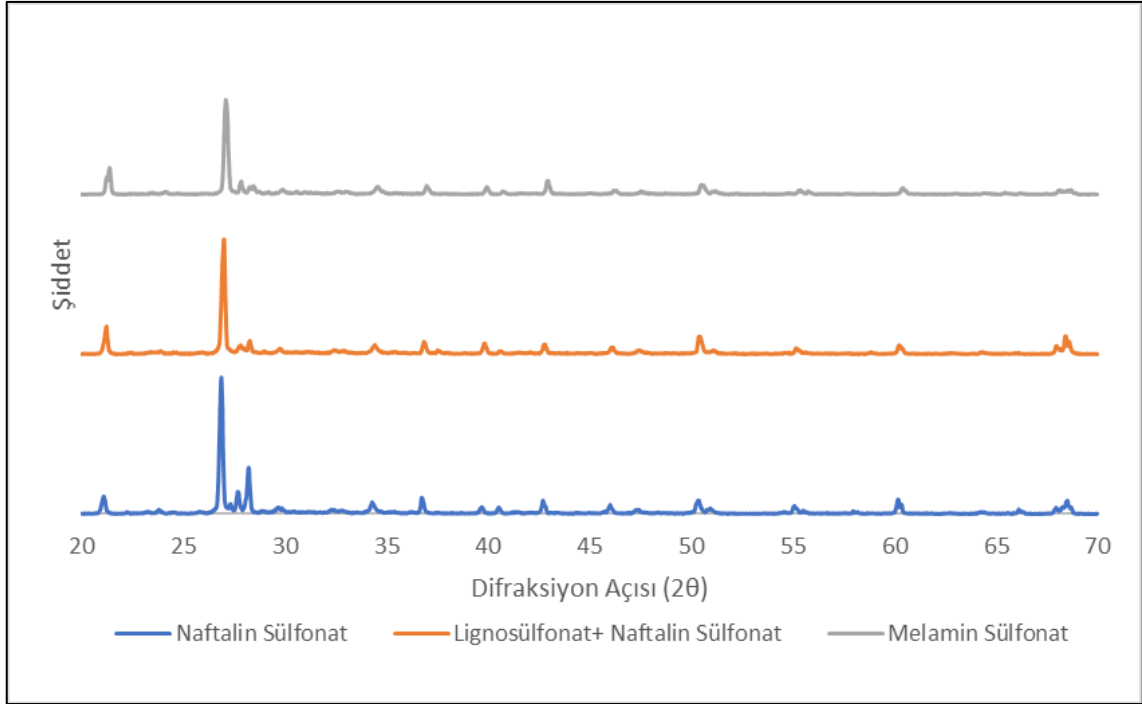
Çimento 1 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.31'de verilmiştir.



Şekil 8.31.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 29° ve 31° 'deki pikler alit olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise 26° tobermorit olarak isimlendirilmiştir. Melamin sülfonat içeren numunelerde ise 42° alit, 59° ise Brownmillerit olarak adlandırılmıştır. Basınç dayanımlarıyla kıyaslandığında lignosülfonat+naftalin sülfonat içeren esaslı katkı içeren numunede görülen tobermorit (C-S-H jeli) pikinin basınç dayanımına olumlu etkisi olmuştur, çünkü %0,2 oranında lignosülfonat+naftalin sülfonat katkı içeren 7 gün yaşlandırılmış numunesinin basınç dayanımı diğer oranlardaki katkılara göre daha yüksektir. Brownmillerit (C_4AF) içeren numunenin basınç dayanımı ise en düşüktür. Bunun sebebinin, katkının C_4AF kristaline tutunarak akışkanlığın azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir (Ramyar, 2007).

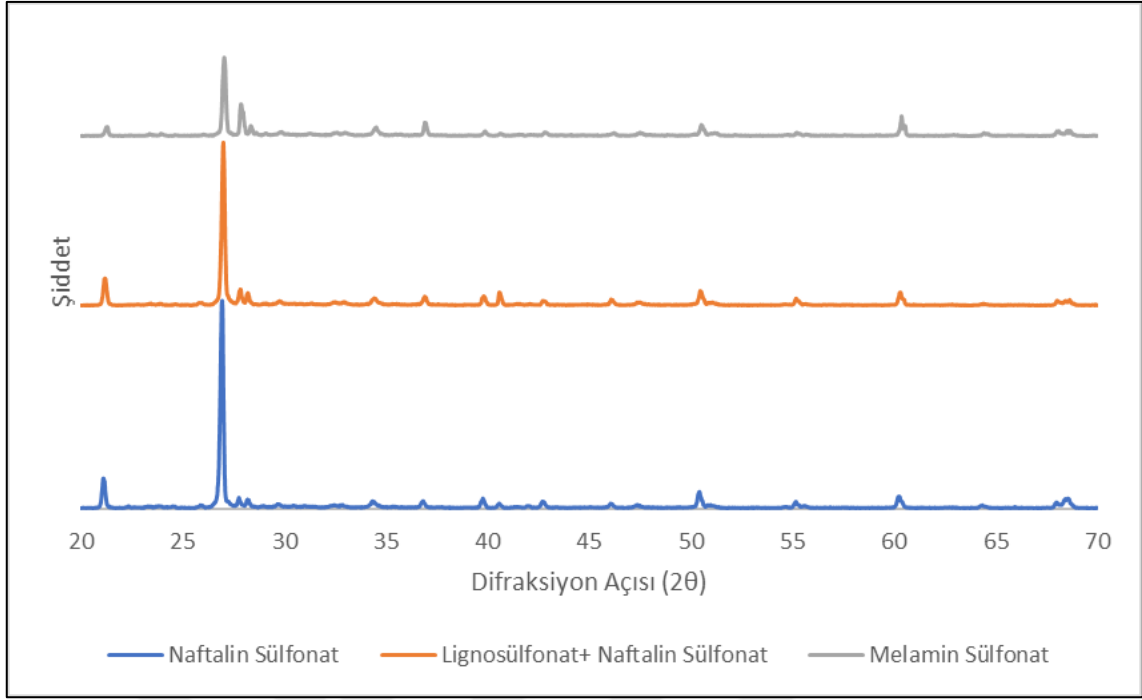
Çimento 1 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.32'de verilmiştir.



Şekil 8.32.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27°'deki pik anortit olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise 55° alit olarak isimlendirilmiştir. Melamin sülfonat içeren numunelerde ise 32° alit olarak adlandırılmıştır. Kuvars piklerinin şiddetinin lignosülfonat+naftalin sülfonat içeren katkılarda daha fazla olduğu, portlandit piklerinin şiddetinin ise naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde daha fazla olduğu görülmüştür.

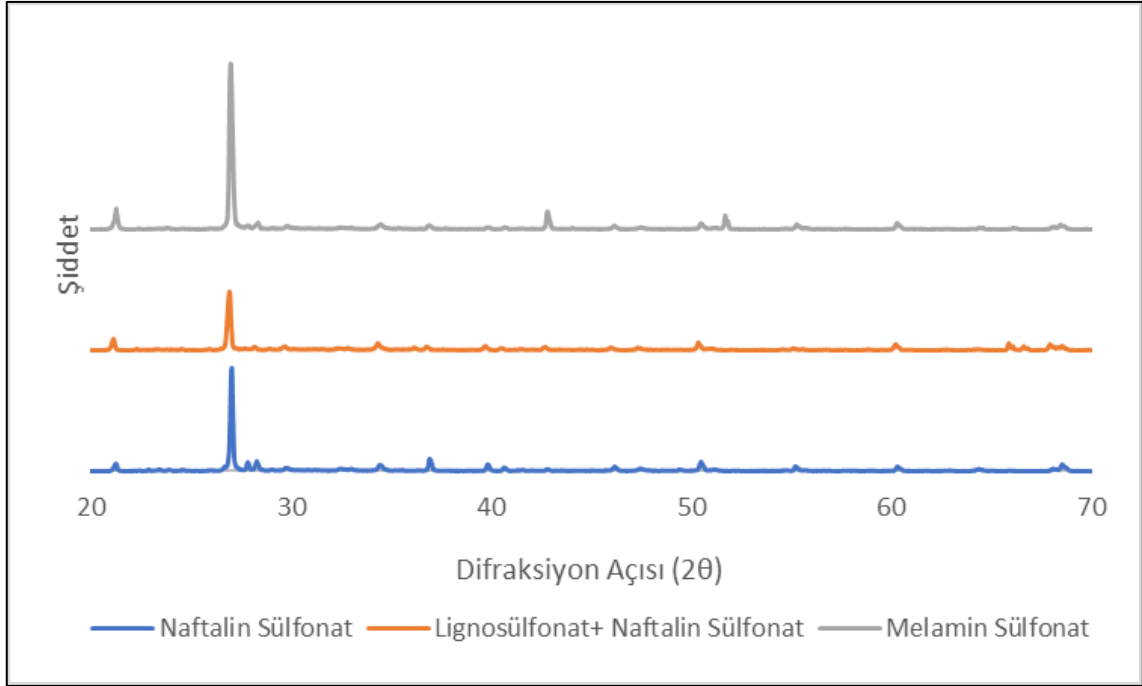
Çimento 1 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.33'te verilmiştir.



Şekil 8.33.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27°’deki pik rankinit olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise 26° afwillite olarak isimlendirilmiştir. Melamin sülfonat içeren numunelerde ise 27° ve 33° tobermorit olarak adlandırılmıştır. Portlandit piklerinin şiddeti naftalin sülfonat esaslı numunede, diğer katkılara göre daha fazladır.

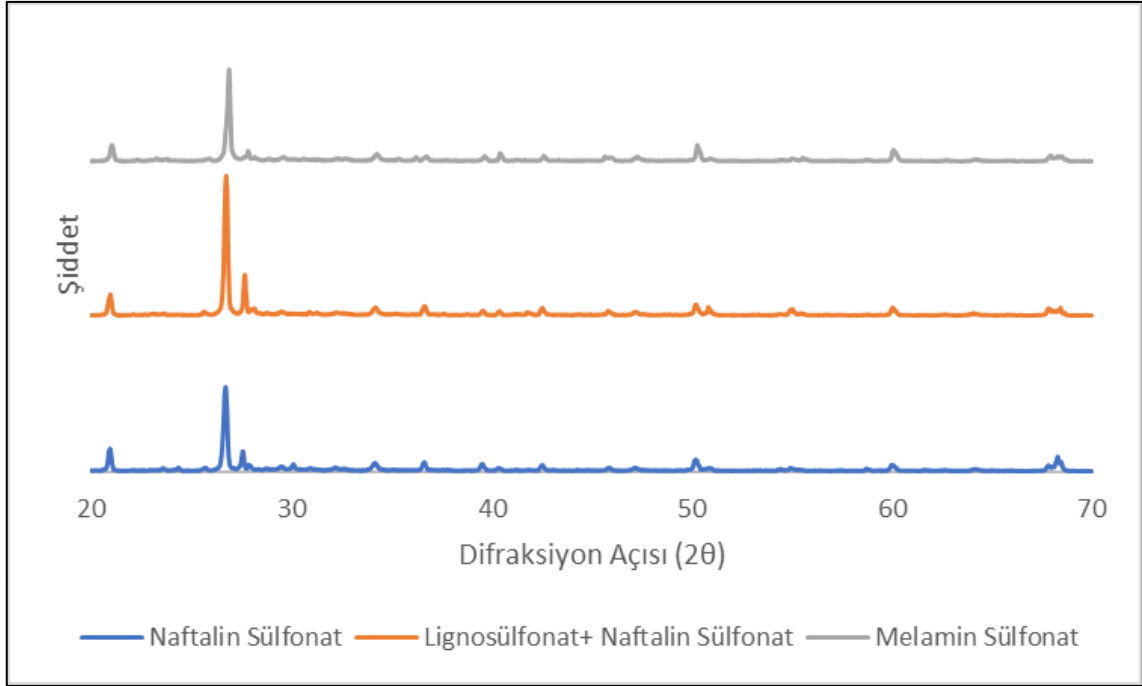
Çimento 1 ve %1,0 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.34’te verilmiştir.



Şekil 8.34.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise 32° ve 68° rankinit olarak isimlendirilmiştir. Portlandit piklerinin şiddeti melamin sülfonat esaslı katkı eklenen numunelerde en yüksektir. CH olarak da bilinen Portlandit dayanıma katkı sağlar.

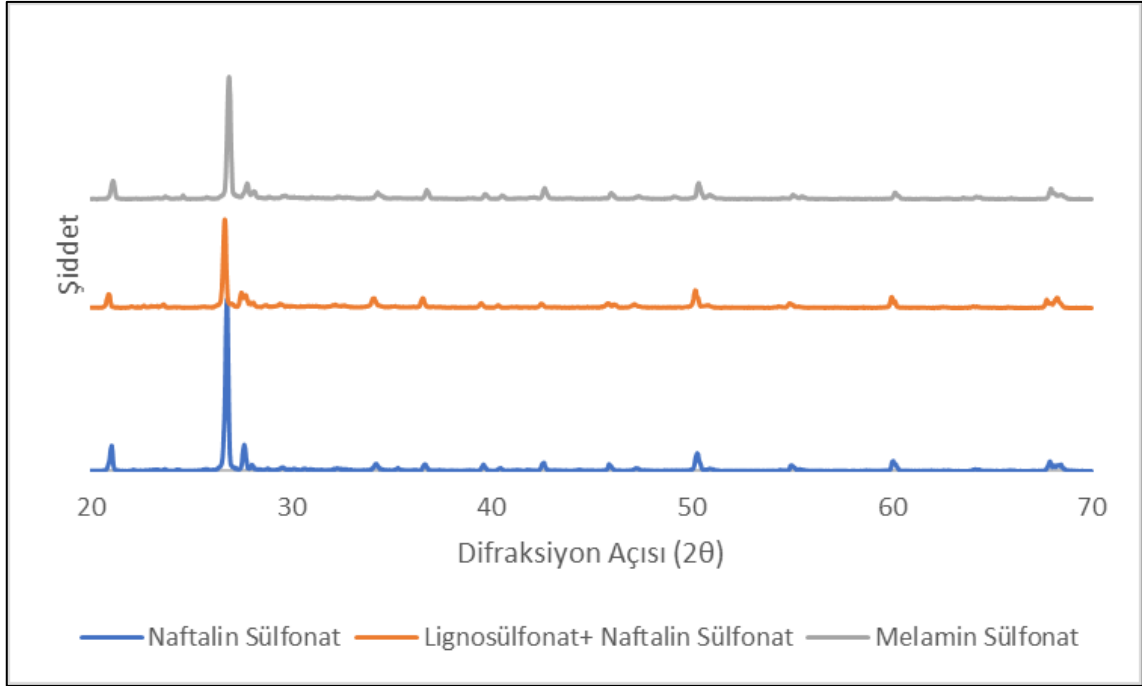
Çimento 1 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.35'te verilmiştir.



Şekil 8.35.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 30° tobermorit olarak isimlendirilmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının portlandit piklerinin şiddeti diğer katkılara oranla daha fazladır.

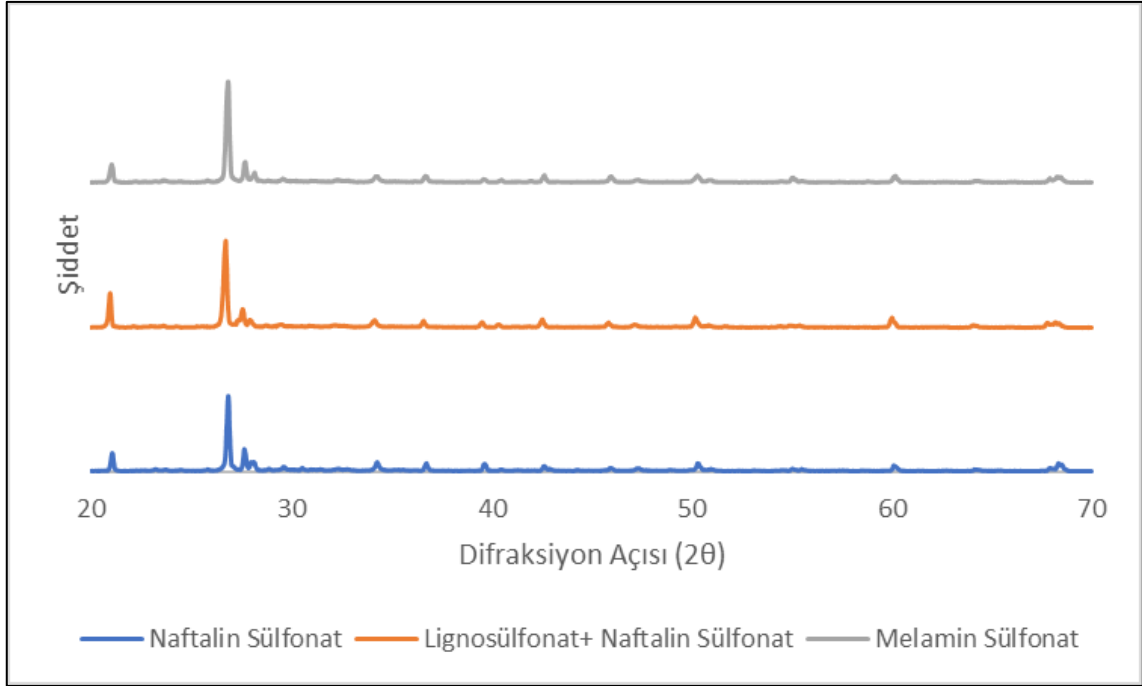
Çimento 1 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.36'da verilmiştir.



Şekil 8.36.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27° 'deki pik afwillite olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise 29° , 31° ve 55° 'teki pikler alit olarak isimlendirilmiştir. Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunedeki portlandit pikleri, diğer katkılara nazaran daha şiddetlidir. Naftalin ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıları içeren numunelerin basınç dayanımı değerleri göz önüne alındığında, değerler katkısız numunenin üzerinde çıkmıştır.

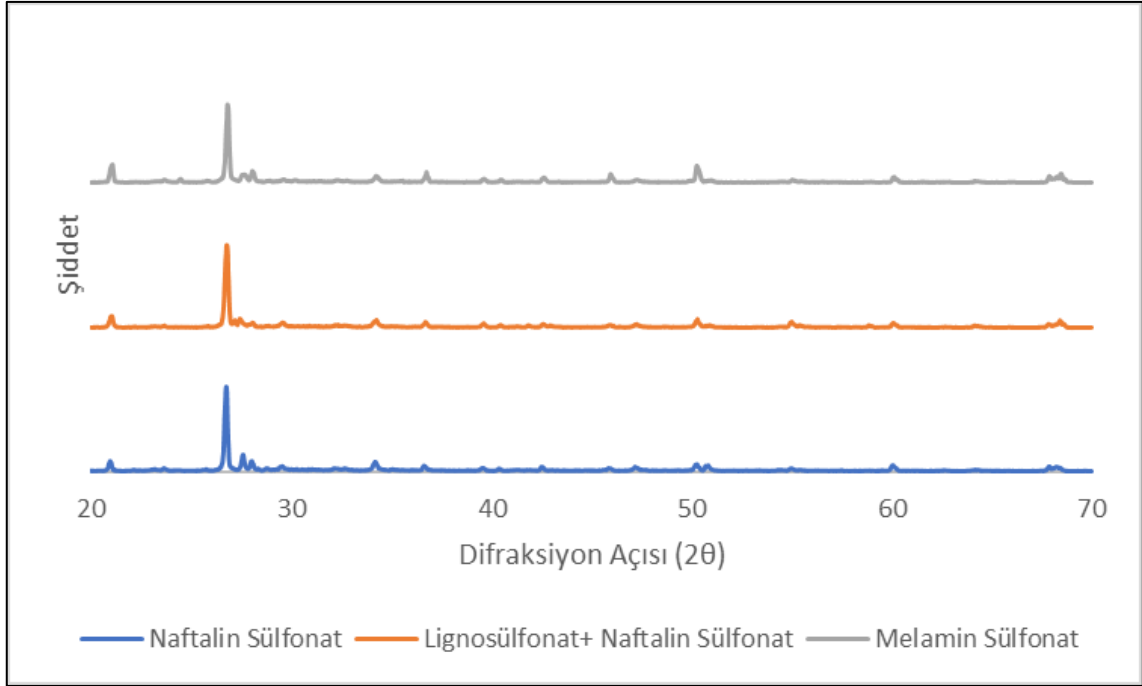
Çimento 1 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.37'de verilmiştir.



Şekil 8.37.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27°'deki pik anortit olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise 27° ve 32° alit olarak isimlendirilmiştir. Melamin sülfonat içeren numunede ise 27° anortit olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin portlandit pik şiddeti, diğer katkılara göre daha fazladır.

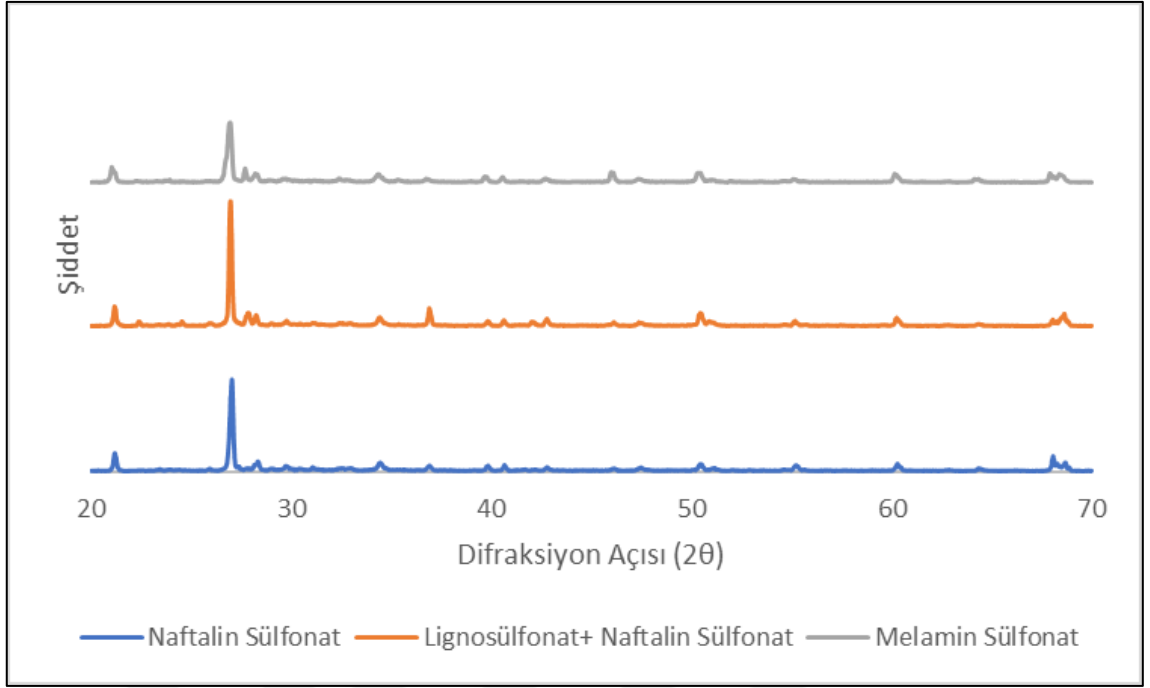
Çimento 1 ve %1,0 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.38'de verilmiştir.



Şekil 8.38.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27° ve 32° alit olarak isimlendirilmiştir. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27°’deki pik anortit, 29°, 31°, 36° ve 42°’deki pikler ise alit olarak adlandırılmıştır. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerdeki portlandit piklerinin şiddeti diğer katkıları içeren numunelere göre daha şiddetlidir.

Çimento 2 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.39’da verilmiştir.

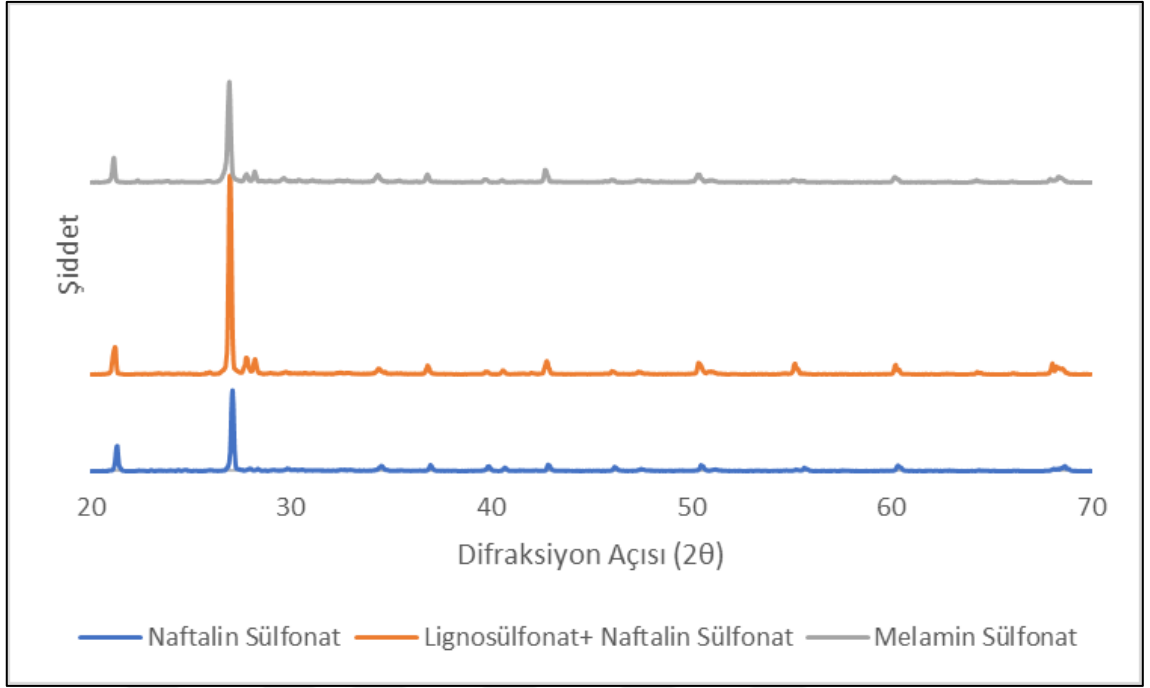


Şekil 8.39.

11

Çimento 2 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerin hem portlandit hem de kuvars pikleri, diğer katkılarla hazırlanan numunelere göre daha şiddetlidir.

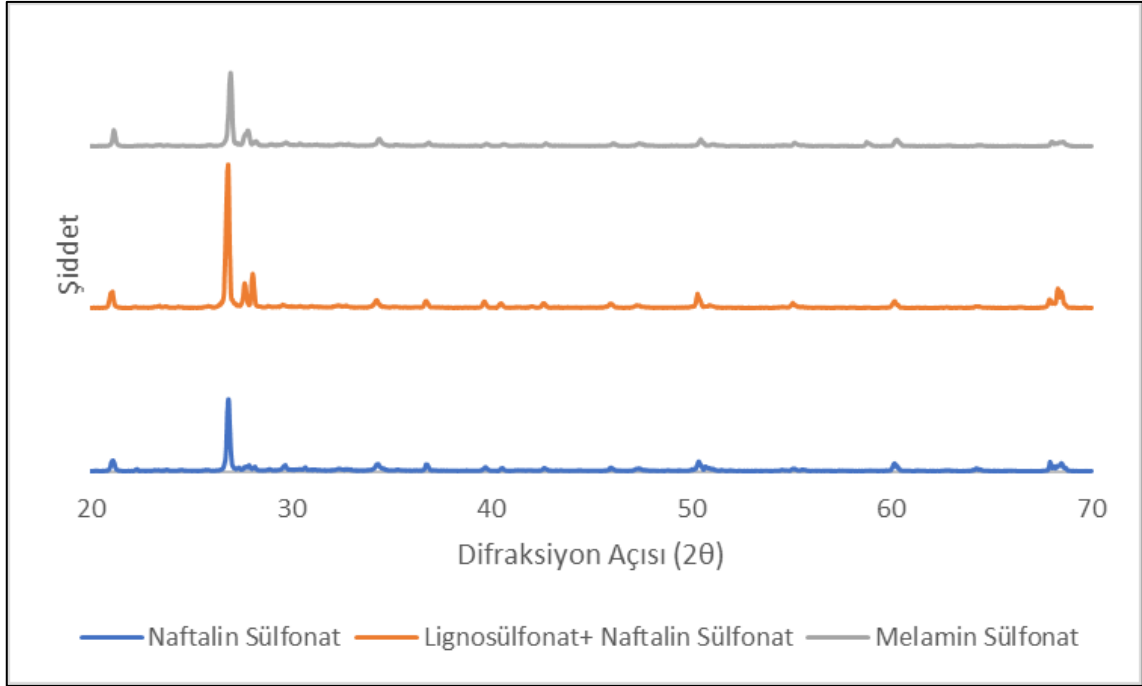
Çimento 2 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.40'ta verilmiştir.



Şekil 8.40.

Çimento 2 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerden lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunenin hem kuvars hem de portlandit pikleri daha şiddetlidir.

Çimento 2 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.41’de verilmiştir.

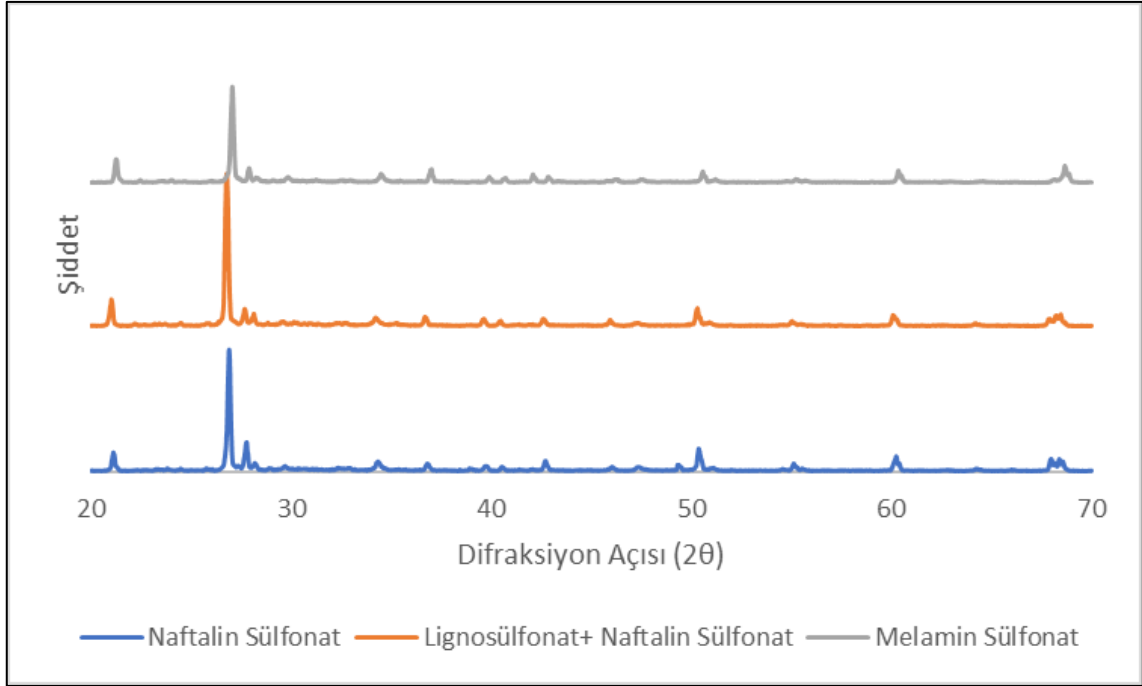


Şekil 8.41.

11

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde 30° , 45° ve 55° 'deki pikler alit, 29° 'deki pik anortit olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise 32° alit olarak isimlendirilmiştir. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 29° 'deki pik anortit, 45° 'deki pikler ise alit olarak adlandırılmıştır. Alit pikleri erken dayanım değerlerine katkı sağlar. Naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerin basınç dayanımı değerleri, diğer oranlarda katkı içeren numunelerden daha yüksektir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin portlandit piklerinin şiddeti diğer katkıları içeren numunelere göre daha fazladır.

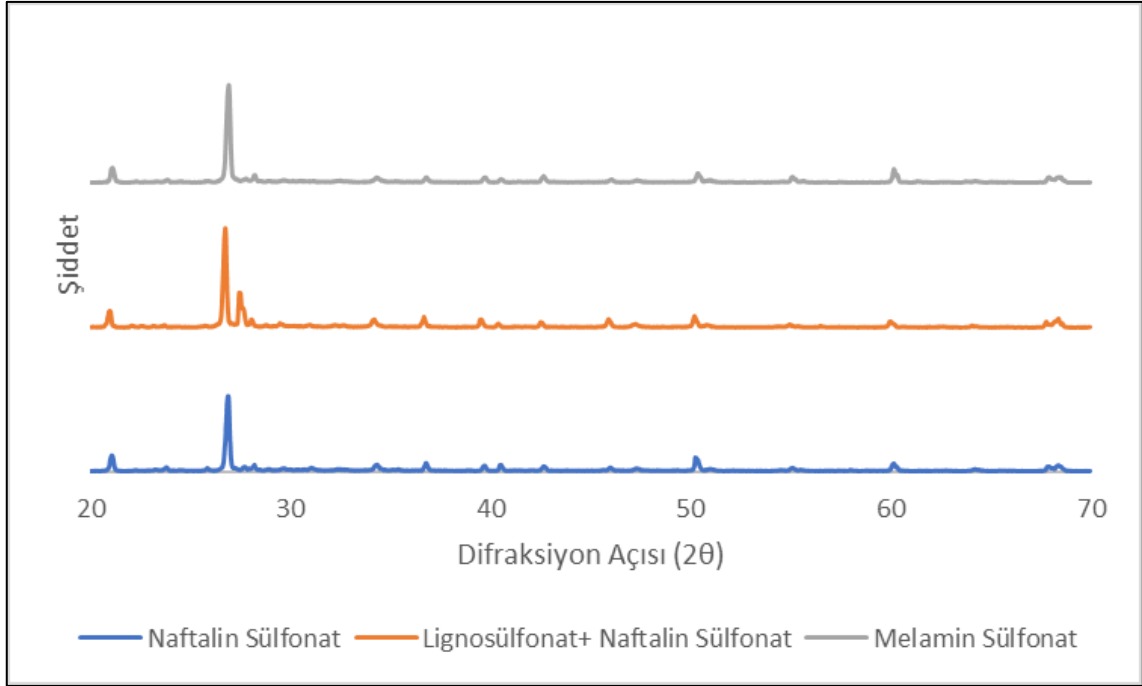
Çimento 2 ve %1,0 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük XRD spektrumu Şekil 8.42'de verilmiştir.



Şekil 8.42.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde ise 32° ve 42° 'deki pikler alit olarak isimlendirilmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin portlandit piklerinin şiddeti diğer katkıları içeren numunelere göre daha fazladır. Basınç dayanımı değeri en yüksek çıkan numune de lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numune olduğundan portlanditin (CH) dayanıma olumlu etki sağladığı sonucuna ulaşılır.

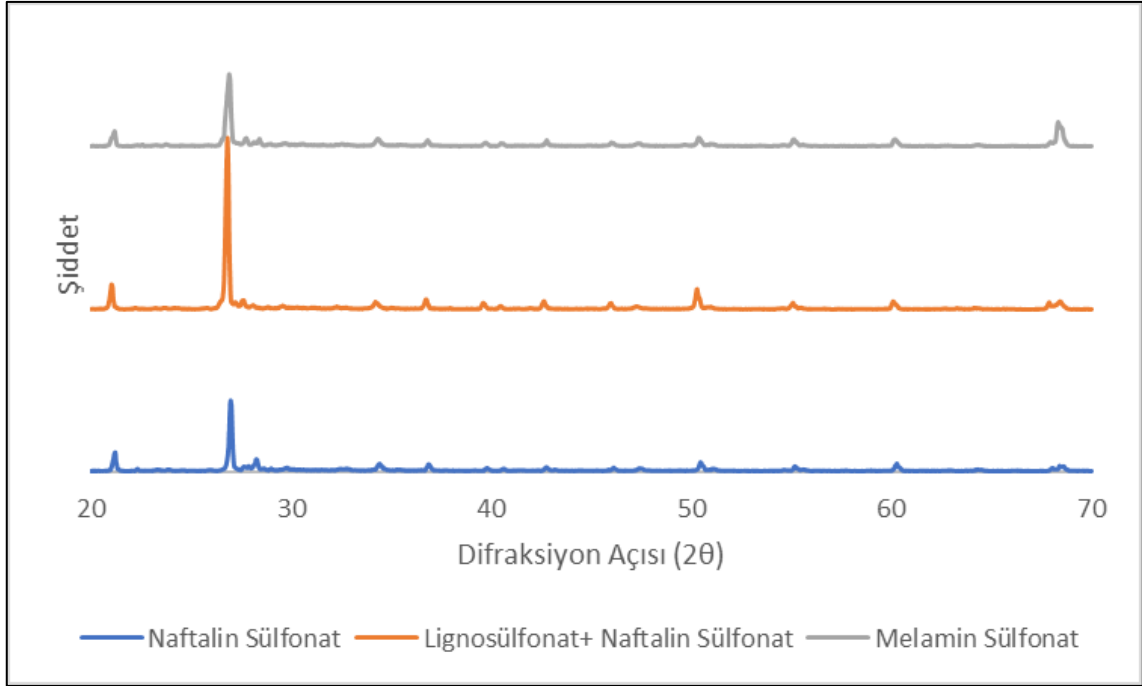
Çimento 2 ve %0,2 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.43'te verilmiştir.



Şekil 8.43.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27°'deki pik anortit, 42°, 50° ve 53°'deki pikler ise alit olarak adlandırılmıştır. Portlandit piklerinin şiddetlerinin naftalin ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde yaklaşık aynı şiddette olduğu, melamin sülfonat esaslı numunede ise piklerin şiddetinin arttığı gözlenmiştir.

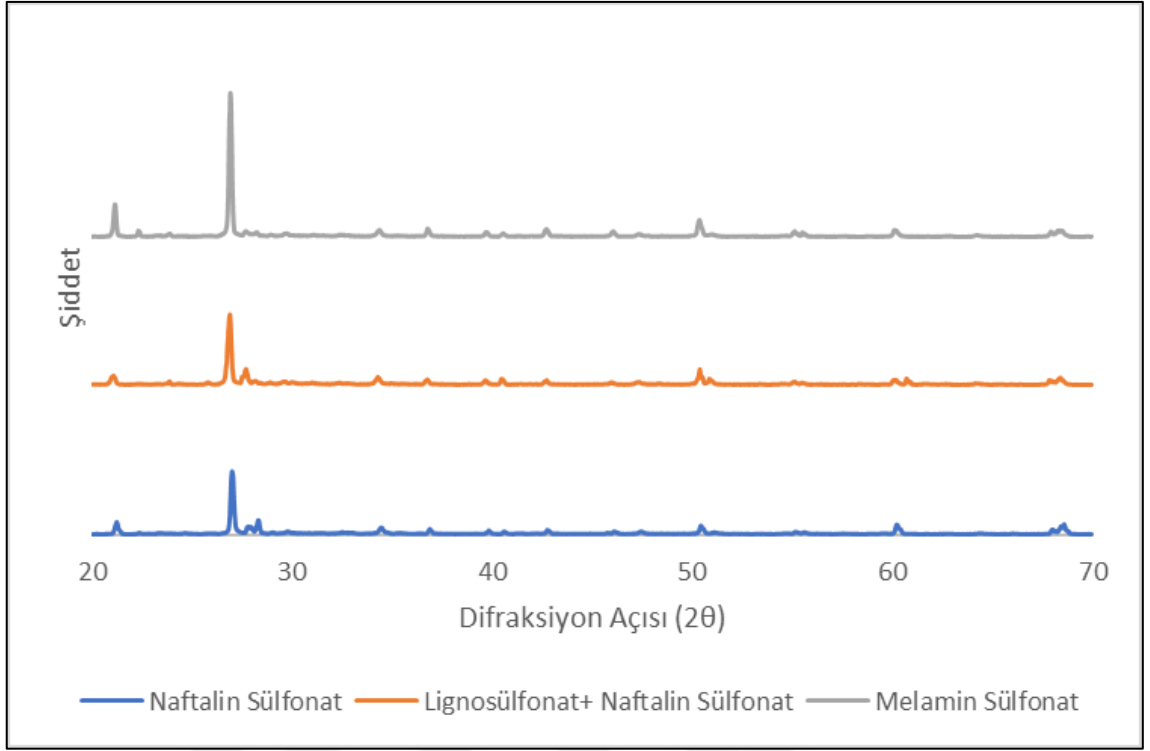
Çimento 2 ve %0,3 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.44'te verilmiştir.



Şekil 8.44.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 30°deki pik tobermorit-alit, 46°deki pikler ise tobermorit olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunenin hem portlandit hem de kuvars piklerinin şiddeti en yüksektir. Melamin sülfonat esaslı katkıda ise 68°deki portlandit piki, diğer katkılara göre daha şiddetlidir.

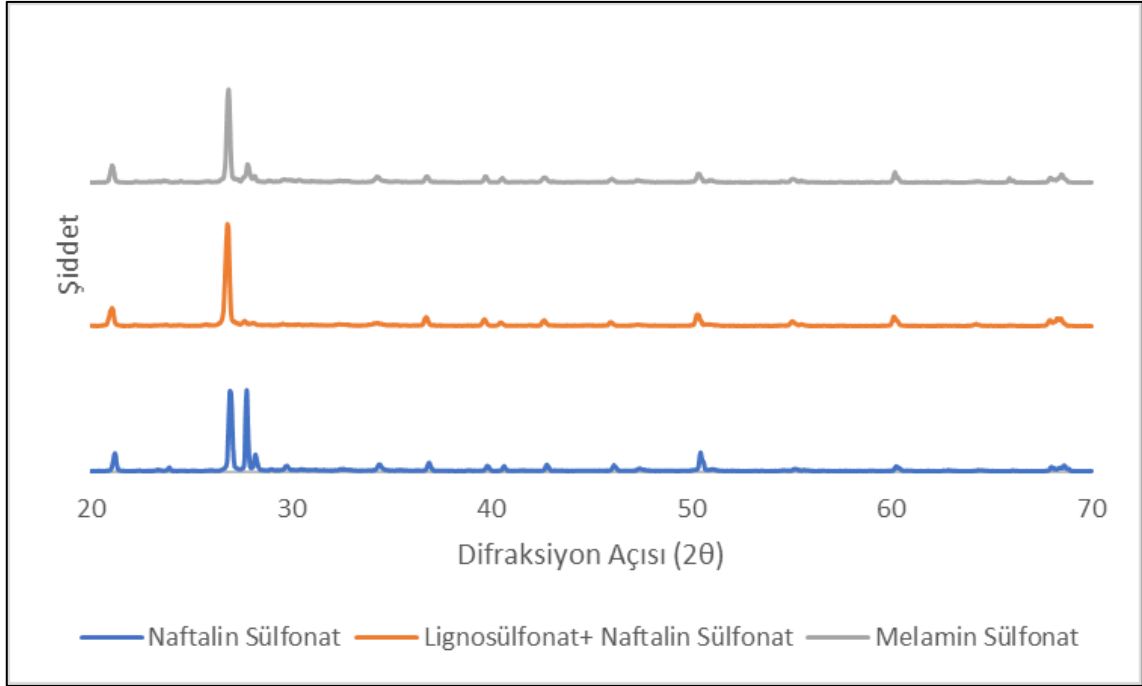
Çimento 2 ve %0,5 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.45'te verilmiştir.



Şekil 8.45.

Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 32° ve 48°'deki pikler Brownmillerit (C₄AF) olarak adlandırılmıştır. Lignosülfonat+Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 42°'deki pik alit olarak isimlendirilmiştir. Melamin sülfonat esaslı katkının portlandit piklerinin şiddeti en yüksektir.

Çimento 2 ve %1,0 katkı oranı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük XRD spektrumu Şekil 8.46'da verilmiştir.



Şekil 8.46.

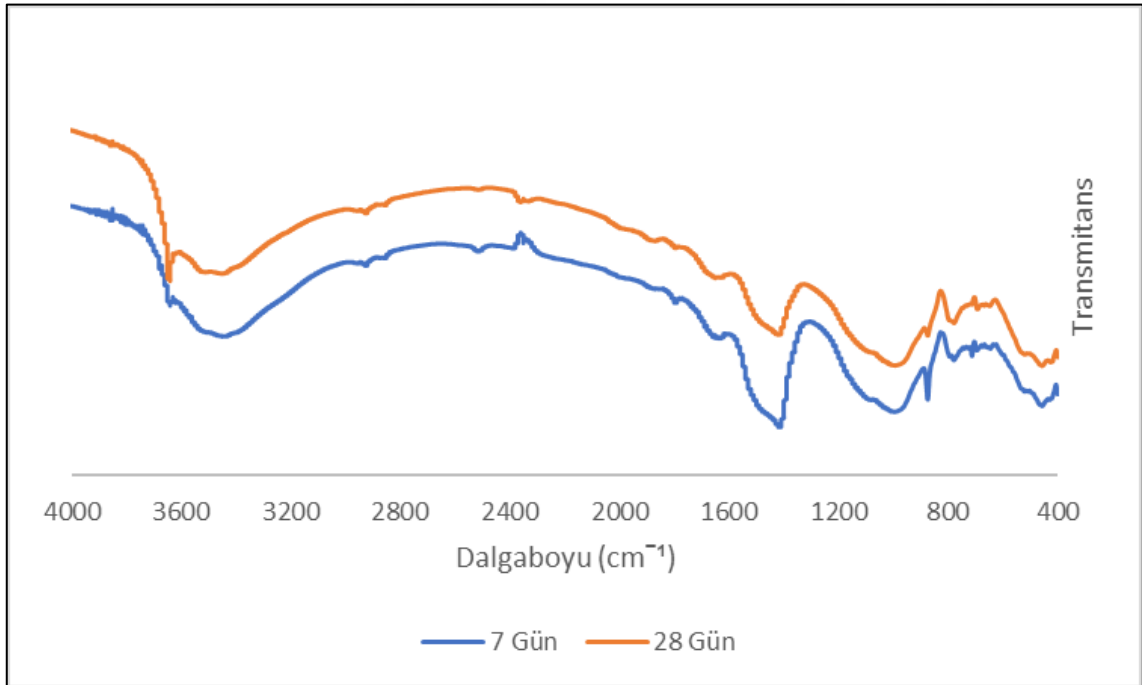
Lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 27°'deki pik anortit olarak isimlendirilmiştir. Naftalin sülfonat esaslı katkının portlandit pikleri diğer katkıları içeren numunelere göre daha şiddetlidir. Naftalin sülfonat esaslı numunenin basınç dayanımı da diğer katkılara göre daha fazladır.

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 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.

Çimento 1 ve Çimento 2 kullanılarak hazırlanan 7 ve 28 gün yaşlandırılmış katkısız numunelerinin FT-IR spektrumlarında 3640 cm^{-1} 'de görülen bant $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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.

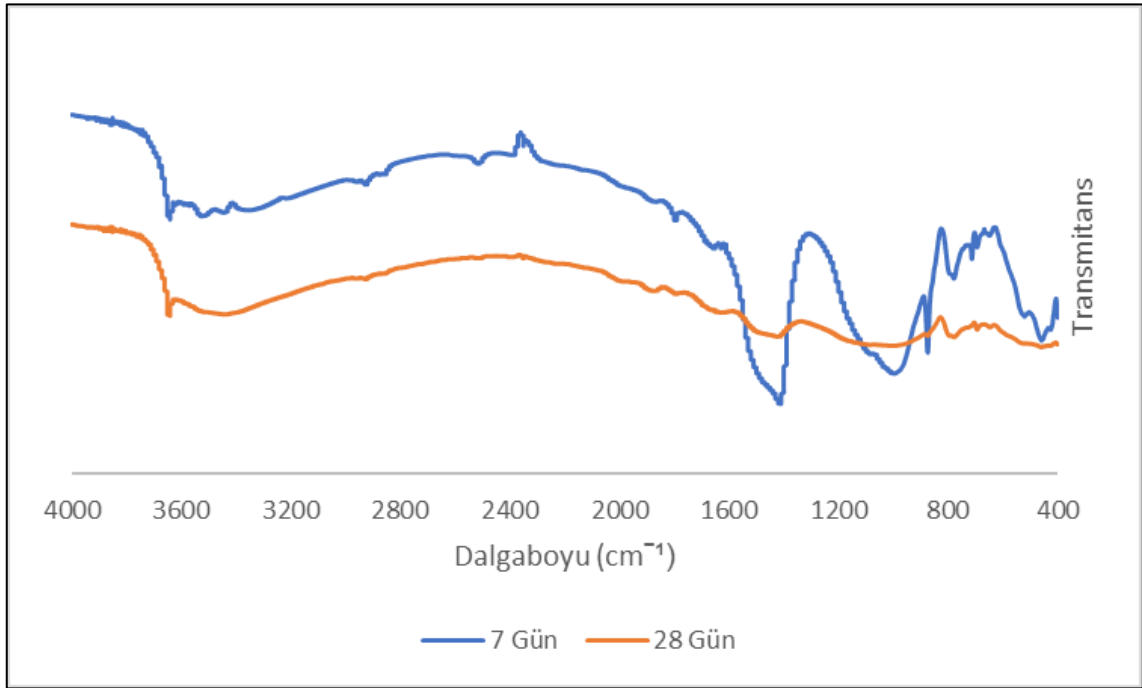


Şekil 8.47.

-11

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.

-10-

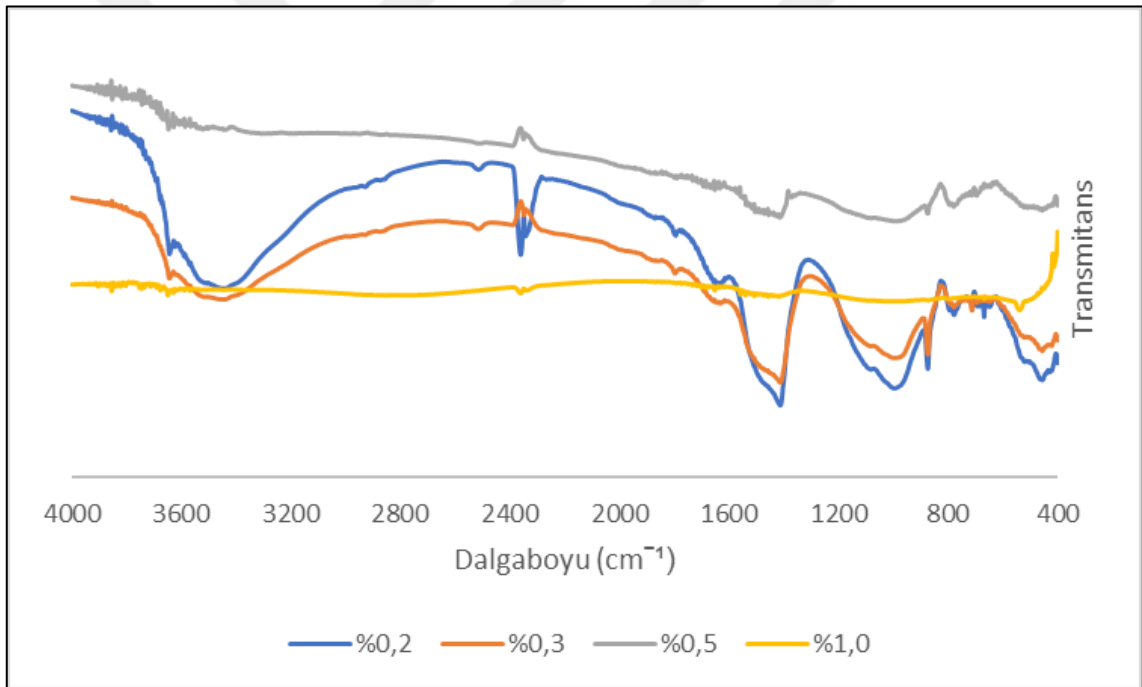
Çimento 2 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 ve 28 gün yaşlandırılmış örneklerinde 3640 cm^{-1} 'de görülen -OH bağı her iki yaşlandırma süresinde de yaklaşık olarak aynı şiddettedir. 800 cm^{-1} 'deki karbonat piki 7 gün yaşlandırılmış numunede 28 gün yaşlandırılmış numuneye göre daha keskindir (Mollah ve ark., 2000, Mollah ve ark., 1995, Ylmén ve ark., 2009, Trezza, 2007, Zhou ve ark., 2007, Feng ve ark., 2018).

8.3.1. Farklı tür akışkanlaştırıcı kullanımının FT-IR spektroskopisi sonuçlarına etkisi

Naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat ile hazırlanan numunelerde %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranında katkı kullanılmıştır.

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.



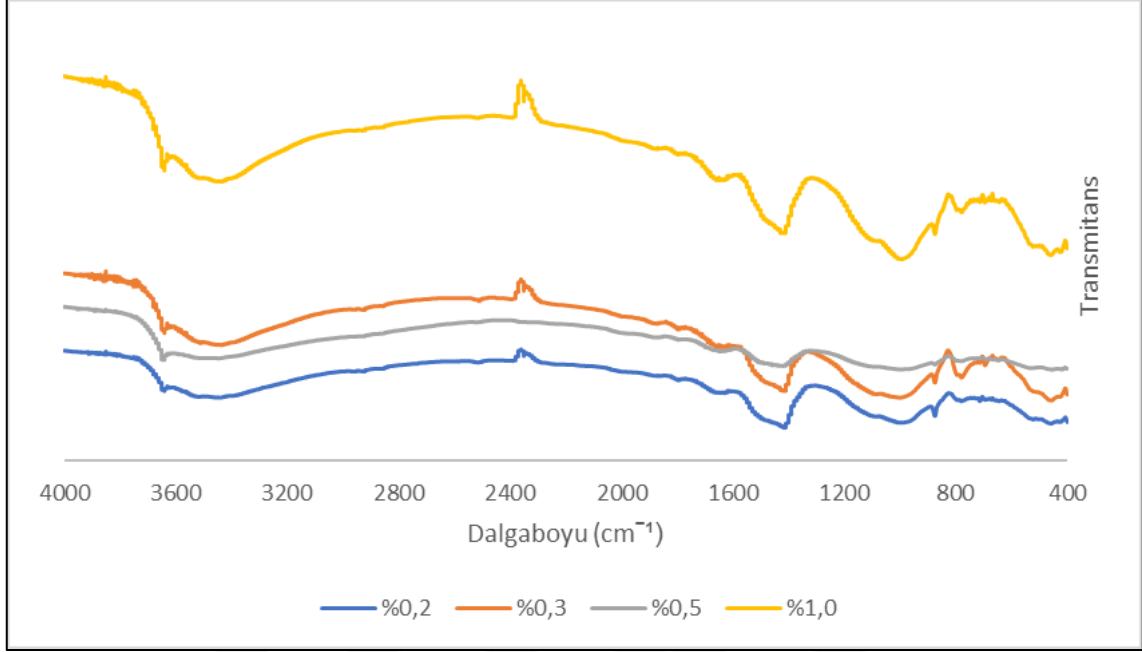
Şekil 8.49.

-R

iki

3645 cm^{-1} 'de görülen -OH piki, bütün katkı oranlarında yaklaşık olarak aynı şiddette çıkmıştır. 2800 cm^{-1} 'deki karbonat piki ise %0,2 ve %0,3'te belirgin olup %0,2 oranındaki katkıda daha keskin bir pike sahiptir. 1400 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} 'de görülen karbonat piki ise %0,2 ve %0,3 oranında katkı eklenen numunelerde %0,5 ve %1,0 oranında katkı eklenen numunelere göre daha keskindir.

Çimento 1 ve liginosulfonat+naftalin sulfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.50'de verilmiştir.

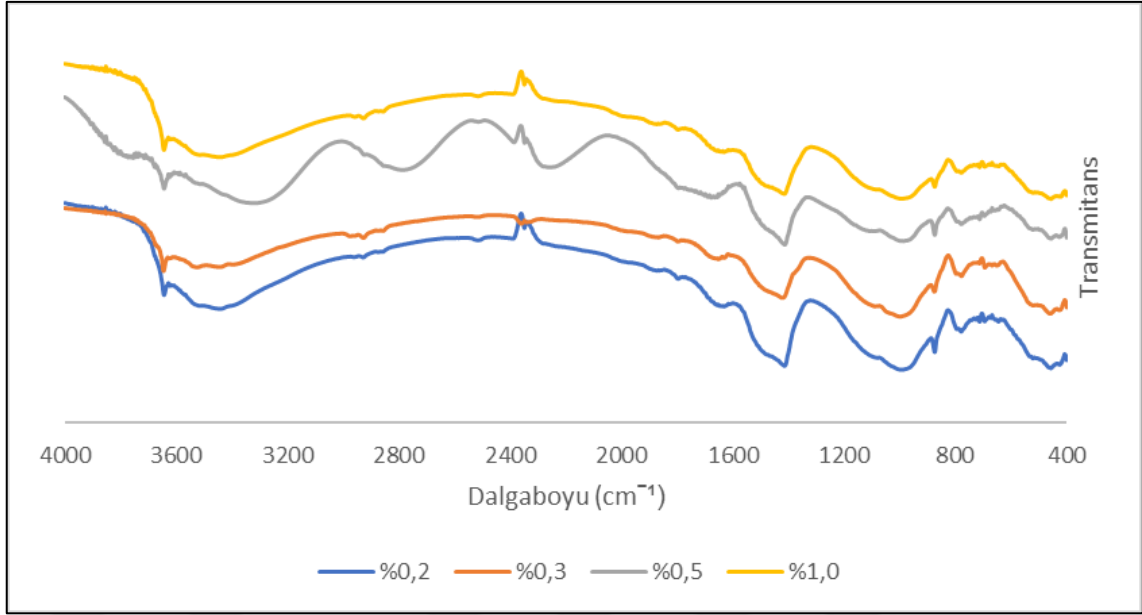


Şekil 8.50.

F -IR

Çimento 1 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında liginosulfonat+naftalin sulfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 7 günlük Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisinde 3645 cm⁻¹'de görülen -OH bağının şiddeti katkı oranı arttıkça artmıştır. 2400 cm⁻¹'de gözlenen CO₂'nin %0,3 oranında katkı içeren numunede pik yapmamış olması, numunenin havadan kaynaklanan CO₂'den etkilenmediğini gösterebilir. 1400 cm⁻¹'de görülen karbonat piki %0,2 ve %0,3 oranında katkı içeren numunelerde neredeyse aynıdır. %1 oranında katkı içeren numunede karbonat piki artmıştır. %0,5 oranında katkı içeren numunede ise karbonat piki azalmıştır. 800 cm⁻¹'deki karbonat piki ise %0,2, %0,3 ve %1,0 oranında katkı içeren numunelerde aynı şiddettedir.

Çimento 1 ve melamin sulfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.51'de verilmiştir.



Şekil 8.51.

-R

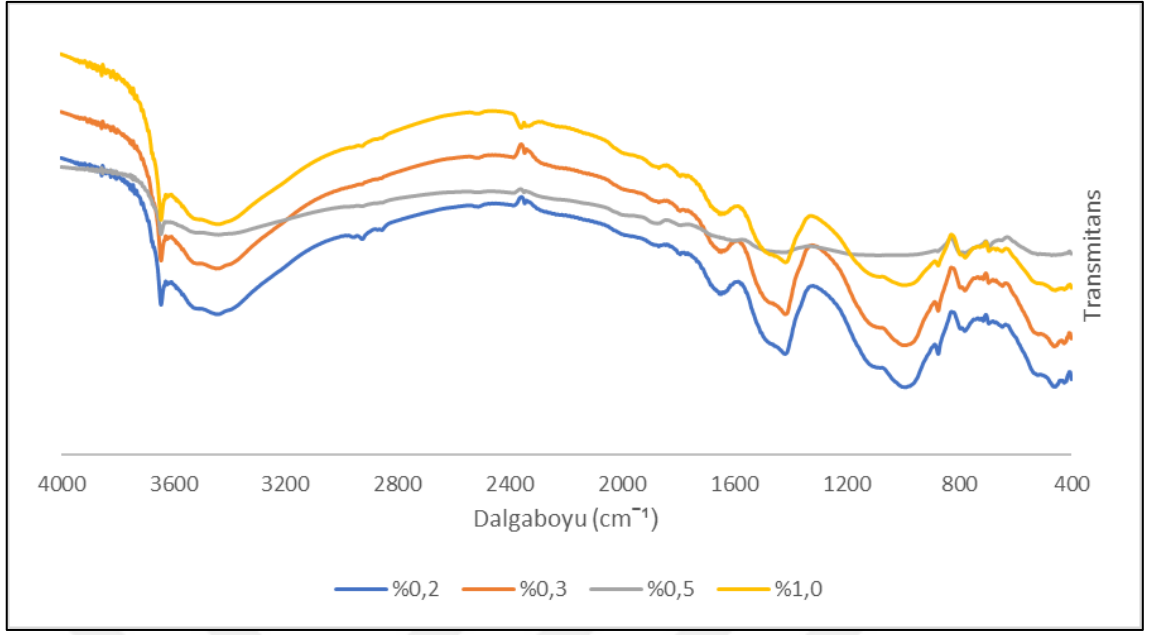
ini

1560 cm^{-1} 'de melamin halkası bulunur. 1100 cm^{-1} 'de N-H bağı bulunmaktadır. 3645 cm^{-1} 'deki -OH piki bütün katkı oranlarında neredeyse aynı şiddettedir.

1560 cm^{-1} 'de görülen melamin halkasının pik şiddeti katkı oranının artmasıyla azalmıştır (Liu ve ark, 2007, Von Hoessie ve ark. 2015).

Çimento 2 ve naftalin, lignosülfonat+naftalin ve melamin sülfonat katkı ile hazırlanmış numunelerin FT-IR spektrumunda, 3645 cm^{-1} 'de görülen pik Ca(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, Trezza, 2007, Janowska- Renkas, 2013).

Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.52'de verilmiştir.



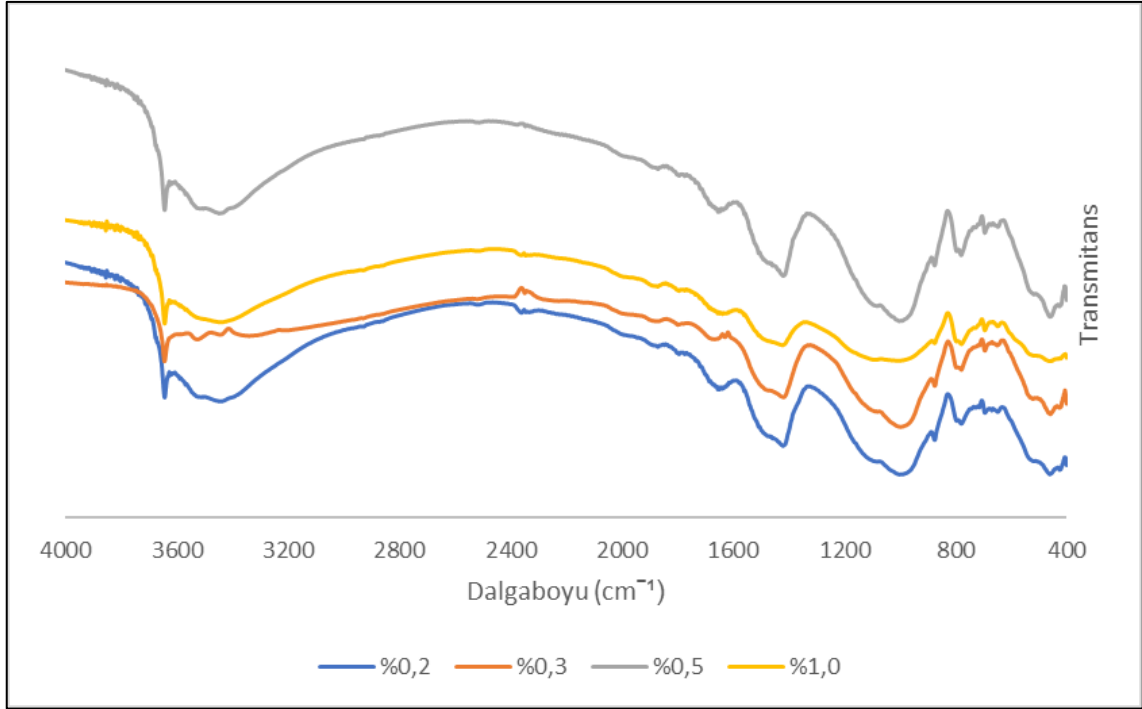
Şekil 8.52.

-R

ini

3645 cm⁻¹'deki -OH pikinin şiddeti bütün numunelerde aynı şiddette olduğu söylenebilir. 2800 cm⁻¹'de karbonat piki görülmektedir ve en şiddetli pik %0,2 oranında katkı içeren numunede görülmüştür. Karbonat pikinin şiddeti katkı oranı arttıkça azalmıştır. 800 cm⁻¹'deki karbonat pikinin şiddeti %0,5 oranında katkı içeren numunede en düşük şiddettedir, diğer numunelerde daha şiddetli görünen pikin büyüklüğü aynıdır.

Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.53'te verilmiştir.

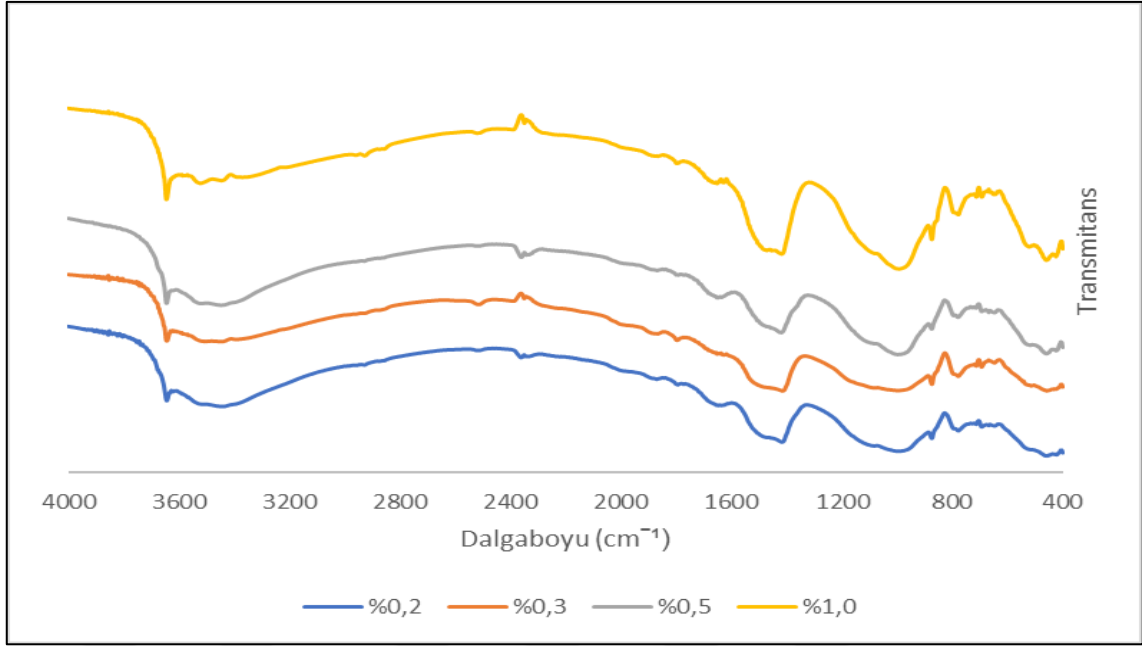


Şekil 8.53.

F - İki

3610 cm⁻¹'de ise yüzeye tutunmuş -OH bağı bulunmaktadır. 3645 cm⁻¹ 'deki kalsiyum hidroksitten gelen -OH bağının şiddeti tüm numunelerde aynıdır. 2800 cm⁻¹'de görülen CO₂, bütün numunelerin havadan etkilendiğini göstermektedir. 1400 cm⁻¹ ve 800 cm⁻¹'deki karbonat piklerinin %1 oranında katkı eklenen numunede en yüksek olduğu görülmüştür.

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.54'te verilmiştir.



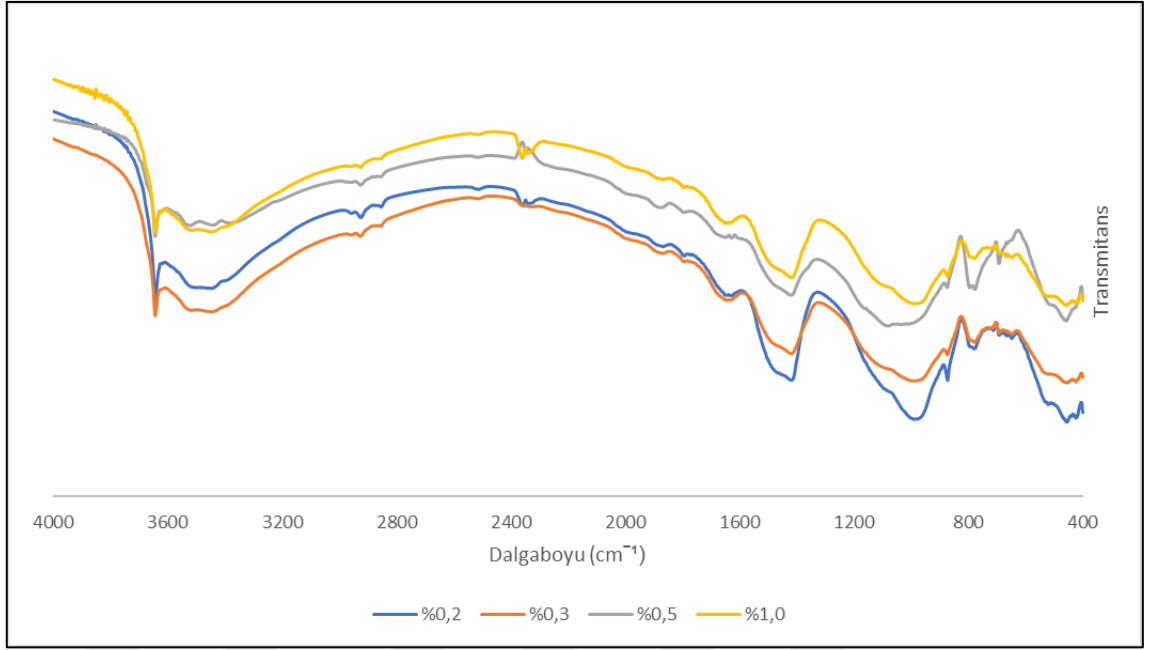
Şekil 8.54.

-R

ini

3645 cm^{-1} 'deki -OH bağının piki %0,2, %0,3 ve %0,5 oranında katkı eklenen numunelerde aynı şiddetteyken %1 oranında katkı eklenen numunede pik şiddeti artmıştır. 3000 cm^{-1} civarında -OH bağı bulunmaktadır. 1560 cm^{-1} 'de melamin halkası bulunur. 1400 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} 'deki karbonat piklerinin şiddeti %1 oranında katkı eklenen numunede en şiddetlidir. 1100 cm^{-1} 'de N-H bağı bulunmaktadır (Liu ve ark, 2007, Von Hoessie ve ark. 2015).

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 28 günlük Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisinde 3645 cm^{-1} 'de görülen pik $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ten gelen -OH bağıdır. 1400 cm^{-1} civarı görülen pik, karbonat pikidir. 780 cm^{-1} ve 600 cm^{-1} civarı görülen titreşimler ise C-S bağına aittir. 450 cm^{-1} civarında ise Si-O bağı görülmektedir. (Mollah ve ark., 2000, Mollah ve ark. 1995, Mahmoud ve ark, 2010, Ylmén ve ark., 2009, Trezza, 2007). Çimento 1 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.55'te verilmiştir.



Şekil 8.55.

-R

ıı

Çimento 1 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde 2900 cm^{-1} , 2800 cm^{-1} ve 810 cm^{-1} 'de görülen pik, karbonat pikidir. Karbonat piklerinin şiddeti katkı oranı arttıkça azalmıştır. 1800 cm^{-1} 'de karbonil grubu bulunmaktadır. Karbonil grubunun pik şiddeti katkı oranı arttıkça artmıştır. 1000 cm^{-1} civarı sülfonik gruplar bulunmaktadır. Sülfonik gruplarda katkı oranı arttıkça pik şiddeti azalmıştır (Pickelmann ve ark., 2012, Kamoun ve ark., 2009, Janowska- Renkas, 2013, Feng ve ark., 2018).

Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.56'da verilmiştir.



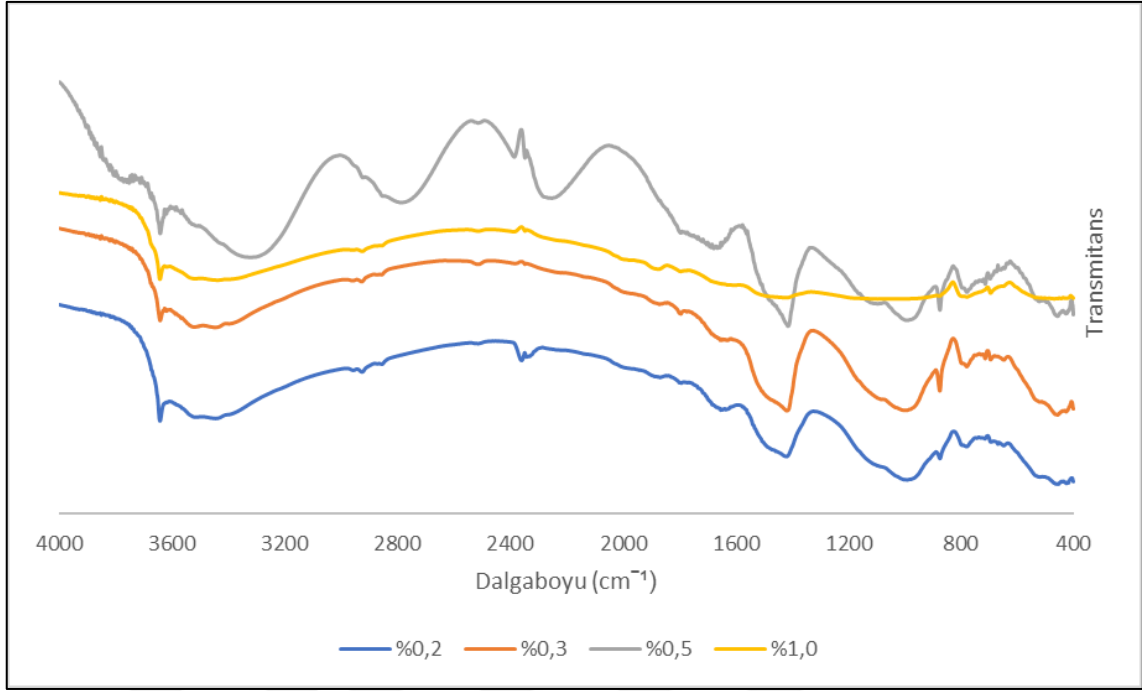
Şekil 8.56.

+

-*IR*

Çimento 1 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde en şiddetli piklerin %1 oranında katkı eklenen numunelerde olduğu görülmüştür. 3645 cm^{-1} 'de görülen -OH bağı pik şiddetinin katkı oranı arttıkça arttığı görülmüştür. 1400 cm^{-1} 'deki karbonat pikinde ise en şiddetli pik %1 oranında katkı kullanılan numunede elde edilmiştir.

Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.57'de verilmiştir.



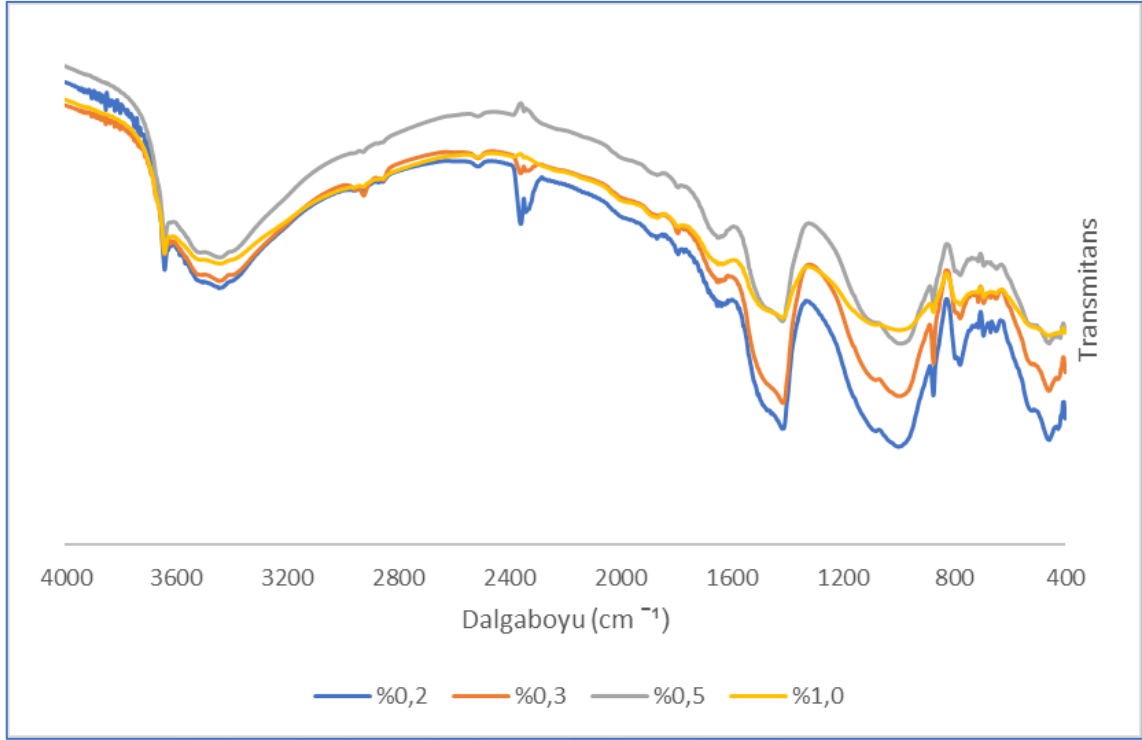
Şekil 8.57.

T-R

11

Çimento 1 ve %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 oranlarında melamin sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerin 1560 cm^{-1} 'de melamin halkası bulunur. Melamin halkasının pik şiddeti %0,2 oranında katkı içeren numuneden %0,5 oranında katkı içeren numuneye doğru azalmış, daha sonra %1,0 oranında katkı içeren numunede artmıştır. 1100 cm^{-1} 'de N-H bağı bulunmaktadır. N-H bağının pik şiddeti katkı oranı arttıkça azalmıştır. 1000 cm^{-1} civarı sülfonik gruplar bulunmaktadır. 600 cm^{-1} ve 450 cm^{-1} civarında ise Si-O bağı görülmektedir (Liu ve ark, 2007, Von Hoessie ve ark. 2015).

Çimento 2 ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerde 3645 cm^{-1} 'de görülen pik $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ten gelen -OH bağıdır. 1400 cm^{-1} görülen pik, karbonat pikidir. 780 cm^{-1} ve 600 cm^{-1} civarı görülen titreşimler ise C-S bağına aittir. 450 cm^{-1} civarında ise Si-O bağı görülmektedir (Mollah ve ark., 2000, Mollah ve ark. 1995, Mahmoud ve ark, 2010, Ylmén ve ark., 2009, Trezza, 2007). Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.58'de verilmiştir.



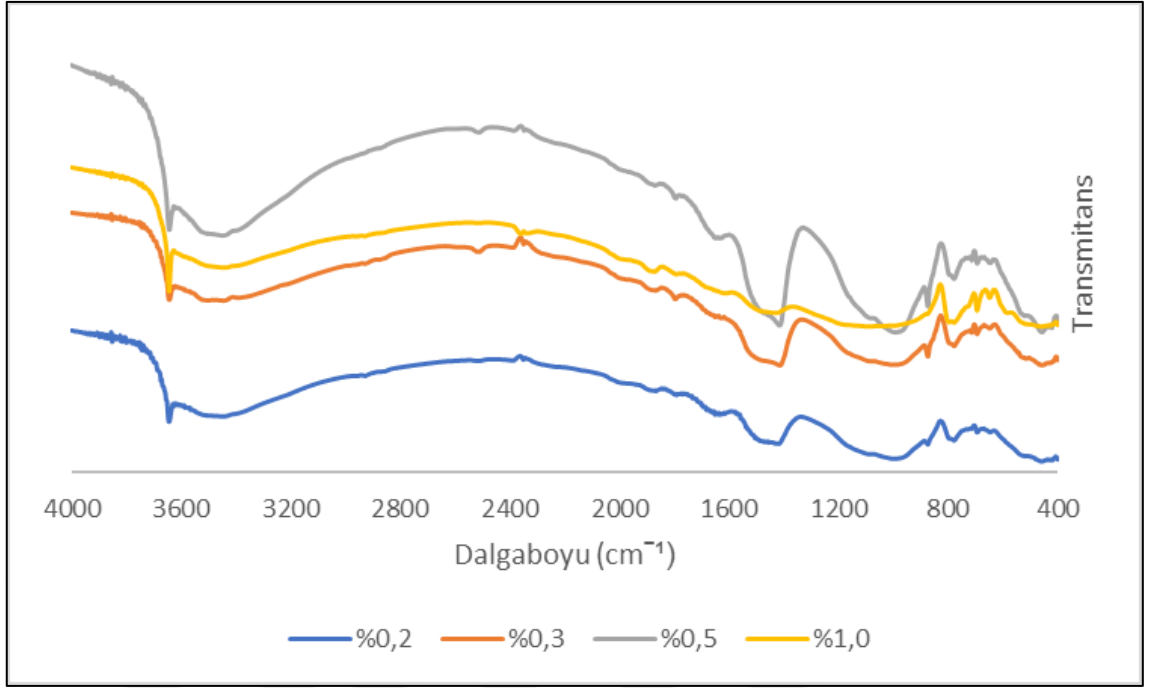
Şekil 8.58.

-R

ini

2900 cm⁻¹, 2800 cm⁻¹, 1600cm⁻¹ civarı ve 810 cm⁻¹'de görülen pik, karbonat pikidir. Karbonat piklerinin şiddetleri birbirine çok yakındır. 1800 cm⁻¹'de karbonil grubu bulunmaktadır. Karbonil grubunda en yüksek pik şiddeti %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunede elde edilmiştir. 1000 cm⁻¹ civarı sülfonik gruplar bulunmaktadır. Sülfonik grubu piklerinin şiddeti katkı oranı arttıkça azalmıştır. 450 cm⁻¹ civarında ise Si-O bağı görülmektedir.

Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.59'da verilmiştir.

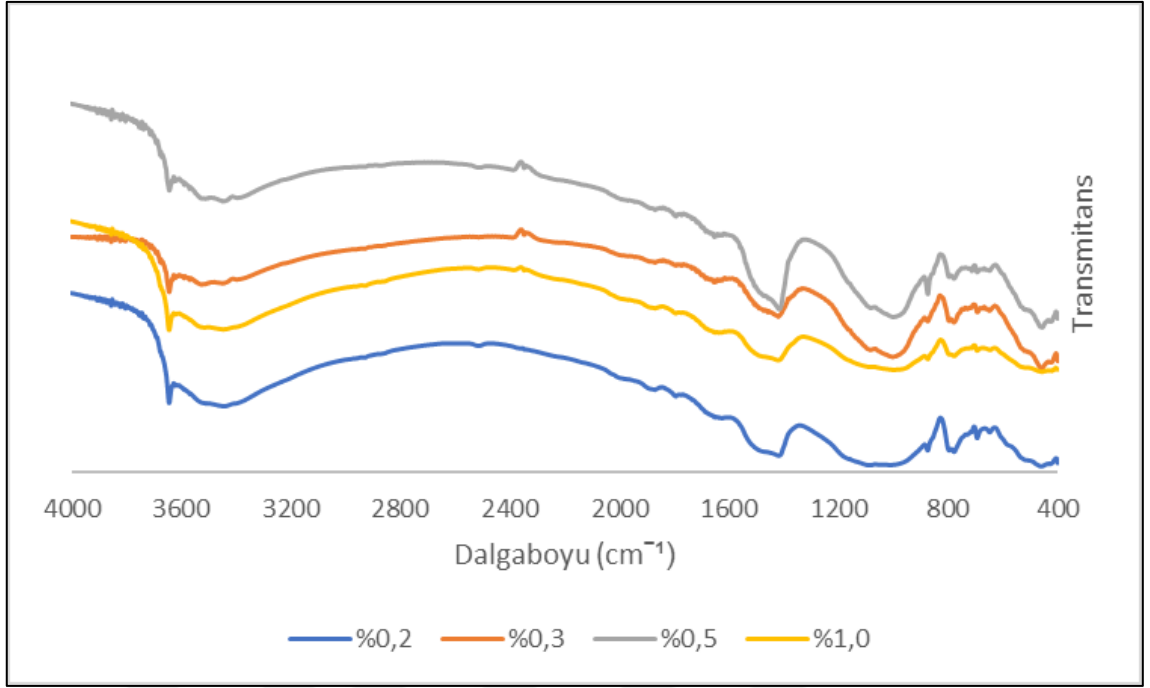


Şekil 8.59.

-/n

3645 cm^{-1} 'de görülen -OH bağının pik şiddeti katkı oranı arttıkça artmıştır. 1400 cm^{-1} 'de görülen karbonat piki ise katkı oranının artmasıyla azalmaktadır. 780 cm^{-1} 'deki C-S bağının piklerinin şiddeti ise katkı oranı arttıkça artmıştır.

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.60'ta verilmiştir.



Şekil 8.60.

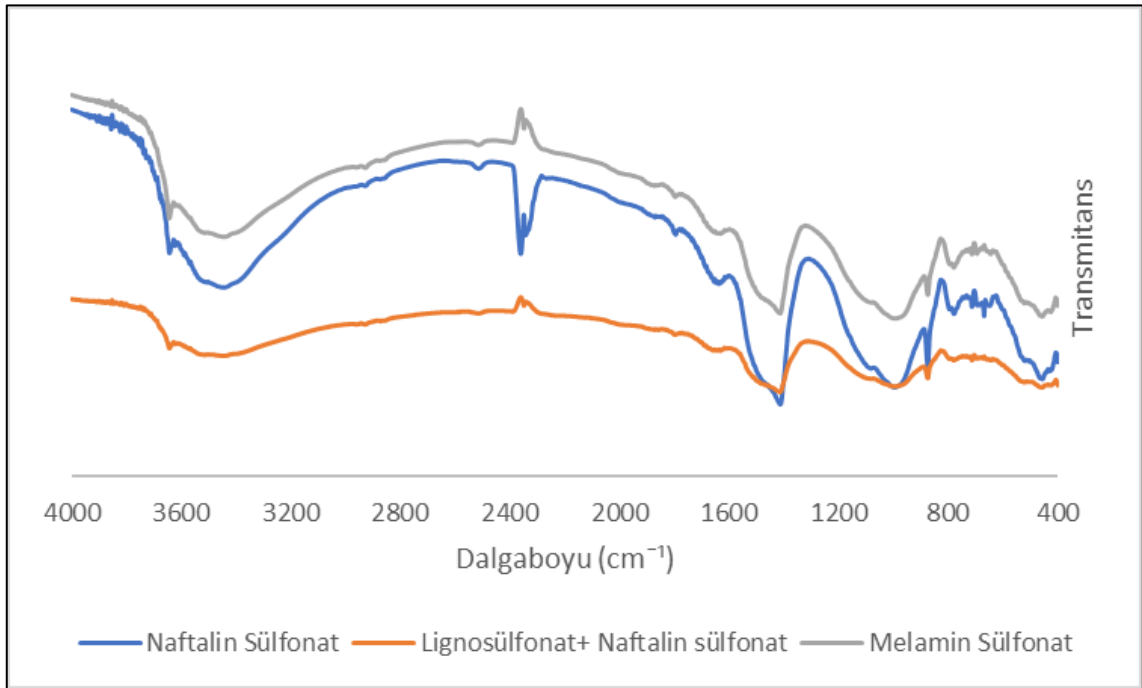
-R

ör

3645 cm⁻¹'de görülen -OH bağının pik şiddeti katkı oranının değişmesinden etkilenmemiştir. 3000 cm⁻¹civarında ise -OH bağı bulunmaktadır. 1560 cm⁻¹ 'de melamin halkası bulunur. Melamin halkasının pik şiddeti artan katkı oranıyla artmıştır. 1440 cm⁻¹ ve 800 cm⁻¹'de civarı görülen karbonat pikinin şiddeti de katkı oranı arttıkça artmıştır. 1100 cm⁻¹ 'de N-H bağı bulunmaktadır. 1000 cm⁻¹ civarı sülfonik gruplar bulunmaktadır (Mollah ve ark., 2000, Mollah ve ark. 1995, Mahmoud ve ark, 2010, Ylmén ve ark., 2009, Trezza, 2007). Sülfonik grubun pikleri katkı oranı arttıkça belirginleşmektedir. 600 cm⁻¹ ve 450 cm⁻¹ civarında ise Si-O bağı görülmektedir.

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.

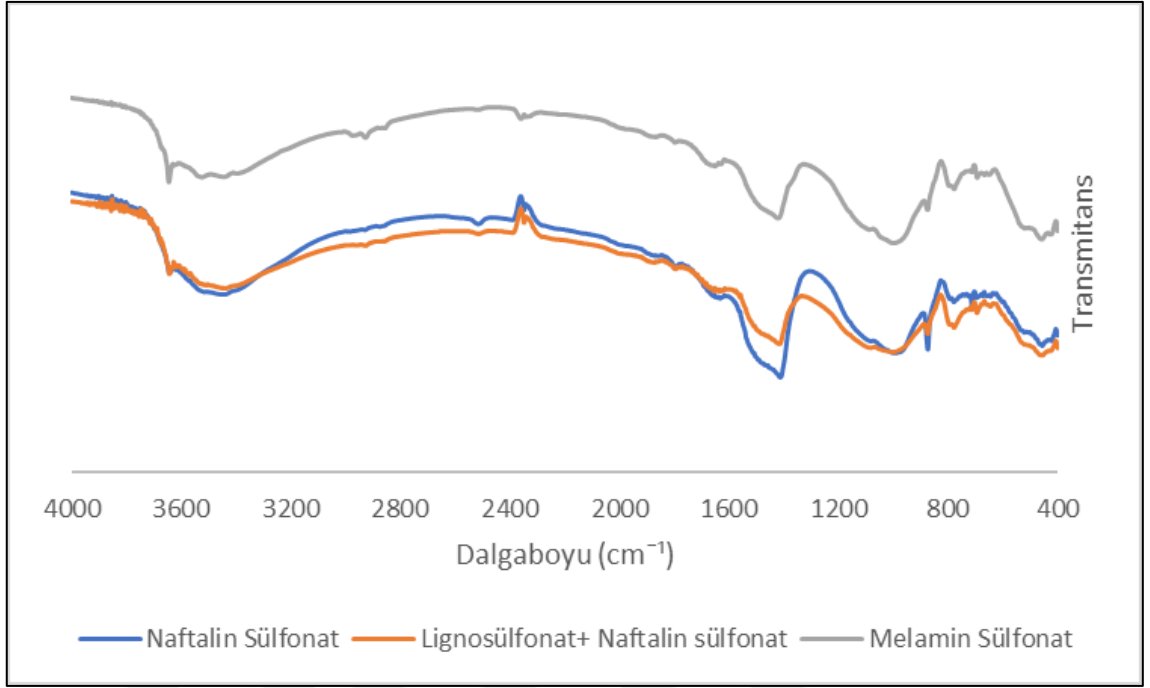


Şekil 8.61.

-101

Çimento 1 ile hazırlanan ve %0,2 oranında katkı kullanılan numunelerde, naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunenin piklerinin şiddeti diğer numunelere göre daha fazladır. 2400 cm^{-1} dalga boyundaki CO_2 naftalin sülfonat esaslı katkıda şiddetini arttırmıştır. Yaklaşık 1000 cm^{-1} ’deki pikin C-S-H jelleşmesi olduğu söylenir. 1000 cm^{-1} ’deki pikin hidrasyon tepkimelerinden dolayı 925 cm^{-1} ’den 970-1000 cm^{-1} bandına kaydığı sonucuna ulaşılır. 447 cm^{-1} ’de ise C-S-H görülür. 938-883 cm^{-1} aralığında görülen pik C_3S (alit)’dir. 786 cm^{-1} ve 456 cm^{-1} civarındaki pik ise C_3A (trikalsiyumalüminat)’dır (Horgnies ve ark., 2013).

Çimento 1 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.62’de verilmiştir.

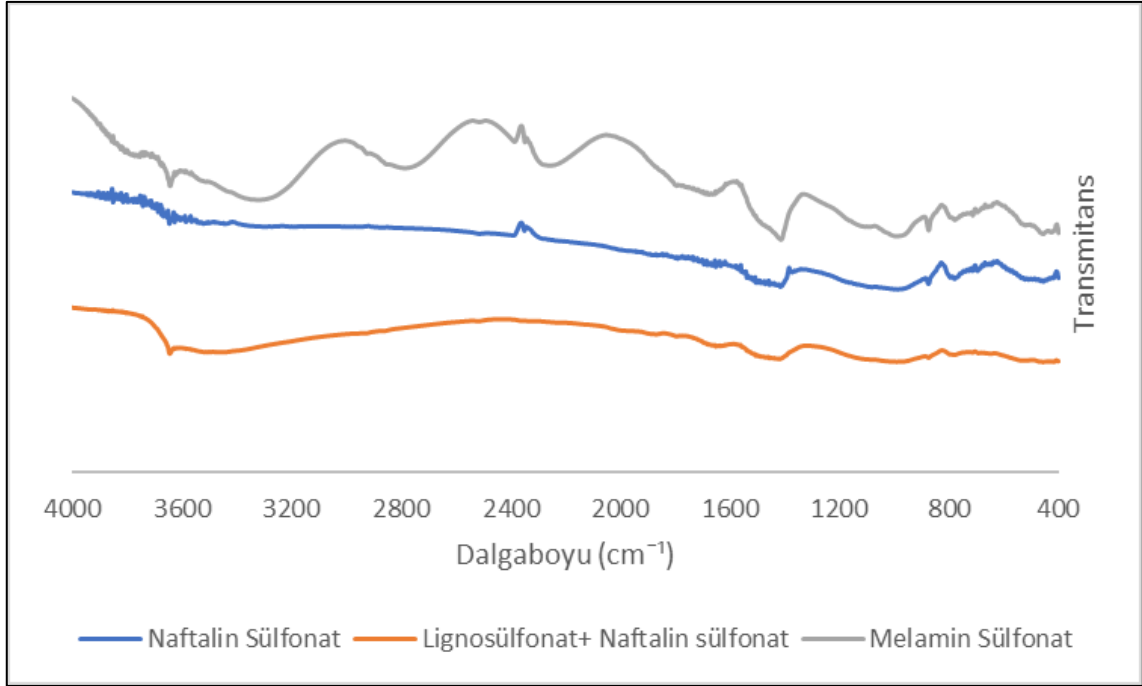


Şekil 8.62.

-101

Naftalin ve lignosülfonat esaslı katkı içeren numunelerde 2400 cm⁻¹ bandında görülen CO₂ dışbükey bir pik oluşturmuşken, melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede aynı pik içbükey bir pik oluşturmuştur. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 3645 cm⁻¹'de Ca(OH)₂ den gelen -OH piki diğer katkılarla hazırlanan numunelere göre daha keskindir.

Çimento 1 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.63'te verilmiştir.

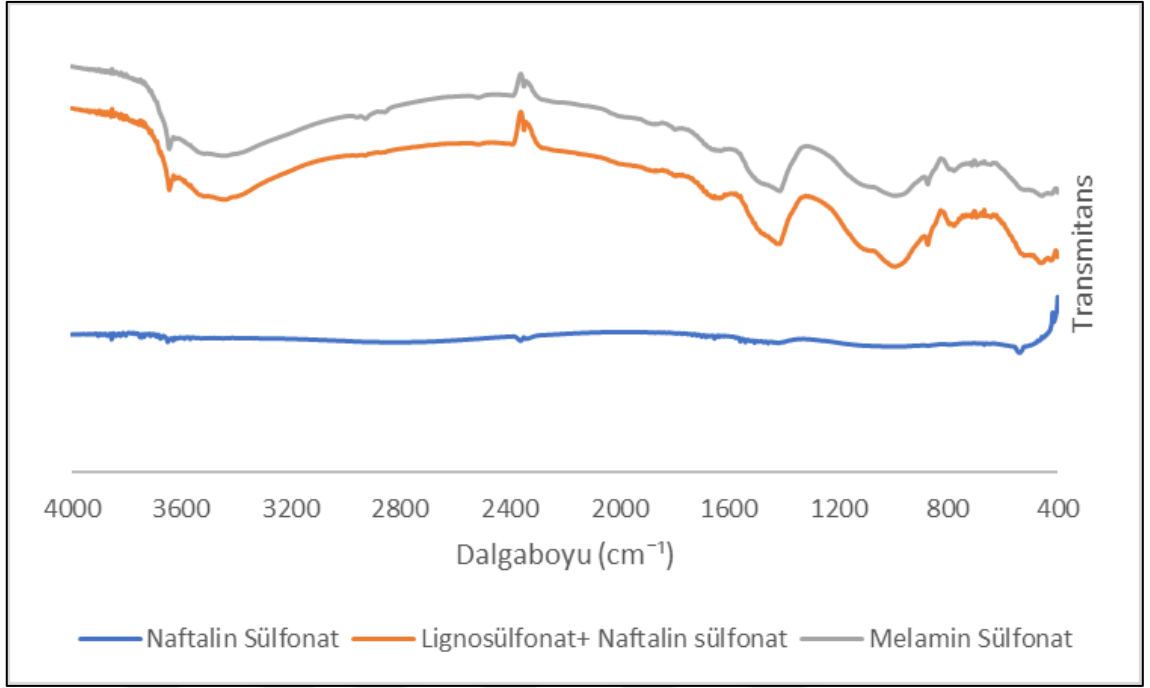


Şekil 8.63.

-*İn*

Çimento 1 ile ve %0,5 oranında eklenen katkılarla hazırlanan numunelerde, naftalin sülfonat esaslı katkının FT-IR spektrumunda 1900 cm^{-1} 'deki pik karbonil grubuna ait bir piktir. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise 1560 cm^{-1} 'de -CN gerilmesi (melamin halkası) ve 1100 cm^{-1} 'de -NH bağı görülür. Bu iki pik, katkının melamin sülfonat esaslı olmasından dolayı görülür. Naftalin sülfonat esaslı katkıya ait spektrumda 800 cm^{-1} 'deki pik C-S-H jeline aitken, lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının spektrumunda aynı yerde görülen pik afwillite olarak adlandırılabilir. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunedeki piklerin daha keskin olduğu görülür. Melamin sülfonat esaslı katkıya ait spektrumda C-S-H jeli 1600 cm^{-1} 'de gözlenir. C-S-H jeli dayanıma katkı sağlar (Horgnies ve ark., 2013).

Çimento 1 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.64'te verilmiştir.

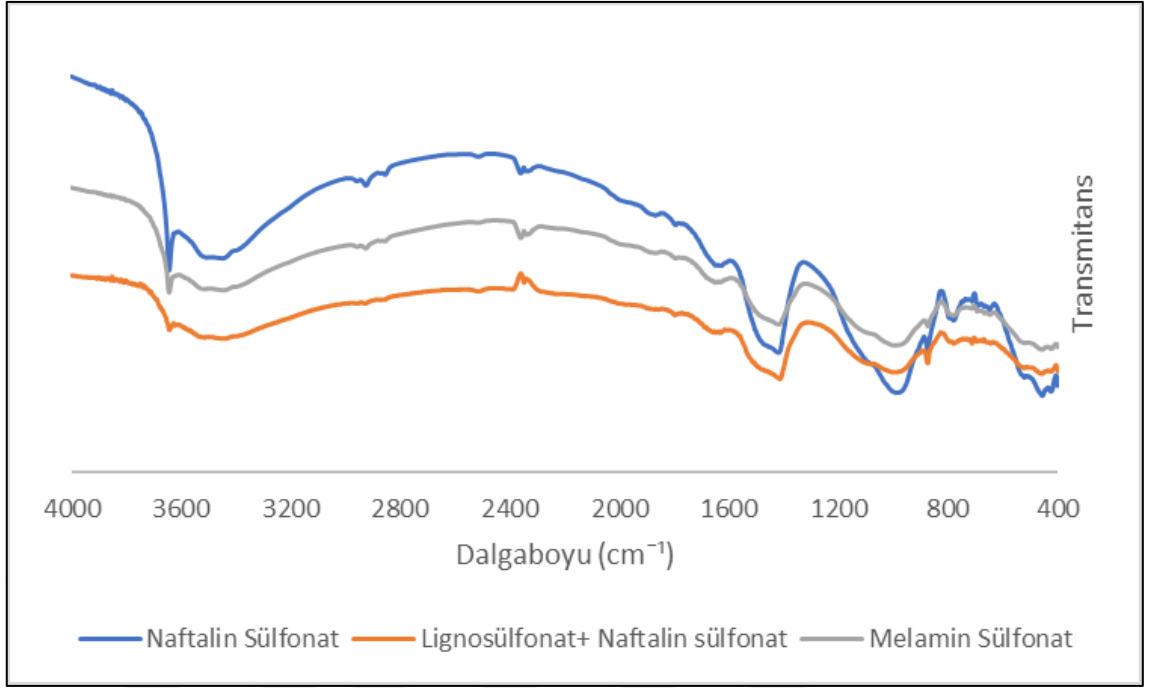


Şekil 8.64.

-*İn*

Çimento 1 ile hazırlanan %1,0 oranında katkı içeren numunelerin 2400 cm⁻¹'deki pikinde görülen CO₂ havadan gelmektedir. C-S-H jelini işaret eden pik, lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numuneye göre daha belirgindir. 3645 cm⁻¹'deki portlanditten gelen -OH bağının pik şiddeti naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede en azdır.

Çimento 1 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.65'te verilmiştir.

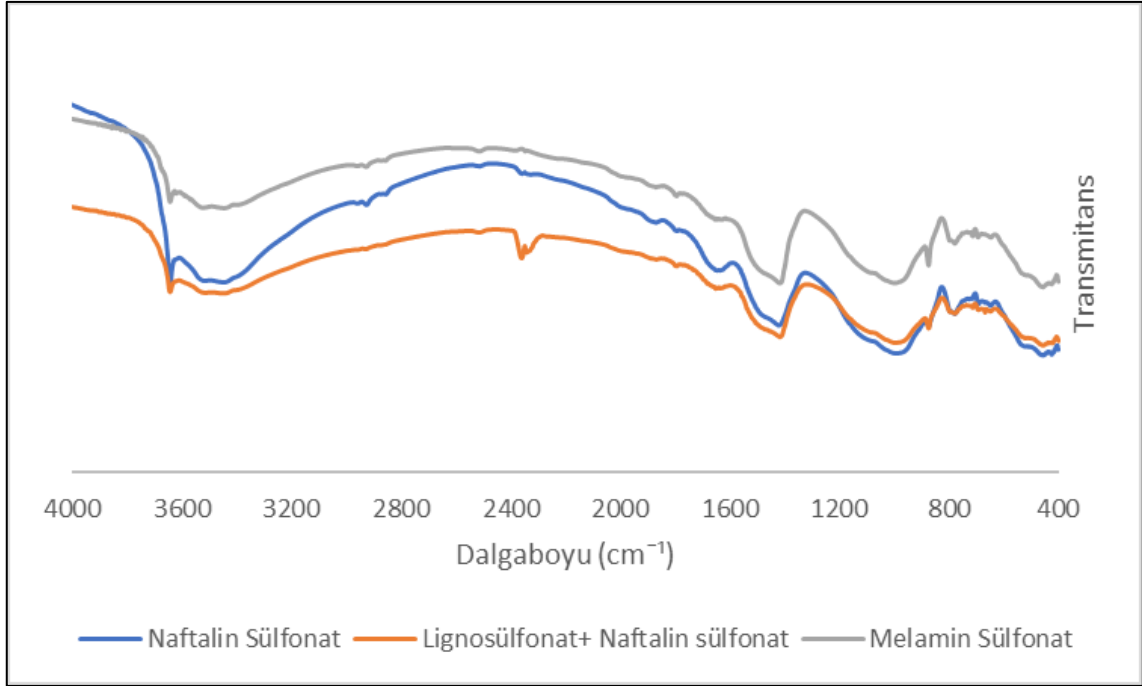


Şekil 8.65.

-171

Çimento 1 ve %0,2 oranında katkı içeren numunelerde, üç farklı katkı kullanılan numunelerde 800 cm^{-1} civarında alit piki gözlenmiştir. Her üç numunede de $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ aralığında CaCO_3 gözlenmiştir. Kalsiyum karbonat pikinin şiddeti naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede, diğer katkıları içeren numunelere göre daha fazladır. Naftalin sülfonat esaslı numunenin spektrumunda 1000 cm^{-1} 'de görülen pik sülfonik gruba aittir. 1460 cm^{-1} 'de ise melamin sülfonat esaslı katkının spektrumunda -NH bağı gözlenir. Yaklaşık 1400 cm^{-1} 'de görülen CO_3^{2-} 'nin şiddeti lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıda naftalin sülfonat esaslı katkıya göre daha azdır.

Çimento 1 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.66'da verilmiştir.

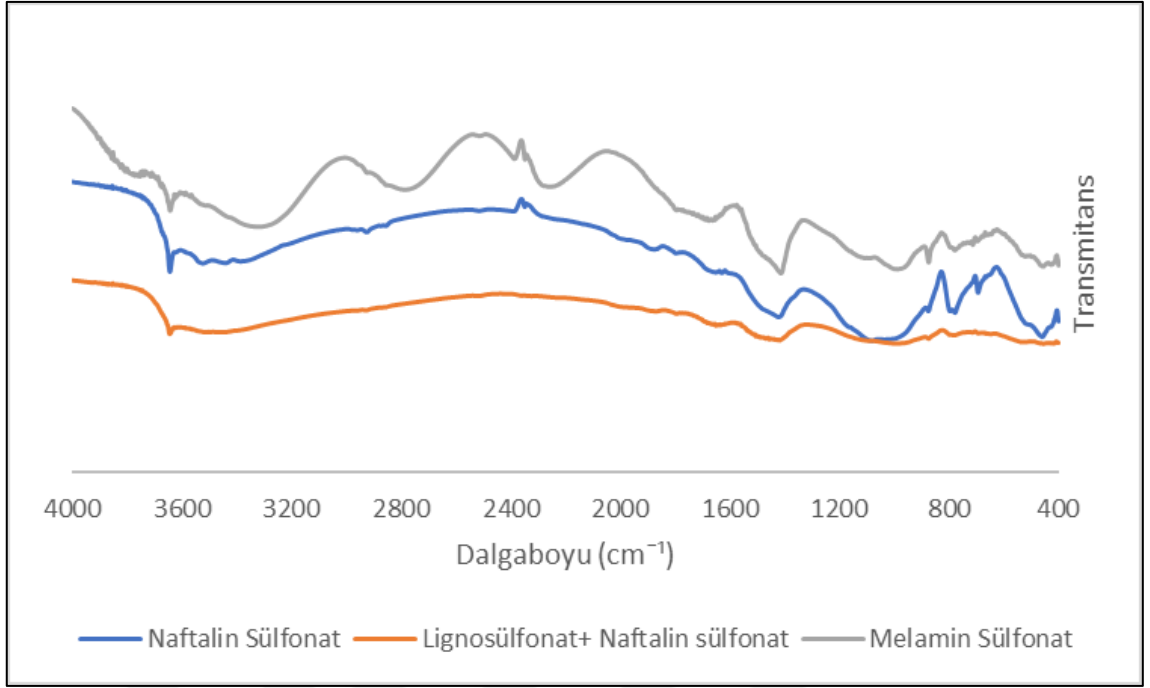


Şekil 8.66.

-171

Çimento 1 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde 3645 cm^{-1} 'de gözlenen -OH pikinin şiddeti lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde neredeyse aynıdır; naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunelerde ise diğer iki katkıdan daha fazladır.

Çimento 1 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.67'de verilmiştir.

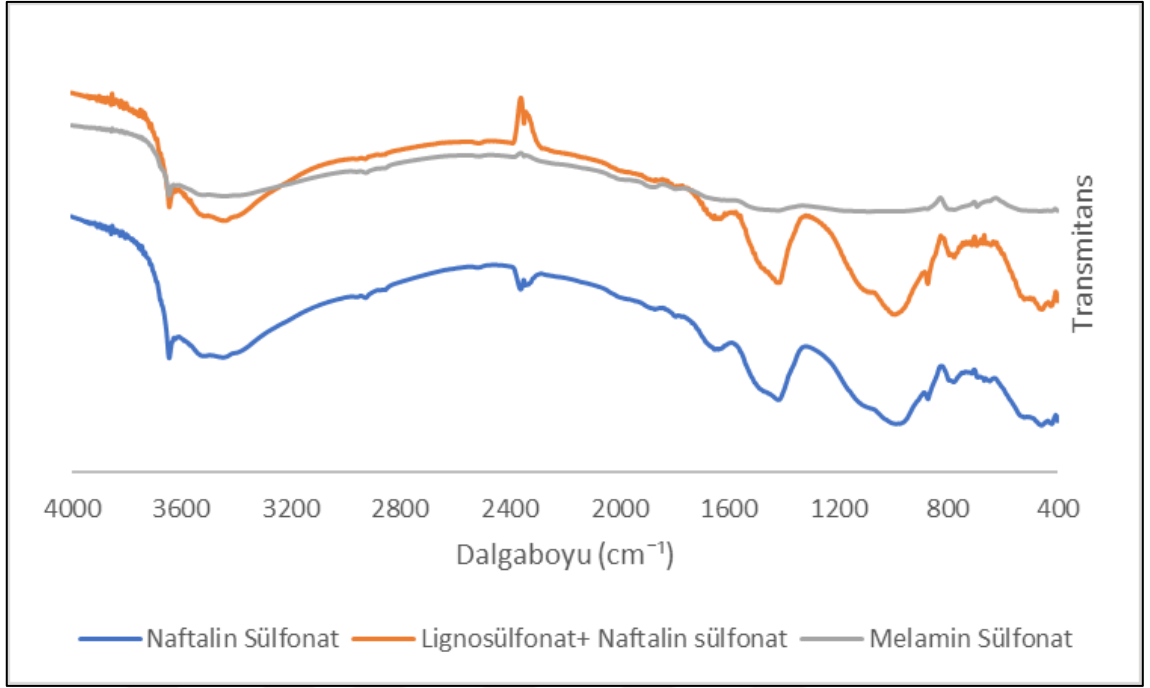


Şekil 8.67.

-171

1400 cm^{-1} 'de görülen pik CO_3^{2-} 'ye aittir ve şiddeti naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede, lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numuneye göre daha fazladır. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise 1360 cm^{-1} 'de görülen pik, güçlü bir pik olduğu göz önüne alınarak mono karbo- alüminat (AFm) olarak adlandırılabilir (Horgnies ve ark., 2013).

Çimento 1 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.68'de verilmiştir.

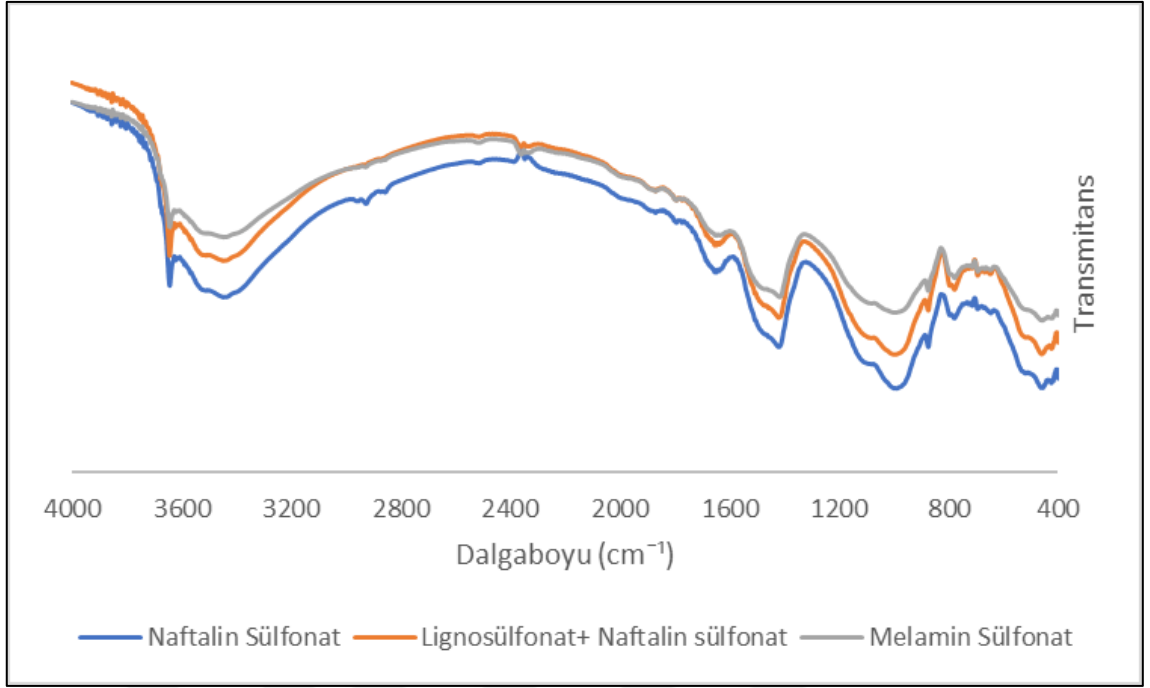


Şekil 8.68.

-11

Lignosülfonat esaslı katkı içeren numunede 800 cm⁻¹'de görülen pik keskin olması sebebiyle C₃A olarak adlandırılabilir. Lignosülfonat esaslı katkı içeren numunede 800 cm⁻¹'de görülen pik ise orta şiddette olduğu için C₃S veya C₂S olarak adlandırılabilir (Horgnies ve ark., 2013).

Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.69'da verilmiştir.

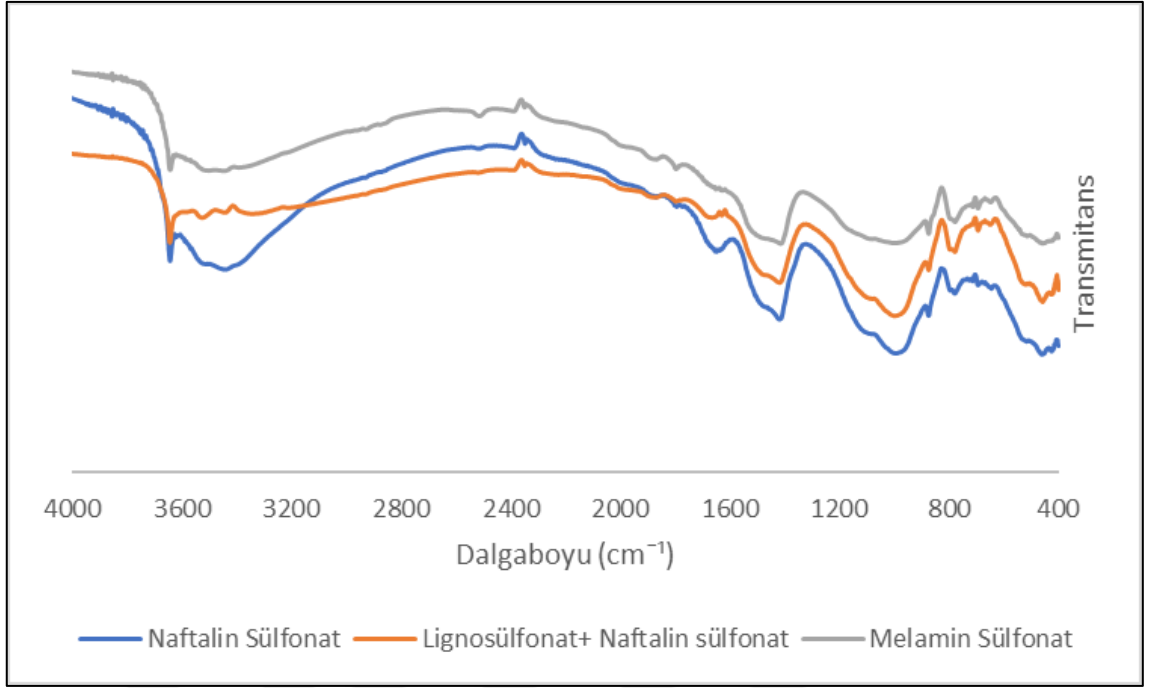


Şekil 8.69.

-10-

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıının pik şiddeti diğer katkılara göre daha yüksektir. Bunun sebebinin lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıının basınç değerinin diğerlerinden daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 1640 cm^{-1} 'de görülen küçük pik C-S-H jelidir. Naftalin sülfonat esaslı katkıda ise 2900 cm^{-1} 'de görülen pik CH_2/ CH_3 olarak adlandırılabilir (Horgnies ve ark., 2013).

Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.70'te verilmiştir.

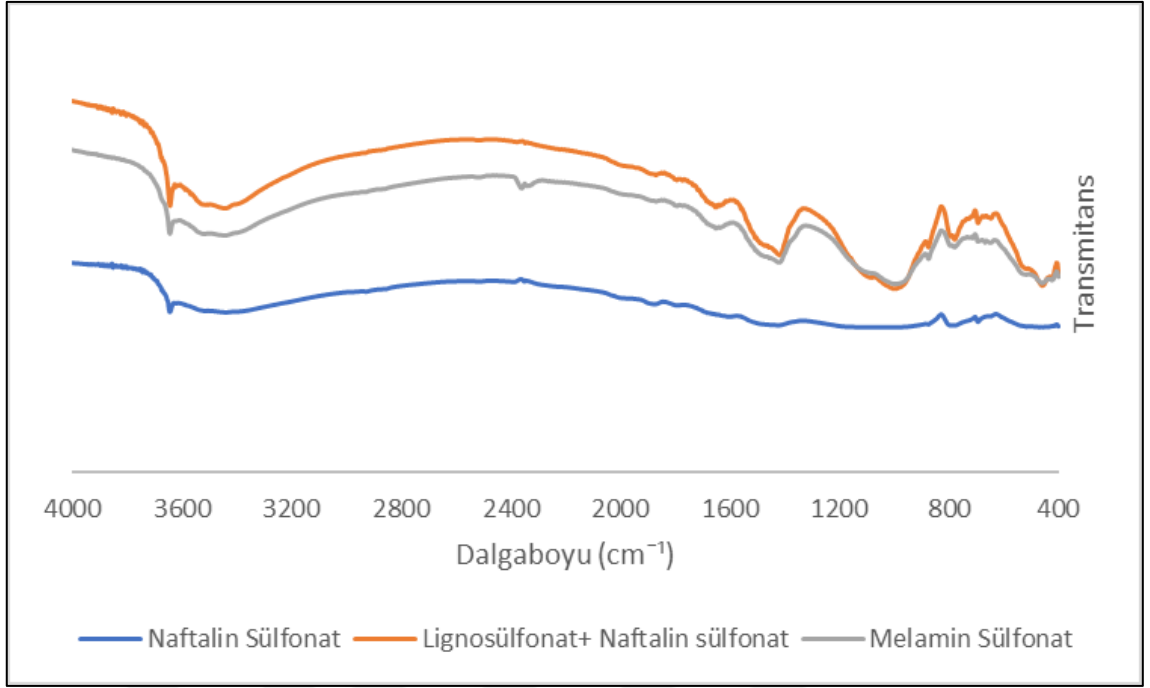


Şekil 8.70.

-*İn*

Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin spektrumuna bakıldığında her üç katkının da havadan gelen CO₂'ten aynı derecede etkilendiği 2400 cm⁻¹'de görülmektedir. 3400 cm⁻¹'de görülen -OH piki kapiler sudan gelmektedir.

Çimento 2 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.71'de verilmiştir.

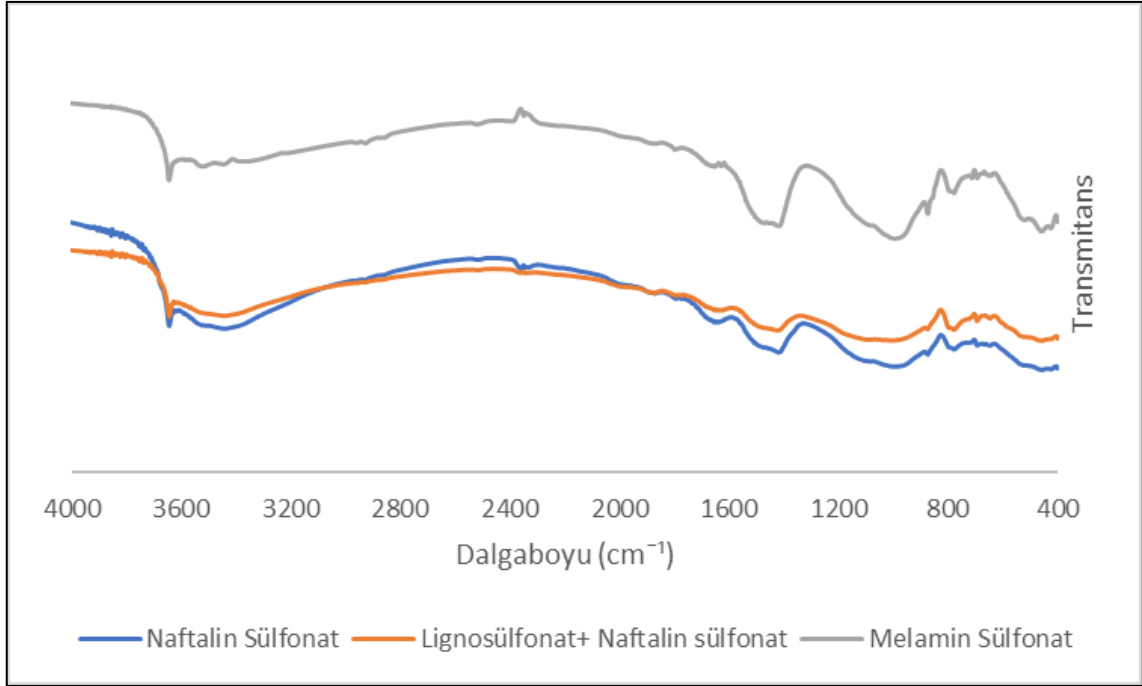


Şekil 8.71.

-10-

Çimento 2 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde, 3 farklı katkının da spektrumunda 800-400 cm⁻¹ aralığında, melamin ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkılarla hazırlanan numunelerde 430 cm⁻¹'deki pik aliti işaret eder. Naftalin sülfonat esaslı numunede ise alite 812 cm⁻¹'de rastlanılır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin pik şiddeti diğer katkılara göre daha fazladır.

Çimento 2 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.72'de verilmiştir.

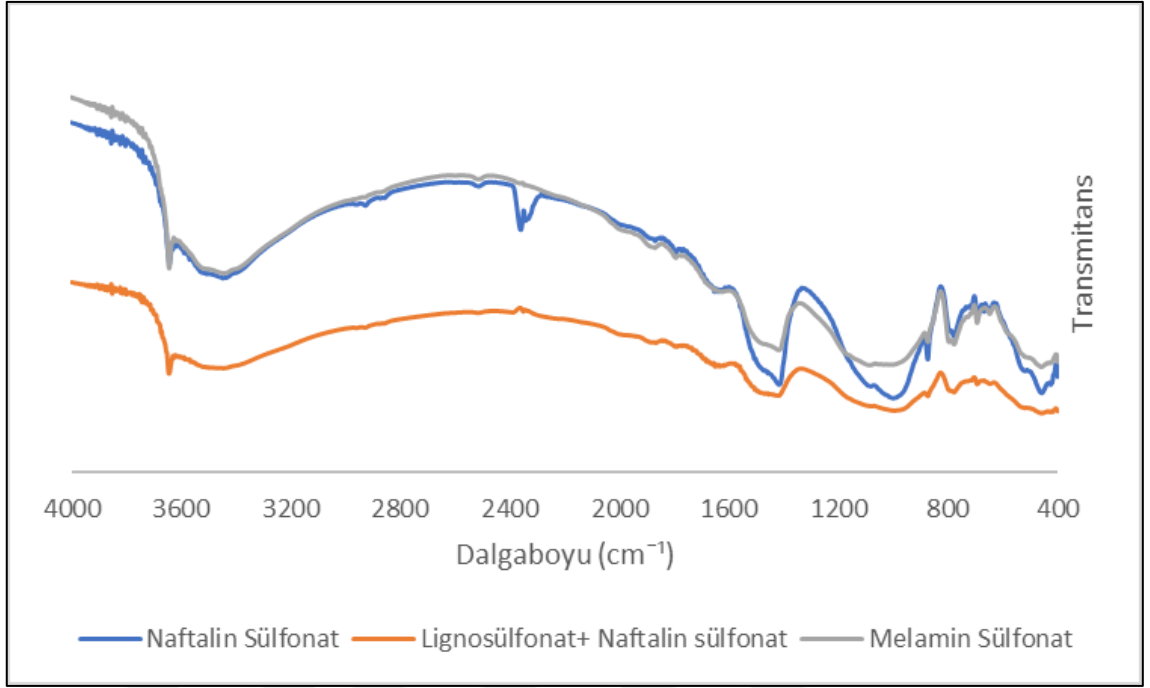


Şekil 8.72.

-*İn*

Melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunede 1360 cm^{-1} 'de mono karbo- alüminat gözlenir. Naftalin ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunelerde 1200 cm^{-1} civarı sülfat bölgesidir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numuneye ait spektrumda portlanditten gelen -OH bağı diğer katkılarla hazırlanan numunelere göre daha keskindir.

Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.73'te verilmiştir.

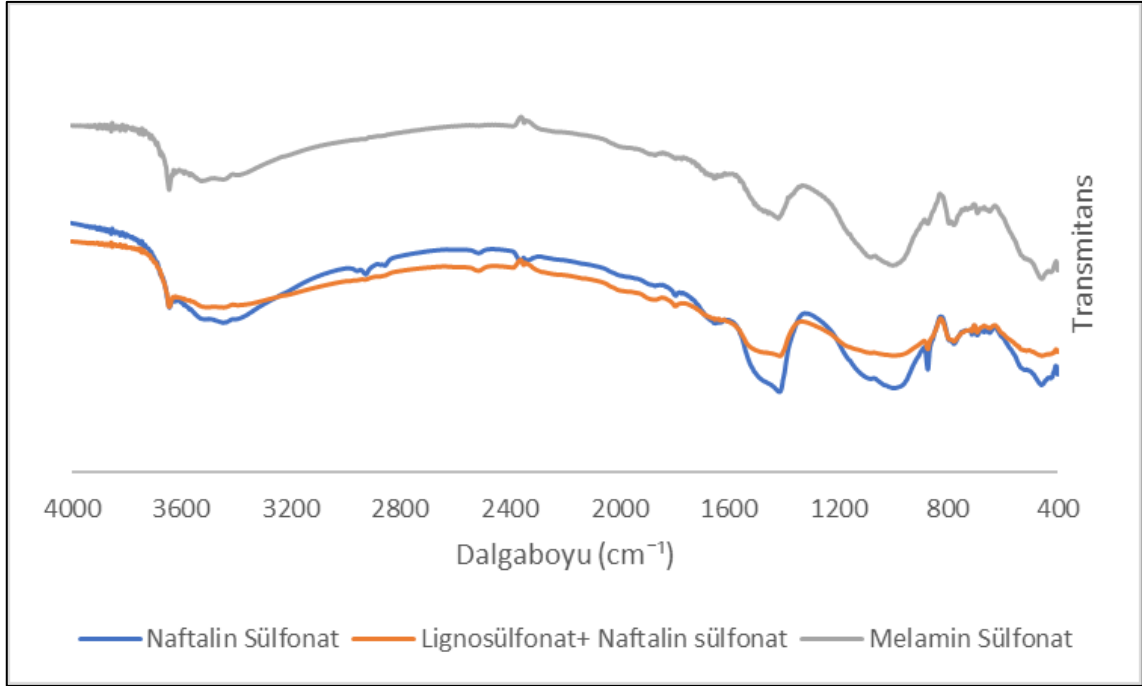


Şekil 8.73.

-11

Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin spektrumları incelendiğinde, naftalin ve melamin sülfonat esaslı katkının 810 cm⁻¹ civarında görülen piki alittir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunede ise 812 cm⁻¹'de görülen düşük şiddetli piki alite aittir (Horgnies ve ark., 2013).

Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.74'te verilmiştir.

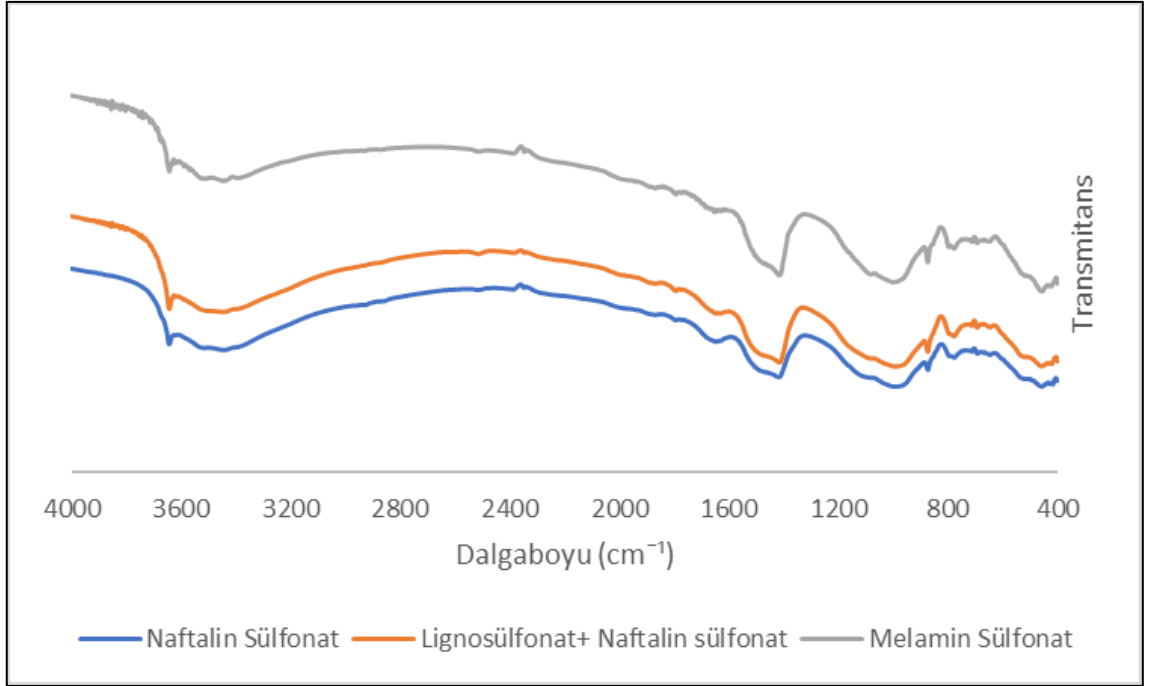


Şekil 8.74.

-171

Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede 1600 cm^{-1} 'de C-S-H görülür, 800 cm^{-1} ise alit vardır. 1400 cm^{-1} 'de görülen karbonat pikinin şiddeti naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede daha fazladır. Melamin sülfonat esaslı katkıda ise 3645 cm^{-1} 'deki -OH molekülü diğer katkılara göre daha keskindir (Horgnies ve ark., 2013).

Çimento 2 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.75'te verilmiştir.

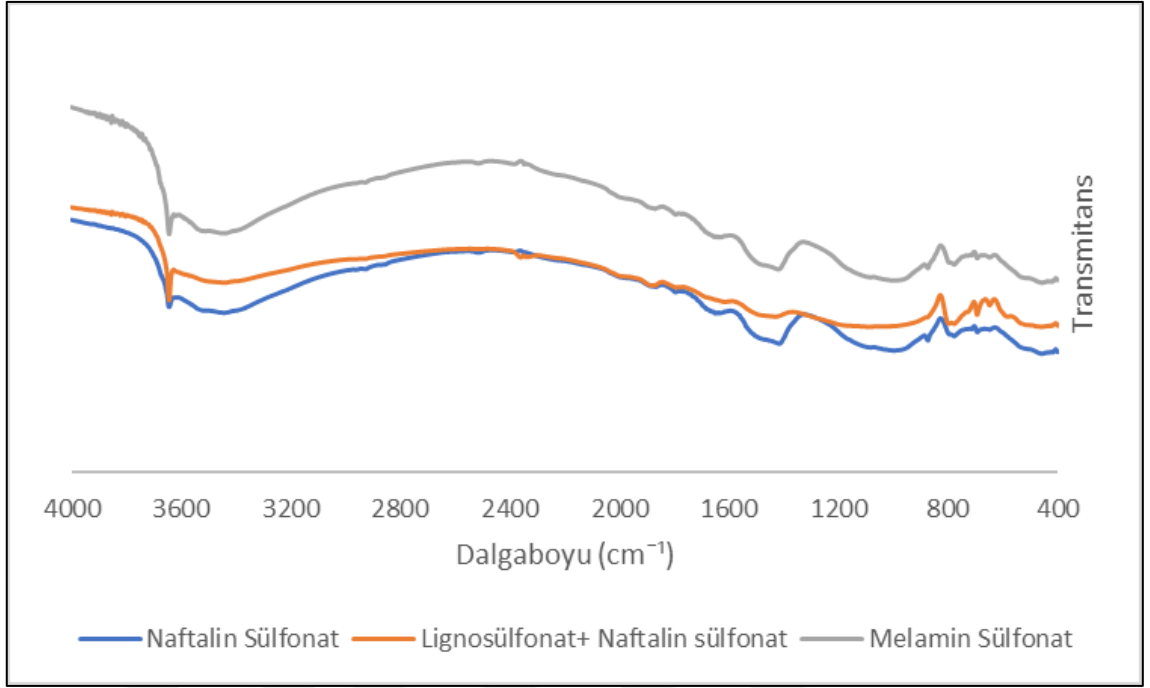


Şekil 8.75.

-171

800 cm^{-1} 'de görülen pik alit pikidir. 1400 cm^{-1} 'deki pik ise karbonat pikidir. Melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunenin pik şiddeti diğer katkılara göre daha fazladır.

Çimento 2 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin 28 günlük FT-IR spektrumu Şekil 8.76'da verilmiştir.



Şekil 8.76.

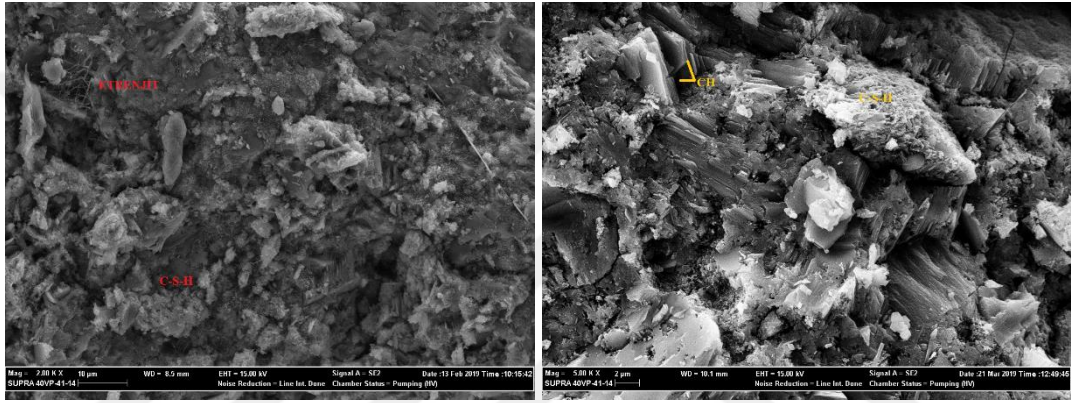
-~~1~~

Çimento 2 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunelerde lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunenin 3645 cm⁻¹'deki -OH piki şiddeti diğer katkılara göre daha şiddetlidir.

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 katkıları 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.

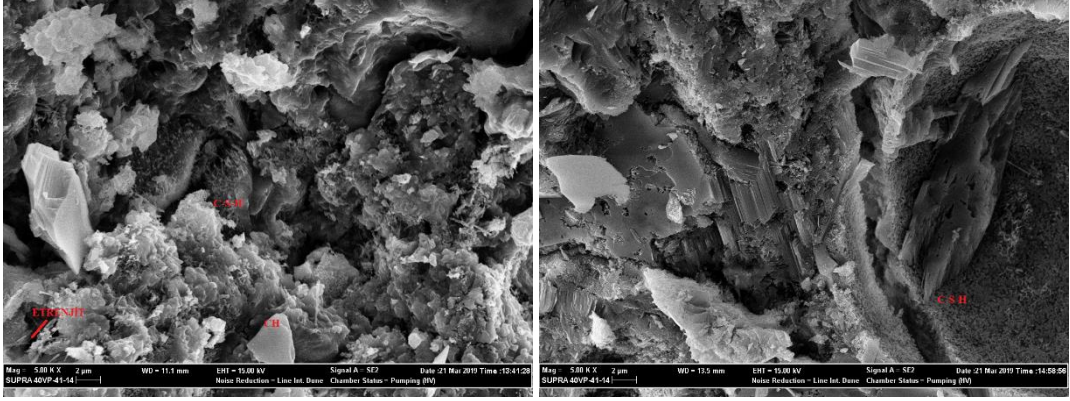
Çimento 1 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 gün ve 28 günlük SEM görüntüleri Şekil 8.77'de verilmiştir.



Şekil 8.77.

Çimento 1 ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numuneden alınan kesitte, etrenjit iğnesi (AFm) oluşumuna ve C-S-H jelleşmesine rastlanmıştır. Hidrate olmamış çimento taneciklerinin görüldüğü numunede hidrasyonun tam anlamıyla gerçekleşmediği söylenebilir. 28 gün yaşlandırılmış numuneden alınan kesitte ise altıgen kalsiyum hidroksit kristalleri (CH) ve ince uzun kalsiyum hidroksit kristalleri görülmektedir. C-S-H jelinin daha yoğunlaşmış olarak görüldüğü numunede, 7 günlük ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında yoğun jel yapısı sayesinde 28 gün yaşlandırılmış numunenin basınç dayanımının, 7 gün yaşlandırılmış numuneden daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır (Kırgız, 2011, Saran ve ark., 2017).

Çimento 2 ile hazırlanan katkısız numunenin 7 gün ve 28 günlük SEM görüntüleri Şekil 8.78'de verilmiştir.



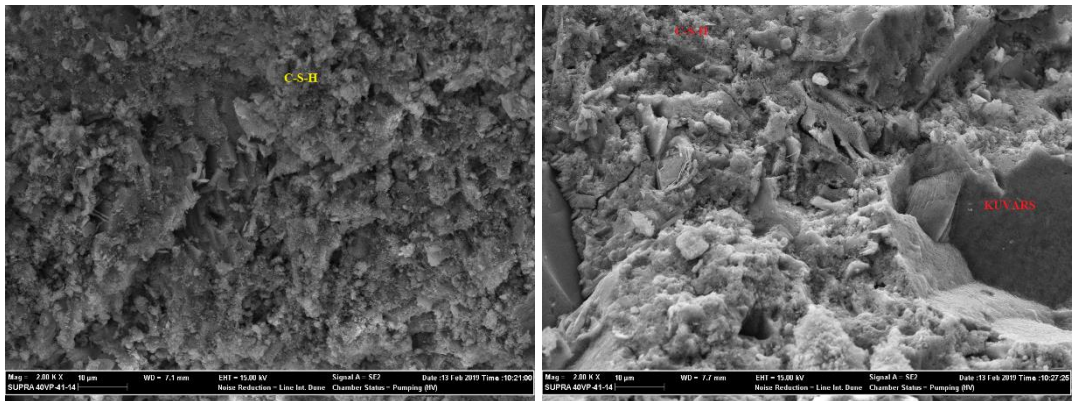
Şekil 8.78.

Çimento 2 ile hazırlanmış katkısız numunelerde, 7 gün yaşlandırılmış numune incelendiğinde etrenjit oluşumu gözlenmiştir. Topaklanmış halde görülen C-S-H jeli, hidrasyonun tamamlanmadığına işaret eder. 28 gün yaşlandırılmış numunede ise daha az boşluklu yapı ve yüzeyi saran C-S-H jelleşmesi hidrasyonun ilerlediğini gösterir. CH kristallerinin de görüldüğü numunedeki kesitte etrenjit oluşumuna rastlanmamıştır (Kırgız, 2011, Saran ve ark., 2017).

8.4.1. Farklı tür akışkanlaştırıcı kullanımının SEM görüntüleri sonuçlarına etkisi

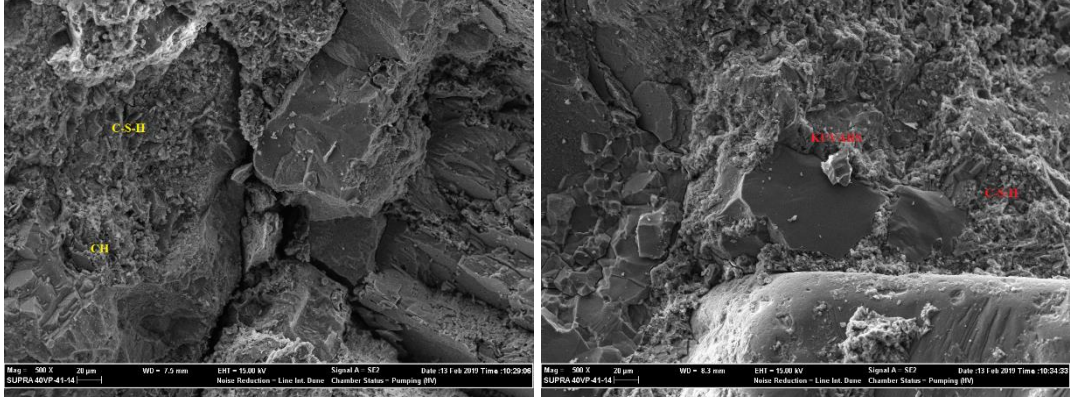
Naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat kullanılarak Çimento 1 ile hazırlanan numunelerin SEM görüntüleri incelenmiştir.

Naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.79’da verilmiştir.



a

b



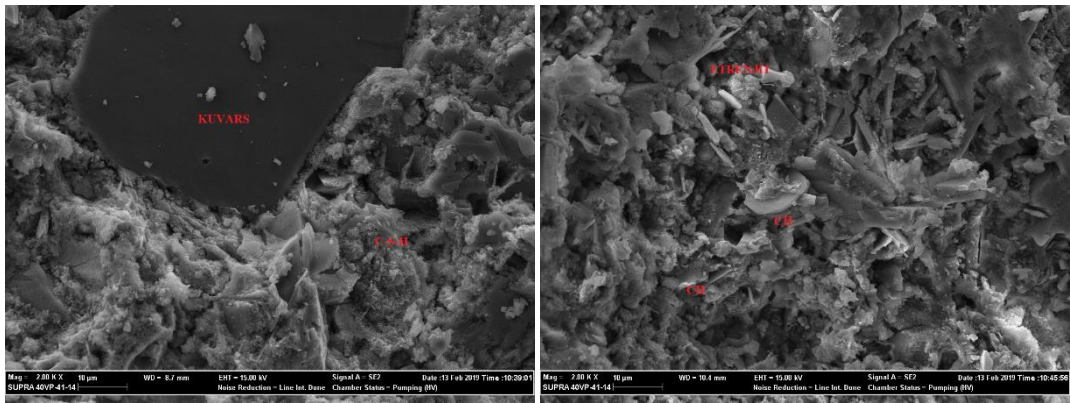
c

d

Şekil 8.79.

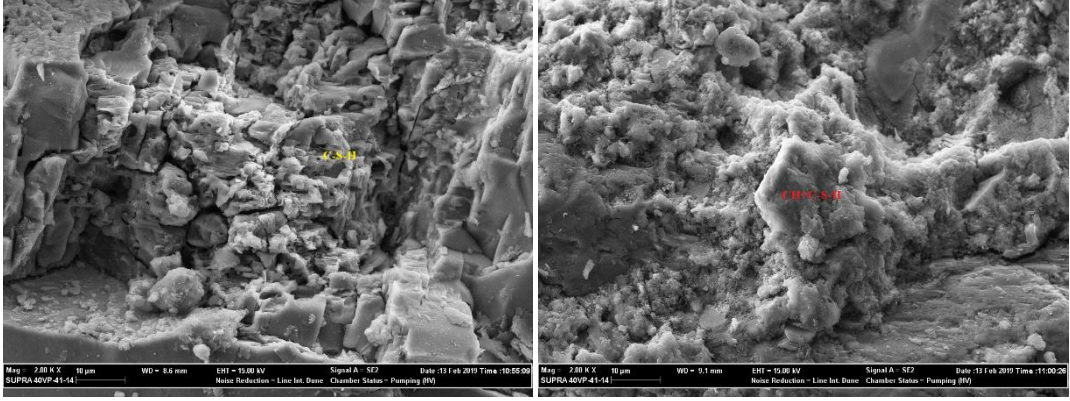
Naftalin sülfonat esaslı katkı ile %0,2, %0,3, %0,5 ve %1,0 oranlarında hazırlanan numunelerde, %0,2 oranında katkı eklenen numunenin SEM görüntüsünden %0,5 oranında katkı eklenen numunenin SEM görüntüsüne doğru gidildiğinde C-S-H yapısının sıklaştığı görülmektedir. Numunelerin basınç dayanımı da aynı sıralamada artmaktadır. %1,0 oranında katkı eklenmiş numunenin C-S-H jelleşmesinde ise topaklanma gözlenmektedir (Topçu ve ark., 2016, El- Gamal ve ark., 2012).

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.80’de verilmiştir.



a

b



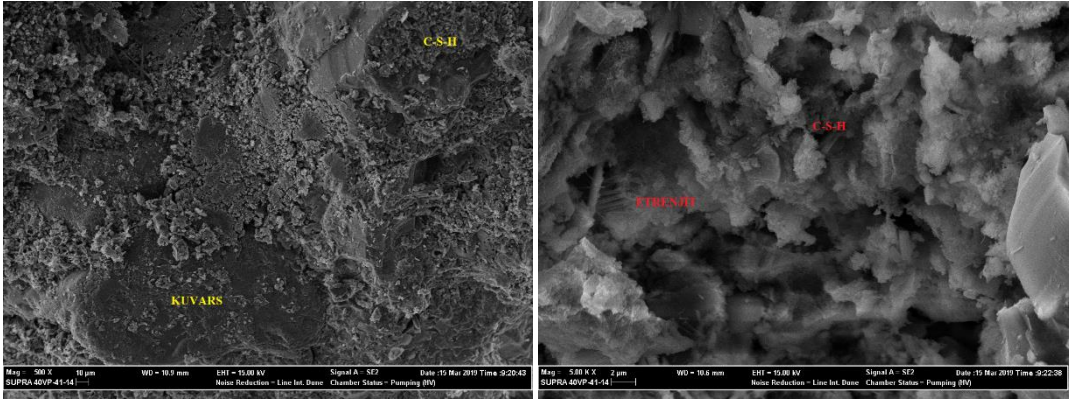
c

d

Şekil 8.80.

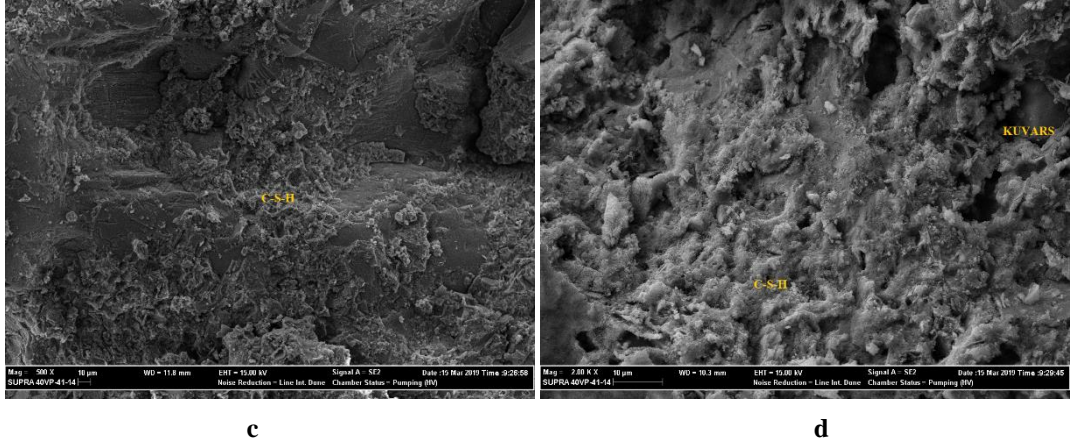
Katkı oranının azalmasıyla basınç dayanımı azalan numunelerde, C-S-H jelinde de topaklanma artmaktadır. C-S-H jeli en düzenli olan numunenin %0,2 olduğu görülmektedir (Topçu ve ark., 2016, El- Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark.,1999).

Melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.81’de verilmiştir.



a

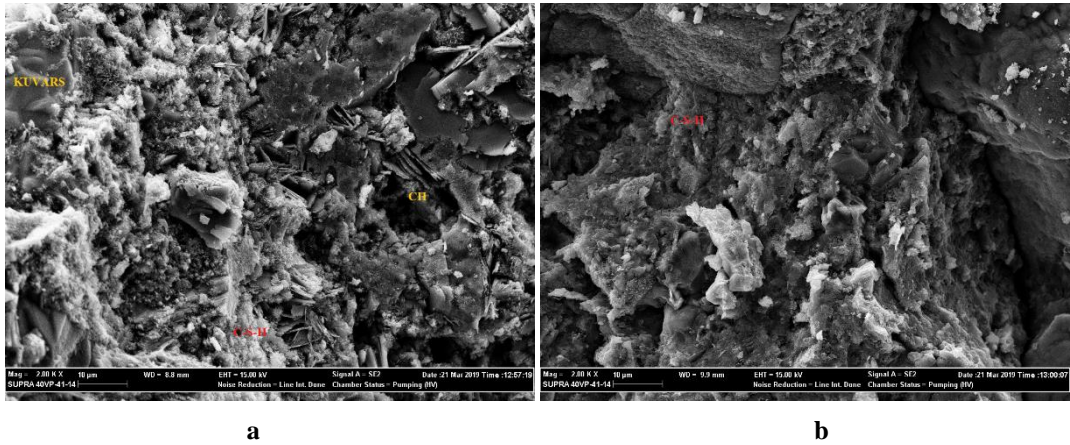
b

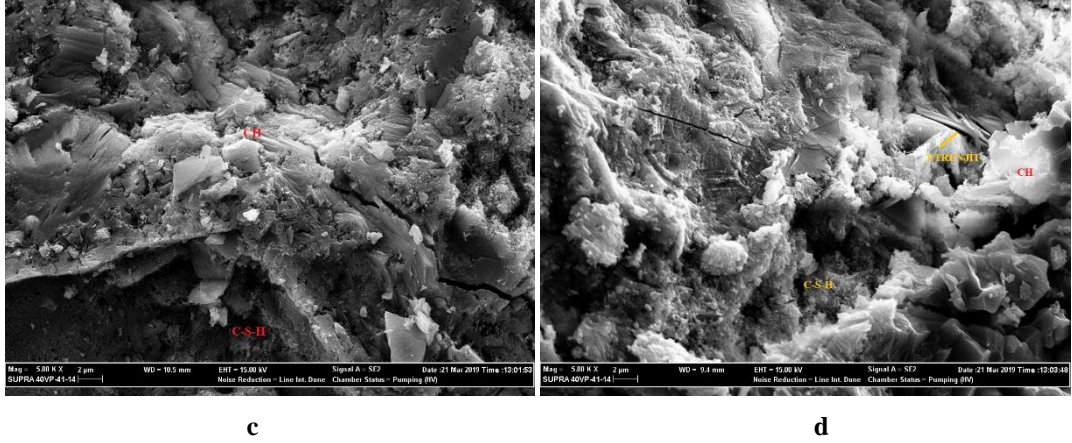


Şekil 8.81.

Melamin sülfonat esaslı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde, C-S-H jelinin yapısından dolayı hidrasyonun tamamlanmadığını görürüz. %1,0 oranında katkı ile hazırlanan numunede C-S-H jelinin daha yoğun olduğu gözlenmiştir. %0,2, %0,3 ve %0,5 oranında katkı eklenen numunelerde boşluklu yapı ve hidrate olmamış çimento tanesi daha fazladır (Habib ve ark.,2016).

Naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.82’de verilmiştir.

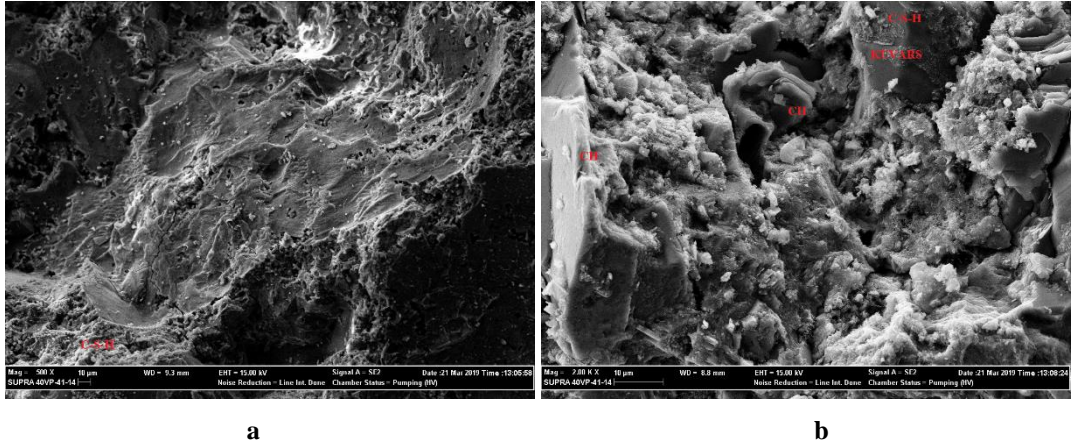


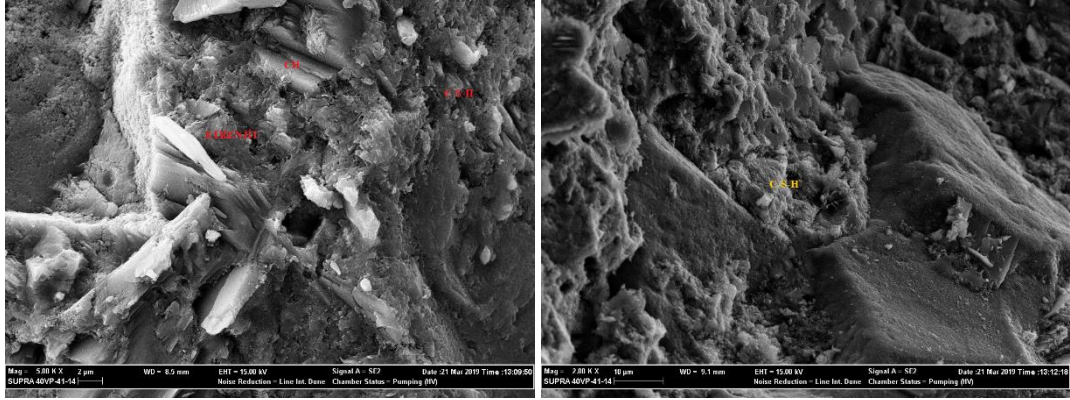


Şekil 8.82.

Çimento 1 ile hazırlanan ve 28 gün yaşlandırılmış numunelerde C-S-H jeli oluşumu diğer numunelere göre daha iyi olan %0,5 oranında katkı eklenen numunenin basınç dayanımı da diğerlerinden daha yüksektir. %1,0 oranında katkı eklenen numunede etrenjit oluşumu gözlenmiştir (Topçu ve ark., 2016, El- Gamal ve ark., 2012).

Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.83'te verilmiştir.





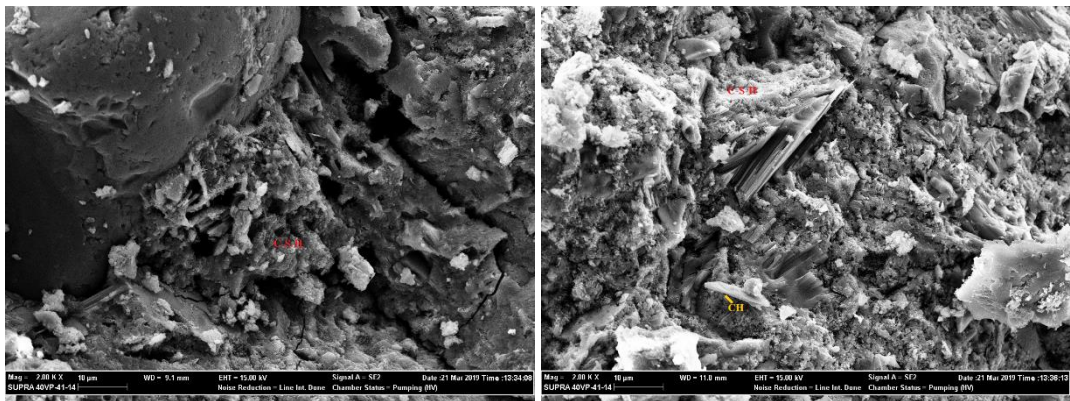
c

d

Şekil 8.83.

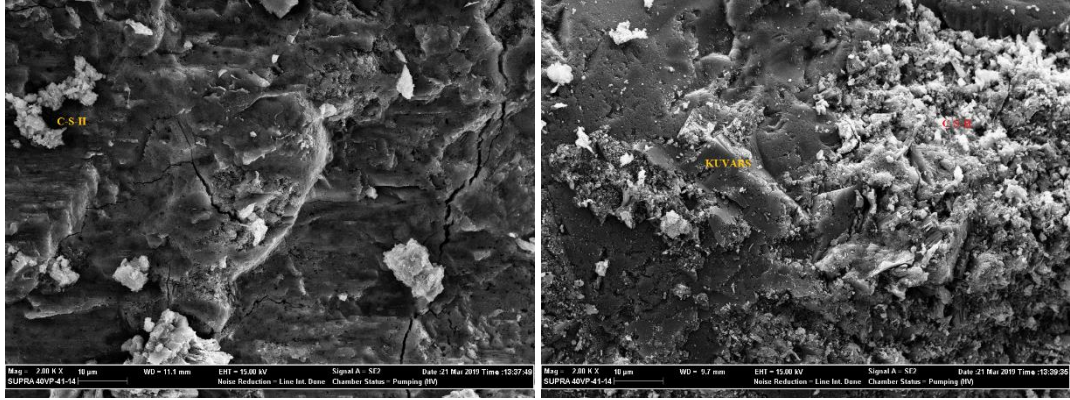
Çimento 1 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerde katkı oranı arttıkça C-S-H jelinde topaklanma görülmektedir. Bu durum da basınç dayanımında azalmaya yol açmaktadır. %1,0 oranında katkı eklenen numuneden alınan kesitte hidrate olmamış çimento tanecikleri, %0,5 oranında katkı eklenmiş numuneden alınan kesitte ise etrenjit oluşumu ve boşluklu yapı görülmektedir (Topçu ve ark., 2016, El- Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999).

Melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.84'te verilmiştir.



a

b



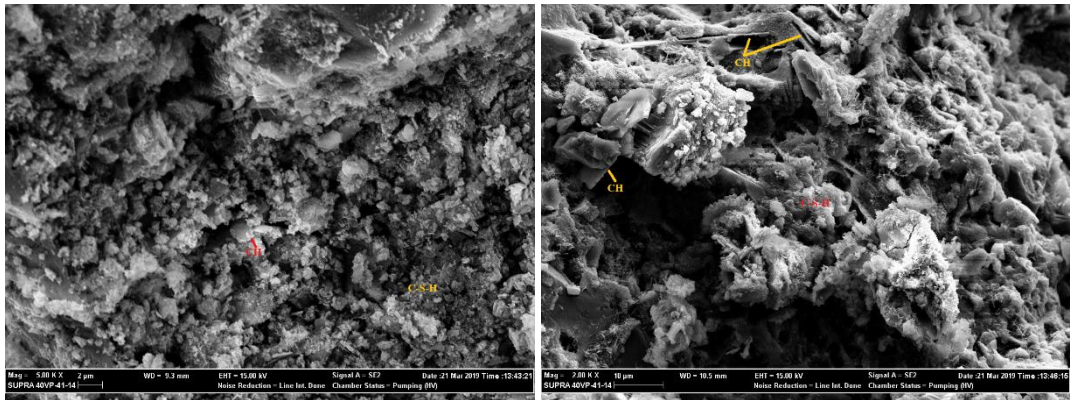
c

d

Şekil 8.84.

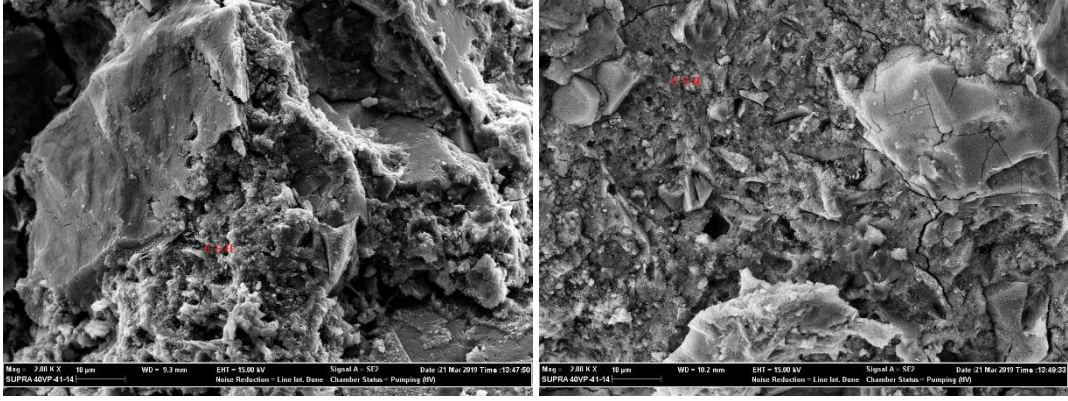
Çimento 1 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanmış numunelerde, katkı oranı arttıkça C-S-H jeli oranının arttığı görülmektedir. %0,2 oranında katkı eklenen numunede boşluklu yapı görülmüştür ve hidrate olmamış çimento tanecikleri vardır. %0,3 ve %0,5 oranında katkı eklenen numunelerde gözlenen C-S-H jeli topaklıdır (Habib ve ark., 2016).

Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.85'te verilmiştir.



a

b



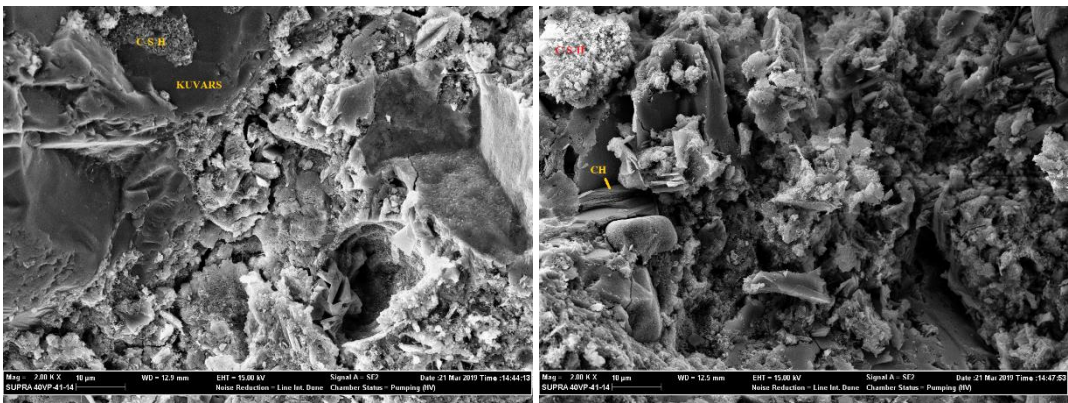
c

d

Şekil 8.85.

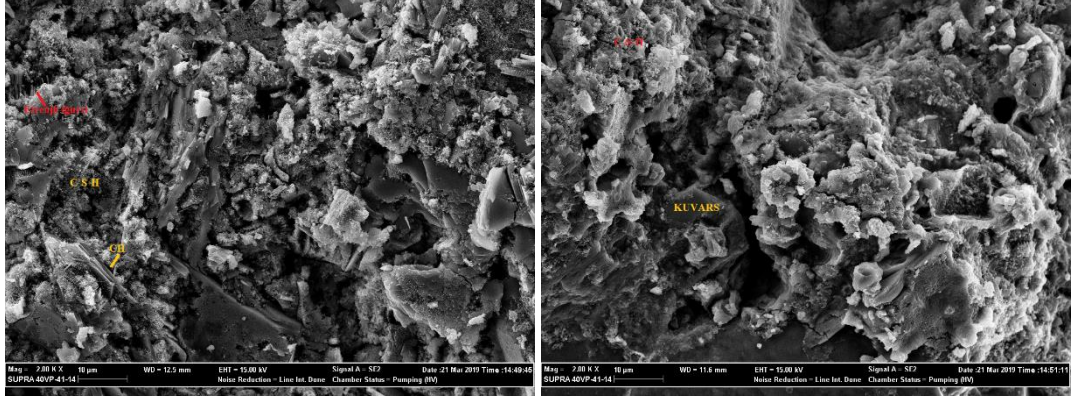
Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerden alınan kesitlerde, %0,2 oranında katkı eklenen numunede topaklanmış C-S-H jeli bulunmaktadır. %0,3 oranında katkı eklenen numunede topaklanmış C-S-H jeli artmıştır ve etrenjit oluşumu gözlenmektedir. %0,5 ve %1 oranında katkı eklenen numunelerde ise C-S-H jelinde topaklaşma gözlemlenmemiştir (Topçu ve ark., 2016, El- Gamal ve ark., 2012).

Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.86'da verilmiştir.



a

b



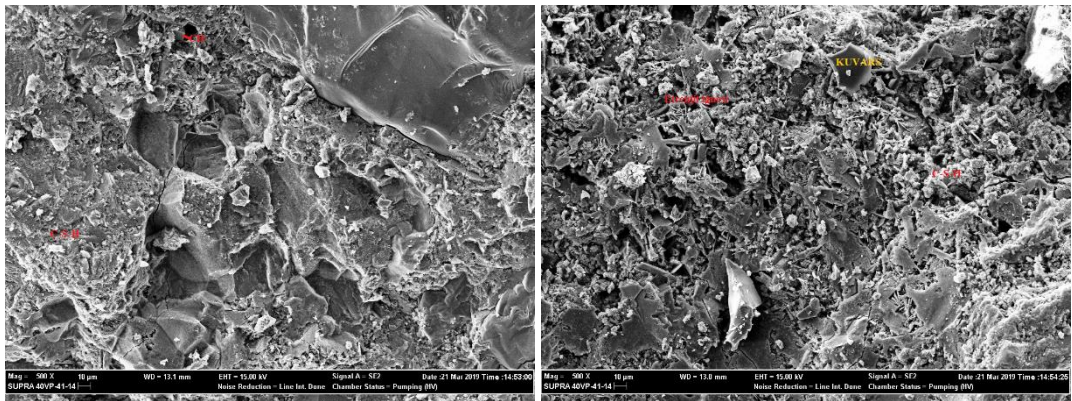
c

d

Şekil 8.86.

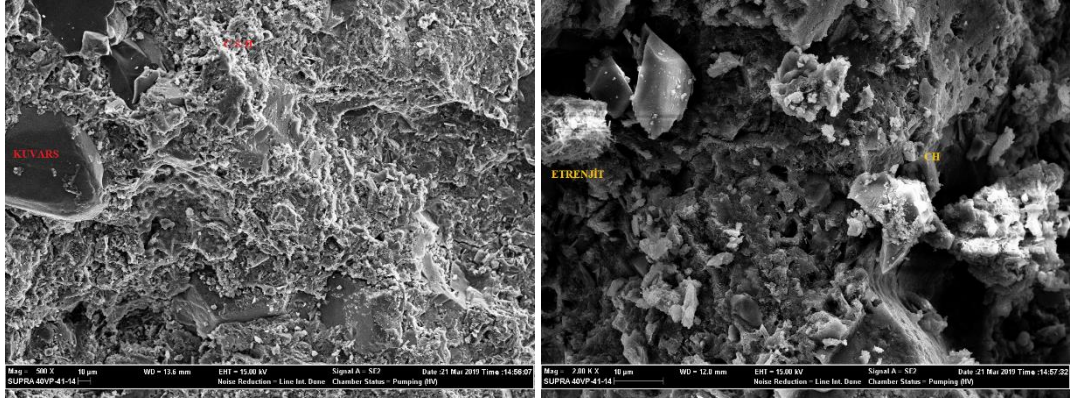
Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerde, tüm katkı oranlarında C-S-H jelleşmesine rastlanmıştır. %0,2 oranında katkı eklenen numunede görülen C-S-H jeli topaklanmamıştır. %0,5 oranında katkı eklenen numunede C-S-H oluşumunun alınan kesitte dağılmış olduğunu görürüz. Bu durumun hidrasyonun yeterli miktarda gerçekleştiğine işaret ettiği söylenebilir ancak %0,5 oranında katkı eklenen numunede etrenjit oluşumuna da rastlanmıştır (Topçu ve ark., 2016, El- Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999).

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.87’de verilmiştir.



a

b



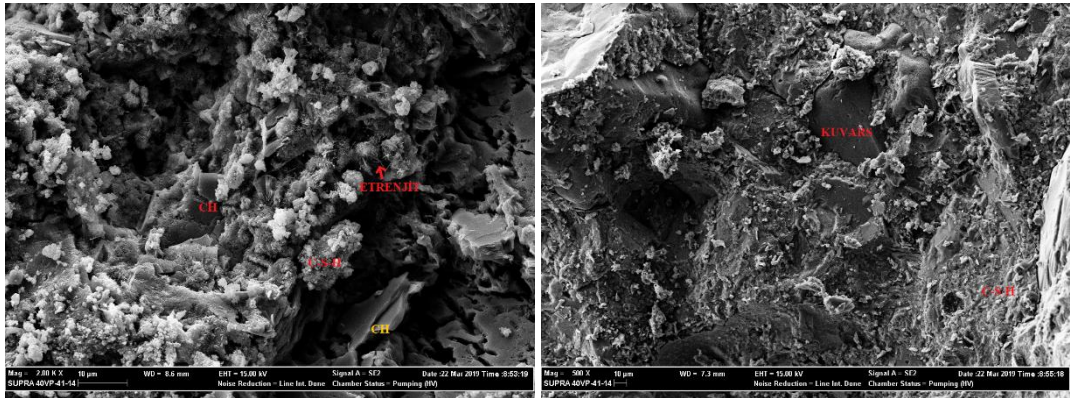
c

d

Şekil 8.87.

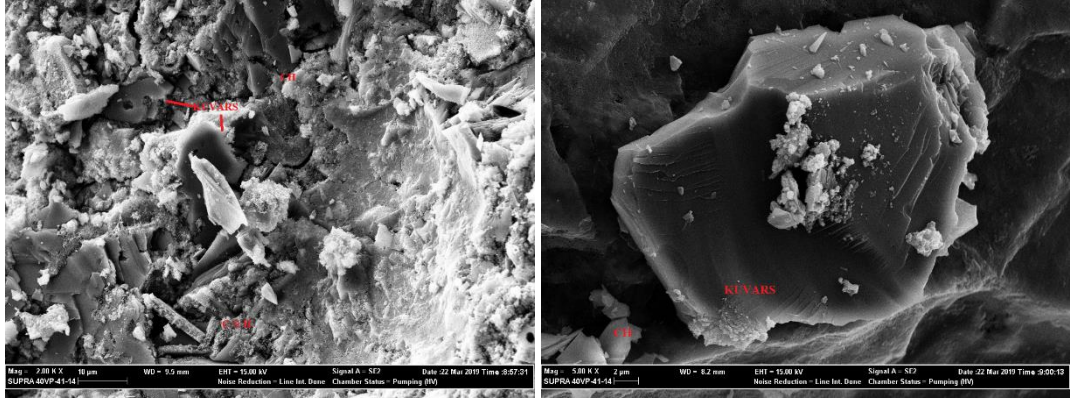
Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerde, %0,2 oranında katkı eklenen numunede hidrate olmamış çimento taneciği görülmektedir. C-S-H oluşumu yeterli düzeyde olmamıştır. %0,3 oranında katkı eklenen numunede etrenjit oluşumuna rastlanmıştır (Habib ve ark, 2016).

Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.88’de verilmiştir.



a

b



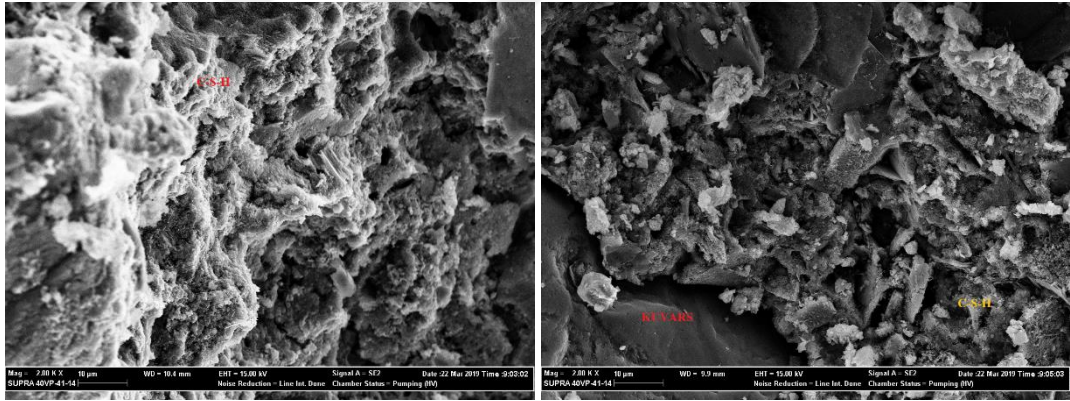
c

d

Şekil 8.88.

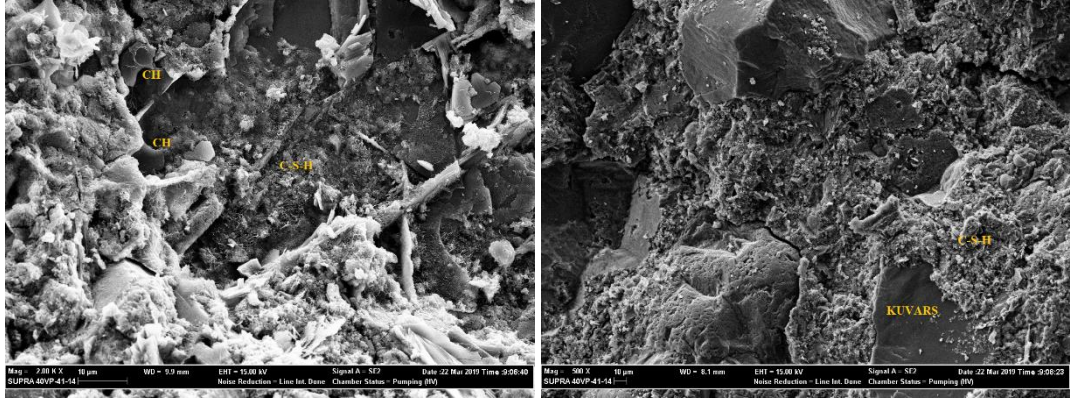
Çimento 2 ve naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerin 28 gün yaşlandırılmış kesitlerinde, gözeneksiz bir yapı olduğu gözlenmiştir (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012).

Çimento 2 ve liginosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.89’da verilmiştir.



a

b



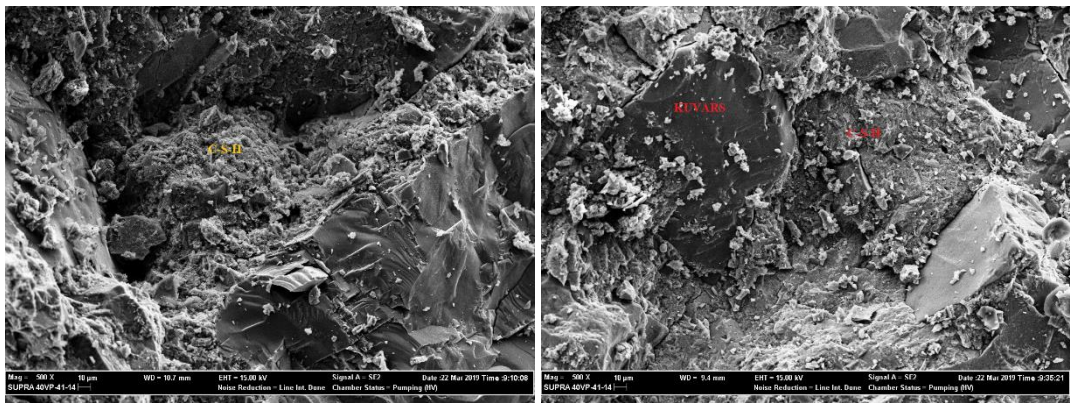
c

d

Şekil 8.89.

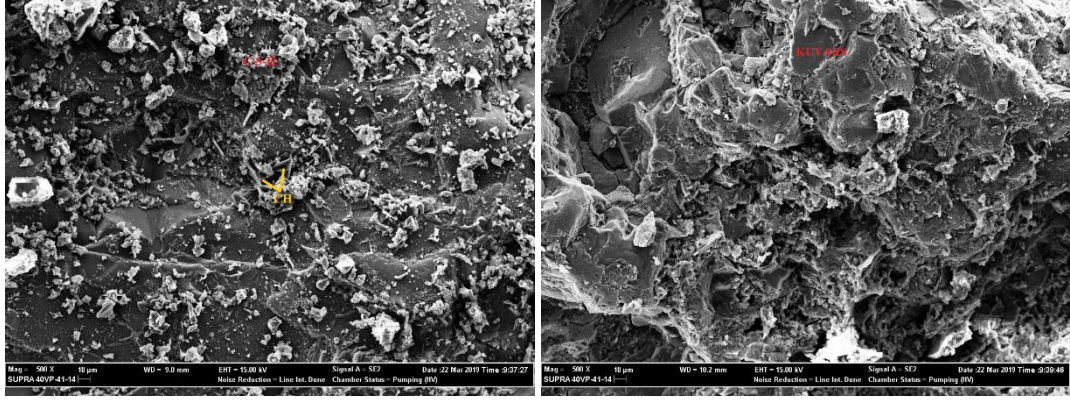
Çimento 2 ve lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numuneler incelendiğinde katkı oranı arttıkça numunelerin yapısı yoğunlaşmıştır. C-S-H jelinin yapısı topaklı görünümünden daha üniform bir görünüme kavuşmuştur. Daha kompakt bir yapısı olduğu görülen %1 oranında katkı eklenen numunenin basınç dayanımı da diğer numunelerden daha yüksektir. (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999).

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.90'da verilmiştir.



a

b



c

d

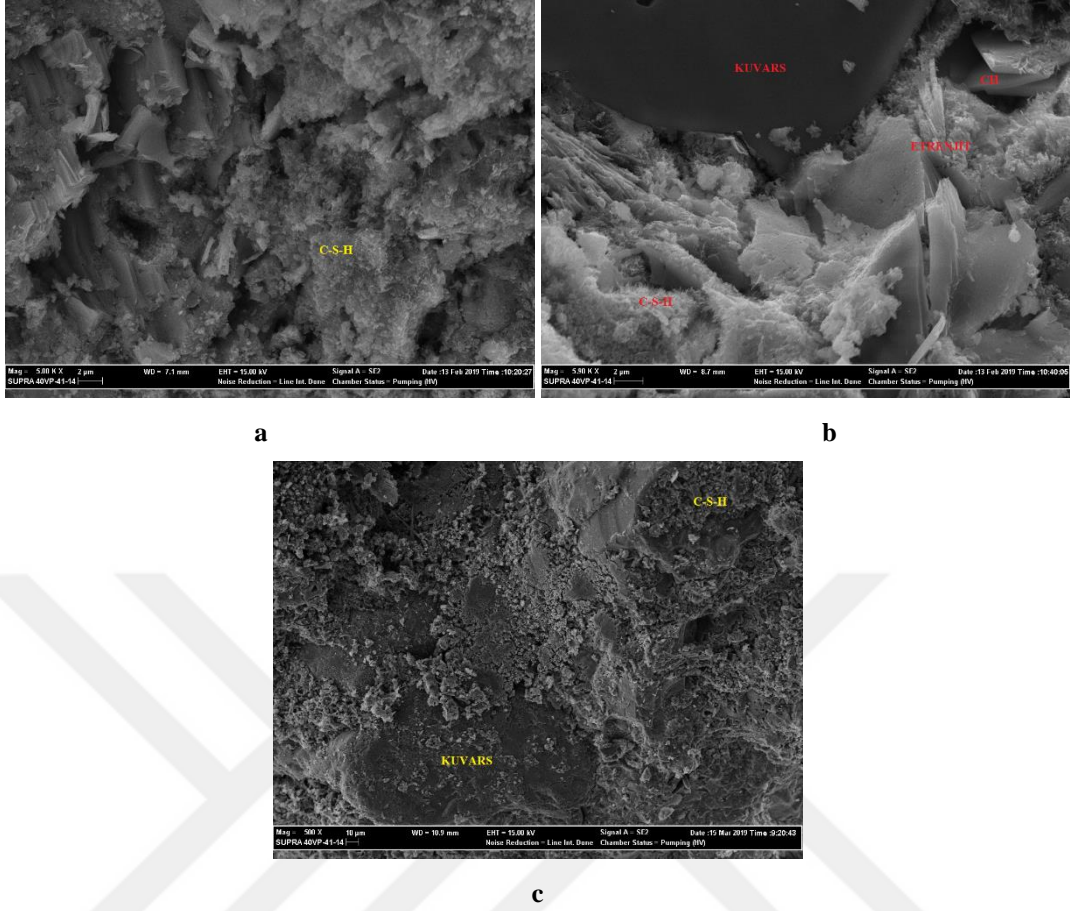
Şekil 8.90.

Çimento 2 ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunelerde, %1 oranında katkı eklenen numunede boşluklu yapıya rastlanmıştır. %1 oranında katkı eklenen numunenin, %0,5 oranında katkı eklenen numunenin basınç dayanımından daha düşük çıkması bu sebeple açıklanabilir (Habib ve ark., 2016).

8.4.2. Farklı oranda akışkanlaştırıcı kullanımının SEM görüntüleri sonuçlarına etkisi

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 katkıları kullanılmıştır. Katkı oranı %0,2, %0,3, %0,5 ve %1 olarak belirlenmiştir. Bu bölümde farklı oranlarda akışkanlaştırıcı katkı kullanılan numunelerin SEM görüntüleri incelenmiştir.

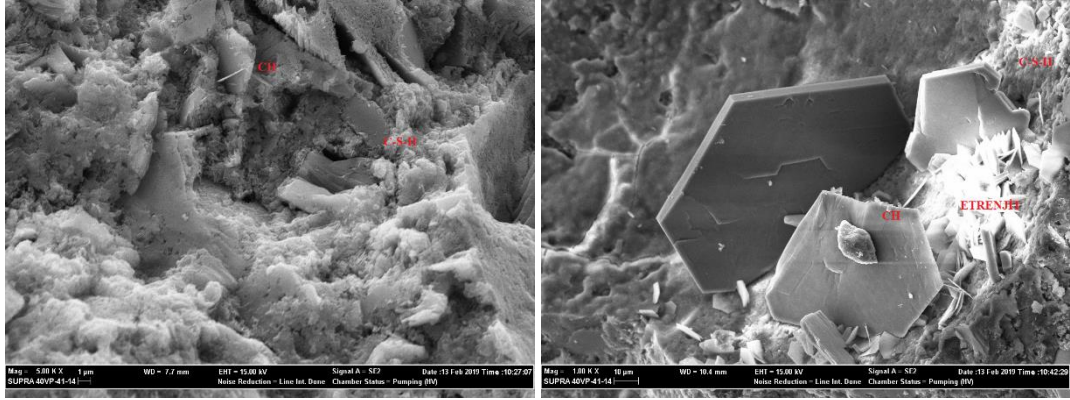
Çimento 1 ve %0,2 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.91'de verilmiştir.



Şekil 8.91.

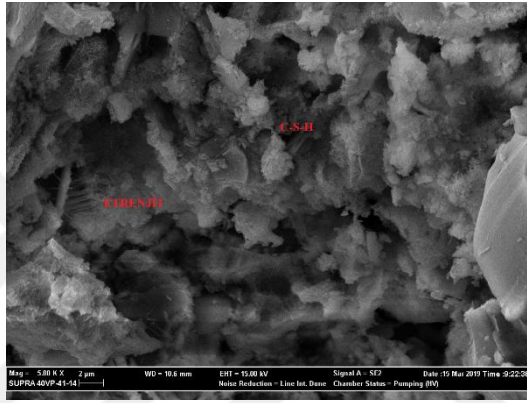
Çimento 1 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan numunelerin SEM görüntülerinde, her numunede C-S-H oluşumu gözlenmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunedeki C-S-H oluşumu, diğer katkılarla yapılan numunelere göre daha jel görünümlüdür. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede C-S-H yapısında topaklanma gözlenmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin üniform yapısı ve C-S-H jelinin topaklanmamış olması basınç dayanımı değerinin en yüksek olmasına katkı sağlamıştır (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

Çimento 1 ve %0,3 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.92’de verilmiştir.



a

b

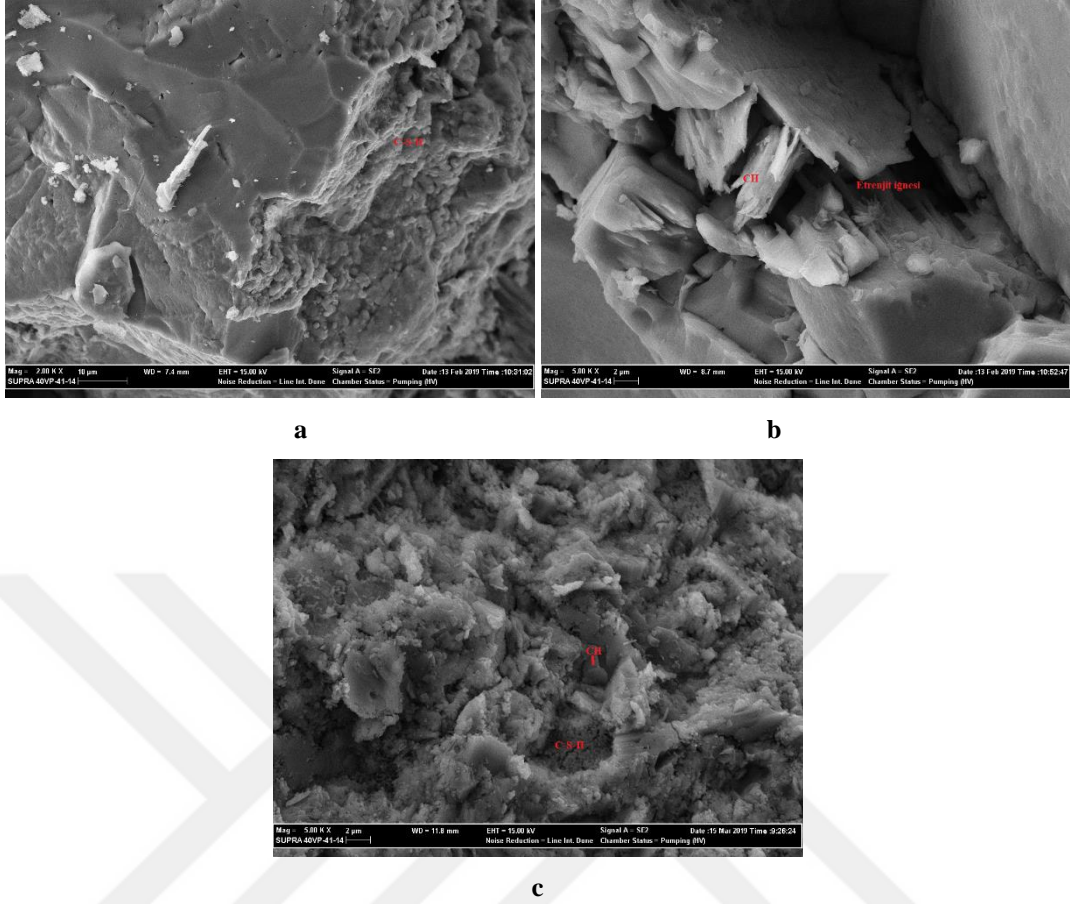


c

Şekil 8.92.

Lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı numunelerde görülen etrenjit oluşumu, beton yapısında genişlemeye sebep olmasından dolayı basınç dayanımında azalmaya sebep olmuştur. Naftalin sülfonat katkılı numunede üniform yapıda dağılmış C-S-H jeli ve etrenjit oluşumunun gözlenmemesi basınç dayanımının diğerlerinden yüksek olmasını sağlamıştır (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

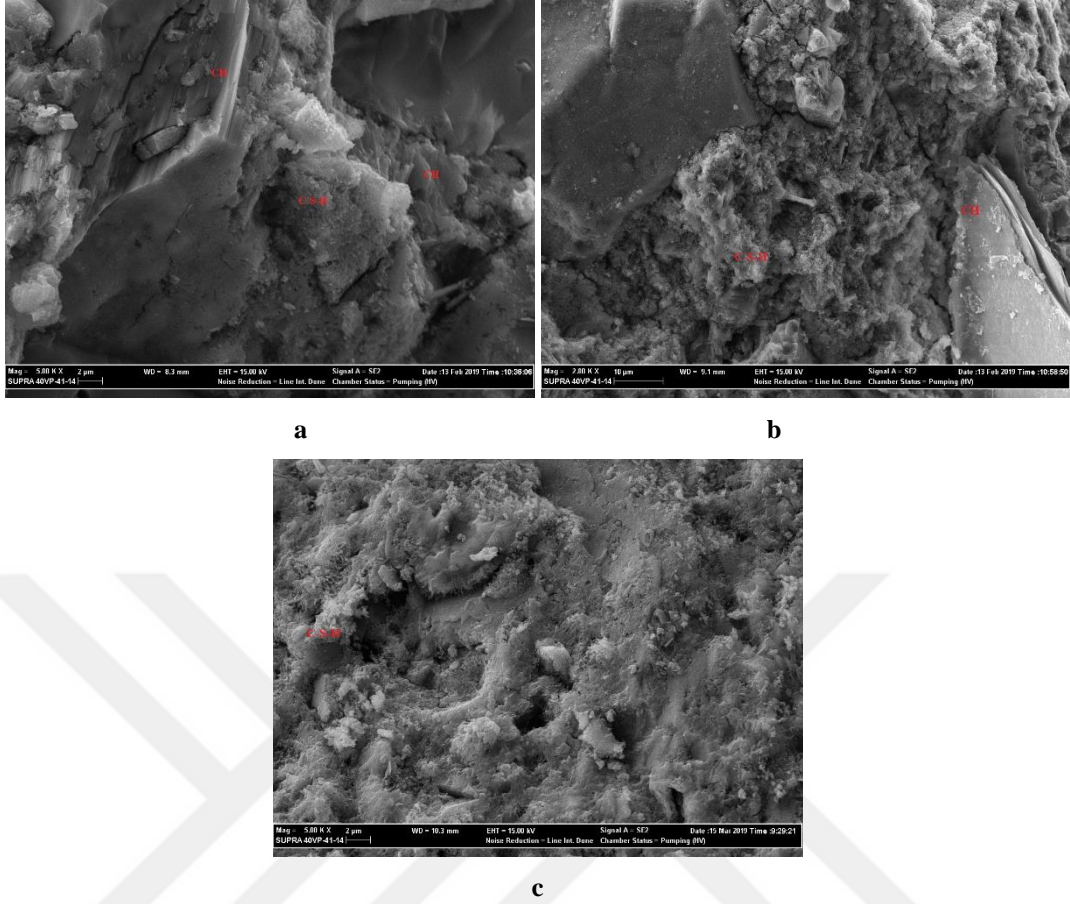
Çimento 1 ve %0,5 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.93'te verilmiştir.



Şekil 8.93.

Çimento 1 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerde, SEM görüntülerindeki C-S-H jelleşmelerinin naftalin sülfonat esaslı katkı kullanılan numunede jel halde ve üniform olduğunu, diğer iki numunede ise jelleşmenin topaklaşmaya dönüştüğü gözlenmiştir. Basınç dayanımı değerleri ile SEM görüntüleri kıyaslandığında naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunenin, basınç dayanımı değerinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Topçu ve ark., 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

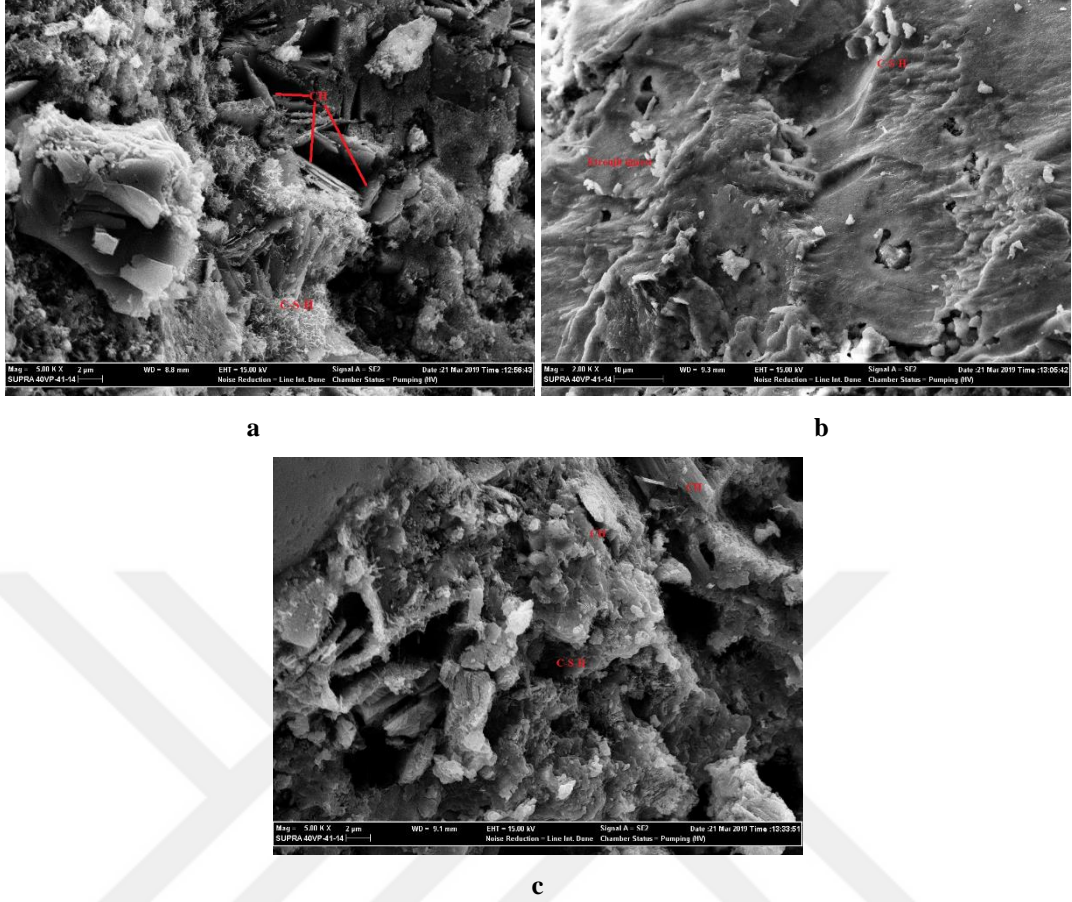
Çimento 1 ve %1,0 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.94'te verilmiştir.



Şekil 8.94.

Çimento 1 ve %1,0 oranında katkı eklenen 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri analiz edildiğinde, melamin sülfonat katkıli numunenin görüntüsünde C-S-H oluşumunun topaklanmış halde olduğu görülmektedir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunenin boşluksuz yapısı ve C-S-H jelinin üniform dağılımı oluşu basınç dayanımının yüksek olmasını etkilemiştir (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

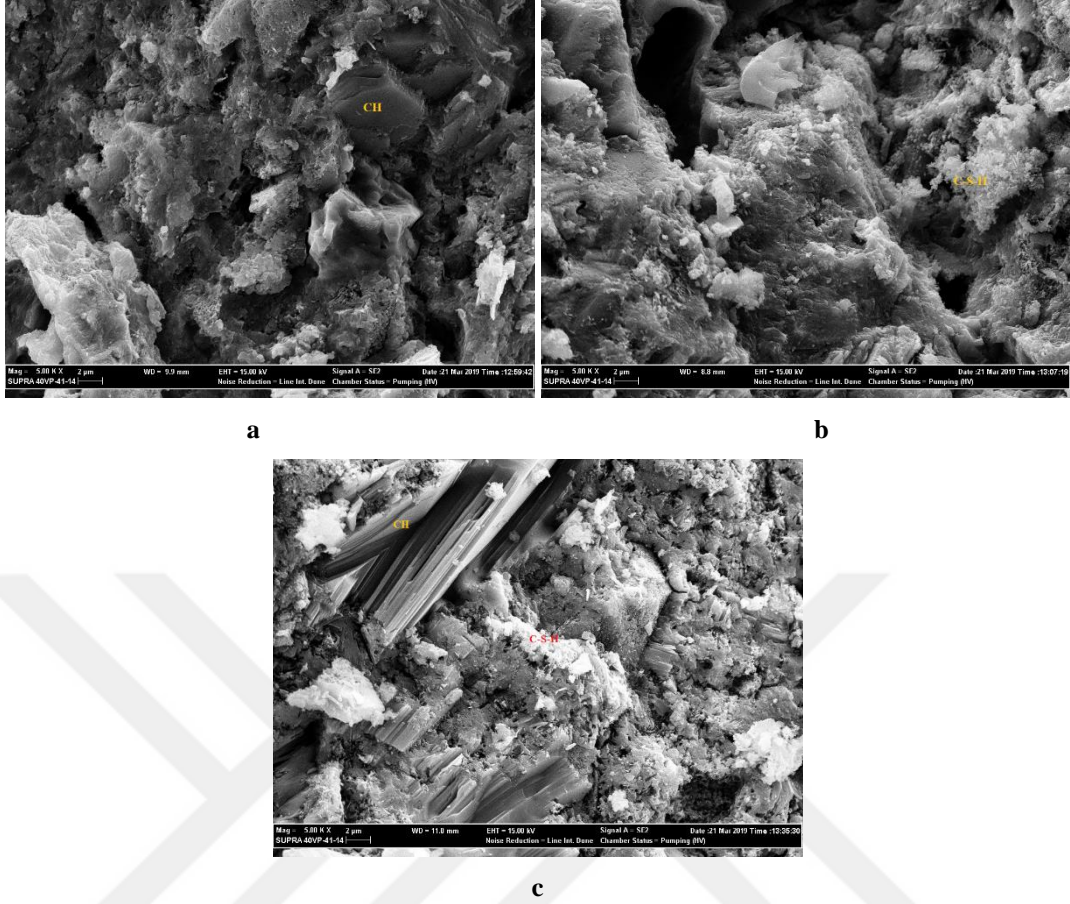
Çimento 1 ve %0,2 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.95'te verilmiştir.



Şekil 8.95.

Çimento 1 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerde boşluksuz yapısı sayesinde lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunenin basınç dayanımı diğer numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Naftalin ve melamin sülfonat esaslı katkılarla hazırlanan numunelerde boşluk fazladır (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

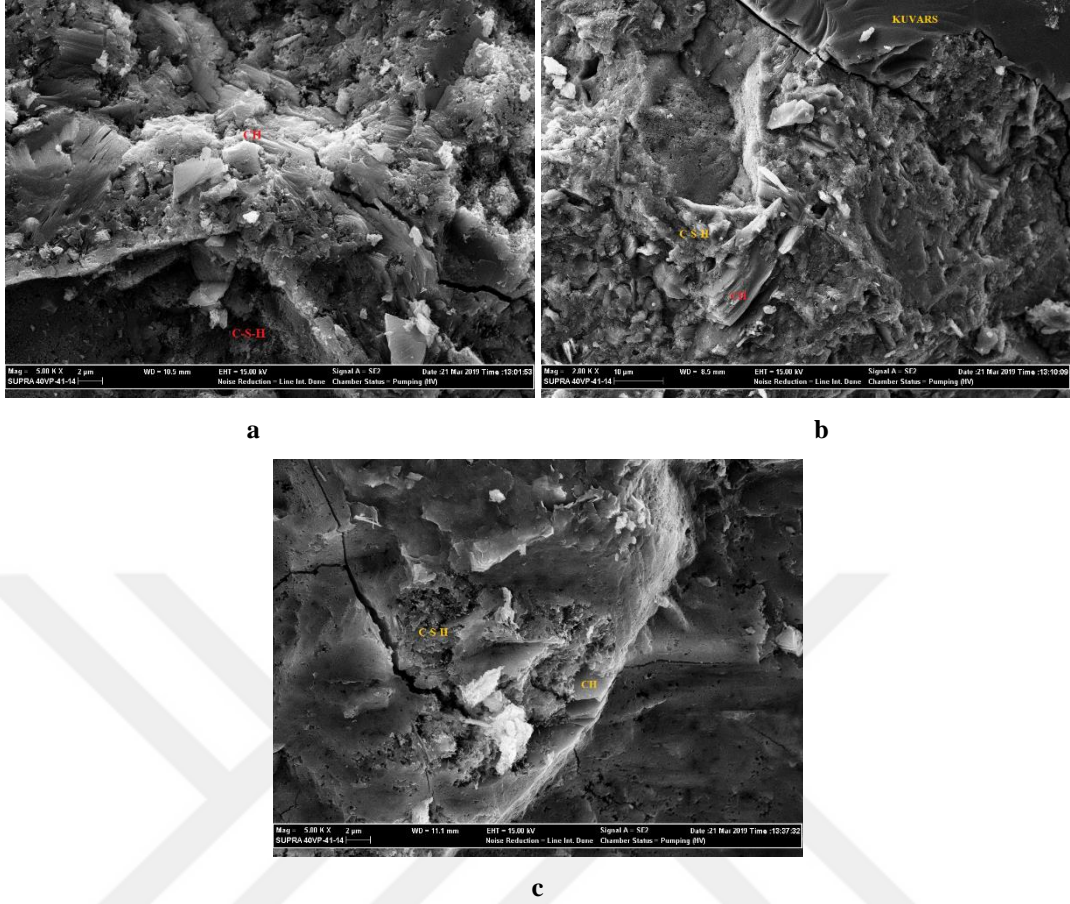
Çimento 1 ve %0,3 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.96'da verilmiştir.



Şekil 8.96.

Çimento 1 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, numunelerin hepsinde C-S-H oluşumu gözlenmiştir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkının ile hazırlanan numunenin yapısının daha geçirimsiz oluşu sebebiyle basınç dayanımı değerleri de göz önüne alınarak, en dayanıklı numune olduğu söylenebilir (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

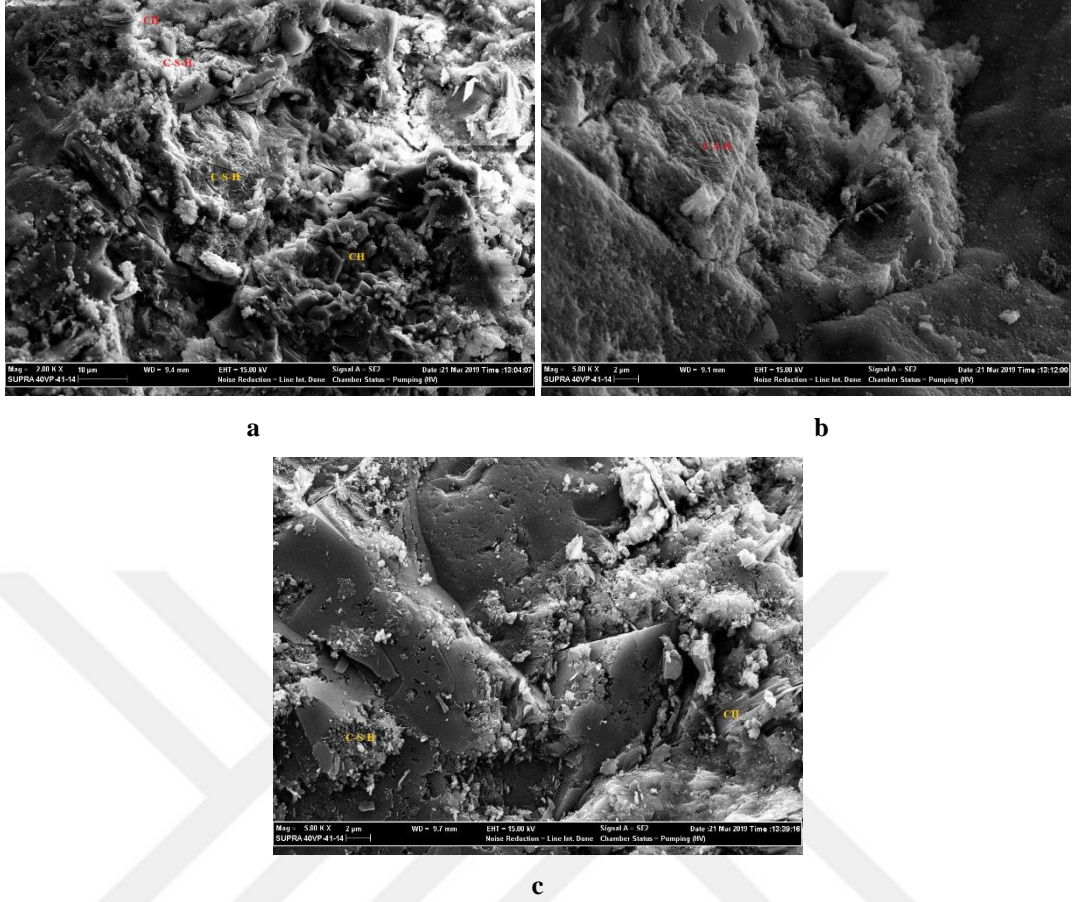
Çimento 1 ve %0,5 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.97’de verilmiştir.



Şekil 8.97.

Çimento 1 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, melamin ve naftalin sülfonat esaslı numunede görülen çatlaklar betonun basınç dayanımını azaltmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı eklenen numunede çatlak gözlenmemesi, üniform oluşu ve C-S-H jelinin topaklanmamış olması mukavemetinin yüksek oluşunu da beraberinde getirmiştir (Topçu ve ark., 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

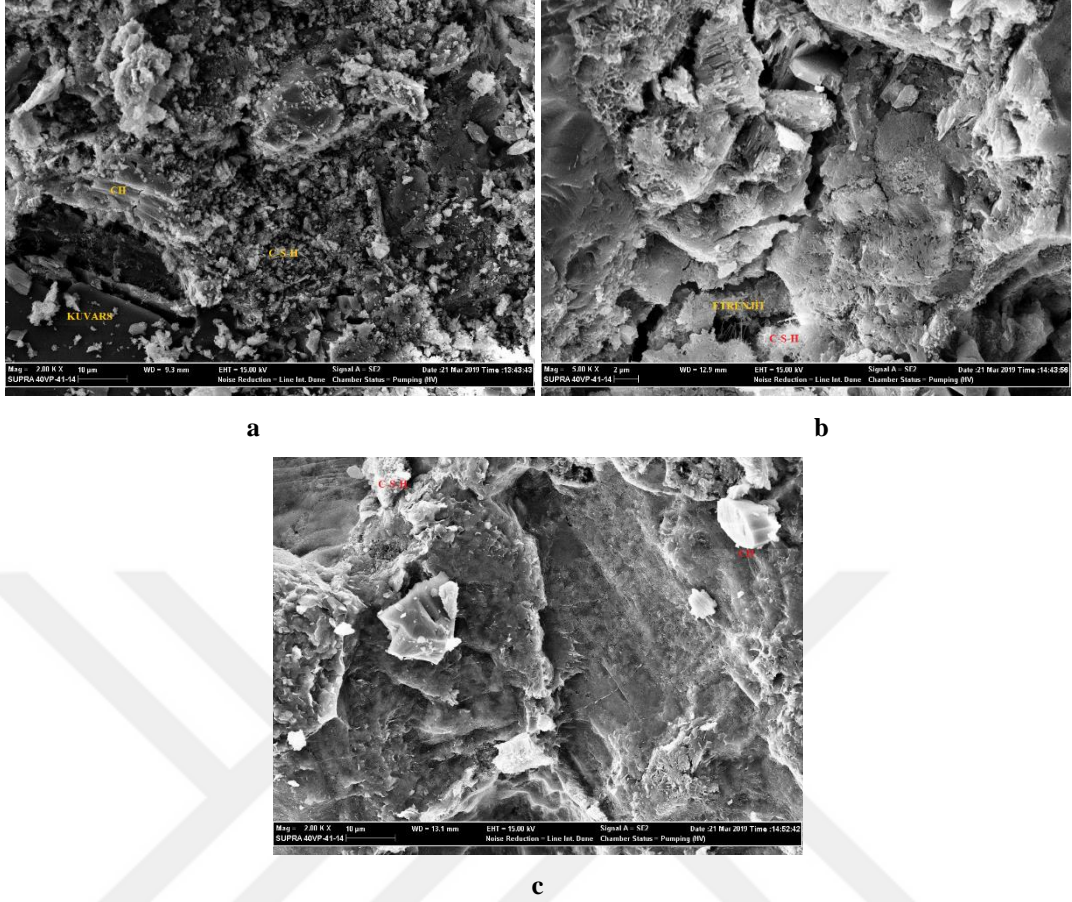
Çimento 1 ve %1,0 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.98’de verilmiştir.



Şekil 8.98.

Çimento 1 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede hidrate olmamış çimento tanecikleri görülür. Naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise topaklanmış C-S-H oluşumu görülür (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

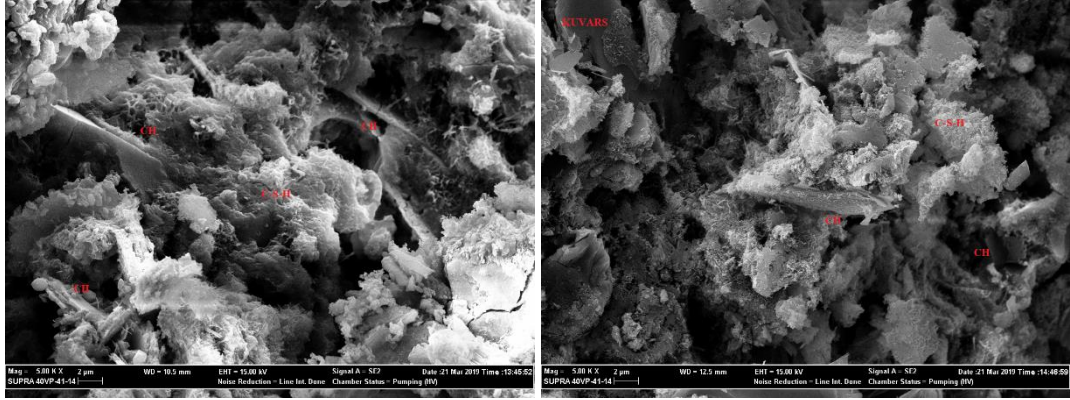
Çimento 2 ve %0,2 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.99’da verilmiştir.



Şekil 8.99.

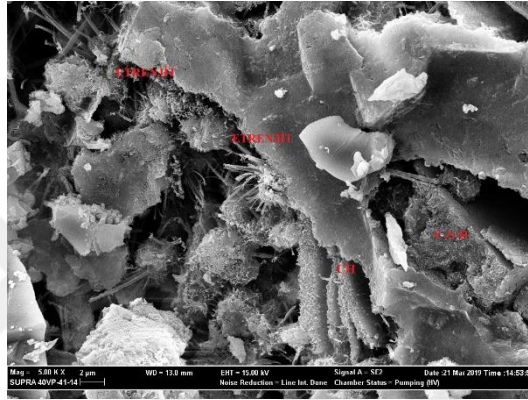
Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede C-S-H jelinin topaklandığı görülür. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı numunede etrenjit oluşumuna rastlansa da bu durum basınç dayanımını olumsuz yönde etkilememiştir (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

Çimento 2 ve %0,3 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.100'de verilmiştir.



a

b

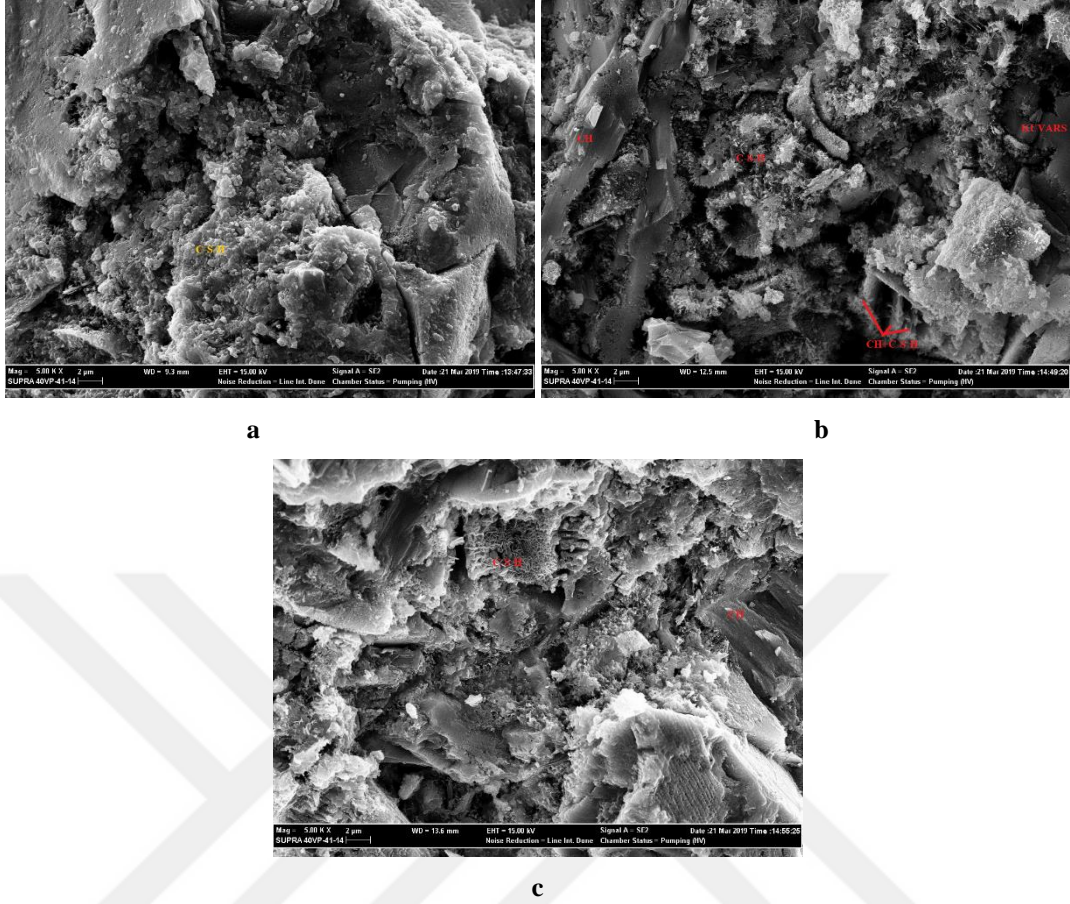


c

Şekil 8.100.

Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede görülen C-S-H yapısı bütün yapılaraya yayılarak homojen bir görüntü oluşturmuştur. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkıda görülen C-S-H yapısında topaklanma görülmüştür. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise, basınç dayanımının düşük olmasını açıklayan yoğun etrenjit oluşumuna ve boşluklu yapıya rastlanılmıştır (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

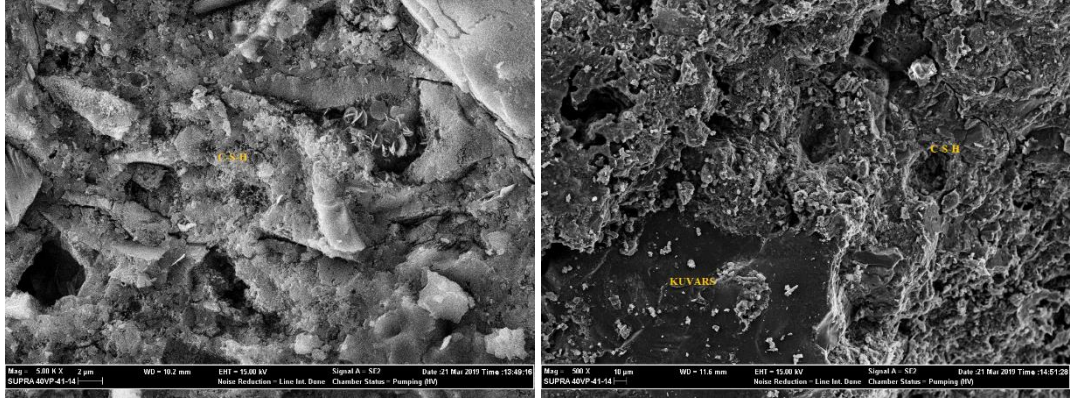
Çimento 2 ve %0,5 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.101’de verilmiştir.



Şekil 8.101.

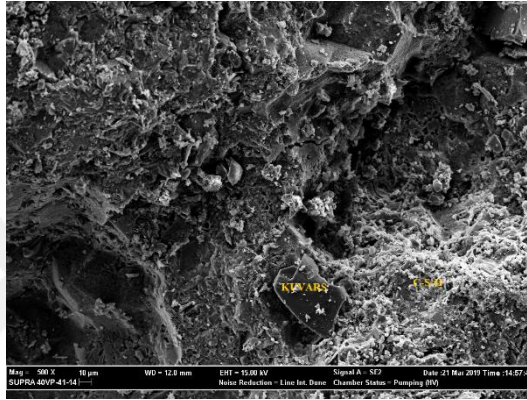
Çimento 2 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin yapısının boşluksuz olduğu görülmüştür. Bu durum basınç dayanımının da yüksek olmasını sağlamıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkılarda görülen boşluklu yapı ve C-S-H oluşumunun topaklanmış oluşu basınç dayanımında düşüşe sebep olmuştur (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

Çimento 2 ve %1,0 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.102’de verilmiştir.



a

b

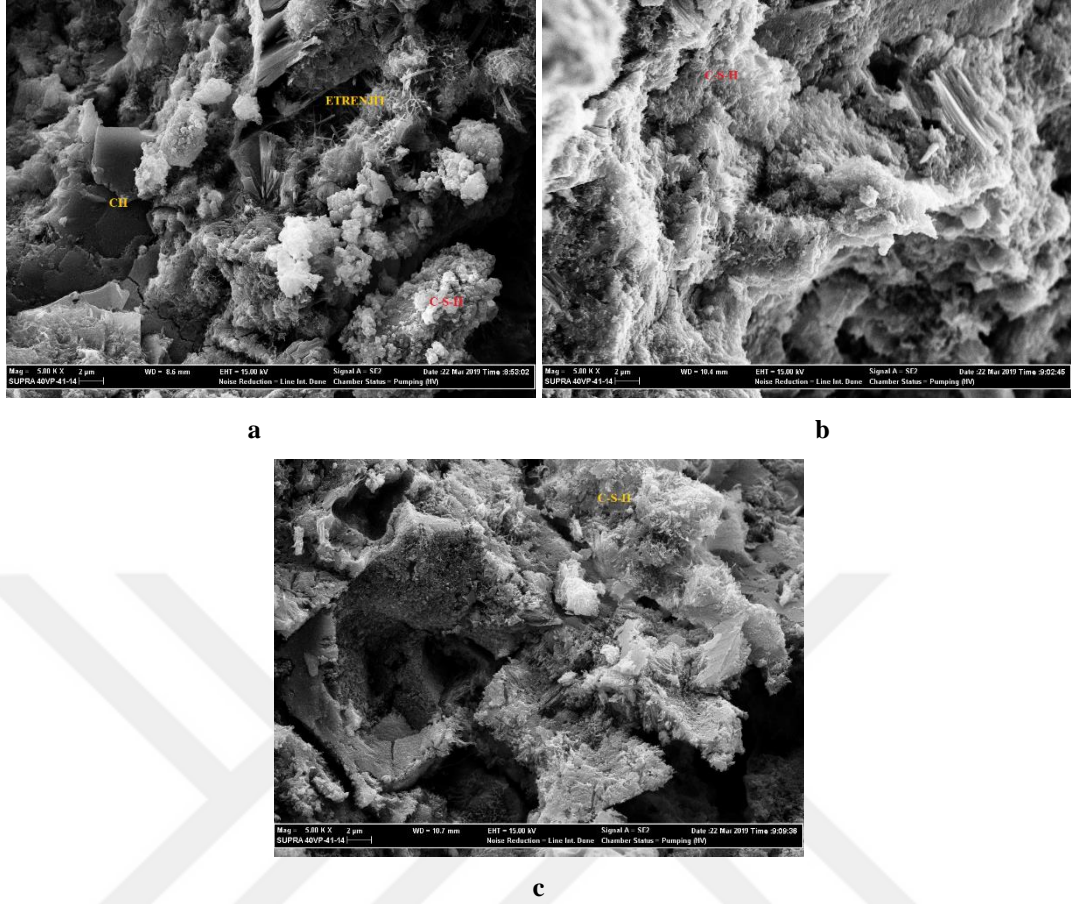


c

Şekil 8.102.

Çimento 2 ve %1,0 oranında katkı ile hazırlanan 7 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, katkı oranı arttıkça boşluklu yapının azaldığı görülmüştür. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin C-S-H jeli diğer numunelerdeki gibi topaklı değildir, bu durum basınç dayanımının yüksek oluşuyla ilişkilendirilebilir (Topçu ve ark., 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

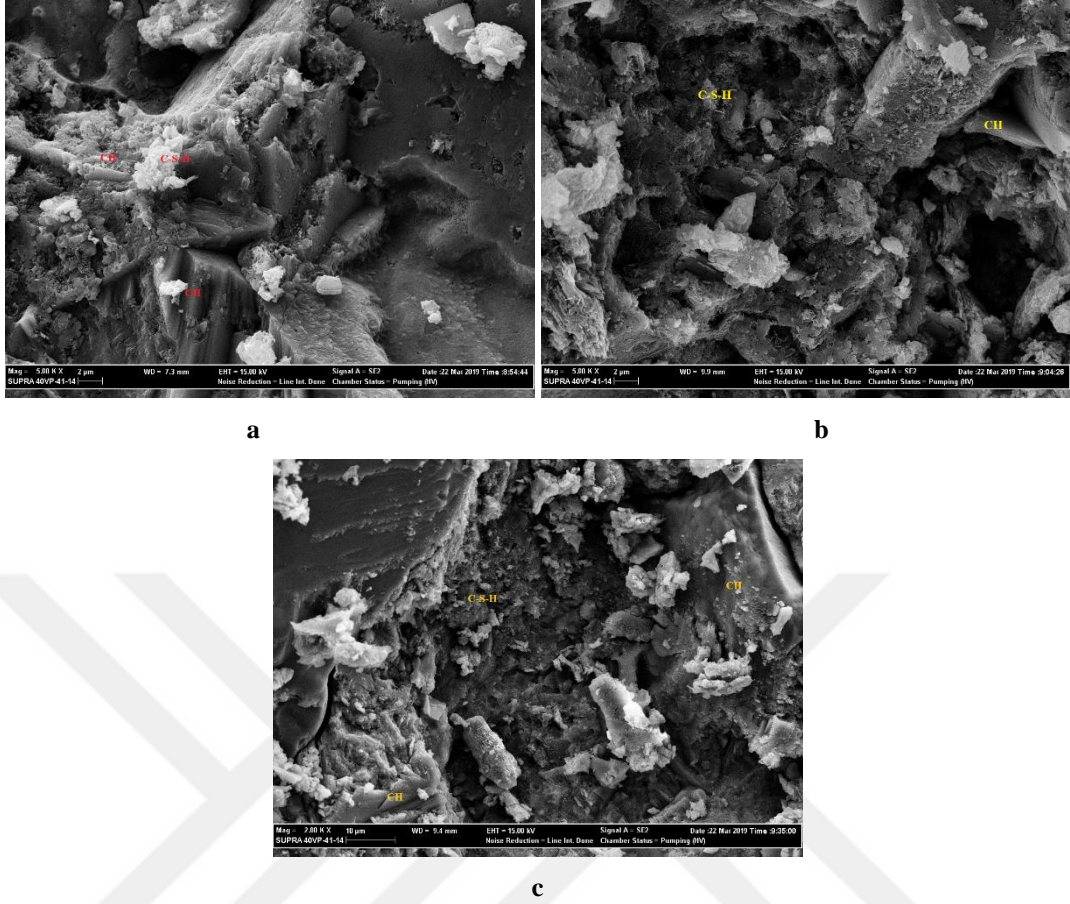
Çimento 2 ve %0,2 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.103'te verilmiştir.



Şekil 8.103.

Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin görüntüsünde etrenjit oluşumuna rastlanmıştır. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise topaklanmış C-S-H oluşumuna rastlanılmıştır. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise C-S-H yapısının üniform dağılmasının basınç dayanımına etkisi gözlenmiştir. Melamin sülfonat esaslı numunenin basınç dayanımı değeri, diğer katkılarla hazırlanan numunelere göre daha yüksektir (Topçu ve ark., 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

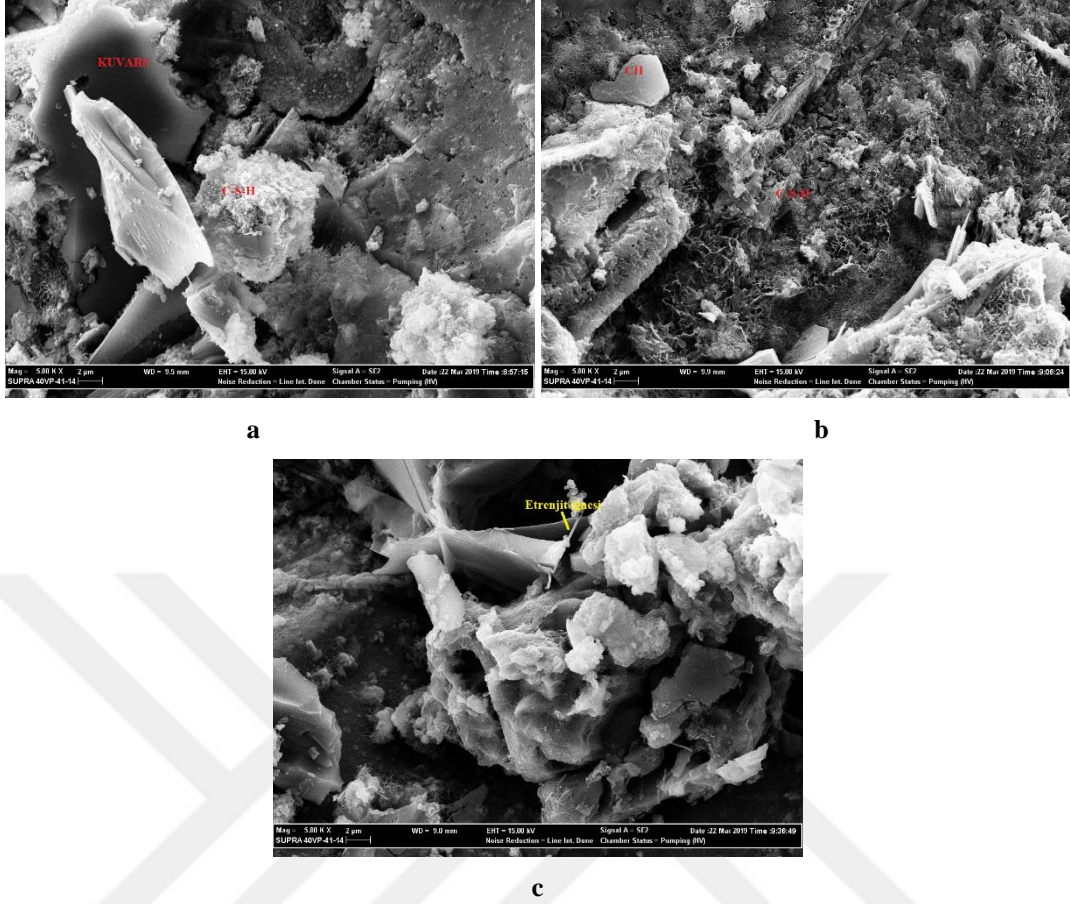
Çimento 2 ve %0,3 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.104'te verilmiştir.



Şekil 8.104.

Çimento 2 ve %0,3 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan numunenin geçirimsiz yapısı ve C-S-H jelinin homojen olması, basınç dayanımının yüksek olmasını açıklar. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı numunede boşluklu yapı görülmüştür ve C- S-H jeli istenildiği kadar homojen değildir. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise yeterince C- S-H oluşumuna rastlanmamıştır (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

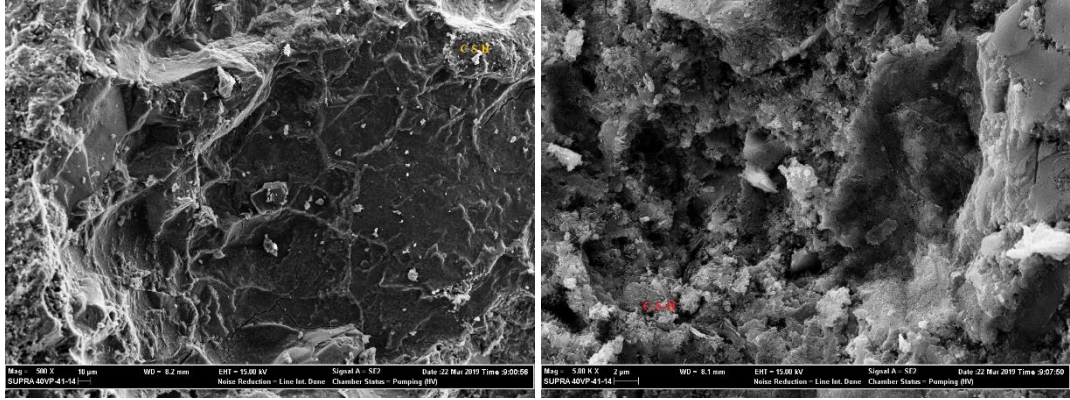
Çimento 2 ve %0,5 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.105'te verilmiştir.



Şekil 8.105.

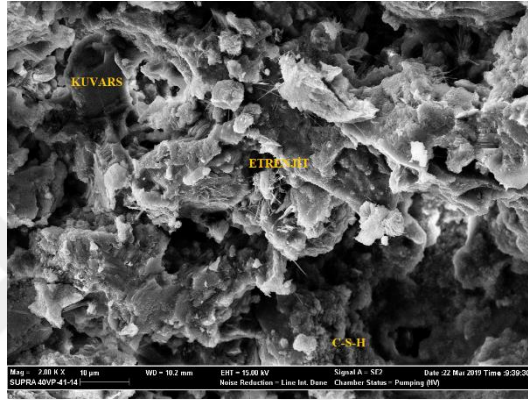
Çimento 2 ve %0,5 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin boşluksuz yapısı ve C-S-H jelinin topaklanmamış, homojen olması sebebiyle basınç dayanımının yüksek olduğu düşünülmektedir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede, C-S-H jeli topaklıdır. Melamin sülfonat esaslı numunede ise etrenjit oluşumu ve boşluklu yapı vardır (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

Çimento 2 ve %1,0 oranında naftalin sülfonat, lignosülfonat+naftalin sülfonat ve melamin sülfonat esaslı katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8.106'da verilmiştir.



a

b



c

Şekil 8.106.

Çimento 2 ve %0,2 oranında katkı ile hazırlanan 28 gün yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunenin boşluksuz bir yapıda olduğu görülmektedir. Lignosülfonat+naftalin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise C-S-H jeli homojendir. Melamin sülfonat esaslı katkı içeren numunede ise etrenjit oluşumuna rastlanmıştır, bu durum numunenin basınç dayanımındaki düşüklüğü açıklamaktadır (Topçu ve ark, 2016, El-Gamal ve ark., 2012, Yousuf ve ark., 1999, Habib ve ark., 2016).

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 katkıının 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 katkıının %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 katkıının 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’, *ACI*, 50 (2014), 162–168
- ASTM C230 / C230M-14, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM C305-14, Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- Bunaciu, A. A., Udristioiu, E. G., Aboul- Enein, H. Y., (2015). ‘X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications’, *ACI*, 45 (4), 289-299.
- Büyüksırt, T., Kuleaşan, H., (2014). ‘Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi ve Gıda Analizlerinde Kullanımı’, *GA*, 39 (4), 235-241.
- Büyükyaçıcı, A., Tuzcu G., Aras, L., (2009). ‘Synthesis of copolymers of methoxy polyethylene glycol acrylate and 2- acrylamido- 2- methyl- 1 propanesulfonic acid: its characterization and application as superplasticizer in concrete’, *GA*, 30(2009), 629-635
- Chatterjee, A.K. (2001). X-Ray Diffraction. V.S. Ramachandran, J. J. Beaudoin (Ed.), *Handbook of Concrete Technology* içinde (275-332). New York. William Andrew Publishing.
- Collepari, M., (1998). ‘Admixtures Used to Enhance Placing Characteristics of Concrete’, *ACI*, 20 (1998), 103-112
- Ekinci, C. E., Ay, S., Baykuş, N., Ay, A., (2016). ‘Lignin sülfonat esaslı yapı kimyasalların taze ve sertleşmiş betona olan etkilerinin incelenmesi’, *GA*, 22(6): 478-485.
- El- Gamal, S. M., Bin Salman, H. M., (2012). ‘Effect of addition of Sikament-R superplasticizer on the hydration characteristics of portland cement pastes’, *GA*, (2012) 8, 75–80.
- El- Gamal, S. M.A., Al- Nowaiser, F.M., Al- Baity, A.O., (2012). ‘Effect of superplasticizers on the hydration kinetic and mechanical properties of Portland cement pastes’, *GA*, 3 (2012), 119–124.

- Erdoğan T.Y. (2007). Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı
Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
- Erdoğan, S., T., Erdoğan, T., Y., (2007). ‘Kimyasal Katkı Maddeleri ve Tarihi Geçmişleri’, , Ankara: Kardelen Ofset, 11-17.
- Erdoğan, S., T., Erdoğan, T., Y., (2007). ‘Puzolanik Mineral Katkıları ve Tarihi Geçmişleri’, , Ankara: Kardelen Ofset, 262-329.
- Erdoğan, T. Y. (1995). Türkiye’de Üretilen Çimentolar, Özellikleri ve Kullanımları. ’nda sunulan bildiri, Ankara.
<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12317.pdf> (Erişim tarihi: 30.3.2019)
- Erdoğdu, Ş., (2000). ‘Compatibility of superplasticizers with cements different in composition’, *CEM*, 30 (2000), 767–773
- Feng, H., Pan, L., Zheng, Q., Li, J., Xu, N., Pang, S., (2018). ‘Effects of molecular structure of polycarboxylate superplasticizers on their dispersion and adsorption behavior in cement paste with two kinds of stone powder’, *CEM*, 170 (2018), 182–192.
- Gelardi, G., Mantellato, S., Marchon, D., Palacios, M., Eberhardt, A. B., Flatt, R. J., (2016). Chemistry of Chemical Admixtures. P., Aitcin, R. J., Flatt (Ed.). *CEM* içinde (149-281). Amsterdam: Woodhead Publishing.
- Habib, A. O., Aiad, I., Youssef, T. A., Abd El- Aziz, A. M., (2016). ‘Effect of some chemical admixtures on the physico-chemical and rheological properties of oil well cement pastes’, *CEM*, 120 (2016), 80–88.
- Habib, A.O., Aiad, I., Youssef, T.A., Ebd El- Aziz, A.M., (2016). ‘Effect of some chemical admixtures on the physico-chemical and rheological properties of oil well cement pastes’, *CEM*, 120 (2016), 80–88.
- Hallal, A., Kadri, E.H., Ezziane, K., Kadri, A., Khelafi, H., (2010). ‘Combined effect of mineral admixtures with superplasticizers on the fluidity of the blended cement paste’, *CEM*, 24 (2010), 1418–1423
- Horgnies, M., Chen, J.J., Bouillon, C., (2013). Overview about the use of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to study cementitious materials. *CEM*, UK: Southampton. S. 251-262

- Janowska-Renkas, E., (2013). ‘The effect of superplasticizers’ chemical structure on their efficiency in cement pastes’, *Journal of Applied Polymer Science*, 38 (2013), 1204–1210.
- Jumadurdiyev, A., Ozkul, M.H., Saglam, A.R., Parlak, N., (2005). ‘The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete’, *Journal of Applied Polymer Science*, 35 (2005), 874 – 882
- Kamoun, A., Jeldi, A., Chaabouni, M., (2003). ‘Evaluation of the performance of sulfonated esparto grass lignin as a plasticizer–water reducer for cement’, *Journal of Applied Polymer Science*, 33 (2003), 995–1003.
- Kandemir, G., Mutlu, M., Sağlam, A.R., Parlak, N., (2003). ‘Aşırı Dozda Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkileri’, Ankara: Alaş Matbaası, 133-142.
- Kapkaç, F., (2013). Çimento Çeşitleri, Özellikleri, Hammaddeleri ve Üretim Aşamaları, 2013(16).
- Kırgız, M. S., (2011). ‘İkameli ve Katkılı Çimento Pastalarının Hidratasyon Bileşiklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanılarak Belirlenmesine İlişkin Literatür Araştırmaları’ *Journal of Applied Polymer Science*, 24 (2011), 73-90.
- Knöfel, D., (1983). Cement Chemistry- Cement Quality. O., Labahn, B., Kohlhaas (Ed.), içinde (101-173). Berlin. Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH
- Lei, L., Plank, J., (2012). ‘Synthesis, working mechanism and effectiveness of a novel cycloaliphatic superplasticizer for concrete’, *Journal of Applied Polymer Science*, 42 (2012), 118–123.
- Liu, X., Wang, Z., Zhu, J., Zheng, Y., Cui, S., Lan, M., Li, H., (2014). ‘Synthesis, characterization and performance of a polycarboxylate superplasticizer with amide structure’, *Journal of Applied Polymer Science*, 448 (2014), 119–129.
- Mahmoud, A. A. M., Shebab, M.S.H., El-Dieb, A.S., (2010). ‘Concrete mixtures incorporating synthesized sulfonated acetophenone–formaldehyde resin as superplasticizer’, *Journal of Applied Polymer Science*, 32 (2010), 392–397.
- Mindess, S. (2008). Concrete Constituent Materials. E. G. Nawy (Ed.), içinde (s. 1-4). Boca Raton, Florida. CRC Press.

- 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’, *ACI Materials Journal*, 30 (2000), 267–273.
- Mollah, M. Y. A., Lu, F., Schennach, R., Cocke, D. L., (1999). ‘An X-Ray Diffraction, Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, and Scanning Electron Microscopy/Energy-Dispersive Spectroscopic Investigation of the Effect of Sodium Lignosulfonate Superplasticizer on the Hydration of Portland Cement Type V’, *ACI Materials Journal*, 38 (5), 849-868.
- Mollah, M. Y. A., Palta, P., Hess, T. R., (1995). ‘Chemical and Physical Effects of Sodium Lignosulfonate Superplasticizer on the Hydration of Portland Cement and solidification/ stabilization Consequences’, *ACI Materials Journal*, 25 (3), 671-682.
- Pei, M., Yang, Y., Zhang, X., Zhang, J., Dong, J., (2004). ‘Synthesis and the effects of water-soluble sulfonated acetone–formaldehyde resin on the properties of concrete’, *ACI Materials Journal*, 34 (2004), 1417–1420.
- Pickelmann, J., Plank, J., (2012). ‘A mechanistic study explaining the synergistic viscosity increase obtained from polyethylene oxide (PEO) and β -naphthalene sulfonate (BNS) in shotcrete’, *ACI Materials Journal*, 42 (2012), 1409–1416.
- Prince, W., Edwards- Lancef, M., Aitcin, P. C., (2002). “Interaction between ettringite and a polynaphthalene sulfonate superplasticizer in a cementitious paste”, *ACI Materials Journal*, 32 (1), 79-85.
- Rabbii,A., (2001). “Synthesis of Water-soluble Highly Sulphonated Melamine-formaldehyde Resin as an Effective Superplasticizer in Concrete”, *ACI Materials Journal*, 10(3), 157-163.
- Ramachandran, V. S. (1996b), ‘Concrete Science’, *ACI Materials Journal*, William Andrew Inc, Ottawa, Kanada, 1-66.
- Ramyar, K. (2007), ‘Portland çimentosu-süper akışkanlaştırıcı katkı uyumunu etkileyen faktörler’, *ACI Materials Journal*, İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 197-212.

- 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’, *ACI Materials Journal*, 42 (2012), 728–735.
- Saran, A.S.A., Magudeswaran, P., (2017). ‘SEM Analysis on Sustainable High Performance Concrete’, *Journal of Sustainable Construction*, 6 (6), 10237-10246.
- Shokrieh, M. M., Mohammadi, A. R. G., (2014). Non-destructive testing (NDT) techniques in the measurement of residual stresses in composite materials: an overview. M.M. Shokrieh (Ed), *Non-Destructive Testing in Composite Materials* içinde (58-75) Cambridge. Woodhead Publishing Limited.
- Şimşek, O. (2004). *Beton*, Ankara: Seçkin Yayıncılık San. Ve Tic. A.Ş.
- Topçu, İ. B., Atesin, Ö., (2016). ‘Effect of high dosage lignosulphonate and naphthalene sulphonate based plasticizer usage on micro concrete properties’, *Journal of Building Engineering*, 120 (2016), 189–197
- Topçu, İ. B., Canbaz, M., Karakurt, C., (2006). ‘Beton Üretiminde Kimyasal Katkı Kullanımı’, *Journal of Building Engineering*, 9 (1), 59-63.
- Trezza, M. A., (2007). ‘Hydration Study of Ordinary Portland Cement in the Presence of Zinc Ions’, *Journal of Building Engineering*, 10 (4), 331-334.
- Türk Standardı. TS EN 1015-3 (2007). Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü
- Türk Standardı. TS EN 12390-2 (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, Türk Standartları Enstitüsü
- Türk Standardı. TS EN 12390-3 (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü
- Türk Standardı. TS EN 12390-5 (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü
- Türk Standardı. TS EN 196-1 (2016). Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü
- Uyan, M., Karagüler, M., Yücesoy, S., (1996). ‘Süper akışkanlaştırıcı Katkıların Portland Çimento Harçlarının Rötresine Etkisi’, *Journal of Building Engineering*, Ankara: Maya Basın Yayın, 73-80.

- Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Ersoy, B., Evcin, A., (2017). ‘Kendiliğinden yerleşen polimerik harçlarda mineral katkının reolojik özelliklere etkisi’, *İTÜ*, 32:4 (2017) 1365-1377
- Uysal, M., Yılmaz, K., (2012). ‘Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi’, *İTÜ*, 25 (1), 19-35.
- Von Hoessie, F., Plank, J., Leroux, F., (2015). ‘Intercalation of sulfonated melamine formaldehyde polycondensates into a hydrocalumite LDH structure’, *ACS*, 80 (2015), 112–117.
- Wang, H., Yang X., Xiong, W., Liu, X., Zhang, Z., (2013). ‘Synthesis and the Effects of New Melamine Superplasticizer on the Properties of Concrete’, *ACS*, 2013, 1-6.
- Yahia, A., Mantellato, S., Flatt, R. J., (2016). Concrete rheology: A basis for understanding chemical admixtures. P. Aitcin, R. J. Flatt (Ed.), *Ed* içinde (s. 97-127). Amsterdam, Hollanda. Elsevier.
- Yalçın H., Gürü M. (2006). Çimento ve Beton. Ankara: Palme Yayıncılık
- Yıldırım, T. S., Kiraz, E., (2010). ‘Betonda Orta Akışkanlaştırıcı Katkıların Performanslarının Araştırılması’, *İTÜ*, 6 (2), 9-16.
- Yılmaz, K., Alemdar, M. Y., (2003). ‘Yüksek dayanımlı betonların numune boyutundaki değişimin basınç dayanımına etkisi’, *İTÜ*, 7 (3), 241-247.
- Ylmén R., Jäglid, U., Steenari, B., Panas, I., (2009). ‘Early hydration and setting of Portland cement monitored by IR, SEM and Vicat techniques’, *ACS*, 39 (2009), 433–439.
- Zhou, M., Qiu, X., Yang, D., Wang, W., (2007). ‘Synthesis and evaluation of sulphonated acetone–formaldehyde resin applied as dispersant of coal–water slurry’, *ACS*, 48 (2007), 204–209.

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)