

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kompoze Puzolan İkameli Çimento Harçlarına Sülfatın Etkisinin Mikroyapısal
Olarak İncelenmesi

Selahattin GÜZELKÜÇÜK

TEMMUZ 2014

ÖZET

KOMPOZE PUZOLAN İKAMELİ ÇİMENTO HARÇLARINA SÜLFATIN ETKİSİNİN MİKROYAPISAL OLARAK İNCELENMESİ

GÜZELKÜÇÜK, Selahattin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. İlhami DEMİR

Temmuz 2014, 129 sayfa

Beton veya betonarme yapıların bozulmasına yol açan önemli kimyasal tehlikelerden birisi sülfattır. Bu nedenle çalışmada, kompoze katkılı çimento harçlarına sülfatın etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla katkısız çimento harcı ile birlikte, CEM I 42.5 R çimentosuna, % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında Uçucu Kül + Taban Külü, Uçucu Kül + Yüksek Fırın Cürufu, Taban Külü + Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Kül + Taban Külü + Yüksek Fırın Cürufu ikame edilerek çimento harcı hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento harçları, normal su kürü ve % 10 sodyum sülfat küründe 2, 7, 28, 90, 180, 360 gün süre ile bekletilmiştir.

Çimento harçlarında TS EN 196-1'e uygun olarak eğilme ve basınç dayanım deneyleri, ASTM C 1012 standardına uygun olarak da boyca genleşme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca % 5 ve % 20 ikameli kompoze çimento harçlarında da mikro yapılar incelenmiştir. Hazırlanan çimento hamurlarında TS EN 196-3'e uygun olarak priz başlangıcı, priz sonu ve hacimsel genleşmeler incelenmiştir.

Sonuç olarak; en yüksek basınç dayanımını normal su küründe % 5 Taban Külü + Yüksek Fırın Cürufu, sodyum sülfat küründe ise % 15 Taban Külü + Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harcı vermiştir. En az boy uzamasını ise normal su küründe % 5 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harcı, sodyum sülfat küründe ise % 20 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harcı vermiştir. Mikro

yapıda ise basınç dayanımı arttıkça C – S – H (Kalsiyum Silikat Hidrat) jelinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sodyum sülfat küründe bekletilen numunelerde etrenjitlerin normal su kürüne göre daha fazla oluştuğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taban külü, Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu, Sülfat etkisi,
Basınç dayanımı, Eğilme dayanımı, Genleşme, Mikro yapı

ABSTRACT

MİCROSTRUCTURAL İNVESTİGATİON OF THE EFFECT OF SULPHATE ON CEMENT MORTARS WITH COMPOSITE PUZOLANS

GÜZELKÜÇÜK, Selahattin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Master Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlhami DEMİR

July 2014, 129 pages

One of the important chemical threats that causes deterioration of concrete or ferroconcrete structures is sulfate. In this study, sulfate effect on cement mortars with composed additives is investigated. Therefore, cement mortar samples were prepared from pure cement mortar, % 5, % 10, % 15 and % 20 fly ash + bottom ash, fly ash + blast furnace slag, bottom ash + blast furnace slag and fly ash added to CEM 42.5 R cement. These cement mortar samples, were cured in normal water and in % 10 sodium sulfate for 2, 7, 28, 90, 180, 360 days.

According to TS EN 196-1, compressive and flexural strength experiments, according to ASTM C 1012 standards, length changes of the samples were measured. Also micro structures of % 5 and % 20 substituent compose cement mortars were examined. At the start and end of cure, volumetric expansions were observed according to TS EN 196-3.

Consequently, highest compressive strength variations were measured in %5 bottom ash + blast furnace slag substituted cement mortar in normal water cure and %15 bottom ash + blast furnace slag substituted cement mortar in sodium sulfate cure. At normal water cure, %5 bottom ash + blast furnace slag substituted cement mortar, at sodium sulfate cure, %20 bottom ash + blast furnace slag substituted cement mortar the least length changes were measured. In addition to the compressive strength

increase, C – S – H (Calcium Silicate Hydrate) jelly amount increase is also observed. Likewise more ettringites are formed in samples that held in sodium sulfate cure than samples that held in normal water cure.

Keywords: Bottom ash, Fly ash, Blast furnace slag, Sulfate effect, Compressive strength, Flexural strength, Expansion, Micro structure

TEŐEKKÖR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. İlhami DEMİR'e, bana her konuda destek olan eşim ve kızıma, büyük fedakârlıklarla bana desteğini esirgemeyen arkadaşım Çağrı Göktuğ ŐENGÖL'e, teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmamı destekleyen 2011 - 73 nolu 'Uçucu Kül, Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu Karışım İkameli Çimento Harçlarının Sülfata Karşı Etkisi' isimli projelerinde, desteklerinden dolayı Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Puzolanlar.....	2
1.1.1. Puzolanların Sınıflandırılması	2
1.1.2. Yapay Puzolanlar	2
1.2. Uçucu Kül.....	3
1.2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	4
1.2.2. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	4
1.2.3. Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Yapısı	4
1.3. Yüksek Fırın Cürufu.....	5
1.3.1. Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Özellikleri.....	5
1.4. Taban Külü	6
1.5. Betonda Kalıcılık.....	7
1.6. Betonun İç Yapısı.....	7
1.6.1. Kalsiyum Silikat Hidrat (C – S – H).....	7
1.6.2. Kalsiyum Hidroksit (CH).....	8
1.6.3. Gecikmiş Etrnjit Oluşumu	8
1.6.4. Tomasit Oluşumu.....	8
1.7. Literatür Taraması	8
2. MATERYAL ve METOT	12
2.1. Materyal.....	12
2.1.1. Çimento.....	12
2.1.2. CEN Referans Kumu	12
2.1.3. Taban Külü	12
2.1.4. Yüksek Fırın Cürufu	13

2.1.5.	Uçucu Kül	13
2.1.6.	Su	14
2.1.7.	Vikat Aleti.....	14
2.1.8.	Otomatik Vikat	15
2.1.9.	Vikat Kalıbı.....	15
2.1.10.	Le Chatelier Kalıbı.....	16
2.1.11.	Su Banyosu	16
2.1.12.	Çimento Mikseri	17
2.1.13.	Hassas Terazî	17
2.1.14.	Boy Ölçer	18
2.1.15.	Çimento Presi.....	19
2.1.16.	40 x 40 x 160 Kalıp.....	19
2.1.17.	Sarsma Tablası	20
2.1.18.	Dereceli Mezür	20
2.2.	Metot	21
2.2.1.	Örneklerin Adlandırılması	21
2.2.2.	Kıvam, Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini.....	22
2.2.3.	Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri.....	25
	Deney numunelerinin hazırlanması ve kalıba doldurulması.....	27
2.2.4.	Harç Çubuklarının Boyca Uzama Deneyi	29
2.2.5.	Elektron Tarayıcı Mikroskop (SEM) ile Mikro Yapı İncelemesi.....	29
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	30
3.1.	Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi	30
3.2.	Eğilme ve Basınç Dayanımları	33
3.2.1.	Eğilme Dayanımları	33
3.2.2.	Basınç Dayanımları.....	43
3.3.	Boy Uzamaları.....	55
3.4.	Çimento Harçlarının Mikroyapısal Özellikleri.....	61
3.4.1.	Normal Su Küründe Olgunlaştırılan Katkısız Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	61
3.4.2.	% 10 Sodyum Sülfat Küründe Olgunlaştırılan Katkısız Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	64

3.4.3.	Normal Su Küründe %5 ve %20 TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	68
3.4.4.	% 10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	75
3.4.5.	Normal Su Küründe %5 ve %20 UK+TK Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	82
3.4.6.	%10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 UK+TK Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	89
3.4.7.	Normal Su Küründe %5 ve % 20 UK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	95
3.4.8.	%10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 UK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	101
3.4.9.	Normal Su Küründe %5 ve %20 UK+TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	108
3.4.10.	% 10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 UK+TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi.....	115
4.	TARTIŞMA ve SONUÇ	122
	KAYNAKLAR	127

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
2.1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri	12
2.2. Taban külünün kimyasal bileşimi	13
2.3. Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Özellikleri	13
2.4. Uçucu Kül Kimyasal Özellikleri	14
2.5. Uçucu Kül ve Taban Külü İkameli Örneklerin adlandırılması	21
2.6. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Örneklerin adlandırılması	21
2.7. Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Örneklerin adlandırılması	21
2.8. Uçucu Kül, Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Örneklerin adlandırılması	22
2.9. Kür Ortamının adlandırılması	22
2.10. Harç üretiminde kullanılan Uçucu Kül ve Taban Külü miktarları	26
2.11. Harç üretiminde kullanılan Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu miktarları	26
2.12. Harç üretiminde kullanılan Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu miktarları	26
2.13. Harç üretiminde kullanılan Uçucu Kül, Taban Külü Yüksek Fırın Cürufu miktarları	26
3.1. Priz başlangıcı, priz sonu, katılma süresi, hacim genişmesi değerleri	30
3.2. UK+TK İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları	33
3.3. UK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları	36
3.4. TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları	38
3.5. UK+TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları	41
3.6. UK+TK İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları	44
3.7. UK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları	46

3.8. TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları	49
3.9. UK+TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

	<u>Sayfa</u>
2.1. Vikat Aleti.....	14
2.2. Otomatik Vikat.....	15
2.3. Vikat Kalıbı.....	15
2.4. Le Chatelier kalıbı.....	16
2.5. Su banyosu	16
2.6. Çimento mikseri.....	17
2.7. Hassas terazi.....	17
2.8. Boy ölçer	18
2.9. Çimento presi	19
2.10. 40 X 40 X 160 Kalıp	19
2.11. Sarsma tablası.....	20
2.12. Dereceli mezür	20
3.1. Çimento harçlarının; priz başlangıç, priz sonu ve katılma süreleri	31
3.2. Uçucu Kül+Taban Külü Eğilme Dayanımı (NS).....	34
3.3. Uçucu Kül+Taban Külü Eğilme Dayanımı (SS).....	35
3.4. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (NS).....	36
3.5. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (SS)	37
3.6. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (NS)	39
3.7. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (SS).....	40
3.8. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (NS)	41
3.9. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (SS).....	42
3.10. Uçucu Kül+Taban Külü Basınç Dayanımı (NS).....	44
3.11. Uçucu Kül+Taban Külü Basınç Dayanımı (SS)	45
3.12. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (NS)	47
3.13. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (SS).....	48
3.14. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (NS).....	49
3.15. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (SS)	50

3.16. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (NS).....	52
3.17. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (SS).....	53
3.18. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Boy Uzaması (NS / SS).....	55
3.19. Uçucu Kül+Taban Külü Boy Uzaması (NS / SS).....	56
3.20. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Boy Uzaması (NS / SS).....	58
3.21. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Boy Uzaması (NS/SS)	59
3.22. Katkısız çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)	61
3.23. Katkısız çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)	62
3.24. Katkısız çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)	62
3.25. Katkısız çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)	63
3.26. Katkısız çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)	63
3.27. Katkısız çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)	64
3.28. Katkısız çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS).....	65
3.29. Katkısız çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS).....	65
3.30. Katkısız çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS).....	66
3.31. Katkısız çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS).....	66
3.32. Katkısız çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS).....	67
3.33. Katkısız çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS).....	68
3.34. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS).....	69
3.35. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS).....	69
3.36. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS).....	70
3.37. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS).....	70
3.38. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	71
3.39. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	71
3.40. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	72
3.41. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	72
3.42. TK+YFC katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS).....	73
3.43. TK+YFC katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS).....	73
3.44. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS).....	74
3.45. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)...	75
3.46. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS).....	76
3.47. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS).....	76
3.48. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS).....	77

3.49. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS).....	77
3.50. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS).....	78
3.51. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS).....	78
3.52. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS).....	79
3.53. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS).....	79
3.54. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS).....	80
3.55. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)....	80
3.56. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS).....	81
3.57. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)....	81
3.58. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS).....	82
3.59. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS).....	83
3.60. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS).....	83
3.61. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS).....	84
3.62. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	85
3.63. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	85
3.64. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	86
3.65. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	86
3.66. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS).....	87
3.67. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS).....	87
3.68. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS).....	88
3.69. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS).....	88
3.70. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS).....	89
3.71. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS).....	89
3.72. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS).....	90
3.73. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS).....	90
3.74. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS).....	91
3.75. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS).....	91
3.76. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS).....	92
3.77. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS).....	93
3.78. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS).....	93
3.79. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS).....	94
3.80. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS).....	94
3.81. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS).....	95

3.82. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS).....	96
3.83. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS).....	96
3.84. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS).....	97
3.85. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS).....	97
3.86. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	98
3.87. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	98
3.88. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	99
3.89. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	99
3.90. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)...	100
3.91. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS).	100
3.92. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)...	101
3.93. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS).	101
3.94. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)	102
3.95. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)	102
3.96. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)	103
3.97. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)	103
3.98. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)	104
3.99. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS) ...	104
3.100. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS) ...	105
3.101. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS) .	105
3.102. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS) .	106
3.103. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)	106
3.104. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS) .	107
3.105. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)	107
3.106. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)	108
3.107. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)	109
3.108. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)	109
3.109. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)	110

3.110. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	110
3.111. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS).....	111
3.112. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	111
3.113. UK+TK+YFC katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS).....	112
3.114. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS).....	112
3.115. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS).....	113
3.116. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS).....	113
3.117. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS).....	114
3.118. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS).....	115
3.119. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS).....	115
3.120. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS).....	116
3.121. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS).....	116
3.122. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS).....	117
3.123. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS).....	117
3.124. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS).....	118
3.125. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS).....	118

3.126. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS).....	119
3.127. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS).....	119
3.128. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS).....	120
3.129. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS).....	120

KISALTMALAR DİZİNİ

C – S – H	Kalsiyum Silikat Hidrat
CH	Kalsiyum Hidroksit
UK	Uçucu Kül
YFC	Yüksek Fırın Cürufu
TK	Taban Külü
NS	Normal Su
SS	Sodyum Sülfat

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisi, insanoğlunun ihtiyaçları; kullanılabilirlik açısından yaşam şartlarına uygun mühendislik faaliyetlerinin beton tasarımında etkili olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Buna göre mühendislik çalışmaları betonun durabilitesinin mevcut olandan daha iyi bir duruma getirilebilmesine ilave çimentolu malzemelerin kullanılmasına ve bunların korunmasına yönelik olmak zorundadır. Bu çalışmanın amacı beton ve harçlarda mineral katkı kullanarak; CO₂ emisyonunu, enerji tüketimini ve buna bağlı olarak da çimento üretiminin çevreye olumsuz etkisini de azaltmaktır.

Mineral katkı malzemesi olarak beton üretiminde kullanılan birçok malzeme çeşidi vardır. İnce taneli olan mineral katkı malzemeleri, kullanılan malzemelerin miktar ve özelliklerine bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkileyebilmektedir. Mineral katkı maddesi kullanılarak aşağıdaki amaçların bir veya birden fazlasına ulaşmak mümkün olabilmektedir [1].

- Taze betonda işlenebilirliği arttırmak,
- Terlemeyi veya segregasyonu azaltmak,
- Hidratasyon ısını azaltmak,
- Alkali – Silika reaksiyonundan kaynaklanabilecek genleşmeyi azaltmak,
- Su geçirimsizliğini azaltmak,
- Son dayanımı arttırmak,
- Sülfata karşı dayanıklılığı arttırmak,
- Ekonomik beton üretmek

Termik santrallerin endüstri de kullanılması mümkün olmayan kalorisi düşük kömür yataklarının yakınına kurulması enerji üretiminin artırılmasına yönelik olumlu bir çalışma olarak görülebilir. Ancak termik santrallerin kömüre dayalı olması ekoloji sorunlar ortaya çıkarabileceği gibi ekonomik ve teknik sorunları da bir arada getirebilir [1].

1.1. Puzolanlar

Puzolanların tek başlarına çok az bağlayıcılık özelliği vardır veya hiç bağlayıcılık özelliği yoktur. Ancak, inorganik madde olan puzolanlar nemli ortamlarda çok ince bir şekilde öğütüldüklerinde ve normal sıcaklıklarda kireç (Ca(OH)_2) ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanırlar ve bu malzemeler genellikle silis veya silis – alümin kökenli malzemelerdir. [2]

Puzolanların yapısında fazla miktarda bulunan silisin ve alüminin yanı sıra demir oksit, kalsiyum oksit, alkaliler ve karbon da bulunabilir. [1]

Puzolanların mineralojik ve kimyasal yapısı ile özgül yüzey alanı puzolanik aktiviteyi etkileyen en önemli faktörler arasında yer alır. [2]

Puzolanik malzemelerin yeterli aktiviteyi gösterebilmeleri için yeteri kadar ince taneli olmaları, amorf yapıda olmaları ve yeteri kadar silis, alümin ve demiroksit içermeleri gerekir. [1]

1.1.1. Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Volkanik küller, volkanik tüfler, volkanik camlar, ısıtılmış killer ve şeyler, diatomlu topraklar doğal puzolanlar grubu içindedir. Yapay puzolanlar ise endüstriyel yan ürünler, uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufudur [1].

1.1.2. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar, endüstriyel üretimler sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan ve puzolanik özellik gösteren malzemelerdir. En çok kullanılan yapay puzolanlar uçucu kül, granüle yüksek fırın Cürufu ve silis dumanıdır. Çin, Hindistan, Pakistan gibi bazı Asya ülkelerinde pirinç kabuğu külü de, yaygın olarak kullanılan bir başka yapay

puzolandır [3]. Bu yapay puzolanlara ek olarak ülkemizde ve dünyada taban külü ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

1.2. Uçucu Kül

Uçucu küller puzolanik aktivite gösteren ve kendi başlarına bağlayıcılık özelliği göstermeyen ya da çok az gösteren puzolanlardır. Nemli ortamda ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile kimyasal reaksiyona girerek, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) bileşenlerini oluşturarak bağlayıcılık özelliği kazanır [2].

Kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde atık bir ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Bu malzeme çok ince taneli olup baca gazları ile taşınır ve uçucu kül adını alır. Bütün endüstriyel atıklarda olduğu gibi uçucu küllerden de yararlanma olasılıkları araştırılmıştır. Başta çimento ve beton katkı maddesi olarak kullanılmasının yanı sıra silindirle sıkıştırılmış betonlarda beton blok ve boruların üretiminde, özel işlemlerle hafif dayanıklı agrega elde edilmesinde, asfalt ve beton yollarda yol temel tabakalarında filler olarak, zemin stabilizasyonunda, katı atıkların stabilizasyonu, boya üretimi, endüstriyel seramik üretimi ve bitki yetiştirilmesinde kullanılabilir [4].

Uçucu küller kullanılan kömürün yapısına, yanma şekline, sıcaklığına, kül toplama şekline, oksidasyon koşullarına göre farklılıklar gösterir [5].

Genel olarak silisli ve alüminli yapısından dolayı puzolanik özellik gösterir ve çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılabilir. İnce ve küresel taneli olması sebebi ile taze betonda işlenebilmeyi artırır ve ayrıca hidrasyon ısısını azaltır. Çimentonun hidrasyonu sonucu oluşmuş olan kireçle reaksiyona girerek ek bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurarak betona dayanıklılık kazandırır [4].

Ayrıca uçucu külün çeşitli alanlarda kullanılması atık bir maddenin ortadan kalkması açısından uzun ve kısa vadeli olarak çevresel açıdan da çok önemlidir.

1.2.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

ASTM C 618' e göre uçucu küller F ve C sınıfı olarak ikiye ayrılır [6].

- F sınıfı Uçucu Küller → $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \% 70$ (bitümlü kömürden elde edilmiş)
(CaO oranı % 10 ' un altında olduğu için düşük kireçli olarak adlandırılır)
(Yalnızca puzolanik özelliğe sahip)
- C sınıfı Uçucu Küller → $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \% 50$ (bitümlü kömürden elde edilmiş)
(CaO oranı % 10 ' un üstünde olduğu için yüksek kireçli olarak adlandırılır)
(Puzolanik özelliğin yanı sıra bir miktar bağlayıcılık özelliğe sahip)

1.2.2. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel özelliklerini incelik ve yoğunluk açısından ele alacak olursak; Uçucu küller, iri orta ve ince olmak üzere tane büyüklüğü açısından üçe ayrılır. Uçucu külün inceliği arttıkça ve karbon oranı düştükçe puzolanik aktivitelerin artacağı söylenmektedir.

Uçucu küllerin yoğunlukları inceliğe ve mineralojik yapıya bağlı olmakla birlikte yoğunlukları genellikle 1,9 - 2,4 g / cm³ arasında değişmektedir [7].

1.2.3. Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Yapısı

Uçucu küllerin kimyasal yapılarındaki ana elementler Si, Al, Ca, Fe ve S' dir. Belirtilen elementleri yanma biçimlerine göre SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, Fe_3O_4 , CaO ve SO_3 oluşturur. Bu elementlerin haricinde, daha az miktarda MgO, Na_2O , K_2O , TiO_2 gibi oksitler bulunabilir. Uçucu küllerin karbon içeriği termik santrallerin verimine bağlı olmakla birlikte genel olarak yaklaşık % 3 civarındadır [7].

1.3. Yüksek Fırın Cürufu

Ham demir üretiminde atık malzeme olan yüksek fırın cürufu, yüksek fırınlarda, daha hafif olması sebebi ile ham demirin üzerinde kalır. Demir filizi gangi, kireçtaşı ve kokun yanma sonucundaki artıkları yüksek fırın cürufunu oluşturur. Yüksek fırın cürufunun oluşumu 1400 ila 1600 °C arasında gerçekleşmektedir. Yüksek fırın cürufu yavaş soğutulduğunda kristal bir yapıya sahiptir ve bu hali ile beton agregası olarak kullanılabilir. Diğer yandan, hızlı soğutma uygulanırsa camsı yapıda cürufu elde edilir ve bu hali granüle yüksek fırın cürufu adını alır [8] .

Yüksek fırın cürufunun ani soğuması için iki yöntem kullanılır. Bunlardan ilki Granülasyon Yöntemi ikincisi ise Pelteleme Yöntemidir. Granülasyon Yönteminde soğutma işlemi çok fazla su ile (yaklaşık 100 m³/ton) yapılır. Bu sebeple Cürufun içerdiği su miktarı % 30 civarındadır. Fazla suyu cüruftan uzaklaştırmak için kurutucu değirmenler ve filtreli havuzlar kullanılır. Granülasyon yöntemi ile elde edilen granüle yüksek fırın cürufu özellikleri itibarı ile en iyi olanıdır. Ancak uygulamasının pahalı olması kullanımı kısıtlamaktadır [8] . Diğer yandan, Kanada’ da geliştirilmiş olan Pelteleme yöntemi ise daha yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu yarı kuru proseste erimiş halde bulunan cüruf önce suyla soğutulur daha sonra dakikada 3000 tur dönen bir tambur ile havaya fırlatılır. Bu yöntemle 1 ton cüruf için yaklaşık 1 m³ su kullanılır. Bu işlem sonucunda cüruf içinde yaklaşık su miktarı % 10 un altındadır. Bu yöntemle birkaç farklı boyutta cüruf elde edilir. Büyük boyutlu olanlar (4-15mm) çok gözeneklidir ve kısmen kristal yapıya sahiptir. Camsı yapıya sahip olanların boyutu ise 4 mm’ den küçük olanlardır. Bunlar çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılırlar [8].

1.3.1. Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Özellikleri

Granüle yüksek fırın cürufunun belli bir sınır değere kadar puzolanik özelliği CaO / SiO₂ oranının artışı ile doğru orantılıdır. Ancak CaO oranının çok yüksek olması ile birlikte puzolanik özellikte de azalma görülür. Sabit bir CaO / SiO₂ oranı için Al₂O₃ miktarı artışı ise cürufun puzolanik aktivitesini arttırmaktadır. Cüruf içerisinde MgO

oranının % 10 a kadar olması dayanıma olumsuz etki yapmamakla birlikte % 10' un üzerindeki MgO oranları ise zararlıdır [9].

Büyük miktarda SiO₂ ve Al₂O₃ içeren ve amorf yapıya sahip olan granüle yüksek fırın cürufu, öğütülerek çok ince taneli hale getirildiğinde doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özellikleri ile benzerlikler göstermektedir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun yüksek miktarda CaO içermesi nedeni ile kendiliğinden de bir miktar bağlayıcılık özelliği bulunmaktadır [1].

Pik demir elde edilirken yüksek fırında demir cevheri içindeki SiO₂ ve Al₂O₃ içeren gayri saflıklar yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki CaO tarafından bağlanır. Böyle oluşan cürufun bileşimi portlant çimentosu ile oldukça benzerlikler gösterir. Yüksek fırın çıkışında hızla soğutulması gerekir ve en az 2 / 3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca bileşiminde CaO, MgO ve SiO₂ miktarı toplamı en az 2 / 3 oranında olmalıdır. (CaO+MgO) / SiO₂ orantısının da 1 den fazla olması gerekmektedir [10].

Granüle yüksek fırın cürufunun betonda kullanılabilirliğinin belirlenmesinin en iyi yolu dayanım ve dayanıklılık kriterlerine uygun deneylere tabi tutmakla birlikte öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcılık özelliğini etkileyen faktörler; cürufun kimyasal bileşimi, reaksiyondaki alkali konsantrasyonu, cürufun amorflik derecesi, cürufun inceliği, hidrasyonun ilk esnadaki sıcaklığı olarak sıralanabilir [1].

1.4. Taban Külü

Taban külü termik santrallerde yanmış olan kömürden geriye kalan kül olup bir çeşit endüstriyel katı atıktır. Yakılan kömürün yaklaşık % 20- 25'i kadar kül ortaya çıkmaktadır. Bu külün belirli bir kullanım alanı yoktur ve depo alanlarında depolanmakta veya su ile bulamaç haline getirilip denize boşaltılmaktadır. Bu her iki durumda da çevre kirliliği yaratmaktadır. Diğer yandan bu atığın depolanmasının da bir maliyeti vardır ve depolama da tam bir çözüm olarak gözükmemektedir. Bu sebeple

endüstriyel ekoloji kavramı içerisinde bu atığa yeni kullanım alanları bulunması gereklidir [11].

1.5. Betonda Kalıcılık

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar bozulmaya uğramadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite denir. Mekanik yollar haricinde bozulmaya etki eden ana faktörler su veya nemin varlığıdır. Su kimyasal reaksiyonların oluşumuna katkı sağlar hem de betonun içine zararlı maddeleri taşır. Suyun beton içerisinde ilerlemesi, beton içindeki boşlukların türüne, dağılımına, çapına ve küçük veya büyük boyuttaki çatlakların varlığına bağlıdır. Bu nedenle kalıcılığın sağlanması için çatlakların engellenmesi ve boşluk dağılımlarının kontrol edilmesi gerekir [12].

Beton veya betonarme elemanların zaman içerisinde bozulmalarına çeşitli iç ve dış etkenler sebep olmaktadır. Dış etkiler; sülfat etkisi, donma – çözülme, aşınma, karbonatlaşma, asit baz ve tuz etkileri iken iç etkiler ise; alkali – agrega reaksiyonu, gecikmiş etrenjit oluşumu, agrega ve çimento harcının termal özellikleri arasındaki farklılıklar gibi etkiler sayılabilir [12].

1.6. Betonun İç Yapısı

1.6.1. Kalsiyum Silikat Hidrat (C – S – H)

Kalsiyum silikat hidrat fazı, tamamen hidrate olmuş portlant çimentosu hamurunun özelliklerini belirleyen en önemli fazlardandır. C – S – H ' in morfolojik yapısı ise zayıf kristalin liflerden ağıs yapıya dönüşmesi şeklindedir. C – S – H erken yaşlardaki hidratasyon süresince, çimento tanesinin yüzeyinden düşük yoğunluklu ince tabakalar oluşturarak içe, su dolu boşluklara doğru gelişir. İkinci aşamada ise C – S – H hidrate olmuş çimento partiküllerinin çevresinde yoğun bir şekilde görülür [2].

1.6.2. Kalsiyum Hidroksit (CH)

CH morfolojisi genellikle tanımsız bir şekilden büyük plakların kümelenmesine doğru değişkenlik göstermektedir. (C – S – H) ile karşılaştırıldığında çok düşük yüzey alanına sahip olmasından dolayı dayanıma katkısı azdır, hidrasyon ürünleri arasında çözünen en zayıf bileşendir [2].

1.6.3. Gecikmiş Etrnjit Oluşumu

Yapıya dışarıdan giren sülfat iyonları, sertleşmiş betonda alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle reaksiyona girip alçıtaşı ve etrenjiti oluştur, bu da betonun hasar görmesine neden olmaktadır. Dış ortamdan sülfat iyonu girişi olmayıp çimentonun sülfat içeriğinden kaynaklı zararlı oluşum ise gecikmiş etrenjit oluşumu olarak adlandırılır [12].

1.6.4. Tomasit Oluşumu

Tomasit etrenjit kristallerine çok benzeyen bir kafes yapısına sahiptir. Bu sebeple etrenjit ve tomasitin birbirinden ayırt edilmesi zor olup tomasit, Al_2O_3 yerine SiO_2 bileşeni içermektedir. Tomasitin hacim genişmesi etrenjitin % 45 ' i kadardır [12].

1.7. Literatür Taraması

Yu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; uzun süreli kür yaşı için (iki yıla kadar) uçucu külün karışık çimento pastasındaki gözenek yapısı incelenmiştir. Betonun dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek ve katı yan ürünlerin tamamen kullanılmasını sağlamak için uçucu kül beton araştırma sahasında çimento yerine kullanılmaktadır. Betonda uçucu kül kullanımı çimento pastasının gözenek yapısını etkiler ki bu da betonun akıcılık özellikleri üzerinde etki gösteren en önemli faktörlerdendir. Bu çalışmada toplam gözenekliliği, gözenek boyutunu ve dağılımını incelemek için değişik su / bağlayıcı oranları ve uçucu dozajının karışık çimento pastasındaki etkileri incelenmiştir. Sonuç

olarak; uçucu kül eklenmesi total poroziteye katkıda bulunmuş, daha geç olgunlaşma yaşında karıştırılmış çimento pastaları referans numunelere göre daha küçük poroziteye sahip oldukları görülmüş [13].

Wang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; % 50 oranında uçucu kül içeren dört yaşındaki sertleşmiş çimento harcının mikroyapısı incelenmiştir. 90 gün ila 4 yıl içerisindeki süreçte uçucu külün puzolanik reaksiyonuna bağlı olarak, çimento – uçucu kül karışımının normal çimento pastasına oranla gözenek yapısının belirgin olarak daha iyi olduğu görülmüştür. 4 yaşındaki sertleşmiş çimento – uçucu kül pastasındaki jelin atom oranları $Ca / Si = 1,52$, $Al / Si = 0,33$, $Ca / (Si+Al) = 1,15$ şeklinde bulunmuştur. Bu da jelin daha düşük bir Ca / Si atom atom oranına sahip olduğu, portlan çimentosu pastasına oranla Al içeriği açısından daha zengin olduğu görülmüştür [14].

Kurama ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; taban külünün beton endüstrisinde kullanılabilirliğini belirlemek ve değerlendirmek için yapılmıştır. Laboratuvar deneylerinde portland çimentosu yerine % 25 e kadar taban külü ikame edilmiştir. Yanmamış karbon içeriğini azaltmak için taban külü üç değişik işlemde geçirilmiştir. Öğütme, ayrıştırma ve elektrostatik ayrıştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre taban külünün % 10' a kadar portland çimentosu yerine kullanılması betonun mekanik özelliklerini iyileştirmiş ve bu nedenle betonda kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır [15].

Jaturapitakkul ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; taban külünün puzolanik materyal olarak kullanımı araştırılmıştır. Taban külünün öğütmeden önceki ve sonraki fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş taban külü harç ve beton karışımındaki CEM-I yerine kullanılmıştır. Taban külünde ki parçalar büyük, poroz ve düzensiz biçimde olduğu için öğütme işlemi yapılarak partikül boyutu ve porozitesi azaltılmıştır. Bu çalışma ile öğütülmüş taban külünün iyi bir puzolanik materyal olarak kullanılacağı sonucuna varılmıştır [16].

Özkan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; taban külü ve yüksek fırın cürufu içeren betonların basınç dayanımları ve durabilitesi incelenmiştir. Taban külü ve yüksek fırın Cürufu öğütülmüş ince agrega yerine ikame edilmiştir. Deneysel olarak 7, 28, 90

günde su emme birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımları incelenmiştir. Betonun basınç dayanımı, su emme ve birim hacim ağırlığı da azalma görülmüştür. Bu çalışma ile taban külü ve yüksek fırın cürufu oranları kabul edilebilir bir miktarla sınırlandırılırsa basınç dayanımındaki hafif azalma beton çalışmalarında kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır [17].

Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; uçucu kül ve öğütülmüş granüle edilmiş yüksek fırın cürufu karışımının yüksek dayanımlı betonun özelliklerine etkileri incelenmiştir. İçerisinde hem uçucu kül hem yüksek fırın cürufu içeren beton, kontrol numunesi ve yüksek volümlü kül içeren yüksek dayanımlı beton üzerine karşılaştırma çalışması yapılmıştır. Betonların 7 ve 360 gün sonunda mikroyapıları elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuçlar; uçucu kül ve yüksek fırın cürufu karışımı hem kısa hem uzun dönem özelliklerini iyileştirmiş fakat yüksek dayanımlı betonda yararlı etki için normal betona kıyasla daha uzun süreye ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir [18].

Kula ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; maden filiz atığı, kömür taban külü ve uçucu kül kullanılmıştır. Bu materyaller çimento yerine konulmuştur. Priz süresi, hacim genişmesi ve basınç dayanımı gibi fiziksel özellikler belirlenmiş ve referans karışım ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermiş ki çimento yerine kullanılan materyallerin mekanik özellikler üzerinde belirgin etkileri olduğu görülmüştür. Uçucu kül ve taban külü kullanımının % 25 lik kullanımda bile referans numunelere göre karşılaştırılabilir veya daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [19].

Özkan'ın yaptığı çalışmada GYFC ve ÇÇ, klinker-alçı karışımı ile ayrı ayrı ve birlikte yer değiştirmiş ve 22 farklı kombinasyonda çimento elde edilmiştir. Üretilen 22 farklı çimento üzerinde, incelik, özgül ağırlık, hacim sabitliği, priz süreleri, basınç ve eğilme dayanımı, sülfatlara ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Beton üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla da 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, % 50 GYFC ve % GYFC-ÇÇ katkılı harç ve betonların en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Bu betonlar özellikle sülfatlara ve yüksek sıcaklığa Portland çimentosuna göre daha dayanıklı olduğu görülmüştür [20].

Dorum ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; yüksek fırın cürufunun (YFC) katkılı çimento özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Portland çimentosu (PÇ) ve YFC katkılı çimentonun fiziksel, kimyasal, mineralojik ve mekanik özelliklerinin yanı sıra YFC-PÇ taneciklerinin elektrokinetik potansiyelleri (zeta potansiyel) belirlenmiştir. PÇ ve YFC katkılı çimento hamurlarının hidrasyon sırasında mineralojik yapısını ve faz gelişimini belirlemek için DTA-TG, XRD ve FT-IR analizleri yapılmıştır. Ayrıca 28 günlük mikro yapıları SEM ile belirlenmiş ve harç numuneleri, dayanım testleri yapılarak incelenmiştir. YFC'nin priz süresini arttırırken, su ihtiyacını ve hidrasyon süresince açığa çıkan Ca(OH)_2 miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca YFC, PÇ'ye göre farklı elektrokinetik davranışlar ve yüzey özellikleri göstermiştir [21].

Dede tarafından yapılan çalışmada; uçucu kül miktarı arttırılıp çimento miktarı azaltıldıkça eğilme ve basınç dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir [22].

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Yapılan çalışmada TS 197-1'e uygun CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1 de verilmiştir [23].

Çizelge 2.1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal bileşim	CEM I 42,5 R
CaO (%)	66,04
SiO ₂ (%)	13,01
Al ₂ O ₃ (%)	3,47
P ₂ O ₅ (%)	7,6
MgO (%)	1,23
Na ₂ O (%)	0,27
K ₂ O (%)	0,93
SO ₃ (%)	4,6
Özgül ağırlık	3,18
Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3352
Kızdırma Kaybı (%)	1,98

2.1.2. CEN Referans Kumu

Çalışmada kullanılan kum TS 196-1 standardında belirtilen CEN referans kumudur [25].

2.1.3. Taban Külü

Çalışmada Çatalağzı termik santralinden elde edilen ve karbon miktarını en aza indirmek için 900°C de kalsine edilmiş Blaine inceliği 4350 cm²/gr olan taban külü kullanılmıştır. Kullanılan taban külünün kimyasal analizi Çizelge 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Taban külünün kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	Taban Külü (%)
SiO ₂	37,45
Al ₂ O ₃	9,03
Fe ₂ O ₃	8,02
CaO	18,08
MgO	5,79
Na ₂ O	1,67
P ₂ O ₅	11,75
K ₂ O	1,88
SO ₃	6,29

2.1.4. Yüksek Fırın Cürufu

Ereğli Demir Çelik Fabrikasından elde edilen yüksek fırın cürufu bol miktarda su ile hızlı bir şekilde soğutulmuş olup, Blaine inceliği 3750 cm²/gr dır. Kullanılan yüksek fırın cürufunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Yüksek Fırın Cürufunun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal bileşim	Yüksek Fırın Cürufu
SiO ₂ (%)	37,17
Al ₂ O ₃ (%)	9,670
Fe ₂ O ₃ (%)	0,990
CaO (%)	39,63
MgO (%)	5,400
Na ₂ O (%)	0,280
P ₂ O ₅ (%)	3,640
K ₂ O (%)	1,190
SO ₃ (%)	1,890

2.1.5. Uçucu Kül

Çalışmada Çatalağzı termik santralinden elde edilen Blaine inceliği 2200 cm²/gr olan uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan uçucu külün kimyasal analizi Çizelge 2.4 de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Uçucu Kül Kimyasal Özellikleri

Kimyasal bileşim	Uçucu Kül
SiO ₂ (%)	45,170
Al ₂ O ₃ (%)	11,161
Fe ₂ O ₃ (%)	7,403
CaO (%)	14,050
MgO (%)	4,696
Na ₂ O (%)	2,074
P ₂ O ₅ (%)	8,286
K ₂ O (%)	4,163
SO ₃ (%)	2,616

2.1.6. Su

Deneyde içme suyu kullanılmış ve ASTM C 1012 standardınca 100 g/l Na₂SO₄ çözeltisi kürü hazırlanmıştır.

2.1.7. Vikat Aleti



Şekil 2.1. Vikat Aleti

Standart kıvam tayini belirlemede vikat aleti kullanılmıştır.

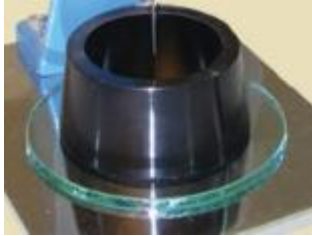
2.1.8. Otomatik Vikat



Şekil 2.2. Otomatik Vikat

Priz başlama ve priz sonu sürelerinin tespiti için otomatik vikat aleti kullanılmıştır.

2.1.9. Vikat Kalıbı



Şekil 2.3. Vikat Kalıbı

Standart kıvam tayini belirlemede, priz başlama ve priz sonu sürelerinin tespiti için vikat kalıbı kullanılmıştır.

2.1.10. Le Chatelier Kalıbı



Şekil 2.4. Le Chatelier kalıbı

Hacim genişmesi tayini için Le Chatelier kalıbı kullanılmıştır.

2.1.11. Su Banyosu



Şekil 2.5. Su banyosu

İçine Le Chatelier numunelerinin doldurulacağı, su sıcaklığını (30 ± 5) dakikada kaynama sıcaklığına ulaştıran tertibatlı, ısıtıcı su kabı kullanılmıştır.

2.1.12. Çimento Mikseri



Şekil 2.6. Çimento mikseri

2.1.13. Hassas Terazi



Şekil 2.7. Hassas terazi

Çimento, kum, uçucu kül, yüksek fırın Cürufu ve taban külünün ağırlıklarının belirlenmesinde 0,1 g hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır. DeđiŐimlerini ölçmek için kullanılır.

2.1.14. Boy Ölçer



Şekil 2.8. Boy ölçer

ASTM C 1012 standardına uygun olarak üretilen $25 \times 25 \times 285$ cm boyutundaki numunelerin boy uzamasını (değişimini) ölçmek için 0,001 mm hassasiyetli boy ölçer kullanıldı [26].

2.1.15. Çimento Presi



Şekil 2.9. Çimento presi

Tam otomatik imento presleri 40x40x160 mm boyutundaki prizma numunelerin eğilme deneyleri ve bu deneyden gelen parçaların 40x40x40 mm'lik basınç deneyleri yapmak için 196-1 standardına tam uygun olarak üretilen pres kullanılmıştır. Basınç deneyi kapasitesi 250 kN (25 ton), eğilme deneyi kapasitesi 15 kN (1,5 ton) dur [25].

2.1.16. 40 x 40 x 160 Kalıp



Şekil 2.10. 40 X 40 X 160 Kalıp

Eğilme ve basınç dayanımları için boyutları 40 x 40 x 160 olan standartlara uygun kalıplar kullanılmıştır.

2.1.17. Sarsma Tablası



Şekil 2.11. Sarsma tablası

Hazırlana harcın kalıplara yerleştirilmesinde TS EN 196-1' e uygun olarak programlanmış sarsma tablası kullanılmıştır.

2.1.18. Dereceli Mezür



Şekil 2.12. Dereceli mezür

Su miktarının belirlenmesinde hacmi % 1 doğrulukta ölçebilen dereceli mezür kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Örneklerin Adlandırılması

Çalışmada üretilen harç örnekleri Çizelge 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9. daki gibi adlandırılmıştır.

Çizelge 2.5. Uçucu Kül ve Taban Külü İkameli Örneklerin adlandırılması

Şahit numune	UK+TK 0
% 5 Uçucu Kül+Taban külü ikameli numune	UK+TK 5
% 10 Uçucu Kül+Taban külü ikameli numune	UK+TK 10
% 15 Uçucu Kül+Taban külü ikameli numune	UK+TK 15
% 20 Uçucu Kül+Taban külü ikameli numune	UK+TK 20

Çizelge 2.6. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Örneklerin adlandırılması

Şahit numune	UK+YFC 0
% 5 Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+YFC 5
% 10 Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+YFC 10
% 15 Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+YFC 15
% 20 Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+YFC 20

Çizelge 2.7. Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Örneklerin adlandırılması

Şahit numune	TK+YFC 0
% 5 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	TK+YFC 5
% 10 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	TK+YFC 10
% 15 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	TK+YFC 15
% 20 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	TK+YFC 20

Çizelge 2.8. Uçucu Kül, Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Örneklerin adlandırılması

Şahit numune	UK+TK+YFC 0
% 5 Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+TK+YFC 5
% 10 Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+TK+YFC 10
% 15 Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+TK+YFC 15
% 20 Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli numune	UK+TK+YFC 20

Çizelge 2.9. Kür Ortamının adlandırılması

Normal Su	NS
% 10 Sodyum Sülfat Çözeltisi	SS

2.2.2. Kıvam, Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini

Çimento pastasının hazırlanması

Yapılan çalışmada;

UK+TK % 0.0, 5.0, 10.0, 15, 20.0

UK+YFC % 0.0, 5.0, 10.0, 15, 20.0

TK+YFC % 0.0, 5.0, 10.0, 15, 20.0

UK+TK+YFC % 0.0, 5.0, 10.0, 15, 20.0

oranlarında yapay puzolanlar çimento yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Çimento pastasının hazırlanması TS EN 196-3'e uygun olarak;

1 g doğrulukla 500 g tartılan çimento ve 125 g (dereceli mezürle ölçülen) su karıştırıcıya koyulur. Çimento karıştırıcıya 5-10 sn arasında dökülür. İlâvenin tamamlandığı an sonraki ölçümler için sıfır zamanı olmak üzere kaydedilir. Karıştırıcı hemen 90 saniye süreyle düşük hızda olmak üzere çalıştırılır. 90 saniye sonunda 15 saniye durdurulmuş ve bu arada uygun bir kazıyıcı ile karıştırıcı kabının iç çeperlerine yapışan çimento pastası sıyrılır ve karışıma eklenir. Karıştırıcı tekrar 90 saniye düşük hızda çalıştırılır. Karıştırıcının toplam çalışma süresi 3 dakika olarak ayarlanır [24].

Çimento pastasının kalıplara doldurulması

Çimento pastası daha önce hafifçe yağlanmış taban plakası üzerine yerleştirilir. Vicat kalıbına fazla miktarda olmak üzere hiçbir sıkıştırma veya vibrasyon yapmadan hemen yerleştirilir. Kalıbın üstüne taşan çimento pastası fazlalığı düzgün kenarlı bir spatül ile yavaş testere hareketi uygulanıp sıyırılarak düzgün bir yüzey elde edilir [24].

Standard kıvam tayini

Deney için Vicat cihazına takılan sonda taban plakasının üzerine kadar indirilir ve taksimatlı gösterge üzerinde sıfır okunacak şekilde ayarlanır. Sonra sonda yukarı kaldırılarak duruş konumuna getirilir. Pastanın seviyesi ayarlandıktan sonra, hemen Vicat kalıbı ve taban plakası Vicat cihazına yerleştirilir ve sondanın altında sondanın pozisyonuna göre merkezlenir. Sonda pasta ile temas edinceye kadar yavaşça indirilir. Hareket eden parçaların hızla inmesini önlemek için sonda bu durumda 1-2 saniye tutulur. Sonra hareket eden parçalar çabuk bir şekilde serbest bırakılır ve sondanın kendi ağırlığı ile düşey olarak pastanın merkezine girmesi sağlanır. Sondanın serbest bırakılması sıfır olarak kabul edilir ve sonda başlangıç zamanından 4 dakika sonra serbest bırakılır. Sondanın batması tamamlandıktan sonra veya sondanın serbest bırakılmasından 30 saniye sonra, (hangisi önce ise) okuma yapılır. Sondanın alt yüzü ile taban plâkası arasındaki mesafeyi veren değer okunur ve bu değer, çimentonun kütlesi cinsinden yüzde olarak ifade edilmek suretiyle, pastanın su muhtevası ile birlikte kaydedilir. Sonda her batırılıştan sonra hemen temizlenir. Deney, değişik miktarlarda su içeren pastalarla, sonda ve taban plakası arasındaki mesafe (6 ± 1) mm oluncaya kadar tekrar edilir. Standard kıvama gelen pastanın su miktarı % 0,5.lik doğrulukla Standard kıvam için gerekli su miktarı olarak kaydedilir [24].

Priz başlama süresinin tayini

Deney için Vicat cihazına takılmış olan iğne taban plâkasının üzerine indirilir ve iğneli Vicat cihazı taksimatlı gösterge üzerinde sıfıra ayarlanır. Sonra iğne yukarı kaldırılarak duruş pozisyonuna alınır. Vicat kalıbı, standart kıvamdaki çimento pastası

ile doldurulur ve düzlenir. Doldurulmuş Vicat kalıbı taban plakası ile birlikte rutubet odasına veya rutubet dolabına yerleştirilir, uygun bir süre sonra Vicat cihazına ve iğnenin altına yerleştirilir. İğne, pasta ile temas edinceye kadar yavaşça indirilir. Hareket eden parçaların hızla inmesini önlemek için iğne bu durumda (1-2) saniye tutulur. Sonra hareket eden parçalar birden bırakılır ve iğnenin düşey olarak pastanın içine girmesi sağlanır. İğnenin pastaya batması tamamlandıktan sonra veya iğnenin serbest bırakılmasından 30 saniye sonra (hangisi daha önce olmuşsa) taksimatlı göstergede okuma yapılır. İğnenin ucu ile taban plakası arasındaki mesafeyi veren bu değer, sıfır anından itibaren geçen süre ile birlikte kaydedilir. İğnenin aynı numuneye batırılma işlemi, iğnenin pastaya batırıldığı noktalar arasındaki veya kalıp kenarından en az 10 mm mesafe olacak şekilde ve 10 dakikalık uygun zaman aralıkları ile tekrarlanır. Numune, iğnenin batırılma zamanları arasında rutubet odasında veya rutubet dolabında tutulmalıdır. Her batırma işleminden sonra Vicat iğnesi hemen temizlenmelidir. Sıfır olarak kabul edilen başlangıç zamanından itibaren iğne ile taban plakası arasındaki mesafe (4 ± 1) mm oluncaya kadar geçen süre en yakın 5 dakikaya yuvarlatılarak priz başlangıç süresi olarak kaydedilir. Gereken doğruluk batma deneylerindeki zaman aralıklarının prizin başlamasına yakın azaltılması ile sağlanabilir ve başarılı deney sonuçlarında aşırı farklılık gözlenmez [24].

Priz sonu süresinin tayini

Taban plakasının üzerinde bulunan priz başlama süresi tayini için kullanılmış olan dolu kalıp, priz sonu süresi tayini için ters çevrilir. Böylece priz sonu süresinin tayini, pastanın başlangıçta taban plakası ile temas eden yüzeyi üzerinde yapılır. İğne, küçük batmaların doğru şekilde gözlenebilmesini kolaylaştırmak için iğne bağlantı halkası ile cihaza tutturulur. Priz başlama süresi tayinindeki işlem uygulanır. Pastaya batırma işlemleri arasındaki zaman aralıkları, meselâ 30 dakikaya kadar arttırılabilir. Numune, batırma işlemleri arasında rutubet odasında veya dolabında tutulmalıdır. Her batırma işleminden sonra Vicat iğnesi hemen temizlenmelidir. İğnenin ilk 0,05 mm kadar battığı an ile sıfır olarak kabul edilen zaman, en yakın 15 dakikaya yuvarlatılarak priz sonu süresi olarak kaydedilir. Gereken doğruluk bağlantı halkasının pasta üzerinde ilk

işaret bıraktığı andan itibaren priz sonu yaklaştıkça zaman aralıklarının azaltılması ile sağlanabilir ve başarılı deney sonuçlarında aşırı farklılık gözlenmez [24].

Hacim Genleşmesi Tayini

Deney aynı çimento pasta karışımından aynı anda iki numune üzerinde yapılır. Standard kıvamda bir çimento pastası hazırlanır. Hafif yağlanmış Le Chatelier kalıbı yine hafif yağlanmış olan plakanın üzerine koyulur ve sıkıştırmaksızın veya vibrasyon yapmaksızın hemen çimento pastası ile doldurulur, düz kenarlı bir spatül kullanarak, üst yüzeyin seviyesi ayarlanır. Doldurma sırasında kalıbın yarık kısmının açılmaması için uçlar bir lastik bantla tutturulur. Kalıbın üstü hafif yağlanmış plâka ile örtülür, ve bütün cihaz hemen rutubet dolabına konulur. Burada $(24 \pm 0,5)$ saat (20 ± 1) C° de ve % 98 den az olmayan bağıl nemde muhafaza edilir. $(24 \pm 0,5)$ saatlik süre sonunda gösterge uçları arasındaki mesafe (A) en yakın 0,5 mm.ye yuvarlatılarak ölçülür. Sonra kalıp (30 ± 5) dakika içinde kaynama sıcaklığına kadar ısıtılır ve su banyosu kaynama sıcaklığında $(3 \text{ saat} \pm 5 \text{ dakika})$ bekletilir. Kaynama süresi sonunda gösterge uçları arasındaki mesafe (B), en yakın 0,5 mm ye yuvarlatılarak ölçülür. Kalıbın (20 ± 2) C° ye kadar soğuması beklenir. Gösterge uçları arasındaki mesafe (C), en yakın 0,5 mm ye yuvarlatılarak ölçülür. Her numune için (A) ve (C) ölçümleri kaydedilir ve (C-A) farkı hesaplanır. (C-A) nın iki değerinin ortalaması en yakın 0,5 mm ye yuvarlatılarak hesaplanır [24].

2.2.3. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri

Eğilme ve basınç deneyleri için TS EN 196-1 standardına uygun olarak 40×40×160 cm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 2.10., 2.11., 2.12., 2.13., de verilmiştir.

Çizelge 2.10. Harç üretiminde kullanılan Uçucu Kül ve Taban Külü miktarları

UK+TK İkamesi (%)	Çimento (gr)	Uçucu Kül (gr)	Taban Külü (gr)	Su (gr)	CEN Standart Kum (gr)
5	427.50	11.25	11.25	225	1350±5
10	405.00	22.50	22.50	225	1350±5
15	382.50	33.75	33.75	225	1350±5
20	360.00	45.00	45.00	225	1350±5

Çizelge 2.11. Harç üretiminde kullanılan Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu miktarları

UK+YFC ikamesi (%)	Çimento (gr)	Uçucu Kül (gr)	Yüksek Fırın Cürufu (gr)	Su (gr)	CEN Standart Kum (gr)
5	427.50	11.25	11.25	225	1350±5
10	405.00	22.50	22.50	225	1350±5
15	382.50	33.75	33.75	225	1350±5
20	360.00	45.00	45.00	225	1350±5

Çizelge 2.12. Harç üretiminde kullanılan Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu miktarları

TK+YFC ikamesi (%)	Çimento (gr)	Taban Külü (gr)	Yüksek Fırın Cürufu (gr)	Su (gr)	CEN Standart Kum (gr)
5	427.50	11.25	11.25	225	1350±5
10	405.00	22.50	22.50	225	1350±5
15	382.50	33.75	33.75	225	1350±5
20	360.00	45.00	45.00	225	1350±5

Çizelge 2.13. Harç üretiminde kullanılan Uçucu Kül, Taban Külü Yüksek Fırın Cürufu miktarları

UK+TK+YFC ikamesi (%)	Çimento (gr)	Uçucu Kül (gr)	Taban Külü (gr)	Yüksek Fırın Cürufu (gr)	Su (gr)	CEN Standart Kum (gr)
5	427.50	11.25	11.25	225	427.50	1350±5
10	405.00	22.50	22.50	225	405.00	1350±5
15	382.50	33.75	33.75	225	382.50	1350±5
20	360.00	45.00	45.00	225	360.00	1350±5

Harç hazırlanması

Harç bileşenlerinin oranları kütlece; bir kısım çimento üç kısım standart kum ve ½ kısım su (su/çimento oranı 0,50) şeklinde hazırlanır. Üç deney prizmasına yetecek her takım için her karışım (450 ± 2) g çimento, (1350 ± 5) g kum ve (225 ± 1) g sudan oluşturulur. Laboratuvar sıcaklığında olan cihazlar ve çimento, kum, su ± 1 g doğrulukta terazi ile tartılır.

Karıştırıcı çalışır durumda iken:

- Karıştırma kabına su konulur ve çimento eklenir.
- Karıştırıcı düşük hızda çalıştırılmaya başlanır ve 30 saniye sonra, kum, 30 saniye içinde sürekli olarak ilâve edilir. Karıştırıcı yüksek hıza ayarlanır ve karıştırmaya 30 saniye daha devam edilir.
- Karıştırıcı, 1 dakika 30 saniye sonra durdurulur. İlk 15 s lastik sıyrıcı ile kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç sıyrılır ve kabın ortasına toplanır.
- Karıştırmaya yüksek hızda 60 s daha devam edilir.

Böylece harç kalıplara doldurmaya hazır hale gelir [25].

Deney numunelerinin hazırlanması ve kalıba doldurulması

Deney numuneleri (40 mm × 40 mm × 160 mm)' lik prizma şeklinde hazırlanır. Harcın hazırlanmasını müteakip kalıplar hemen doldurulur. Kalıp ve kalıp başlığı sarsma tablasına sıkıca tutturulur. Uygun bir kaşıkla karıştırma kabından doğrudan bir veya bir kaç defada, iki harç tabakasından ilki (her biri 300 g olmak üzere) her kalıp bölümüne doldurulur. Harç tabakası, büyük yayıcı ile, kenarlarından dik pozisyonda tutularak ve kalıp başlığıyla temas halinde olmak üzere, kalıbın her bölümünde bir kez olmak üzere ileri geri hareket ettirilerek düzgün şekilde yayılır. Sonra bu birinci tabaka 60 sarsma ile sıkıştırılır. İkinci tabaka harç kalıba doldurulur ve küçük yayıcı ile bu tabaka da düzeltilir ve ikinci 60 sarsma ile sıkıştırılır. Kalıp itina ile sarsma tablasından kaldırılır ve kalıp başlığı çıkarılır. Harcın fazlası derhal hemen hemen dik tutulan bir metal masterla sıyrılır ve her yöne doğru bir kere enine testere hareketi ile çekmek suretiyle yavaş yavaş hareket ettirilir. Prizmaların yüzeyi, aynı master hemen hemen

düz tutularak düzleştirilir. Prizmaları ve sarsma tablasına göre konumlarını tanımlamak amacıyla kalıplar etiketlenir [25].

Deney numunelerinin deneye hazırlanması

Üzeri plâka ile kapatılmış, uygun şekilde işaretlenmiş kalıplar geciktirilmeden yatay olarak rutubet kabineye konulur. Her kalıp muhafaza edildiği yerden sökmek üzere 24 saat sonra rutubet kabininden alınır ve kalıplar dikkatlice sökülür. Suda kür uygulanacak numuneler daha sonra tanımlanabilmeleri için, suya dayanıklı kalemle uygun şekilde işaretlemeler yapılır. İşaretlenmiş prizmalar geciktirilmeden $(20 \pm 1) C^{\circ}$ 'da su bulunan kaba uygun şekilde yatay olarak daldırılır. Numuneler, paslanmaz ızgaraların üzerine, su prizmanın bütün yüzeyleri ile temas edebilecek şekilde ayrı ayrı yerleştirilir [25].

Eğilme dayanımı

Eğilme dayanımı için numuneler 2, 7, 28, 90, 180 360 gün normal su ve % 10 sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen numuneler kür havuzundan çıkarılarak eğilme dayanımına tabi tutulmuştur. 40*40*160 boyutunda prizmatik çubuklar, her bir değer için üç adet kırılmış ve bu sonuçların aritmetik ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır [25].

Basınç dayanımı

Eğilme dayanımı sonucu 6 adet 40*40*40 boyutundaki numuneler ile basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı cihazı deney için uygun kapasitede ve $(2400 \pm 200)N/s$ yükleme hızında ayarlanmıştır. Cihazda yükleme hızını ayarlayabilen ve sonuçları kaydedebilen sistemler kullanılmıştır. Eğilme deneyinden sonra elde edilen yarım prizmalar cihazın plakaları arasına ± 5 mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek yerleştirilmiştir. Cihaz $(2400 \pm 200) N/s$ hızda prizma kırılana kadar

yükleme yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyinin sonucu, 3 prizmalık takımdan tayin edilen 6 adet sonucun aritmetik ortalaması olarak ifade edilmiştir. 6 adet sonuç içerisinde biri ortalamadan $\pm \%10$ ' dan fazla farklılık gösterdiği durumda bu sonuç atılmış ve geri kalan 5 sonucun ortalaması alınmıştır [25].

2.2.4. Harç Çubuklarının Boyca Uzama Deneyi

ASTM C 1012 standardına uygun olarak üretilen $25 \times 25 \times 285$ cm boyutundaki numuneler normal su ve $\%100$ g/l Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilerek 2, 7, 28, 90, 180 ve 360 günlük boy ölçümleri yapılmış ve boy uzamaları belirlenmiştir.

2.2.5. Elektron Tarayıcı Mikroskop (SEM) ile Mikro Yapı İncelemesi

Normal su ve $\%100$ g/l Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerin 2, 7, 28, 90, 180 ve 360 günlük numunelerin mikro yapıları incelenmiştir. Mikro yapıların incelenmesi taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılan ve numune üzerine odaklanan elektron demetinin, numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan elastik ve elastik olmayan çarpışmaların meydana getirdiği etkilerin uygun algılayıcılarda toplanarak sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

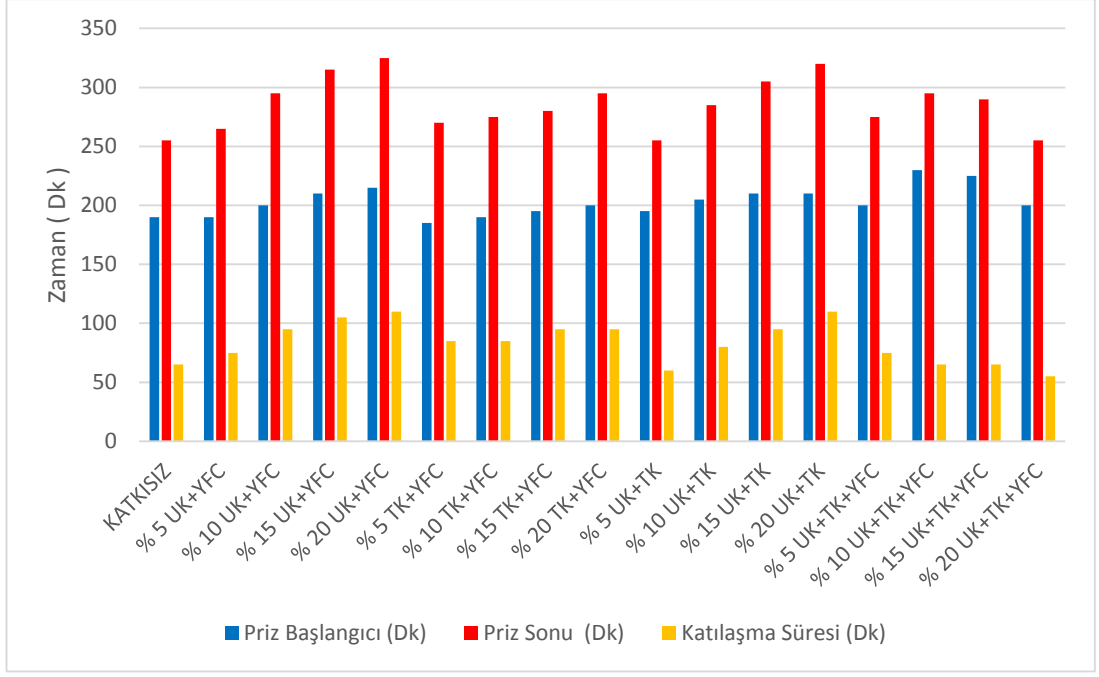
Araştırmada elde edilen bulgular sırasıyla incelenerek neden sonuç ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır.

3.1. Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi

Priz süresi ve hacim genleşmesi değerleri TS 196-1 'e uygun olarak üretilen çimento hamurlarının priz başlangıç süresi, priz sonu süresi katılaşma süresi ve hacim genleşme değerleri Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Priz başlangıcı, priz sonu, katılaşma süresi, hacim genleşmesi değerleri

Seriler	Priz Başlangıcı (Dk)	Priz Sonu (Dk)	Katılaşma Süresi (Dk)	Hacim Genleşmesi (mm)
CEM I 42,5	190	255	65	1,3
% 5 UK+YFC	190	265	75	1
% 10 UK+YFC	200	295	95	1
% 15 UK+YFC	210	315	105	1
% 20 UK+YFC	215	325	110	1
% 5 TK+YFC	185	270	85	1
% 10 TK+YFC	190	275	85	1
% 15 TK+YFC	195	280	95	1
% 20 TK+YFC	200	295	95	1
% 5 UK+TK	195	255	60	1
% 10 UK+TK	205	285	80	2
% 15 UK+TK	210	305	95	1
% 20 UK+TK	210	320	110	1
% 5 UK+TK+YFC	200	275	75	1
% 10 UK+TK+YFC	230	295	65	1
% 15 UK+TK+YFC	225	290	65	1
% 20 UK+TK+YFC	200	255	55	1



Şekil 3.1. Çimento harçlarının; priz başlangıç, priz sonu ve katılma süreleri

Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1' e göre referans numunelerde priz başlangıcı 190 dk ve priz sonu 255 dk iken kompoze çimento hamurlarında sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- UK+YFC ikameli numunelerde %5 UK+YFC ikame oranında 190 dk da priz başlangıcı gerçekleşirken 250 dk da priz sonu gerçekleşmiştir. %20 UK+YFC ikame oranında ise priz başlangıç süresi 215 dk ya priz sonu süresi ise 325 dk ya çıkmıştır. Priz başlangıç süresi ve priz sonu süresinin artmasına bağlı olarak da katılma süresi artış göstermiştir. Hacimsel genleşme değerleri incelendiğinde ise %5 UK+YFC ikame oranında 1 mm olan hacimsel genleşme değeri %20 UK+YFC ikame oranında 1 mm değerini vermiştir. Sonuç olarak UK+YFC ikame oranı artarken priz başlangıç, priz sonu ve katılma süresi artış gösterirken hacimsel genleşme miktarına etkisi olmamıştır.
- TK+YFC ikameli numunelerde %5 TK+YFC ikame oranında 185 dk da priz başlangıcı gerçekleşirken 270 dk da priz sonu gerçekleşmiştir. %20 TK+YFC ikame oranında ise priz başlangıç süresi 200 dk ya priz sonu süresi ise 295 dk ya çıkmıştır. Bu ikamede priz başlangıç süresi ve priz sonu süresinin artmasına bağlı olarak da katılma süresi artış göstermiştir. Hacimsel genleşme değerleri

incelendiğinde ise %5 TK+YFC ikame oranında 1 mm olan hacimsel genleşme değeri %20 TK+YFC ikame oranında da 1 mm değerini vermiştir. Sonuç olarak TK+YFC ikame oranı artarken priz başlangıç süresi, priz sonu süresi, katılma süresi artmış hacimsel genleşme miktarında ise herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

- UK+TK ikameli numunelerde %5 UK+TK ikame oranında 195 dk da priz başlangıcı gerçekleşirken 255 dk da priz sonu gerçekleşmiştir. %20 UK+TK ikame oranında ise priz başlangıç süresi 210 dk ya çıkarken priz sonu süresi ise 320 dk ya çıkmıştır. Priz başlangıç süresi ve priz sonu süresinin artmasına bağlı olarak da katılma süresi artış göstermiştir. Hacimsel genleşme değerleri incelendiğinde ise %5 UK+TK ikame oranında 1mm olan hacimsel genleşme değeri, %20 UK+TK ikame oranında da 1 mm değerini vermiştir. Sonuç olarak UK+TK ikame oranı artarken priz başlangıç süresi, priz sonu süresi, katılma süresi artmıştır. Hacimsel genleşme miktarında ise herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.
- UK+TK+YFC ikameli numunelerde %5 UK+TK+YFC ikame oranında 200 dk da priz başlangıcı gerçekleşirken 275 dk da priz sonu gerçekleşmiştir.%20 UK+TK+YFC ikame oranında ise priz başlangıç süresi 200 dk da kalırken priz sonu süresi ise 255 dk ya inmiştir. Priz sonu süresinin azalmasına bağlı olarak da katılma süresi azalma göstermiştir. Hacimsel genleşme değerleri incelendiğinde ise %5 UK+TK+YFC ikame oranında 1 mm olan hacimsel genleşme değeri, %20 UK+TK+YFC ikame oranında da 1 mm değerini vermiştir. Sonuç olarak UK+TK+YFC ikame oranı, katılma süresini azaltmıştır. Hacimsel genleşme miktarında ise miktarında ise herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.
- Sonuç olarak; kompoze çimento hamurlarında genel olarak ikame oranı arttıkça priz başlangıcı, priz sonu ve katılma sürelerinde artış gözlenmiştir.

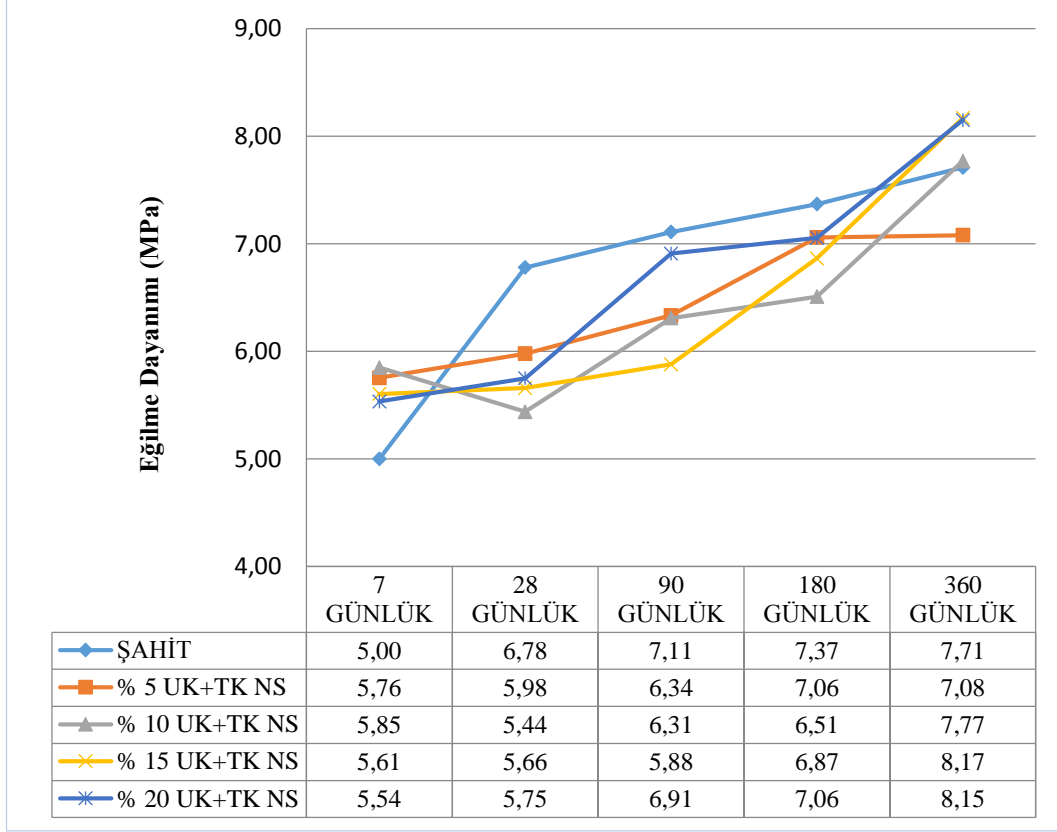
3.2. Eğilme ve Basınç Dayanımları

3.2.1. Eğilme Dayanımları

Yapılan çalışmalarda üretilen, katkısız ve %5, %10, %15, %20 oranlarda kompoze ikameli numuneler normal su (NS) ve %10 sodyum sülfat çözeltisinde (SS) bekletilerek gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Çizelge 3.2, 3.3, 3.3, 3.4, Şekil 3,2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9 da verilmiştir.

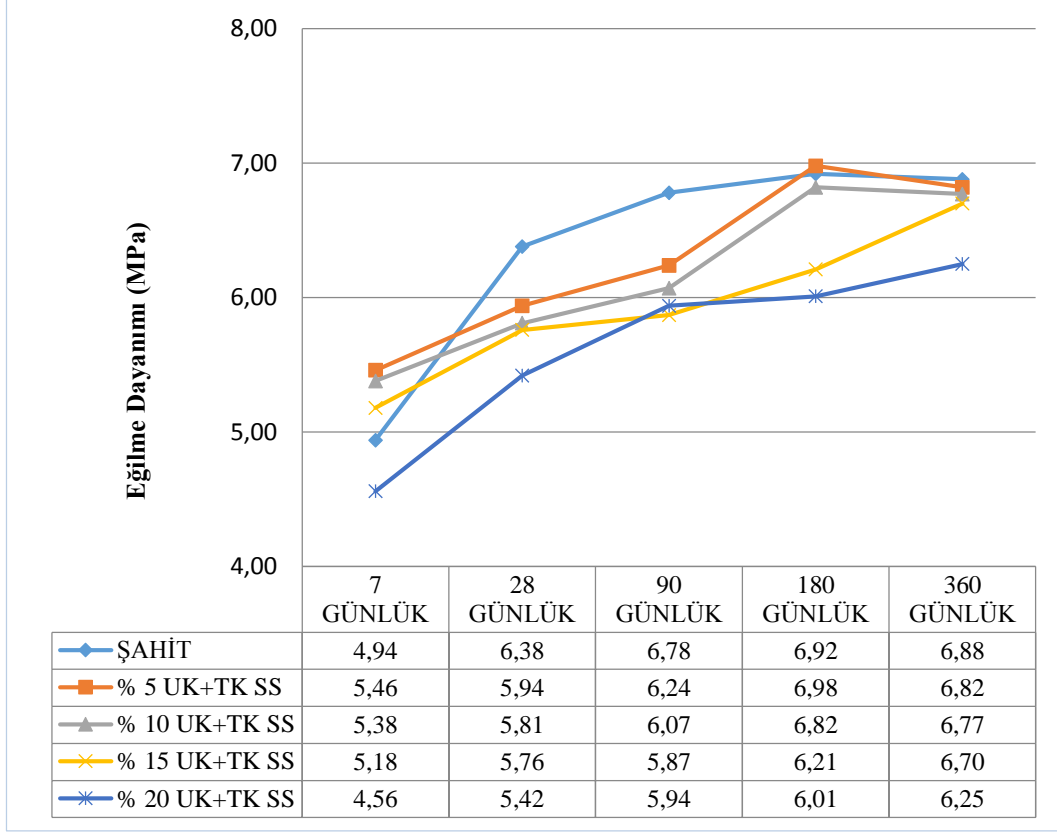
Çizelge 3.2. UK+TK İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (Mpa)	28. GÜN (Mpa)	90. GÜN (Mpa)	180. GÜN (Mpa)	360. GÜN (Mpa)
ŞAHİT NS	5.00	6.78	7.11	7.37	7.71
%5 UK+TK NS	5.76	5.98	6.34	7.06	7.08
%10 UK+TK NS	5.85	5.44	6.31	6.51	7.77
% 15 UK+TK NS	5.61	5.66	5.88	6.87	8.17
%20 UK+TK NS	5.54	5.75	6.91	7.06	8.15
ŞAHİT SS	4.94	6.38	6.78	6.92	6.88
%5 UK+TK SS	5.46	5.94	6.24	6.98	6.82
%10 UK+TK SS	5.38	5.81	6.07	6.82	6.77
% 15 UK+TK SS	5.18	5.76	5.87	6.21	6.70
%20 UK+TK SS	4.56	5.42	5.94	6.01	6.25



Şekil 3.2. Uçucu Kül+Taban Külü Eğilme Dayanımı (NS)

Çizelge 3.2. ve Şekil 3.2.' ye göre; normal su (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harcında eğilme dayanımı 5 MPa iken, %10 UK+TK ikameli çimento harçlarının 5.85 MPa ile en yüksek değer aldığı, % 5 ikame oranından sonra ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. 28, 90 ve 180 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunelerin eğilme dayanım değerlerinin sırasıyla 6.78 MPa, 7.11 MPa ve 7.37 MPa ile en yüksek değerleri aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür. 360 günlük eğilme dayanımlarında katkısız çimento harcı eğilme dayanımı 7.71 MPa iken UK+TK ikamesinin etki gösterdiği % 15 UK+TK ikameli çimento harcının 8.17 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür.

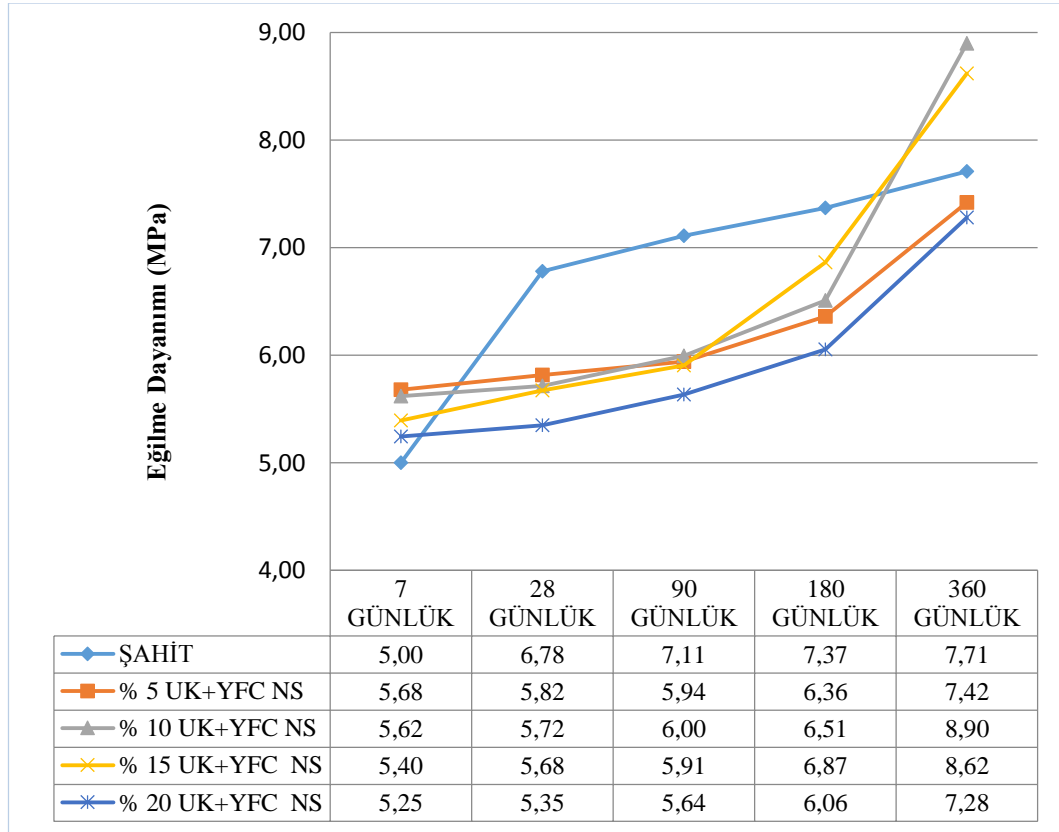


Şekil 3.3. Uçucu Kül+Taban Külü Eğilme Dayanımı (SS)

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.3 e göre % 10 Sodyum Sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerde 7 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde katkısız çimento harcında eğilme dayanımı 4.94 MPa iken %5 UK+TK ikameli çimento harçlarının 5.46 MPa ile en yüksek değer aldığı görülmüştür. 28 ve 90 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunenin eğilme dayanım değerlerinin sırasıyla 6.38 MPa ve 6.78 MPa ile en yüksek değeri aldığı ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının düştüğü görülmüştür. 180 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numune eğilme dayanımının 6.92 MPa iken, %5 UK+TK ikameli çimento harçlarının eğilme dayanım değerlerinin 6.98 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 360 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız çimento harcının 6.88 MPa ile en yüksek değeri aldığı ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımının düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara göre genel olarak ikame oranı arttıkça eğilme dayanımında düşüş tespit edilmiştir.

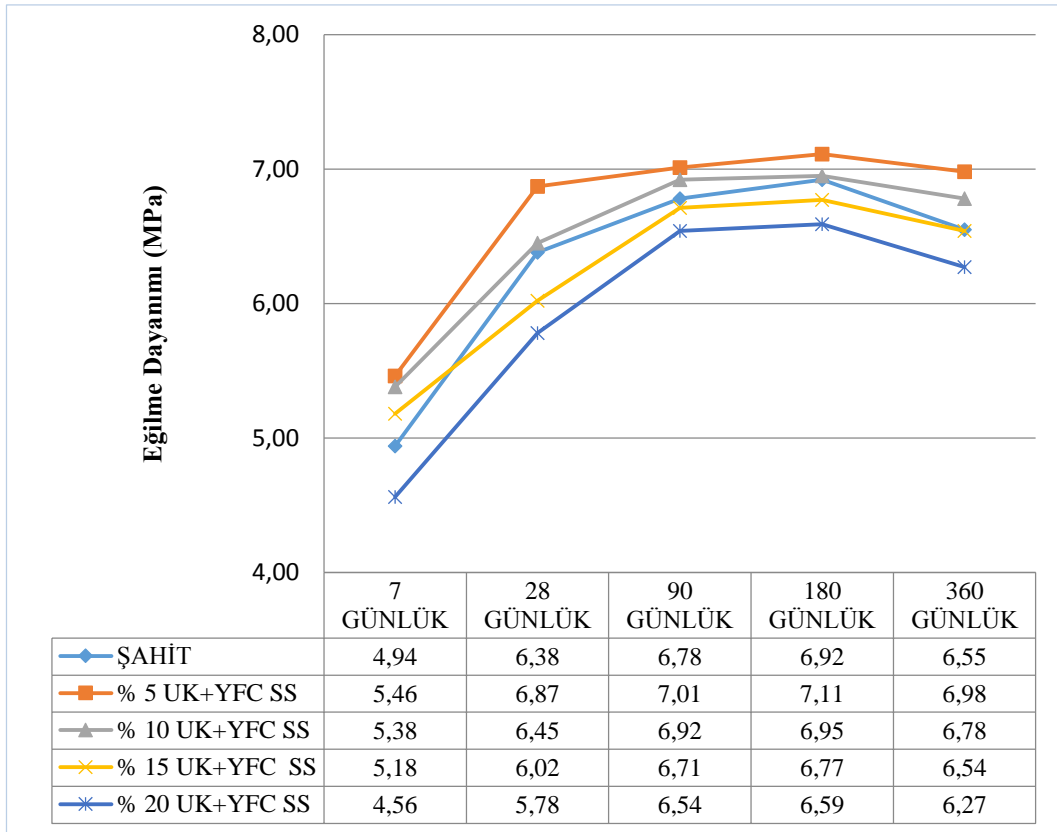
Çizelge 3.3. UK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (Mpa)	28. GÜN (Mpa)	90. GÜN (Mpa)	180. GÜN (Mpa)	360. GÜN (Mpa)
ŞAHİT NS	5.00	6.78	7.11	7.37	7.71
%5 UK+YFC NS	5.68	5.82	5.94	6.36	7.42
%10 UK+YFC NS	5.62	5.72	6.00	6.51	8.90
% 15 UK+YFC NS	5.40	5.68	5.91	6.87	8.62
%20 UK+YFC NS	5.25	5.35	5.64	6.06	7.28
ŞAHİT SS	4.94	6.38	6.78	6.92	6.55
%5 UK+YFC SS	5.46	6.87	7.01	7.11	6.98
%10 UK+YFC SS	5.38	6.45	6.92	6.95	6.78
% 15 UK+YFC SS	5.18	6.02	6.71	6.77	6.54
%20 UK+YFC SS	4.56	5.78	6.54	6.59	6.27



Şekil 3.4. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (NS)

Çizelge 3.3 ve Şekil 3.4 e göre normal suda (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız numunein eğilme dayanım değerinin 5 MPa olduğu, %5 UK+YFC ikameli çimento harçlarının 5.68 MPa ile en yüksek değer aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. 28, 90 ve 180 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunelerin eğilme dayanım değerlerinin sırasıyla 6.78 MPa, 7.11 MPa ve 7.37 MPa ile en yüksek değerleri aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür. 360 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunenin eğilme dayanımı 7.71 MPa iken, UK+YFC ikamesinin etki gösterdiği % 10 UK+YFC ikameli çimento harcının 8.90 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür.

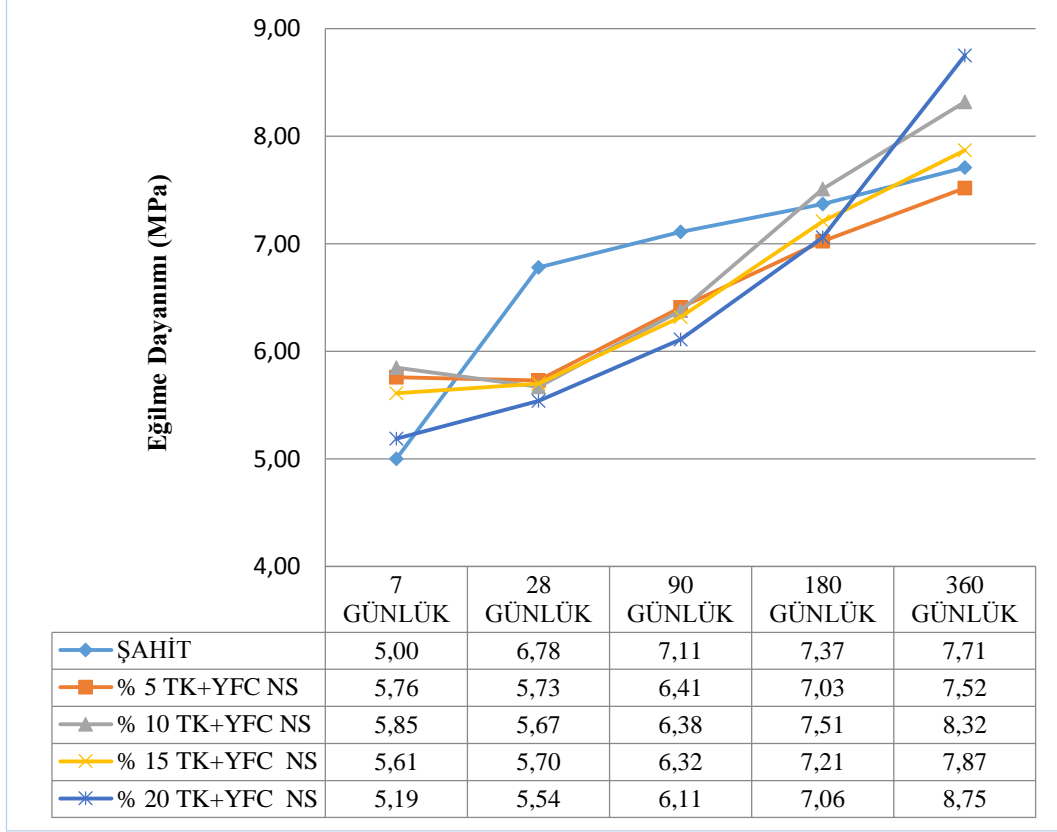


Şekil 3.5. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (SS)

Çizelge 3.3 ve Şekil 3.5 e göre % 10 Sodyum Sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90, 180, 360 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının eğilme dayanımları sırası ile 4.94 MPa, 6.38 MPa, 6.78 MPa, 6.92 MPa, 6.55 MPa iken %5 UK+YFC ikameli çimento harçlarının eğilme dayanımlarının sırası ile 5.46 MPa, 6.87 MPa, 7.01 MPa, 7.11 MPa, 6.98 MPa ile en yüksek değerleri aldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü, %5 ikame oranının UK+YFC ikameli çimento harçları için SS küründe ideal bir ikame oranı olduğu görülmüştür.

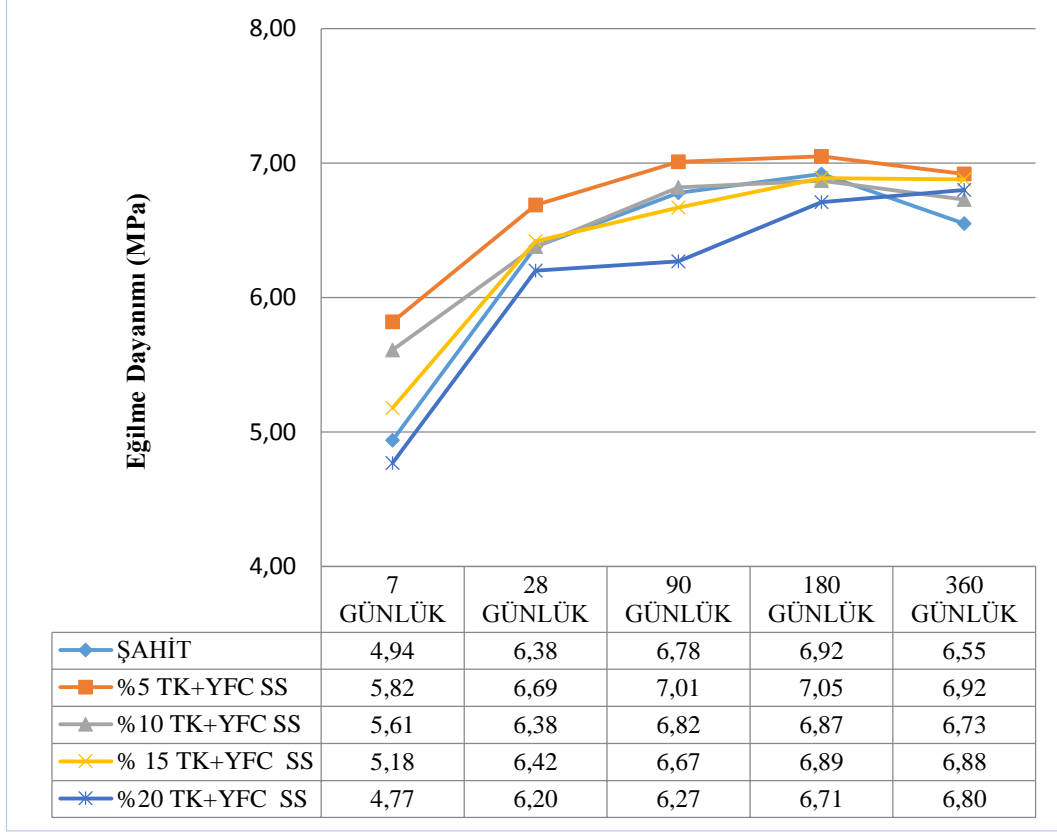
Çizelge 3.4. TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (Mpa)	28. GÜN (Mpa)	90. GÜN (Mpa)	180. GÜN (Mpa)	360. GÜN (Mpa)
ŞAHİT NS	5.00	6.78	7.11	7.37	7.71
%5 TK+YFC NS	5.76	5.73	6.41	7.03	7.52
%10 TK+YFC NS	5.85	5.67	6.38	7.51	8.32
% 15 TK+YFC NS	5.61	5.70	6.32	7.21	7.87
%20 TK+YFC NS	5.19	5.54	6.11	7.06	8.75
ŞAHİT SS	4.94	6.38	6.78	6.92	6.55
%5 TK+YFC SS	5.82	6.69	7.01	7.05	6.92
%10 TK+YFC SS	5.61	6.38	6.82	6.87	6.73
% 15 TK+YFC SS	5.18	6.42	6.67	6.89	6.88
%20 TK+YFC SS	4.77	6.20	6.27	6.71	6.80



Şekil 3.6. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (NS)

Çizelge 3.4 ve Şekil 3.6' ya göre normal suda (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harcı eğilme dayanımı 4,94 MPa iken, % 10 TK+YFC ikameli çimento harçlarının 5,85 MPa ile en yüksek değer aldığı, % 10 ikame oranından sonra ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. 28 ve 90 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunelerin eğilme dayanım değerlerinin sırasıyla 6.78 MPa ve 7.11 MPa ile en yüksek değerleri aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür. 180 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numune eğilme dayanım değeri 7.37 MPa iken % 10 TK+YFC ikameli çimento harçlarının eğilme dayanım değerlerinin 7.51 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 360 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numune eğilme dayanım değeri 7.71 MPa iken % 20 UK+YFC ikameli çimento harcının 8.75 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür.

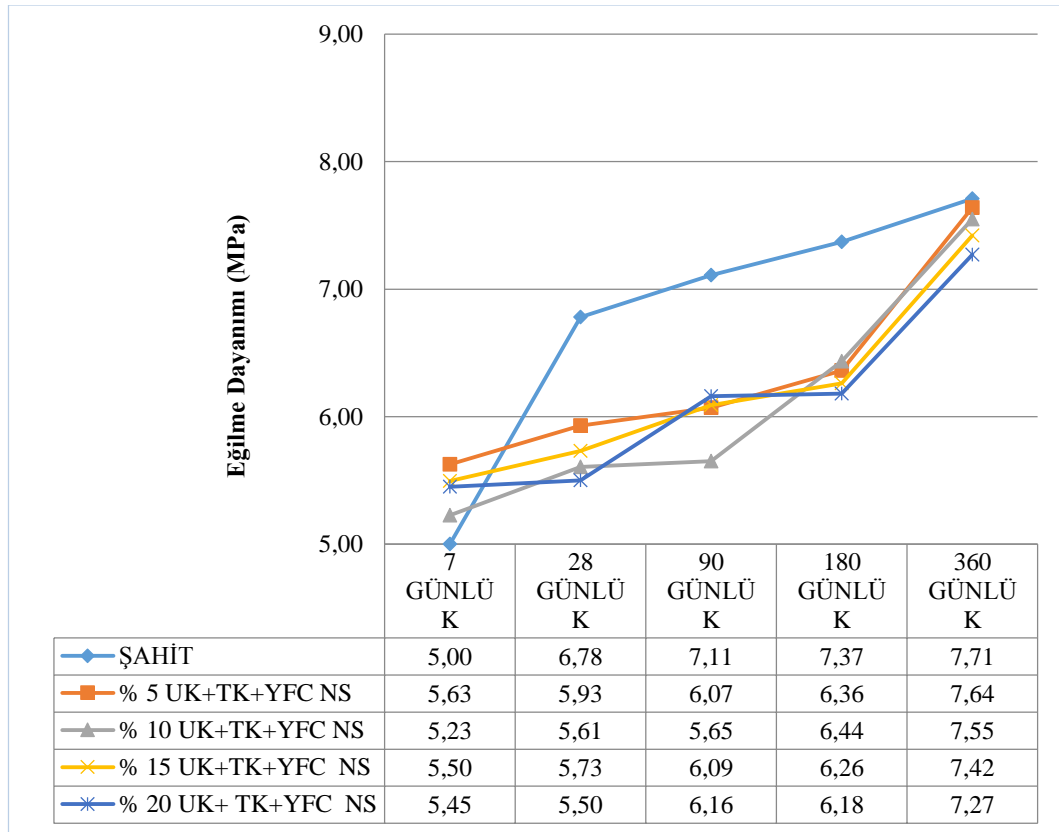


Şekil 3.7. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (SS)

Çizelge 3.4 ve Şekil 3.7' ye göre; % 10 Sodyum Sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90, 180, 360 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının eğilme dayanımları sırası ile 4.94 MPa, 6.38 MPa, 6.78 MPa, 6.92 MPa, 6.55 MPa iken %5 UK+YFC ikameli çimento harçlarının eğilme dayanımlarının sırası ile 5.82 MPa, 6.69 MPa, 7.01 MPa, 7.05 MPa, 6.92 MPa ile en yüksek değerleri aldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü, %5 ikame oranının UK+YFC ikameli çimento harçları için SS küründe ideal bir ikame oranı olduğu görülmüştür.

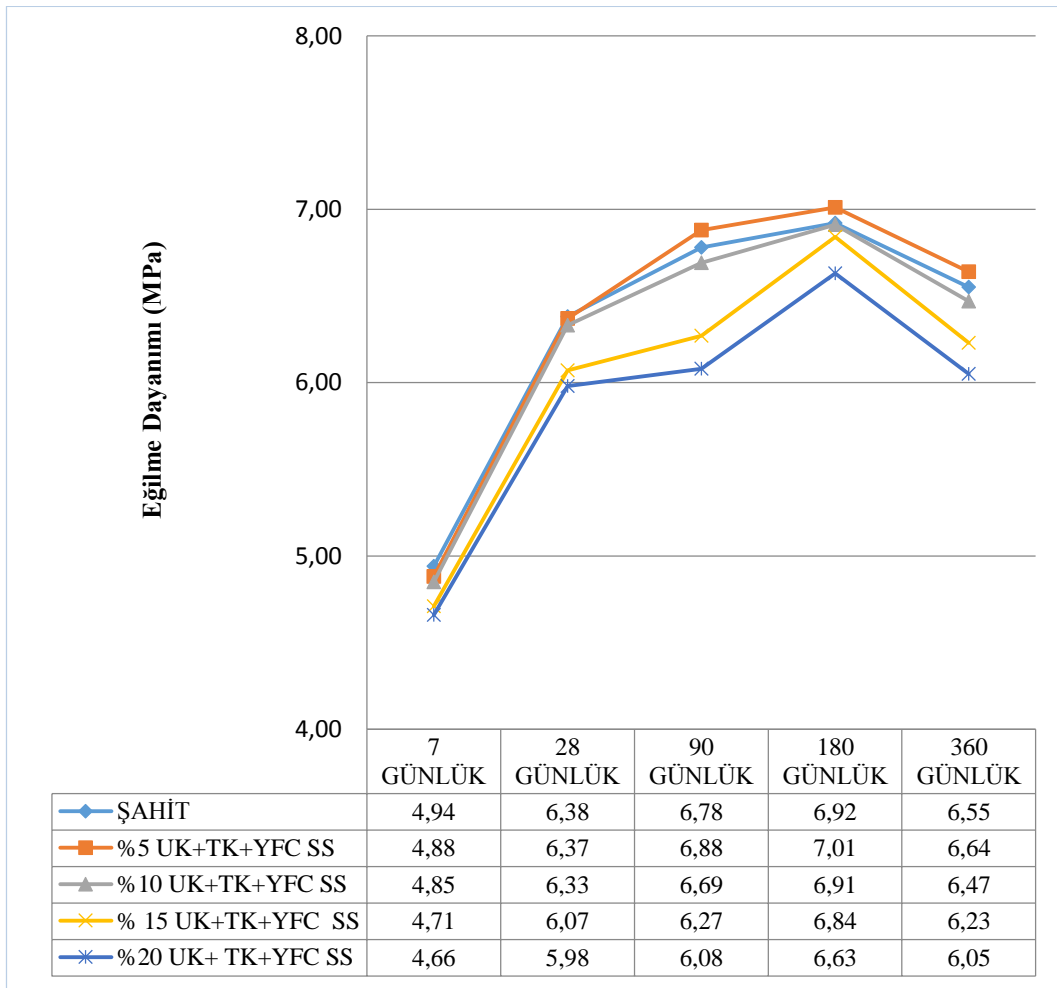
Çizelge 3.5. UK+TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin eğilme dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (Mpa)	28. GÜN (Mpa)	90. GÜN (Mpa)	180. GÜN (Mpa)	360. GÜN (Mpa)
ŞAHİT NS	5.00	6.78	7.11	7.37	7.71
%5 UK+TK+YFC NS	5.63	5.93	6.07	6.36	7.64
%10 UK+TK+YFC NS	5.23	5.61	5.65	6.44	7.55
%15 UK+TK+YFC NS	5.50	5.73	6.09	6.26	7.42
%20 UK+TK+YFC NS	5.45	5.50	6.16	6.18	7.27
ŞAHİT SS	4.94	6.38	6.78	6.92	6.55
%5 UK+TK+YFC SS	4.88	6.37	6.88	7.01	6.64
%10 UK+TK+YFC SS	4.85	6.33	6.69	6.91	6.47
%15 UK+TK+YFC SS	4.71	6.07	6.27	6.84	6.23
%20 UK+TK+YFC SS	4.66	5.98	6.08	6.63	6.05



Şekil 3.8. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (NS)

Çizelge 3.5 ve Şekil 3.8'e göre normal suda (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız numunenin eğilme dayanım değerinin 5 MPa olduğu, %5 UK+YFC ikameli çimento harçlarının 5.63 MPa ile en yüksek değer aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. 28, 90,180 ve 360 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunelerin eğilme dayanım değerlerinin sırasıyla 6.78 MPa, 7.11 MPa, 7.37 MPa ve 7.71 MPa ile en yüksek değerleri aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür.



Şekil 3.9. Uçucu Kül+Taban Kül+Yüksek Fırın Cürufu Eğilme Dayanımı (SS)

Çizelge 3.5 ve Şekil 3.9'a göre sodyum sülfat küründe (SS) olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız numunenin eğilme dayanım değerinin 4.94 MPa ile en yüksek değer aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. 28, 90, 180 ve 360 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunelerin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 6.25 MPa, 6.78 MPa, 6.92 MPa ve 6.65 MPa iken, %5 UK+TK+YFC ikame oranında ise sırayla 6.37 MPa, 6.88 MPa, 7.01 MPa ve 6.64 MPa ile en yüksek değerleri aldığı, % 5 ikame oranından sonra, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür.

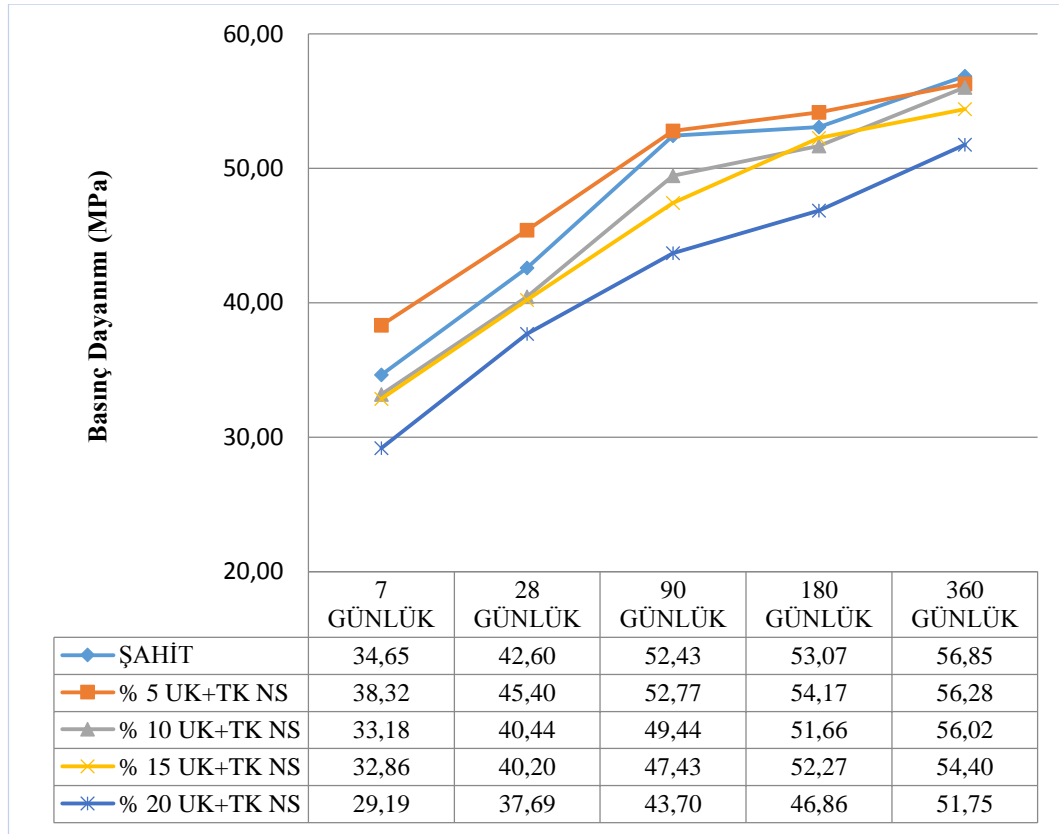
Eğilme dayanımları için sonuç olarak; NS' de kür süresi arttıkça eğilme dayanımlarının arttığı ancak SS küründe ise 90 güne kadar eğilme dayanımlarında hızlı bir artış olduğu 90-180 arası dayanım artışının azaldığı ve 180-360 gün arası ise eğilme dayanımlarında düşüş olduğu görülmüştür.

3.2.2. Basınç Dayanımları

Yapılan çalışmalarda üretilen, katkısız ve %5, %10, %15, %20 oranlarda ikameli numuneler normal su (NS) ve %10 sodyum sülfat çözeltisinde (SS) bekletilerek gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 3.10., 3.11., 3.12., 3.13., 3.14., 3.15., 3.16.,3.17., ve Çizelge 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 da verilmiştir.

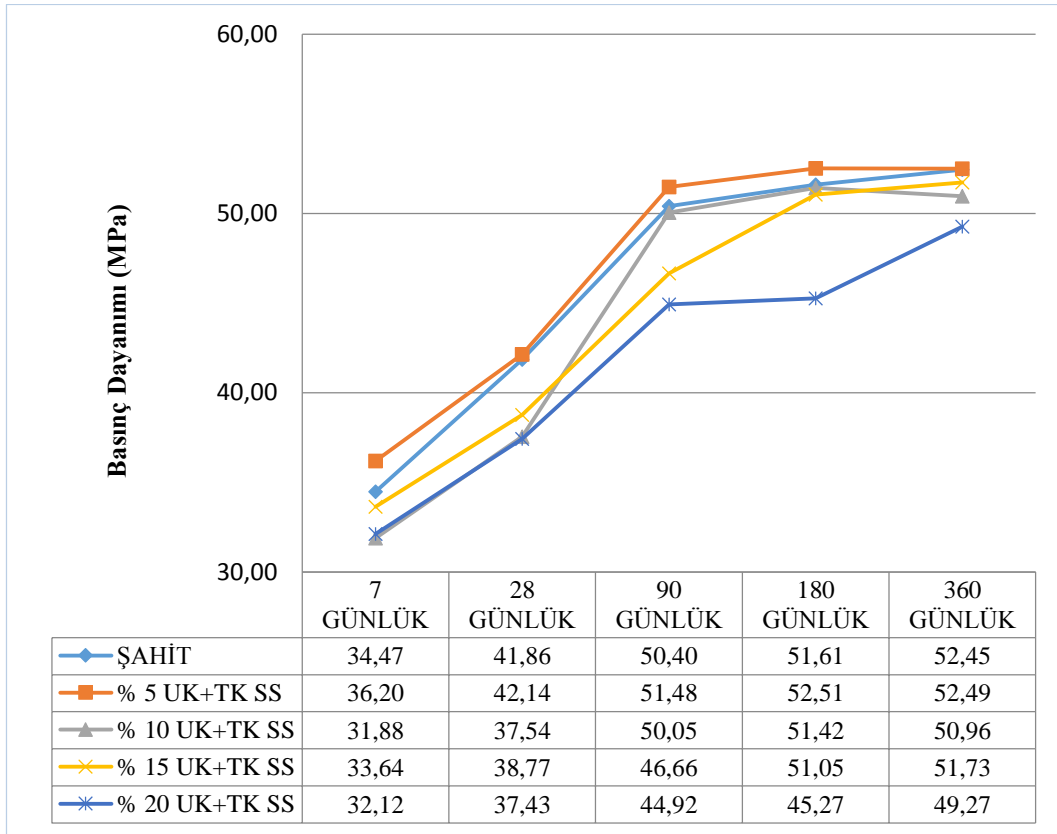
Çizelge 3.6. UK+TK İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)	180. GÜN (MPa)	360. GÜN (MPa)
ŞAHİT NS	34.65	42.60	52.43	53.07	56.85
%5 UK+TK NS	38.32	45.40	52.77	54.17	56.28
%10 UK+TK NS	33.18	40.44	49.44	51.66	56.02
%15 UK+TK NS	32.86	40.20	47.43	52.27	54.40
%20 UK+TK NS	29.19	37.69	43.70	46.86	51.75
ŞAHİT SS	34.47	41.86	50.40	51.61	52.45
%5 UK+TK SS	36.20	42.14	51.48	52.51	52.49
%10 UK+TK SS	31.88	37.54	50.05	51.42	50.96
%15 UK+TK SS	33.64	38.77	46.66	51.05	51.73
%20 UK+TK SS	32.12	37.43	44.92	45.27	49.27



Şekil 3.10. Uçucu Kül+Taban Külü Basınç Dayanımı (NS)

Çizelge 3.6 ve Şekil 3.10' a göre normal su (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90, 180 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.65 MPa, 42.6 MPa, 52.43 MPa, 53.07 MPa, iken %5 UK+TK ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 38.32 MPa, 45.4 MPa, 52.77 MPa, 54.17 MPa, ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü görülmüştür. 360 günlük eğilme dayanımında ise katkısız çimento harcının 56.85 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüş olup ikame oranı arttıkça basınç dayanımında düşüş görülmüştür.



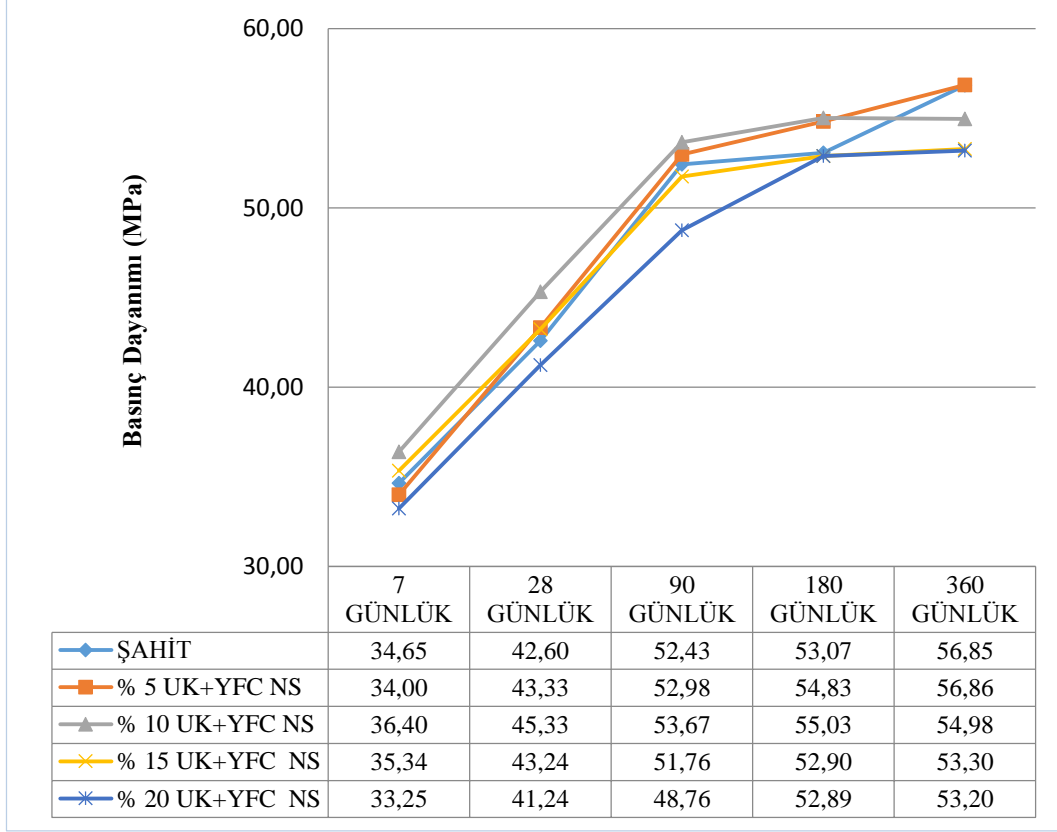
Şekil 3.11. Uçucu Kül+Taban Külü Basınç Dayanımı (SS)

Çizelge 3.6 ve Şekil 3.11' e göre %10 sodyum sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90, 180 ve 360 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.47 MPa, 41.86 MPa, 50.40

MPa, 51.61 MPa ve 52.45 MPa iken %5 UK+TK ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 36.20 MPa, 42.14 MPa, 51.48 MPa, 52.51 MPa ve 52.49 MPa ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara göre % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numuneler için %5 UK+TK ikamesinin ideal sonuçlar verdiği görülmüştür.

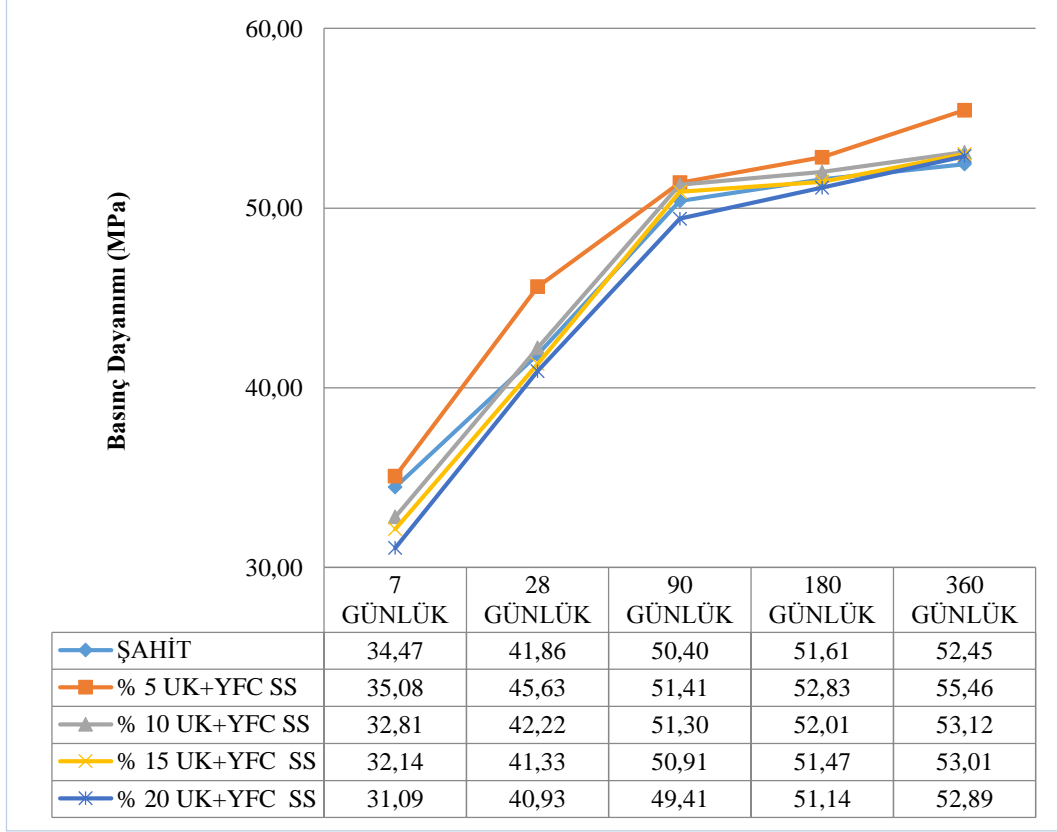
Çizelge 3.7. UK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)	180. GÜN (MPa)	360. GÜN (MPa)
ŞAHİT NS	34.65	42.60	52.43	53.07	56.85
%5 UK+YFC NS	34.00	43.33	52.98	54.83	56.86
%10 UK+YFC NS	36.40	45.33	53.67	55.03	54.98
% 15 UK+YFC NS	35.34	43.24	51.76	52.90	53.30
%20 UK+YFC NS	33.25	41.24	48.76	52.89	53.20
ŞAHİT SS	34.47	41.86	50.40	51.61	52.45
%5 UK+YFC SS	35.08	45.63	51.41	52.83	55.46
%10 UK+YFC SS	32.81	42.22	51.30	52.01	53.12
% 15 UK+YFC SS	32.14	41.33	50.91	51.47	53.01
%20 UK+YFC SS	31.09	40.93	49.41	51.14	52.89



Şekil 3.12. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (NS)

Çizelge 3.7 ve Şekil 3.12' ye göre normal su (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90, 180 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.65 MPa, 42.6 MPa, 52.43 MPa, 53.07 MPa, iken %10 UK+YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 36.40 MPa, 45.33 MPa, 53.67 MPa, 55.03 MPa, ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 10 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü görülmüştür. 360 günlük eğilme dayanımında ise katkısız çimento harcının 56.85 MPa iken, %5 UK+YFC ikameli çimento harcı 56.86 en yüksek değeri aldığı görülmüştür. Buna göre %5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça basınç dayanımında düşüş görülmüştür.

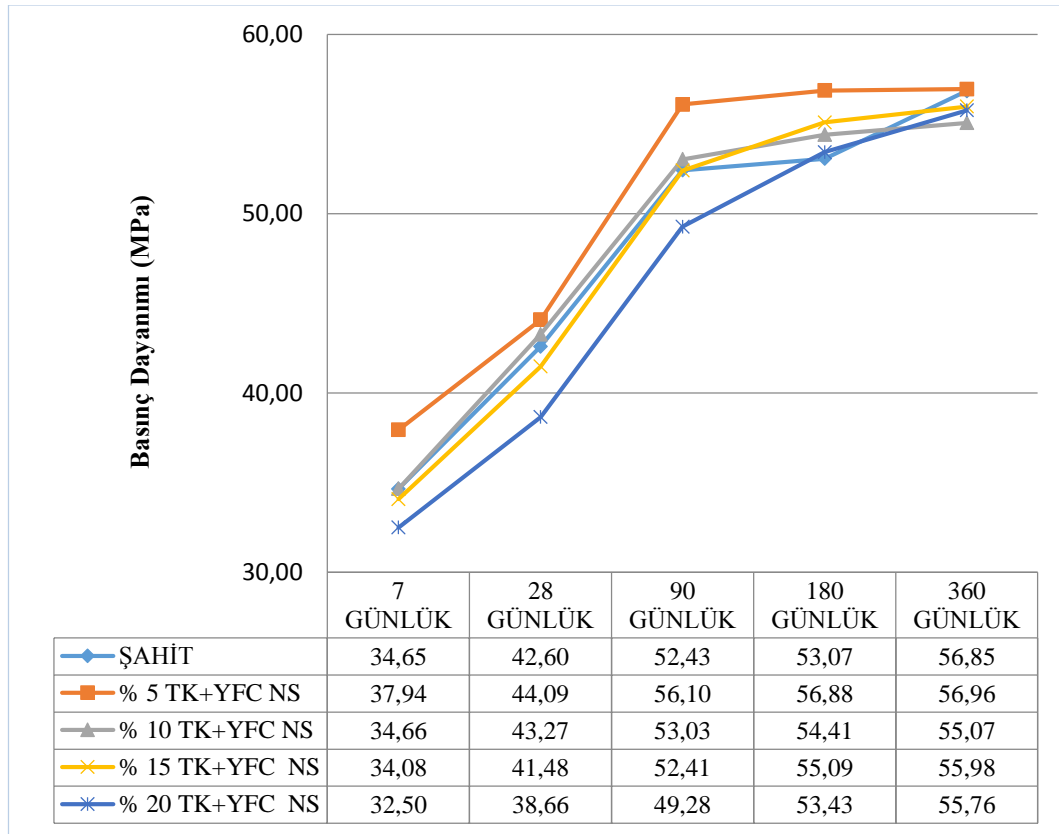


Şekil 3.13. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (SS)

Çizelge 3.7 ve Şekil 3.13' e göre %10 sodyum sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90, 180 ve 360 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.47 MPa, 41.86 MPa, 50.40 MPa, 51.61 MPa ve 52.45 MPa iken %5 UK+YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 35.08 MPa, 45.63 MPa, 51.41 MPa, 52.83 MPa ve 55.46 MPa ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara göre % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numuneler için %5 UK+YFC ikamesinin ideal sonuçlar verdiği görülmüştür.

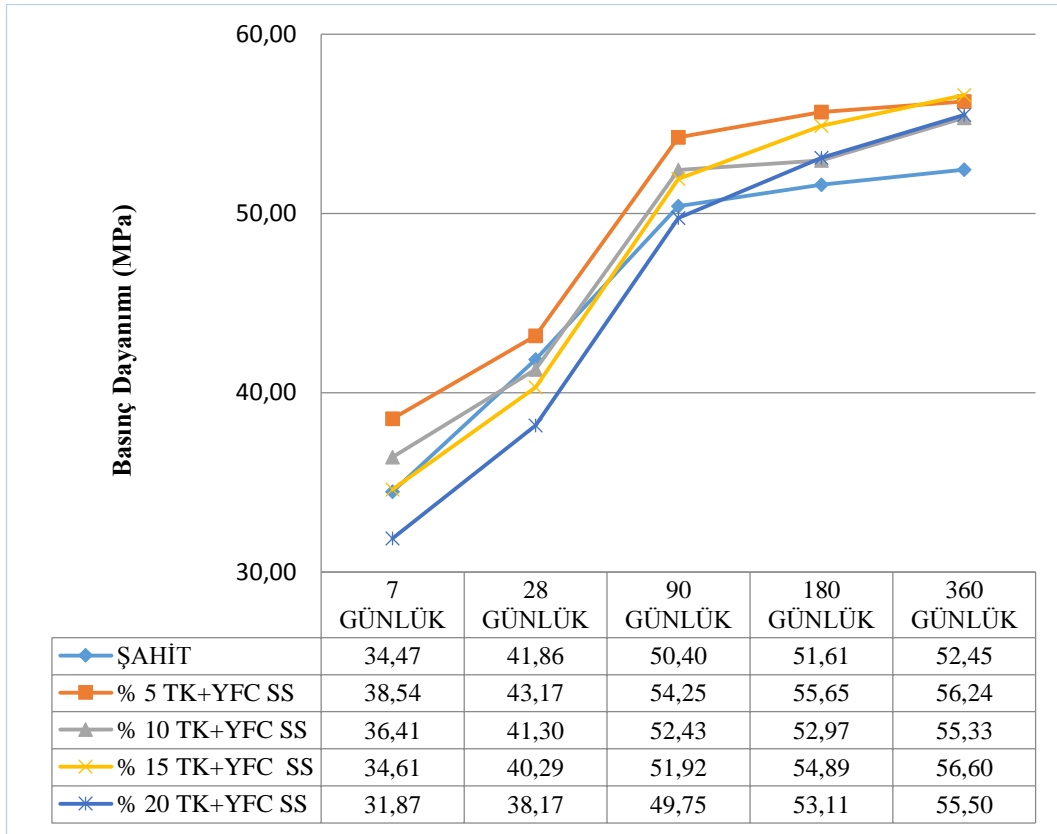
Çizelge 3.8. TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)	180. GÜN (MPa)	360. GÜN (MPa)
ŞAHİT NS	34.65	42.60	52.43	53.07	56.85
%5 TK+YFC NS	37.94	44.09	56.10	56.88	56.96
%10 TK+YFC NS	34.66	43.27	53.03	54.41	55.07
%15 TK+YFC NS	34.08	41.48	52.41	55.09	55.98
%20 TK+YFC NS	32.50	38.66	49.28	53.43	55.76
ŞAHİT SS	34.47	41.86	50.40	51.61	52.45
%5 TK+YFC SS	38.54	43.17	54.25	55.65	56.24
%10 TK+YFC SS	36.41	41.30	52.43	52.97	55.33
%15 TK+YFC SS	34.61	40.29	51.92	54.89	56.60
%20 TK+YFC SS	31.87	38.17	49.75	53.11	55.50



Şekil 3.14. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (NS)

Çizelge 3.8 ve Şekil 3.14' e göre normal su (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90, 180 ve 360 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.65 MPa, 42.60 MPa, 52.43 MPa, 53.07 MPa ve 56.85 MPa iken %5 TK+YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 37.94 MPa, 44.09 MPa, 56.10 MPa, 56.88 MPa ve 56.96 MPa ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara göre normal su küründe olgunlaştırılan numuneler için %5 TK+YFC ikamesinin ideal sonuçlar verdiği görülmüştür.



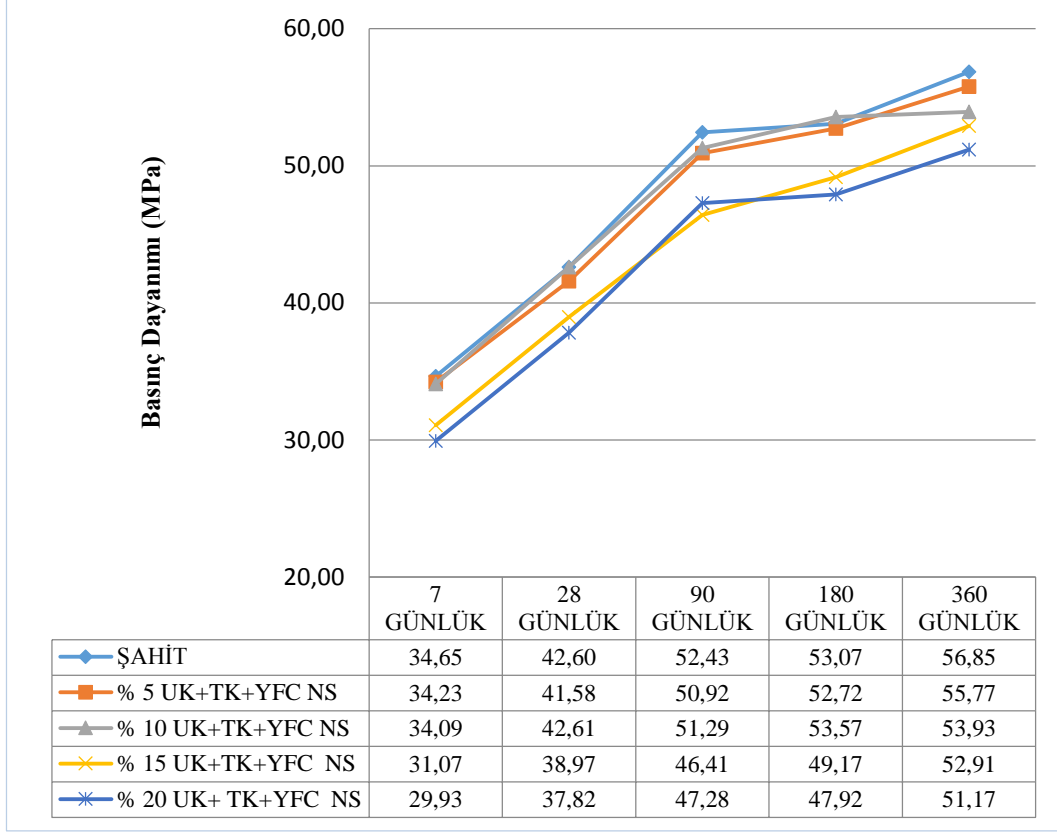
Şekil 3.15. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (SS)

Çizelge 3.8 ve Şekil 3.15' e göre %10 sodyum sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90 ve 180 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.47 MPa, 41.86 MPa, 50.40 MPa

ve 51.61 MPa iken %5 TK+YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 38.54 MPa, 43.17 MPa, 54.25 MPa ve 55.65 MPa ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının düştüğü görülmüştür. 360 gün sonundaki basınç dayanımında ise katkısız çimento harcı 52.45 MPa değerini alırken %15 TK+YFC ikamesi ise 56.60 MPa ile en yüksek değeri almıştır.

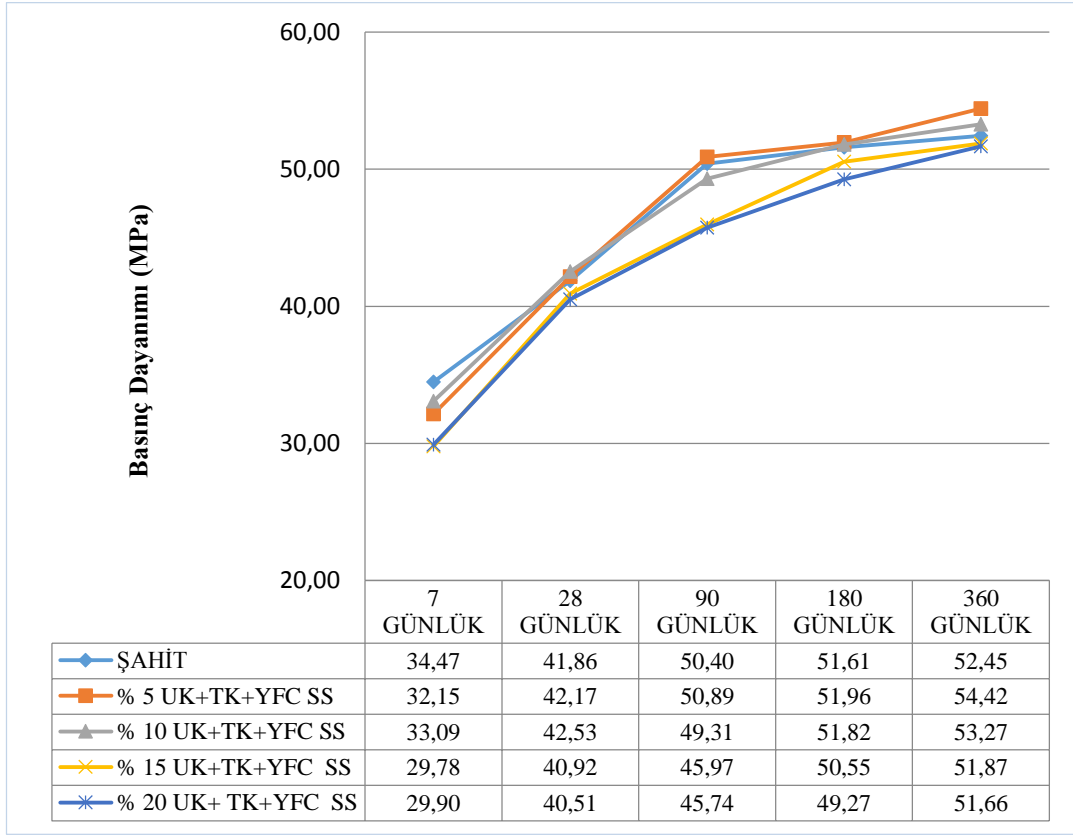
Çizelge 3.9. UK+TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları

KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)	180. GÜN (MPa)	360. GÜN (MPa)
ŞAHİT NS	34.65	42.60	52.43	53.07	56.85
%5 UK+TK+YFC NS	34.23	41.58	50.92	52.72	55.77
%10 UK+TK+YFC NS	34.09	42.61	51.29	53.57	53.93
% 15 UK+TK+YFC NS	31.07	38.97	46.41	49.17	52.91
%20 UK+ TK+YFC NS	29.93	37.82	47.28	47.92	51.17
ŞAHİT SS	34.47	41.86	50.40	51.61	52.45
%5 UK+TK+YFC SS	32.15	42.17	50.89	51.96	54.42
%10 UK+TK+YFC SS	33.09	42.53	49.31	51.82	53.27
%15 UK+TK+YFC SS	29.78	40.92	45.97	50.55	51.87
%20 UK+ TK+YFC SS	29.90	40.51	45.74	49.27	51.66



Şekil 3.16. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (NS)

Çizelge 3.9 ve Şekil 3.16' ya göre normal su (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımının 34.65 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımında ise katkısız numunenin basınç dayanımı 42.60 MPa iken, % 10 UK+TK+YFC ikameli çimento harcının 42.61 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımında ise katkısız numunenin 52.43 MPa ile en yüksek basınç dayanımını verdiği görülmüştür. 180 günlük numuneler incelendiğinde; katkısız numunenin basınç dayanımı 53.07 MPa iken % 10 UK+TK+YFC ikameli çimento harcının basınç dayanımının 53.70 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 360 günlük basınç dayanım değerlerinde katkısız numunenin 56.85 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre % 10 UK+TK+YFC ikamesinin olumlu sonuçlar verdiği görülsede katkısız numunelerin de en yüksek dayanımı vermesi UK+TK+YFC ikamesinin istikrarlı bir dayanım artışı sağlamasını engellemiştir.



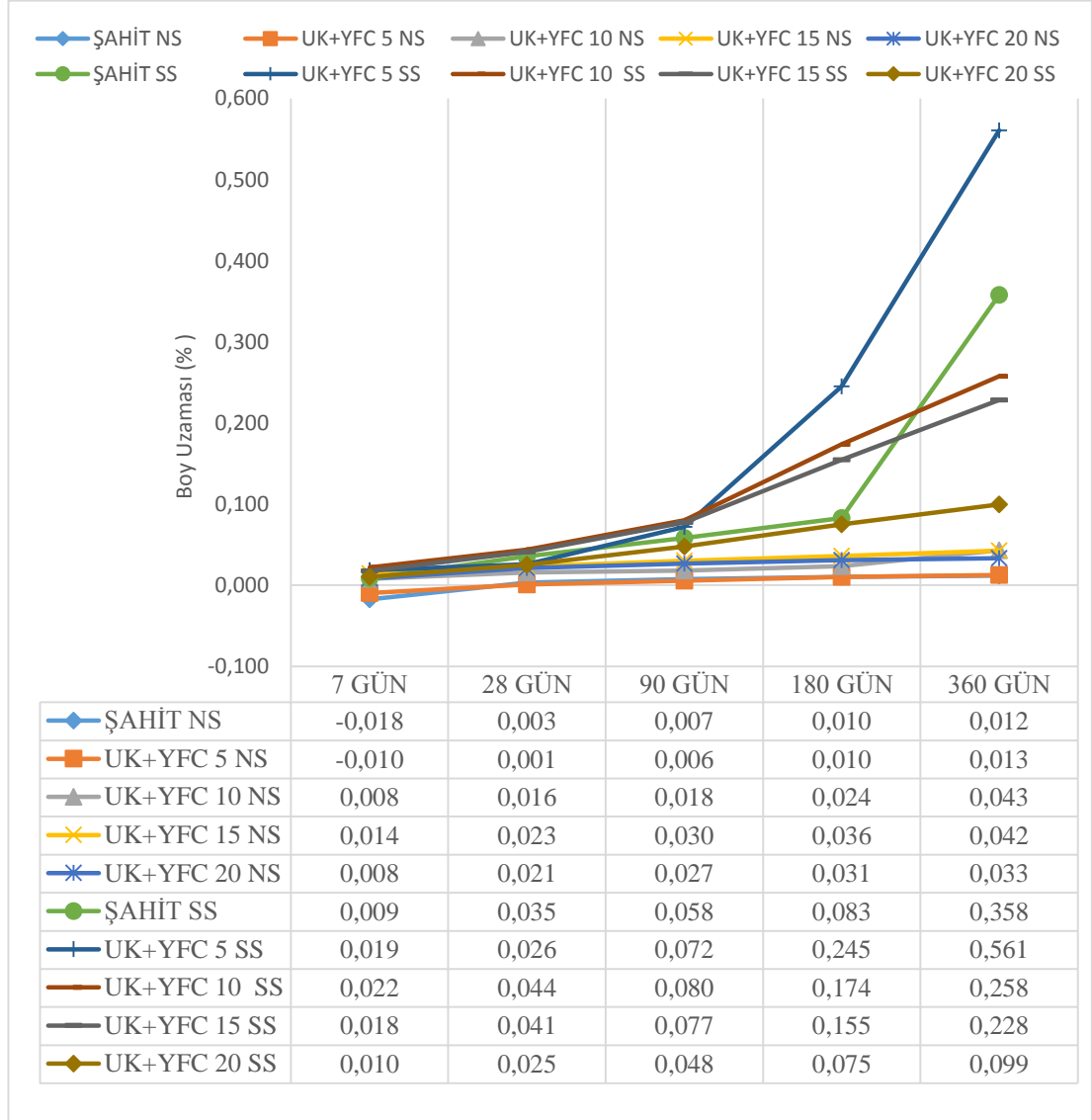
Şekil 3.17. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (SS)

Çizelge 3.9 ve Şekil 3.17' ye göre sodyum sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımının 34.47 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımında ise katkısız numunenin basınç dayanımı 41.86 MPa iken, % 10 UK+TK+YFC ikameli çimento harcının 42.53 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 90 günlük basınç dayanımında ise katkısız numunenin 50.40 MPa iken % 5 UK+TK+YFC ikamesinin 50.89 MPa ile en yüksek basınç dayanımını verdiği görülmüştür. 180 günlük numuneler incelendiğinde; katkısız numunenin basınç dayanımı 51.61 MPa iken % 5 UK+TK+YFC ikameli çimento harcının basınç dayanımının 51.96 MPa ile en yüksek değeri aldığı görülmüştür. 360 günlük basınç dayanım değerlerinde katkısız numunenin basınç dayanımı 52.45 iken % 5 UK+TK+YFC ikameli çimento harcının basınç dayanımının 54.42 MPa ile en yüksek

değeri aldığı grlmştir. Bu sonuçlara göre % 5 UK+TK+YFC ikamesinin olumlu sonuçlar verdiği grlmştir.

Basınç dayanımları için sonuç olarak; NS' de kr süresi arttıķa 90 güne kadar basınç dayanımlarının hızlı arttığı 90 gün ile 360 gün arasında ise basınç dayanım hızlarında azalma olduğu grlmştir. SS küründe ise 90 güne kadar basınç dayanımlarında hızlı bir artış olduğu 90-360 gün arası dayanım artışının sodyum sülfatın etkisi ile NS küründeki numunelere göre bir hayli azalma meydana geldiği grlmştir. 360 gün sonunda normal su küründe en yüksek basınç dayanımını 56.95 MPa ile %5 TK+YFC ikameli imento harcı verirken % 10 sodyum sülfat küründe ise en yüksek basınç dayanımını yine 56.24 MPa ile %5 TK+YFC ikameli imento harcı vermiştir. Normal su küründeki basınç dayanımı ile sodyum sülfat küründeki en yüksek basınç dayanımının birbirine çok yakın olması, sodyum sülfat küründeki agresif ortama rağmen %5 TK+YFC ikamesinin olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

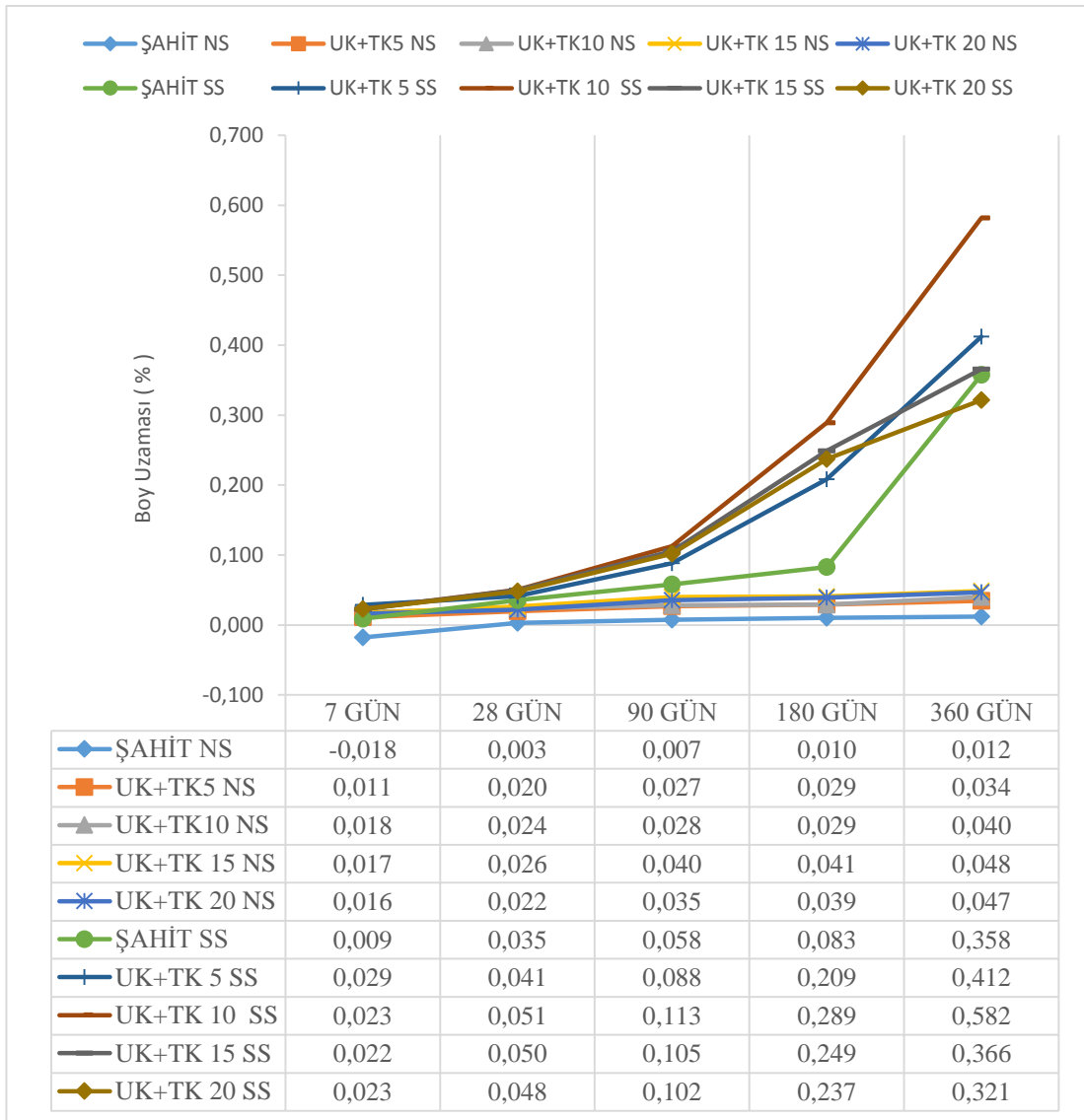
3.3. Boy Uzamaları



Şekil 3.18. Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu Boy Uzaması (NS / SS)

Şekil 3.18 incelendiğinde, sodyum sülfat küründeki numuneler için en fazla boy uzamasının % 5 Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında en az boy uzamasının ise % 20 Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir, bu sonuca göre sodyum sülfat küründe Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikame oranı arttıkça boy uzaması azalmıştır. Normal su

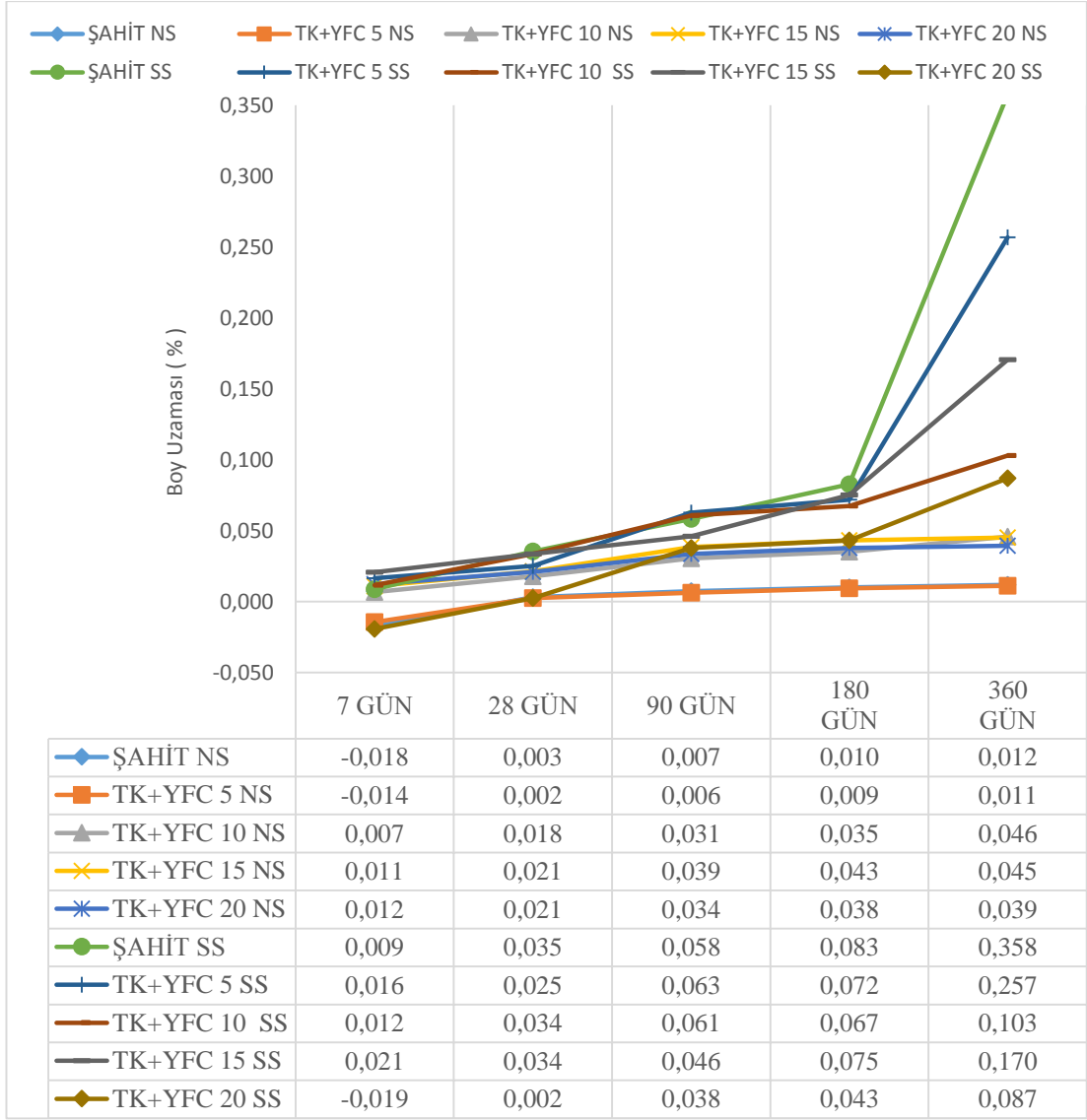
küründeki boy uzamaları incelendiğinde ise, en az boy uzamasının katkısız çimento harçlarında, en fazla boy uzamasının % 10 Uçucu Kül+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir. 360 gün sonunda, normal su küründe ve sodyum sülfat küründe en fazla boy uzaması yapan iki numune karşılaştırıldığında ise sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunenin yaklaşık on üç kat fazla boy uzaması yaptığı görülmüştür.



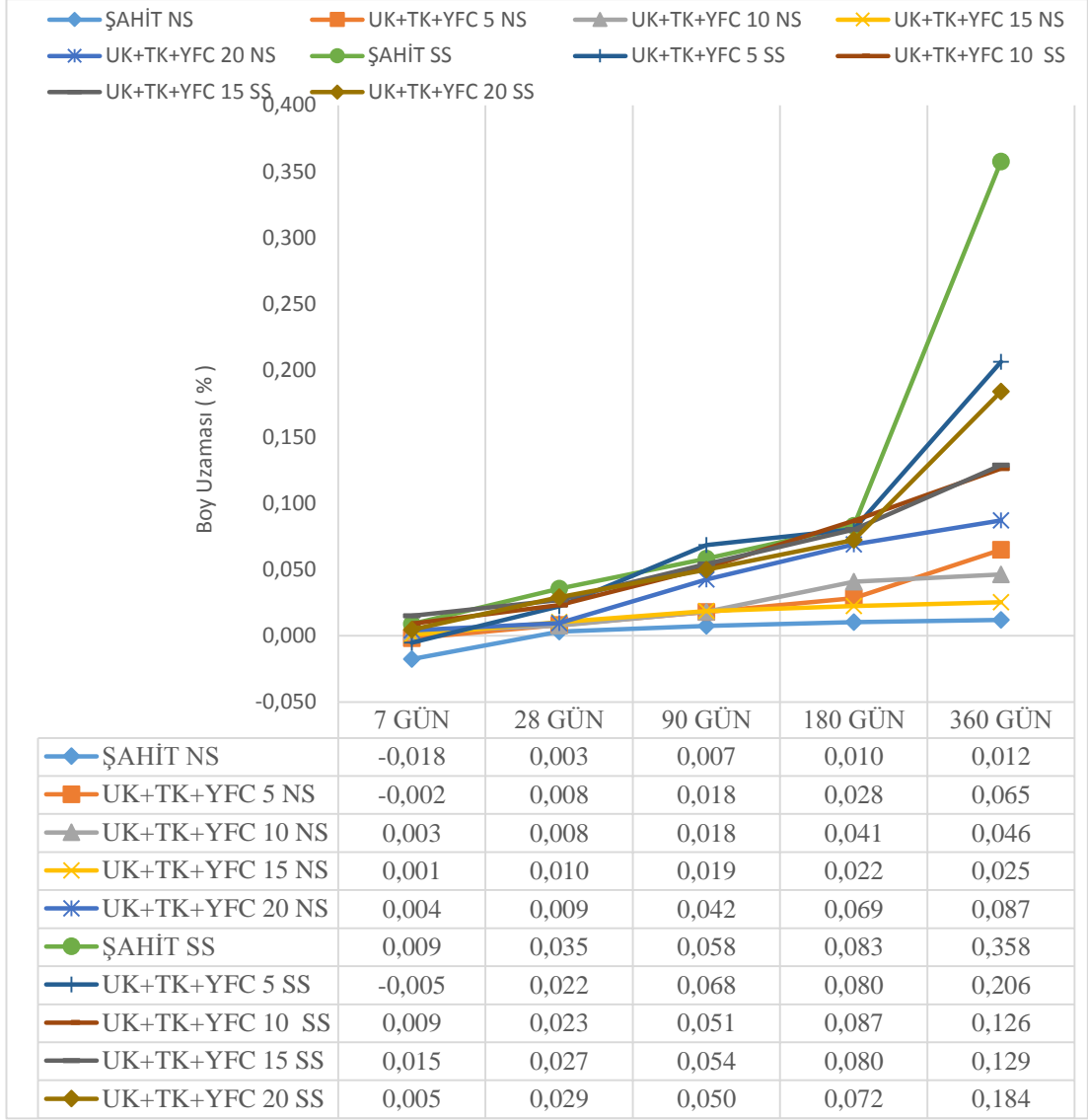
Şekil 3.19. Uçucu Kül+Taban Külü Boy Uzaması (NS / SS)

Şekil 3.19 incelendiğinde, sodyum sülfat küründeki numuneler için en fazla boy uzamasının % 10 Uçucu Kül+Taban külü ikameli çimento harçlarında en az boy uzamasının ise % 20 Uçucu Kül+Taban Külü çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir, bu sonuca göre % 10 Uçucu Kül+Taban külü ikame oranında boy uzaması artmış olsa da Uçucu Kül+Taban külü ikame oranı sodyum sülfat küründe arttıkça boy uzaması azalmıştır. Normal su küründeki boy uzamaları incelendiğinde ise, en az boy uzamasının katkısız çimento harçlarında, en fazla boy uzamasının % 15 Uçucu Kül+Taban külü ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir. 360 gün sonunda, normal su küründe ve sodyum sülfat küründe en fazla boy uzaması yapan iki numune karşılaştırıldığında ise sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunenin yaklaşık on iki kat fazla boy uzaması yaptığı görülmüştür.

Şekil 3.20 incelendiğinde, sodyum sülfat küründeki numuneler için en fazla boy uzamasının katkısız çimento harçlarında en az boy uzamasının ise % 20 Uçucu Kül+Taban Külü çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir, bu sonuca göre % 15 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikame oranında boy uzaması bir önceki miktara göre artmış olsa da Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikame oranı sodyum sülfat küründe arttıkça boy uzaması azalmıştır. Normal su küründeki boy uzamaları incelendiğinde ise, en az boy uzamasının %5 TK+YFC ikameli çimento harçlarında, en fazla boy uzamasının % 10 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir. 360 gün sonunda, normal su küründe ve sodyum sülfat küründe en fazla boy uzaması yapan iki numune karşılaştırıldığında ise sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunenin yaklaşık sekiz kat fazla boy uzaması yaptığı görülmüştür.



Şekil 3.20. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Boy Uzaması (NS / SS)



Şekil 3.21. Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Boy Uzaması (NS/SS)

Şekil 3.21 incelendiğinde, sodyum sülfat küründeki numuneler için en fazla boy uzamasının katkısız çimento harçlarında en az boy uzamasının ise % 10 Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir, bu sonuca göre % 10 ikame oranından % 15 - 20 ikame oranına geçişte boy uzaması artmıştır. Normal su küründeki boy uzamaları incelendiğinde ise, en az boy uzamasının katkısız çimento harçlarında, en fazla boy uzamasının % 20 Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir. 360 gün sonunda, normal su küründe ve sodyum sülfat küründe en fazla

boy uzaması yapan iki numune karşılaştırıldığında ise sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunenin yaklaşık beş buçuk kat fazla boy uzaması yaptığı görülmüştür.

Sonuç olarak yapılan çalışmada %10 sodyum sülfat küründe ve normal su küründe olgunlaştırılan numunelerin boy uzama değerleri incelendiğinde numunelerin boy uzamalarının zamanla artış gösterdiği gözlenmiş olup ayrıca, sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde boy uzama miktarının daha fazla olduğu görülmüştür.

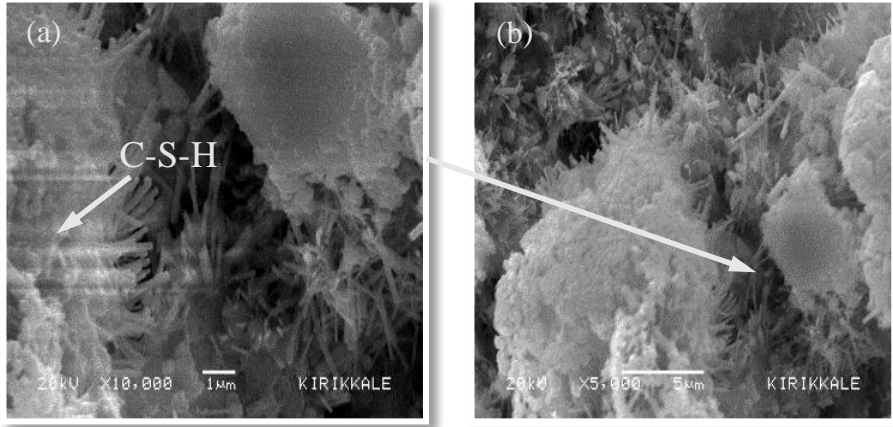
Bütün ikame şekilleri ve oranları incelendiğinde sodyum sülfat kürü için en fazla boy uzaması % 0.58 ile % 10 Uçucu Kül+Taban Külü ikameli çimento harçları yaparken en az boy uzaması ise % 0.087 değeri ile % 20 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu görülmüştür. Bu sonuçla birlikte % 20 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harcının basınç dayanımına bakıldığında ise 55.50 MPa ile SS küründe en yüksek basınç dayanımı olan 56.24 MPa değerine yakın bir değer verdiği tespit edilmiştir. Normal su küründeki numuneler incelendiğinde ise, en az boy uzamasının %0.011 ile % 5 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında, en fazla boy uzamasının ise % 0.087 ile Uçucu Kül+Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu görülmüştür. Bu sonuçla birlikte % 5 Taban Külü+ Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harcının basınç dayanımına bakıldığında ise 56.96 MPa ile en yüksek basınç dayanımı verdiği ve boy uzaması değeri ile basınç dayanımının birbirini destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Boy uzama değerleri verilen numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise numunelerdeki etrenjit çubukları gelişimi, numunelerin boy uzama miktarıyla doğru orantılı bir artış gösterdiği gözlenmiştir.

3.4. Çimento Harçlarının Mikroyapısal Özellikleri

SEM ile incelenen numunelerin mikro yapısında aşağıdaki sırası ile belirtilen bulgular bulunmuştur.

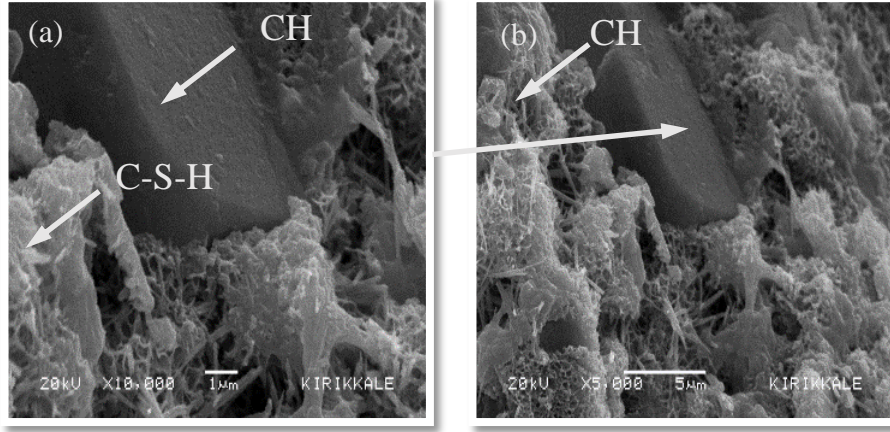
3.4.1. Normal Su Küründe Olgunlaştırılan Katkısız Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

Normal su küründe olgunlaştırılan katkısız çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiştir. (a) görüntüsü, (b) görüntüsündeki ok ile gösterilen noktanın büyütülmüş halidir. Bu çalışmalara göre;



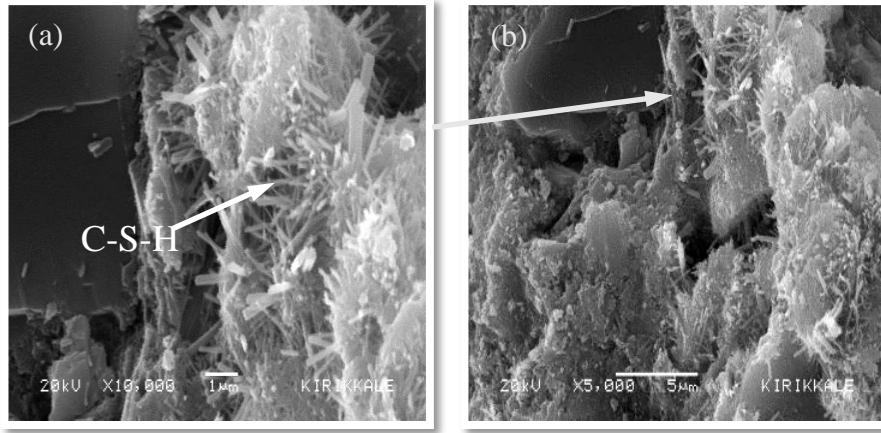
Şekil 3.22. Katkısız çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.22.'de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde C-S-H jellerinin 2 günde oluşmaya başladığı görülmüştür. Numuneler 2 günlük olmasına rağmen 5µm (b) ve 1µm (a) boyutunda alınan SEM görüntülerinde C-S-H jellerin gelişimi rahatlıkla gözlemlenmiştir.



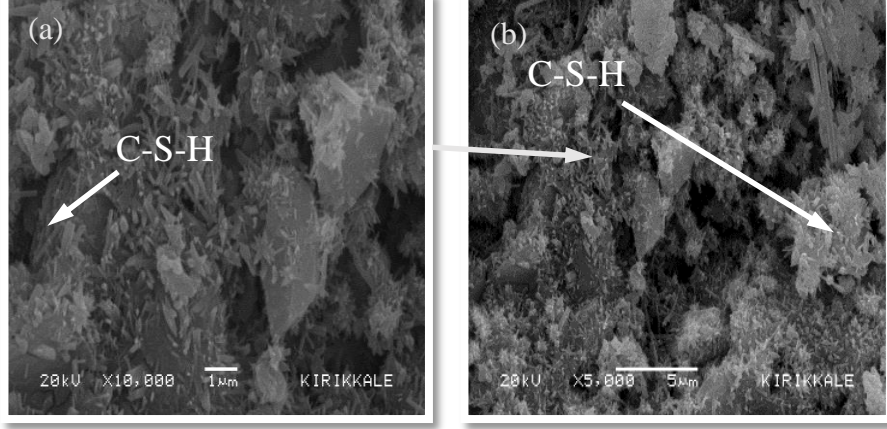
Şekil 3.23. Katkısız çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.23.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, CH jellerinin net bir şekilde görüldüğü (a)-(b) ve C-S-H jellerinin yavaş yavaş CH jellerinin üstünü kapatmaya başladığı ve C-S-H jellerinin gelişiminin arttığı gözlenmiştir.



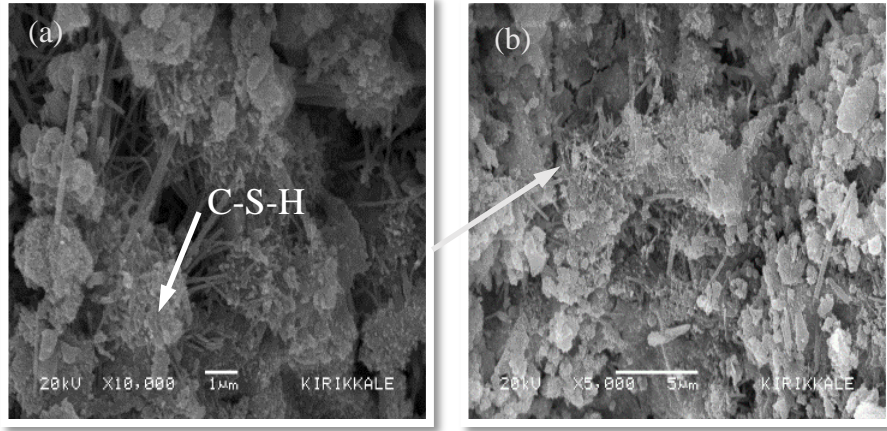
Şekil 3.24. Katkısız çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.24, verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde C-S-H jellerinin (a)-(b) gittikçe arttığı görülmüştür.



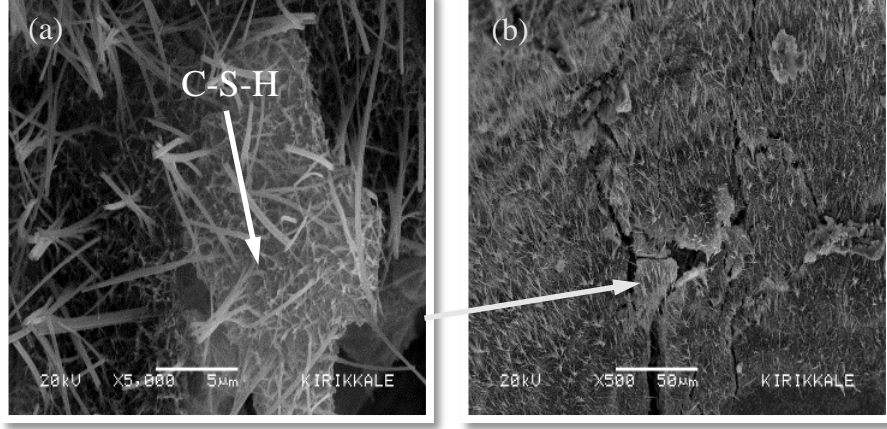
Şekil 3.25. Katkısız çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.25 de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde C-S-H jellerinin 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde net bir şekilde arttığı görülmüştür.



Şekil 3.26. Katkısız çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.26 da verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde C-S-H jellerinin 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde net bir şekilde arttığı görülmüştür.

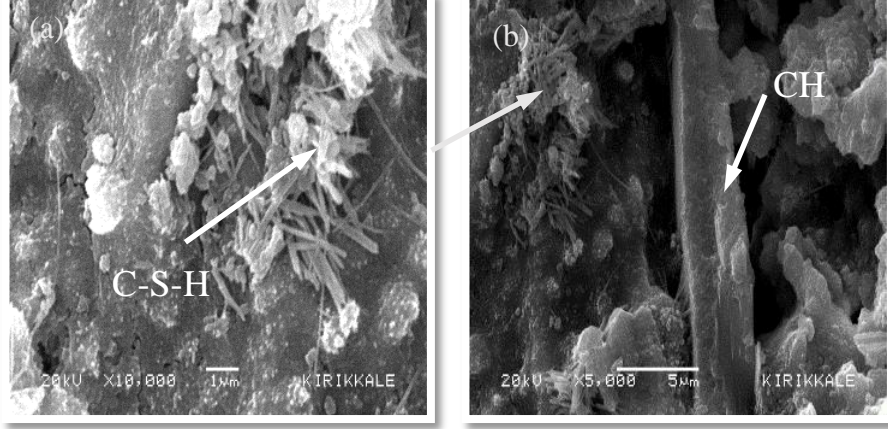


Şekil 3.27. Katkısız çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.27 de verilen 360 günlük görüntülerde 50µm (b) boyutunda alınan SEM görüntülerinde dahi C-S-H jellerinin rahatlıkla tespit edildiği görülmüştür.

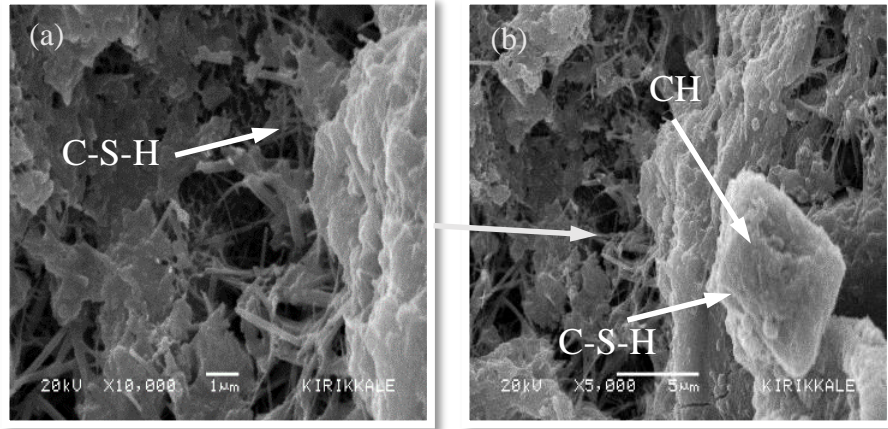
3.4.2. % 10 Sodyum Sülfat Küründe Olgunlaştırılan Katkısız Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

Sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan katkısız çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;



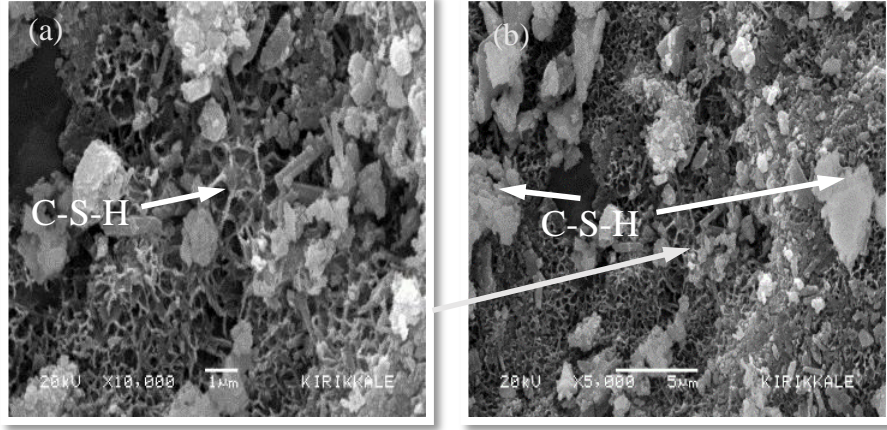
Şekil 3.28. Katkısız çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.28.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde CH jellerinin oluştuğu C-S-H jellerinin ise oluşmaya başladığı görülmüştür. Numuneler 2 günlük olmasına rağmen 5µm (b) ve 1µm (a) boyutunda alınan SEM görüntülerinde jellerin gelişimi rahatlıkla gözlenebilmiştir.



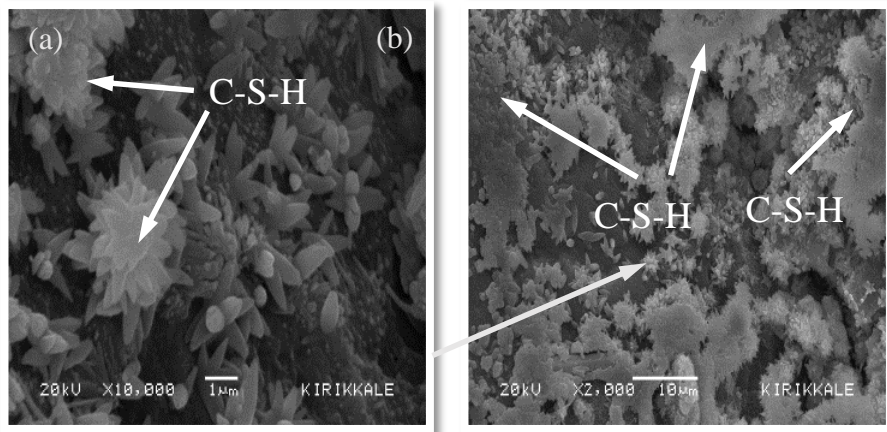
Şekil 3.29. Katkısız çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.29.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, C-S-H jellerinin yavaş yavaş CH jellerinin üstünü kapatmaya başladığı ve C-S-H jellerinin 2 günlük numunelere göre gelişiminin arttığı gözlenmiştir.



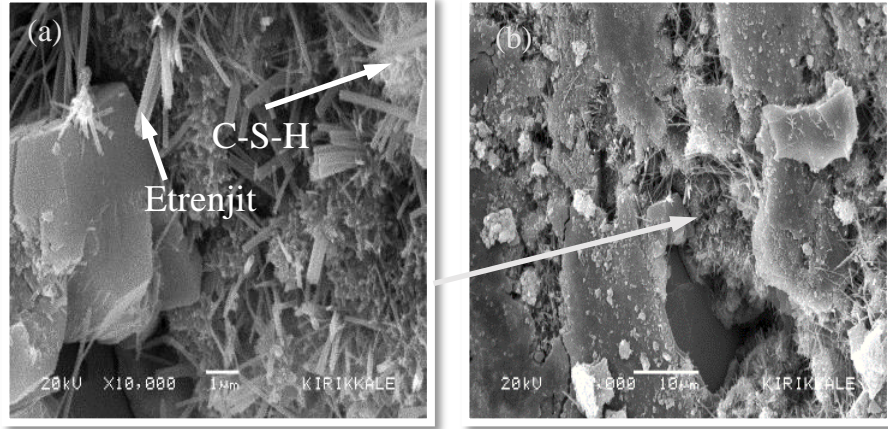
Şekil 3.30. Katkısız çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.30.' da verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde C-S-H jellerinin gittikçe arttığı görülmüştür.



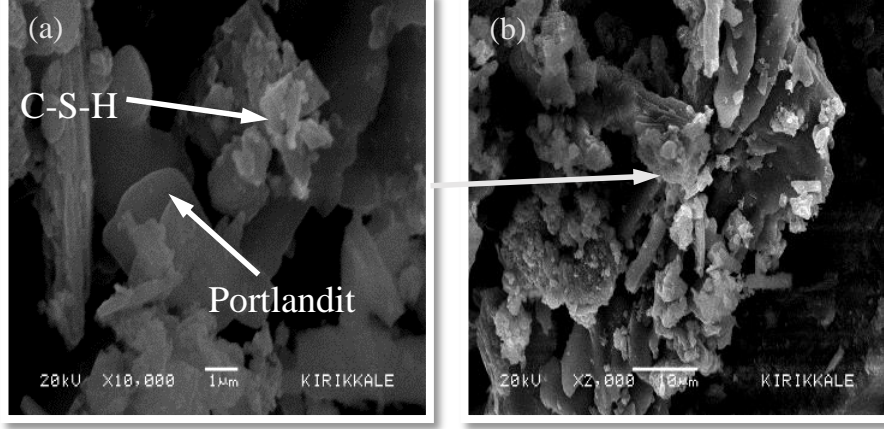
Şekil 3.31. Katkısız çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.31.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde C-S-H jellerinin gittikçe arttığı izlenmiş olup, 10µm (b) boyutunda alınan SEM görüntülerinde dahi C-S-H jellerinin artışı net bir şekilde göze çarpmaktadır.



Şekil 3.32. Katkısız çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.32.'de verilen 180 günlük SEM görüntülerinde C-S-H jellerinin arttığı ve sodyum sülfat küründen dolayı etrenjit oluşumlarının yer yer başladığı tespit edilmiştir.



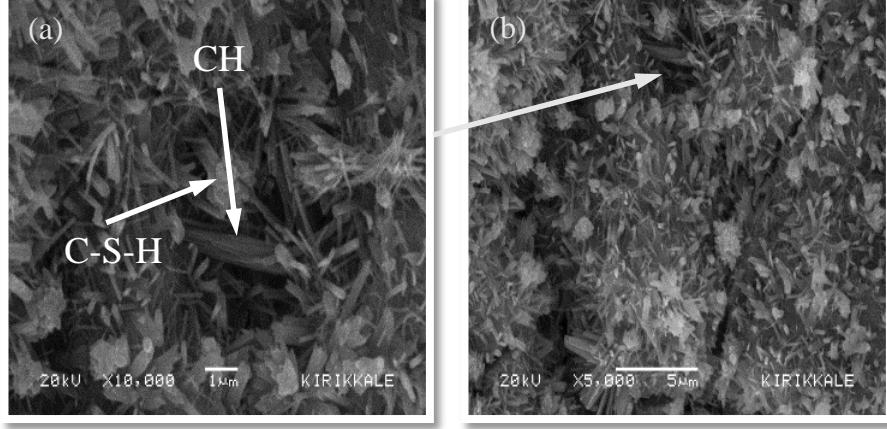
Şekil 3.33. Katkısız çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.33.' de verilen 360 günlük SEM görüntülerinde ise C-S-H jelleri tespit edilmiştir ve portlandit oluşumuna rastlanmıştır.

Sonuç olarak; normal su küründe olgunlaştırılan 2 günlük numunelerde CH kristallerine rastlanmıştır, 7 günden sonra ise C-S-H jelleri CH kristallerinin üzerini kapatmaya başlamıştır. Normal su küründeki numunelerde 180 günden sonra çimentonun sülfat içeriğinden kaynaklı ve kür suyundaki klor vb. maddelerin agresif bir ortam yaratmalarından dolayı etrenjit ve portlandit oluşumu gözlenmiştir. %10 sodyum sülfat küründe ise sülfat etkisi ile 180 günden sonra yoğun bir etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

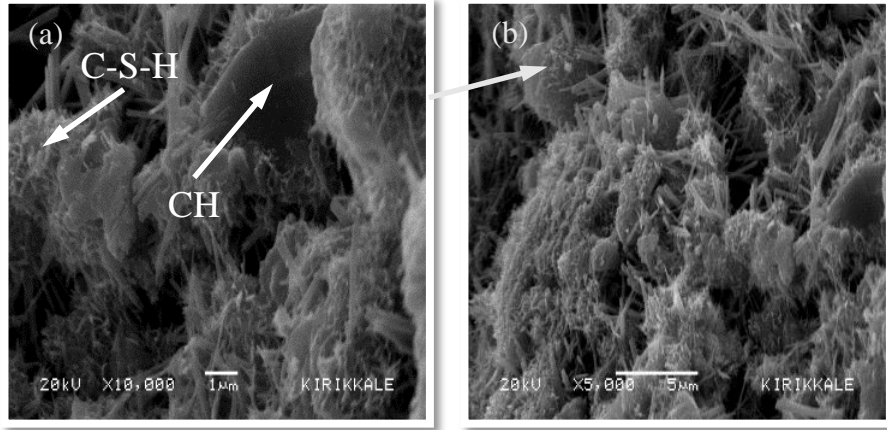
3.4.3. Normal Su Küründe %5 ve %20 TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

Normal su küründe olgunlaştırılan %5 ve %20 TK+YFC katkıli çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;



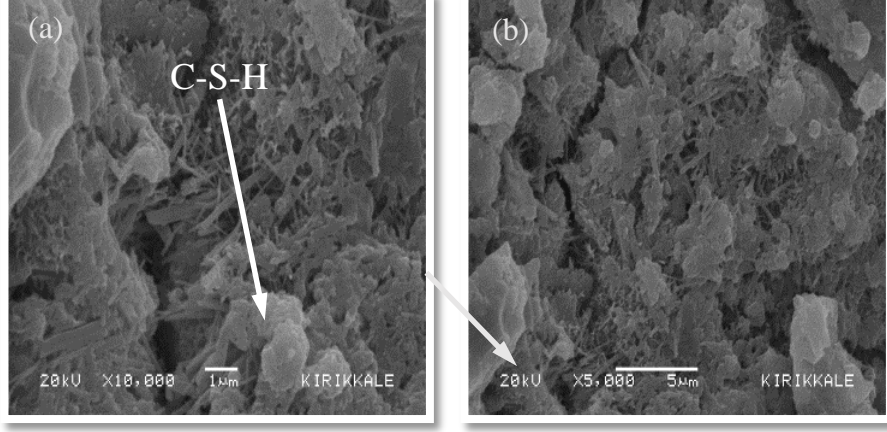
Şekil 3.34. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.34.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, CH ve C-S-H jelleri açık bir şekilde görülmektedir (a).



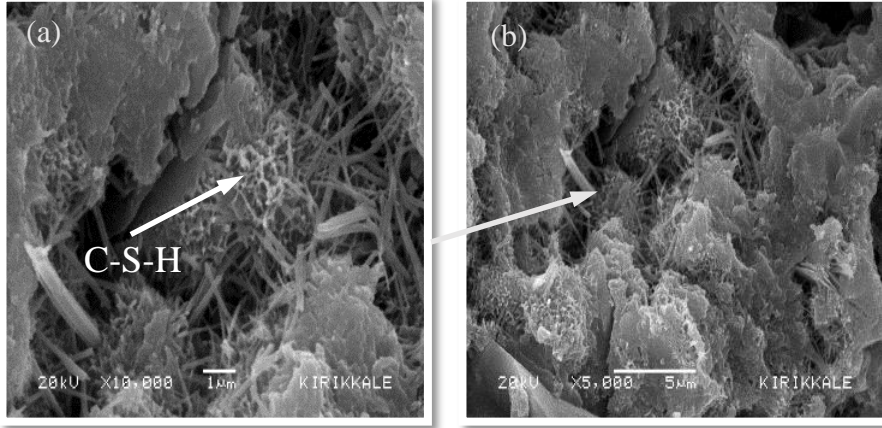
Şekil 3.35. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.35.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde numuneler 2 günlük olmasına rağmen 5µm (b) ve 1µm (a) boyutunda alınan SEM görüntülerinde CH ve C-S-H jellerin gelişimi rahatlıkla gözlemlenmiştir.



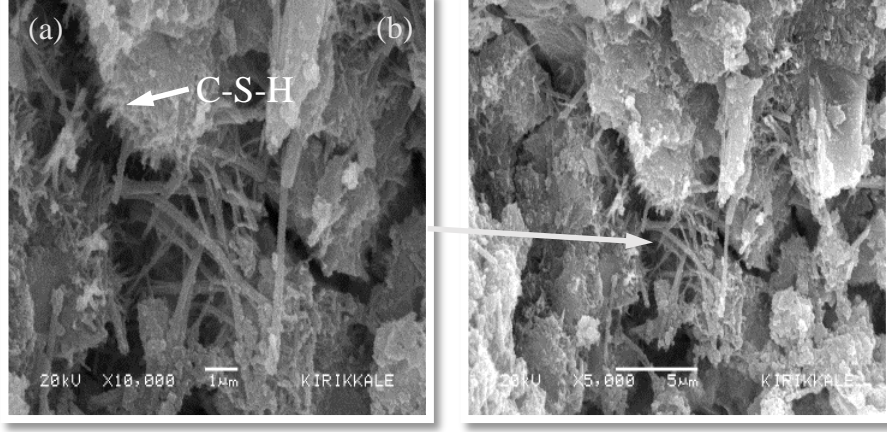
Şekil 3.36. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.36. verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, C-S-H jellerinin 2 günlük numunelere göre hayli artış yaptığı görülmüştür.



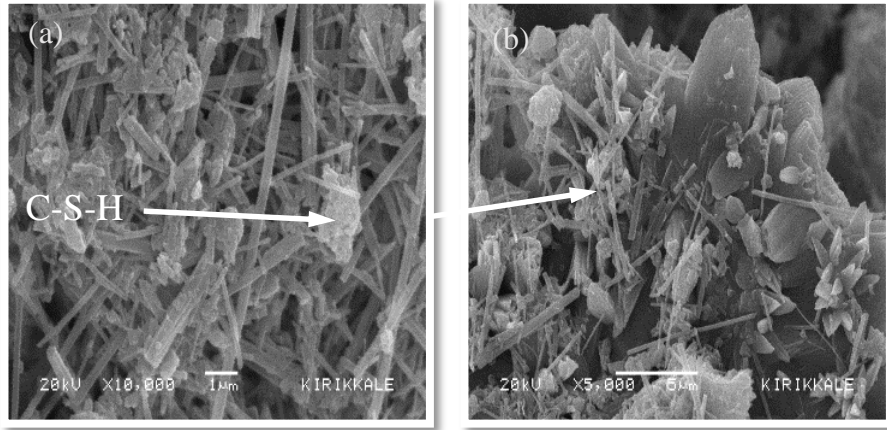
Şekil 3.37. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.37.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, C-S-H jellerinin 2 günlük numunelere göre hayli artış yaptığı görülmüştür.



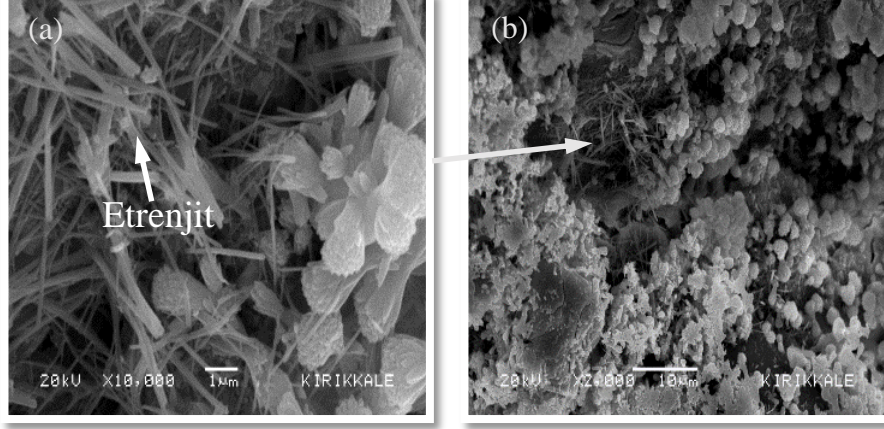
Şekil 3.38. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.38.' de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde, C-S-H jellerinin 7 günlük numunelere göre hayli artış yaptığı görülmüştür.



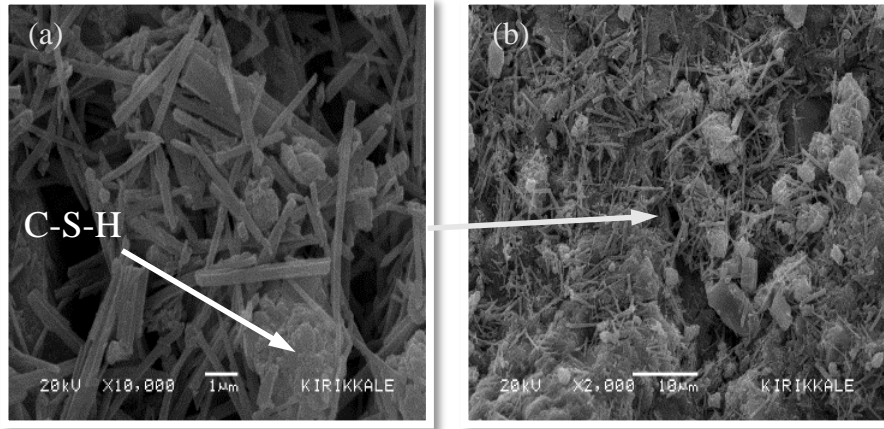
Şekil 3.39. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.39.' da verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, C-S-H jellerinin 7 günlük numunelere göre hayli artış yaptığı görülmüştür.



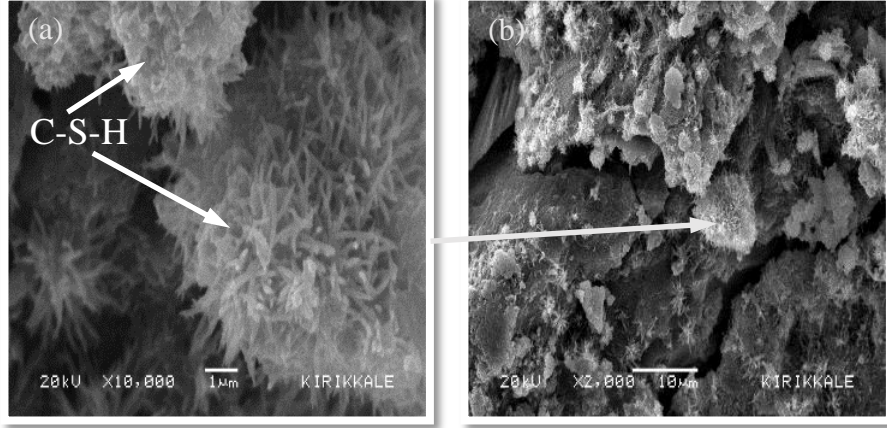
Şekil 3.40. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.40.' da verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı harçlarda 10µm (b) büyüklüğündeki SEM görüntülerinde bile C-S-H jellerinin arttığı görülmüş ayrıca 1µm (a) büyüklüğünde görüntüde ise çimentonun sülfat içeriğinden dolayı etrenjit oluşumlarının başladığı tespit edilmiştir.



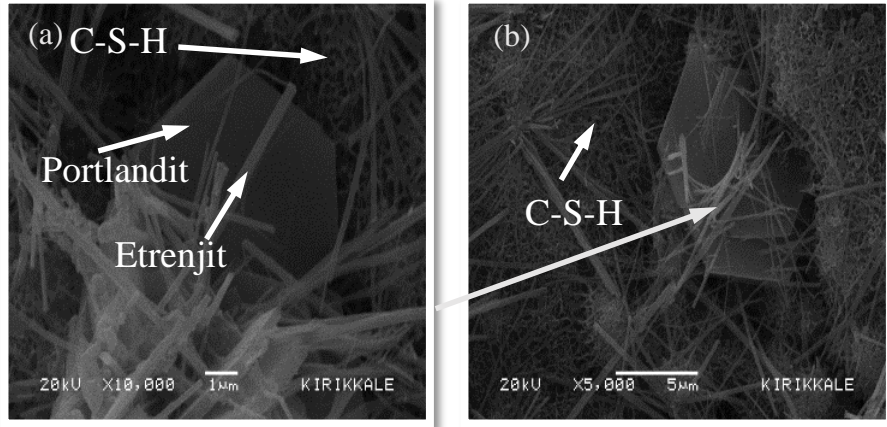
Şekil 3.41. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.41.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde % 20 katkılı çimento harçlarında yoğun bir şekilde C-S-H oluşumu izlenmiştir.



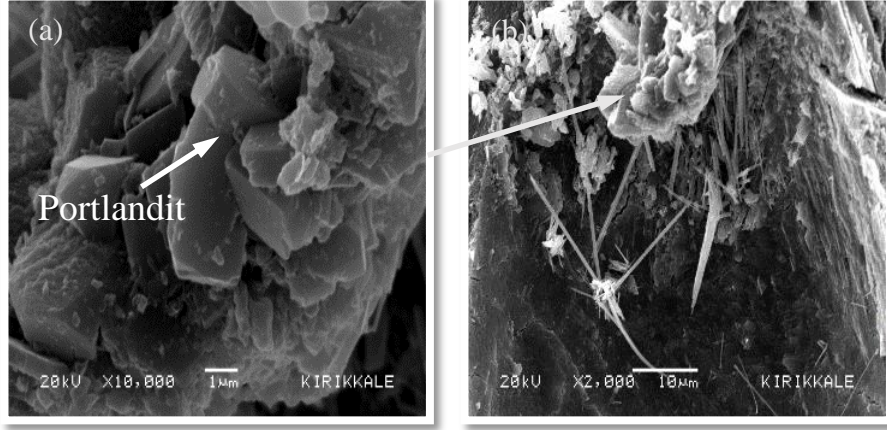
Şekil 3.42. TK+YFC katkıli çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.42.'de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 katkıli harçlarda SEM görüntülerinde C-S-H jellerinin yoğun bir şekilde varlığı tespit edilmiştir (a)-(b).



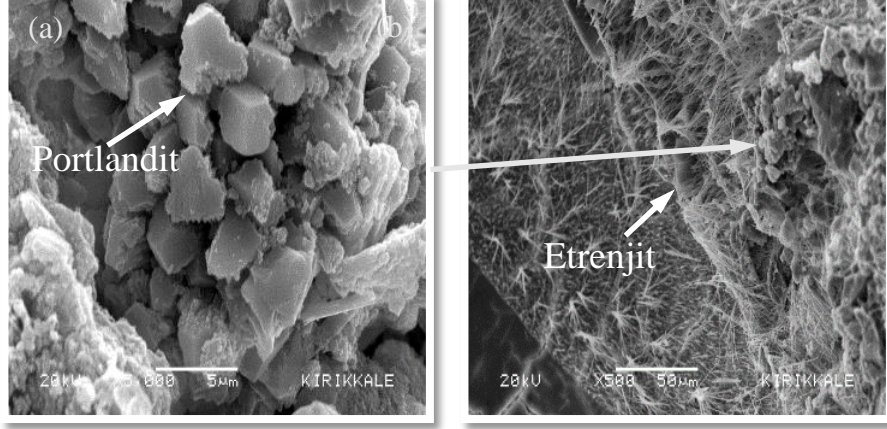
Şekil 3.43. TK+YFC katkıli çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.43.'de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde; % 20 katkı çimento harçlarında yoğun bir şekilde C-S-H jeli oluşumu izlenmiş olup 1µm (a) büyüklüğündeki sem görüntüsünde ise portlandit, etrenjit ve C-S-H jelleri aynı görüntüde tespit edilmiştir.



Şekil 3.44. TK+YFC 5 katkı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.44.' de verilen 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 katkı harçlarda 1µm büyüklüğündeki SEM görüntülerinde portlanditlerin yoğun bir şekilde varlığı tespit edilmiştir.

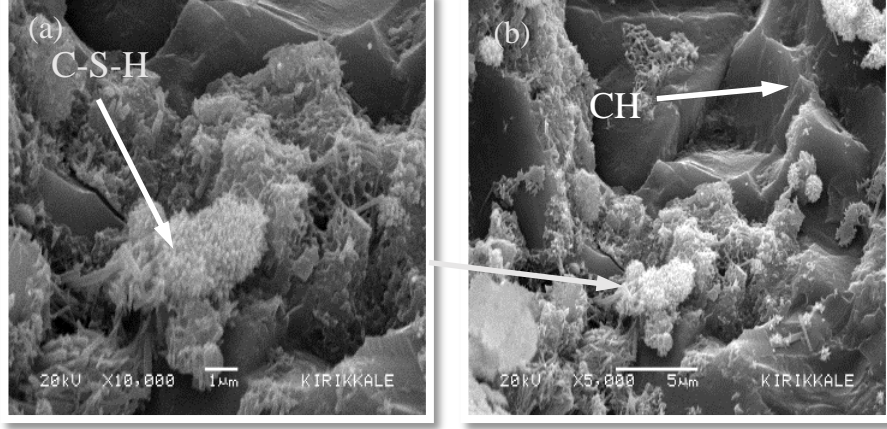


Şekil 3.45. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.45.' de verilen 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında 50µm (b) büyüklüğünde görüntülerde bile yoğun bir şekilde etrenjit oluşumu izlenmiş olup 5µm büyüklüğündeki sem görüntüsünde ise portlanditler tespit edilmiştir.

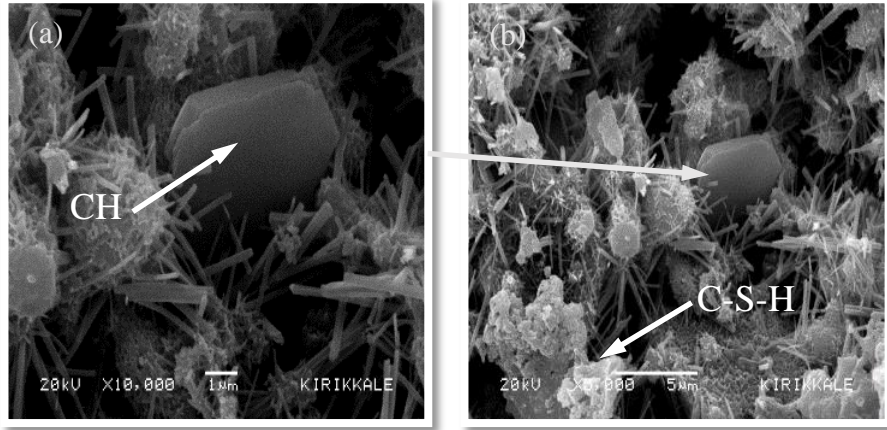
3.4.4. % 10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

Sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan %5 ve %20 TK+YFC katkılı çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;



Şekil 3.46. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

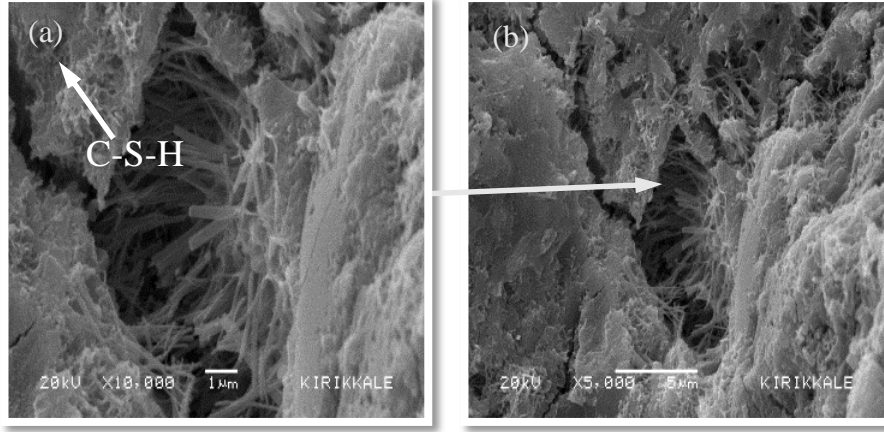
Şekil 3.46.' da verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 katkılı harçlarda 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde yoğun olarak CH jellerinin oluştuğu, 1µm (a) büyüklüğündeki görüntülerde ise C-S-H jellerinin oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 3.47. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

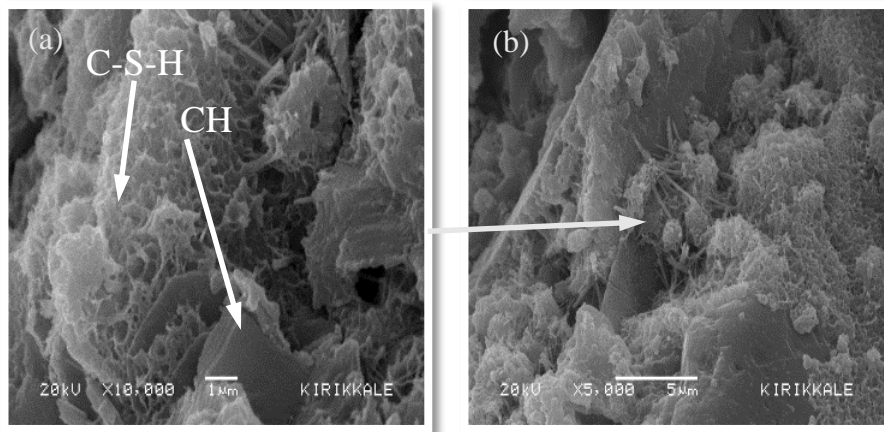
Şekil 3.47.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında 1µm (a) büyüklüğündeki görüntülere hem CH hem de C-S-H jellerinin oluşmaya başladığı görülmüştür. Numuneler 2 günlük olmasına rağmen 5µm (b) ve

1µm (a) boyutunda alınan SEM görüntülerinde CH ve C-S-H jellerin gelişimi rahatlıkla gözlenebilmiştir.



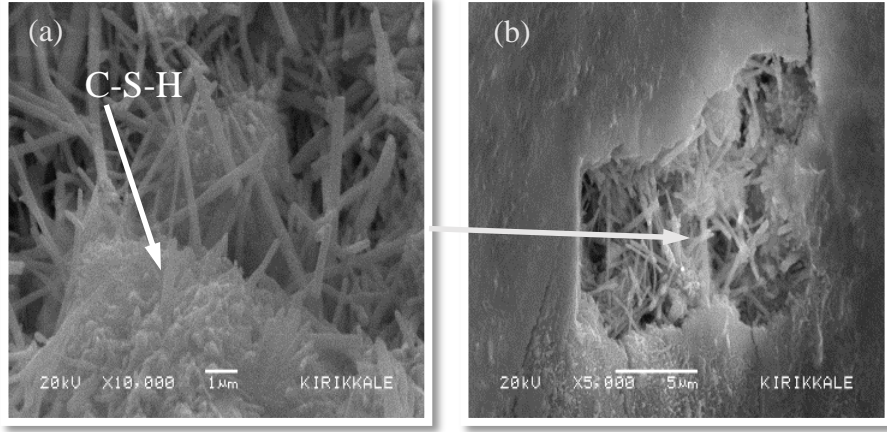
Şekil 3.48. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.48.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 katkılı harçlarda 1 µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin oluştuğu görülmüştür.

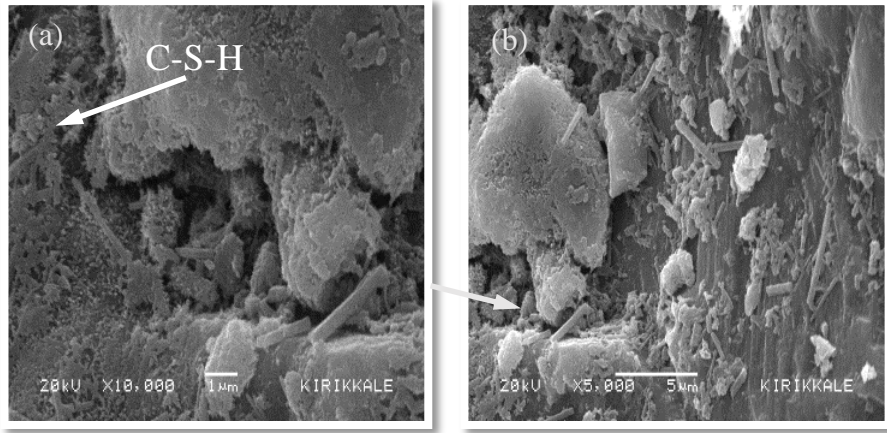


Şekil 3.49. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.49.' da verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde % 20 katkıli harçlarda CH jellerinin üstünün C-S-H jelleri ile kaplanmaya başladığı görülmüştür.

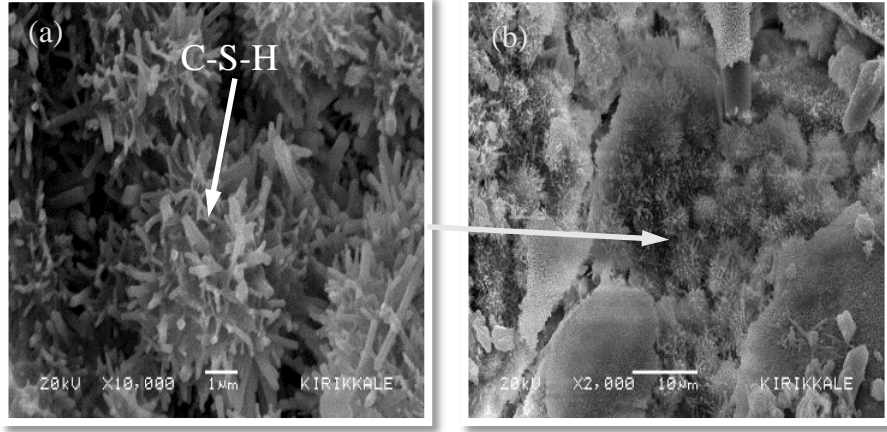


Şekil 3.50. TK+YFC 5 katkıli çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

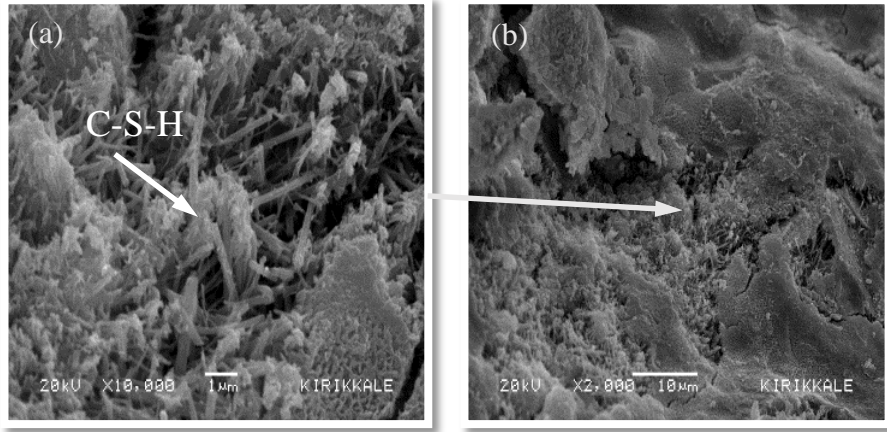


Şekil 3.51. TK+YFC 20 katkıli çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.50. , Şekil 3.51.' de verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 ve % 20 katkıli harçlarda 1 µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin yoğun olarak oluştuğu görülmüştür.

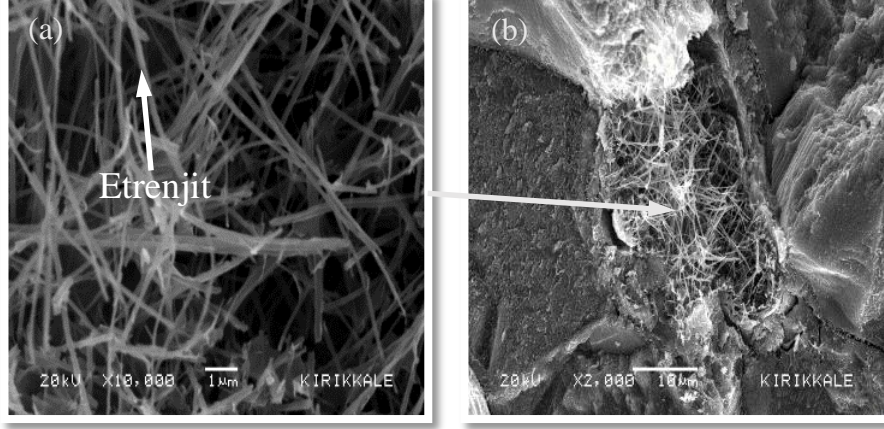


Şekil 3.52. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

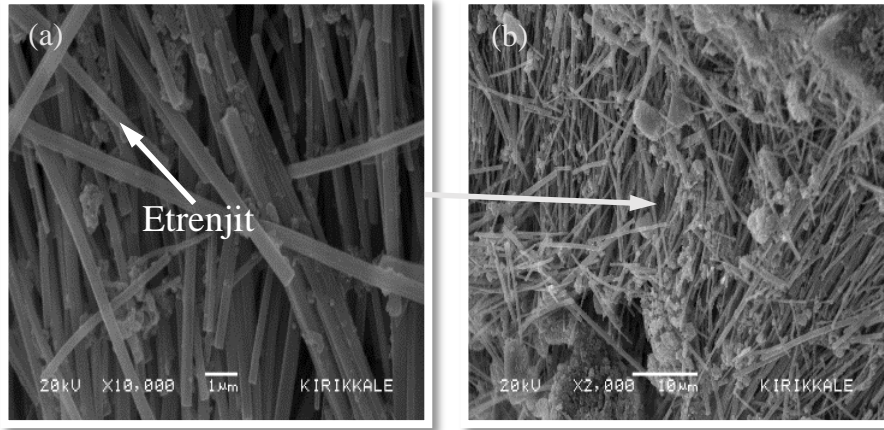


Şekil 3.53. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.52. ve 3.53' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı harçlarda 1 μm (a) ve 10 μm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin yoğun olarak oluştuğu görülmüştür.

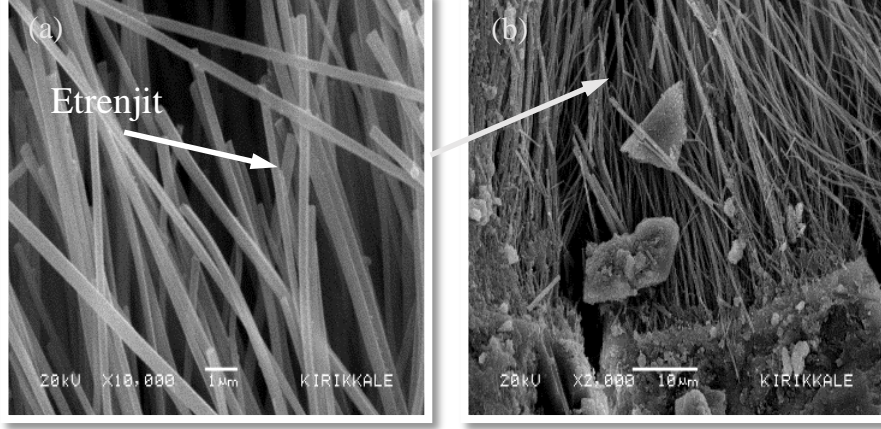


Şekil 3.54. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

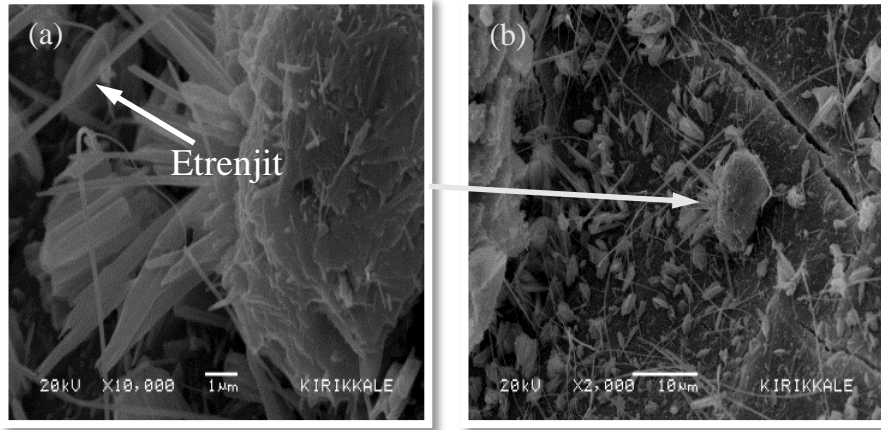


Şekil 3.55. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.54., Şekil 3.55.' de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı harçlarda 1 µm (a) ve 10µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde sodyum sülfat küründen dolayı etrenjit jellerinin yoğun olarak oluştuğu görülmüştür.



Şekil 3.56. TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)



Şekil 3.57. TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)

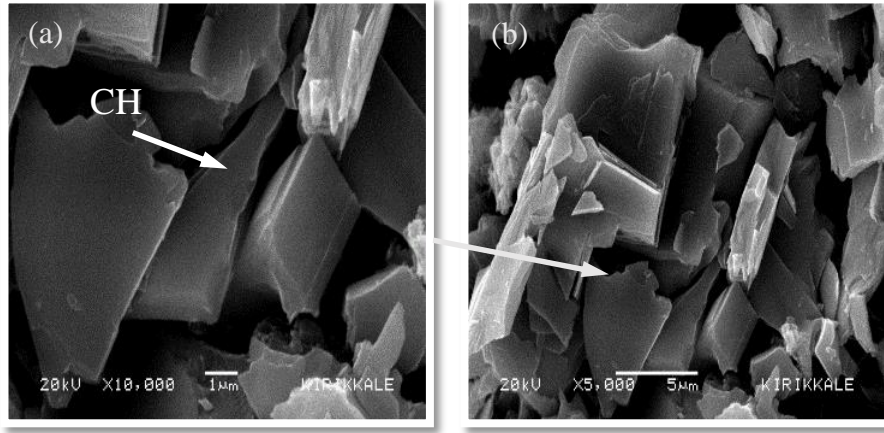
Şekil 3.56., Şekil 3.57.' da verilen 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı harçlarda 1 µm (a) ve 10µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde sodyum sülfat küründen dolayı etrenjit jellerinin yoğun olarak oluştuğu görülmüştür.

Sonuç olarak; normal su küründe olgunlaştırılan 2 günlük numunelerde CH ve C-S-H jellerine rastlanmış, 7 günden sonra ise C-S-H jelleri CH kristallerinin üzerini kapatmaya başlamıştır. Normal su küründeki numunelerde 90 günden sonra çimentonun sülfat içeriğinden kaynaklı ve kür suyundaki klor vb. maddelerin agresif

bir ortam yaratmalarından dolayı etrenjit oluşumu gözlenmiştir. %10 sodyum sülfat küründe ise sülfat etkisi ile normal su küründen daha yoğun bir etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

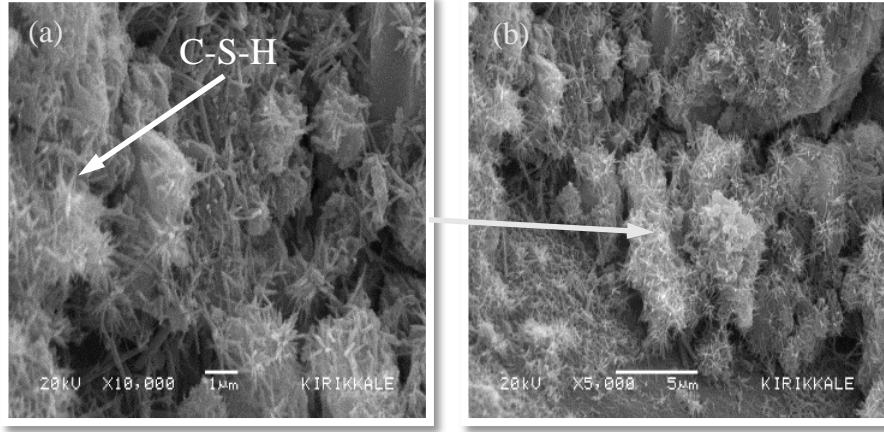
3.4.5. Normal Su Küründe %5 ve %20 UK+TK Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

Normal Su küründe olgunlaştırılan %5 UK+TK katkıli çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;



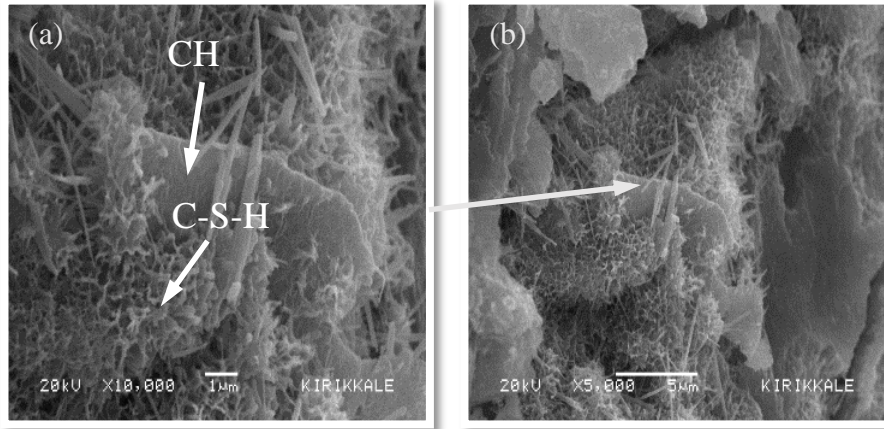
Şekil 3.58. UK+TK 5 katkıli çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.58.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkıli harçlarda 1µm ve 5µm büyüklüğündeki görüntülerde yoğun olarak C-H jellerinin oluştuğu gözlenmiştir.



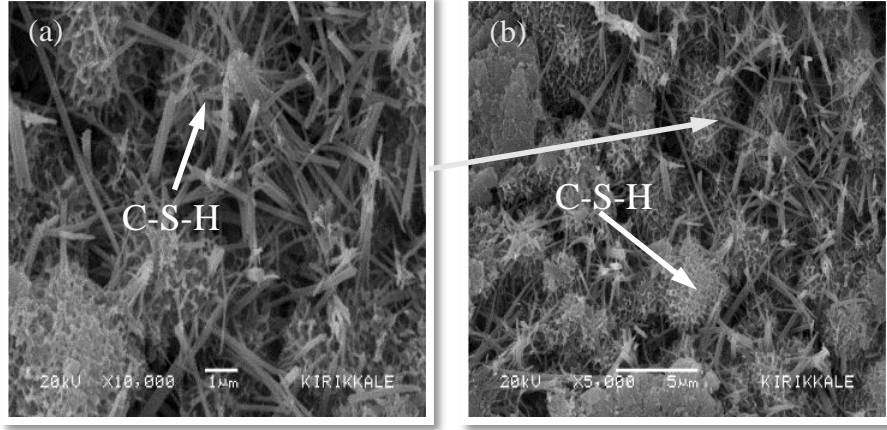
Şekil 3.59. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

3.59.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında $1\mu\text{m}$ ve $5\mu\text{m}$ büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin oluşmaya başladığı görülmüştür. Numuneler 2 günlük olmasına rağmen $5\mu\text{m}$ (a) ve $1\mu\text{m}$ (b) boyutunda alınan SEM görüntülerinde jellerin gelişimi rahatlıkla gözlenebilmiştir.



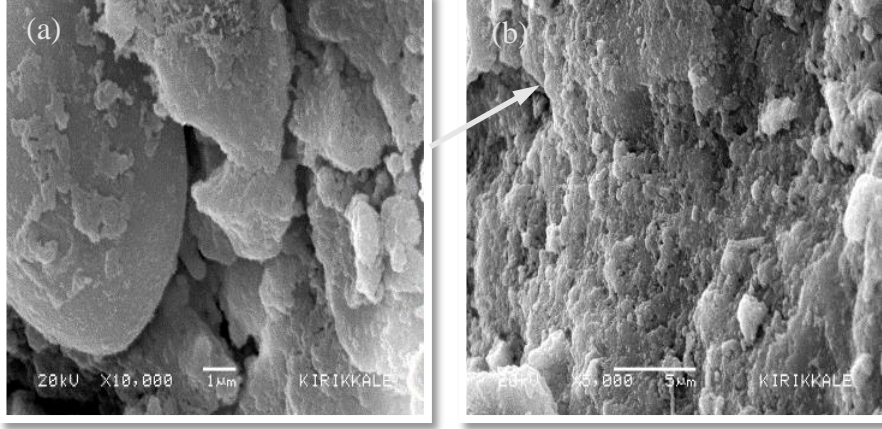
Şekil 3.60. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.60.' da verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkıli harçlarda $1\mu\text{m}$ ve $5\mu\text{m}$ büyüklüğündeki görüntülerde yoğun olarak C-H jellerinin ve C-S-H jellerinin birlikte olduğu gözlenmiştir.

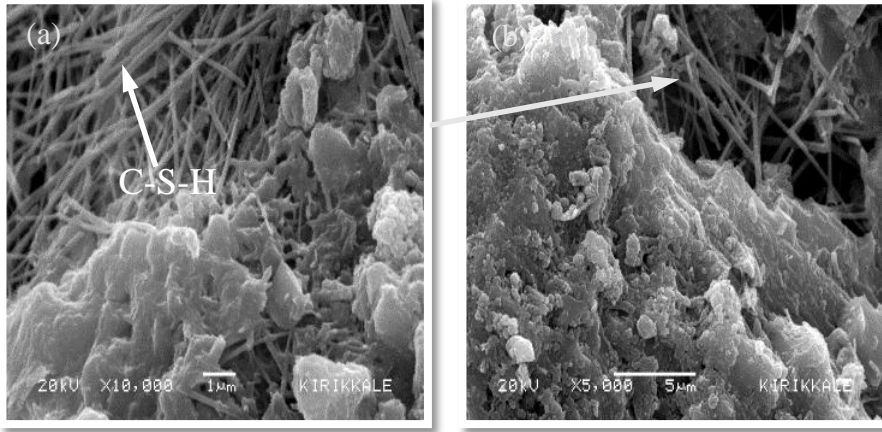


Şekil 3.61. UK+TK 20 katkıli çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.61.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkıli çimento harçlarında $1\mu\text{m}$ (a) ve $5\mu\text{m}$ (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin oluşmaya başladığı görülmüştür. Numuneler 2 günlük olmasına rağmen $5\mu\text{m}$ (b) ve $1\mu\text{m}$ (a) boyutunda alınan SEM görüntülerinde C-S-H jellerin gelişimi rahatlıkla gözlenebilmiştir.

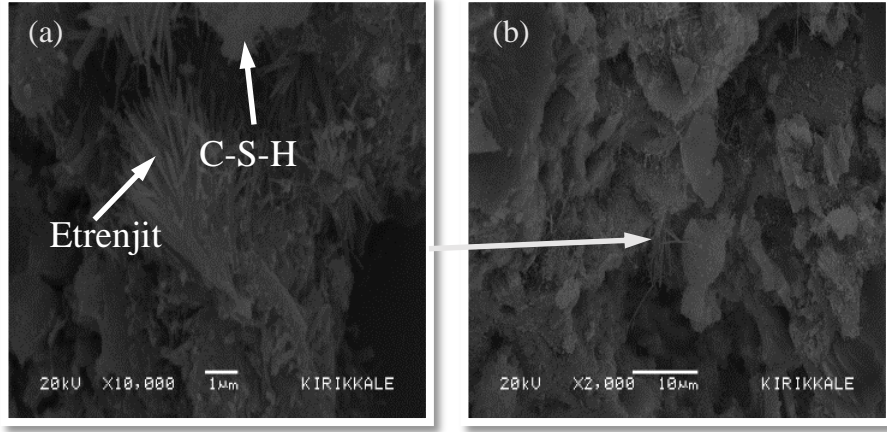


Şekil 3.62. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)



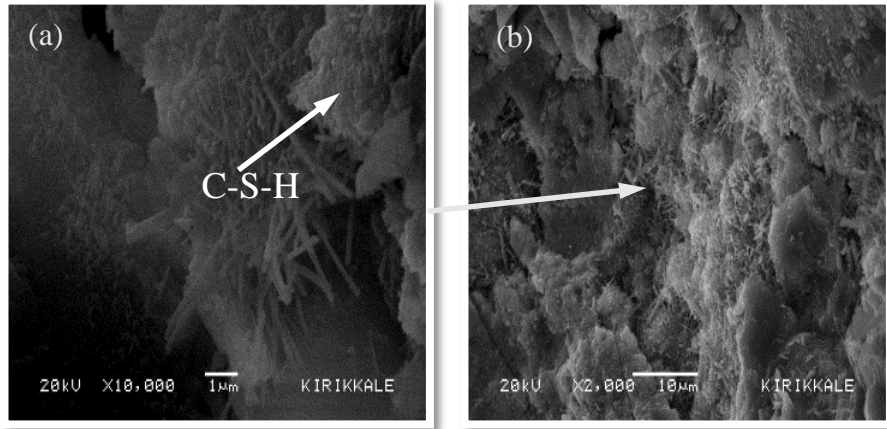
Şekil 3.63. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.62. ve Şekil 3.63.' de verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 ve % 20 katkılı harçlarda 1µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde yoğun olarak C-S-H jellerinin oluştuğu gözlenmiştir.



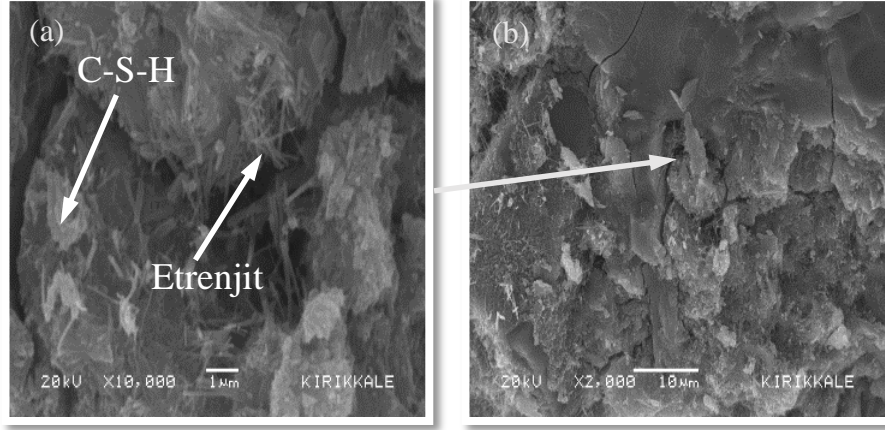
Şekil 3.64. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.64.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı harçlarda 1µm (a) ve 10µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin varlığı gözlenmiş ayrıca çimentonun sülfat içeriğinden dolayı etrenjit oluşumunun başladığı tespit edilmiştir.

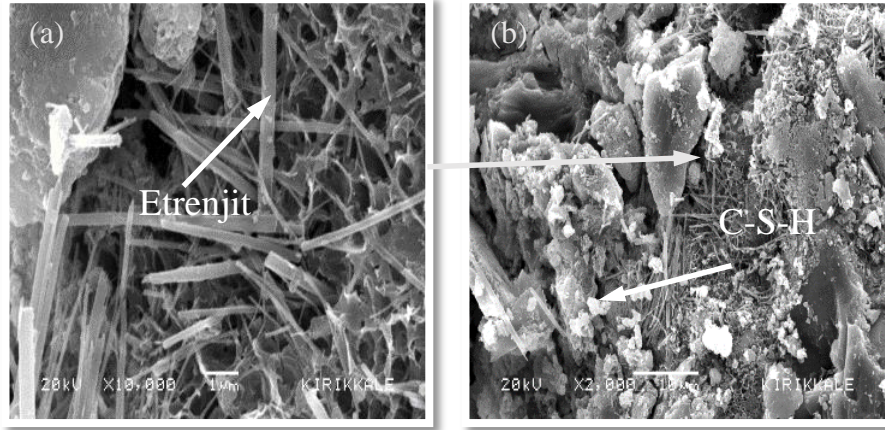


Şekil 3.65. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.65.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkı çimento harçlarında ise 1µm ve 10µm büyüklüğündeki görüntülerde numunelerde C-S-H jellerinin yoğun olarak varlığı gözlenmiştir.

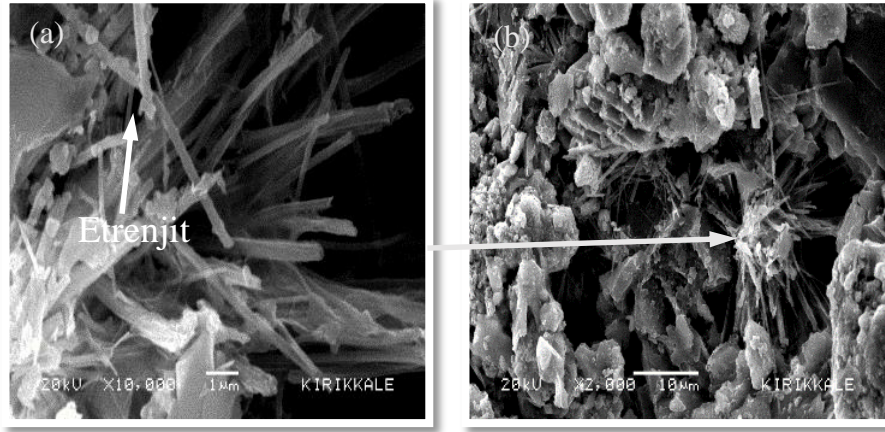


Şekil 3.66. UK+TK 5 katkı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

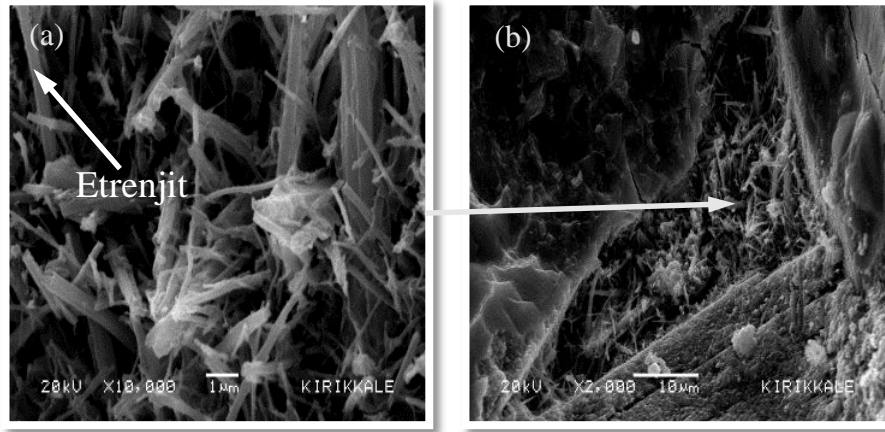


Şekil 3.67. UK+TK 20 katkı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.66., Şekil 3.67.' de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkı harçlarda 1 µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin yanı sıra etrenjit oluşumunda yoğun olarak bir artış görülmüştür.



Şekil 3.68. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

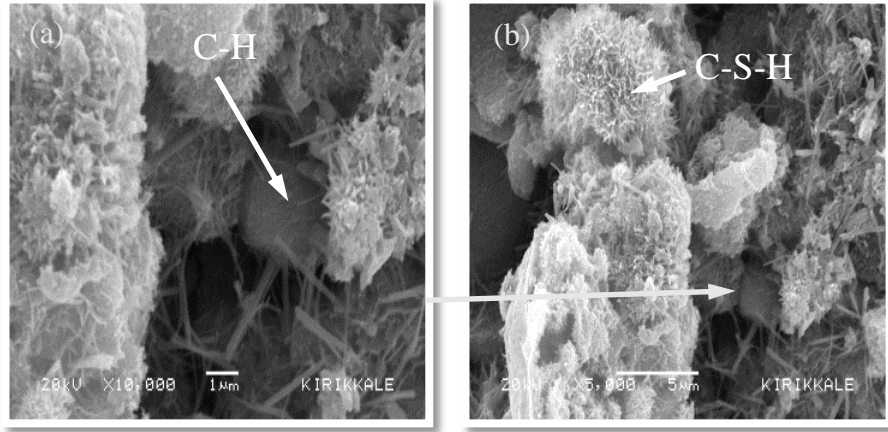


Şekil 3.69. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

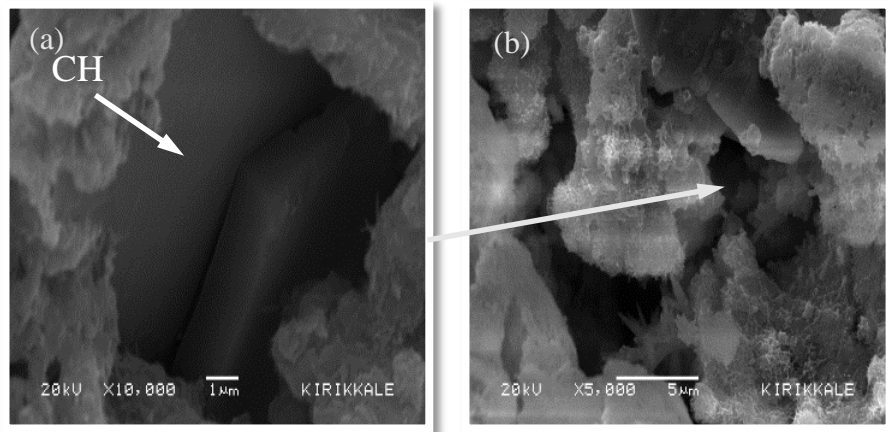
Şekil 3.68.,ve Şekil 3.69.' da 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, %5 ve %20 katkılı harçlarda 1 μm (a) ve 10 μm (b) büyüklüğündeki görüntülerde etrenjit oluşumunda yoğun olarak bir artış görülmüştür.

3.4.6. %10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 UK+TK Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

%10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaştırılan %5 ve %20 UK+TK katkıli çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;

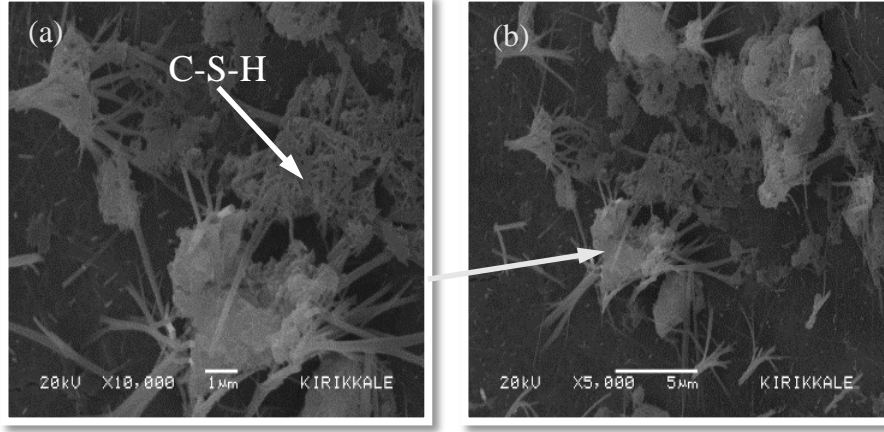


Şekil 3.70. UK+TK 5 katkıli çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

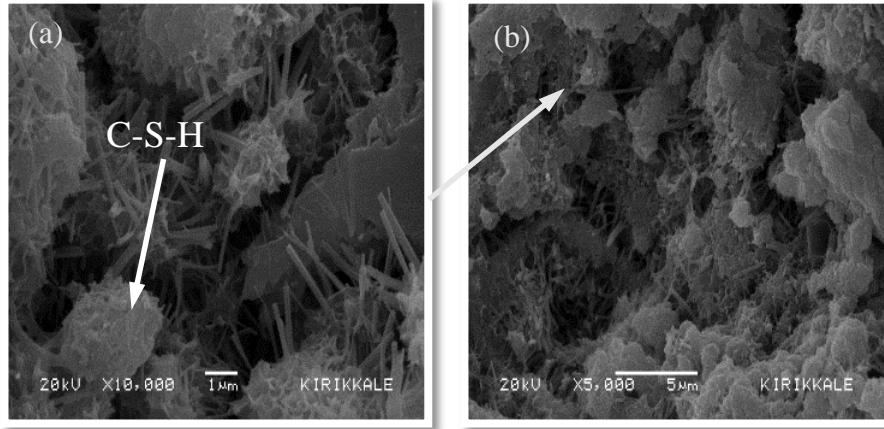


Şekil 3.71. UK+TK 20 katkıli çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.70. ve Şekil 3.71.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkıli harçlarda $1\mu\text{m}$ ve $5\mu\text{m}$ büyüklüğündeki görüntülerde CH jellerinin yanı sıra C-S-H jellerinin oluştuğu gözlenmiştir. Numuneler 2 günlük olmasına rağmen $5\mu\text{m}$ (a) ve $1\mu\text{m}$ (b) boyutunda alınan SEM görüntülerinde CH ve C-S-H' ların gelişimi rahatlıkla gözlenebilmiştir.

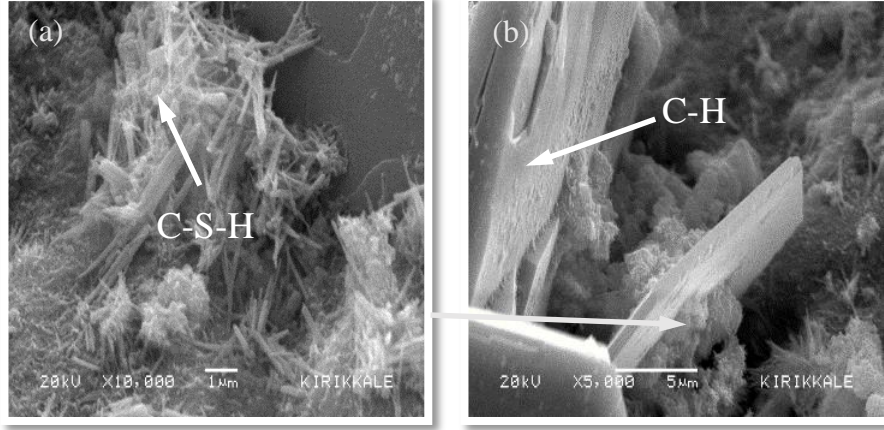


Şekil 3.72. UK+TK 5 katkıli çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)



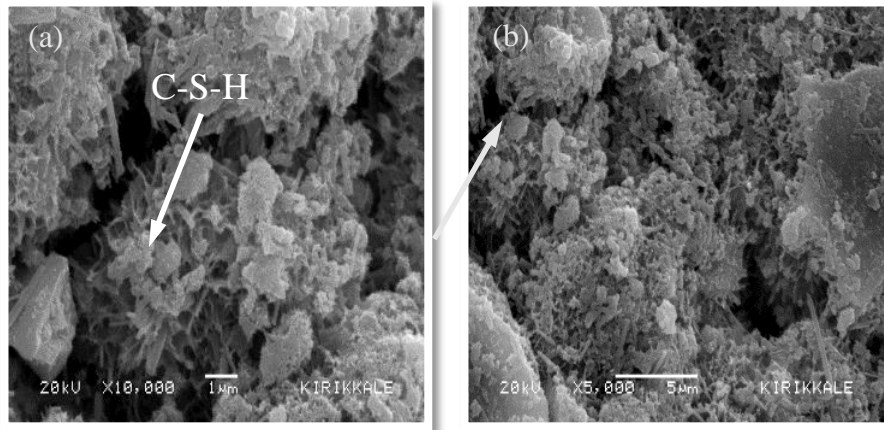
Şekil 3.73. UK+TK 20 katkıli çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.72. ve Şekil 3.73.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 ve % 20 katkıli harçlarda 1µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin varlığı gözlenmiştir.



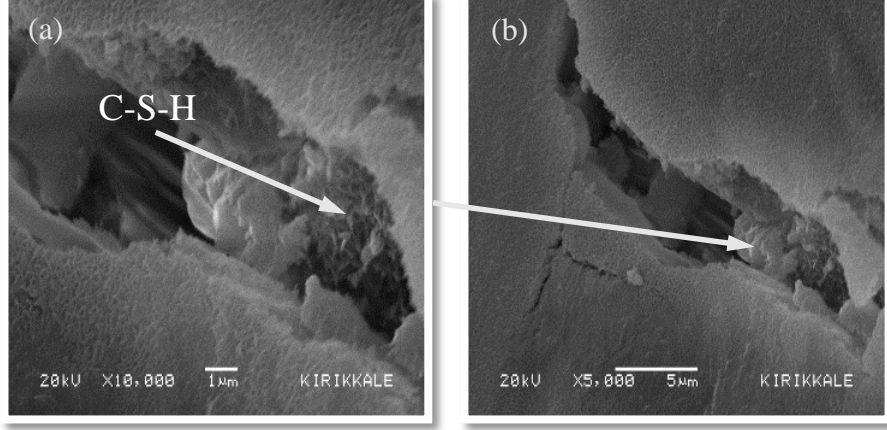
Şekil 3.74. UK+TK 5 katkıli çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.74.' de verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkıli harçlarda 1µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde CH jellerine rastlanmış olup, 7 günlük numunelere göre C-S-H jellerinde olduğu artış gözlenmiştir.



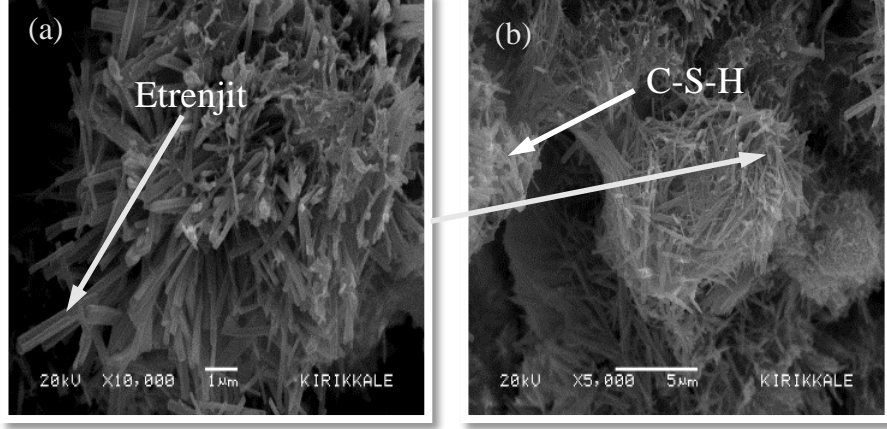
Şekil 3.75. UK+TK 20 katkıli çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.75.' de verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde % 20 katkıli harçlarda $1\mu\text{m}$ (a) ve $5\mu\text{m}$ (b) büyüklüğündeki görüntülerde yoğun olarak C-S-H jellerinin oluştuğu gözlenmiştir.



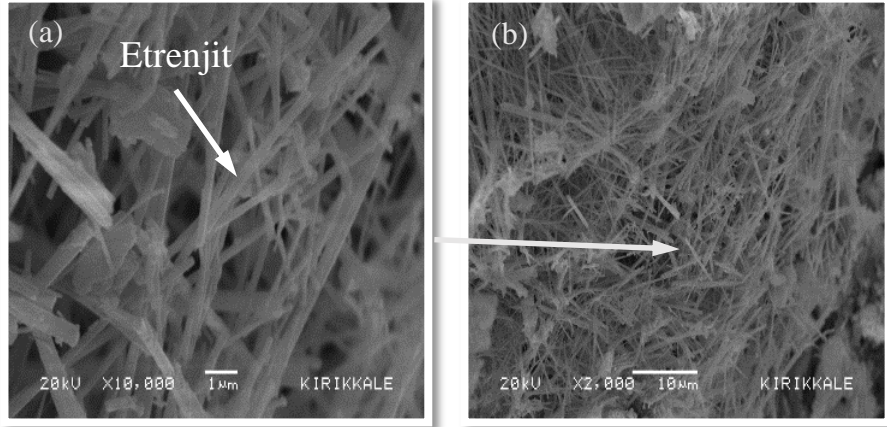
Şekil 3.76. UK+TK 5 katkıli çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.76.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkıli çimento harçlarında ise $1\mu\text{m}$ ve $5\mu\text{m}$ büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin yoğun olarak varlığı gözlenmiştir.

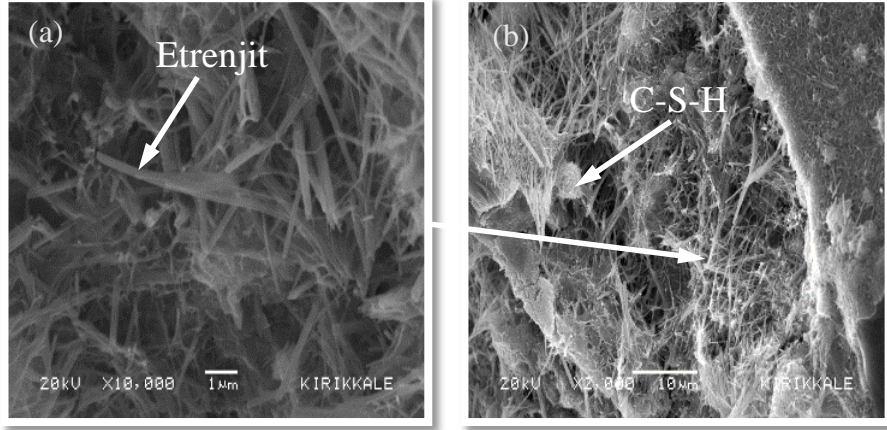


Şekil 3.77. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.77.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı harçlarda $1\mu\text{m}$ (a) ve $5\mu\text{m}$ (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin varlığı gözlenmiş ayrıca sodyum sülfat küründen dolayı etrenjit oluşumunun başladığı tespit edilmiştir.

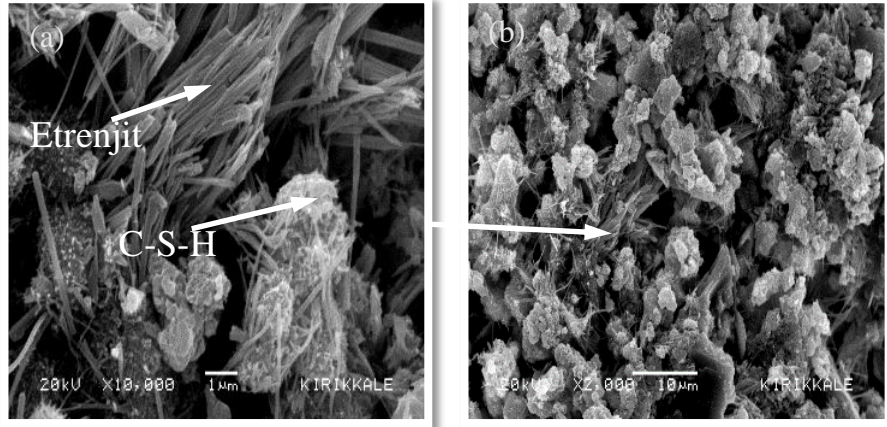


Şekil 3.78. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

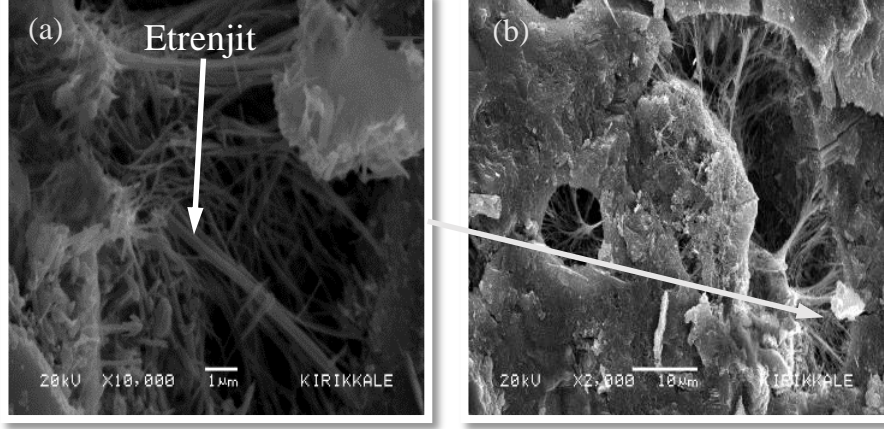


Şekil 3.79. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.78. ve Şekil 3.79.'de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve %20 katkılı çimento harçlarında ise 1 μ m (a) ve 10 μ m (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin ve etrenjitlerin yoğun olarak varlığı gözlenmiştir.



Şekil 3.80. UK+TK 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)



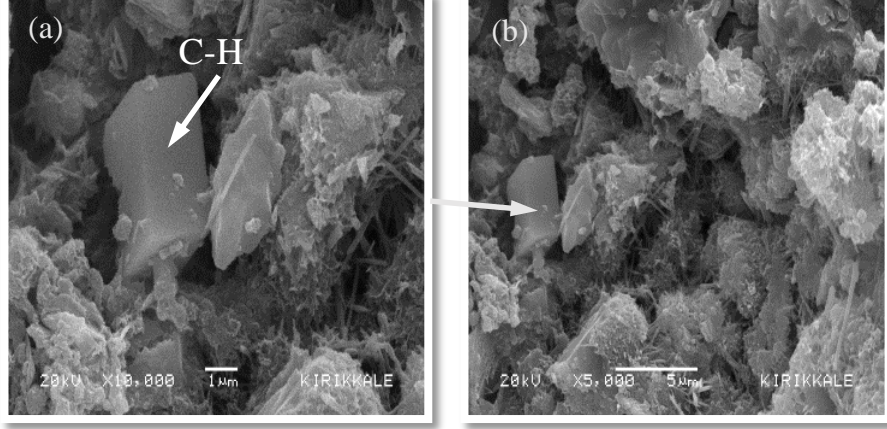
Şekil 3.81. UK+TK 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.80. ve Şekil 3.81.' de verilen 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve %20 katkılı çimento harçlarında ise 1µm ve 10µm büyüklüğündeki görüntülerde etrenjitlerin yoğun olarak arttığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak; normal su küründe olgunlaştırılan 2 günlük numunelerde CH ve C-S-H jellerine rastlanmış, 7 günden sonra ise C-S-H jelleri CH kristallerinin üzerini kapatmaya başlamıştır. Normal su ve sodyum sülfat küründeki numunelerde 90 günden sonra etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

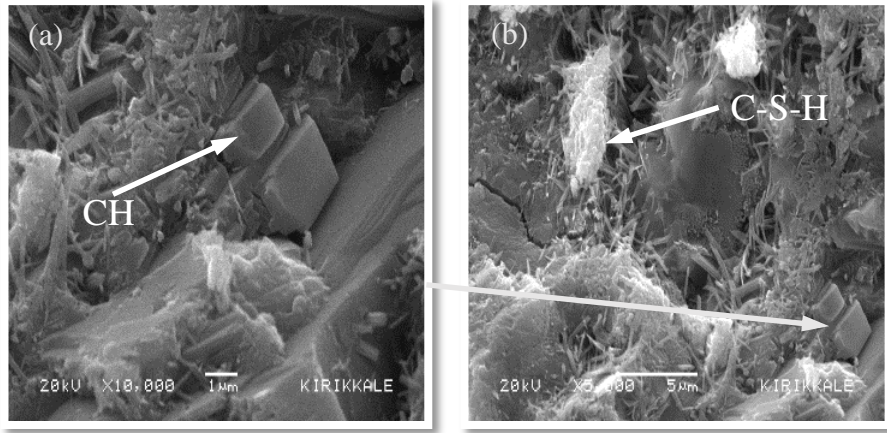
3.4.7. Normal Su Küründe %5 ve % 20 UK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

Normal su küründe olgunlaştırılan %5 ve %20 UK+TK katkılı çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;



Şekil 3.82. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

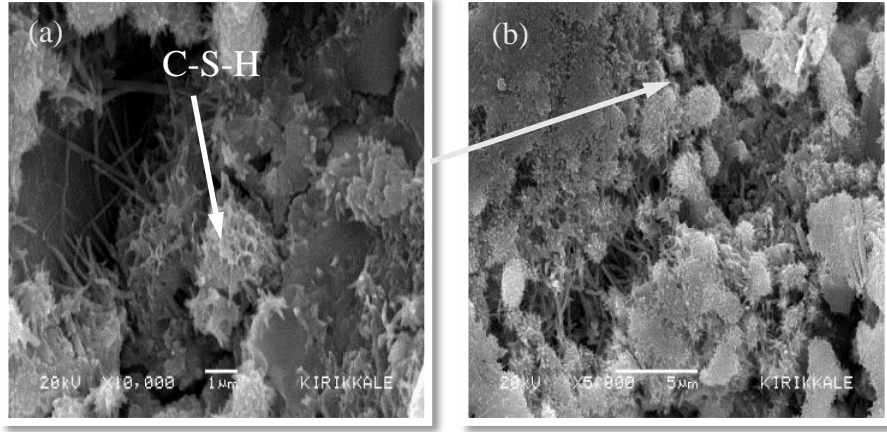
Şekil 3.82.'de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı harçlarda $1\mu\text{m}$ (a) ve $5\mu\text{m}$ (b) büyüklüğündeki görüntülerde CH jellerinin olduğu gözlenmiş ayrıca C-S-H jellerinin de oluşumunun başladığı görülmüştür.



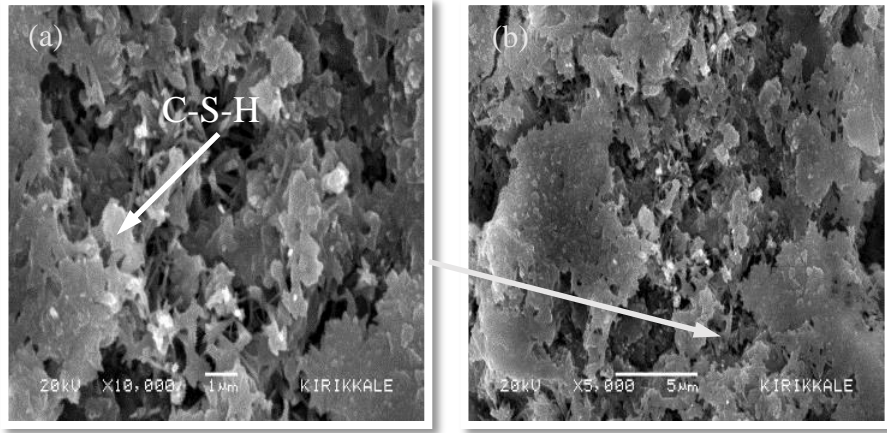
Şekil 3.83. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.83.'de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında $1\mu\text{m}$ (a) ve $5\mu\text{m}$ (b) büyüklüğündeki görüntülerde CH jellerinin olduğu gözlenmiş ayrıca C-S-H jellerinin de oluşumunun başladığı görülmüştür. Numuneler

2 günlük olmasına rağmen $5\mu\text{m}$ ve $1\mu\text{m}$ boyutunda alınan SEM görüntülerinde CH ve C-S-H jellerin gelişimi rahatlıkla gözlemlenmiştir.

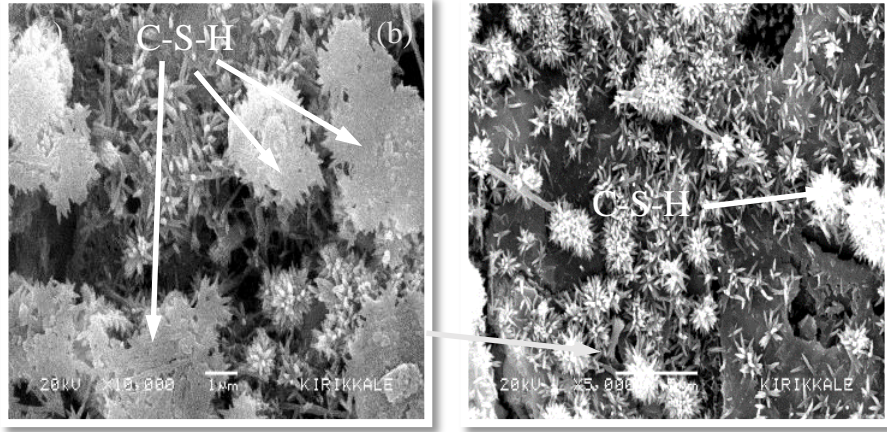


Şekil 3.84. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

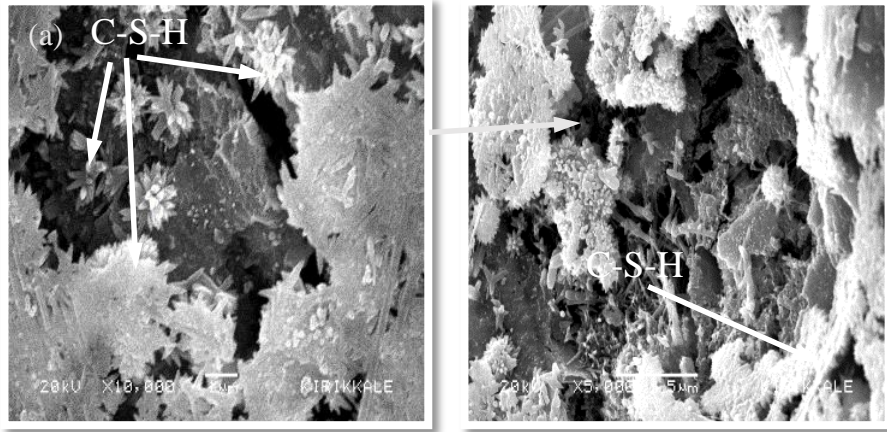


Şekil 3.85. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.84. de ve Şekil 3.85’de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı harçlarda $1\mu\text{m}$ (a) ve $5\mu\text{m}$ (b) büyüklüğündeki görüntülerde numunelerde C-S-H jellerinin varlığı gözlemlenmiştir.

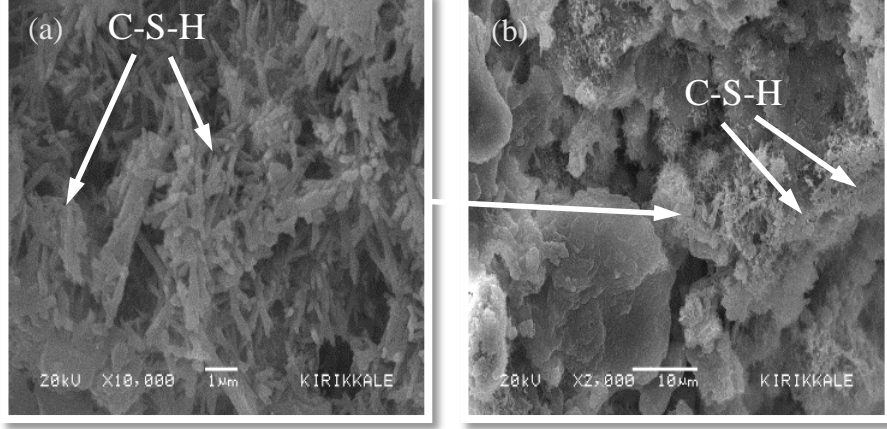


Şekil 3.86. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

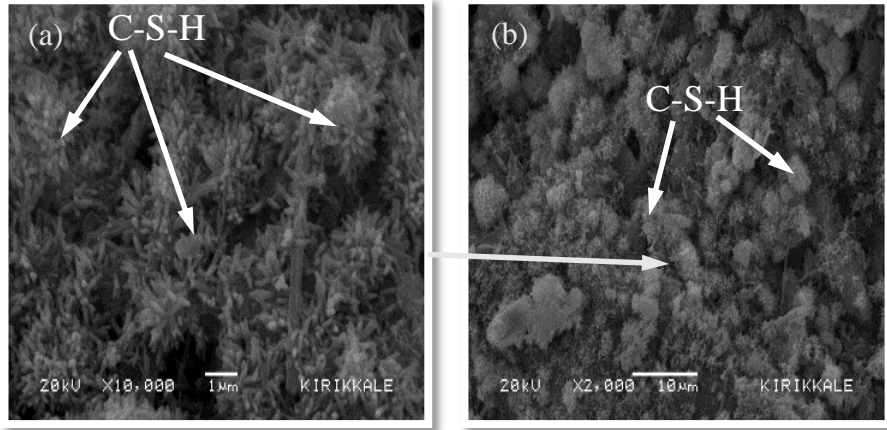


Şekil 3.87. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.86. de ve Şekil 3.87' da verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, %5 ve %20 katkılı harçlarda 1µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki C-S-H jellerinin 7 günlük numunelere göre büyük oranda artış gösterdiği gözlenmiştir.

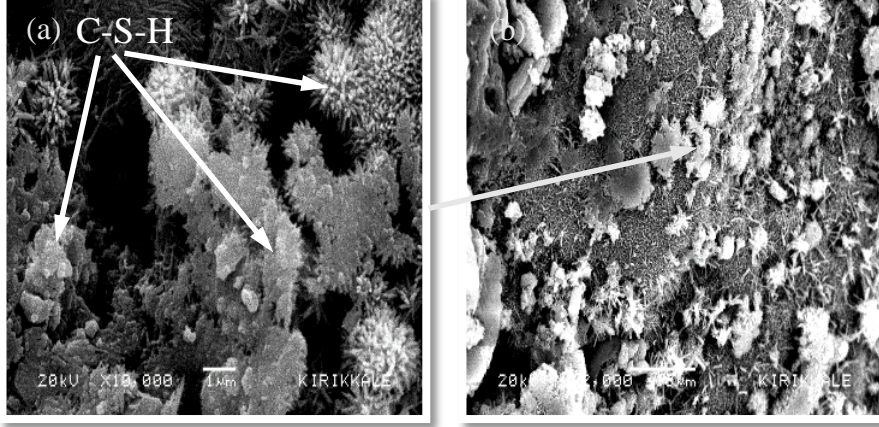


Şekil 3.88. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)



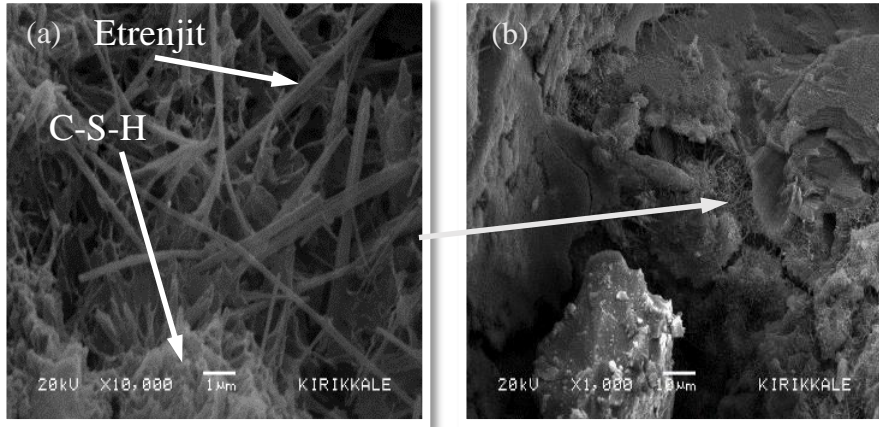
Şekil 3.89. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.88. ve Şekil 3.89.' da verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı harçlarda $1\mu\text{m}$ (a) ve $5\mu\text{m}$ (b) büyüklüğündeki görüntülerde numunelerde C-S-H jellerinin 28 günlük numunelere göre büyük oranda artış gösterdiği gözlenmiştir.



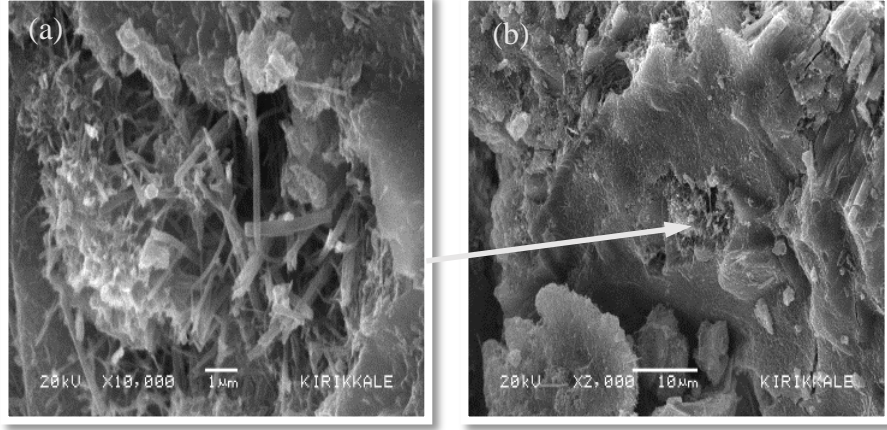
Şekil 3.90. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.90.' da verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı çimento harçlarında 1µm (a) ve 10µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde numunelerde C-S-H jellerinin yoğun olarak varlığı gözlenmiştir.

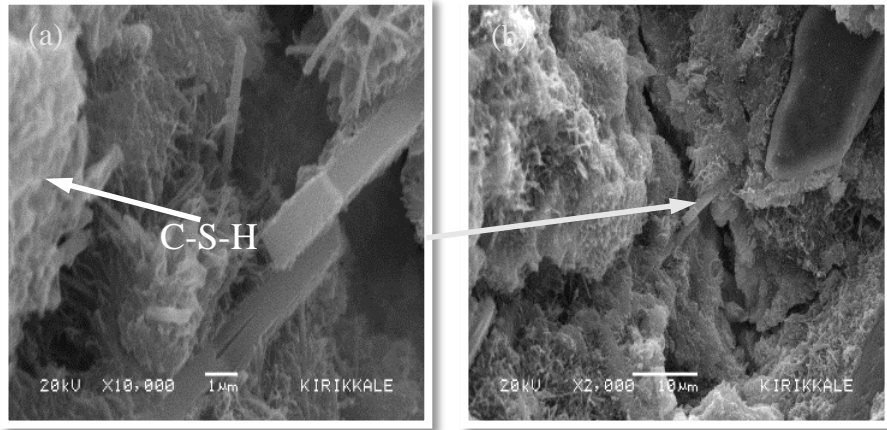


Şekil 3.91. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.91.' de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında 1µm (a) ve 10µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin ve etrenjit oluşumları gözlenmiştir.



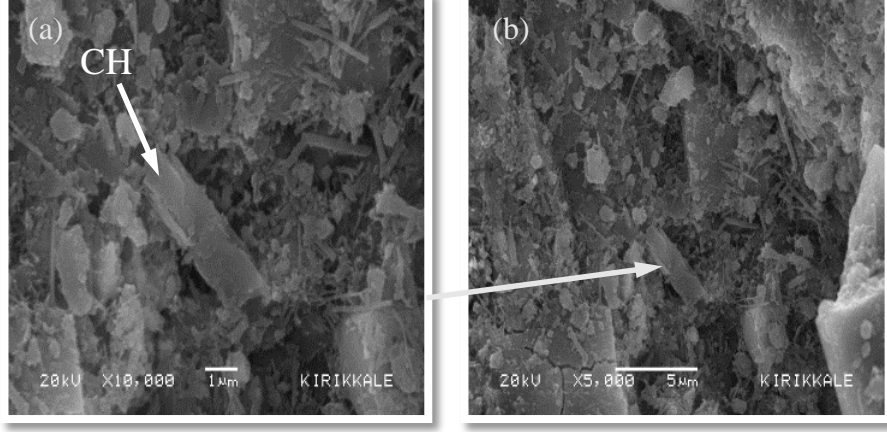
Şekil 3.92. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)



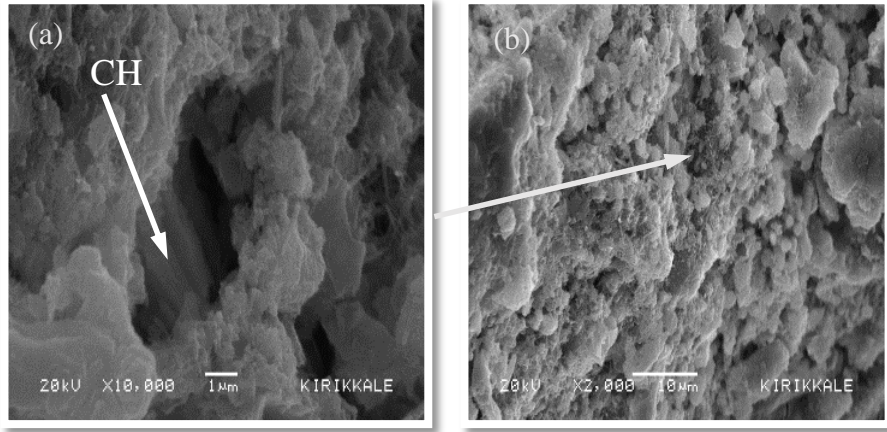
Şekil 3.93. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

3.4.8. %10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 UK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

%10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaştırılan %5 ve %20 UK+YFC katkılı çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;

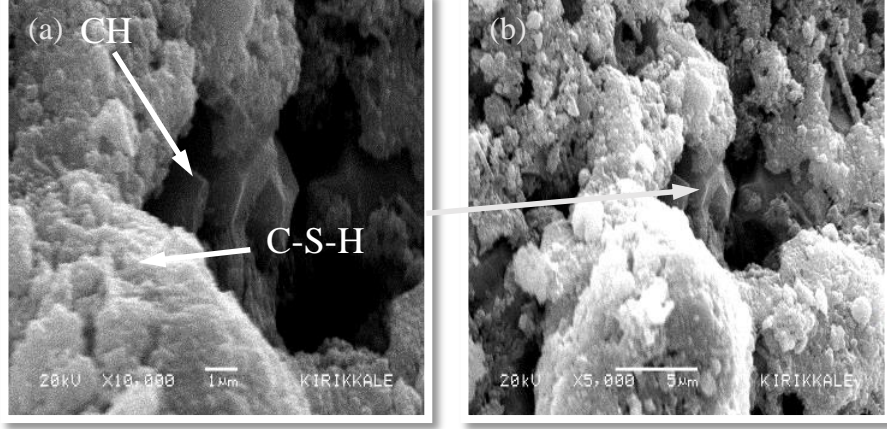


Şekil 3.94. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

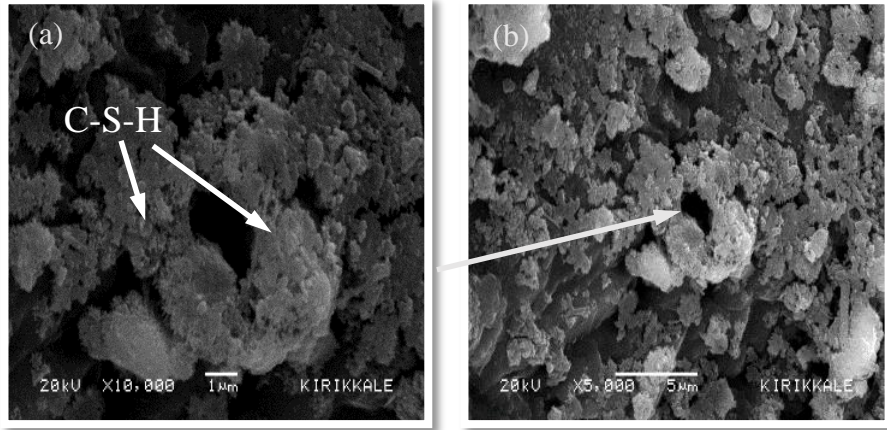


Şekil 3.95. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.94. ve Şekil 3.95.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 ve % 20 katkılı harçlarda numunelerde CH jellerinin olduğu gözlenmiştir.

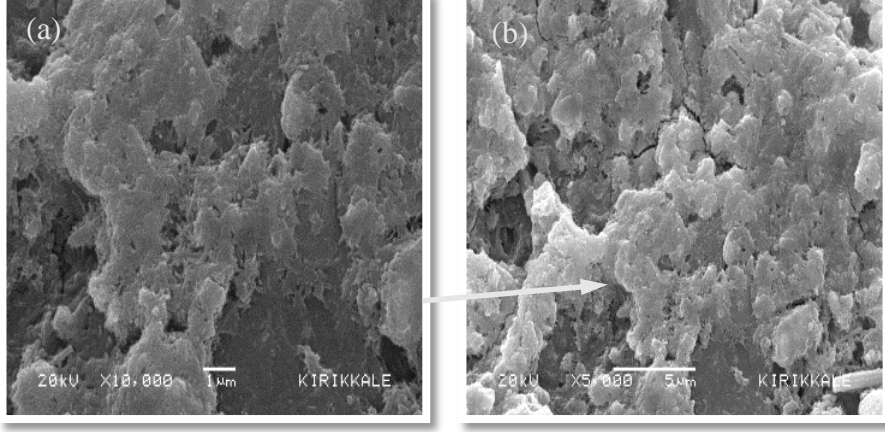


Şekil 3.96. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

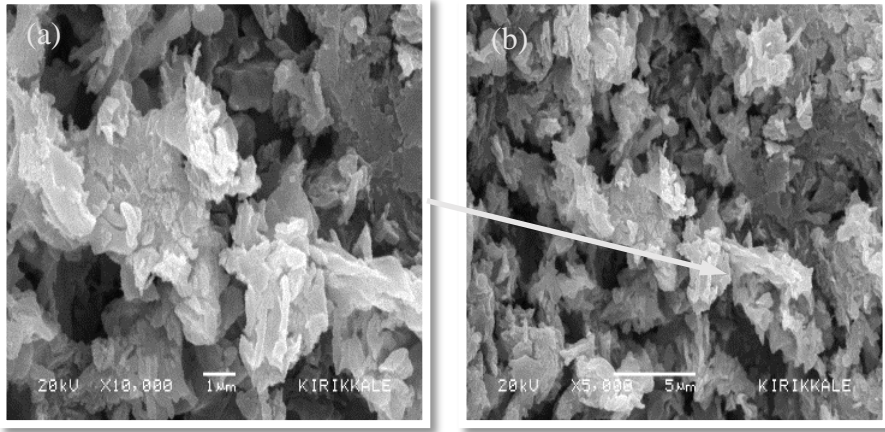


Şekil 3.97. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.96. ve Şekil 3.97.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, %5 ve %20 katkılı harçlarda 1µm (a) ve 5µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin oluştuğu gözlenmiştir.

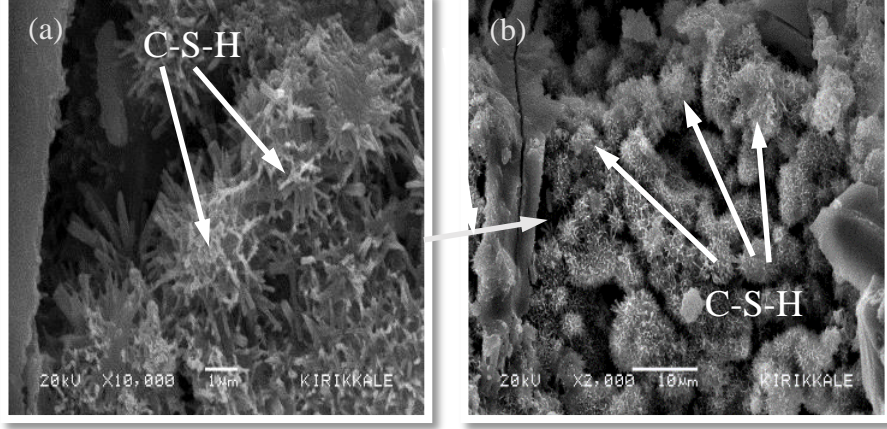


Şekil 3.98. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

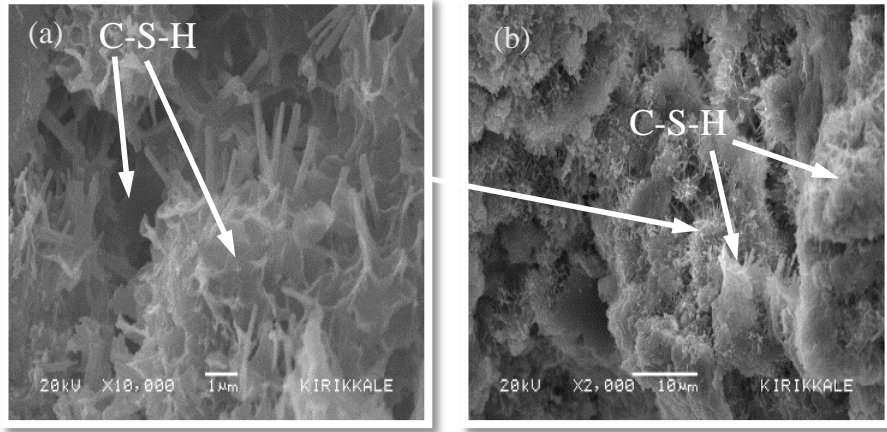


Şekil 3.99. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.98. ve Şekil 3.99.' da verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı harçlarda 1 μm ve 10 μm büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin yoğun olarak oluştuğu görülmüştür.

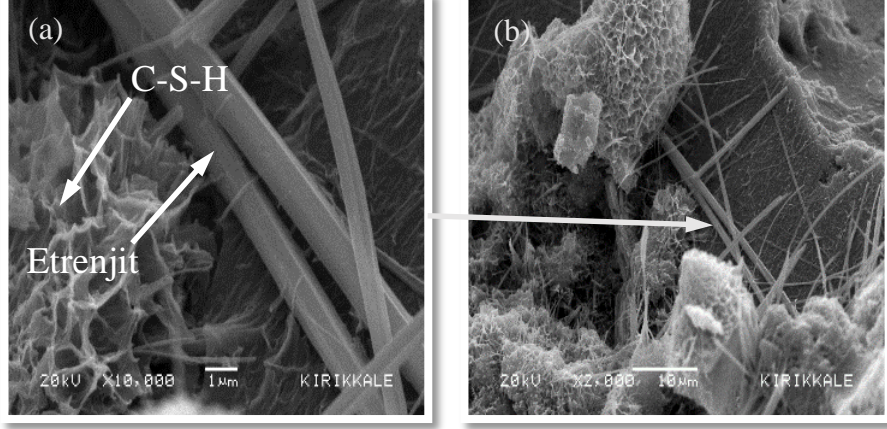


Şekil 3.100. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

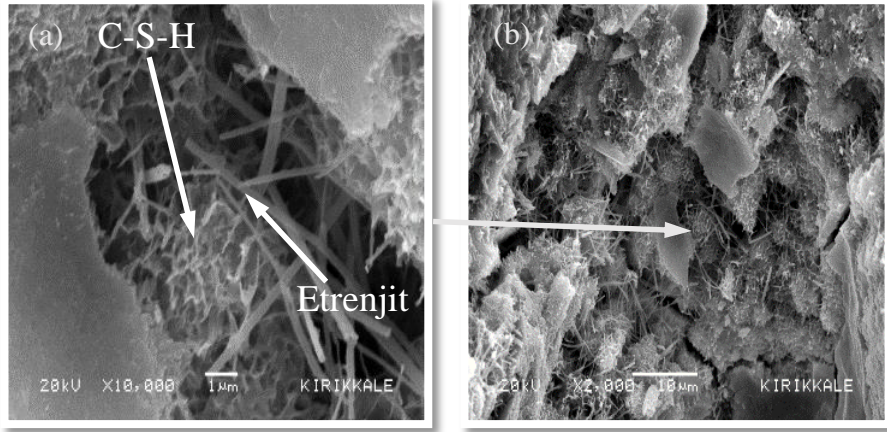


Şekil 3.101. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.100. Şekil 3.101.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 ve % 20 katkılı harçlarda 1 μm ve 10μm büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin yoğun olarak oluştuğu görülmüştür.

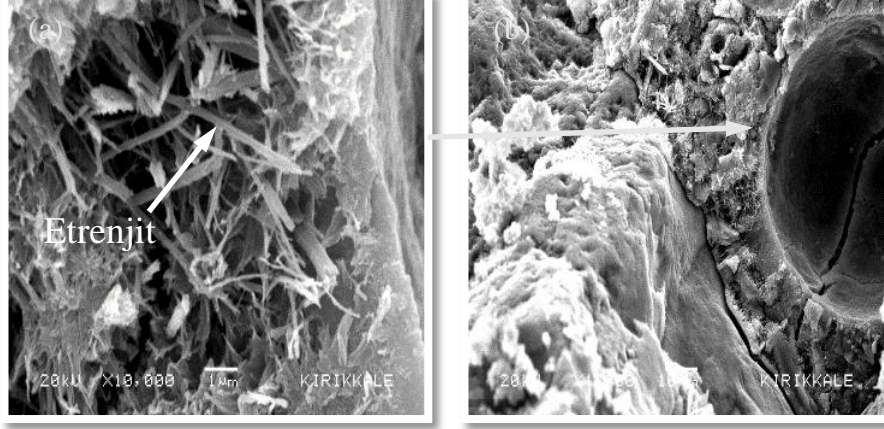


Şekil 3.102. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

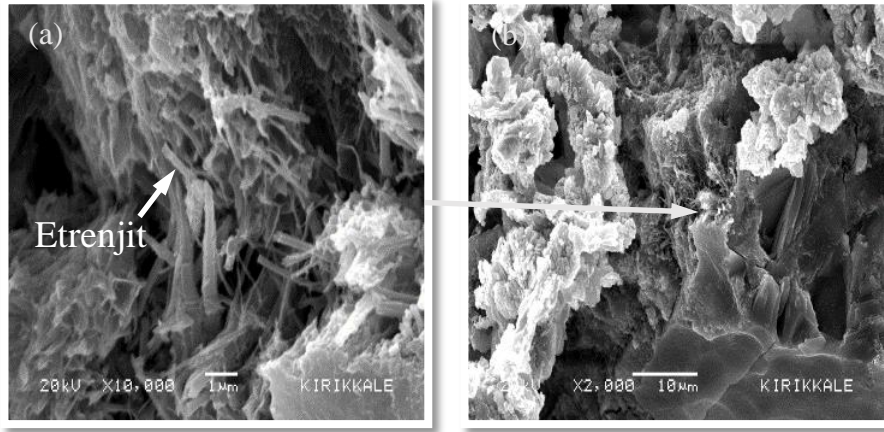


Şekil 3.103. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.102. ve Şekil 103.' de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı çimento harçlarında 1µm (a) ve 10µm (b) büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinin yoğun olarak varlığı gözlenmiştir. Ayrıca etrenjit oluşumlarının da gözlenmiştir.



Şekil 3.104. UK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)



Şekil 3.105. UK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)

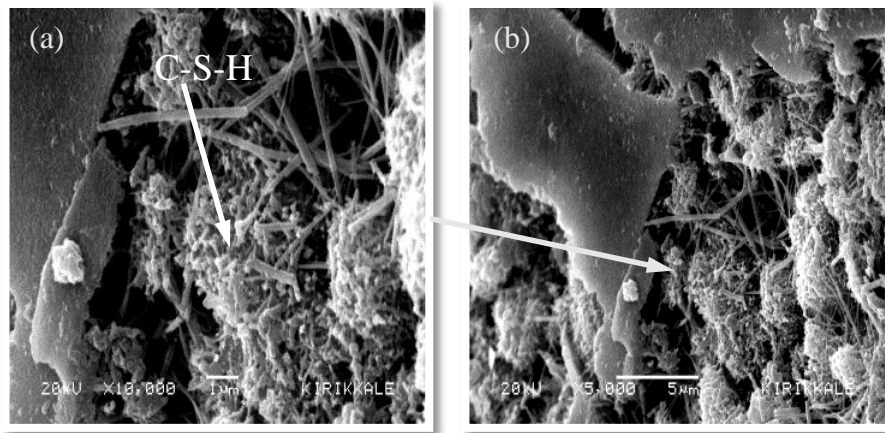
Şekil 3.104. ve Şekil 105.' de verilen 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı çimento harçlarında $1\mu\text{m}$ ve $10\mu\text{m}$ büyüklüğündeki görüntülerde C-S-H jellerinde ve etrenjit oluşumlarında 180 güne göre artış gözlenmiştir.

Sonuç olarak; normal su küründe olgunlaştırılan 2 günlük numunelerde CH ve C-S-H jellerine rastlanmış, 7 günden sonra ise C-S-H jelleri CH kristallerinin üzerini kapatmaya başlamıştır. Normal su küründeki numunelerde 180 günden sonra

çimentonun sülfat içeriğinden kaynaklı ve kür suyundaki klor vb. maddelerin agresif bir ortam yaratmalarından dolayı etrenjit oluşumu gözlenmiştir. %10 sodyum sülfat küründe ise sülfat etkisi ile 90 gün sonunda yoğun bir etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

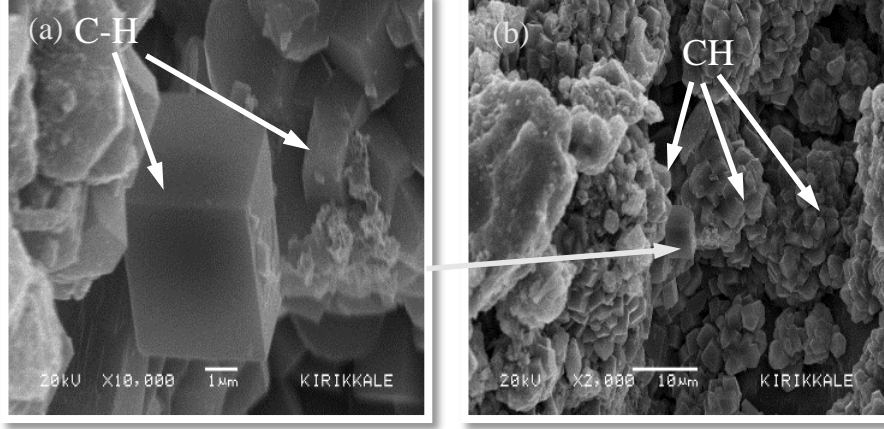
3.4.9. Normal Su Küründe %5 ve %20 UK+TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

Normal su küründe olgunlaştırılan %5 ve %20 UK+TK+YFC katkıli çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;



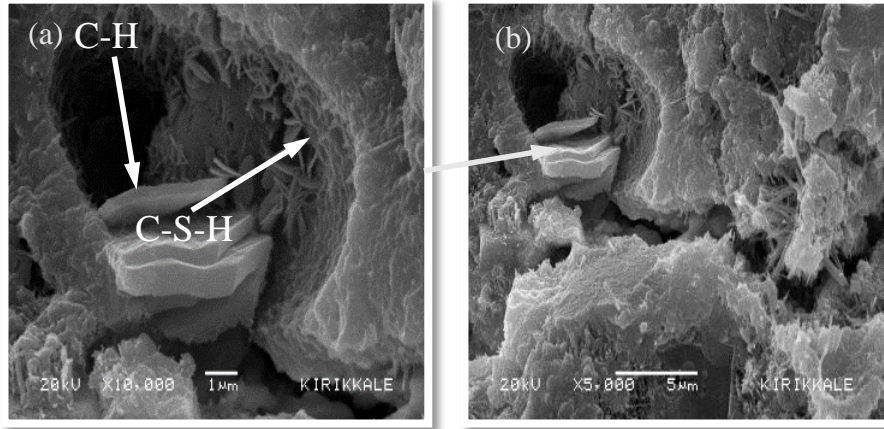
Şekil 3.106. UK+TK+YFC 5 katkıli çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.106.' da verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde,% 5 katkıli harçlarda C-S-H jellerinin oluşmaya başladığı görülmüştür.



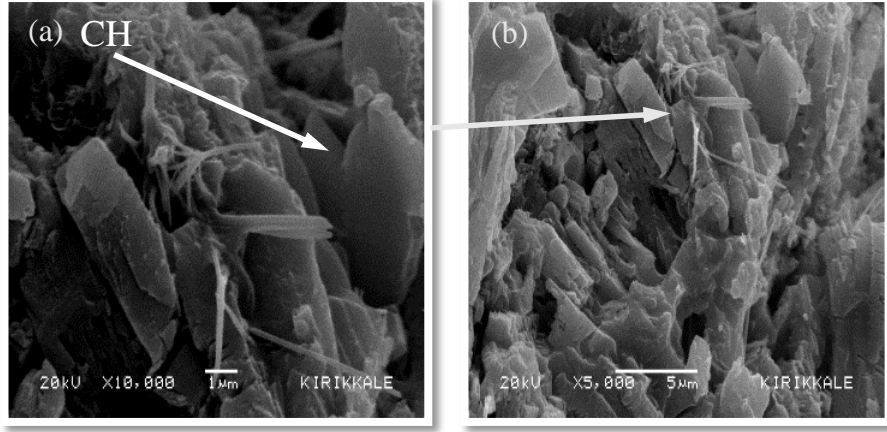
Şekil 3.107. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.107.' de verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında yoğun bir şekilde CH jellerinin olduğu görülmüştür. Numuneler 2 günlük olmasına rağmen 10μm (b) ve 1μm (a) boyutunda alınan SEM görüntülerinde jellerin gelişimi rahatlıkla gözlenebilmiştir.



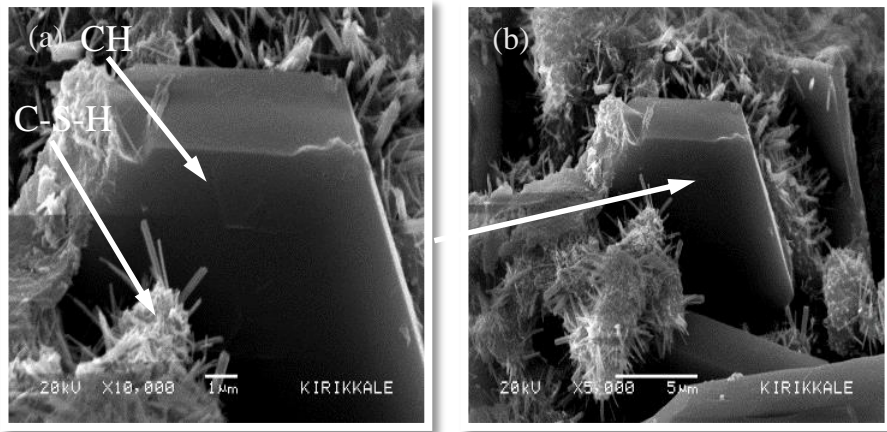
Şekil 3.108. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.108.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkı harçlarda CH jellerinin yanı sıra C-S-H jellerinin oluştuğu gözlenmiştir.

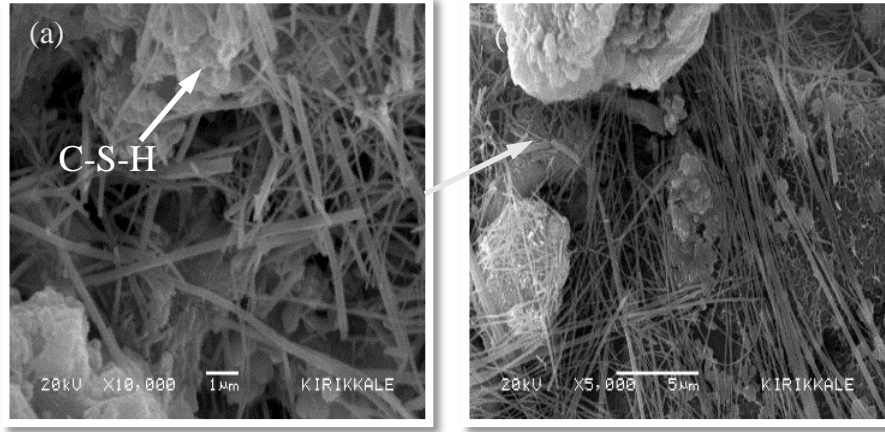


Şekil 3.109. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.109.' de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında CH jellerine rastlanmıştır.

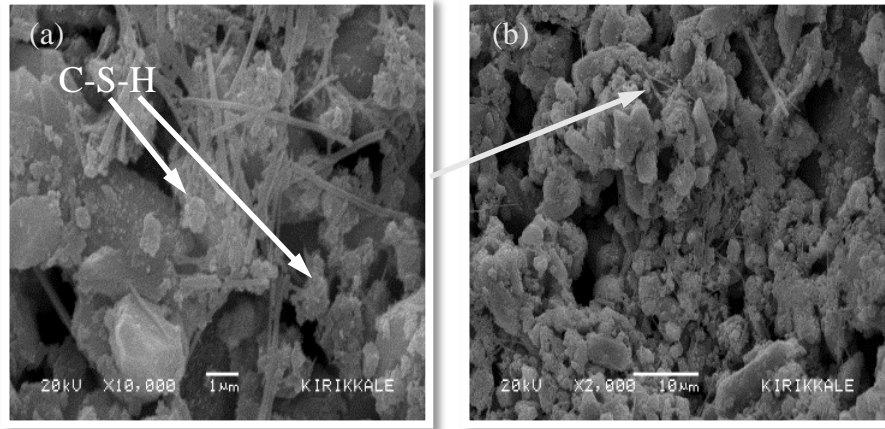


Şekil 3.110. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

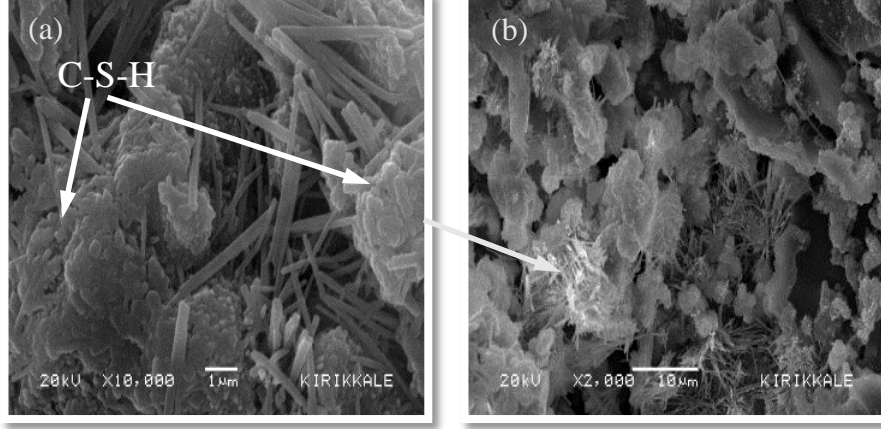


Şekil 3.111. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.110. ve Şekil 3.111. 'de verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı harçlarda CH jellerinin yanı sıra C-S-H jellerinin oluştuğu (C-S-H jelleri CH jellerinin üstünü kapatmaya başlamış) % 20 katkılı çimento harçlarında ise C-S-H jelleri görülmüştür.

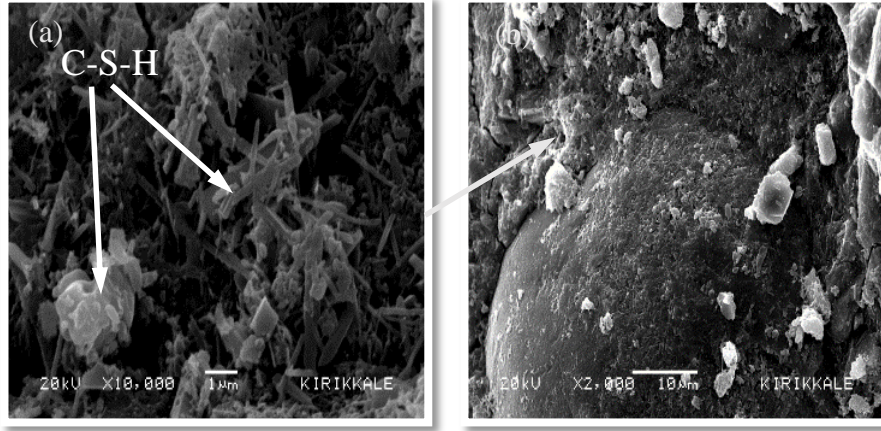


Şekil 3.112. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)



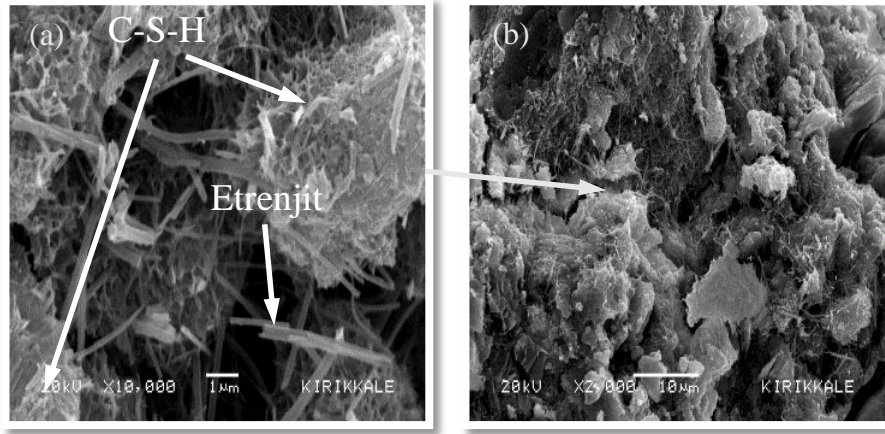
Şekil 3.113. UK+TK+YFC katkıli çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.112. ve Şekil 3.113.' de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve %20 katkıli harçlarda C-S-H jellerinde artış gözlenmiştir.



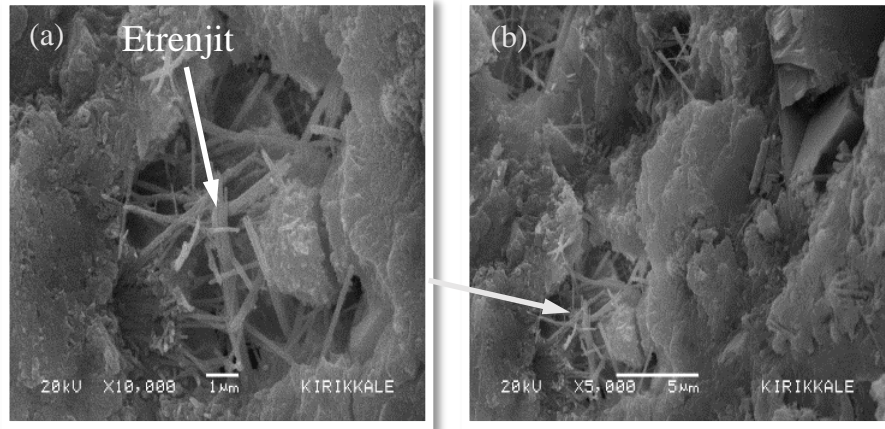
Şekil 3.114. UK+TK+YFC 5 katkıli çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.114.' de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkıli harçlarda C-S-H jellerinde artış gözlenmiştir.

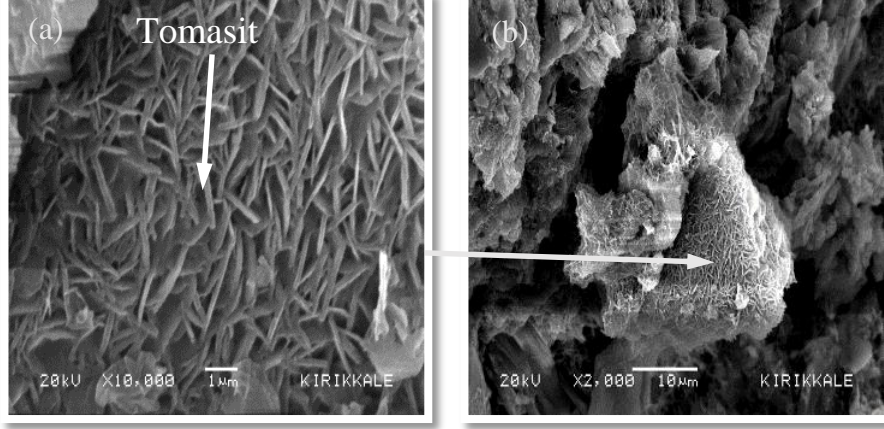


Şekil 3.115. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS)

Şekil 3.115. verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında ise C-S-H jellerinin yanı sıra etrenjitlere rastlanmıştır.



Şekil 3.116. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

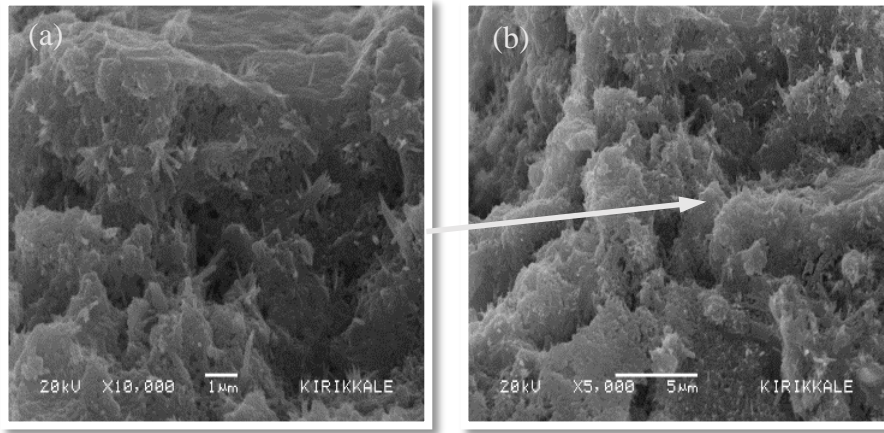


Şekil 3.117. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS)

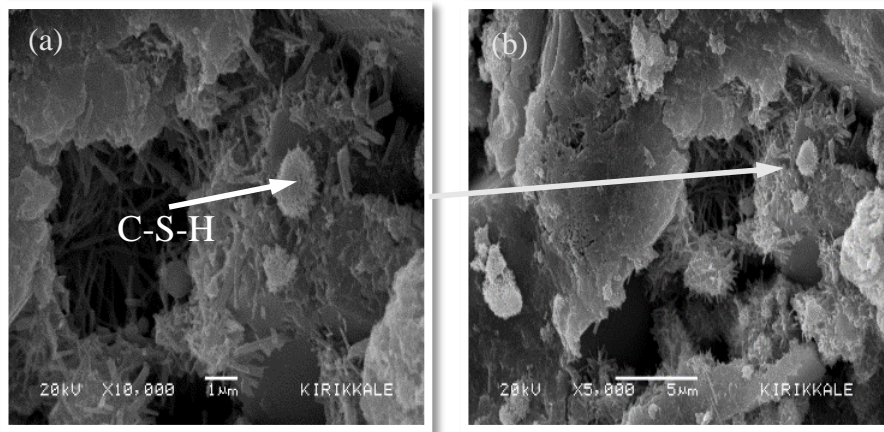
Şekil 3.116. ve Şekil 3.117.' de verilen 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı harçlarda etrenjitlere, % 20 katkılı çimento harçlarında ise çimentonun sülfat içeriği ve kür suyundan dolayı az rastlanan tomasit oluşumu gözlenmiştir.

3.4.10. % 10 Sodyum Sülfat Küründe %5 ve %20 UK+TK+YFC Katkılı Çimento Harcı Örneklerin SEM İncelemesi

10 % Sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan %5 ve %20 UK+TK+YFC katkıli çimento harçlarının mikro yapıları incelenmiş buna göre;

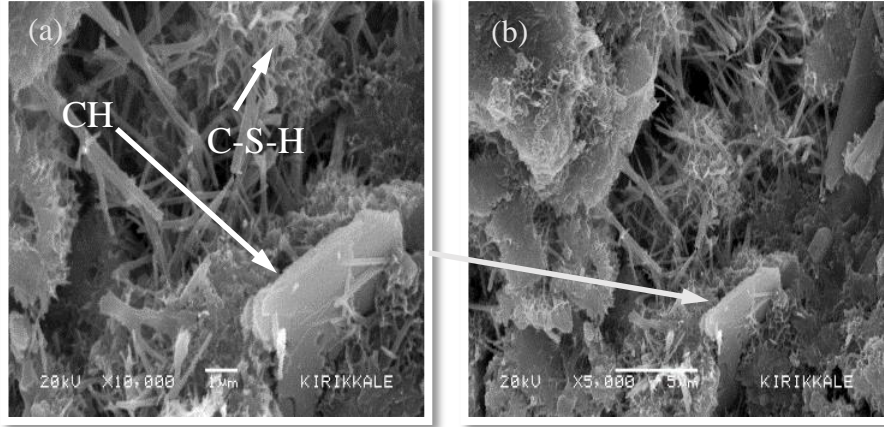


Şekil 3.118. UK+TK+YFC 5 katkıli çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

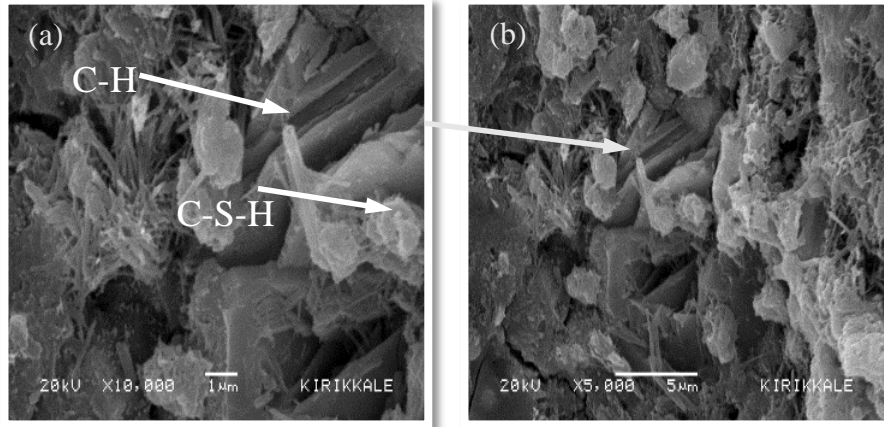


Şekil 3.119. UK+TK+YFC 20 katkıli çimento harçlarının 2 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.118.ve Şekil 3.119. verilen 2 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkıli harçlarda C-S-H jellerinin oluşumu gözlenmiştir.

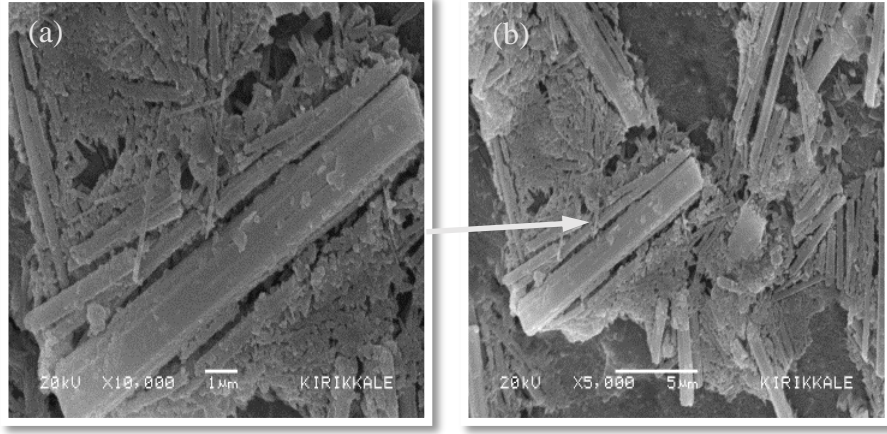


Şekil 3.120. UK+TK+YFC 5 katkıli çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

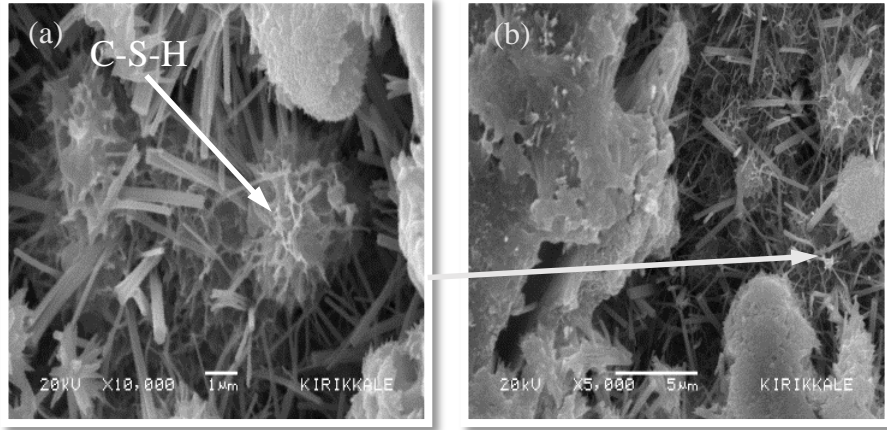


Şekil 3.121. UK+TK+YFC 20 katkıli çimento harçlarının 7 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.120. ve Şekil 3.121.'de verilen 7 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkıli harçlarda CH jellerinin yanı sıra C-S-H jellerinin oluştuğu görülmüştür.

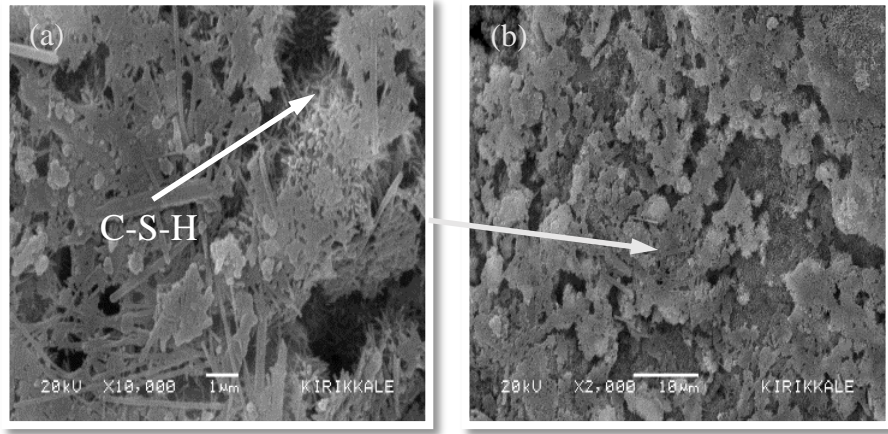


Şekil 3.122. UK+TK+YFC 5 katkıli çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

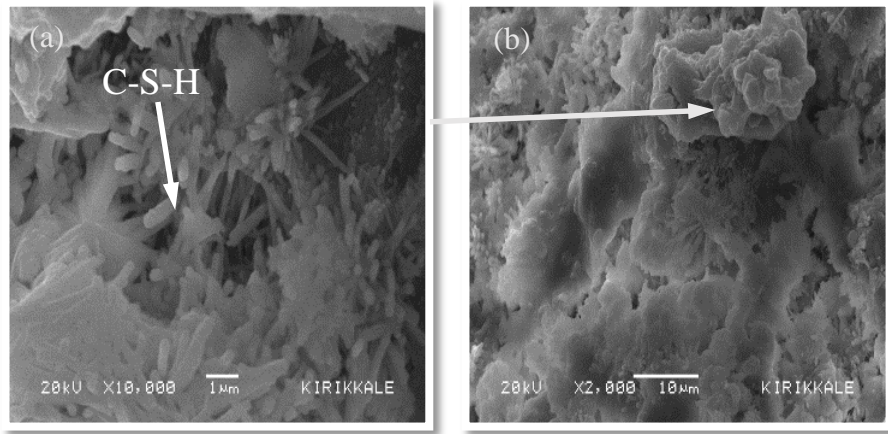


Şekil 3.123. UK+TK+YFC 20 katkıli çimento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.122. ve Şekil 3.123.'de verilen 28 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkıli harçlarda C-S-H jellerinin oluşumu gözlenmiştir.

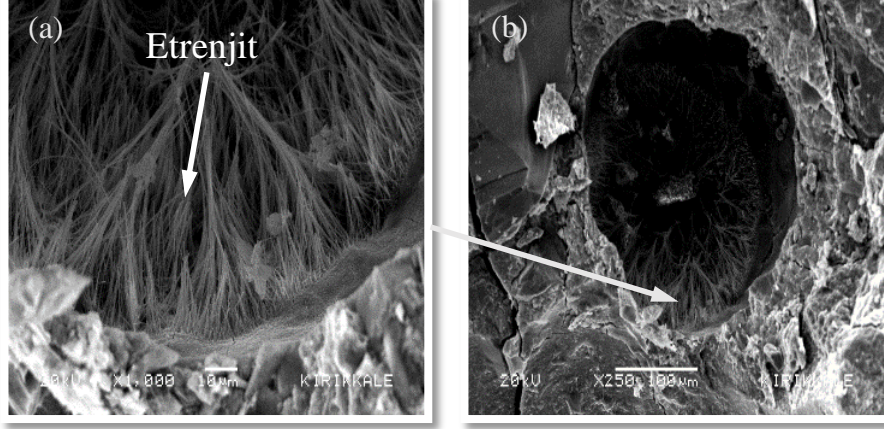


Şekil 3.124. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)



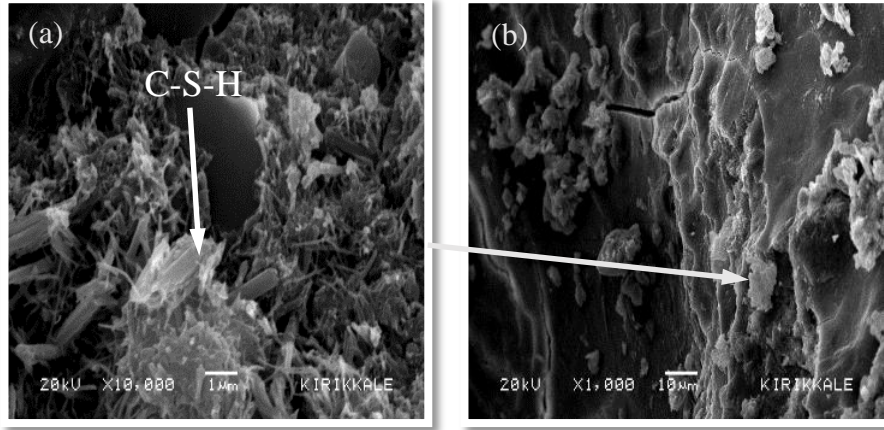
Şekil 3.125. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.124. Şekil 3.125.'de verilen 90 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 ve % 20 katkılı harçlarda C-S-H jellerinin oluşumu gözlenmiştir.



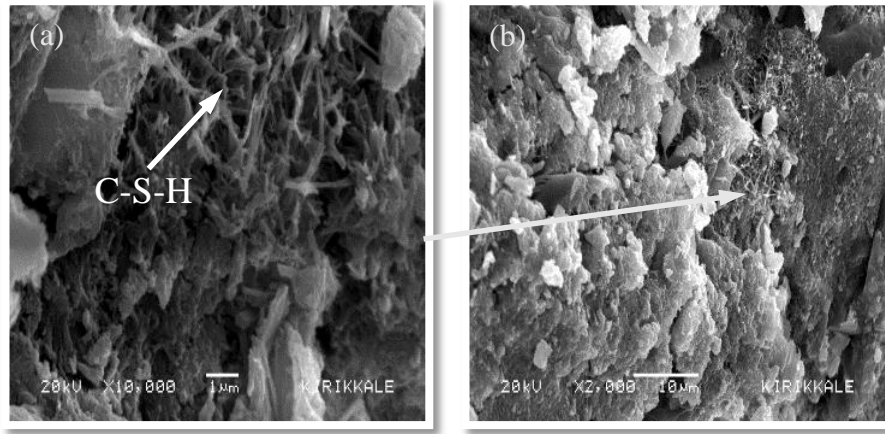
Şekil 3.126. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.126.'da verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı harçlarda yoğun bir etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

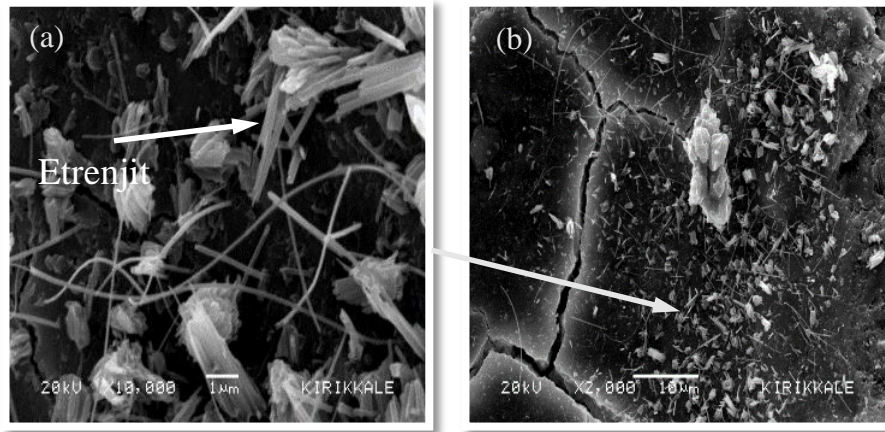


Şekil 3.127. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.127.'de verilen 180 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 20 katkılı çimento harçlarında ise C-S-H jellerinin yanı sıra etrenjit oluşumu da (a) gözlenmiştir.



Şekil 3.128. UK+TK+YFC 5 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)



Şekil 3.129. UK+TK+YFC 20 katkılı çimento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (SS)

Şekil 3.128. ve Şekil 3.129.'de verilen 360 günlük SEM görüntüleri incelendiğinde, % 5 katkılı harçlarda yoğun bir C-S-H oluşumu (a) gözlenmiştir. % 20 katkılı çimento harçlarında ise etrenjit oluşumu (a) gözlenmiştir.

Sonuç olarak; normal su küründe olgunlaştırılan 2,7 ve 28 günlük numunelerde CH kristallerinin yanı sıra C-S-H jellerine rastlanmıştır. 90 günden sonra ise C-S-H jelleri artmıştır. %10 sodyum sülfat küründe ise sülfat etkisi ile 180 gün sonunda kr suyunun sülfat içeriğinden dolayı yoğun bir etrenjit oluşumu gözlenmiştir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

- UK+TK, TK+YFC, UK+TK, UK+TK+YFC ikame miktarının artması ile priz başlangıcı süresinin arttığı gözlenmiştir.
- En kısa priz başlangıç süresini CEM I 42,5 çimentosu ile birlikte % 5 UK+YFC ve % 10 TK+YFC ikameli çimento harçlarının verdiği, en uzun priz başlangıç süresini ise % 10 UK+TK+YFC ikameli çimento harçlarının verdiği gözlenmiştir.
- En kısa priz sonu süresini CEM I 42,5 çimentosu ile birlikte % 5 UK+TK ve % 20 UK+TK+YFC ikameli çimento harçlarının verdiği, en uzun priz sonu süresini ise % 20 UK+TK ikameli çimento harçlarının verdiği gözlemlenmiştir.
- En uzun katılma süresini % 20 UK+YFC ikameli çimento harçları ile birlikte % 20 UK+TK ikameli çimento harcı vermiştir.
- En kısa katılma süresini % 20 UK+TK+YFC ikameli çimento harcı vermiştir.
- Hacimsel genleşmelerde ikame oranına göre herhangi bir artış ve azalış gözlenmemiştir. Hacimsel olarak en büyük genleşme değerini % 10 UK+TK ikameli çimento harcından elde edilmiştir.
- Priz başlangıcı ve priz sonu süreleri dikkate alındığında UK+TK+YFC ikamesi hariç, genel olarak ikame miktarı arttıkça katılma süresini uzatmıştır.
- 360 gün sonundaki eğilme dayanımlarında normal su küründe kür süresi arttıkça eğilme dayanımlarının arttığı, fakat sodyum sülfat küründe ise 180 günden sonra eğilme dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir.
- Normal su küründe olgunlaşan numunelerin 360 gün sonundaki sonuçlara göre % 5 TK+YFC ikameli harcın basınç dayanımının 56,96 MPa ile en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Şahit numunenin basınç dayanımının 56,85 MPa olduğu göz önüne alındığında yaklaşık aynı dayanımda oldukları tespit edilmiştir.
- % 10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaşan numunelerin 360 gün sonundaki basınç dayanım sonuçlarına göre % 15 TK+YFC ikameli harcın basınç dayanımının 56,60 MPa ile en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Şahit numunenin basınç dayanımının 52,45 MPa olduğu göz önüne alındığında % 15 TK+YFC ikamesinin % 8 oranında basınç dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir.
- 360 gün sonunda normal su küründe en düşük basınç dayanımını 51,17 MPa ile % 20 UK+TK+YFC ikameli çimento harcı verirken, en yüksek basınç dayanımını ise

56,96 MPa ile % 5 TK+YFC ikameli çimento harcı vermiştir. Bu sonuçlara göre % 5 TK+YFC ikamesi, % 20 UK+TK+YFC ikamesine göre basınç dayanımını yaklaşık % 11 oranında arttırmıştır.

- 360 gün sonunda % 10 sodyum sülfat küründe en düşük basınç dayanımını 49,27 MPa ile % 20 UK+TK ikameli çimento harcı verirken, en yüksek basınç dayanımını ise 56,60 MPa ile % 15 TK+YFC ikameli çimento harcı vermiştir. Bu sonuçlara göre % 15 TK+YFC ikamesi, % 20 UK+TK ikamesine göre basınç dayanımını yaklaşık % 12 oranında arttırmıştır.
- 360 gün sonunda % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde; UK+TK ikamesinin %5 ikame oranından sonra basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür.
- 360 gün sonunda % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 5 ve % 10 UK+TK+YFC ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı, % 15 ve % 20 UK+TK+YFC ikamesinin basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür.
- 360 gün sonunda % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 5, % 10, % 15, % 20 TK+YFC ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı, görülmüştür.
- 360 gün sonunda % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 5, % 10, % 15, % 20 UK+YFC ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür.
- 360 gün sonunda normal su küründe küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 5 TK+YFC ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür.
- Uçucu kül, yüksek Fırın cürufu ve taban külünün kimyasal kompozisyonunda bulunan SiO₂ miktarının çimentoda bulunan SiO₂ miktarından fazla olması ikame oranına bağlı olarak harçlardaki SiO₂ birleşenini arttırmaktadır. Silikat miktarının artışı çimentonun ana birleşenlerinden olan ve çimentonun ileriki yaşlarda basınç dayanımını arttıran C₂S miktarının artmasına neden olmaktadır.
- Ayrıca taban külü, yüksek fırın cürufu ve taban külündeki CaO miktarının düşük olması betonun erken yaşlarda yüksek dayanım kazanmasına neden olan C₃S miktarının oluşumunu azaltmıştır.

- Normal su küründe olgunlaştırılan numunelerin minimum boy uzamaları karşılaştırıldığında; 360 gün sonunda şahit numune boy uzaması % 0.012 olurken, % 5 TK+YFC ikameli çimento harcında ise % 0.011 olmuştur. Bu da % 5 TK+YFC ikamesinin boy uzamasını yaklaşık olarak % 9 azalttığı görülmüştür.
- Normal su küründe olgunlaştırılan numunelerin maksimum boy uzamaları karşılaştırıldığında; 360 gün sonunda şahit numune boy uzaması % 0.012 olurken, % 20 UK+TK+YFC ikameli çimento harcında ise % 0.087 olmuştur. Bu da % 20 UK+TK+YFC ikamesinin boy uzamasını yaklaşık olarak 7 kat arttırdığı görülmüştür.
- % 10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerin minimum boy uzamaları karşılaştırıldığında; 360 gün sonunda şahit numune boy uzaması % 0.358 olurken, % 20 TK+YFC ikameli çimento harcında ise % 0.087 olmuştur. Bu da % 20 TK+YFC ikamesinin boy uzamasını yaklaşık olarak 4 kat oranında azalttığı görülmüştür.
- % 10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerin maksimum boy uzamaları karşılaştırıldığında; 360 gün sonunda şahit numune boy uzaması % 0.358 olurken, % 10 UK+TK ikameli çimento harcında ise % 0.582 olmuştur. Bu da % 10 UK+TK ikamesinin boy uzamasını yaklaşık olarak % 60 oranında arttırdığı görülmüştür.
- Normal su küründe, minimum boy uzaması % 0.011 ile % 5 TK+YFC ikameli çimento harcında olurken, maksimum boy uzaması % 0.087 ile % 20 UK+TK+YFC ikameli çimento harcında olmuştur.
- Sodyum sülfat küründe, minimum boy uzaması % 0.087 ile % 20 TK+YFC ikameli çimento harcında olurken, maksimum boy uzaması % 0.582 ile % 10 UK+TK ikameli çimento harcında olmuştur.
- Boy uzamalarının tümü göz önüne alındığında ilk günlerdeki boy uzamalarının ileriki zamanlardaki boy uzamalarına göre daha yavaş olduğu görülmüştür.
- Bazı örneklerde ilk günlerde boy uzaması yerine boy kısılması olduğu görülmüştür.
- Boy uzamaları için; %10 sodyum sülfat küründe ve normal su küründe olgunlaştırılan numunelerin boy uzama değerleri incelendiğinde numunelerin boy uzamalarının zamanla artış gösterdiği gözlenmiş olup ayrıca, sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde boy uzama miktarının daha fazla olduğu görülmüştür.

- Boy uzama değerleri verilen numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise numunelerdeki etrenjit çubukları gelişimi numunelerin boy uzama miktarıyla doğru orantılı bir artış gösterdiği gözlenmiştir.
- Numunelerin boy uzamaları ile basınç dayanımları arasında bir bağlantı kurulduğunda; % 5 TK+YFC ikameli imento harcında boy uzamasının minimum olduğu buna bağlı olarak basınç dayanımının tüm çalışma içinde maksimum olduğu gözlenmiştir.
- Numunelerin boy uzamaları ile basınç dayanımları arasında bir bağlantı kurulduğunda; UK+TK ikameli imento harçlarında boy uzamasının maksimum olduğu buna bağlı olarak basınç dayanımlarının tüm çalışma içinde minimum olduğu gözlenmiştir.
- SEM çalışmalarında genel olarak CH jellerinin 2 ve 7. Günlerde oluştuğu CSH jellerinin ise 2. Günden başlayarak 360 gün dahil oluşumunun devam ettiği gözlenmiştir.
- Bazı numunelerde (%5 UK+TK+YFC katkılı imento harçlarının 28 günlük SEM görüntüleri (NS)) 28. Günde CH jelleri gözlemlenmiştir.
- SEM çalışmalarında etrenjitlerin sodyum sülfat küründe 90. günde başlayarak 360. günde de artarak devam ettiği grlmştir.
- 360 gün sonunda %20 UK+TK+YFC katkılı imento harçlarının 360 günlük SEM görüntülerinde az da olsa görülen tomasitlerin oluştuğu gözlenmiştir.
- Çimentonun sülfat içeriğinden dolayı 90 gün sonunda normal su küründe dahi etrenjitlerin oluştuğu gözlenmiştir. (%5 UK+TK katkılı imento harçlarının 90 günlük SEM görüntüleri (NS))
- 180 ve 360 gün sonundaki SEM görüntülerinde portlanditlerin oluştuğu gözlenmiştir. (%5 UK+YFC katkılı imento harçlarının 360 günlük SEM görüntüleri (NS), %20 TK+YFC katkılı imento harçlarının 180 günlük SEM görüntüleri (NS))
- Basınç dayanımlarına bağlı olarak etrenjitlerin artması ile basınç dayanımının ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.
- Boy uzamalarına bağlı olarak etrenjitler ile boy uzamalarının doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.
- C-S-H arttika basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak; yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve taban külünün kompoze edilmiş Şekilde kullanımı imento harçları için dayanım ve dayanıklılık açısından olumlu katkılar yapmıştır. Yapılan alışmada TK+YFC ikamesinin hem normal su küründe hem de %10 sodyum sülfat küründe, dayanım ve dayanıklılık açısından imento harçlarında olumlu sonuçlar vermiştir. SEM görüntülerinde ise beton dayanımı sağlayan C-S-H jellerinin bütün numunelerde yoğun bir Şekilde bulunduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan T., Beton, 26-36, Metu Press, 2003
- [2] Baradan B, Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 334, 2012
- [3] Erdoğan T.,Puzolanik Mineral Katkılar Ve Tarihi Geçmişleri, 169-173, 268-269, Yapılarda Kimyasal katkılar sempozyumu, 2007
- [4] Türker P., Erdoğan B., Türkiyedeki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, TÇMB / AR-GE / Y03.03, 2007
- [5] Garg M., Pundir A., Comprehensive study of fly ash binder developed with fly ash – alpha gypsum plaster – Portland cement, Construction and Building Materials 37 (2012) 758–765, 2012
- [6] ASTM C 618 : Standar Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Naturel Pozzolan for Use as a Mineral Adminixture in Concerd, Annual Book of ASTM Standarts, No.4, 1998
- [7] Şimşek O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 2009
- [8] Tokyay M., Erdoğan K., Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar, TÇMB / AR-GE / Y97-2, Sayfa 9-10, 2007
- [9] Peter C.H. (Editör), Lea’s Chemistriy of Cement and Concrete, 4.th edition, 1997.
- [10] Yeğınobalı A., Ertün T., Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar, TÇMB / AR-GE / Y04. 01, 2007.

- [11] Yüksel İ., Özkan Ö., Bilir T., 'Kazanaltı külü ile briket üretimi' Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 21, No 3, 527-532, 2006
- [12] Baradan B., Yazıcı H., Ün H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık, T.H.B.B Baskısı, 2010
- [13] Zhuqing Yu , Guang Ye, The pore structure of cement paste blended with fly ash, Construction and Building Materials 45 (2013) 30–35), 2013
- [14] Wang Q., Feng J., Yan P., The microstructure of 4-year-old hardened cement-fly ash paste Construction and Building Materials 29 (2012) 114–119, 2012
- [15] Kurama H., Kaya M., Usage of coal combustion bottom ash in concrete mixture - Construction and Building Materials 22 (2008) 1922–1928, 2008.
- [16] Jaturapitakkul C., Cheerarot R., Development Of Bottom Ash As Pozzolanic Material, Journal Of Materials In Civil Engineering, 2003
- [17] Özkan Ö., Yüksel İ., Muratoğlu Ö., Strength properties of concrete incorporating coal bottom ash and granulated blast furnace slag, Waste Management 27 (2007) 161–167, 2007
- [18] Li G., Zhao X., Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace slag, Cement & Concrete Composites, 25 (2003) 293–299, 2003
- [19] Kula I., Olgun A., Erdogan Y., Sevinc V., Effects of colemanite waste, coal bottom ash, and fly ash on the properties of cement Cement and Concrete, 2001.
- [20] ÖZKAN Ö., Çelikhane ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri, İMO Teknik Dergi, 2006 3893-3902, 2006.

- [21] Dorum A., Koçak Y., Yılmaz B., Uçar A., Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine Ve Hidratasyona Etkileri Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2009
- [22] E. Dede, Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Harçların Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2008.
- [23] TS EN 197-1, Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterler, TSE, 2002.
- [24] TS EN 196-3, Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini, TSE, (2002).
- [25] TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım, TSE, (2002).
- [26] ASTM C1012 / C1012M - 07 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, Annual book of ASTM standards, Philadelphia, USA, (2007).