

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÖĞÜTÜLMÜŞ RİYOLİT VE TRAKİT MİNERALLERİNİN PUZOLANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN
CÜRUFU İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Vahiddin Alperen BAKİ

**HAZİRAN 2017
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Anabilim Dalında
Vahiddin Alperen BAKİ Tarafından Hazırlanan

ÖĞÜTÜLMÜŞ RİYOLİT VE TRAKİT MİNERALLERİNİN PUZOLANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İLE
KARŞILAŞTIRILMASI

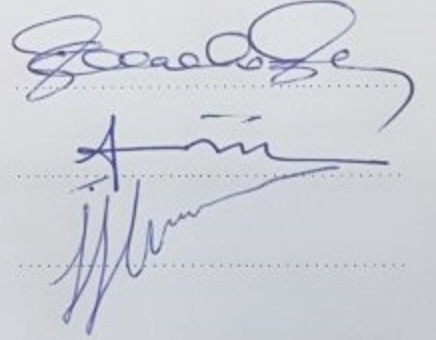
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 06 / 06 / 2017 gün ve 1705 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr Şakir Erdoğan

Üye : Yrd. Doc. Dr. Şirin Kurbetçi

Üye : Yrd. Doç. Dr İlker Ustabaş



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada farklı sürelerde öğütölmüş uçucu kül, yüksek fırın cürufu, riyolit ve trakitın puzolanik aktivite, puzolanik özellik, puzolanik aktivite özellikleri ve çimento özelliklerini nasıl etkiledikleri belirlenmiştir.

Saygıdeğer hocam, danışmanım, sayın Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU ve sayın Yrd. Doç. Dr. İlker USTABAŞ, tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için gerekli cihaz ve malzemelerin temininde, çalışmanın yürütölmesinde ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olmuşlardır. Her zaman değerli vakitlerini ayırdıkları için kendilerine sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmanın en kritik anlarında bilgileriyle çalışmaya ışık tutan ve değerli zamanını benimle paylaşmaktan çekinmeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETCİ'ye teşekkür ederim.

Ayrıca, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan anneme, babama, kardeşlerime özellikle rahmetli dedem İsmail Günaydın'a; yardımlarından dolayı Şeyma KARATAŞ ve arkadaşlarıma ve ilgi ve yardımlarından dolayı tüm hocalarıma teşekkür ederim.

V. Alperen BAKİ

Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Öğütülmüş Trakit ve Riyyolit Minerallerinin Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu ile Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23.06.2017

Vahiddin Alperen BAKİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Puzolanik Reaksiyon.....	1
1.2.1. Puzolanik Aktivite	2
1.2.2. Doğal Puzolanlar.....	2
1.2.2.1. Volkanik Camlar	3
1.2.2.2. Volkanik Tüfler ve Tras	4
1.2.2.3. Killer ve Şeyller	4
1.2.2.4. Diatomit Topraklar.....	5
1.2.2.5. Doğal Puzolanların Betonda Katkı Maddesi Olabilmesi İçin Standart Değerler..	5
1.2.3. Yapay Puzolanlar	6
1.2.3.1. Yüksek Fırın Cürufu (YFC).....	6
1.2.3.2. Ucucu Kül	7
1.2.3.2. Silis Dumanı.....	9
1.2.4. Puzolanik Maddelerin Betonun Özelliklerine Etkisi	10
1.2.4.1. Puzolanların Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi.....	11
1.2.4.2. Puzolanların Priz Süresi Üzerine Etkisi	13
1.2.4.3. Puzolanların Hidratasyon Isısı Üzerine Etkisi	14
1.2.4.4. Puzolanların Elastisite Modülü Üzerine Etkisi	14
1.2.4.5. Puzolanların Alkali-Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi.....	14
2. DENEYSEL ÇALIŞMA, BULGULAR VE İRDELEME.....	19
2.1. Amaç	19

2.2.	Kapsam	19
2.3.	Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar	19
2.3.1.	Çimento Özellikleri.....	21
2.3.2.	YFC ve UK Özellikleri	22
2.3.3.	Riyolit ve Trakit Özellikleri.....	24
2.4.	TS 25`e göre Puzolanik Aktivitenin Belirlenmesi	31
2.4.1.	Kullanılan Cihazlar	31
2.4.2.	Deneysel Gerçekleme	32
2.4.3.	Trakit ve Riyolitın Minerallerinin Özgül Yüzey ve Puzolanik Aktivitesinin Belirlenmesi	33
2.5.	TS EN 196-5 Kimyasal Yöntem ile Puzolanik Özelliğin Belirlenmesi.....	35
2.5.1.	Kullanılan Cihazlar	35
2.5.2.	Deneysel Gerçekleme	39
2.5.2.1.	Hidroksil İyonu Derişimi Tayini.....	40
2.5.2.2.	Kalsiyum Oksit Derişiminin Tayini.....	40
2.6.	TS-EN 450-1`e göre Puzolanik Aktivite İndeksinin Belirlenmesi	47
2.6.1.	Kullanılan Malzemeler.....	47
2.6.2.	Deneysel Gerçekleme	48
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
4.	KAYNAKLAR	70
5.	EKLER.....	75
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÖĞÜTÜLMÜŞ RİYOLİT VE TRAKİT MİNERALLERİNİN PUZOLANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI, UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Vahiddin Alperen BAKİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU
2017, 75 Sayfa, 16 Sayfa Ek

Puzolanlar, betonun hidratasyon ısısını düşüren, beton üretiminde ekonomi sağlayan ve bu sektörde yaygın olarak kullanılan maddelerdir. Puzolanların betona sağlamış olduğu faydalardan dolayı puzolanik özellik gösteren her tür maddeye beton sektörü yakın ilgi göstermektedir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu beton üretiminde yaygın olarak kullanılan puzolanlardır. Riyolit ve trakit tras grubu minerallerdir. Çalışmada farklı sürelerle öğütülmüş uçucu kül, yüksek fırın cürufu, Riyolit ve trakit puzolanlarının puzolanik özellikleri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda bu puzolanların puzolanik aktivitelerinin ve basınç dayanımının öğütme süresine bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda öğütülmüş riyolit ve trakit mineralinin puzolanik özelliğe etkisi yaygın olarak çalışılmış olan uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ile kıyaslanmıştır. Çalışmada ayrıca riyolit ve trakit mineralleri jeolojik olarak da incelenmişlerdir. Jeolojik özellikleri tespit edilen farklı sürelerde öğütülmüş trakit, riyolit, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu CEM I 42,5 R tip çimento yerine ikame edilerek harç üretiminde kullanılmışlardır. Söz konusu katkılarla üretilen harçların TS EN 196-5, TS 25 ve TS EN 450-1'e göre puzolanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak hem riyolit hem trakit ilgili standartların puzolanik özellikler açısından öngördüğü sınır değerleri sağladıkları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Puzolanik aktivite indeksi, puzolanik özellik, riyolit, trakit

Master Thesis

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE PUZZOLIC CHARACTERISTICS OF GRAINED
RIOLITE AND TRACHYTE MINERALS, COMPARED WITH FLY ASH
AND BLAST FURNACE SLAG**

Vahiddin Alperen BAKİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU
2017, 75 Pages, 16 Pages Appendices

Pozzolans are materials used to reduce the hydration heat of concrete, provide economy in concrete production and are widely used in concrete industry. Because of the benefits that pozzolans provide for concrete, the concrete industry shows close interest to all kinds of pozzolanic materials. Fly ash and blast furnace slag are pozzolans commonly used in concrete production. Rhyolite and trachyte are minerals under the name tras group. In experimental study, the various grinding time of fly ash, blast furnace slag, rhyolite and trachite how affected the pozzolanic activity of mortar samples was determined. As a result of this evaluation, the effect of the grinded rhyolite and trachyte minerals on the pozzolanic properties have been compared to the widely studied fly ash and blast furnace slag. In the study firstly, geological studies of rhyolite and trachyte have been performed. The grounded trachyte, rhyolite, fly ash and blast furnace slag which their geological characteristics were determined was replaced with CEM-1 42.5 R type cement. The pozzolanic activities of the mortars produced using these additives were determined according to TS EN 196-5, TS 25 and TS EN 450-1. As a result, both rhyolite and trachyte have been found to meet the limit values for pozzolanic activity prescribed by the relevant standards.

Key words: Pozzolanic Activity Index, Pozzolanic Nature, Rhyolite, Trachyte

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Obsidiyen.....	3
Şekil 1.2. Laterit.....	5
Şekil 1.3. Silis dumanı tane dağılımı	10
Şekil 2.1. Riyolit agregası.....	20
Şekil 2.2. Trakit agregası	20
Şekil 2.3. Çeneli kırıcı	20
Şekil 2.4. Bilyeli kırıcı.....	21
Şekil 2.5. Çimento örneğinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü.....	22
Şekil 2.6. YFC örneğinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü.....	23
Şekil 2.7. UK örneğine ilişkin taramalı elektron mikroskop görüntüsü	24
Şekil 2.8. Öğütülmüş trakit örneğinin(×30, 000) büyütülmüş taramalı elektron mikroskop görüntüsü	25
Şekil 2.9. Öğütülmüş Trakit örneğinin(×20, 000) büyütülmüş taramalı elektron mikroskop görüntüsü	26
Şekil 2.11. Öğütülmüş Trakit örneğinin X10, 000 kez büyütülmüş taramalı elektron mikroskop görüntüsü	25
Şekil 2.12. Trakit örneğinin 5,000 kez büyütülmüş görüntüsü.....	27
Şekil 2.14. Öğütülmüş Trakit örneğinin(×30,000) büyütülmeli taramalı elektron mikroskop görüntüsü	28
Şekil 2.15. Öğütülmüş riyolit örneğinin(×20,000) büyütülmeli taramalı elektron mikroskop görüntüsü	28
Şekil 2.16. Öğütülmüş Riyolitin en yüksek büyütülmüş(x10,000) SEM görüntüsü	29
Şekil 2.17. Riyolit örneğinin yüksek büyütülmüş (x5,000) SEM görüntüsünde	29
Şekil 2.19. Yüzey kayaçları için QAP diyagramı	30
Şekil 2.20. Deneysel çalışmada kullanılan etüv.....	31
Şekil 2.21. Blaine incelik tayin etme ünitesi	31
Şekil 2.22. Puzolanik aktivite ölçmek için kullanılan numune kalıpları	32
Şekil 2.23. TS 25'e göre Blaine incelik ve basınç dayanımı değerlendirmesi	34
Şekil 2.24. HCl çözeltisi	36

Şekil 2.25. Metil oranj	36
Şekil 2.26. Edta çözeltisi.....	36
Şekil 2.27. pH metre	36
Şekil 2.28. Magnetik karıştırıcı.....	37
Şekil 2.29. Müreksit.....	37
Şekil 2.30. Etüv.....	37
Şekil 2.31. Büret	37
Şekil 2.32. Isıtıcı	38
Şekil 2.33. Damıtık Su Makinesi	38
Şekil 2.34. Ölçülü silindir	38
Şekil 2.35. Süzgeç Kâğıdı	38
Şekil 2.36. Puzolanik özelliğın grafıksel olarak tayini	42
Şekil 2.38. Riyolit 60 için puzolanik özelliğın belirlenmesi.....	43
Şekil 2.39. Riyolit 75 için puzolanik özelliğın belirlenmesi.....	43
Şekil 2.40. Trakit 45 için puzolanik özelliğın belirlenmesi	44
Şekil 2.41. Trakit 60 için puzolanik özelliğın belirlenmesi	44
Şekil 2.42. Trakit 75 için puzolanik özelliğın belirlenmesi	45
Şekil 2.43. Uçucu kül N için puzolanik özelliğın belirlenmesi	45
Şekil 2.44. Uçucu Kül 20 için puzolanik özelliğın belirlenmesi	46
Şekil 2.45. Uçucu Kül 40 için puzolanik özelliğın belirlenmesi	46
Şekil 2.46. 40×40×160 mm üçlü numune kalıbı.....	48
Şekil 2.47. Pres	48
Şekil 2.48. Trakit 45 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-ikame oranı ilişkisi ..	49
Şekil 2.49. Farklı oranlarında Trakit 45 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	50
Şekil 2.50. Trakit 45 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO ₂ ilişkisi.....	50
Şekil 2.51. Trakit 60 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-ikame oranı ilişkisi ..	51
Şekil 2.52. Farklı oranlarında Trakit 60 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	51
Şekil 2.53. Trakit 60 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO ₂ ilişkisi.....	52
Şekil 2.54. Trakit 75 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-ikame oranı ilişkisi ..	53
Şekil 2.55. Farklı oranlarında Trakit 75 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	53

Şekil 2.56. Trakit 75 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO ₂ ilişkisi.....	54
Şekil 2.57. 28 günlük Trakit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi.....	54
Şekil 2.58. 90 günlük Trakit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi.....	55
Şekil 2.59. Riyolit 45 ikameli harç numuneler için İkame oranı – basınç dayanım ilişkisi	55
Şekil 2.60. Farklı oranlarında Riyolit 45 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi.	56
Şekil 2.61. Riyolit 45 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO ₂ ilişkisi	56
Şekil 2.62. Riyolit 60 ikameli harç numuneler için ikame oranı-basınç dayanımı ilişkisi .	57
Şekil 2.63. Farklı oranlarında Riyolit 60 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	57
Şekil 2.63. Riyolit 60 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO ₂ ilişkisi	58
Şekil 2.64. Riyolit 75 ikameli harç numuneler için ikame oranı-basınç dayanımı ilişkisi .	58
Şekil 2.65. Farklı oranlarında Riyolit 75 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	59
Şekil 2.66. Riyolit 75 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO ₂ ilişkisi	59
Şekil 2.67. 28 günlük Riyolit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi.....	60
Şekil 2.68. 90 günlük Riyolit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi.....	60
Şekil 2.69. YFC N ikameli harç numuneler için İkame oranı-basınç dayanımı ilişkisi	61
Şekil 2.70. Farklı oranlarda YFC N ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	61
Şekil 2.71. YFC N ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO ₂ ilişkisi	62
Şekil 2.72. YFC 20 ikameli harç numuneler için İkame oranı-basınç dayanımı ilişkisi	62
Şekil 2.73. Farklı oranlarda YFC 20 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	63
Şekil 2.74. YFC 20 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO ₂ ilişkisi	63
Şekil 2.75. YFC 40 ikameli harç numuneler için İkame oranı – basınç dayanımı ilişkisi .	64
Şekil 2.76 Farklı oranlarında YFC 40 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi	64
Şekil 2.78. YFC 40 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO ₂ ilişkisi	65
Şekil 2.79. 28 günlük YFC`nun basınç dayanımı-öğütme süresi	65
Şekil 2.80. 90 günlük YFC`nun basınç dayanımı-öğütme süresi	66

Şekil 2.81. %25 UK N, 20, 40 ikameli harçlar için Puzolanik aktivite indeksi.....	66
Şekil 2.82. UK N, 20, 40 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO ₂ ilişkisi	67
Şekil 2.83. 28 ve 90 günlük UK ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi	67



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Doğal puzolanların beton katkı maddesi olarak kullanılabilmeleri için gereken fiziksel değerler	5
Tablo 1.2.	Doğal puzolanların katkı maddesi olarak kullanılması için gereken kimyalar	6
Tablo 1.3.	Bazı doğal puzolanlardaki oksit miktarları	6
Tablo 1.4.	YFC`daki oksit miktarları	7
Tablo 1.5.	ASTM C 989 YFC indeksi.....	7
Tablo 1.6.	Uçucu külün katkı maddesi olarak kullanılması için sağlaması gereken fiziksel değerler	8
Tablo 1.7.	Uçucu küllerin puzolan olabilmesi için sağlaması gereken kimyasal değerler	8
Tablo 1.8.	Silis dumanı puzolan olması için sağlaması gereken ortalama kimyasal değerler.....	10
Tablo 2.1.	Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri	21
Tablo 2.2.	YFC puzolanının kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları	22
Tablo 2.3.	UK puzolanının kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları	23
Tablo 2.5.	Trakit agrega örneklerine at kimyasal bileşimler ve yoğunluklar.....	24
Tablo 2.6.	Riyolit agregasının kimyasal bileşimi ve yoğunluğu	25
Tablo 2.7.	TS 25`e göre hazırlanan harçlar için kullanılan malzeme miktarları	33
Tablo 2.8.	Otomatik Blaine cihazında kullanılan kütleler.....	33
Tablo 2.9.	TS 25`e göre puzolanik aktivite için sınır şartlar	33
Tablo 2.10.	Ölçülen Blaine incelikleri ve TS 25`e göre eğilme ve basınç dayanımları	34
Tablo 2.11.	Trakit için puzolanik özelliği belirlemede kullanılan malzeme miktarları ...	39
Tablo 2.12.	Riyolit için puzolanik özelliği belirlemede kullanılan malzeme miktarları ...	39
Tablo 2.13.	Kalsiyum Oksit Derişimleri	40
Tablo 2.13.	Devamı	41
Tablo 2.14.	Hidroklorik Asit Tayini	41
Tablo 2.15.	ASTM C 989 YFC`nun puzolanik aktivite indeksi.....	49
Tablo 2.16.	%50 YFC ikameli harç numunelerin puzolanik aktivitesi	49

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Puzolanlar kendi başlarına çok az veya hiç bağlayıcı özelliği olmayan fakat ince öğütüldüklerinde nemli ve sıcak ortamlarda kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan silisli ve alumino silisli maddelerdir [1]. Ana oksitlerine ilave olarak demiroksit, kalsiyumoksit, alkaliler ve karbon içerirler.

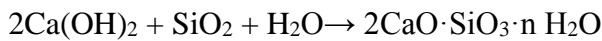
Puzolanlar normal sıcaklık ve nemli ortamda sönmüş kireç, Ca(OH)_2 , ile birleşerek hidrolik bağlayıcı olan birleşikler oluştururlar [2].

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Doğal puzolanlar grubunda olan volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve bazı kil ve şeyller ince öğütüldüklerinde puzolanik özelliğe sahip olurlar. Fakat bazı doğal puzolanların bu özelliğe sahip olmaları için ısı işlem görmeleri gereklidir [8].

Yapay puzolanlar ise ısı işlem görmüş doğal puzolanlardan ve çeşitli endüstri atıklarından oluşmaktadır [3].

1.2. Puzolanik Reaksiyon

Puzolanlar, içerdikleri reaktif silis nedeniyle, çimento hidrasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç ile nemli ve uygun ortam sıcaklığında reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidratları oluştururlar.



Yukarıdaki reaksiyon temel puzolanik reaksiyondur. Bu reaksiyon gerçekleşmesi kireç oluşumunun yavaş olması nedeniyle uzun süre alabilir.

Puzolanik reaksiyonlar serbest kireci kimyasal olarak bağladığı için daha az kirece sahiptir. Kimyasal olarak bağlanan kireç yerini kalsiyum silikat hidrat ürününe terk eder. Bunun sonucunda bağlayıcı ürün C-S-H arttığı için yapının mukavemeti artar ve buyna bağlı olarak boşluk azalır ve yapı daha geçirimsiz bir özellik kazanarak dış etkilere karşı durabilitesi artar.

1.2.1. Puzolanik Aktivite

Bir puzolanın mineral katkı olarak betonda kullanılması için standartların öngördüğü oranda puzolanik aktiviteye sahip olması gerekir. Puzolanik aktivite kimyasal, fiziksel ve mekanik testlerle belirlenir. Mekanik testlerde belirli özgül yüzeye sahip puzolan ile sönmüş kireç karışımının eğilme ve basınç dayanımlarına bakılır [4]. TS EN 196-1 standardı uyarınca hazırlanan numuneler eğilmede çekme ve basınç deneylerine tabi tutularak mekanik değerler belirlenir. Bu değerler kullanılarak puzolanik aktivite indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır. Puzolanik aktivite indeksi puzolanın çimento ile kullanıldığında yeterli dayanımı sağlayıp sağlamadığını ifade eden bir sayısal değerdir [5].

$$P.A.İ = (R_{ort}/R_{kont}) \times 100$$

Burada, P.A.İ puzolanik aktivite indeksini, R_{ort} puzolan katkılı numunelerin ortalama basınç dayanımını ve R_{kont} kontrol numunelerinin ortalama basınç dayanımını göstermektedir.

Kimyasal yöntemde puzolanik özellik, çimento ile hazırlanan çözeltilerdeki hidroksil ve kalsiyumoksit konsantrasyonlarına göre özellik tayin edilir [6].

1.2.2. Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar mineral katkı olarak doğrudan çimento ile karıştırılarak ya da belirli oranlarda portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülerek katkılı çimento üretiminde kullanılırlar. Bu tip çimentolar traslı çimentolar olarak bilinir.

Katkılı çimento üretiminde puzolanlar çimentoya birkaç şekilde ilave edilir. Puzolanlar klinker ve alçı taşı ile birlikte öğütülebileceği gibi klinkerden ayrı öğütülerek çimentoya ilave edilebilir [7]. İnce silisli topraklar haricinde tüm doğal puzolanlar volkanik kayaç ve minerallerinin türevleridir. Volkanik patlama sırasında çoğunlukla alümin silikatlardan oluşan magmanın hızlı soğumasına bağlı olarak puzolanlar amorf yapıda oluşurlar. Doğal puzolanlar genellikle kille kirlenmiş şekilde bulunurlar bu yüzden puzolanik aktiviteyi artırmak için doğal puzolanlara ısıt işlemler uygulanır. Doğal puzolanlar nadiren bir aktif bileşen içerdiğinden oluşur. Bu yüzden onları sınıflandırmak zordur. Var olan reaktif maddeye bakılarak doğal puzolanlar volkanik tüfler, volkanik camlar, kil veya şeyller ya da silisli topraklar olarak ayrılırlar [8].

1.2.2.1. Volkanik Camlar

Yunanistan'ın Santorin toprağı, İtalya'nın Bacoli ve Japonya'nın Shirasu en iyi bilinen volkanik cam örnekleridir. Bu malzemelerin puzolanik özellikleri düzensiz yapıdaki alümin silikat camın varlığına bağlıdır. Genellikle az miktarda reaktif olmayan kuvars, feldspat ve mika gibi mineral kristalleri camsı faz içerisinde gömülü olarak bulunabilir [8]. Şekil 1.1`de volkanik camlara örnek olarak obsidiyen minerali gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Obsidiyen [9]

1.2.2.2. Volkanik Tüfler ve Tras

İtalya'da Segni-latium, Almanya'da Ren trası volkanik tüflerin ve trasın tipik örneklerindedir. Riyolit, dasit, zeolit tüfleri en iyi puzolanik özellik gösteren tüflerdir. Kompakt dokuları ile 10-30 MPa düzeyinde dayanıma sahip oldukça sağlam puzolanlardır. İnce parçacık boyutlarında kireçle reaksiyona girerek volkanik camlara benzer şekilde beton özelliklerini iyileştirirler [8].

1.2.2.3. Killer ve Şeyller

Volkanik camlar ve tüfler puzolanik özelliklerini geliştirmek için ısı işleme gerek yoktur. Ancak kil mineralleri kristal yapıları dolayısıyla ısı işleme tabi tutulmadığı sürece kireçle reaksiyona girmez ve puzolanik özellik göstermezler. Bu puzolanlar yağ, gaz veya kömürle çalışan döner fırınlarda 600-900°C sıcaklıklarda ısıtılırlar. Bu işlem sonucunda kilin kristal yapıları bozulur ve yarı amorf yapıda alümin silikat yapısına dönüşür. Böylece puzolanik özellik kazanırlar. Yüksek oranda kuvars ve feldspat içeren puzolanların ısı işlem görmesinden sonrada iyi puzolanik özellik göstermedikleri vakidir [8].

Kalsine olmuş killerin kireç ile reaktifliği bozulmuş yapının yarı amorf niteliğine bağlıdır. Killerin tümünün kalsinasyon sıcaklıkları aynı değildir. Optimum değerden düşük sıcaklıkta pişirilirse kafes yapısı bozulmaz, optimum değerden yüksek sıcaklıkta pişirilirse tekrardan kristalleşir [11].

Isıl işlem görmüş killer birçok ülkede kullanılmakta olup enerji tüketimi fazladır. Bu sebepten dolayı günümüzde daha çok endüstriyel yan ürünler puzolan olarak kullanılmaktadır [12]. Şekil 1.2'de killer ve şeyllere örnek olarak laterit örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Laterit [10]

1.2.2.4. Diatomit Topraklar

Bu puzolanlar grubu organik kökenli malzemelerdir. Diatomit, hücre duvarları silikadan oluşmuş, opal ve hidrate silika içeren, mikroskobik su bitkisi kalıntısıdır. Bilinen en büyük çökelti Kaliforniya'da bulunmaktadır. Diatomitler kirece karşı oldukça reaktiftirler ancak gözenekli mikro yapıya sahiptirler. Bu yüzden diatomitler yüksek oranda su gerektirirler. Diatomitler ısı işlem göremeyen ya da ısı işlem görmeyen de kullanılabilirler. Genellikle çok miktarda kil içerir ve bu nedenle puzolanik aktiviteyi arttırmak için kullanılmadan önce termal olarak aktive edilmelidirler [8].

1.2.2.5. Doğal Puzolanların Betonda Katkı Maddesi Olabilmesi İçin Standart Değerler

Tablo 1.1. Doğal puzolanların beton katkı maddesi olarak kullanılabilmeleri için sağlaması gereken fiziksel değerler [13,14]

Standart	TS 25	ASTM C 618
45µm göz açıklıklı elekten ıslak olarak elendiğinde elek üzerinde kalan miktar maks %	-	34
Özgül yüzey, Blaine min., cm ² /g	4000	-
Dayanım aktivite indeksi, Min. %, 7 günlük	-	75
28 günlük	70	75
Su ihtiyacı		
Kontrol numunesine kıyasla maks., %	-	115

Tablo 1.2. Doğal puzolanların katkı maddesi olarak kullanılması için gereken sağlaması gereken kimyasal değerler [13,14]

Standart	TS 25	ASTM C 618
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	70,0	70,0
SO ₃ , maks. %	5,0	4,0
Nemlilik, maks%	3,0	3,0
Kızdırma kaybı, maks. %	10,0	10,0
MgO, maks. %	5,0	-
Na ₂ O olarak alkaliler, maks%	1,5	1,5

Tablo 1.3. Bazı doğal puzolanların oksit miktarları [kaynak]

Doğal Puzolanlar	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali
Volkanik Camlar	65,1	14,5	5,5	3,0	1,1	6,5
Volkanik Tüfler	52,1	18,3	5,8	4,9	1,2	6,6
Diatomlu Toprak	86,0	2,3	1,8	-	0,6	0,4
Pişirilmiş Killer	42,2	16,1	7,0	21,8	1,9	1,3

1.2.3. Yapay Puzolanlar

Yan ürün niteliği taşıyan endüstriyel atıklardır. Yapay puzolanlara örnek olarak yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve benzer maddeler örnek gösterilebilir.

1.2.3.1. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretilirken ortaya çıkan bir yan üründür. Yüksek fırınlarda 1500°C sıcaklıkta, kok kömürünün karbonu ile demir cevherinin içindeki oksitler birleşerek karbondioksit ve karbon monoksit dışarı verirler. Fırının içinde eriyik halinde bulunan demir ile kireç, kok kömürü külü, silis, alümin ve diğer malzemelerden oluşan ve cüruf denilen madde kalır. Fırının içinde yoğunluğu az olan cüruf üstte daha fazla olan demir ise alt taraftadır. Alınan cüruf 1500°C sıcaklığındadır, puzolan olarak kullanılabilmesi için hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Uygulanan soğutma yöntemi ve hızına göre yüksek fırın cürufları çok farklı yapısal karakterler gösterirler. Hızlı soğutulan cüruflar ise camsı yapıdadır ve granüle yüksek fırın cürufu olarak isimlendirilir.

Tablo 1.4. YFC yapısındaki oksit miktarları [kaynak]

Bileşen (%)	ABD ve	Güney	Avustralya	Türkiye	Portland
		A			Çiment
		fr			osu
		ik			
		a			
CaO	29-50	30-40	38-44	34-41	60-67
SiO ₂	30-40	30-36	33-37	34-36	17-25
Al ₂ O ₃	7-18	9-16	15-18	13-19	3-8
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5	-	0-0,7	0,3-2,5	0,5-6,0
MgO	0-19	8-2,1	1-3	4-7	0,1-4,0
MnO	0,2-1,5	-	0,3-1,5	1-2,5	-
S	0-0,2	1-1,6	0,6-0,8	1-2	-
SO ₃	-	-	-	-	1-3

ASTM C 989 öğütülmüş yüksek fırın cürufunu aktivite indeksine göre Sınıf 80, Sınıf 100, Sınıf 120 olarak sınıflandırmaktadır [15]. Yüksek fırın cürufu için aktivite indeksi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Aktivite indeksi, % = (A/B)×100, Burada A, %50 YFC ikameli harç örneğinin basınç dayanımını, B ise kontrol harcının basınç dayanımını ifade etmektedir.

Tablo 1.5. ASTM C 989`ye göre YFC indeksi sınıflaması [15]

Sınıf	YFC Aktivite İndeksi, Min., (%)	
	7 Gün	28 Gün
Sınıf 80	-	70
Sınıf 100	70	90
Sınıf 120	90	110

İngiliz standardı BS EN 15167-1 YFC için aktivite indeksi %50 ikameli harç numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının kontrol numunelerinin basınç dayanımlarına oranının sırasıyla min. %45 ve %75 olarak öngörmektedir [16].

1.2.3.2. Ucucu Kül

Termik santrallerde elektrik üretmek için kömür yakılmaktadır. Bu kömürün yanması sonucu bir takım küller ve cürufklar ortaya çıkmaktadır. Bu küller bacadan gazlarla birlikte yukarıya doğru çıkarken elektro filtrelerle yakalanır ve atmosfere yayınımları önlenir.

Uçucu kül koyu gri renkte ve çok ince tanelidir. Yapılarının büyük bir bölümü amorf durumdadır. Geri kalan bölümlerinde mullit, kuvars, magnetit, hematit gibi kristaller yer alır [11]. Bütün uçucu küller yeterli oranda puzolanik özellik göstermeyebilir. Puzolan olarak kullanılabilmeleri için Tablo 1.6'daki fiziksel özellikler için önerilen kriterlerin sağlanması gerekmektedir[1].

Tablo 1.6. Uçucu külün katkı maddesi olarak kullanılması için sağlanması gereken fiziksel değerler [13,17,18]

Standart	TS 639	TS EN 450-1	ASTM C 618 F Sınıfı	ASTM C 618 C Sınıfı
İNCELİK				
45µm göz açıklıklı elekten ıslak olarak elendiğinde elek üzerinde kalan miktar maks %	-	40	34	34
Özgül yüzey, Blaine min. cm ² /g	3000	-	-	-
Dayanım aktivite indeksi: Min. %,				
28 günlük	-	75	75	75
90 günlük	70	85	75	75
Su ihtiyacı				
Kontrol numunesine kıyasla maks. %	-	-	105	105

Tablo 1.7. Uçucu küllerin puzolan olabilmesi için sağlanması gereken kimyasal değerler [13,17,18]

Standart	TS 639	TS EN 450-1	ASTM C 618 F Sınıfı	ASTM C 618 C Sınıfı
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	70	-	70	50
SO ₃ , maks. %	5,0	3,0	5,0	5,0
Nemlilik, maks%	3,0	-	3,0	3,0
Kızdırma kaybı, maks. %	10,0	5,0	6,0	6,0
MgO, maks. %	5,0	-	-	-
Na ₂ O olarak alkaliler, maks%	1,5	-	1,5	1,5
Cl, maks. %	-	0,1	-	-

Yukarıda verilen tablodan da görüldüğü üzere uçucu küllerin puzolanik özellik gösterebilmeleri için $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamının F sınıfı ve C sınıfı uçucu küller için sırasıyla %70 ve %50`den fazla olmalıdır [13].

CaO oranını %10`dan düşük olan F tipi uçucu küller sadece puzolanik özellik gösterir. C sınıfı uçucu küllerde ise CaO oranı %10 dan fazladır. Bu yüzden C sınıfı uçucu küller kendiliklerinden bir miktar bağlayıcı özellik gösterirler [12].

F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürden üretilir ve $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamı %70 den fazladır. Kireç oranı %10`un altındadır. Bu sebeple düşük kireçli uçucu küller diye adlandırılırlar ve bu nedenle yalnızca puzolanik özellik gösterirler. C sınıfı uçucu küller yarı bitümlü kömür ve linyitin yanmasıyla oluşur ve $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ oranları %50`den fazladır. Kireç oranı %10`dan fazladır. Puzolanik özellikleri yanı sıra bağlayıcı özelliğe de vardır.

TS EN 197-1`e göre uçucu küller W sınıfı uçucu küller ve V sınıfı uçucu küller olmak üzere ikiye ayrılırlar [12].

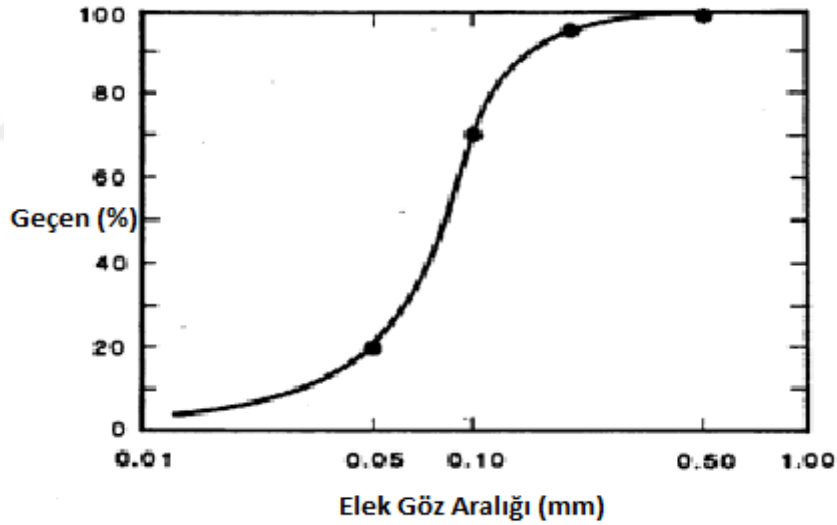
Uçucu küllerin büyük bir bölümü amorf yapıdadır. Geri kalan bölümünde mullit, hematit, magnetit, kuvars gibi kristaller bulundurulur.

1.2.3.2. Silis Dumanı

Silis dumanı yarı iletken sanayisinde kullanılan silisyum metalinin veya ferrosilisyum alaşımlarının üretiminde ortaya çıkan atık bir maddedir. Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi sırasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulması sonucu elde edilen ve %85-%98 kadar silis içeren amorf yapıda çok ince parçacıklardan oluşan malzemeler silis dumanı veya mikro silis olarak bilinir. Atık bir malzeme olan silis dumanı sahip olduğu yüksek puzolanik özelliği sayesinde diğer yapay puzolanlara üstünlük sağlamaktadır. Silis dumanı amorf ve çok ince yapıda olup mükemmel bir puzolanik malzemedir [19]. Silis dumanının rengi içerdiği karbon miktarına göre değişmektedir. Karbon miktarı arttıkça silis dumanı rengi açık griden koyu griye doğru dönüşmektedir [19].

Tablo 1.8. Silis dumanının puzolan olması için sağlaması gereken ortalama kimyasal değerler [kaynak]

Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	Ortalama Değer
SiO ₂ , %	88-95
Al ₂ O ₃ , %	0,4-1,10
Fe ₂ O ₃ , %	0,5-1,50
CaO, %	0,4-0,9
MgO, %	0,9-1,30
Na ₂ O, %	0,4-0,70
K ₂ O, %	0,9-1,20
SO ₃ , %	0,45-0,90
C (Karbon) , %	0,10-1,20
Kızdırma kaybı, %	2,00-3,00
Yoğunluk, g/cm ³	2,05-2,35
Görünen yoğunluk, kg/l	0,24-0,30
Özgül yüzey, cm ² /g	210,000-240,000
Ortalama tanecik çapı, µm	0,1-0,5



Şekil 1.3. Silis dumanı için tane dağılımı [20]

1.2.4. Puzolanik Maddelerin Betonun Özelliklerine Etkisi

Son yıllarda, çevresel faktörler ve enerji verimliliği gereksinimleri araştırmacıları kalkınmada sürdürülebilir çözümler üretmeye yöneltmiştir. Günümüzde çevreyi en fazla kirleten endüstriyel maddelerden biri çimentodur. 1 ton çimento üretimi sonucunda atmosfere 1 ton CO₂ yayılmaktadır [21,22]. Bu nedenlerden dolayı portland çimentosu

yerine katkılı çimento üretimi uygulaması hızla artmaktadır [23]. Son yıllarda Avrupa`da çimento üretiminin büyük bir bölümü yerini katkılı çimento üretimine bırakmıştır [24]. TS EN 197-1`de 27 farklı çimento türü tanımlanmaktadır. Bunlardan 26 tanesi katkılı çimentodur. Katkılı çimentolar silis dumanı, yüksek fırın cürufu, kireç taşı ve doğal puzolanlar gibi farklı tamamlayıcılardan oluşur. Doğal puzolanlar, bolluklarına ve nispeten düşük maliyetlerine bağlı olarak çimento ve beton endüstrisinde gün geçtikçe kullanımları hızla artmaktadır [25]. Doğal puzolanların kullanımı genel olarak çevre kirliliğinin azalmasında, enerji verimliliği ve betonun dayanım özelliklerini iyileştirmeye önemli yararlar sağlamaktadır [26-31].

Bir çok araştırmacı doğal puzolanların beton ve harç üretiminde üstün mekanik özellikler, hidrasyon ısısının azaltılması, basınç ve çekme mukavemetlerinin iyileştirilmesi, donma ve çözünmeye karşı direncin artması, geçirgenliğin azaltılması, kimyasal etkilere karşı direnç, ASR reaksiyonunun azaltılması gibi beton için zararlı olan bir çok etkiyi önlediği ve beton özelliklerini iyileştirdiğini rapor etmiştir [32-38] .

Doğal puzolanlar betonda işlenebilmeyi artırmakta, terlemeyi azaltmakta, betonun hidrasyon ısısını azaltmakta, sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmakta, sülfata dayanıklılığı artırmakta, alkali silika reaksiyonunu kontrol altına almakta ve betona ekonomiklik sağlamaktadır [12].

1.2.4.1 Puzolanların Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi

Puzolanlar ince öğütüldüklerinden dolayı hem çimento hamuru yapısındaki boşlukları doldurması hem de beton yapısındaki kireci bağlayacak puzolanik aktiviteye sahip olmasından dolayı çimento hamurunun dayanım kazanmasına olumlu katkı sağlamaktadır [39].

Doğal puzolan veya yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen betonların dayanımları puzolan içermeyen betonlara göre daha düşüktür. Bunun sebebi puzolanların reaksiyona girerek C-S-H yapısındaki jelleri oluşturabilmeleri için gerekli olan kirecin ortaya çıkma sürelerinin uzun olmasıdır. İlerleyen yaşlarda kireç puzolanlar tarafından bağlanarak ilave C-S-H oluşmaktadır.

Subaşı vd yaptıkları bir çalışmada [40], metakaolin ikameli harçların karakterizasyonları spektroskopik yöntemlerle (XRD, DTA, TGA, FT-IR ve SEM) incelenmiştir. Çimentoyu farklı oranlarda metakaolin ile yer değiştirerek (%5, 10, 15, 20, 25 ve 30) hibrid bağlayıcılar üretilmiştir. Spektroskopik incelemelerin yanı sıra hazırlanan numuneleri üzerinde 2, 7, 28, 56 ve 90 gün sonunda eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, metakaolin ikameli harç numunelerin 28 gün sonunda mukavemet değerleri azalırken, puzolanik etki nedeniyle, 56 ve 90 gün sonunda mukavemetlerinde belirgin artışlar sağlanmıştır.

Senhadji vd. [41] tarafından yapılan başka bir çalışmada doğal puzolan, silis dumanı ve kireç taşı ile çeşitli ikame oranlarında üretilen harçların mikro yapıları ve mekanik-kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre doğal puzolanlar, kontrol harcı ile karşılaştırıldığında, erken yaşta tüm ikame oranlarında harcın basınç dayanımının daha düşük olduğu görülmektedir. Kireçtaşı ve silis dumanı ile üretilen harçların doğal puzolan ikameli harçların daha düşük basınç mukavemeti elde edilmiştir. Fakat ilerleyen yaşlarda doğal puzolan ikameli harçların basınç dayanımları kontrol numunesinin basınç dayanımına erişmiş hatta daha yüksek değerler vermiştir.

Binici vd. [42] çalışmalarında, inceliğin hem basınç mukavemeti, hem sodyum sülfat direnci hem de katkılı ve katkısız Portland çimentosunun hidrasyon ısısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hem klinker hem de katkı maddelerinin öğütme süresi incelendi. Sonuç olarak granüle yüksek fırın cürufuna kıyasla pomza ve klinkerin öğütülebilirliğinin daha kolay olduğunu görüldü. Katkılı çimento, aynı Blaine değerleri için Portland çimentosuna kıyasla, özellikle daha sonraki yaşlarda, daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Çelik vd. [43], %10-%15 oranlarında tras katkılı betonların basınç dayanımlarının katkısız betonların basınç dayanımlarına kıyasla 7 ve 28 gün sonunda daha yüksek değerler verdiklerini ifade etmektedir.

Şimşek [44] yaptığı bir çalışmada tuğla tozunun puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada %10 oranında tuğla tozunun basınç dayanımını arttırdığını ifade etmektedir.

Massaza, F. [45], yaptığı çalışmada ikame edilen puzolan tipi ve miktarına göre betonun nihai basınç dayanımı Portland çimentosunun nihai basınç dayanımına ulaşabilir hatta bu değeri aşabilir olduğunu gözlemlemiştir. Fakat puzolan ikamesi optimum değerleri aştığı zaman basınç dayanımında hızlı bir düşme meydana geldiği gözlemlemiştir. Bunun sebebi ortamda yeteri kadar serbest kirecin kalmayışı olarak ifade edilmektedir.

Yetgin, Ş. vd. [46], yaptıkları çalışmada doğal puzolan türü ve inceliği sabit tutmak suretiyle %0-%35 oranlarında puzolan katkılı betonlar üretmişlerdir. Çalışmada betonun erken yaşlarda dayanımı düşük çıkmış ancak ileri yaşlarda betonun dayanımında belirgin derecede artmış olduğu ifade edilmektedir.

Çelik vd. [47], Blaine özgül yüzeyleri ölçülmüş soma termik santralinden alınan uçucu kül, iki farklı tras, silis dumanı çimento klinkerinin bir kısmının yerine katılmış ve üretilen harçların basınç dayanımları belirlenmiştir. Çimentoya ağırlıkça %5 silis dumanı, %10 uçucu kül ve %30, %35, %40 oranlarında tras katılmıştır. 60 gün sonunda dayanımda sağlanan en yüksek değer Bilecik trasında ortaya çıkmış ve soma termik santralinden alınan uçucu kül ve silis dumanıyla üretilen harçların dayanımından daha yüksek değerler vermiş olduğu ifade edilmiştir.

Senhadji, Y. vd. [41], yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre silis dumanı ve doğal puzolan ikamesinin genellikle mikro yapıyı iyileştirdiği ve C-H'nin C-S-H veya C-A-S-H'ya dönüşmesi suretiyle ve ilerleyen yaşlarda puzolanik etki nedeniyle betonun mekanik dayanımını arttırdığı ifade edilmektedir.

1.2.4.2. Puzolanların Priz Süresi Üzerine Etkisi

Yeğınobalı [48] çalışmasından puzolanların taze betonun priz süresi üzerinde geciktirici etki yaptıklarını, puzolanların kullanım oranları arttıkça betonun priz süresi üzerindeki gecikme etkisinin doğru orantılı olarak arttığını ve bu nedenle kışın beton dökülürken bu durumun göz önünde bulundurulmasının yararlı olacağını belirtmektedir. Ancak silis dumanı ve C sınıfı uçucu külün kullanıldığı durumlarda aksi durum ortaya çıkmaktadır ve priz süresi kısalmaktadır.

Pistilli vd. [49], %10`a kadar silis dumanı ikamesinin priz süresi üzerinde fazla etkili olmadığı ancak ikame oranı %10`dan fazla olduğunda priz süresinin uzadığı ifade etmektedir.

Şimşek [43] çalışmasında tuğla tozunun puzolanik madde olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma sonunda tuğla tozunun priz başlama ve bitiş sürelerini uzattığını görmüştür.

1.2.4.3. Puzolanların Hidratasyon Isısı Üzerine Etkisi

Puzolanların sağladığı en önemli yararlarından bir tanesi erken yaşlardaki çatlamalara neden olan hidratasyon ısısını azaltmaktır [43, 44].

Binici, H. vd. [42], yaptıkları çalışmada Blaine inceliklerini sabit tutarak, katkı çimentonun hidratasyon ısısının Portland çimentosu`nun hidrasyon ısısından daha düşük olduğunu gözlemlemiştir.

Pistilli vd. [49] yaptıkları çalışmada, silis dumanlı betonların silis dumansız betonlara göre hidratasyon ısısında %10 oranında bir azalma gözlemlediklerini ifade etmişlerdir.

1.2.4.4. Puzolanların Elastisite Modülü Üzerine Etkisi

Puzolan ilaveli betonların elastisite modülleri ilk yaşlarda düşük olurken daha sonraki yaşlarda yüksek olmaktadır [11]. Abdun [50] çalışmasından uçucu küllü betonların elastisite modülleri ilk yaşlarda düşük ancak ileri yaşlarda kontrol betonunkinden daha yüksek değerlere sahip olduğunu belirtmektedir.

1.2.4.5. Puzolanların Alkali-Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi

Sheato vd. [51] yaptıkları çalışmada puzolanik maddelerin içerisinde bulunan reaktif silisin agregada mevcut reaktif silisten alkalilerle daha erken reaksiyona girerek alkali bileşenleri bağlaması, puzolanik malzeme ilave edilmesi sonucu çimentonun alkali miktarının azalması ya da ortamdaki kirecin tükenmesi sonucu çimento hamurunun pH

değerinin düşmesi nedeniyle alkali-silika reaksiyonları sebebiyle meydana gelen hasarın azaldığı ifade edilmektedir. Aşık vd. [52], ASR yönünden zararlı olan agregaya dört farklı mineral katkı katarak hızlandırılmış harç çubuk deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda %10 uçucu kül ve pomza kullanımı ve %20-%30 oranında tras ve cüruf kullanımı ASR`yi azalttığı ve genleşmeyi sınır değer altına çektiği görüldüğü ifade edilmektedir.

Uygunoğlu vd. [53], yüksek oranda silis dumanı içeren harçlarda alkali-silika reaksiyonunun gelişimini incelemiştir. Harçların üretiminde doğal kum, kırma kum, beton atığı kum ve mermer atığı kum kullanılmıştır. Silis dumanı, harçlara çimentoyla %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Alkali silika deneyi ASTM C1260 hızlandırılmış harç çubuk standardına göre gerçekleştirilmiştir. Doğal kumlu %0 silis dumanlı harçlar, genleşme değeri açısından şüpheli bölgede yer aldıkları belirtilmiştir. Silis dumanının ilavesiyle boşluk suyundaki pH değerinin azalması sonucu tüm silis dumanı içeren ve doğal kumla üretilen harçların genleşme değeri güvenli bölgede kaldığı ifade edilmiştir. Kırma kum ve mermer atığı agregalar reaktif silis içermediği için tüm harçların genleşme değeri güvenli bölgede kalmıştır. Beton atığı agregada ile bir miktar doğal kum kullanılmış olması ve bu doğal kumun bir miktar reaktif silis içermesinden dolayı %0 silis dumanı içeren harçların genleşme değeri şüpheli bölge içerisinde yer almıştır. Tüm agrega tipleriyle üretilen harçlarda %10-%30 oranında silis dumanı kullanılmasıyla ASR etkisi önemli derecede azaltılarak ve yapı elemanlarında meydana gelebilecek hasar oluşma riskinin azaltacağı ifade edilmektedir.

Ramlochan vd. [54], yaptıkları çalışmada %10-%15 oranlarında metakaolin kullanımı boşluk suyundaki pH değerini azaltarak zararlı genleşmeleri kontrol altına alınacağını belirtmektedir.

Aşık vd. [55], yaptıkları çalışmada alkali silika yönünden zararlı bir agregaya kullanarak ürettikleri harç numunelerde çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında dört farklı puzolan ikame ederek ASR yönünden değerlendirilmişlerdir. %10 uçucu kül ve pomza kullanımı ASR açısından oldukça olumlu etki sağlarken, %20-%30 cüruf ve tras kullanımı da hatırı sayılır derece yarar sağlandığı belirtilmektedir.

1.2.4.6. Puzolanların Sülfat Etkisi Üzerine Etkisi

Canpolat vd. [56] çalışmasında, %5-%10 sodyum sülfat çözeltileri ile %20-%30 oranlarında zeolit katkı, %15 zeolit+%5 uçucu kül ve %25 zeolit +%5 uçucu kül katkı harç numuneler üretilmiş olup bu numuneler 28 gün kirece doymuş suda bekletilmiş ve 28 gün sonunda harç numuneler ilgili çözeltilere konulmuştur. Çözeltiler 14 gün aralıklarla değiştirilmiş ve bu sürelerde ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Zeolitli harç numuneler 90 güne kadar yüksek konsantrasyonda dahi sülfat etkisine dayanıklı olduğu belirtilmiştir.

Ustabaş [57], gerçekleştirdiği deneysel çalışmada mineral katkılarla ürettiği betonların sülfat ortamındaki performanslarını araştırmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla da mineral katkısız numuneler de üretmiştir. Mineral katkı olarak uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kullanmıştır. Magnezyum sülfat ve sodyum sülfat çözeltilerine maruz bırakılan betonlarda en önemli izlenen özellik mineral katkısız betonların dayanımlarında 13 aylık süre sonunda önemli düzeyde kayıpların meydana gelmiş olduğu olarak gösterilebilir.

Puzolan katkı betonlar daha düşük miktarda portland çimentosu içermesi nedeniyle sülfat reaksiyonuna yol açacak C_3A miktarları azdır [12].

Binici vd. [42] yaptıkları çalışmada ince öğütülmüş puzolan katkı çimento örneklerinin kaba öğütülmüş puzolan katkı çimentoya ve portland çimentosuna kıyasla sodyum sülfat dirençlerinin daha yüksek olduğu ifade etmiştir.

1.2.4.7. Puzolanların Betonun Diğer Özelliklerine Etkisi

Betonda dayanıklılığın anahtarı geçirimsizliktir. Geçirimsiz beton üretmenin temel amacı dış ortamda mevcut zararlı maddelerin beton içerisine girmesini engellemektir. Bu amaçla genellikle mineral katkı kullanılmaktadır. Mineral katkı beton hidrasyon ısısını azalttığı için betonda çatlamanın önüne geçer ve bunun yanı sıra alkali silika reaksiyonunun ve betonda sülfat etkisinin neden olduğu olumsuz etkileri kontrol altına alır. Erdoğan vd. [58], çalışmasında uçucu kül ikameli numunelerin klor geçirimsizliği kontrol numunesininkiyle karşılaştırılmıştır. Artan uçucu kül oranlarının dayanımı olumsuz etkilediği ancak klor geçirimsizliğini belirgin şekilde iyileştirdiği ifade etmiştir.

Biricik [59], çalışmasında puzolan olarak kullandığı buğday sapı külünün hidrasyon ürünü olan kireci bağlamak suretiyle yapı içinde mevcut kılcal kanalları tıkamış olduğu ve bu şekilde kılcal sürekliliği bozduğu ve bundan dolayı kılcal su emme oranını azalttığını deneysel olarak belirlemiştir.

Senhadji vd. [41] katkısız harç ile puzolan katkılı harçların gözenek sistemlerini incelemiş ve aralarında temel farklılıkların var olduğunu gözlemlemiştir. Portland çimentolu harç numuneler genellikle puzolan ikameli harçlardan daha yüksek gözenekliliğe sahiptir. Hidrasyon işlemi esnasında daha büyük hacimli gözeneklerin azaltılması mineral katkıları içeren harçlar için Portland çimentolu harçtan daha belirgindir. Ayrıca bu indirgeme, karışımlar puzolanik olduğunda daha belirgindir. Mineral katkıların birleştirilmesinin ortalama gözenek yarıçapını önemli ölçüde azalttığı ve daha küçük gözenek sayısını artırdığını ifade etmektedir.

Çavdar [60] çalışmasında, farklı oranlarda puzolan içeren 7 farklı çimento ile üretilen numuneler sulu ve sülfatlı ortamda bekletilmiş ve daha sonra basınç, eğilme, aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Erken yaşlarda klinker oranı yüksek olan çimentolar daha yüksek bir dayanım gösterirken ilerleyen yaşlarda puzolanik içeriğe sahip çimentolar daha yüksek dayanım sergilemiştir. %15-%30 oranlarında puzolan katkılı numunelerde dayanım artışı 12 ay sonunda görülmüştür. Silis dumanı katkılı numunelerin bir yıl sonunda aşınma derinliğindeki artış azaltırken yüksek fırın cürufu, doğal puzolan, uçucu kül için bu durumun tersi meydana gelmiştir.

Akgün vd. [61], çalışmasında farklı katkı oranlarında (%0, %10, %20, %30) iki farklı zeolit katkılı harç numunelerin Böhme yüzey aşınma deneyleri gerçekleştirmiştir. Zeolit katkılı harç numunelerin aşınma kayıplarında %15-%25 oranlarında azalma görülmüştür. Doğal puzolanlar ve silis dumanı taze betonda terlemeyi azaltmaktadır [39, 44].

Özturan [62] çalışmasından, uçucu külün betonun işlenebilme özelliğine iyileştirici etki sağlamadığını ifade etmiştir.

Silis dumanı taneleri çok ince yapıya sahip olduklarından dolayı aynı çökme değerli katkısız betona göre su ihtiyacı daha fazladır. Her 1 m³ için kullanılan 1 kg silis dumanı

için 1 litre su gerekli olduğu belirtilmektedir [39]. Betona katılan silis dumanı oranı %5`in üzerine çıktığında betonun işlene bilirlği kötüleşmekte ve kıvam kaybı olmaktadır. Bu özelliği sayesinde silis dumanı püskürtme betonda kullanılmaktadır [12].

Topçu vd. [63], yaptığı çalışmada %20 oranında uçucu kül kullanmanın betonun maliyetini %10 oranında, %40 oranında uçucu kül kullanmanın ise %18 oranında düşürdüğünü belirtmiştir.

İnce taneli puzolanik katkılarla üretilen betonlarda daha az kalsiyum hidroksit vardır. Bu sebeple asit etkisine karşı direnci azaltmaktadır [12].

Yapılan çalışma sonucunda Senhadji [41] vd. asit atakları sonucunda kütle kaybını incelemiştir. Özellikle doğal puzolan ve kireç taşı harçlarının silis dumanını içeren kontrol harcına kıyasla özellikle de sülfürik asite maruz bırakıldıktan sonra üstün performans gösterdiğini ifade etmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Amaç

Çalışmanın amacı riyolit ve trakit minerallerinin betonda puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliğini belirlemektir. Bu amaçla riyolit ve trakit mineralleri araziden temin edildi temin edilen trakit ve riyolit mineralleri laboratuvarında öğütülerek TS 25 standardında belirtilen inceliğe getirildi.

2.2. Kapsam

Puzolanik özellik TS EN 196-5'e göre kimyasal yöntemle belirlenmiş ve puzolanik aktivite ise TS 25'e göre belirlenmiştir. Puzolanik aktiviteyi temsilen riyolit ve trakit mineralleri için puzolanik aktivite indeksleri TS EN 450-1'de verilmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen deneysel çalışmada aşağıda belirtilen cihazlar ve yöntemler kullanılmıştır.

2.3. Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Deneysel çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi Rize yöresi Çağırankaya mevki'inden temin edilen Riyolit ve Trakit agregaları ile Trabzon Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tip çimento kullanılmıştır. Deneysel gerçeğe doğan puzolan olarak trakit tozu, riyolit tozu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu olmak üzere dört farklı tip puzolan kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Riyolit agregası



Şekil 2.2. Trakit agregası

Riyolit ve trakite agregaları Şekil 2.3'te görülen çeneli kırıcıda kırıldı ve TS 25 standartlarında belirtildiği üzere 200 μ m elekte en fazla %0.6 kalacak boyutta ince öğütülerek puzolan olarak kullanabilecek şekilde Şekil 2.4'te görülen bilyeli kırıcıda öğütülmüştür.



Şekil 2.3. Çeneli kırıcı



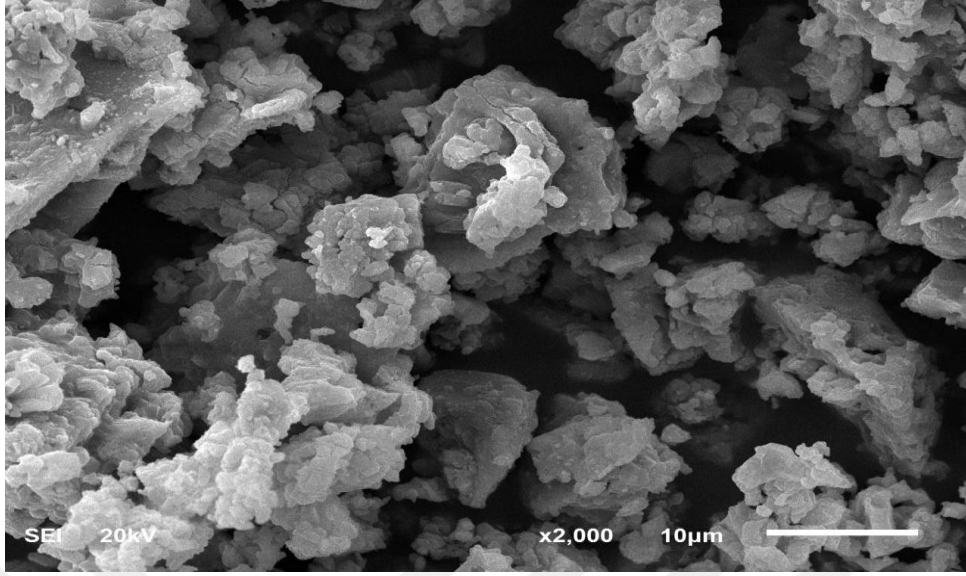
Şekil 2.4. Bilyeli Öğütücü

2.3.1. Çimento Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan CEM I 42, 5 R tip çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2.1`de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Bileşenler	(%)	45 µm elek üstünde kalan (%)	9.8	
SiO ₂	19.30	90 µm elek üstünde kalan (%)	1.0	
Al ₂ O ₃	5.17	Özgül Yüzey (Blaine) (m ² /kg)	412.6	
Fe ₂ O ₃	3.55	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.12	
CaO	64.60	Priz Süresi (Vicat) (dak)	Başlangıç	140
MgO	1,05		Bitiş	200
SO ₃	2,860	Su İhtiyacı (%)		29.2
Na ₂ O	0.46	Hacim Genleşmesi (mm)		1.0
K ₂ O	1,16	Basınç Dayanımı (MPa)	2 gün	28.0
Cl ⁻	0.02		7 gün	40.4
Kızdırma Kaybı	2,81		28 gün	51.5



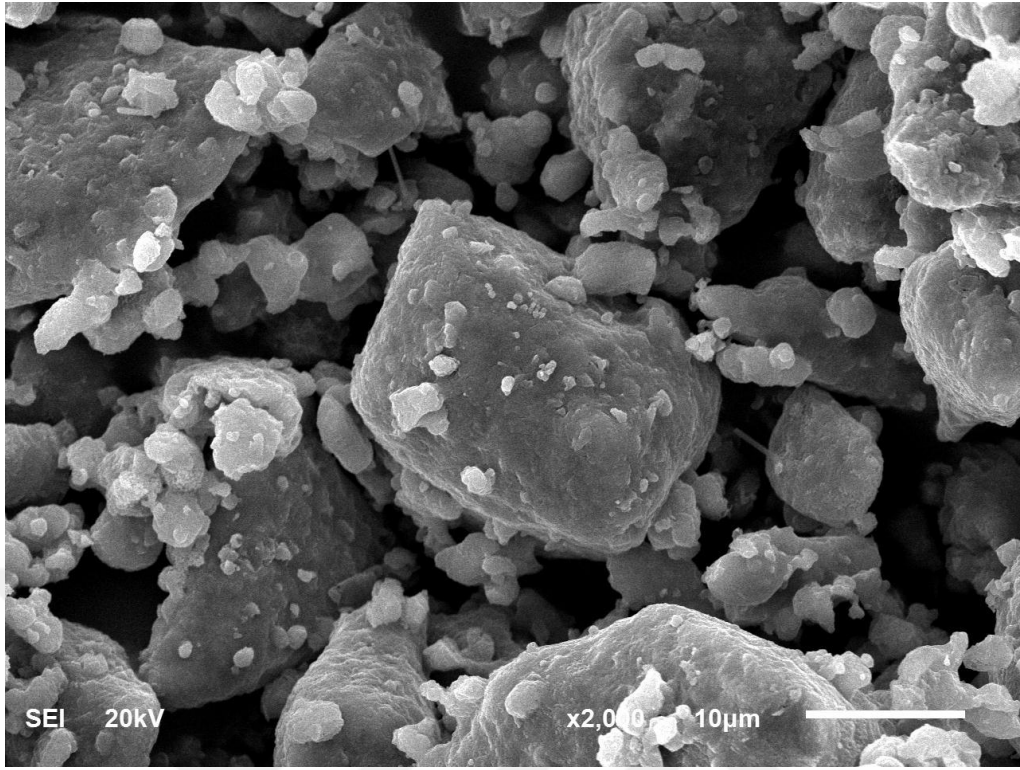
Şekil 2.5. Çimento örneğinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü (x2000)

2.3.2. YFC ve UK Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan YFC ve UK puzolanlarına ilişkin kimyasal özellikler Tablo 2.2 ve Tablo 2.3`de verilmiştir.

Tablo 2.2. YFC puzolanının kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları

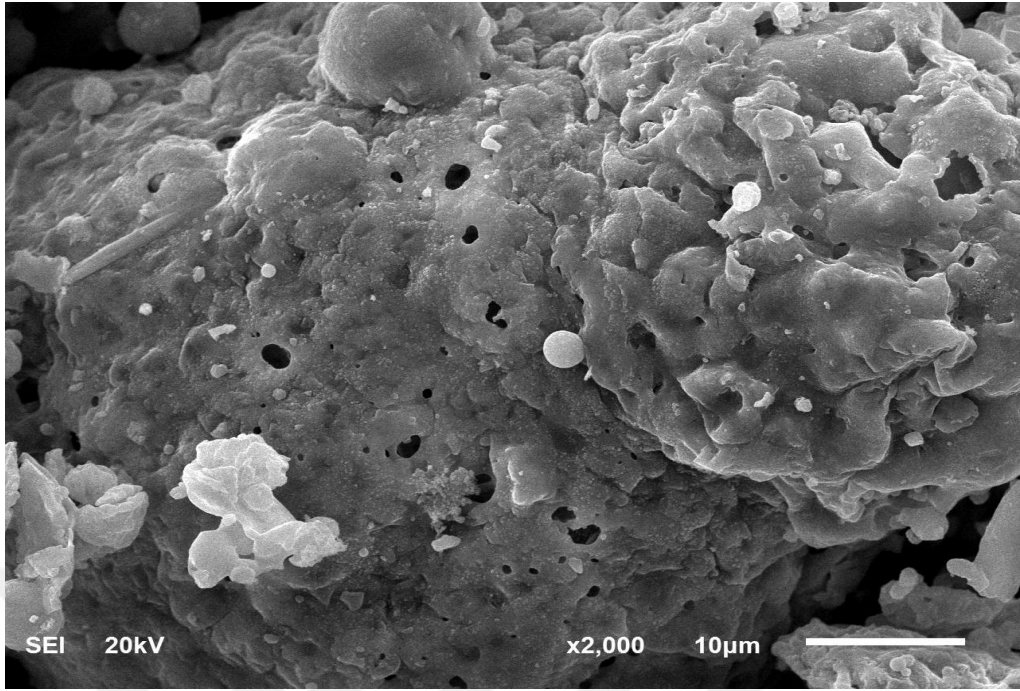
Bileşen	Miktar (%)
SiO ₂	38,60
Al ₂ O ₃	11,40
Fe ₂ O ₃	0,58
CaO	35,30
MgO	7,92
Na ₂ O	0,29
K ₂ O	1,45
TiO ₂	0,44
P ₂ O ₅	0,003
MnO	1,40
SO ₃	3,43
Sr	0,058
Cr ₂ O ₃	-
LOI	0,17
Yoğunluk, gr/cm ³	2,86



Şekil 2.6. YFC örneğinin taramalı elektron mikroskop görüntüsü (x2000)

Tablo 2.3. UK puzolanının kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları

Bileşen	Miktar (%)
SiO ₂	52,70
Al ₂ O ₃	18,00
Fe ₂ O ₃	12,60
CaO	4,5
MgO	4,79
Na ₂ O	0,74
K ₂ O	1,87
TiO ₂	0,76
P ₂ O ₅	0,126
MnO	0,15
SO ₃	1,64
Sr	0,026
Cr ₂ O ₃	0,10
LOI	1,47
Yoğunluk, gr/cm ³	2,41



Şekil 2.7. UK örneğine ilişkin taramalı elektron mikroskop görüntüsü (x2000)

2.3.3. Riyolit ve Trakit Özellikleri

Dört farklı bölgeden alınan trakit ve bir bölgeden temin edilen riyolit minerallerine ait kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları Tablo 2.4 ve Tablo 2.5 verilmektedir.

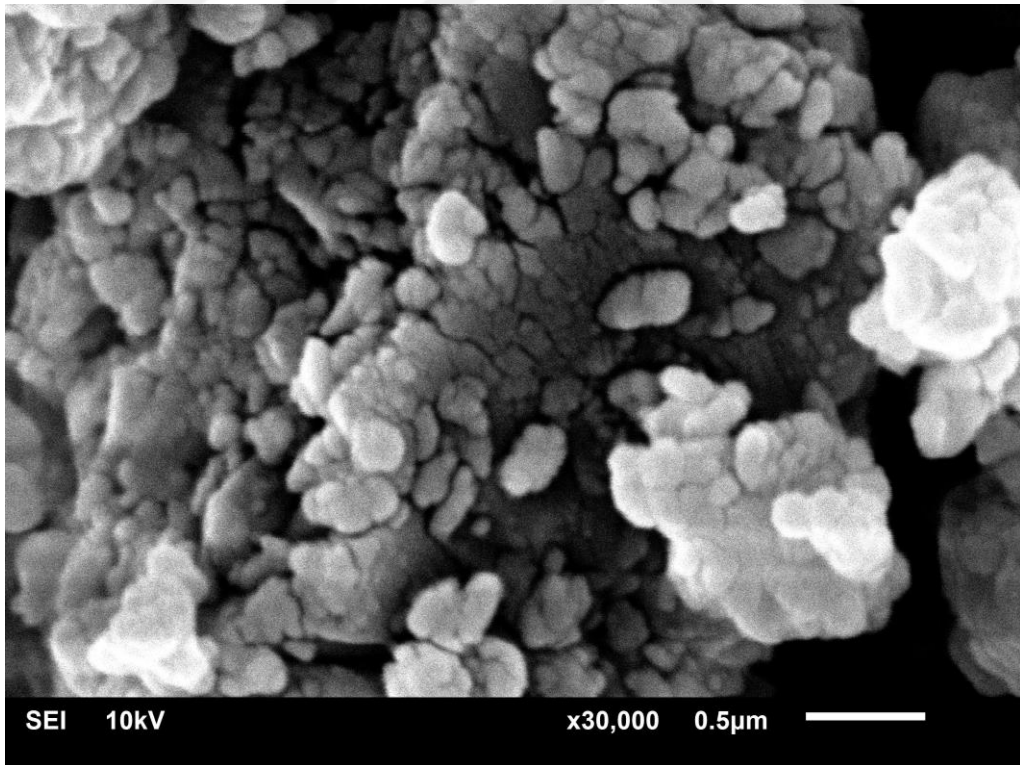
Tablo 2.4. Trakit agrega örneklerine at kimyasal bileşimler ve yoğunluklar

Bileşen	Miktar (%)			
	Trakit #1	Trakit #2	Trakit #3	Trakit #4
SiO ₂	64,28	65,42	65,82	64,62
Al ₂ O ₃	15,82	15,83	15,73	16,28
Fe ₂ O ₃	4,25	4,32	4,07	4,34
CaO	3,98	3,95	3,87	4,09
MgO	1,70	1,56	1,64	1,39
Na ₂ O	3,61	3,89	3,94	3,97
K ₂ O	3,64	3,29	3,34	3,12
TiO ₂	0,63	0,63	0,61	0,65
P ₂ O ₅	0,22	0,21	0,21	0,22
MnO	0,07	0,07	0,07	0,06
Cr ₂ O ₃	0,002	0,002	0,002	0,002
Yoğunluk, gr/cm ³	2,17	2,25	2,17	2,14

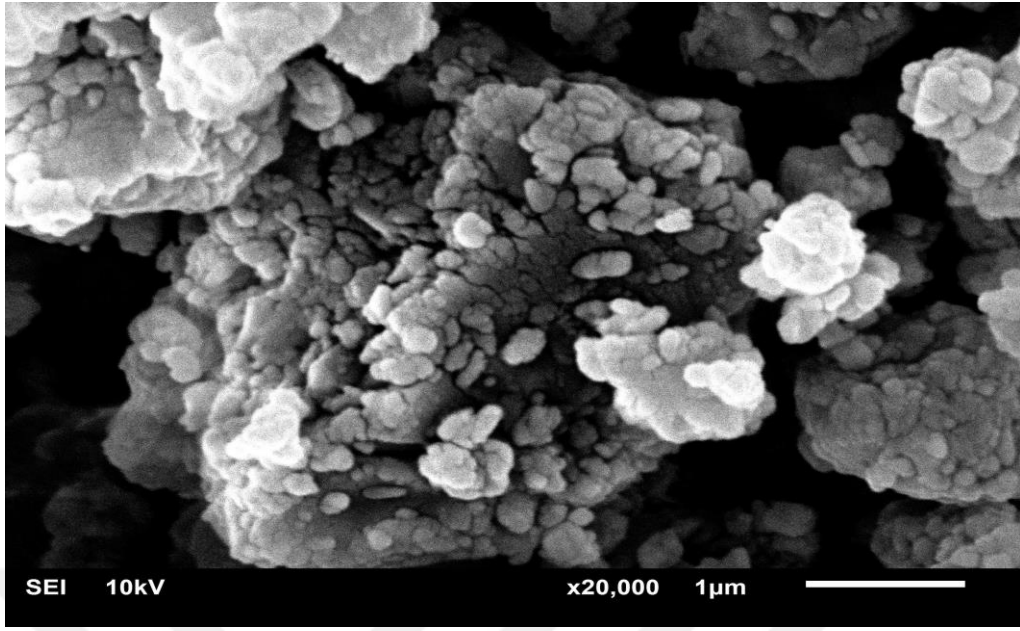
Deneysel çalışmada kullanılan Riyolit agrega örneğine ait kimyasal bileşim ve yoğunluk değeri Tablo 2.5`de verilmektedir.

Tablo 1.6. Riyolit agregasının kimyasal bileşimi ve yoğunluğu

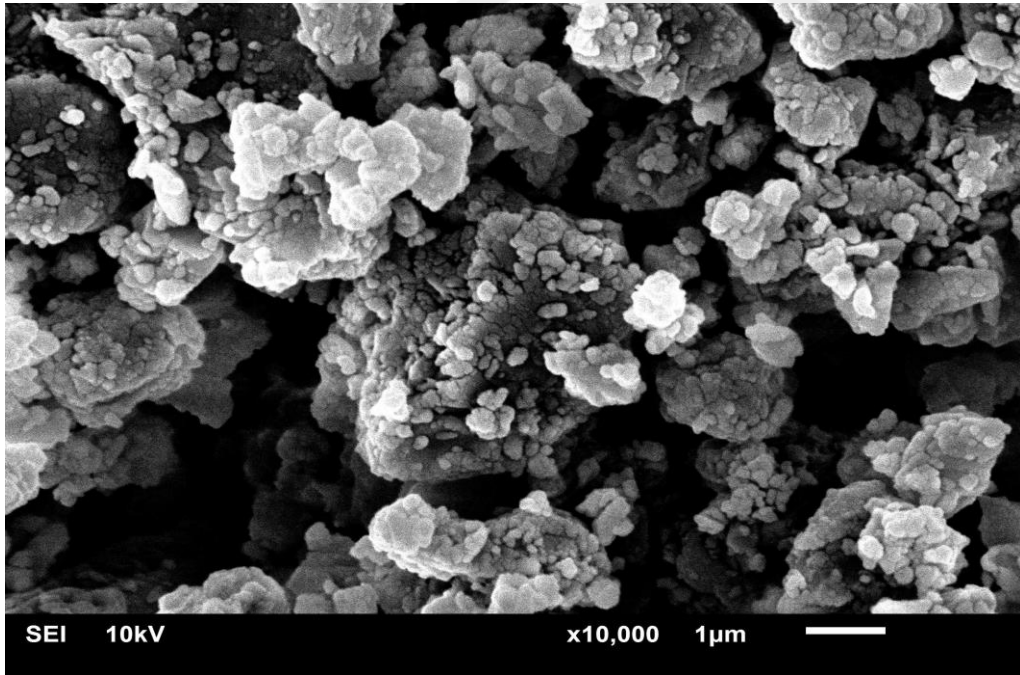
Bileşen	Miktar (%)
SiO ₂	70,76
Al ₂ O ₃	14,52
Fe ₂ O ₃	2,40
CaO	3,98
MgO	2,18
Na ₂ O	4,10
K ₂ O	3,64
TiO ₂	3,52
P ₂ O ₅	0,08
MnO	0,04
LOI	1,50
Yoğunluk, gr/cm ³	2,18



Şekil 2.8. Öğütülmüş trakit örneğinin($\times 30,000$) büyütmedeki taramalı elektron mikroskop görüntüsü

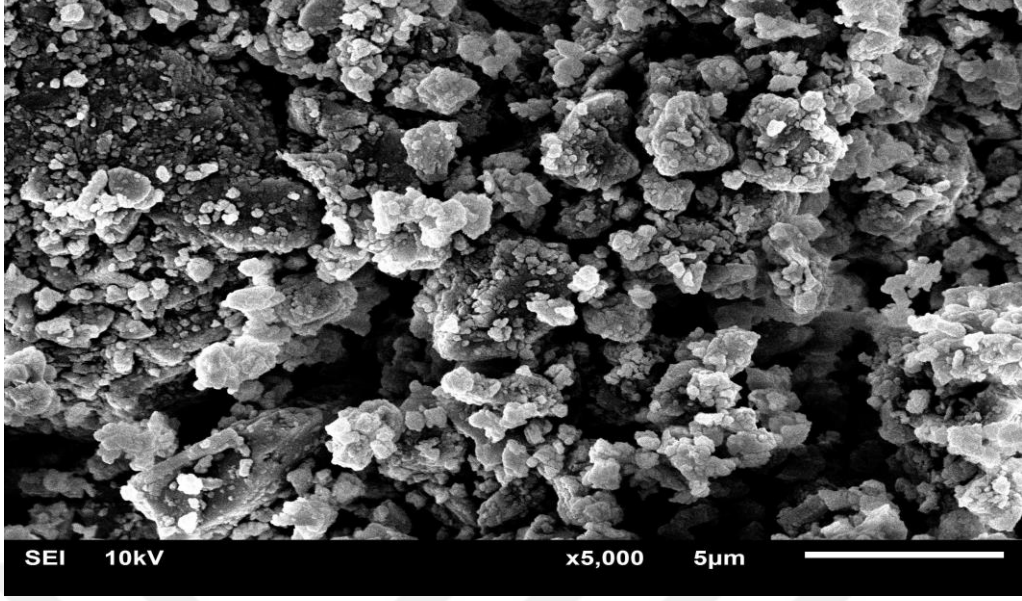


Şekil 2.9. Öğütülmüş Trakit örneğinin($\times 20,000$) büyütmedeki taramalı elektron mikroskop görüntüsü



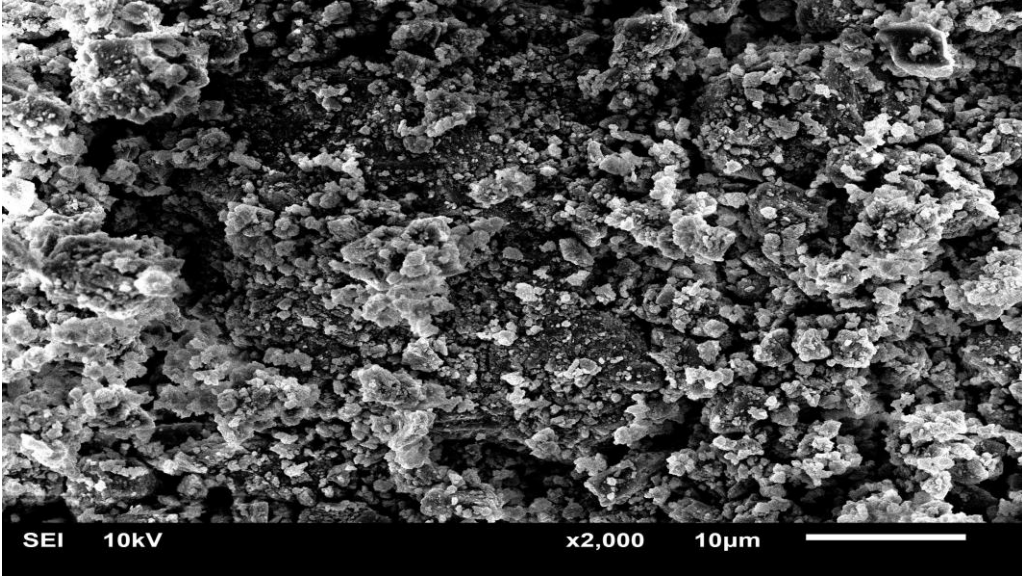
Şekil 2.11. Öğütülmüş Trakit örneğinin X10,000 kez büyütmedeki taramalı elektron mikroskop görüntüsü

Şekil 2.11’de öğütülmüş Trakit örneğinin en yüksek büyütmedeki taramalı elektron mikroskop görüntüsü verilmiştir. Şekilde genel itibariyle homojen görülen taneler ortalama 0,05-1 μm aralığındadır.



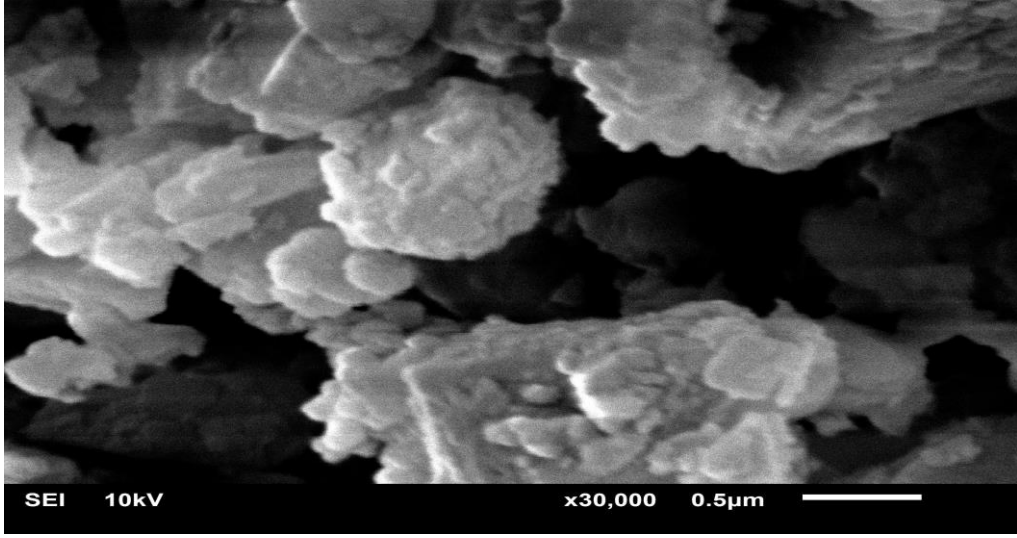
Şekil 2.12. Trakit örneğinin 5,000 kez büyütmedeki görüntüsü

Trakit örneğinin 5000 kez büyütmedeki görüntüsü Şekil 2.12’de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi morfolojik olarak birbirinden ayrılan fazlar mevcuttur.

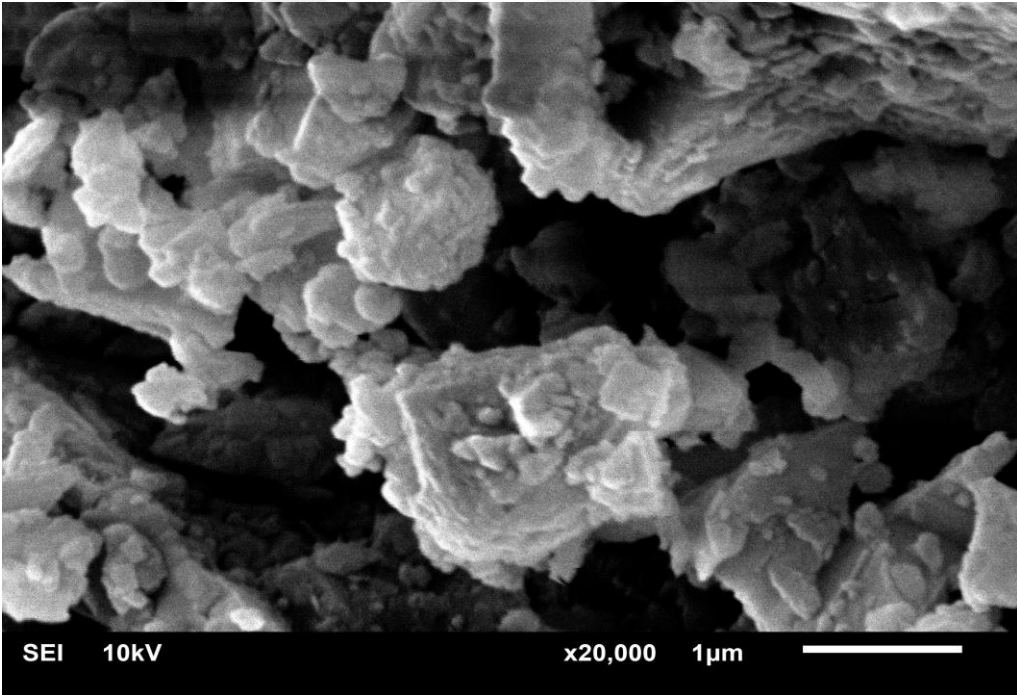


Şekil 2.13. Öğütülmüş Trakit örneğinin x2.000 büyütmedeki morfolojik görüntüsü

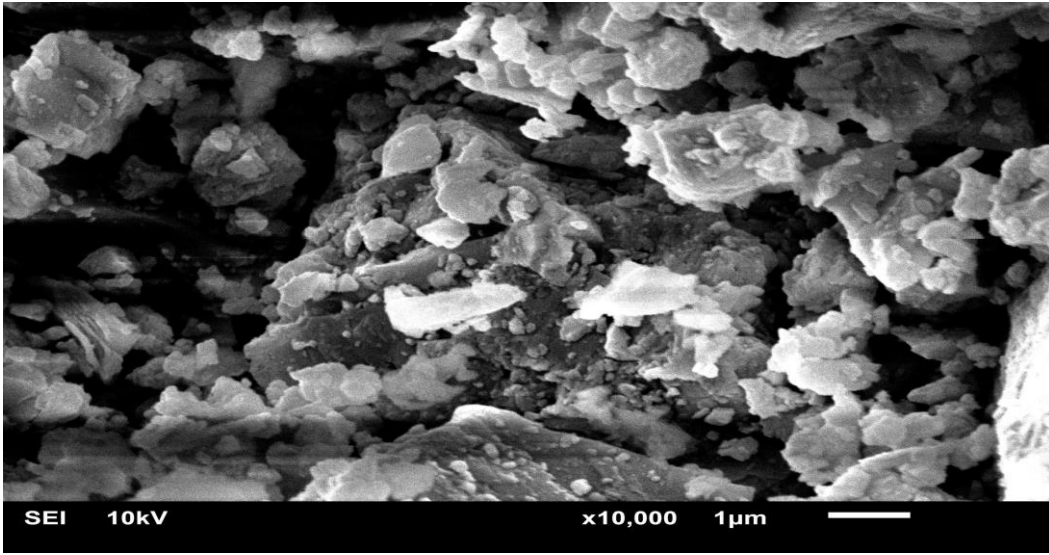
Şekil 2.13.’de öğütülmüş Trakit örneğinin x2.000 büyütmedeki morfolojik görüntüsü verilmektedir. Genel itibariyle SEM görüntüsünde taneler homojen bir yapı göstermektedir.



Şekil 2.14. Öğütülmüş Trakit örneğinin($\times 30,000$) büyütmedeki taramalı elektron mikroskop görüntüsü

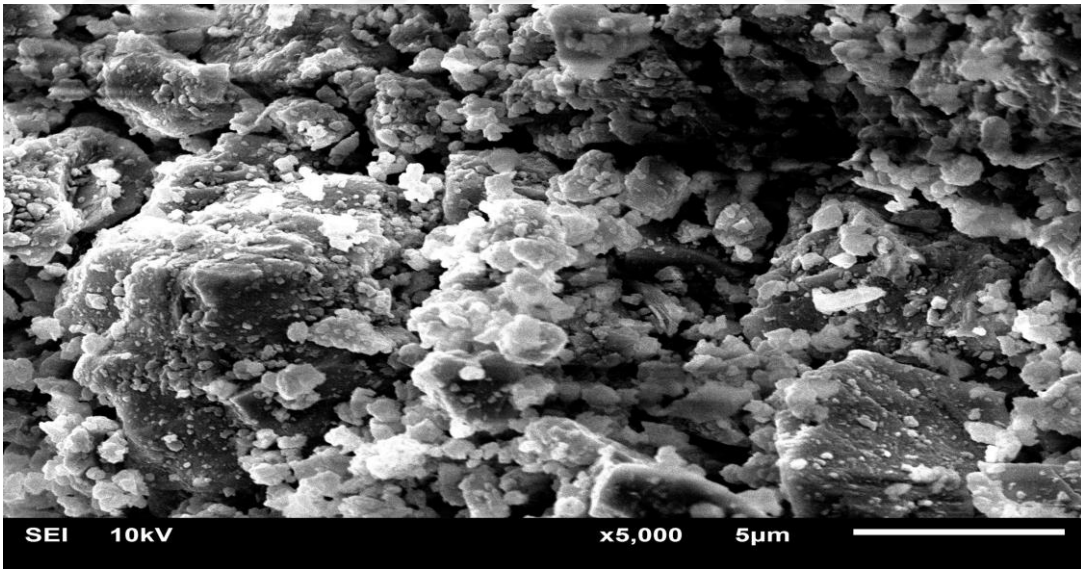


Şekil 2.15. Öğütülmüş riyolit örneğinin($\times 20,000$) büyütmedeki taramalı elektron mikroskop görüntüsü



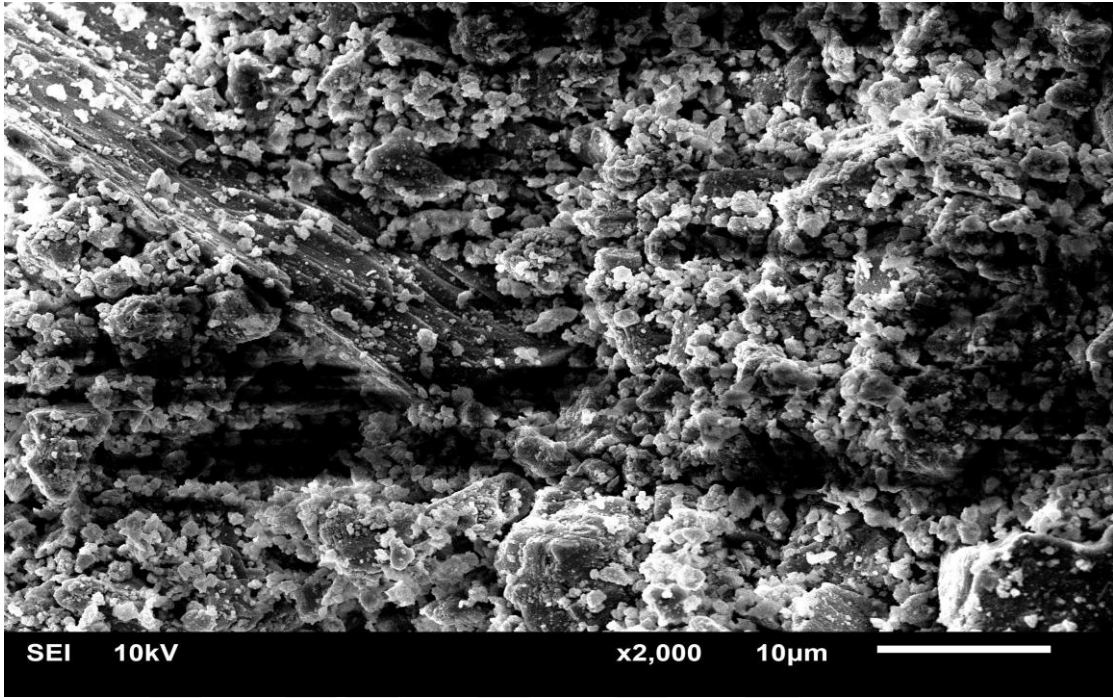
Şekil 2.16. Öğütülmüş Riyolitin en yüksek büyütmedeki(x10,000) SEM görüntüsü

Şekil 2.16.'da öğütülmüş Riyolit örneğinin en yüksek büyütmedeki (x10, 000) SEM görüntüsü verilmiştir. Şekilde görülen tanelerin ortalama boyutları Trakit örneğine göre daha büyük gözükmemektedir (0,5-1 μm).



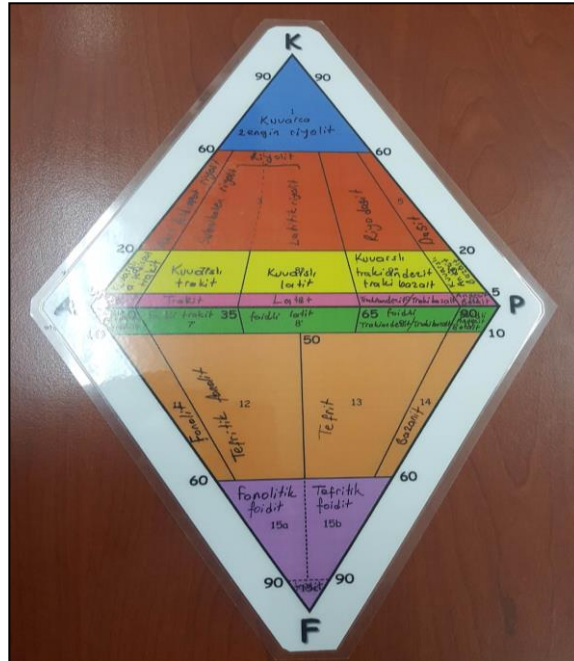
Şekil 2.17. Riyolit örneğinin yüksek büyütmedeki (x5,000) SEM görüntüsünde

Şekil 2.17.'de Riyolit örneğinin daha yüksek büyütmedeki (x5,000) SEM görüntüsünde homojen olmayan taneler açık bir şekilde görülmektedir. Görüntünün sol tarafında 5 ila 10 μm büyüklüğünde bir tane görülmektedir.



Şekil 2.18. Öğütülmüş Riyolit örneğinin x2,000 büyütmedeki morfolojik görüntüsü

Şekil 2.18.'de öğütülmüş Riyolit örneğinin x2,000 büyütmedeki morfolojik görüntüsü verilmektedir. Taneler genel itibariyle aynı büyüklükte görülse de Trakit örneği kadar homojen bir dağılım göstermemektedir.



Şekil 2.19. Yüze kayaçları için QAP diyagramı

Şekil 2.19. yüzey kayaçları için kuvarşça zengin mineralleri ve bu minerallerin hangi oranlarda bulduklarını göstermektedir. Kayaçların kuvarşça zengin olmaları silisyumca zengin olduklarının bir göstergesidir. Şekilden görüldüğü gibi riyolit ve trakit mineralleri de silisyumca zengin minerallerdir.

2.4. TS 25'e göre Puzolanik Aktivitenin Belirlenmesi

2.4.1. Kullanılan Cihazlar

Puzolanik aktivite belirlenirken aşağıdaki malzemeler kullanılır.

- Blaine incelik tayini aparatı
- Etüv
- 40*40*160 mm numune kalıpları



Şekil 2.20. Deneysel çalışmada kullanılan etüv



Şekil 2.21. Blaine incelik tayin etme ünitesi



Şekil 2.22. Puzolanik aktivite ölçmek için kullanılan numune kalıpları

2.4.2. Deneysel Gerçekleme

Puzolanik aktivite deneyi için kullanılan harç TS 25 standardı uyarınca hazırlanır. Buna göre, harç numuneler doğal puzolan, sönmüş kireç, standard kum ve suyun karışımı şeklinde hazırlanır. Deneyde kullanılan doğal puzolan öncelikle çeneli kırıcıda 0,5-1,0 mm tane büyüklüğünde öğütülür ve $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de kurularak sabit kütleye getirilir. Daha sonra numune 200 μm ve 90 μm elekten elenir. Elekler üzerinde kalan miktarlar kütlece sırasıyla en fazla %0.6 ve %8 olmalıdır. Deneyde kullanılan puzolan örneğinin özgül yüzeyi en az $4000\text{ cm}^2/\text{g}$ olmalıdır.

Puzolanik aktivite deneyi TS EN 196-1'e uygun olarak gerçekleştirilir. Deney için kullanılan madde miktarları ilgili standartta verilmektedir. Her deney için en az 3 numune hazırlanır. Buharlaşmayı önlemek amacıyla kalıpların üzerine $210\text{mm}\times 185\text{mm}$ ölçüsünde ve 6 mm kalınlığında cam plakalar konulur. Numuneler 24 saat $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de oda sıcaklığında bekletilir. 24 saat sonunda numuneler kalıplar sökülmeden $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de etüv içinde 6 gün bekletilir. Numuneler etüvden çıkarıldıktan sonra en az 4 saat oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılır. Daha sonra TS EN 196-1'e göre basınç dayanımı tayini gerçekleştirilir. Deneysel gerçeklemede kullanılan harç numuneler Tablo 2.6'ya göre hazırlanmıştır.

Tablo 2.6. TS 25'e göre hazırlanan harçlar için kullanılan malzeme miktarları

Malzeme	Kullanılan Miktar (gram)
Sönmüş Kireç [Ca(OH) ₂]	150
Doğal Puzolan	T=2×150 (doğal puzolan yoğunluğu/sönmüş kireç yoğunluğu)
Standart Kum	1350
Su	0,5×(150+T)

2.4.3. Trakit ve Riyolitın Minerallerinin Özgül Yüzey ve Puzolanik Aktivitesinin Belirlenmesi

Burada öncelikle puzolanların özgül yüzeylerinin tayini belirlenmiştir. Özgül yüzey tayini için otomatik Blaine cihazı kullanılmıştır. Blaine incelik tayini için öncelikle puzolan miktarı gram olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M = 73,825 \times k \times d$$

Burada k bir katsayısı, d yoğunluk ve M kütlelerdir.

Tablo 2.7. Otomatik Blaine cihazında kullanılan kütleler

Numune Adı	Sabit Değer	K Katsayısı	Yoğunluk	Kütle
Trakit 45	73,825	0,5	2,17	80,1001
Trakit 60	73,825	0,5	2,14	78,9928
Trakit 75	73,825	0,5	2,15	79,3619
Riyolit 45	73,825	0,5	2,22	81,9458
Riyolit 60	73,825	0,5	2,21	81,5766
Riyolit 75	73,825	0,5	2,21	81,5766

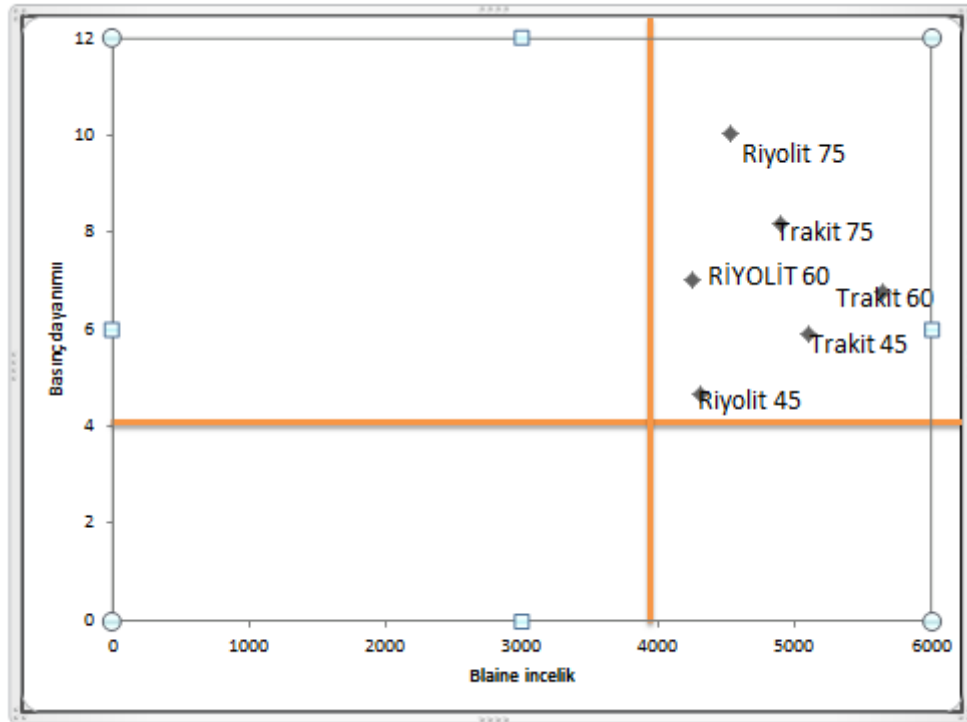
Tablo 2.7'de kütle olarak verilen puzolan miktarları otomatik Blaine cihazına altına ve üzerine filtre kağıdı gelecek şekilde deney düzeneğine yerleştirilerek ve daha sonra vakumlanarak puzolanların özgül yüzeyleri belirlenir.

Tablo 2.8. TS 25'e göre puzolanik aktivite için sınır şartlar

Mekanik Özellik	
Puzolanik Aktivite için min basınç dayanımı	4 MPa
Puzolanik Aktivite için min eğilme dayanımı	1 MPa

Tablo 2.9. Ölçülen Blaine incelikleri ve TS 25'e göre eğilme ve basınç dayanımları

Numune Adı	Blaine İncelik	Eğilme Dayanımı	Basınç Dayanımı
Trakit 45	4887	1,113	5,895
Trakit 60	5096	1,333	6,773
Trakit 75	5644	1,5766	8,158
Riyolit 45	4254	0,803	4,658
Riyolit 60	4303	1,096	7,013
Riyolit 75	4520	1,196	10,025



Şekil 2.23. TS 25'e göre Blaine incelik ve basınç dayanımı değerlendirilmesi

- 45 dakika öğütülen Riyolitlerin 0,803 MPa eğilme ve 4, 658 MPa basınç dayanımına sahip olduğu.
- 60 dakika öğütülen Riyolitlerin 1, 096 MPa eğilme ve 7, 013 MPa basınç dayanımına sahip olduğu.
- 75 dakika öğütülen Riyolitlerin 1, 196 MPa eğilme ve 10, 025 MPa basınç dayanımına sahip olduğu.
- 45 dakika öğütülen Trakitlerin 1, 113 MPa eğilme ve 5, 895 MPa basınç dayanımına sahip olduğu.

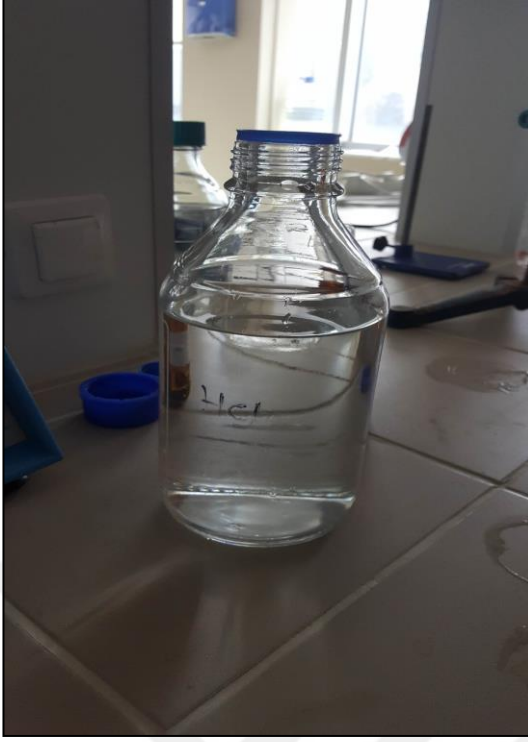
- 60 dakika öğütülen Trakitlerin 1, 333 MPa eğilme ve 6, 773 MPa basınç dayanımına sahip olduğu.
- 75 dakika öğütülen Trakitlerin 1, 5766 MPa eğilme ve 8, 158 MPa basınç dayanımına sahip olduğu görüldü.
- 45, 60 ve 75 dakika öğütülmüş riyolit ve trakit puzolanları TS 25'de belirtilen sınır şartları sağladığı ve puzolanik aktivite özelliğinde olduğu görülmektedir.
- Puzolanik aktivitenin incelik arttıkça açık bir şekilde arttığı belirlenmiştir.

2.5. TS EN 196-5 Kimyasal Yöntem ile Puzolanik Özelliğin Belirlenmesi

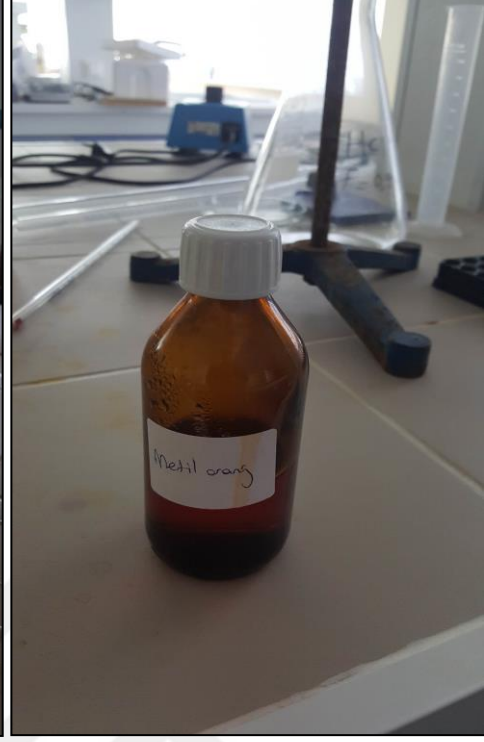
2.5.1. Kullanılan Cihazlar

Puzolanik özellik belirlenirken aşağıdaki malzemeler kullanılır.

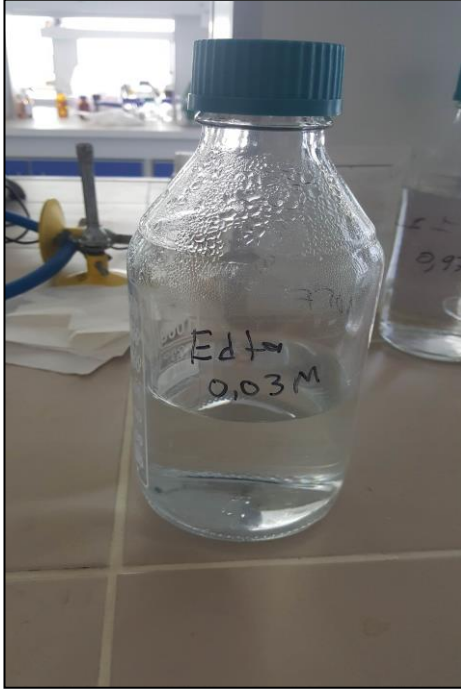
- Edta çözeltisi
- HCl çözeltisi
- Müreksit
- pH metre
- Etüv
- Magnetik Karıştırıcı
- Metil oranj
- Isıtıcı
- Damıtık su makinesi
- Ölçülü silindir
- Süzgeç kağıdı



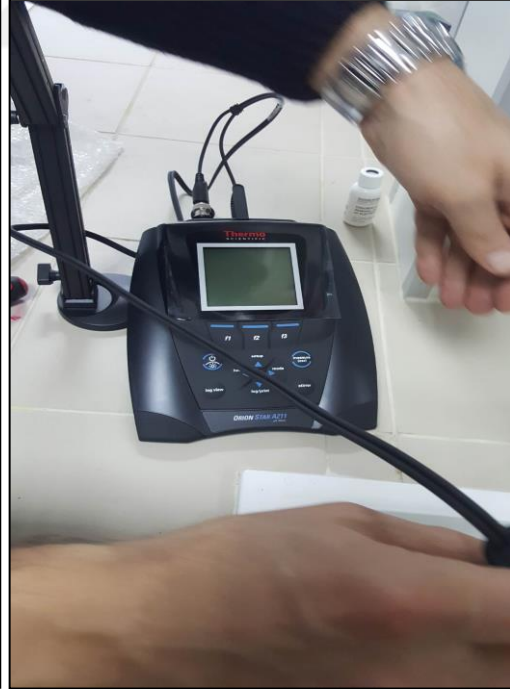
Şekil 2.24. HCl çözeltisi



Şekil 2.25. Metil oranj



Şekil 2.26. Edta çözeltisi



Şekil 2.27. pH metre



Şekil 2.28. Magnetik karıştırıcı



Şekil 2.29. Müreksit



Şekil 2.30. Etuv



Şekil 2.31. Büret



Şekil 2.32. Istıcıcı



Şekil 2.33. Damıtık Su Makinesi



Şekil 2.34. Ölçülü silindir



Şekil 2.35. Süzgeç Kâğıdı

2.5.2. Deneysel Gerçekleme

100 mL yeni kaynatılmış su bir pipetle polietilen kaba konulur ve ağzı kapatılarak dengeye gelinceye kadar etüvde bekletilir. Kap etüvden çıkarılır ve içerisine $20 \pm 0,01$ g çimento geniş bir huni yardımıyla kaba aktarılır. Kap hava sızdırmayacak şekilde hemen kapatılır. Kap içerisinde çimento topaklanması oluşmaması için kap 20 s kuvvetlice çalkalanır. Bu işlemler sıcaklığın düşmesini engellemek için en fazla bir dakikada yapılmalıdır. Bu işlemlerden sonra kap $40 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de etüve konulur. 8 veya 15 gün etüvde bekletilir. 8 günlük deneyde çimentonun yeterli bulunması halinde 15 günlük deneyin yapılmasına gerek duyulmaz. Kap etüvden çıkarıldıktan sonra kuru bir çift süzgeç kağıdı kullanılarak 30 s kısa bir sürede süzülmalıdır. Erlen derhal sızdırmaz şekilde kapatılır ve oda sıcaklığına kadar soğutulur. Bu çalışmada 45, 60, 90 dakika öğütülmüş trakit ve riyolit, 20 ve 40 dakika öğütülmüş uçucu kül çimento ile ağırlıkça %20, %30, %50 oranlarında ikame edilmiştir. Tablo 2.10 ve Tablo 2.11`de TS 196-5 kimyasal yöntem ile puzolanik özellikleri belirlemede kullanılan puzolan ve çimento kütleleri verilmektedir.

Tablo 2.10. Trakit için puzolanik özelliği belirlemede kullanılan malzeme miktarları

Numune Adı	Çimento (gram)	Puzolan (gram)
Çimento +Trakit 45	16	4
Çimento +Trakit 45	14	6
Çimento +Trakit 45	10	10
Çimento +Trakit 60	16	4
Çimento +Trakit 60	14	6
Çimento +Trakit 60	10	10
Çimento +Trakit 75	16	4
Çimento +Trakit 75	14	6
Çimento +Trakit 75	10	10

Tablo 2.11. Riyolit için puzolanik özelliği belirlemede kullanılan malzeme miktarları

Numune Adı	Çimento (gram)	Puzolan (gram)
Çimento +Riyolit 45	16	4
Çimento +Riyolit 45	14	6
Çimento +Riyolit 45	10	10
Çimento +Riyolit 60	16	4
Çimento +Riyolit 60	14	6
Çimento +Riyolit 60	10	10
Çimento +Riyolit 75	16	4
Çimento +Riyolit 75	14	6
Çimento +Riyolit 75	10	10

2.5.2.1. Hidroksil İyonu Derişimi Tayini

Soğutulan numuneden bir pipet yardımıyla 50 mL alınır ve 250 mL'lik behere aktarılır. 5 damla metil oranj indikatörü damlatılır. Daha sonra 0.1 mol/L seyreltik HCl çözeltisi ile titrasyon yapılarak çözelti renginin sarıdan portakal rengine döndüğü noktadaki sarfiyat belirlenir.

$$[\text{OH}^-]=2 \times V_3 \times f_2$$

$$[\text{OH}^-]=\text{Hidroksil İyonu Derişimi}$$

$$V_3=\text{Titrasyonda sarf edilen hidroklorik asit çözeltisi hacmi}$$

$$F_2=\text{HCl çözeltisi faktörü}$$

2.5.2.2. Kalsiyum Oksit Derişiminin Tayini

Hidroksil iyonu derişimi tayini tamamlandıktan sonra titre edilmiş çözelti sodyum hidroksit çözeltisi ile pH 12, 5±0, 2'ye ayarlanır. Bu şekilde hazırlanan çözeltiye 0.1 g müreksit indikatörü katılır ve titre edilmeye başlanır renk değişiminde gözlenen sarfiyat kaydedilir.

$$[\text{CaO}]=0,6 \times V_4 \times f_1$$

$$[\text{CaO}]=\text{Kalsiyum oksit derişimi}$$

$$V_4=\text{Titrasyonda sarf edilen EDTA çözeltisi hacmi}$$

$$f_1=\text{EDTA çözeltisi faktörü}$$

Tablo 2.12. Kalsiyum Oksit Derişimleri

Malzeme Adı :	Edta Faktör	Kayıp	Kayıp p	Kayıp Ort.	Formül Katsayı	CAO
Trakit 45 % 25	1,05	9,2	8,7	8,95	0,6	5,6385
Trakit 45 % 35	1,05	8,3	7,3	7,8	0,6	4,914
Trakit 45 % 50	1,05	5	4,5	4,75	0,6	2,9925
Trakit 60 % 25	1,05	8,3	9	8,65	0,6	5,4495
Trakit 60 % 35	1,05	7,3	7,4	7,35	0,6	4,6305
Trakit 60 % 50	1,05	4	4,1	4,05	0,6	2,5515
Trakit 75 % 25	1,05	8,7	7,7	8,2	0,6	5,166
Trakit 75 % 35	1,05	7,6	7,5	7,55	0,6	4,7565
Trakit 75 % 50	1,05	3,8	7,9	5,85	0,6	3,6855
Riyolit 45 %25	1,05	15	11	13	0,6	8,19
Riyolit 45 %35	1,05	9,9	9,9	9,9	0,6	6,237

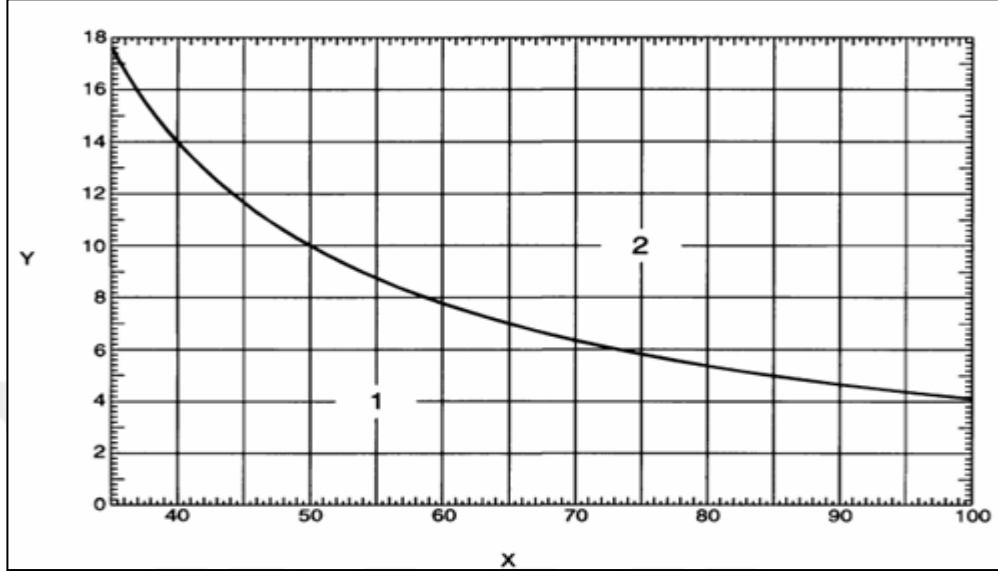
Tablo 2.13.Tablo 2.12'nin Devamı

Malzeme Adı :	Edta Faktör	Kayıp	Kayıp	Kayıp Ort.	Formül Katsayı	CAO
Riyolit 45 %50	1,05	9,1	9	9,05	0,6	5,7015
Riyolit 60 %25	1,05	11	11,3	11,15	0,6	7,0245
Riyolit 60 %35	1,05	9,8	9,5	9,65	0,6	6,0795
Riyolit 60 %50	1,05	8,4	8,6	8,5	0,6	5,355
Riyolit 75 %25	1,05	10,4	10,7	10,55	0,6	6,6465
Riyolit 75 %35	1,05	9,7	9,4	9,55	0,6	6,0165
Riyolit 75 %50	1,05	7,5	7,1	7,3	0,6	4,599
U. K N %25	1,05	2,7	1	1,85	0,6	1,1655
U. K N %35	1,05	3	3,5	3,25	0,6	2,0475
U. K N %50	1,05	1,8	1,6	1,7	0,6	1,071
U. K 20 %25	1,05	2,8	2,9	2,85	0,6	1,7955
U. K 20 %35	1,05	1	2,8	1,9	0,6	1,197
U. K 20 %50	1,05	1,8	3	2,4	0,6	1,512
U. K 40 %25	1,05	3,2	3,4	3,3	0,6	2,079
U. K 40 %35	1,05	2,7	2,9	2,8	0,6	1,764
U. K 40 %50	1,05	2,4	2,7	2,55	0,6	1,6065

Tablo 2.14. Hidroklorik Asit Tayini

Malzeme Adı	HCl Faktör	Kayıp	Kayıp2	Kayıp Ort	Katsayı	Hcl
Trakit 45 % 25	0,95	36	35	35,5	2	67,45
Trakit 45 % 35	0,95	31,5	33,2	32,35	2	61,465
Trakit 45 % 50	0,95	25,6	24,1	24,85	2	47,215
Trakit 60 % 25	0,971	36,6	37,1	36,85	2	71,5627
Trakit 60 % 35	0,95	31,2	31	31,1	2	59,09
Trakit 60 % 50	0,95	27	24,5	25,75	2	48,925
Trakit 75 % 25	0,95	35,8	34,9	35,35	2	67,165
Trakit 75 % 35	0,95	32,8	27,4	30,1	2	57,19
Trakit 75 % 50	0,95	26,6	33,1	29,85	2	56,715
Riyolit 45 %25	0,95	37,6	37,7	37,65	2	71,535
Riyolit 45 %35	0,95	33,5	34,1	33,8	2	64,22
Riyolit 45 %50	0,95	30,6	30,7	30,65	2	58,235
Riyolit 60 %25	0,95	36,3	37,8	37,05	2	70,395
Riyolit 60 %35	0,95	35,7	34,4	35,05	2	66,595
Riyolit 60 %50	0,95	29,7	30	29,85	2	56,715
Riyolit 75 %25	0,95	38,1	36,7	37,4	2	71,06
Riyolit 75 %35	0,95	35,3	36,7	36	2	68,4
Riyolit 75 %50	0,95	30,9	30,7	30,8	2	58,52
U. K N %25	0,95	29,4	27,7	28,55	2	54,245
U. K N %35	0,95	25,3	24,8	25,05	2	47,595
U. K N %50	0,95	18,6	17,2	17,9	2	34,01
U. K 20 %25	0,95	30,4	30	30,2	2	57,38
U. K 20 %35	0,95	23,2	22,3	22,75	2	43,225
U. K 20 %50	0,95	17,1	18,3	17,7	2	33,63
U. K 40 %25	0,95	27,7	28,1	27,9	2	53,01
U. K 40 %35	0,95	24,8	25,1	24,95	2	47,405
U. K 40 %50	0,95	17,2	18,1	17,65	2	33,535

Yapılan deney sonucunda sarfiyatlar aşağıdaki grafikte X ve Y eksenlerde işaretlenerek puzolanik özellik gösterip göstermediği belirlenmiştir.



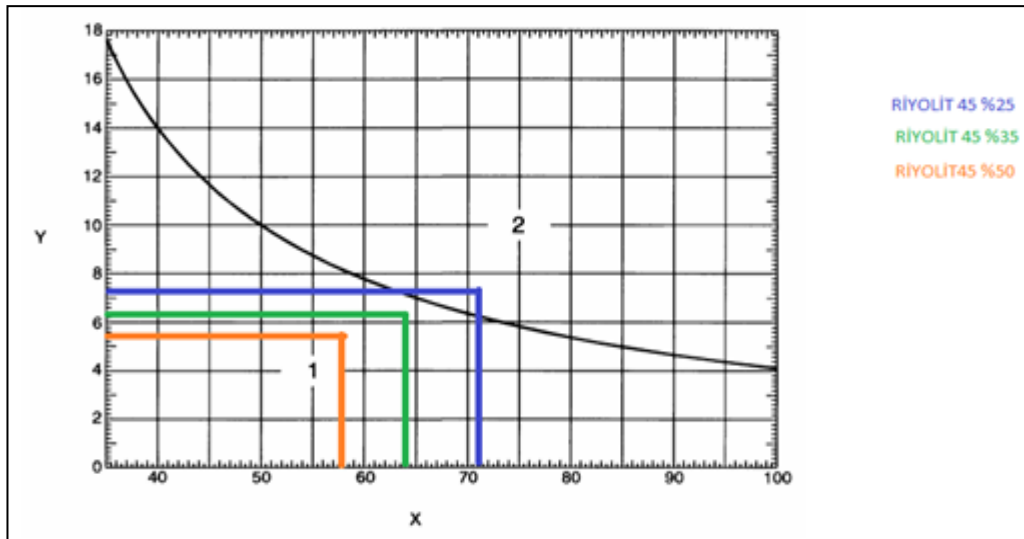
Şekil 2.36. Puzolanik özelliğin grafiksel olarak tayini

X=Hidroksil iyonu derişimi

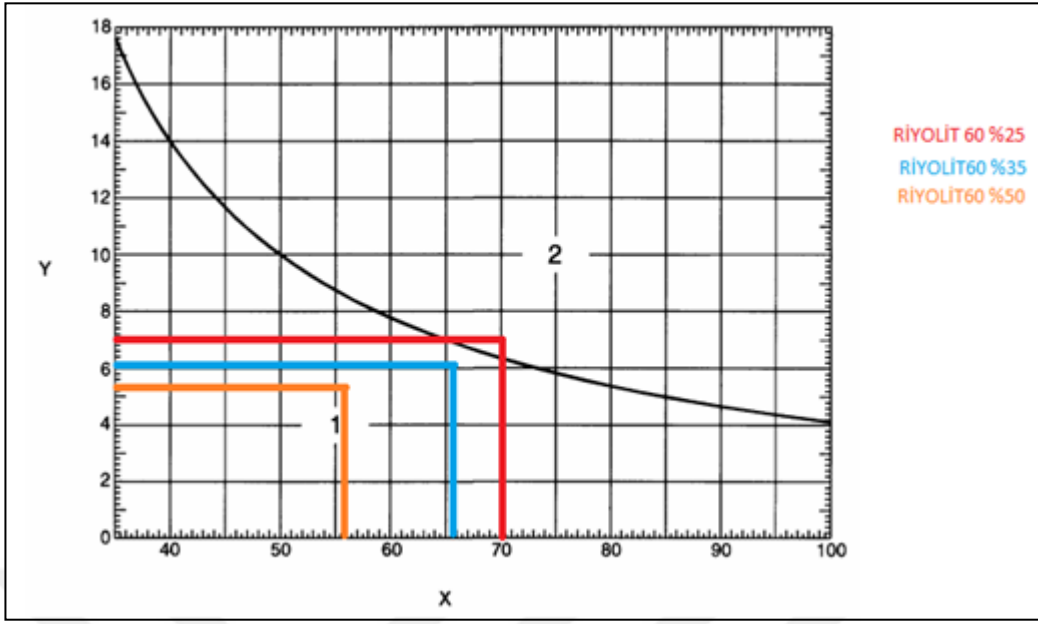
Y =Kalsiyum iyonu derişimi

1=Yeterli

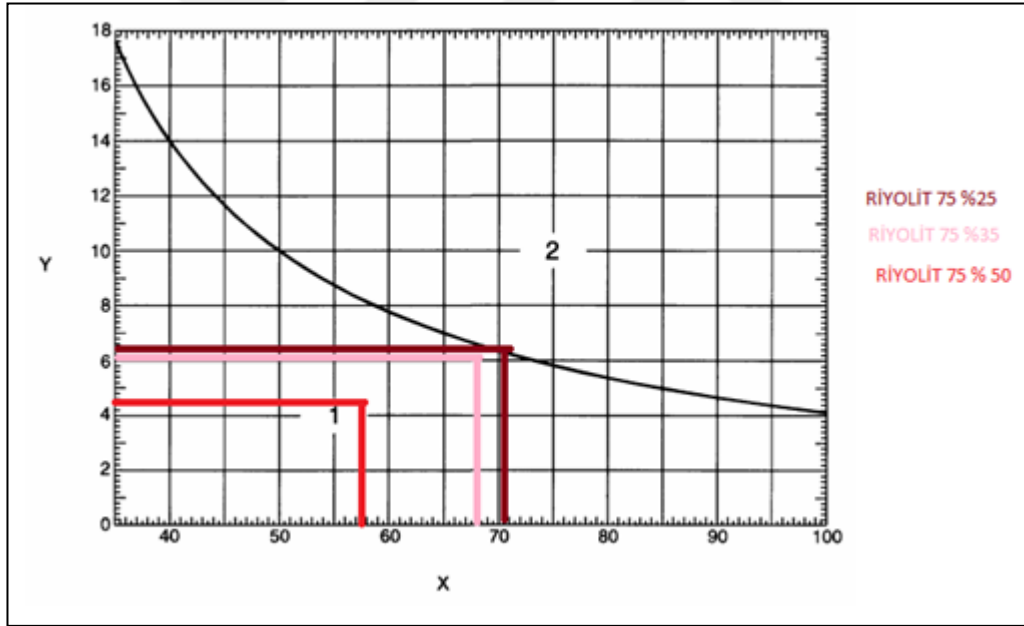
2=Yetersiz



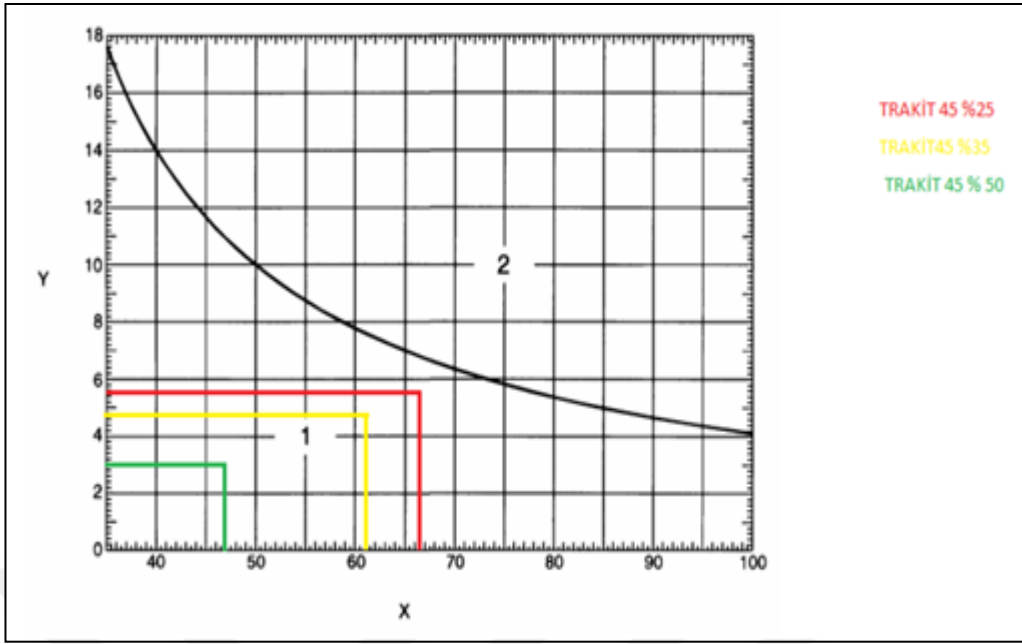
Şekil 2.37. Riyolit 45 için puzolanik özelliğin belirlenmesi



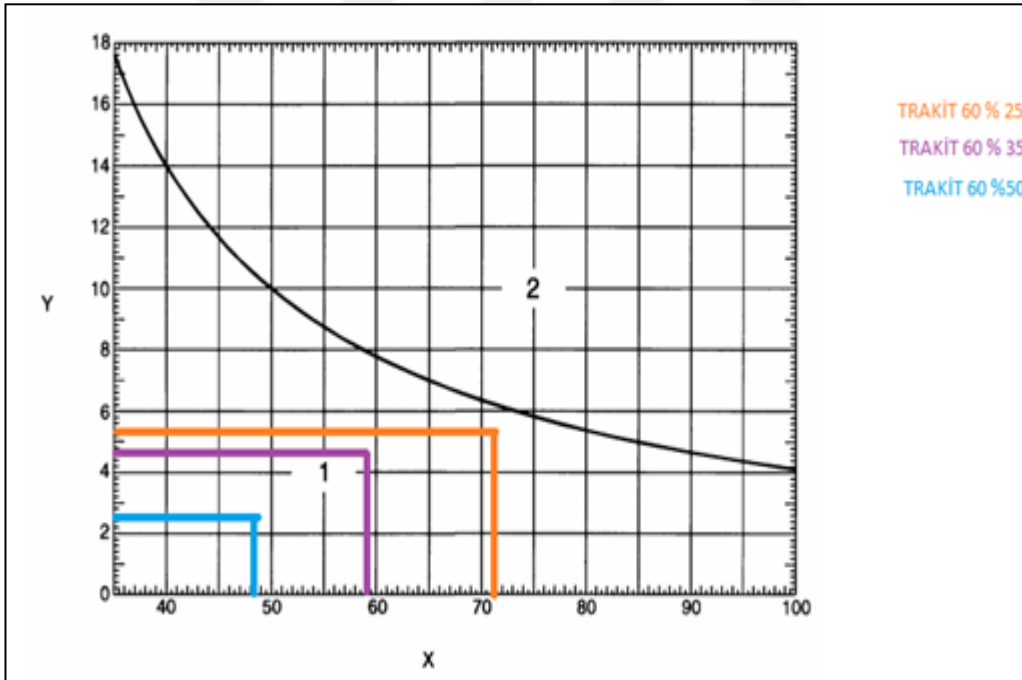
Şekil 2.38. Riylit 60 için puzolanik özelliğın belirlenmesi



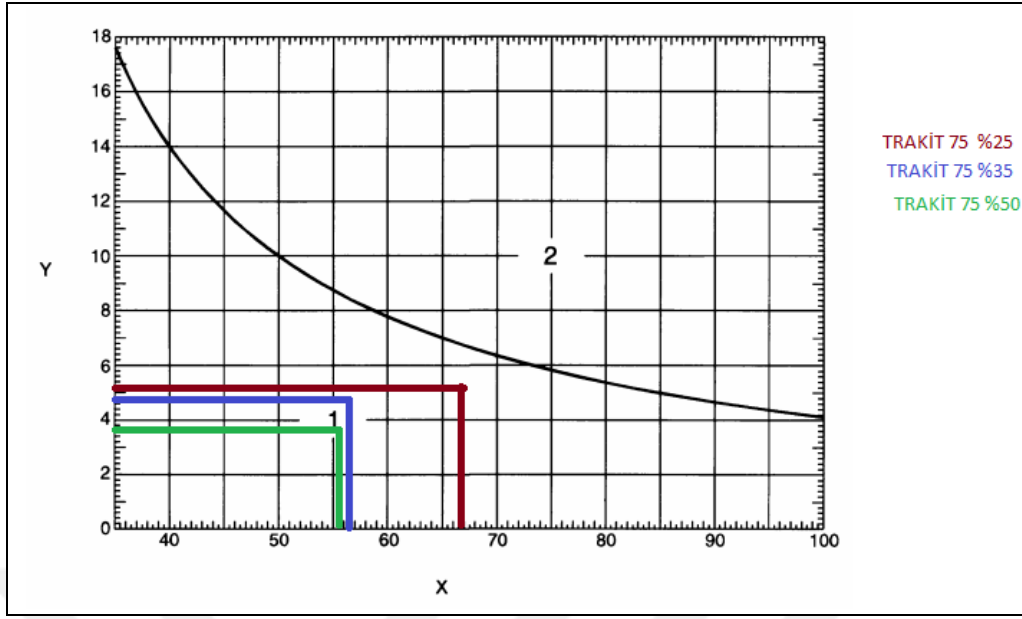
Şekil 2.39. Riylit 75 için puzolanik özelliğın belirlenmesi



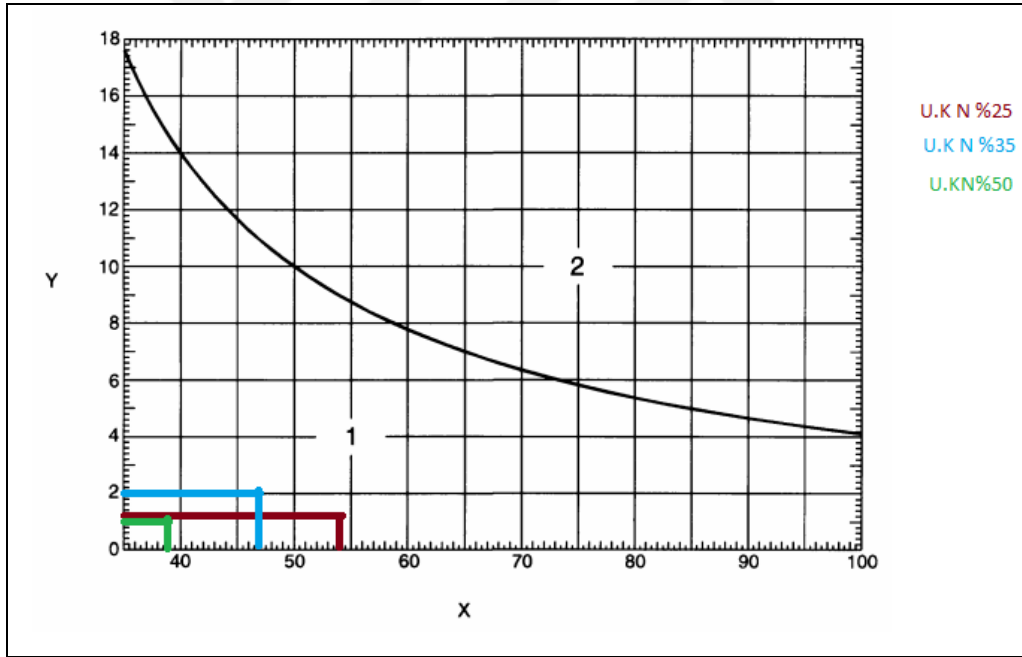
Şekil 2.40. Trakit 45 için puzolanik özelliğın belirlenmesi



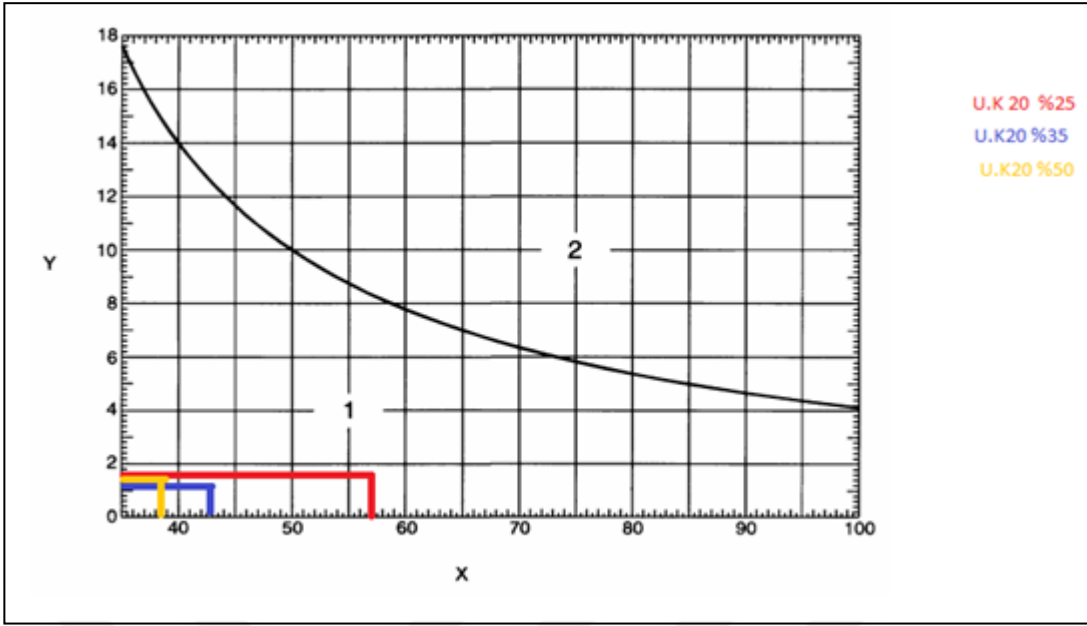
Şekil 2.41. Trakit 60 için puzolanik özelliğın belirlenmesi



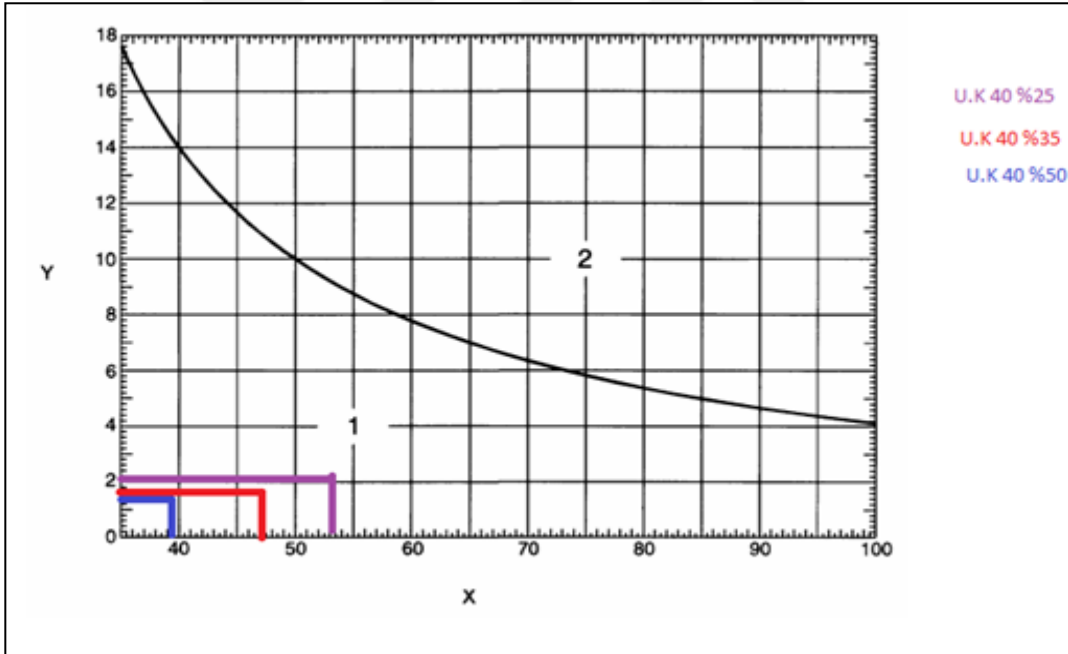
Şekil 2.42. Trakit 75 için puzolanik özelliğın belirlenmesi



Şekil 2.43. Uçucu kül N için puzolanik özelliğın belirlenmesi



Şekil 2.44. Uçucu Kül 20 için puzolanik özelliğin belirlenmesi



Şekil 2.45. Uçucu Kül 40 için puzolanik özelliğin belirlenmesi

- %25 ikameli Riyolit 45, Riyolit 60 ve Riyolit 75 numunelerin hidroksil iyonu derişimi ve kalsiyum iyon derişimi birleşim noktaları Bölge 2`de kalmıştır.

- %35 ve %50 ikameli Riyolit 45, Riyolit 60 ve Riyolit 75 numunelerin hidroksil iyonu derişimi ve kalsiyum iyon derişimi birleşim noktaları Bölge 1`de kalmış ve puzolanik özellik göstermiştir.
- %20, %30 ve %50 ikameli Trakit 45, Trakit 60 ve Trakit 75 numunelerin hidroksil iyonu derişimi ve kalsiyum iyon derişimi birleşim noktaları 1 bölgede kalmış ve puzolanik özellik göstermiştir.
- %20, %30 ve %50 Uçucu kül N Uçucu kül 20 ve Uçucu kül 40 numunelerin hidroksil iyonu derişimi ve kalsiyum iyon derişimi birleşim noktaları 1 bölgede kalmıştır.
- Her üç puzolanda da ikame oranları arttıkça hidroksil iyonu derişimi ve kalsiyum iyon derişimi birleşim noktaları grafikte aşağılara doğru seyir etmiştir. İkame oranları arttıkça hidroksil iyonu derişimi ve kalsiyum iyon derişimi birleşim noktaları orjine doğru yaklaştı.
- Uçucu kül orjine en yakın hidroksil iyonu derişimi ve kalsiyum iyon derişimi birleşim noktalarını veren puzolandır.

2.6. TS-EN 450-1'e Göre Puzolanik Aktivite İndeksinin Belirlenmesi

2.6.1. Kullanılan Malzemeler

Puzolanik aktivite indeksi belirlenirken kullanılan malzemeler

- TS EN 196-1'e göre standart kum
- 40×40×160 numune kabı
- Pres



Şekil 2.46. 40×40×160 mm üçlü numune kalıbı



Şekil 2.47. Pres

2.6.2. Deneysel Gerçekleme

Standart harç çubukların hazırlanması ve basınç dayanımı ölçümleri TS EN 196-1'e göre yapılmıştır. 28 ve 90 gün sonunda puzolanik aktivite indeksi için standartta öngörülen sınır şartları sırasıyla %75 ve %85 olmalıdır. TS EN 196-1'e göre standart harç çubukları 1350 g standart kum + 450 g çimento + 225 g su şeklinde hazırlanmıştır. Çalışmada puzolan olarak riyolit, trakit, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Riyolit ve Trakit 45, 60, 75 dakika; uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ise 20 ve 40 dakika süre ile öğütülerek farklı inceliklerde olacak şekilde öğütülmüşlerdir.

Tablo 2.15. ASTM C 989 YFC`nun puzolanik aktivite indeksi

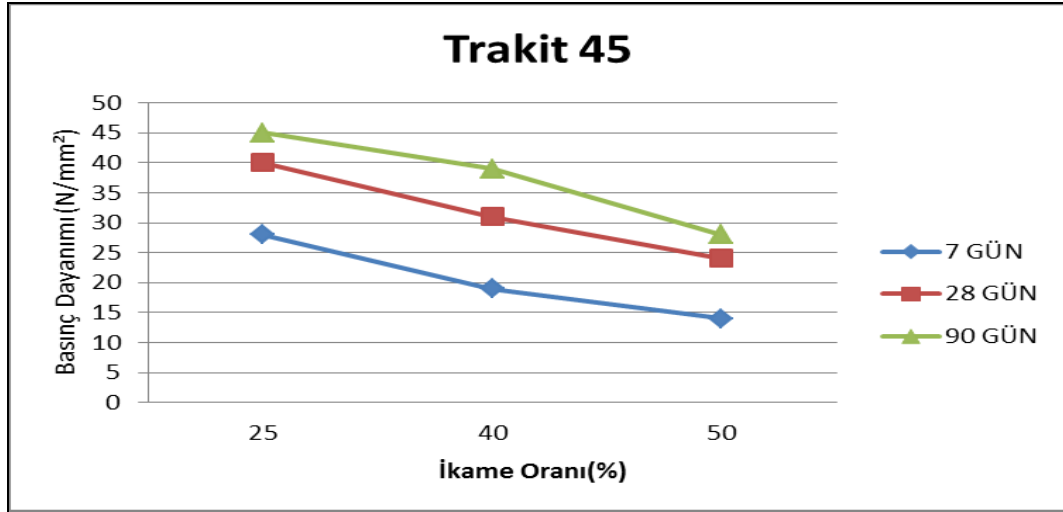
Sınıf	YFC Aktivite İndeksi min. (%)	
	7 Gün	28 Gün
Sınıf 80	-	70
Sınıf 100	70	90
Sınıf 120	90	110

Tablo 2.15`ten görüldüğü üzere ASTM C 989, puzolanik aktivite değerine göre YFC`nu Sınıf 80, Sınıf 100, Sınıf 120 olmak üzere üç kategoriye ayırmaktadır.

Tablo 2.16. %50 YFC ikameli harç numunelerin puzolanik aktivitesi

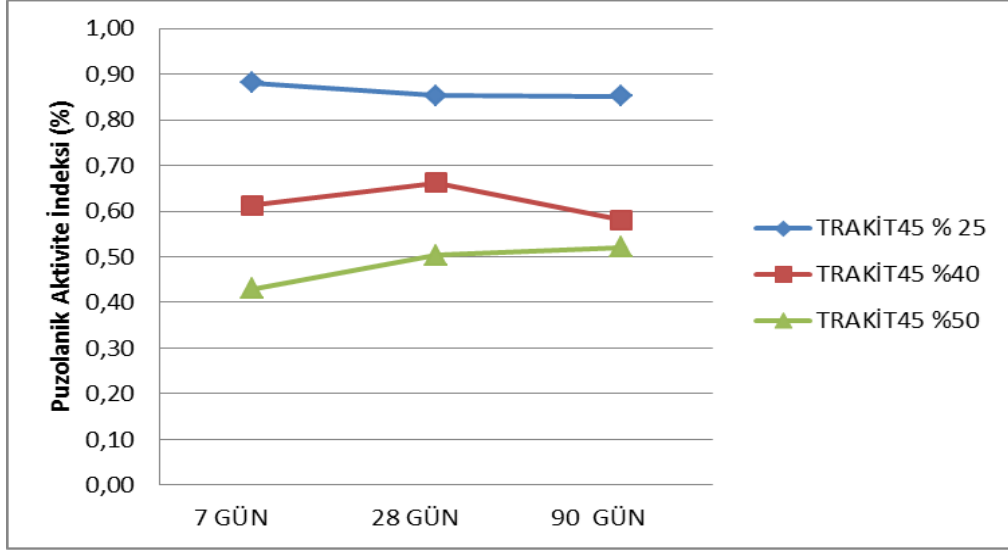
Zaman	YFC Aktivite İndeksi min.%
7 günlük	45
28 günlük	75

Tablo 2.16`dan görüleceği üzere BS EN 15167-1, %50 oranında YFC ikameli harcın standart numuneye göre 7 ve 28 gün sonunda minimum puzolanik aktivite değerleri %45 ve %75 olarak öngörmektedir.



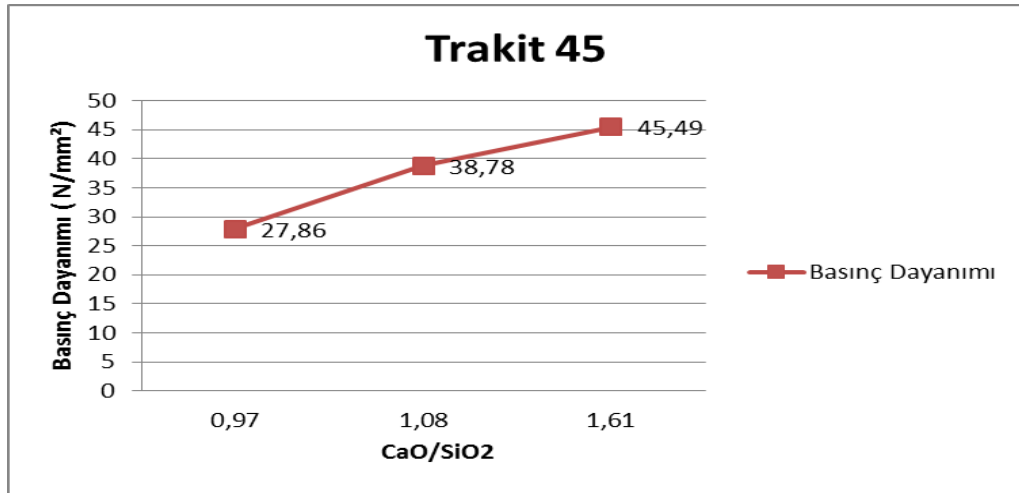
Şekil 2.48. Trakit 45 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-ikame oranı ilişkisi

Şekil 2.48`de görüldüğü üzere zamandan bağımsız olarak ikame oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır.



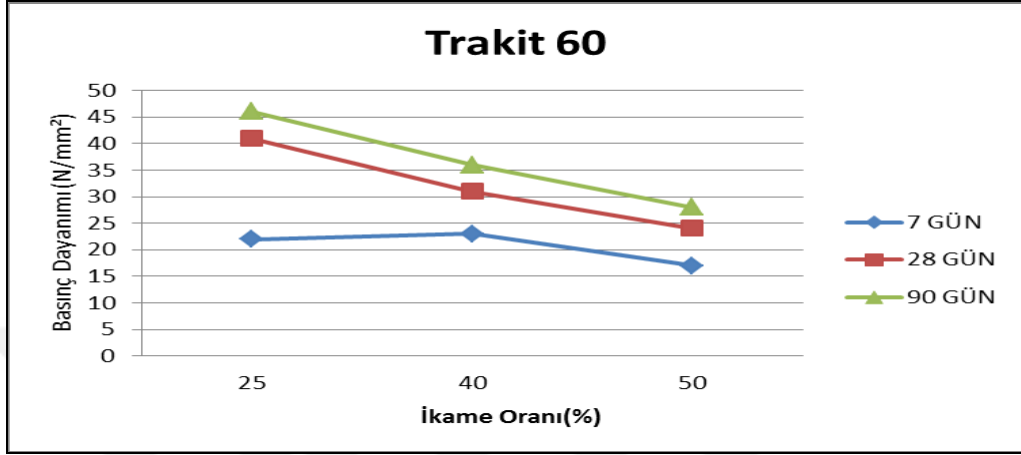
Şekil 2.49. Farklı oranlarında Trakit 45 ikameli harç numuneler için pozolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

Şekil 2.49`da görüldüğü üzere %25 ikameli Trakit 45 harç numuneler TS 450-1`e göre pozolanik aktivite şartlarını sağlamıştır. Fakat %40 ve %50 ikameli Trakit 45 harç çubukların 28 gün ve 90 gün sonunda pozolanik aktivite indeksleri TS 450-1`in öngördüğü sınır değerler sağlamamıştır. Trakit 45, BS EN 15167-1`de verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.49, %50 ikameli Trakit 45 harç örneklerin pozolanik aktivite indeksleri verilmektedir. Trakit 45`in Tablo 2.16`da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.



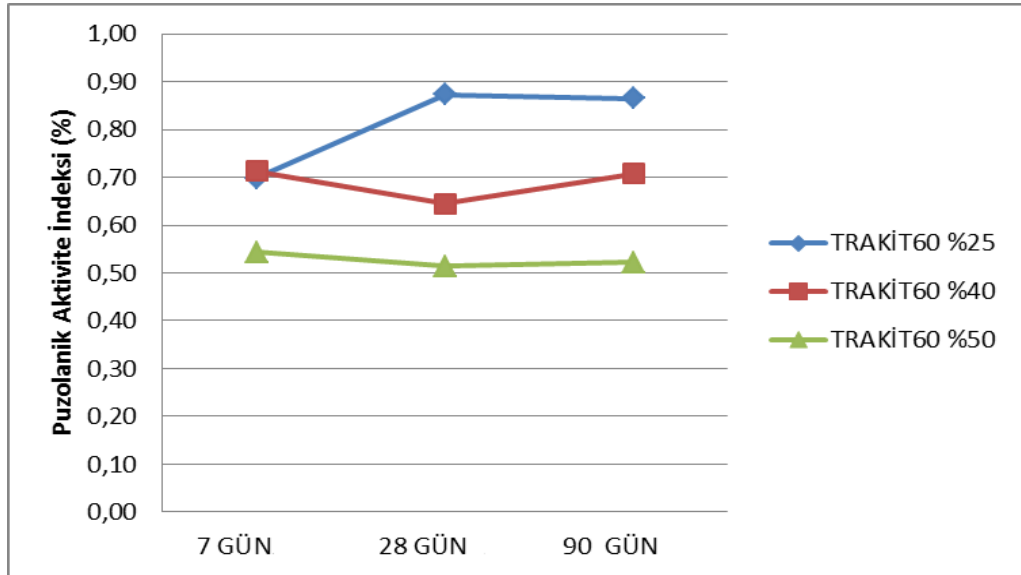
Şekil 2.50. Trakit 45 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.50`de görüldüğü üzere CaO/SiO₂ miktarı arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır. TS EN 197-1`de Portlant çimentosunda CaO/SiO₂ oranının 2`den az olmaması istenir [25].



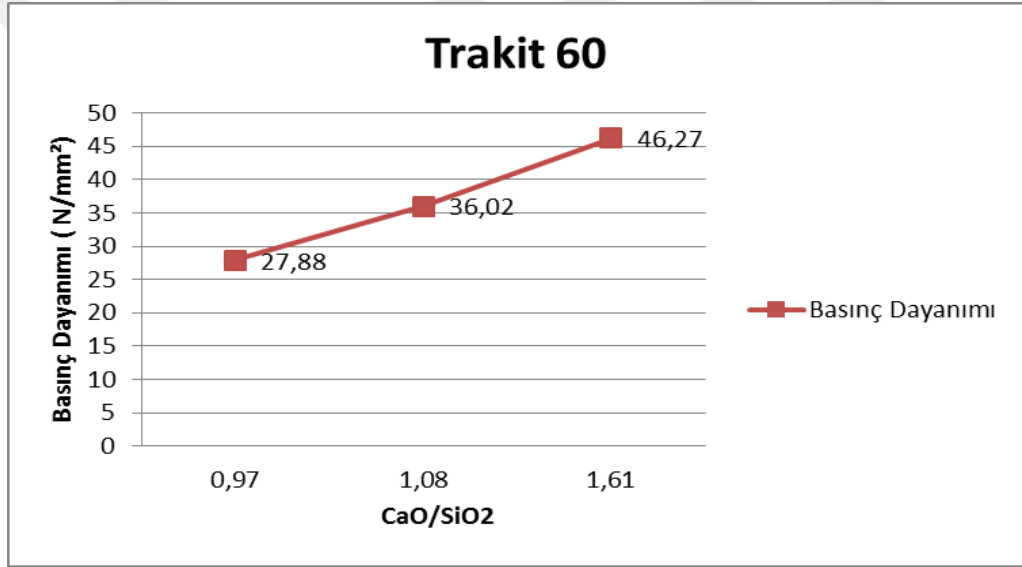
Şekil 2.51. Trakit 60 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-ikame oranı ilişkisi

Şekil 2.51`de görüldüğü üzere Trakit 60 için ikame oranı arttıkça zamandan bağımsız olarak basınç dayanımı azalmaktadır.



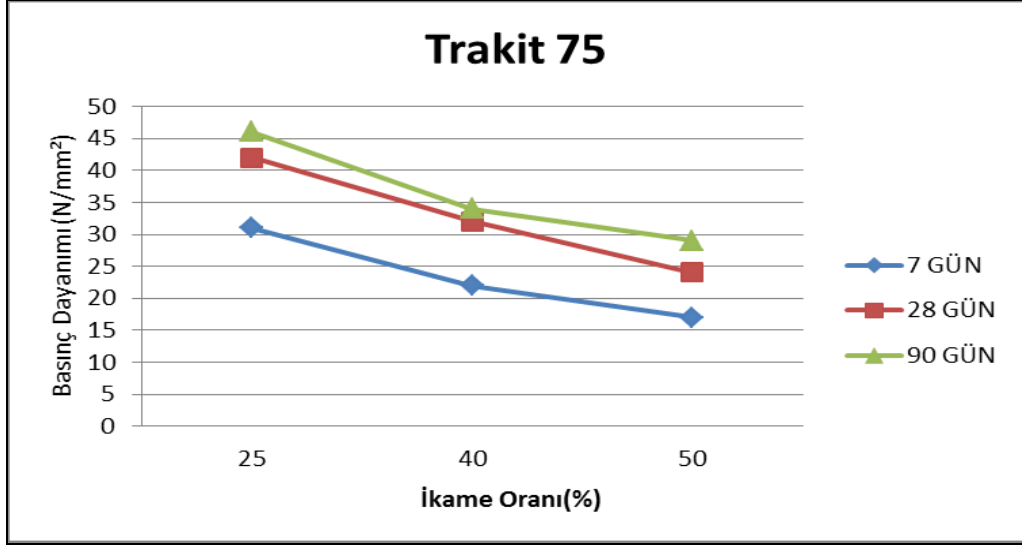
Şekil 2.52. Farklı oranlarında Trakit 60 ikameli harç numuneler için pozolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

- Şekil 2.52`de görüldüğü üzere %25 ikameli Trakit 60 harç numuneler TS 450-1`e göre puzolanik aktivite şartlarını sağlamaktadır. Ancak %40 ve %50 ikameli Trakit 60 harç çubukları 28 gün ve 90 gün sonunda puzolanik aktivite indeksleri TS 450-1`in öngördüğü sınır değerleri sağlamamaktadır.
- Trakit 60, BS EN 15167-1`de verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.52`de %50 ikameli Trakit 60 harç örneklerin puzolanik aktivite indeksleri verilmektedir. Trakit 60`ın Tablo 2.16`da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.



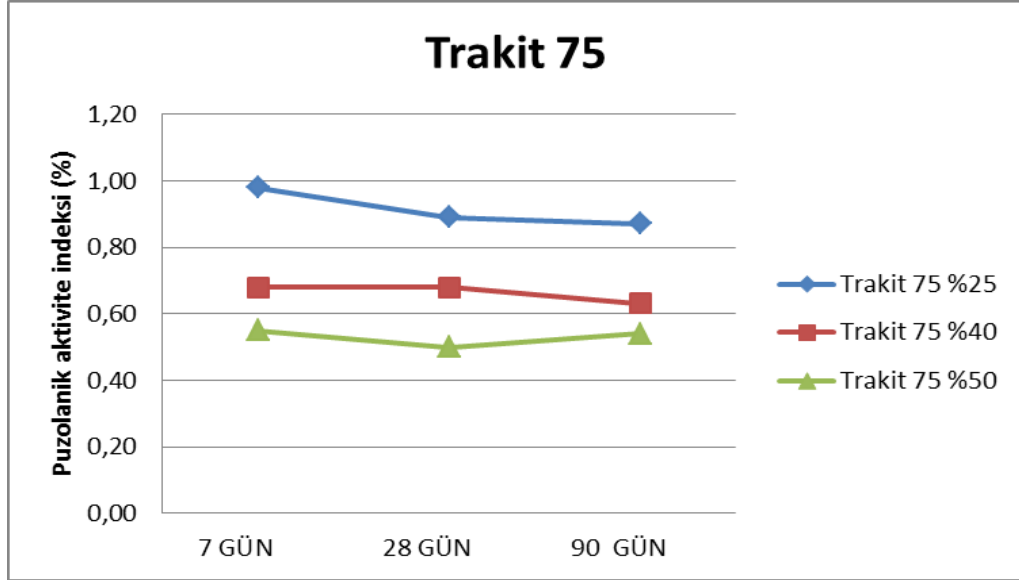
Şekil 2.53. Trakit 60 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.53`de görüldüğü üzere CaO/SiO₂ miktarı arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır.



Şekil 2.54. Trakit 75 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-ikame oranı ilişkisi

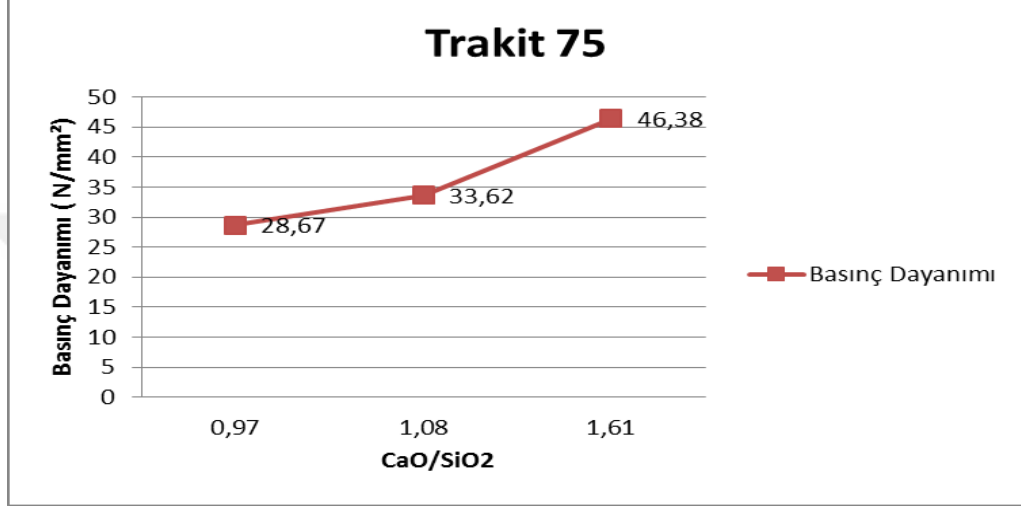
Şekil 2.54`den görüldüğü üzere ikame oranı arttıkça basınç dayanımı belirgin bir biçimde azalmaktadır.



Şekil 2.55. Farklı oranlarında Trakit 75 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

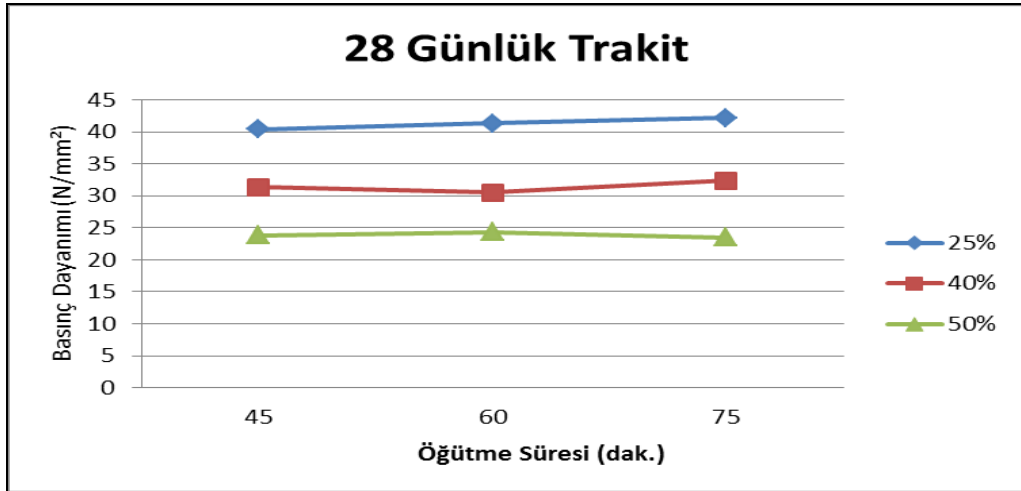
Şekil 2.55`den görüldüğü üzere %25 ikameli Trakit 75 harç numuneler TS 450-1`e göre puzolanik aktivite şartlarını sağlamaktadır. Fakat %40 ve %50 ikameli Trakit 75 harç

çubukları için ölçülen 28 gün ve 90 gün sonundaki puzolanik aktivite indeksleri TS 450-1'in öngördüğü sınır değerler sağlamamaktadır. Trakit 75, BS EN 15167-1'de verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.55, %50 ikameli Trakit 75 harç örneklerin puzolanik aktivite indekslerini vermektedir. Trakit 75'in Tablo 2.16'da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.

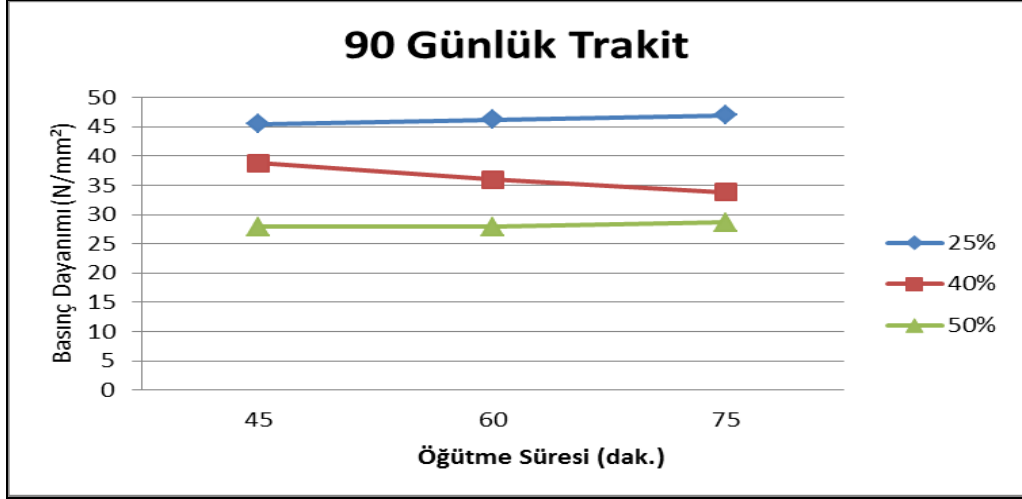


Şekil 2.56. Trakit 75 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.56'dan görüldüğü üzere CaO/SiO₂ miktarı arttıkça basınç dayanımı da belirgin bir biçimde artmaktadır.

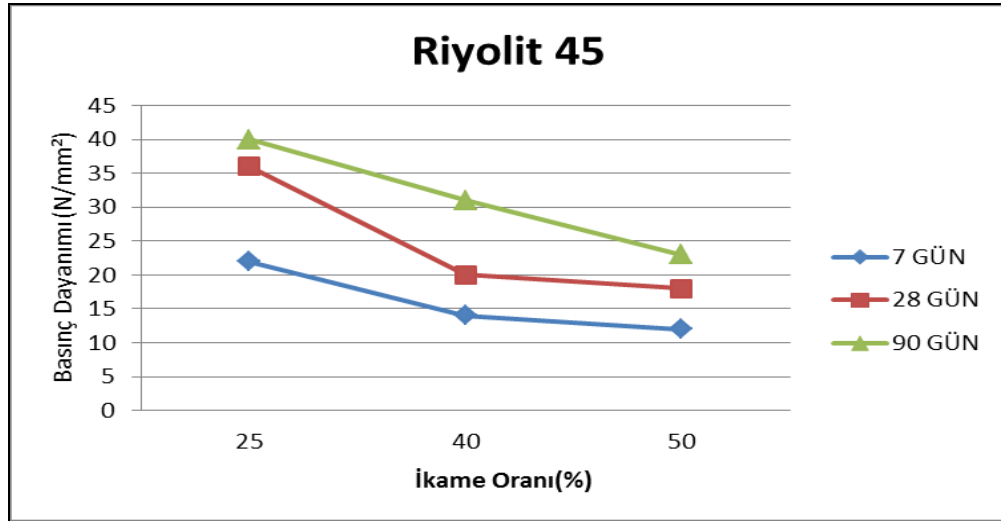


Şekil 2.57. 28 günlük Trakit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi



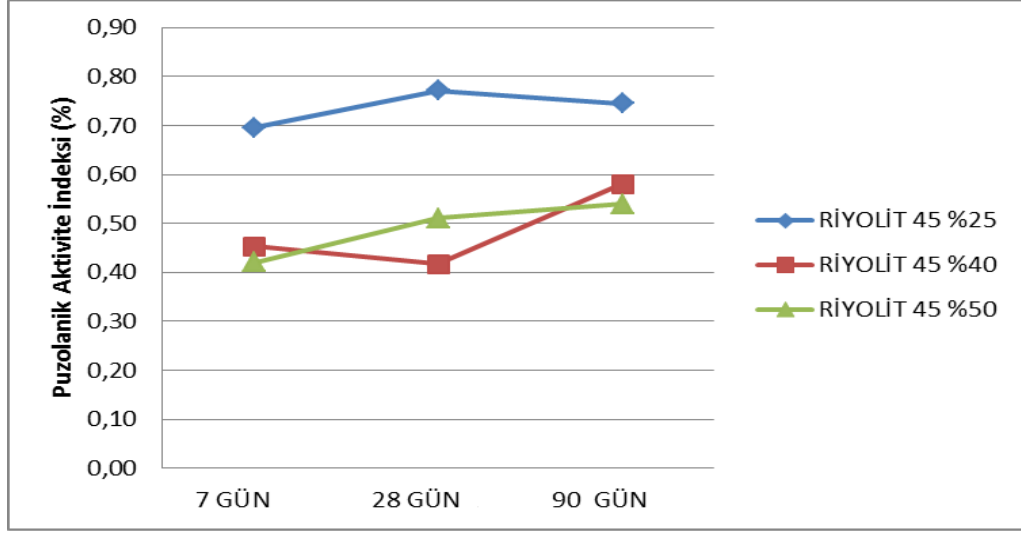
Şekil 2.58. 90 günlük Trakit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi

Şekil 2.57 ve Şekil 2.58`den görüldüğü gibi puzolanların öğütme sürelerinin artmasına bağlı olarak basınç dayanımlarının hemen hemen tüm ikame oranlarında önemli bir değişim göstermemektedir.



Şekil 2.59. Riyolit 45 ikameli harç numuneler için İkame oranı – basınç dayanım ilişkisi

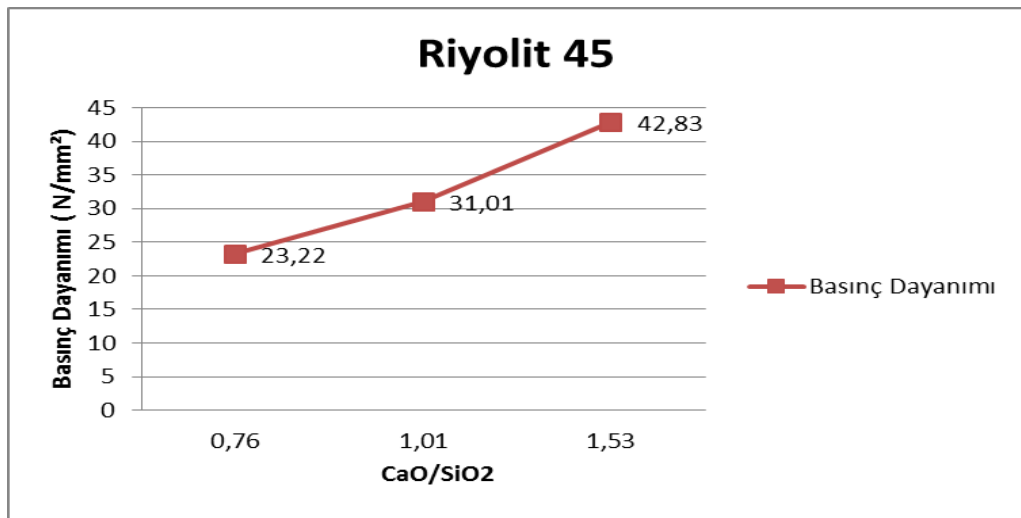
Riyolit 45 için verilen Şekil 2.59`da görüldüğü üzere ikame oranı arttıkça basınç dayanımı önemli derecede azalmaktadır.



Şekil 2.60. Farklı oranlarında RiyoLİT 45 ikameli harç numuneler için pozolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi.

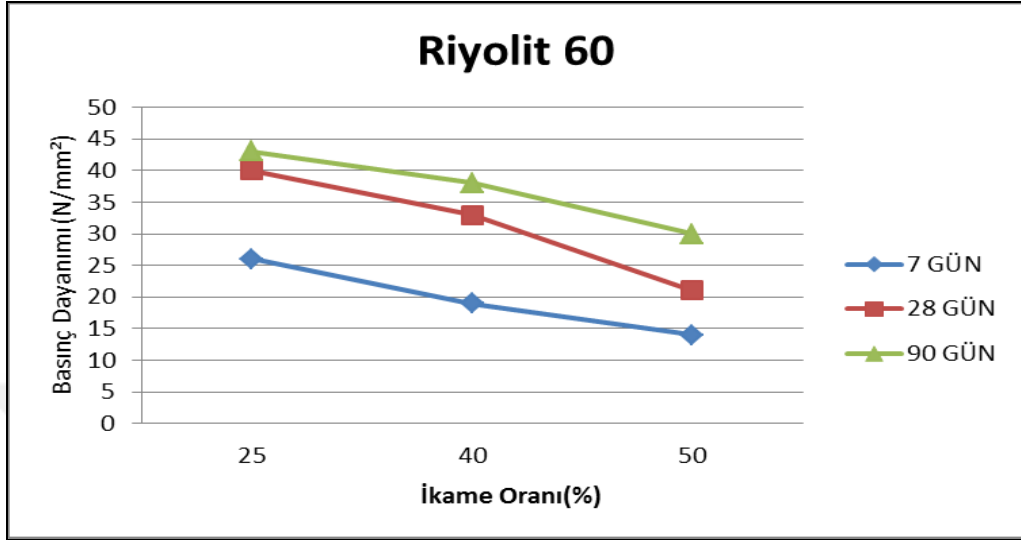
Şekil 2.60`de görüldüğü üzere %25, %35 ve %50 ikameli RiyoLİT 45 harç numuneler TS 450-1`e göre pozolanik aktivite şartlarını sağlamamaktadır.

RiyoLİT 45, BS EN 15167-1`de verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.60, %50 ikameli RiyoLİT 45 harç örneklerin pozolanik aktivite indeksleri verilmektedir. RiyoLİT 45`in Tablo 2.16`da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.



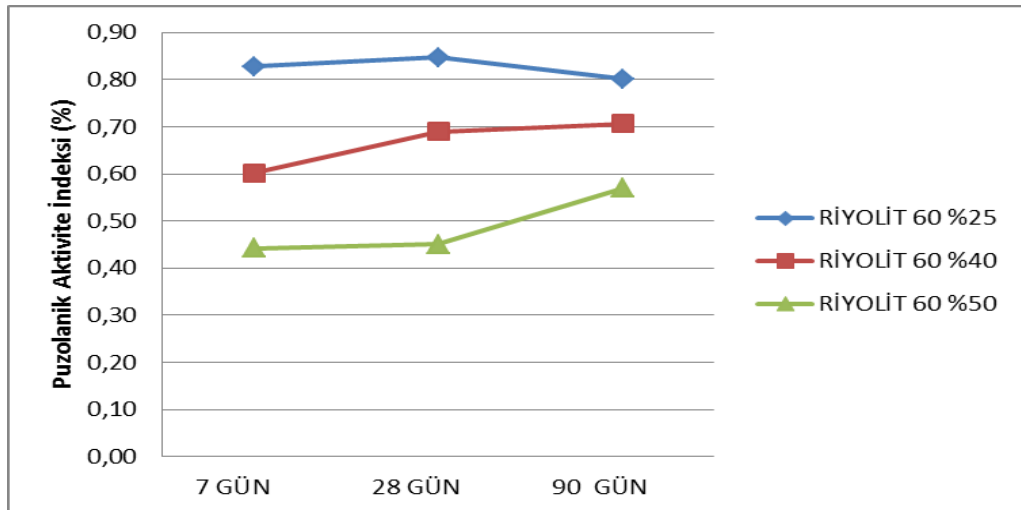
Şekil 2.61. RiyoLİT 45 ikameli harç numuneler için basınç dayanım-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.61`de görüldüğü üzere CaO/SiO₂ oranı arttıkça harcın basınç dayanımı da belirgin olarak arttırmaktadır.



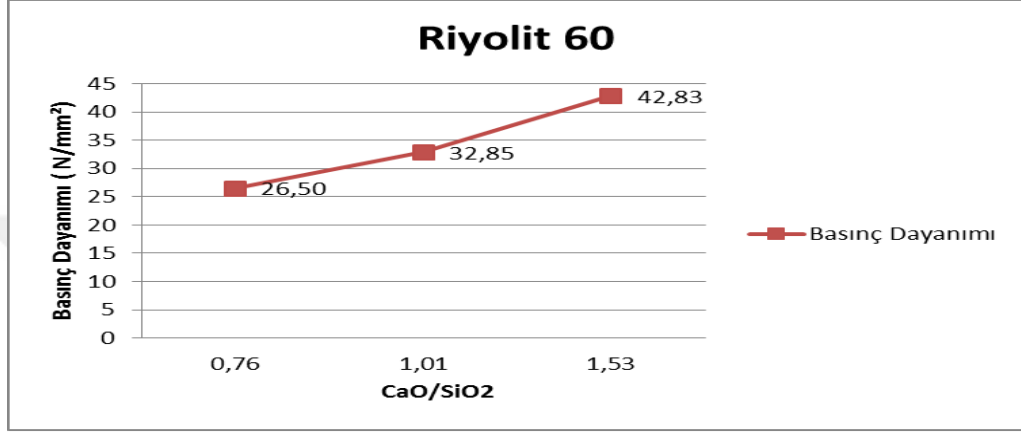
Şekil 2.62. Riyolit 60 ikameli harç numuneler için ikame oranı-basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 2.62`de görülen Riyolit 60 harç numuneleri için ikame oranı arttıkça basınç dayanımı önemli bir derecede azalmaktadır.



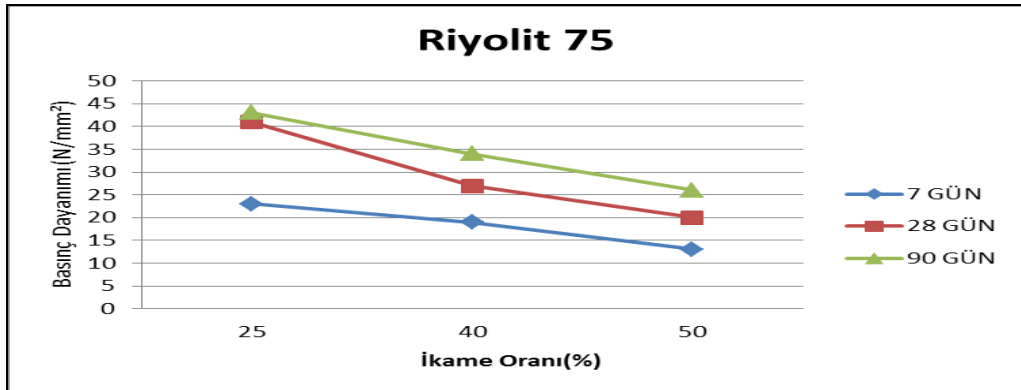
Şekil 2.63. Farklı oranlarında Riyolit 60 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

Şekil 2.63`de tüm ikame oranlarında Riyolit 60 harç numuneler TS 450-1`e göre puzolanik aktivite şartlarını sağlamadıkları görülmektedir. Benzer şekilde riyolit 60, BS EN 15167-1`de verilen sınır şartlarını da sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.63`de %50 ikameli Riyolit 60 harç örnekleri için puzolanik aktivite indeksleri verilmektedir. Riyolit 60`ın Tablo 2.16`da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.



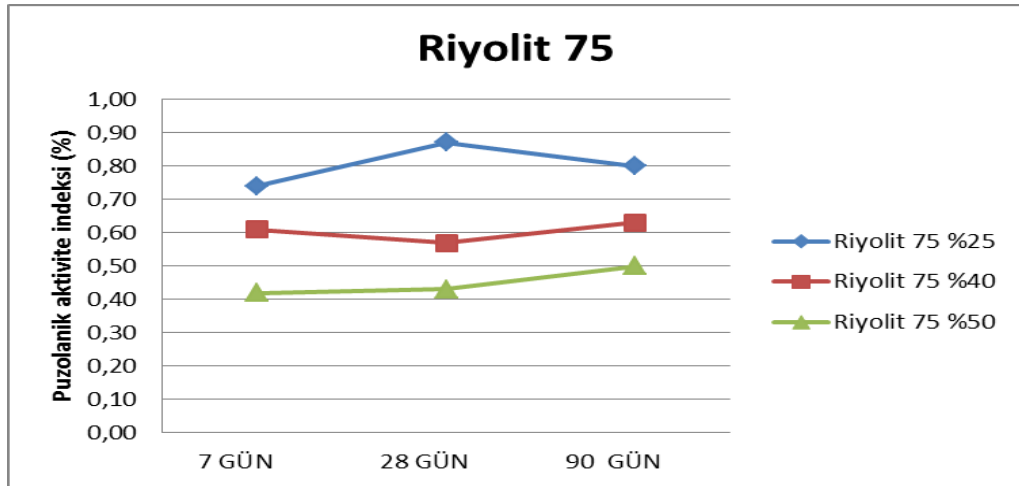
Şekil 2.63. Riyolit 60 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.63`de görüldüğü üzere CaO/SiO₂ oranı arttıkça basınç dayanımı da belirgin olarak artmaktadır.



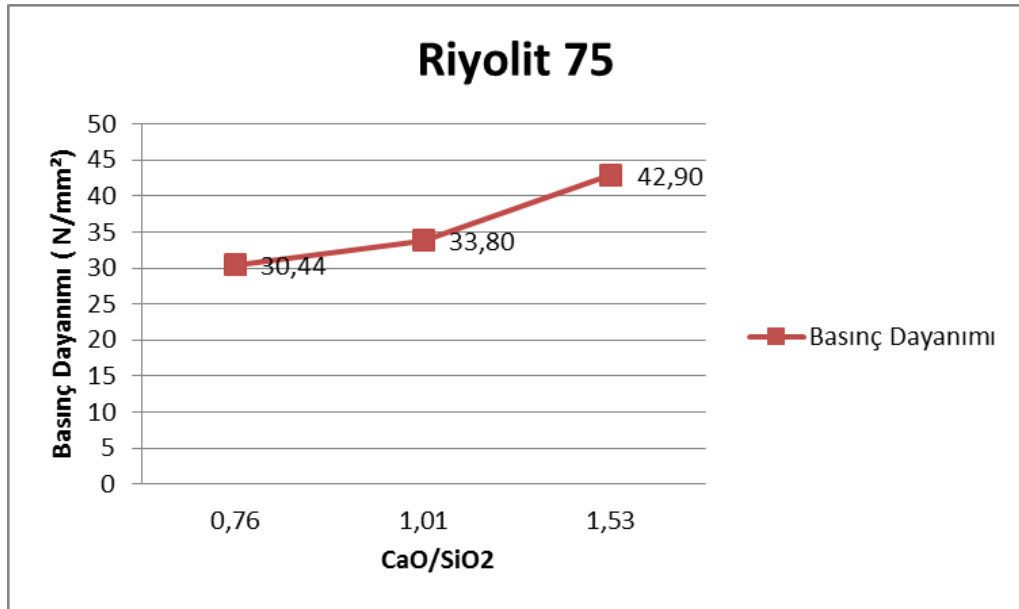
Şekil 2.64. Riyolit 75 ikameli harç numuneler için ikame oranı-basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 2.64`te görüldüğü üzere Riyolit 75 için ikame oranı arttıkça basınç dayanımının azalışı belirginleşmektedir.



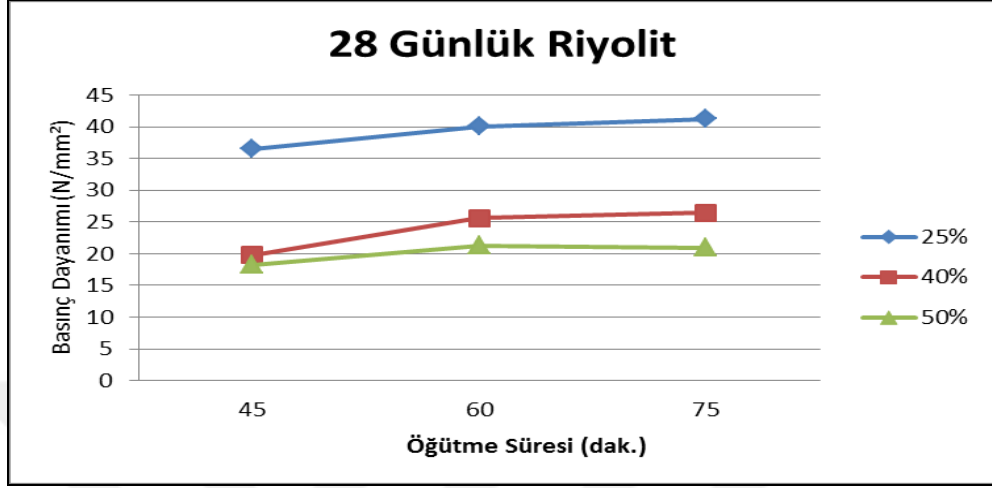
Şekil 2.65. Farklı oranlarında Riyolit 75 ikameli harç numuneler için pozolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

Şekil 2.65`de görüldüğü üzere tüm ikame oranlarında Riyolit 75 harç numuneleri TS 450-1`e göre pozolanik aktivite şartlarını sağlamamaktadır. Benzer şekilde Riyolit 75, BS EN 15167-1`de verilen sınır şartlarını da sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.65`de %50 ikameli Riyolit 75 harç örneklerine ilişkin pozolanik aktivite indeksleri verilmektedir. Riyolit 75`in Tablo 2.16`da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.

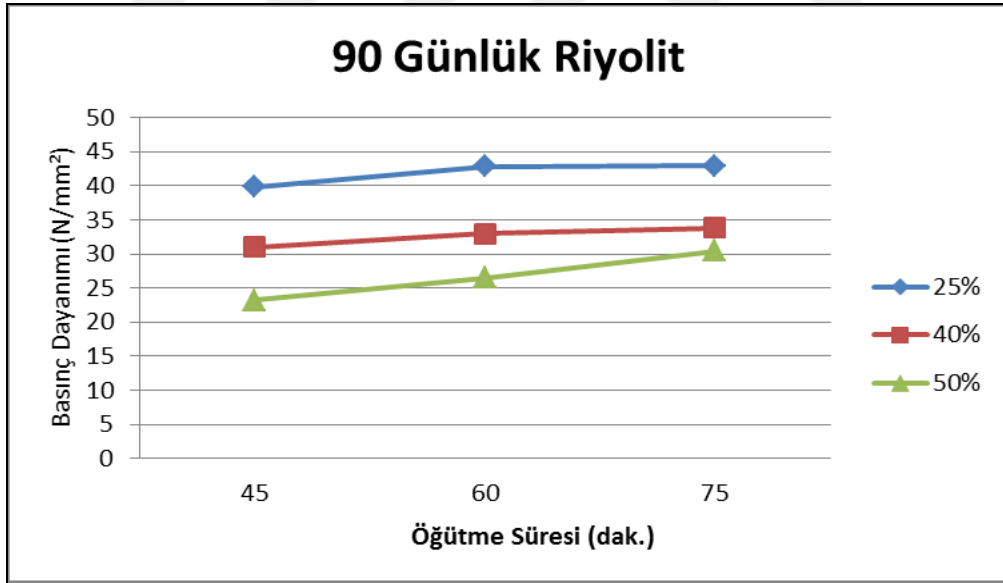


Şekil 2.66. Riyolit 75 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.66`da görüldüğü üzere CaO/SiO₂ oranı arttıkça basınç dayanımı da belirgin olarak arttırmaktadır.

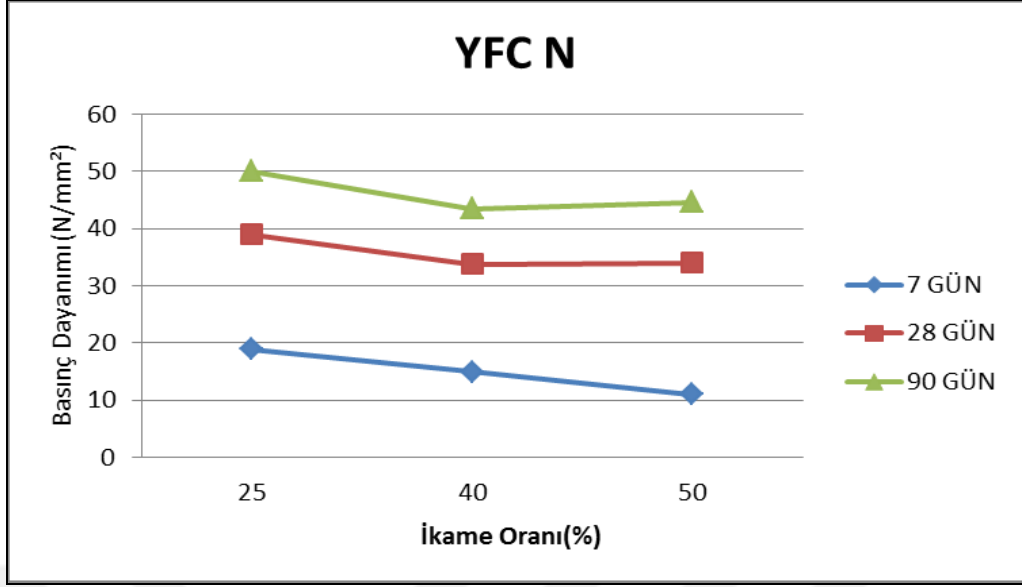


Şekil 2.67. 28 günlük Riyolit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi



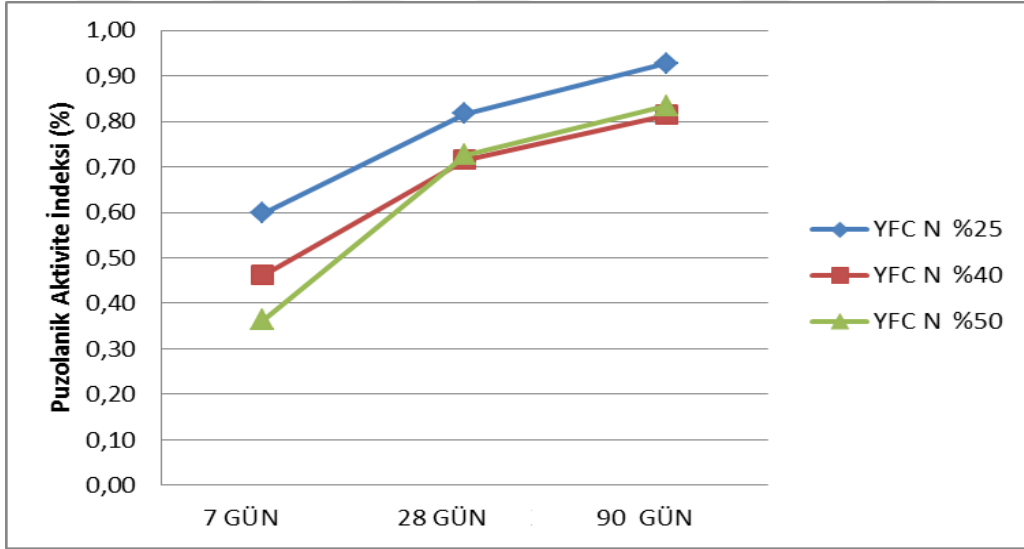
Şekil 2.68. 90 günlük Riyolit ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi

Şekil 2.67 ve Şekil 2.68`de 28 ve 90 gün sonunda riyolit için öğütme süresine bağlı olarak basınç dayanımının değişimi görülmektedir. Buna göre öğütme süresinin artmasıyla basınç dayanımlarının tüm ikame oranlarında hatırı sayılır artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 2.69. YFC N ikameli harç numuneler için İkame oranı-basınç dayanımı ilişkisi

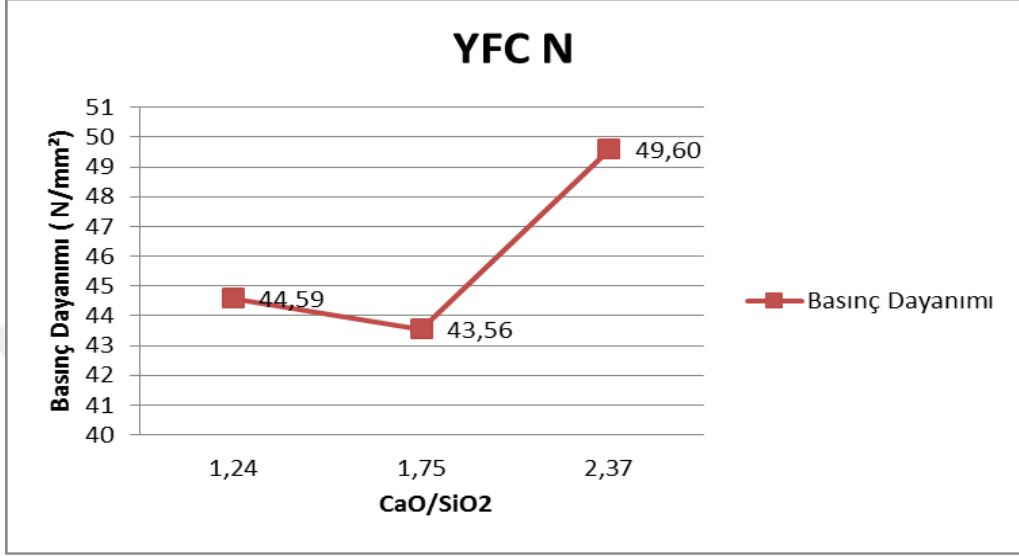
Şekil 2.69`da YFC N ikameli harç numunelerde ikame oranı arttıkça basınç dayanımının azalışı gözlenmektedir.



Şekil 2.70. Farklı oranlarda YFC N ikameli harç numuneler için pozolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

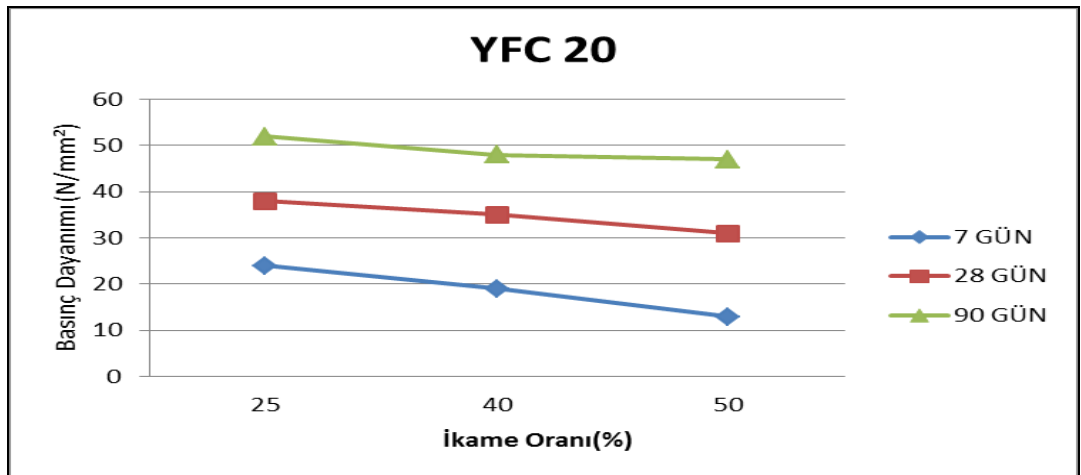
Şekil 2.70`da görüldüğü üzere %25 ikameli YFC N harç numuneler TS 450-1`e göre pozolanik aktivite şartlarını sağlamıştır. Fakat %40 ve %50 ikameli YFC N harç çubukların pozolanik aktivite indeksleri TS 450-1`de öngörülen sınır değerleri sağlamadığı

görülmektedir. Benzer şekilde YFC N, BS EN 15167-1'de verilen sınır şartlarını sağlamamaktadır. Şekil 2.70'de %50 ikameli YFC N harç örneklerin puzolanik aktivite indeksleri verilmektedir.



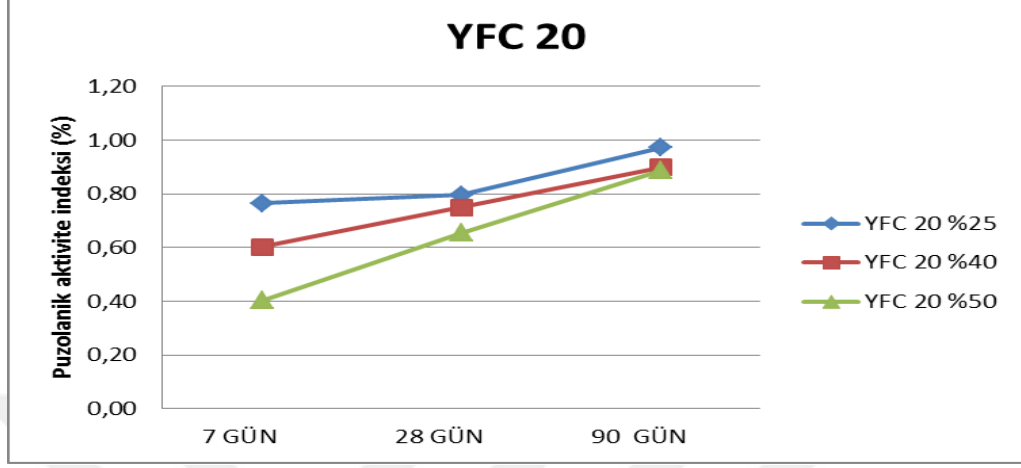
Şekil 2.71. YFC N ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.71'de görüldüğü üzere CaO/SiO₂ oranı arttıkça basınç dayanımı da belirgin olarak arttırmaktadır.



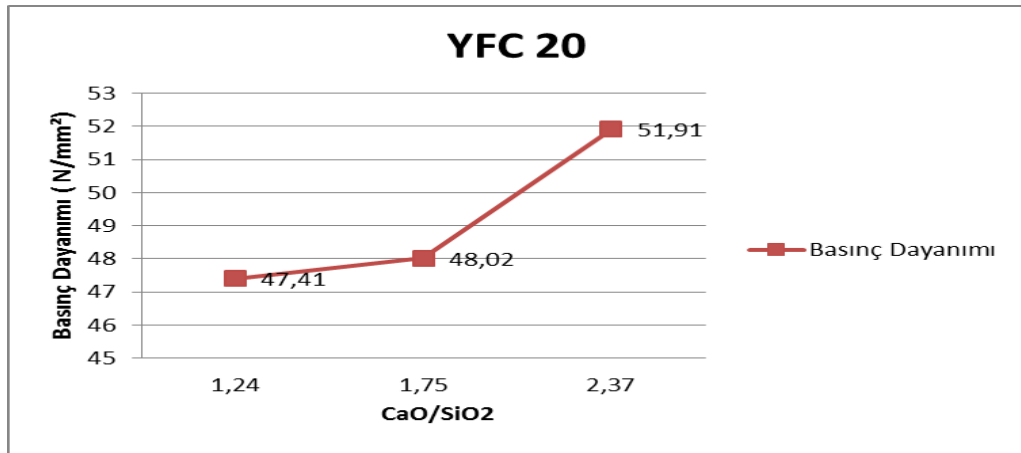
Şekil 2.72. YFC 20 ikameli harç numuneler için ikame oranı-basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 2.72`de görüldüğü üzere YFC 20 için ikame oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Dayanımdaki bu azalış özellikle 7 ve 28 günlük sonuçlar için oldukça belirgindir.



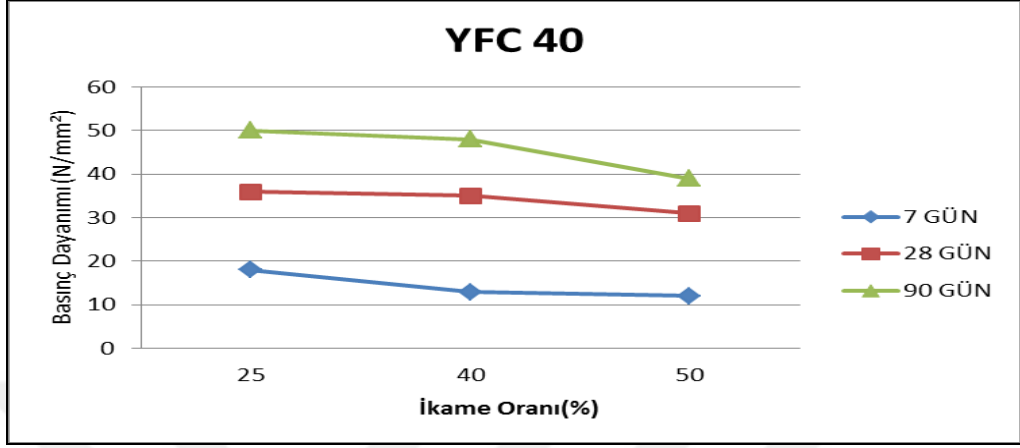
Şekil 2.73. Farklı oranlarda YFC 20 ikameli harç numuneler için pozolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

Şekil 2.73`de %25 ve %35 ikameli YFC 20 harç numuneler TS 450-1`e göre pozolanik aktivite şartlarını sağlamıştır. Fakat %50 ikameli YFC 20 harçlar için verilen sınır şartları sağlamamaktadır. Benzer şekilde YFC 20, BS EN 15167-1`de verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.73, %50 ikameli YFC 20 harç örneklerin pozolanik aktivite indeksleri verilmektedir. YFC 20`nun Tablo 2.16`da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.



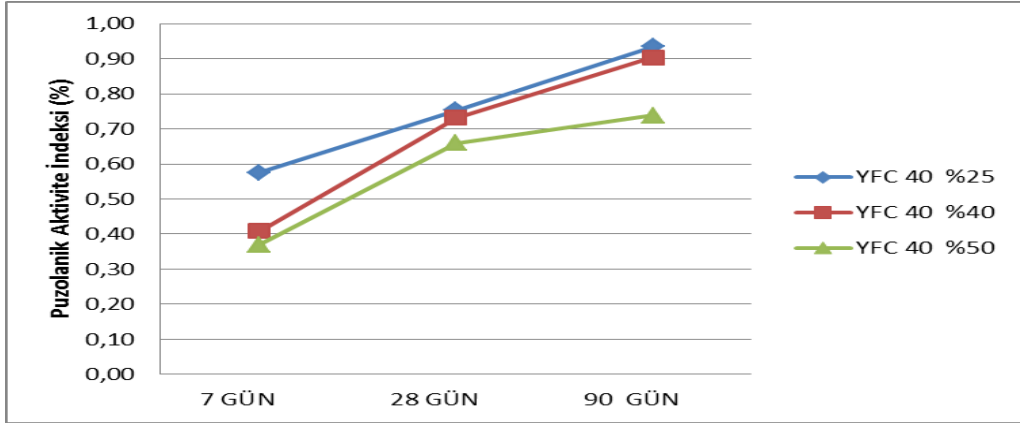
Şekil 2.74. YFC 20 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.74`te görüldüğü üzere CaO/SiO₂ oranı arttıkça harcın basınç dayanımı da belirgin olarak arttırmaktadır.



Şekil 2.75. YFC 40 ikameli harç numuneler için İkame oranı – basınç dayanımı ilişkisi

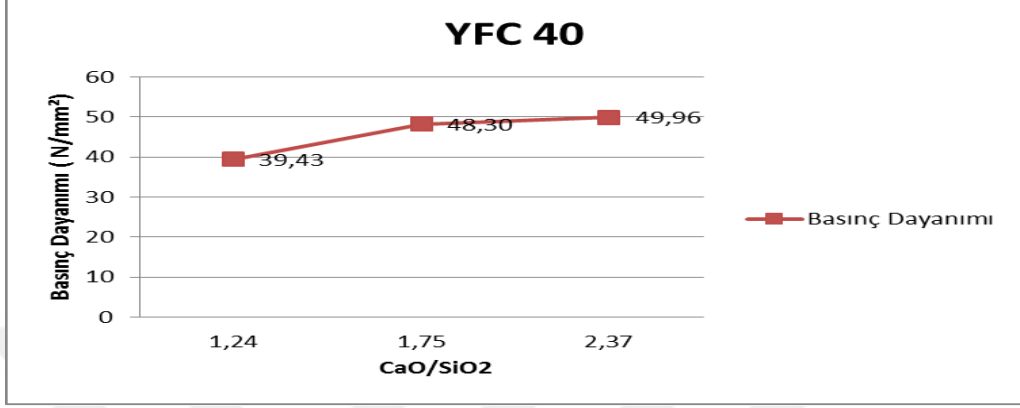
YFC 40 için verilen Şekil 2.75`de görüldüğü üzere YFC 40 ikame oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır.



Şekil 2.76. Farklı oranlarında YFC 40 ikameli harç numuneler için puzolanik aktivite indeksi-zaman ilişkisi

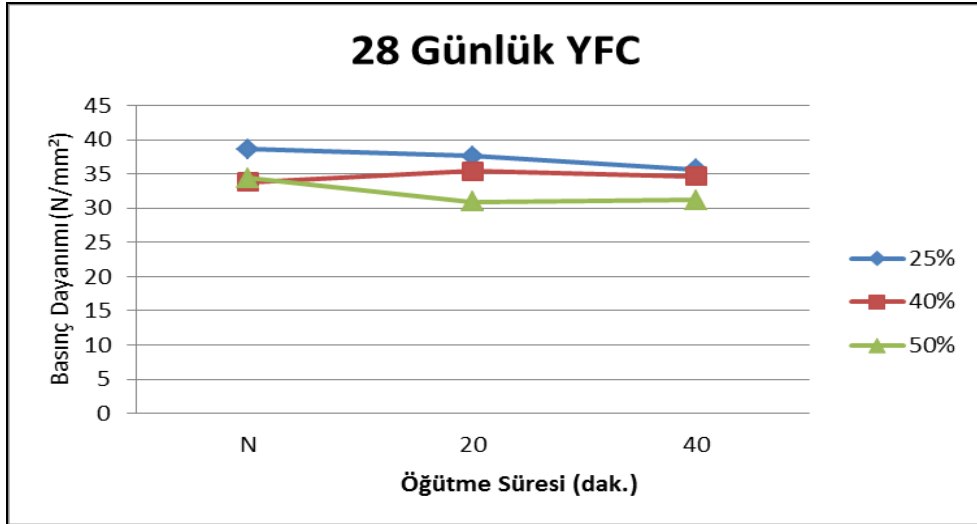
Şekil 2.76`da görüldüğü üzere %25 ikameli YFC 40 harç numuneler TS 450-1`e göre puzolanik aktivite şartlarını sağlamıştır. Fakat %35 ve %50 ikameli YFC 40 harç çubukların 28 gün ve 90 gün sonunda puzolanik aktivite indeksleri TS 450-1`in öngördüğü sınır değerleri sağlamamaktadır. Benzer şekilde YFC 40, BS EN 15167-1`de verilen sınır

şartlarını sağlamadığı görülmektedir. Şekil 2.77, %50 ikameli YFC N harç örneklerin puzolanik aktivite indeksleri verilmektedir. YFC 40 'ın Tablo 2.16`da verilen sınır şartlarını sağlamadığı görülmektedir.

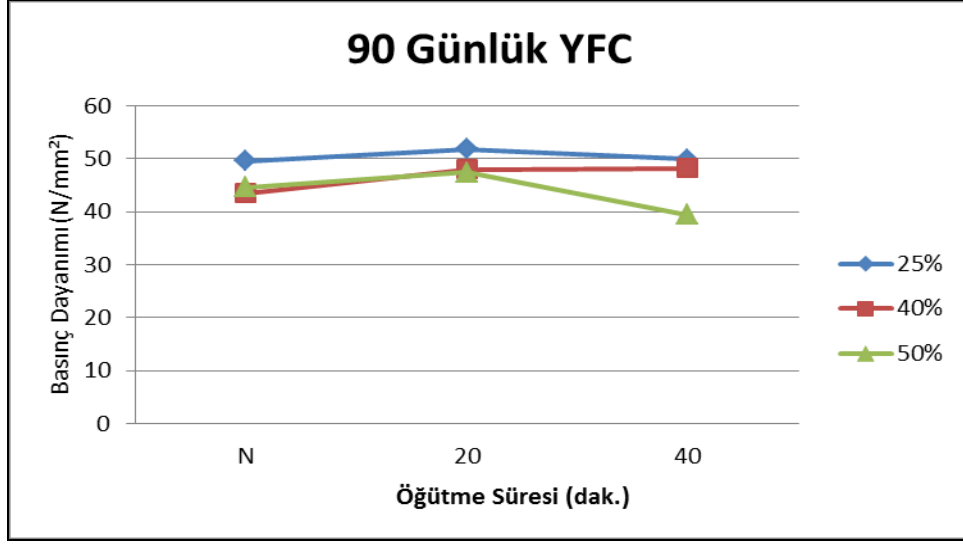


Şekil 2.78. YFC 40 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.78`de görüldüğü üzere CaO/SiO₂ oranı arttıkça harcın basınç dayanımı da belirgin olarak artmaktadır.

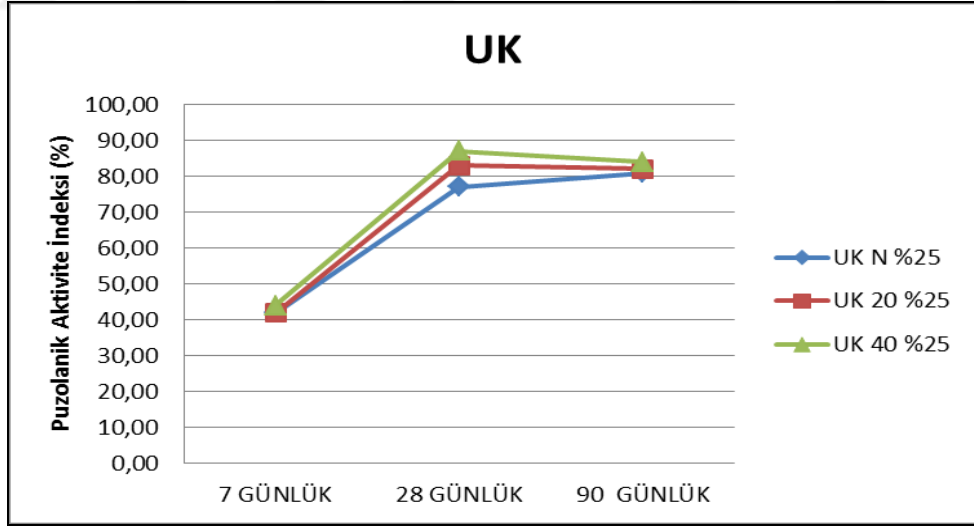


Şekil 2.79. 28 günlük YFC`nun basınç dayanımı-öğütme süresi



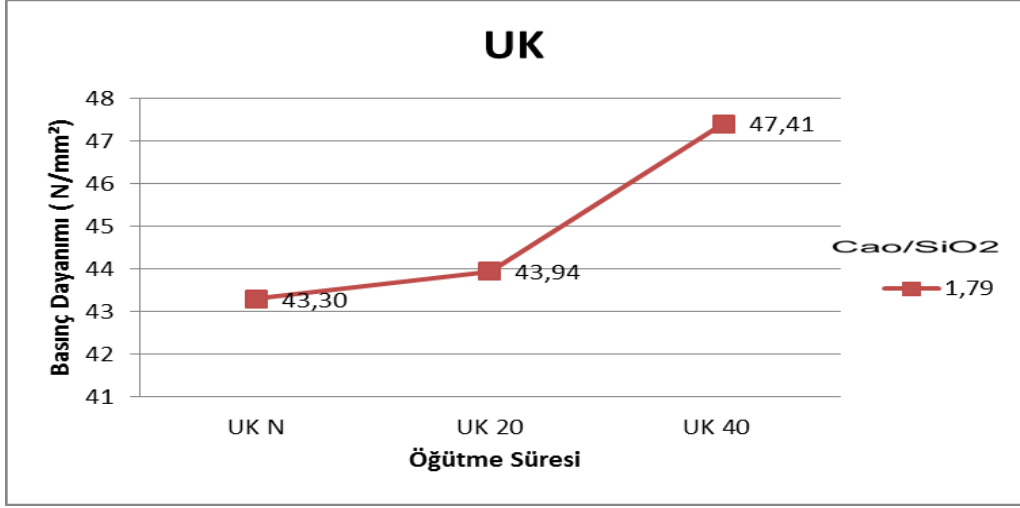
Şekil 2.80. 90 günlük YFC'nun basınç dayanımı-öğütme süresi

Şekil 2.79 ve Şekil 2.80'de 28 ve 90 gün sonunda YFC için öğütme süresine bağlı olarak basınç dayanımının değişimi görülmektedir. Buna göre öğütme süresinin artmasıyla basınç dayanımında önemli değişimin olmadığı görülmektedir.



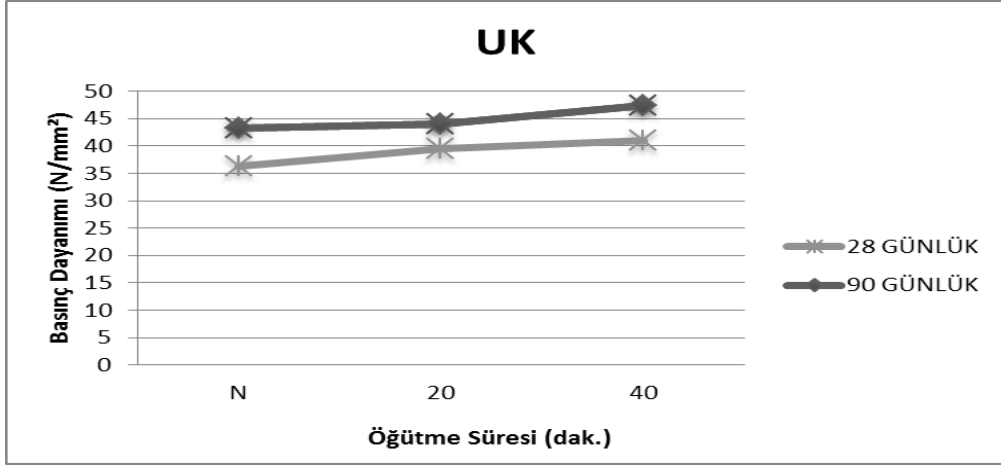
Şekil 2.81. %25 UK N, 20, 40 ikameli harçlar için Pozolanik aktivite indeksi

Şekil 2.81'den görüldüğü üzere %25 ikameli UK N, UK 20 ve UK 40 harç numuneler TS 450-1'de pozolanik aktivite indeksi için öngörülen sınır değerler 28 gün sonunda sağladığı ancak 90 gün sonunda sağlamadığı görülmektedir.



Şekil 2.82. UK N, 20, 40 ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-CaO/SiO₂ ilişkisi

Şekil 2.82`de görüldüğü üzere CaO/SiO₂ oranı 1.79 olarak sabit kalmasına rağmen harç örneklerinin basınç dayanımı değerlerinin öğütme süresine bağlı olarak belirgin bir artış göstermektedir. TS EN 197-1`e göre Portlant çimentosu için CaO/SiO₂ oranının 2`den az olması istenmemektedir.



Şekil 2.83. 28 ve 90 günlük UK ikameli harç numuneler için basınç dayanımı-öğütme süresi ilişkisi

Şekil 2.83`de 28 ve 90 gün sonunda UK için öğütme süresine bağlı olarak basınç dayanımının değişimi görülmektedir. Buna göre öğütme süresinin artmasıyla basınç dayanımlarının tüm ikame oranlarında hatırı sayılır artış gösterdiği görülmektedir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen önemli bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Trakit ve riyolit mineralleri fiziksel özellikleri (birim hacim ağırlık, özgül yüzey alanı, puzolanik aktivite vs.) ve kimyasal özellikleri (kimyasal bileşenler, kızdırma kaybı, amorf silika içeriği vs.) itibariyle betonda kullanılabilir yapıda doğal puzolan oldukları görüldü.

2. Rize Çağrankaya mevkiinden temin edilen trakit ve riyolit minerallerinin puzolanik aktivite indeksleri incelendiğinde çalışmada kullanılan Riyolitin puzolanik aktivite indeksinin Uçucu Küle, Trakitin aktivite indeksinin Yüksek Fırın Cürufuna benzer oldukları tespit edilmiştir.

3. Puzolanların öğütme sürelerinin artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında çok belirgin olmasa da hafif bir artış görülmektedir.

4. Yapılan çalışma ile betona belirli oranlarda çimento ile ikame edilen öğütülmüş trakit ve riyolitin dayanımda belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Bu hususa tüm puzolanlarda rastlanmaktadır.

5. Yüksek fırın cürufunda hariç, CaO/SiO₂ oranı azaldıkça basınç dayanımlarındaki azalma belirginleşmektedir.

6. TS EN 196-5 kimyasal yöntem ile puzolanik özelliğin belirlenmesinde %25 riyolit ikamesiyle puzolanik özellik sağlanmamıştır. Ancak %35 ve %50 riyolit ikameli çimentolar puzolanik özellik göstermişlerdir. Öğütme süresi arttıkça puzolanların puzolanik özellikleri daha da belirginleşmektedir.

7. Trakit ve Riyolit puzolanları TS EN 196-5'e göre tüm ikame oranlarında puzolanik özellik görülmektedir. Öğütme süresi arttıkça puzolanik özellik çok daha fazla belirginleşmiştir.

8. TS 25'e göre gerçekleştirilen deney sonucunda trakit ve riyolit puzolanları puzolanik aktivite gösterirken bu özellik öğütme süresine bağlı olarak daha da belirgin hale gelmektedir.

9. Puzolanik özelliklerin belirlenmesinde öğütme süresinden ziyade puzolanların Blaine inceliklerinin kullanımı önerilebilir.

10. %25 ikame oranında trakit ile elde edilen basınç dayanımı katkısızca göre %87 oranında iken aynı oranda riyolit ile elde edilen oran %82 mertebesindedir. Oranın maksimize edilmesi amaçlandığında ikame oranı için bir pessimum değer kullanılabilir.

11. TS EN 450-1'e göre puzolanik aktivite indeksinin daha hassas bir şekilde belirlenmesinde her bir ikame oranı için numune sayısının artırılması önerilebilir.

4. KAYNAKLAR

1. Lea, F., The Chemistry of Cement and Concrete, Third Edition, Edward Arnold Ltd. Glasgow 1970.
2. ASTM C 125, Standart Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards 2004,.
3. Erdoğan S.T., Erdoğan T.Y., 2005 Puzolanların Bağlayıcılık Potansiyelinin Romalıları Tarafından Keşfi ve Romalılarda Puzolan Kullanımı, THBB Dergisi, 12(2005), 50-53.
4. Orchard, D., Concrete Technology, Volume 1, Fourth Edition, Applied Science Publishers LTD., Great Britain 1979.
5. ASTM C 311 Standart Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, ASTM, 2016.
6. TS EN 196-5 Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Deneyi, TSE, Ankara, Mart 2012.
7. Erdoğan, K., Tokyay, M. ve Türker, P., Traslara ve Traslı Çimentolar , 3. Baskı, TCMB Arge Enstitüsü, Ankara, 2001.
8. Mehta, P.K. ve Monteiro, P.J.M., Concrete, Mikrostructure, Properties and Materials, Mc Graw Hill, New York, 2006.
9. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Obsidyen>. 21 Nisan 2017.
10. <https://www.turkcebilgi.com/laterit>. 21 Nisan 2017.
11. Roy, D.M., Luke, K., and Daimond, S., ‘ Characterization of Fly Ash and Its Reaction in Concrete’ Proceedings , Materials Research Society, Pittsburg, 1984.
12. Erdoğan, T.Y., Beton, Metu Press, Mayıs 2003.
13. ASTM C 618 Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use as A Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. ASTM, West Conshohocken, PA, 2015.
14. TS 25 Dogal Puzolan(Tras) – Çimento ve betonda kullanılan- Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri. TSE, 2011.
15. ASTM C 989 Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars. ASTM, West Conshohocken, PA, 2016.

16. BS EN 15167-1 'Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout. Definitions, specifications and conformity criteria', BSI, October 2006.
17. TS EN 450-1 Uçucu Kül - Betonda Kullanılan -Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, T.S.E, 2013.
18. TS 639 Uçucu Küller. T.S.E., Ankara,1975.
19. Yayla, H. ve Gürü, M., Çimento ve Beton Palme Yayıncılık, 2012.
20. Fiskaa, O. ve Hansen, H., Moum, J., Concrete in alum shale, 1971.
21. Mehta P.K, 'Concrete tekology for sustainable development. Concreate Institute 21,11 (1999) 47-52.
22. Uzal B, Turanlı L, Mehta P.K, High Volume Natural Pozolan Concrete for Structural Applications, ACI Meter J, 104,5(2007) 535-8
23. Meyer C, The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composite 31,8(2009),601-5.
24. The European Association (CEMBUREU) Annual report:2001.
25. EN 197-1 Cement; Part1: Composition, Specification And Conformity Criteria For Common Cement European Committee For Standardization, CEN, June 2000.
26. Ezziane K., Bougara A., Kadri A., Khelafi H. and Kadri E. Compressive strength of mortar containing natural pozzolan under various curing temperature. Cement and Concrete Composite,29,8(2007) 587–593.
27. Colak A. The long-term durability performance of gypsum–Portland-cement natural pozzolan blends. Cement and Concreate Research, 32,1(2002) 109–15.
28. Colak A. Characteristics of pastes from a Portland cement containing different amounts of natural pozzolan. Cement and Concreate Research 33,4(2003) 585–93.
29. Shannag MJ, Yeginobali A. Properties of pastes, mortars and concretes containing natural pozzolan. Cement and Concreate Research, 25,3(1995) 647–57.
30. Najimi M, Jamshidi M, Pourkhorshidi AR. Durability of concretes containing natural pozzolan. Proc Inst Civ Eng Construction Mater,161,3(2008) 113–8.
31. Targan S, Olgun A, Erdogan Y, Sevinç V. Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash, and fly ash on the properties of Portland cement. Cement and Concreate Research33,8(2003) 1175–82.
32. F. Cassagnabere, G. Escadeillas, M. Mouret, Study of the reactivity of cement/ metakaolin binders at early age for specific use in steam cured precast concrete, Construction and Building Material, 23,2(2009) 775–784.

33. J.M. Khatib, R.M. Clay, Absorption characteristics of metakaolin concrete, *Cement and Concrete Research* 34,1(2004) 19–29.
34. J.M. Khatib, S. Wild, Sulphate resistance of metakaolin mortar, *Cement and Concrete Research* 28,1(1998) 83–92.
35. H.-S. Kim, S.-H. Lee, H.-Y. Moon, Strength properties and durability aspects of high strength concrete using Korean metakaolin, *Construction and Building Materials* 21,6(2007) 1229–1237.
36. B.B. Sabir, S. Wild, J. Bai, Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review, *Cement Concrete Composites*. 23,6(2001) 441–454.
37. R. Siddique, J. Klaus, Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: a review, *Appl. Clay Sci.* 43,(3–4)(2009) 392–400.
38. M.H. Zhang, V.M. Malhotra, Characteristics of a thermally activated aluminosilicate pozzolanic material and its use in concrete, *Cement and Concrete Research* 25,8(1995) 1713–1725.
39. ACI Committe 234, Proposed Report: Use of Silica Fume in Concrete, *ACI Materials Journal*, 2000.
40. Subaşı, A., Emiroğlu, M., ‘Effect of Metakaoline Substitution Physical, Mechanical and Hydration Process of White Portland Cement’, *Construction and Building Materials* 95(2015), 257-268.
41. Senhadji, Y., Escadeillas, M., Mouli, M., Khelofi, H., Benosman, ‘Influence of Natural Puzolan, Silica Fume and Limenstone Fine on Strenght, Acid Resistance and Microstructure of Mortar’ *Powder Technology*,254(2014) 314-323.
42. Binici,H., Temiz, H., Köse,M.M., ‘The Effect of Fineness on the Properties of the Blenden Cement İncororating Ground Granulated Blast Furnace Slag and Ground Basaltic Pumice’ *Construction and Building Material*,21(2007) 1122-1128.
43. Çelik, K., Kılınçkale, F.M., Katkı Miktarı Türünün ve Öğütülmüş Çimentonun Dayanım Performansına Etkisi, II. Mühendisli Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK, İstanbul, 2005.
44. Şimşek, O., Tuğla Ununun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği, *Journal of Polytechnic*. 9,4(2006) 325-329.
45. ACI Committe 232, Proposed Report: Use of Natural Puzzolans in Concrete, *ACI Materials Journal*, 91,4(1994) 410-426.
45. Massaza, F., 1989 Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, 11-12 Mayıs, Ankara.
46. Yetgin, Ş. ve Çavdar, A., Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanımını, İşlenebilirliğini, Katılma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*. 17,4(2005) 687-692.

47. Çelik, Ö., Yurter, G., Kan, S., Yeprem, H.A., Farklı Puzolanik Katkıların Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doğuş Üniversitesi Dergisi, 5,2(2004) 147-154.
48. Yeğinoğlu, A., Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu 1993, Ankara, Bildiriler Kitabı, 149-167.
49. Pistilli, M.F., Wintersteen, Rand Cechner, R., The Uniformity and Influence of Silica Fume From A U.S. Source on The Properties of Portland Cement Concrete, Cement, Concrete and Aggregates, 6,2(1984) 120-124.
50. Abdun nur ea Fly Ash in Concrete: An Eva 284 Highway Research Board Washinton DC 1961.
51. Shehata, M.H., Thomas, d., The Effect of Fly Ash Composition on the Expansion of Concrete due to Alkali Silica Reaction, Cement and Concrete Research, 30(2000) 1063-1072.
52. Aşık, İ., Şen, H., Ergintov, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., Bayrak, E., Alkali Silika Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi, Beton Kongresi, 2004, Ankara Bildiriler Kitabı, 1-10.
53. Uygunoğlu, T., Yüksek Oranda Silis Dumanı İçeren Harçlarda Alkali Silika Reaksiyonunun Gelişiminin İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(2009) 9-16.
54. Ramlochan, T., Thomas, M., Gruber, K.A., The Effect of Metakaolin on Alkali silica Reaction in Concrete, Cement and Concrete Research, 30(2000) 339-344.
55. Aşık, İ., Şen, H., Ergintov, Y., Ytark, D., Handbook For The Silica Reactivity in Highway Structures, SHRP-C/FR-91-101, Strategic Highway Research Program, 1993.
56. Canpolat, F., Kemalettin, Y., Doğal Zeolit ve Uçucu Kül Katkılı ve Katkısız Harçların Sülfat Dayanıklılığı, 16,2(2002) 11-24.
57. Ustabaş, İ., Sülfat Etkisine Maruz Mineral Katkılı Beton ve Harçların Performanslarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
58. Erdoğan, Ş., Kandil, U., Nayır, S., Farklı Oranlarda Uçucu Kül İkame Edilerek Üretilen Betonların Klor Geçirimsizliklerinin Belirlenmesi, 9. Ulusal Beton Kongresi, İmo Antalya 2015, 59-71
59. Biricik, H., Buğday Sapı Külünün Puzolanik özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. İstanbul, 1995.
60. Çavdar, A., Farklı Puzolanik Bileşime ve Hamur Yapısına Sahip Çimento Harç Örneklerinin, Sülfat İçeren Ortam veya Aşınma Etkilerine Karşı Dayanıklılığının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.

61. Akgün, Y., Yazıcıoğlu, F.Ö., İki Farklı Doğal Zeolit Katkısının Çimento Harç Aşınma Dayanımına Etkisi, Ordu Üniversitesi. Bil. Tek. Dergisi, 6,1(2016) 94-104.
62. Özturan, T., Beton Üretiminde Uçucu Kül Kullanımı İmo, İstanbul, 157-166.
63. Topçu, İ.B., Canbaz, M., Uçucu Kül Kullanımının Betona Etkileri Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 14,2(2001) 11-23.



5. EKLER

Ek Tablo 1. Standart numuneye ait deney sonuçları

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Standart Numune	6, 01	9, 31	10, 36	33, 28	49, 82	52, 48			
	6, 07	8, 98	10, 22	32, 48	50, 13	52, 26			
	5, 98	8, 34	9, 36	32, 09	45, 76	55, 25			
				32, 71	45, 25	54, 49			
				31, 64	46, 28	52, 3			
				28, 05	46, 78	53, 98			
Ortalama	6, 02	8, 88	9, 98	31, 71	47, 34	53, 46	100	100	100

Ek Tablo 2.

1. %25 ikameli Trakit 45 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 45 %25	5, 54	7, 26	8, 36	26, 83	43, 41	45, 76			
	4, 95	7, 91	8, 22	28, 86	42, 19	48, 1			
	5, 20	6, 93	7, 95	28, 83	40, 51	45, 72			
				27, 28	38, 22	43, 07			
				28, 21	38, 57	44, 37			
				27, 71	39, 47	45, 92			
Ortalama	6, 02	8, 88	9, 98	27, 95	40, 40	45, 49	88	85	85

2. %40 ikameli Trakit 45 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 45 %40	4, 10	6, 16	7, 09	19, 75	32, 09	36			
	3, 64	5, 96	6, 44	22, 07	31, 45	36, 89			
	4, 43	6, 58	7, 11	18, 88	31, 44	37, 92			
				19, 34	30, 59	34, 84			
				18, 21	31, 2	44, 26			
				18, 31	31, 36	42, 75			
Ortalama	6, 02	8, 88	9, 98	19, 43	31, 26	38, 78	61	66	58

3. %50 ikameli Trakit 45 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 45 %50	3, 03	5, 06	5, 52	11, 78	23, 27	29, 76			
	3, 15	5, 42	5, 92	13, 59	23, 11	28, 85			
	2, 92	5, 14	5, 95	14, 57	23, 26	27, 79			
				15, 87	23, 76	25, 8			
				13, 57	24, 61	27, 41			
				12, 46	25, 01	27, 53			
Ortalama				13, 64	23, 84	27, 86	43	50	52

4. %25 ikameli Trakit 60 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 60 %25	4, 98	6, 92	8, 4	22, 46	43, 38	47, 42			
	5, 25	6, 73	8, 31	24, 43	37, 51	43, 74			
	4, 72	8, 24	8, 13	23, 7	39, 78	46, 83			
				25, 46	43, 37	48, 18			
				19, 86	43, 99	45, 46			
				16, 85	39, 89	45, 97			
Ortalama				22, 13	41, 32	46, 27	70	87	87

5. %40 ikameli Trakit 60 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 60 %40	4, 92	5, 90	6, 8	23, 63	31, 36	36, 37			
	4, 39	5, 80	7, 01	23, 32	29, 89	33, 92			
	4, 70	5, 71	6, 38	21, 7	30, 05	35, 72			
				20, 28	30, 80	37, 42			
				22, 99	30, 25	37, 63			
				23, 78	30, 86	35, 08			
Ortalama				22, 62	30, 54	36, 02	71	65	71

6. %50 ikameli Trakit 60 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 60 %50	3, 76	5, 24	4, 8	16, 96	25, 77	29, 74			
	3, 72	4, 91	6, 08	17, 32	24, 43	27, 46			
	3, 71	4, 75	5, 86	18, 57	23, 51	29, 35			
				17, 34	22, 95	27, 34			
				16, 34	24, 37	24, 97			
				16, 84	24, 79	28, 42			
Ortalama	3, 73	4, 97	5, 58	17, 23	24, 30	27, 88	54	51	52

7. %25 ikameli Trakit 75 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 75 %25	6, 46	7, 34	8, 46	32	41, 13	48, 56			
	7, 22	7, 57	8, 31	29, 33	43, 38	48, 89			
	6, 54	7, 33	7, 85	30, 84	42, 9	43, 33			
				31, 84	43, 28	45, 56			
				30, 41	41, 20	45, 21			
				32, 65	41, 29	46, 71			
Ortalama	6, 74	7, 41	8, 21	31, 18	42, 20	46, 38	98	89	87

8. %40 ikameli Trakit 75 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 75 %40	5, 17	5, 92	7, 52	20, 94	32, 65	33, 12			
	5, 35	6, 22	7, 4	22, 85	31, 62	34, 76			
	5, 15	6, 17	7, 38	24, 12	32, 15	34, 58			
				20, 87	32, 02	34, 16			
				18, 42	32, 27	32, 43			
				21, 81	33, 44	33, 86			
Ortalama	5, 22	6, 10	7, 43	21, 50	32, 36	33, 82	68	68	63

9. %50 ikameli Trakit 75 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Trakit 75 %50	3, 86	4, 89	6, 04	17, 85	24, 69	29			
	3, 87	5, 65	6, 19	18, 27	23, 93	29, 86			
	3, 90	5, 55	6, 23	17, 41	24, 45	28, 19			
				15, 75	23, 67	27, 04			
				17, 37	24, 31	29, 23			
				17, 25	20, 06	28, 69			
Ortalama	3, 88	5, 36	6, 15	17, 32	23, 52	28, 67	55	50	54

Ek Tablo 3

1. %25 ikameli Riyolit 45 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 45 %25	5, 31	6, 46	7, 21	21, 66	35, 77	37, 14			
	5, 11	7, 38	7, 35	22, 92	32, 56	40, 22			
	4, 90	6, 61	7, 04	23, 02	38, 01	37, 66			
				21, 93	38, 37	40, 95			
				22, 36	35, 97	42, 58			
				20, 49	38, 25	40, 51			
Ortalama	5, 11	6, 82	7, 20	22, 06	36, 49	39, 84	70	77	75

2. %40 ikameli Riyolit 45 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 45 %40	4, 24	4, 61	6, 01	14, 9	20, 46	29, 44			
	3, 54	4, 98	5, 97	14, 69	18, 63	32, 71			
	3, 41	5, 14	6, 17	13, 24	19, 65	31, 84			
				14, 39	19, 49	29, 23			
				15, 59	18, 79	31, 95			
				13, 27	21, 51	30, 96			
Ortalama	3, 73	4, 91	6, 05	14, 35	19, 76	31, 02	45	42	58

3. %50 ikameli Riyolit 45 harç çubukların puzolanik aktivite indeksleri

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 45 %50	3, 51	4, 43	5, 42	12, 95	19, 62	23, 56			
	3, 30	4, 47	4, 91	10, 37	19, 05	22, 35			
	3, 42	3, 95	5, 81	11, 64	17, 65	22, 48			
				12, 49	17, 22	23, 07			
				13, 56	18, 81	23, 55			
				11, 9	17, 24	24, 33			
Ortalama	3, 41	4, 28	5, 38	12, 15	18, 27	23, 22	38	39	43

4. %25 ikameli Riyolit 60 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 60 %25	5, 65	7, 47	8, 74	28, 26	42, 03	41, 9			
	5, 48	6, 89	8, 26	25, 85	38, 35	40, 6			
	5, 70	6, 41	8, 50	26, 92	40, 45	42, 22			
				23, 45	40, 18	41, 82			
				29, 06	41, 03	45, 21			
				24, 02	38, 36	45, 21			
Ortalama	5, 61	6, 92	8, 5	26, 26	40, 07	42, 83	83	85	80

5. %40 ikameli Riyolit 60 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 60 %40	4, 80	6, 45	7, 45	19	34, 15	34, 2			
	4, 44	6, 56	7, 87	18, 59	32, 58	33, 04			
	4, 98	6, 52	8, 33	19, 15	33, 15	35, 71			
				20, 14	28, 11	33, 98			
				20, 79	34, 57	30, 61			
				16, 72	33, 4	30, 18			
Ortalama	4, 74	6, 51	7,	19, 07	32, 66	32, 95	60	69	62

6. %50 ikameli Riyolit 60 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 60 %50	3, 74	5, 54	6, 70	14, 6	23, 98	26, 99			
	3, 48	5, 17	6, 13	14, 5	19, 73	25, 2			
	3, 52	5, 01	7, 27	14, 07	20, 86	25, 06			
				12, 94	21, 53	24, 88			
				13, 54	19, 19	27, 36			
				14, 57	22, 58	29, 48			
Ortalama	3, 58	5, 24	6, 7	14, 04	21, 31	26, 50	44	45	50

7. %25 ikameli Riyolit 75 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 75 %25	4, 95	7, 80	9, 98	25, 03	40, 98	42, 86			
	4, 95	7, 36	8, 42	20, 74	43, 25	45, 24			
	4, 75	7, 38	8, 27	22, 37	43, 78	42, 37			
				24, 3	37, 91	40, 89			
				24, 22	41, 77	43, 08			
				23, 7	39, 7	42, 94			
Ortalama	3, 58	7, 51	8, 89	23, 39	41, 23	42, 90	74	87	80

8. %40 ikameli Riyolit 75 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 75 %40	4, 10	5, 75	6, 65	20, 26	26, 55	34, 31			
	4, 10	5, 24	7, 86	19, 11	25, 5	35, 72			
	4, 17	5, 08	7, 31	20, 63	26, 3	33, 67			
				19, 44	28, 14	33, 80			
				17, 55	28, 72	34, 59			
				18, 61	26, 18	30, 71			
Ortalama	4, 22	5, 36	7, 27	19, 27	26, 90	33, 80	61	57	63

9. %50 ikameli Riyolit 75 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
Riyolit 75 %50	3, 51	5, 63	6, 19	13, 95	19, 65	30, 9			
	3, 30	4, 54	6, 49	13, 37	19, 26	29, 57			
	3, 42	5, 03	6, 28	13, 64	22, 09	32, 61			
				12, 49	18, 53	28, 86			
				13, 7	22, 63	30, 01			
				12, 9	20, 22	30, 70			
Ortalama	3, 41	5, 07	6, 32	13, 34	20, 40	30, 44	42	43	57

Ek Tablo 4

1. %25 ikameli YFC N harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC N %25	4, 78	7, 89	9, 48	19, 26	37, 54	50, 13			
	4, 69	8, 63	8, 89	18, 09	41, 33	51, 43			
	4, 90	8, 10	9, 17	19, 84	36, 94	51, 40			
				17, 75	38, 57	48, 56			
				17, 62	40, 25	48, 04			
				20, 47	37, 34	48, 02			
Ortalama	4, 79	8, 21	9, 18	18, 96	38, 66	49, 60	60	82	93

2. %40 ikameli YFC N harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC N %40	4, 01	8, 62	9, 5	15, 91	37, 17	43, 6			
	4, 10	8, 01	8, 97	14, 83	33, 86	43			
	4, 06	7, 93	8, 56	13, 06	32, 32	40, 57			
				13, 72	38, 23	46, 87			
				15, 28	31, 21	45, 87			
				15, 04	30, 24	47, 63			
Ortalama	4, 06	8, 19	9, 01	14, 64	33, 84	43, 56	46	71	81

3. %50 ikameli YFC N harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC N %50	4, 20	7, 55	10, 07	11, 92	31, 17	44, 28			
	4, 12	8, 45	10, 06	12, 01	36, 24	45, 8			
	4, 01	7, 98	9, 98	11, 73	32, 82	41, 90			
				12, 01	38, 28	43, 27			
				9, 88	31, 40	44, 76			
				11, 41	36, 29	41, 33			
Ortalama	4, 11	7, 99	10, 04	11, 49	34, 37	44, 59	36	73	83

4. %25 ikameli YFC 20 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC 20 %25	5, 39	8, 93	9, 48	23, 66	37, 67	58, 46			
	6, 02	9, 00	8, 89	26, 45	40, 39	46, 82			
	5, 98	8, 46	9, 17	21, 08	37, 97	53, 26			
				24, 79	35, 9	54, 61			
				25, 29	37, 15	52, 25			
				24, 33	36, 89	51, 08			
Ortalama	5, 80	8, 66	9, 18	24, 27	37, 66	52, 75	77	80	99

5. %40 ikameli YFC 20 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC 20 %40	4, 94	6, 48	10, 07	17, 65	33, 26	47, 6			
	4, 26	7, 01	10, 06	20, 61	35, 59	43, 4			
	4, 54	6, 72	9, 98	20, 16	34, 07	46, 13			
				18, 5	35, 01	46, 45			
				19, 3	38, 69	52, 86			
				18, 34	36, 05	51, 67			
Ortalama	4, 58	6, 74	10, 04	19, 09	35, 45	48, 02	60	75	90

6. %50 ikameli YFC 20 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC 20 %50	3, 83	8, 61	10, 07	12, 59	31, 26	44, 61			
	3, 78	7, 92	10, 06	12, 59	31, 44	45, 8			
	3, 58	7, 98	9, 98	12, 42	32, 01	44, 20			
				12, 72	30, 68	47, 96			
				13, 05	31, 4	50, 94			
				13, 14	28, 78	50, 96			
Ortalama	3, 73	8, 17	10, 04	12, 75	30, 93	47, 41	40	65	89

7. %25 ikameli YFC 40 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC 40 %25	4, 59	6, 71	9, 81	17, 85	35, 1	50, 25			
	4, 29	8, 55	9, 52	17, 68	37, 01	50, 97			
	5, 03	8, 22	9, 62	17, 96	35, 65	50, 22			
				19, 69	36, 03	52, 20			
				17, 48	35, 53	48, 90			
				18, 91	34, 53	47, 23			
Ortalama	4, 64	7, 83	9, 65	18, 26	35, 64	49, 96	58	75	93

8. %40 ikameli YFC 40 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC 40 %40	3, 62	7, 01	8, 8	14, 08	31, 55	48, 39			
	3, 79	7, 79	8, 45	13, 87	36	47, 85			
	3, 61	6, 82	10, 01	13, 45	37, 12	45, 27			
				14, 02	37, 43	49, 31			
				11, 58	34, 59	48, 38			
				10, 78	31, 22	50, 6			
Ortalama	3, 67	7, 21	9, 09	12, 96	34, 65	48, 30	41	73	90

9. %50 ikameli YFC 40 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
YFC 40 %40	3, 45	8, 52	8, 72	11, 43	28, 47	43, 24			
	3, 78	7, 28	8, 49	12, 01	30, 96	40, 11			
	3, 51	7, 78	8, 93	9, 5	32, 41	37, 50			
				11, 63	30, 28	38, 90			
				14, 28	33, 90	37, 70			
				11, 63	31, 2	39, 10			
Ortalama				11, 75	31, 20	39, 43	37	66	74

Ek Tablo 5.

1. %25 ikameli UK N harç çubukları puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
UK N %25	3,54	7,59	9,80	14,87	36,45	39,8			
	3,49	8,33	8,73	14,15	35,68	45,32			
	3,58	8,01	9,73	14,15	36,21	42,01			
				12,47	34,31	37,90			
				12,37	37,07	47,90			
				12,45	37,73	46,85			
Ortalama	3,73	8,17	10,04	13,41	36,24	43,30	42	77	81

2. %25 ikameli UK 20 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
UK 20 %25	3,43	8,70	9,76	11,22	41, 23	41, 22			
	3, 91	9, 75	9, 54	14, 10	38, 82	39, 05			
	3, 38	8, 43	9, 66	13, 40	39, 16	44, 63			
				13, 84	39, 00	47, 04			
				13, 27	39, 75	45, 97			
				14, 12	38, 73	45, 74			
Ortalama	3, 73	8, 17	10, 04	13, 33	39, 45	43, 94	42	83	82

3. %25 ikameli UK 40 harç çubukların puzolanik aktivite indeksi

Kullanılan Puzolan	Eğilme Dayanımı (N/ mm ²)			Basınç Dayanımı (N/ mm ²)			Puzolanik aktivite (%)		
	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
UK 40 %25	3, 54	8, 52	7, 32	13, 40	42, 26	50, 10			
	3, 62	10, 02	9, 91	13, 29	40, 00	47, 04			
	3, 59	9, 01	7, 57	14, 71	39, 76	44, 95			
				13, 55	39, 85	44, 52			
				14, 55	41, 28	43, 89			
				13, 5	43, 10	39, 40			
Ortalama	3, 73	8, 17	10, 04	13, 83	41, 04	44, 98	44	87	84

ÖZGEÇMİŞ

Vahiddin Alperen BAKI, 26.09.1992'de Trabzon'da doğdu. İlköğretimini Mehmet Akif Ersoy İlköğretim okulunda, liseyi Trabzon Lisesinde tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesini İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı. İngilizce bilmektedir.

