



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KALSİNE EDİLMİŞ DİATOMİTLİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

AHMET YILDIRIM

Haziran 2020

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KALSİNE EDİLMİŞ DİATOMİTLİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

AHMET YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR

Haziran 2020

Ahmet YILDIRIM tarafından **Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR** danışmanlığında hazırlanan “**Kalsine Edilmiş Diatomitli Harçların Özellikleri**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. İbrahim Özgür DENEME, Aksaray Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

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

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet YILDIRIM



ÖZET

KALSİNE EDİLMİŞ DİYATOMİTLİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİ

YILDIRIM, Ahmet

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR

Haziran 2020, 128 sayfa

Çimento esaslı bağlayıcılar dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerindedir. Bu çalışmada, çimento yerine ağırlığınca farklı oranlarda öğütülmüş kalsine diatomit kullanılan yüksek performanslı harçların ortam ve 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve mikroyapısal özellikleri araştırılmıştır. Yüksek performanslı harç karışımlarında çimento yerine ağırlıkça % 0, % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında öğütülmüş kalsine diatomit kullanılmıştır. Bu karışım oranlarında üretilen yüksek performanslı harçların 14, 28, 56 ve 90 günlük birim ağırlık, ultrases geçiş hızı (U_{pv}), eğilme dayanımı (f_s), basınç dayanımı (f_c) değerleri araştırılmıştır. Dahası, bu harçların 56 gün sonra 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki birim ağırlık, ultrases geçiş hızı (U_{pv}), eğilme dayanımı (f_s), basınç dayanımı (f_c) değerleri araştırılmıştır. Bu harçların mikroyapısal özellikleri ise X-ışını kırınımı (XRD), polarize ışık mikroskobu (PLM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımı spektrometresi (EDS) analizleri ile araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, öğütülmüş kalsine diatomitin kısmi yerdeğişim malzemesi olarak Portland çimentosu yerine başarılı bir şekilde kullanılabilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ortam ve yüksek sıcaklıklara maruz kalan yüksek dayanımlı harçların mekanik özelliklerinden Portland çimentonun öğütülmüş kalsine diatomit ile optimum değiştirme seviyesinin % 15 olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yüksek dayanımlı harç, öğütülmüş kalsine diatomit, yüksek sıcaklık, mekanik ve mikroyapısal özellikler

SUMMARY

PROPERTIES OF CALCINED DIATOMITE MORTARS

YILDIRIM, Ahmet

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of natural and Applied Sciences

Department of Civil engineering

Supervisor : Professor Dr. Mustafa SARIDEMİR

June 2020, 128 pages

Cement-based binders are among the most used building materials in the world. In this study, the mechanical and microstructural properties of high performance mortars, which are used in different ratios of ground calcined diatomite instead of cement, are investigated at ambient and 400 °C, 600 °C, 800 °C and 1000 °C high temperatures. In the high performance mortar mixtures, Portland cement is replaced with ground calcined diatomite at ratios of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. The unit weight, ultrasound pulse velocity (U_{pv}), flexural strength (f_s) and compressive strength (f_c) values of the high performance mortars in these mixing ratios are investigated at 14, 28, 56 and 90 days. Moreover, the unit weight, U_{pv} , f_s and f_c values of these mortars exposed to 400 °C, 600 °C, 800 °C and 1000 °C high temperatures after 56 days are investigated. Microstructure properties of these mortars are investigated with the analyses of X-ray powder diffraction (XRD), polarized light microscopy (PLM), scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). The experimental results show that the ground calcined diatomite has a potential to be successfully employed as a partial replacement of Portland cement. It can be seen from the mechanical properties of high strength mortars exposed to ambient and high temperatures that the optimal replacement level of Portland cement by ground calcined diatomite is 15%.

Keywords: High strength mortar, ground calcined diatomite, high temperature, mechanical and microstructural properties.

ÖN SÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmasının yürütülmesi sürecinde deneysel çalışmalarına yardımcı olan, bilgi ve düşüncelerini benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR'e, Yüksek Lisans eğitimi sürecimde bilgi ve yardımları ile meslek hayatıma yön veren değerli hocam Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN'a, meslek hayatımda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU'na ve Yüksek Lisans tez çalışması sürecinde desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili eşim Serap YILDIRIM'a teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalışması sürecinde kendileri ile çok fazla ilgilenemediğim için varlıkları ile neşe ve motivasyon kaynağım olan canım kızlarımdan özür dilerim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
SİMGE VE KISALTMALAR	xv
BÖLÜM I. GİRİŞ	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1 Diatomit	4
2.1.1 Diatomitin tanımı	4
2.1.2 Diatomitin tarihçesi	5
2.1.3 Diatomit yataklarının oluşumu	6
2.1.4 Diatomit yataklarının dağılımı	8
2.1.5 Diatomitin kullanım alanları	12
2.1.6 Diatomitin yapısı	12
2.1.7 Diatomitin genel özellikleri	13
2.1.7.1 Diatomitin fiziksel özellikleri	13
2.1.7.2 Diatomitin kimyasal özellikleri	13
2.1.7.3 Diatomitin mineralojik özellikleri	14
2.1.7.4 Diatomitin puzolanik aktivitesi	15
2.1.8 Diatomitin taze harç ve beton özelliklerine etkisi	17
2.1.9 Diatomitin sertleşmiş harç ve beton özelliklerine etkisi	19
2.1.9.1 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun birim ağırlığına etkisi	19
2.1.9.2 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun ultrases geçiş hızına etkisi ..	21
2.1.9.3 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun eğilme dayanımına etkisi	24
2.1.9.4 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun basınç dayanımına etkisi	26
2.1.9.5 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun elastisite modülüne etkisi	34
2.2 Yapılmış Çalışmalar	35

BÖLÜM III. DENEYSEL ÇALIŞMA	40
3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	40
3.1.1 Çimento.....	40
3.1.2 Öğütülmüş kalsine diatomit.....	41
3.1.2.1 Diatomitin Kalsinasyon ve Öğütülme İşlemi	42
3.1.3 Kum	44
3.1.4 Süper akışkanlaştırıcı	45
3.1.5 Karışım suyu	46
3.2 Harç Karışım Oranları	46
3.3 Harç Üretimi ve Kürü	47
3.4 Yüksek Sıcaklık Uygulaması.....	48
3.5 Taze Harç Deneyleri	49
3.5.1 Yayılma ve birim ağırlık.....	49
3.6 Sertleşmiş Harç Deneyleri	50
3.6.1 Sertleşmiş birim ağırlık	50
3.6.2 Ultrases geçiş hızı	51
3.6.3 Eğilme dayanımı.....	52
3.6.4 Basınç dayanımı	54
3.7 Yüksek Sıcaklık Sonrası Harç Deneyleri.....	55
3.7.1 Yüksek sıcaklık sonrası sertleşmiş birim ağırlık	56
3.7.2 Yüksek sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı	56
3.7.3 Yüksek sıcaklık sonrası eğilme dayanımı.....	56
3.7.4 Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı	56
3.8 Mikroyapı Analizleri.....	57
3.8.1 XRD analizi	57
3.8.2 PLM analizi	58
3.8.3 SEM ve EDS analizi	59
BÖLÜM IV. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	60
4.1 Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	60
4.1.1 Yayılma ve birim ağırlık	60
4.2 Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	61
4.2.1 Sertleşmiş birim ağırlık	61
4.2.2 Ultrases geçiş hızı	64
4.2.3 Eğilme dayanımı.....	67

4.2.4 Basınç dayanımı	70
4.3 Yüksek Sıcaklık Sonrası Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	74
4.3.1 Yüksek sıcaklık sonrası sertleşmiş birim ağırlık	74
4.3.2 Yüksek sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı	78
4.3.3 Yüksek sıcaklık sonrası eğilme dayanımı.....	82
4.3.4 Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı	87
4.4 Sertleşmiş Beton Özellikleri Arasındaki İlişkiler	92
4.4.1 Eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki	92
4.4.2 Basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki.....	93
4.4.3 Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	94
4.5 Yüksek Sıcaklık Sonrası Sertleşmiş Beton Özellikleri Arasındaki İlişkiler.....	94
4.5.1 Sertleşmiş birim ağırlıkları arasındaki ilişki.....	94
4.5.2 Ultrases geçiş hızları arasındaki ilişki	95
4.5.3 Eğilme dayanımları arasındaki ilişki	96
4.5.4 Basınç dayanımları arasındaki ilişki	97
4.6 Mikroyapı Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	98
4.6.1 XRD analiz	98
4.6.2 PLM analizi	102
4.6.3 SEM ve EDS analizi	107
BÖLÜM V. SONUÇLAR.....	114
KAYNAKLAR	118
ÖZGEÇMİŞ	127
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER	128

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Dünyadaki diatomit rezervleri	11
Çizelge 2.2. Bazı bölgelere ait diatomitin kimyasal özellikleri	14
Çizelge 2.3. Ticari önemi olan diatomitin kimyasal içeriği	14
Çizelge 2.4. Doğal puzolanların içeriğinde bulunan oksit miktarları	16
Çizelge 2.5. Ham diatomitli harçların çökmesi	18
Çizelge 2.6. Diatomitli harçların sertleşmiş birim ağırlıkları	20
Çizelge 2.7. Diatomitli harçların U_{pv} değerleri	23
Çizelge 2.8. 3 farklı oranda diatomit içeren harçların f_c değerleri	27
Çizelge 2.9. 6 farklı oranda diatomit içeren harçların f_c değerleri	28
Çizelge 2.10. Yüksek sıcaklıklardaki diatomitli betonların f_c değerleri	32
Çizelge 3.1. Çimento esaslı malzemelerin özellikleri	41
Çizelge 3.2. CEN standart ve kalker kumlarının elek analizleri	45
Çizelge 3.3. Kullanılan süper akışkanlaştırıcının özellikleri	46
Çizelge 3.4. Diatomitli harç karışım miktarları (3 adet prizmatik numune için).....	47
Çizelge 4.1. Harçların birim ağırlık değerleri	62
Çizelge 4.2. Harçların U_{pv} değerleri	64
Çizelge 4.3. Harçların f_{fs} değerleri	67
Çizelge 4.4. Harçların f_c değerleri	70
Çizelge 4.5. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların birim ağırlık değerleri	74
Çizelge 4.6. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların U_{pv} değerleri.....	79
Çizelge 4.7. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların f_{fs} değerleri	83
Çizelge 4.8. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların f_c değerleri	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye diatomit yatakları	10
Şekil 2.2. Dünya diatomit rezervi	11
Şekil 3.1. Öğütülmüş ham diatomitin TGA ve DTA eğrileri	43
Şekil 3.2. CEN standart ve kalker kumlarının granülometri eğrileri	45
Şekil 4.1. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri	63
Şekil 4.2. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri	63
Şekil 4.3. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri.....	65
Şekil 4.4. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri	66
Şekil 4.5. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri	68
Şekil 4.6. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri	69
Şekil 4.7. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri.....	72
Şekil 4.8. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri	73
Şekil 4.9. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri.....	75
Şekil 4.10. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri.....	76
Şekil 4.11. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerlerinin üç boyutlu değişimi.....	77
Şekil 4.12. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerlerinin üç boyutlu değişimi.....	77
Şekil 4.13. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri	79
Şekil 4.14. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri	80
Şekil 4.15. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerlerinin üç boyutlu değişimi	81
Şekil 4.16. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerlerinin üç boyutlu değişimi	81

Şekil 4.17. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri.....	84
Şekil 4.18. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri	85
Şekil 4.19. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerlerinin üç boyutlu değişimi.....	86
Şekil 4.20. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerlerinin üç boyutlu değişimi	86
Şekil 4.21. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri	89
Şekil 4.22. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri	90
Şekil 4.23. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerlerinin üç boyutlu değişimi	91
Şekil 4.24. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerlerinin üç boyutlu değişimi	91
Şekil 4.25. Rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} ve f_{fs} değerleri arasındaki ilişki	92
Şekil 4.26. Rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} ve f_c değerleri arasındaki ilişki	93
Şekil 4.27. Rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c ve f_{fs} değerleri arasındaki ilişki	94
Şekil 4.28. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki	95
Şekil 4.29. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri arasındaki ilişki	96
Şekil 4.30. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri arasındaki ilişki	97
Şekil 4.31. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri arasındaki ilişki	98
Şekil 4.32. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların XRD analizleri	100
Şekil 4.33. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların XRD analizleri	101
Şekil 4.34. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların matrislerinin PLM analizleri	103

Şekil 4.35. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların agrega ve arayüzey bölgelerinin PLM analizleri	104
Şekil 4.36. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların matrislerinin PLM analizleri	106
Şekil 4.37. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların agrega ve arayüzey bölgelerinin PLM analizleri	107
Şekil 4.38. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların SEM analizleri	109
Şekil 4.39. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların SEM analizleri	110
Şekil 4.40. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların EDS nokta analizleri	112
Şekil 4.41. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların EDS nokta analizleri	113



FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Diatomitin genel görünümü	4
Fotoğraf 2.2. Diatomit yatağı görünümü	7
Fotoğraf 2.3. Diatomit yatağı görünümü	7
Fotoğraf 2.4. Doğada bulunan bazı diatomit türlerinin şekilleri	12
Fotoğraf 3.1. Harç karışımlarında kullanılan mineral katkıları	42
Fotoğraf 3.2. CEN standart kumu (Rilem kumu)	44
Fotoğraf 3.3. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numune örnekleri	48
Fotoğraf 3.4. Yayılma deneyi	49
Fotoğraf 3.5. Sertleşmiş birim ağırlık ölçümü.....	51
Fotoğraf 3.6. Ultrases geçiş hızı ölçümü	52
Fotoğraf 3.7. Eğilme deneyinin yapılışı.....	54
Fotoğraf 3.8. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin eğilme deneyinden sonraki kırılma yüzeyi örnekleri.....	55
Fotoğraf 3.9. Basınç deneyinin yapılışı	57
Fotoğraf 3.10. Diatomitli harçların PLM analizi için hazırlanan ince kesit örnekleri ...	59
Fotoğraf 4.1. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen harçların su ile reaksiyonu.....	78

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
Δ	Birim ağırlık
μs	Mikrosaniye
μm	Mikrometre
%	Yüzde
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	Amerikan Deney ve Malzeme Birliği
A_c	Kuvvetin Etkidiği Numune Yüzey Alanı
b	Kiriş Numunenin Eni
C	Çimento
C-A-S-H	Kalsiyum Silika Hidrat
C-H	Kalsiyum Hidrat
C-S-H	Kalsiyum Silika Hidrat
CEN	Avrupa Standartları Komitesi
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekaare
cm^3	Santimetreküp
D	Diatomit
DTA	Diferansiyel Termal Analizi
d	Kiriş Numunenin Yüksekliği
dm^3	Desimetreküp
EDS	Enerji Dağılımı Spektrometresi
f_c	Basınç Dayanımı
f_{fs}	Eğilme Dayanımı
g	Gram
KÇ	Katkılı Çimento
KK	Kalker Kumu İçeren Harç Numunesi

kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
kgf	Kilogramkuvvet
km	Kilometre
L	Kiriş Numunenin Uzunluğu
MPa	Megapaskal
MS	Milattan Sonra
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ÖKD	Öğütülmüş Kalsine Diatomit
P _a	Harç Ağırlığı
P	Numune Yüzey Alanına Etkiyen Kuvvet
PÇ	Portland Çimentosu
PLM	Polarize Işık Mikroskobu
RK	Rilem Kumu İçeren Harç Numune
R ²	Düzeltilmiş Korelasyon Katsayısı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
S	Harç Numunenin Dalga Gönderilen Yüzeyi ile Dalganın Alındığı Yüzey Arasındaki Mesafe
SA	Süperakışkanlaştırıcı
sn	Saniyet
d	Kiriş Numunenin Yüksekliği
TGA	Termogravimetrik analizi
TS	Türk Standartları
t	Sesüstü Dalganın Gönderilmiş Olduğu Yüzeyinden, Alındığı Yüzeye Kadar Geçen Zaman
U _{pv}	Ultrases Geçiş Hızı
V _h	Harç Hacmi
vd.	Ve Diğerleri
XRD	X-Işını Kırınımı

BÖLÜM I

GİRİŞ

Çimento esaslı bağlayıcılar, yapı malzemesi olarak dünyada en çok tercih edilen malzemelerdendir. Çimento esaslı bağlayıcılar, çimento üretimi esnasında direkt kullanılarak katkılı çimento üretiminde ya da harç veya beton üretiminde çimento yerine kısmi yer değişim malzemesi olarak kullanılır. Bir yapıdan beklenen performans, yapının kendi yükleri, dış yükler ve hareketli yüklerden meydana gelen etkilere karşı koyabilmesidir. Bu etkilere karşı koyacak yapıyı oluşturan beton; çimento, iri agrega, ince agrega ve su bileşimlerinden meydana gelir. Bazen betonun performansını arttırmak için kimyasal ve mineral katkılarda bileşenlere eklenebilir. Bu malzemelerle belirli karışım oranlarında hazırlanan beton hem dayanım hem de durabilite olarak gerekli performansı gösterir. Harç; çimento, su ve ince agrega bileşiminden meydana gelmektedir. Beton da harçlarda kullanılan malzemelere ek olarak iri agrega bileşenlere eklenir. Karışımlarda kullanılan iri agrega betonun dayanımı üzerinde daha fazla etki gösterirken, harç ise iri agreganın etrafını sararak hem bağlayıcılık özelliği gösterir hem de boşlukları doldurma görevini üstlenir.

Yapılar deprem, sel gibi doğal afetlere maruz kalabilir. Yapılarda oluşabilecek diğer büyük tehlike ise yangındır. Yangın anında betonarme yapılarda genellikle 500 °C sıcaklığın üzerinde dayanım kaybı olmakta ve yapının çökmesine neden olabilmektedir. Çeşitli malzemelerle yapılan yapılarda diğer malzemelere göre beton yangın dayanımı yüksek olan malzemelerdendir. Bu tür dış etkilere karşı harç ve betonlar, bileşimlerinde kullanılan malzemelerin farklı oranlarda kullanılmasıyla farklı performans sergileyebilirler. Günümüzde çok geniş kullanım alanı olan harç ve beton farklı ortam koşullarından etkilenmeyecek bir şekilde üretilebilir. Harç ve betonların fiziksel ve kimyasal özellikleri çok karmaşıktır. Bu özellikleri etkileyen en önemli faktörler karışımlarda kullanılan malzemelerin özellikleridir. Hangi ortam veya koşula göre harç ve beton üretilecekse, üretimde kullanılacak malzemelerin özelliklerinin ve üretilen harç ve betonların daha iyi performans gösterebilmeleri için çok detaylı araştırmaları ve deneysel çalışmalarının yapılması gerekir.

Harç ve beton üretiminde en yüksek maliyet çimentodur. Günümüzde harç ve beton üretiminde çimento yerine uçucu kül, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu, metekaolin, pirinç kabuğu külü ve zeolit gibi puzolanik özellik gösteren malzemeler %5 ile %20 arasında beton ve harç üretiminde kullanılabilir. Bu puzolanik malzemelerin betonda kullanılması ile ekonomiklik ve yüksek performanslı harç ve betonlar üretilmektedir. Bağlayıcı malzeme olarak bu tür puzolanik malzemelerin kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. Genellikle bu puzolanik malzemeler harç ve beton üretiminde ekonomiklik, işlenebilirlik ve yüksek performans elde etmek için kullanılmaktadır. Silis dumanı gibi çok ince taneli malzemeler beton üretiminde su ihtiyacını arttırmaktadır. Gerekli işlenebilirliğin elde edilmesi için harç ve beton üretimlerinde kullanılan su miktarının artması, harç ve betonun segregasyona uğramasına, dayanımın düşmesine, daha boşluklu bir yapıda olmasına, geçirgenliğinin artmasına ve durabiletesinin azalmasına neden olmaktadır. Bu tür katkılar son yıllarda geliştirilen su azaltıcı özellikte olan süper ve hiper akışkanlaştırıcılar ile birlikte harç ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Bu gelişimlerle puzolan katkı harç ve betonların su ihtiyacı azaltılmakta ekonomik ve yüksek performanslı harç ve beton üretilmektedir.

Diatomit, silis içeren alglerin fosilleşmesiyle meydana gelen organik bir malzemedir. Diatomitin başlıca kullanım alanları; filtre yardımcı malzemesi, dolgu malzemesi, katkı malzemesi, katalizör taşıyıcısı malzemesi, izolasyon malzemesi, aşındırıcı ve yüzey temizleyici malzemesi, gübrelerde taşıyıcı malzemesi ve hafif yapı malzemesidir. Ülkemiz zengin diatomit yataklarına ev sahipliği yapmaktadır. Ancak bu yatakları yeterince değerlendirememektedir.

Bu tez çalışmasında, kalsine edilmiş diatomit çimento yerine ağırlıkça farklı oranlarda kullanılarak kalsine edilmiş diatomitli harçların fiziksel, mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. Bu çalışma, kalsine edilmiş diatomitin çimento yerine belirli oranlarda kullanılması sonucunda harç ve beton üretiminde asıl maliyeti oluşturan çimento kullanımının azaltılmasını amaçlamaktadır. Ayrıca, fabrikalarda çimento üretimi sürecinde atmosfere salınan sera gazlarının azaltılmasını hedeflemektedir. Deneysel çalışmalarda, yüksek dayanımlı harç üretimi için çimento, kalsine edilmiş diatomit, rilem kumu ya da kalker kumu, su ve süper akışkanlaştırıcı malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelerden sadece çimento kullanılan (kalsine edilmiş diatomit kullanılmayan) kontrol harçları üretilmiştir. Ayrıca, bu malzemelerden çimento yerine

ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kalsine edilmiş diatomit kullanılarak diatomitli harçlar üretilmiştir. Üretilen harç numuneleri standart koşullarda 14, 28, 56 ve 90 gün küre maruz bırakıldıktan sonra, numuneler üzerinde hasarsız deneylerden birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı (U_{pv}) ve hasarlı deneylerden eğilme dayanımı (f_s) ve basınç dayanımı (f_c) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunlara ilaveten 56 gün kür işlemine tabi tutulan harç numuneleri dakikada 3 °C artış hızıyla 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara 2 saat süresince maruz bırakılmıştır. Bu yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler üzerinde birim ağırlık, U_{pv} , f_s ve f_c deneyleri gerçekleştirilmiştir. Dahası, 56 gün kür işlemine tabi tutulduktan sonra 25±2 °C (ortam), 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan harç numunelerinden seçilen bazı harç numuneleri üzerinde X-ışını kırınımı (XRD), polarize ışık mikroskobu (PLM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımı spektrometresi (EDS).analizleri gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

2.1 Diatomit

2.1.1 Diatomitin tanımı

Diatomit, volkanik hareketliliğin olduğu bölgelerdeki su birikintilerinde fotosentezin gerçekleştirildiği yaklaşık 0 ile 40 m derinliklerde yaşayan tek hücreli bir alg türünden diatome iskeletleri ile kum, kil, volkanik kül ve diğer organik kalıntılardan meydana gelen bir kayaç türüdür. Diatome iskeletlerinin içeriği $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 'dir (Çetin ve Taş, 2012; Özbey ve Atamer, 1987; Uygun, 1976; Cummins, 1960). Silisli algler yaşam döngüsünü tamamladığı zaman çöker, alglerin organik kısmı çürür ve kaybolur. Çöken silisli alglerin kabukları taşlaşarak diatomit oluşumu meydana gelir (Çetin ve Taş, 2012; Temur, 2001; Önem, 2000; Breese, 1994). Diatomit, biyolojik olarak meydana gelen doğal bir mineraldir. Diatomit (kizelgur); “fossil unu”, “dağ unu”, “filis unu”, “beyaz turba” gibi isimler ile de adlandırılmıştır (Çetin ve Taş, 2012; Borat, 1992). Aynı zamanda diatome toprağı “Terrasilicea”, “Moskof toprağı” gibi çeşitli isimlerle de anılmıştır (Çetin ve Taş, 2012; Çoban, 2005). Fotoğraf 2.1’de Nevşehir yöresinden elde edilmiş diatomit kaya örnekleri görülmektedir.



Fotoğraf 2.1. Diatomitin genel görünümü

Diatome toprağı Anadolu'da pekmez şırasının süzülmesinde de kullanılmaktadır. Bu yüzden halk arasında “pekmez toprağı” olarak da bilinmektedir. Kuzey İrlanda'da bulunan Bann Nehri boyunca killi diatomit yatakları bulunmaktadır. Bu diatomit hafif tuğla yapımında kullanılmaktadır. Bu nedenle kuzey İrlanda'da diyatome toprağı “Bann kili” olarak da adlandırılmıştır. İskoçya'da Aberdeenshire Ballater yakınında bulunan diatome toprakları “beyaz turba” olarak isimlendirilmiştir (Çetin ve Taş, 2012; DPT, 2001). Danimarka'da bulunan tuf ve kille karışık halde bulunan diatomitlere “Moler, Molerde veya Moler earth” adı verilmektedir (Çetin ve Taş, 2012; Uygun, 1976).

2.1.2 Diatomitin tarihçesi

Diatomit yatakları dünyada milyonlarca yıl ve farklı jeolojik devirlerde değışen iklim ve jeolojik şartlar altında meydana gelmiştir. Dünyada diatomit yatakları özellikle Neojen jeolojik devrinde maksimum gelişme göstermiş, Türkiye'de bulunan diatomit yatakları da Neojen devrinin içerisinde yer alan Miyosen devrinde oluşmuştur. Volkanik püskürük kütleler diatomit yataklarının oluşmasında büyük bir rol oynamaktadır. Diatomitlerdeki kabuklar SiO_2 'yi bu volkanik püskürük kütlelerin içerdiği silikatlardan sağlamışlardır. Türkiye'de bulunan volkanik püskürük kütlelerin böldüğü, tatlı su göllerinde diatomit yatakları oluşmuştur. Oluşan bazı diatomit yataklarında diatomit rezerv içeriğinde de volkanik tuf ve diğere volkanik malzemelerin olduğu tespit edilmiştir (Sezer, 2010).

Diatomit dünyada çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. MS 530 yıllarında İstanbul'da inşa edilen Ayasofya'nın kubbesinde diatomitin hafiflik özelliğinden dolayı diatomitten üretilen tuğla kullanılmıştır (Çetin ve Taş, 2012; Özbey ve Atamer, 1987). 30 yıl savaşları sırasında Amerika ve Avrupa'da diatomit ve un karıştırılarak ekmek üretildiği de bilinmektedir (Çetin ve Taş, 2012; DESİYAB, 1979; MTA, 1968). Diatomit Avrupa'da dolgu ve izolasyon malzemesi olarak kullanılmıştır. 1867 yılında Nobel nitrogliserin ve diatomiti 3:1 oranında karışımlarında kullanarak taşınabilir bir patlayıcıyı elde etmiştir. Diatomit 19. yüzyılda şeker üretimi yapan şeker pancarı endüstrisinde filtre yardımcısı olarak kullanılmıştır. Diatomit yataklarının yetersiz ve kalitesiz olmasından dolayı filtre yardımcısı olarak kullanımı yavaş gelişmiş ve 20. yüzyılın başlarında kaliteli diatomit rezervlerinin bulunması ve diatomit üretim metotlarının gelişmesi ile diatomitin endüstride kullanımı hızlanmıştır. Amerika'nın

Kaliforniya eyaletinde bulunun diatomit yataklarının keşfi ve bu yatakların endüstriyel olarak işletilmesine 1912 yılında Amerika Kizelgur şirketi tarafından başlanmıştır. Bu şirket 1917 yılında Celite ismini almış, diatomit üretiminde hem teknolojik hem de endüstriyel bir gelişim kaydetmiştir (Çetin ve Taş, 2012; Özbey ve Atamer, 1987).

1950 yıllarından sonra diatomit çimento esaslı sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır (Çetin ve Taş, 2012; Elfert, 1973). Diatomit 1957 yılında ilk olarak Amerika'da doğal puzolan olarak kullanılmaya başlanmış ve Amerika'da Monticello Barajında pişirilmiş toprak olarak kullanılmıştır (Çetin ve Taş, 2012; Erdoğan ve Erdoğan, 2007). Günümüzde dünyada üretilen diatomitlerin %60'ı filtre yardımcısı üretiminde kullanılır. Dünyada başlıca diatomit üreticileri Amerikadaki Johns-Manville, Grefco ve Eagle Picher şirketleridir. Bu şirketler Kanada ve Amerika'daki diatomit kaynaklarını işletmektedirler. Bu üretici firmaları daha düşük üretim kapasitesiyle Fransa'daki Ceca şirketi izlemektedir. Fransa'daki Ceca şirketi daha çok Cezayir'deki diatomit yatakları ile birlikte Fransa'daki diatomit yataklarını işletmektedir (Sezer, 2010).

MTA Genel Müdürlüğünün Türkiye'deki diatomit yataklarının tespitinden önce diatomitin köylerde tebeşir olarak ve badana işlerinde kullanıldığı bilinmektedir (Çetin ve Taş, 2012; MTA, 1968). Türkiye'de diatomit üretimi ile ilgili çalışmalar 1955 yıllarında Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. ile başlamıştır. Bu çalışmalar 1967 yılında Şeker Araştırma Enstitüsünün diatomit üretimi ilgili çalışmaları sayesinde daha da genişlemiştir. Bu çalışmalar sürecinde MTA Türkiye'deki diatomit yatakları ile geniş bir rapor yayınlamıştır. Yayımlanan rapora göre ülkemizin zengin diatomit yataklarına sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların sonucunda 1980 yılında ülkemizde ilk diatomit fabrikası kurulmuştur (Çetin ve Taş, 2012; Özbey ve Atamer, 1987).

2.1.3 Diatomit yataklarının oluşumu

Diatomlar Jura jeolojik evresinden itibaren yaşamlarını devam ettirmektedirler. Diatomitin asıl gelişimi Neojen jeolojik devrinde olmuştur (Sezer, 2010). Diatomlar denizde, karada, tatlı su, tuzlu su hatta nemli kayalarda yaşamlarını sürdürebilirler. Diatomların çökmesi okyanussal diatome çamurları, bataklık tortulları, pleistosen interglasyel göl oluşukları ve volkanizma ile ilişkili gölssel ve denizsel çökeller olarak dört başlık altında incelenmiştir (Uygun, 1976; Taliaferro, 1933).

Bugün dünyada işletilen diatomit yatak tipleri pleistosen interglasyel göl oluşukları ve volkanizma ile ilişkili gölssel ve denizel çökeller gruplarına aittir. Almanya’da görülen Lüneburger Heide yatakları pleistosen interglasyel göl oluşukları grubuna girmektedir. Kalifornia ve Cezayir’in Miosen bölgesinde görülen yaşlı diatomitler, volkanizma ile ilişkili gölssel ve denizel çökeltilerdir. Türkiye, Orta Avrupa, Avustralya ve Endonezya gibi pek çok ülkede yaygın olarak görülen diatomit yatakları tatlı su çökeltileridir (Uygun, 1976). Fotoğraf 2.2’de California’daki ve Fotoğraf 2.3’te Columbia’daki diatomit yatakları görülmektedir.



Fotoğraf 2.2. Diatomit yatağı (URL-1, 2020)



Fotoğraf 2.3. Diatomit yatağı (URL-2, 2020)

Diatomitin oluşumunda silis içeriği ile beraber ortamda oluşacak bazı önemli etmenlerde gereklidir. Diatomitin oluşumu ve gelişmesinde geniş sığ basenler, fotosentezi engellemeyen derinliklerin ve planktonların denizde veya göl de gelişmesinde kırıntılı sedimentasyonun önemli bir rolü vardır. Oluşan dip sedimanlarında karbonatın çok az oluşu, toksit madde olmaması ve erimiş tuzların oranı diatomların gelişmesinde olumlu katkı sağlayan diğer önemli etmenlerdir (Sezer, 2010). Diatomların gelişmesi için su içerisinde eriyik olarak silis (SiO_2) bulunmalıdır. 1-5

mg/lt olan sularda oluşan tortul kayaçlar diatomit bakımından zengindir, diatomit oluşumunun meydana geldiği su kaynağının nötr veya hafif alkali içermesi, diatomit cinsine göre su sıcaklığının 3 ile 16 °C arasında olması, düşük bir fosfat ve nitrat içeriğine sahip olması, fotosentez olayının olması, besleyici miktarının fazla olması, toksit madde olmaması ve klasik tortul materyalin miktarının minimum olması gereklidir (Sezer, 2010; Yıldız, 1997; Işık, 1984).

Suda bulunan erimiş silisin en büyük tüketicileri diatomittir. Diatomit, kil mineralleri ve süngerlerle birlikte silis oranını denetlerler. Diatomit suda bulunan silis eriyiğini bünyesinde toplayarak suyun belirli değerdeki silis oranını sağlar. Bir alg türünden diatomeler ölümlemlerinden sonra silisli kavkılar şeklinde dibe çökelerek günümüzde ki diatomit rezervlerini oluştururlar (Uygun, 1976; Livingstone, 1963).

Su içerisinde silis oranının artması volkanizma sonrası termal etkinlik ve silikat ayrışımı sonucu açığa çıkan silis ile incelenmiştir. Volkanik patlamalar sonucunda oluşan termal değişim suyun ısını arttırmakta ve artan su ısı ile beraber su içerisinde bulunan eriyik silis de artmaktadır. Isısı artmış silisli kaynaklar erimiş silis içeriğine sahip olabilirler. Bu sebeple bu şekilde gelişmiş diatomit rezervlerinde silis yumruları oluşabilir. Su içerisinde silisin artışında ki diğer yaklaşım ise silikat ayrışımı sonucu açığa çıkan silistir. Bu oluşum genellikle yüksek silis kaynağı olan gevşek tüf, tüfitlerin plajyoklasların ve volkanik camların kimyasal ayrışmalarından dolayı meydana gelmektedir. Kil mineralleri, özellikle monmorillonit katmanlarında veya ara katkı olarak bu oluşumlarda görülmektedir (Uygun, 1976).

2.1.4 Diatomit yataklarının dağılımı

Avrupa diatomit rezervi bakımından en zengin kıtadır. Amerika zengin diatomit yatakları ile ikinci sırayı takip etmektedir. Dünyada bilinen tüm diatomit yatakları 800 milyon ton rezerve sahiptir. Bu rezervin 250 milyon tonu Amerika'da bulunmaktadır.

Dünyada toplam rezervin 2 milyar ton olduğu ve bu rezervin yarısından fazlasının Avrupa kıtasında yer aldığı bilinmektedir. Diğer rezervler Amerika, Özbekistan ve Kazakistan'da yer almaktadır (Çetin ve Taş, 2012; Antonides, 1999). Ülkemizde diatomit rezervi yaklaşık 125 milyon tondur (Çetin ve Taş, 2012).

Türkiye'de bulunan diatomit yatakları;

a) İç Anadolu'nun Güneydoğusu Bölgesi; Nevşehir, Niğde ve Kayseri illerinde diatomit yatakları bolca yer almaktadır. Türkiye'nin bilinen en büyük diatomit yatağı Kayseri ilinde bulunmaktadır. Bu diatomit yatağı Emmiler-Hırka Neojen havzasında yer alarak Kayseri'nin 30 km kuzeyinde bulunur. Yaklaşık olarak 21 m kalınlıkta olan bu diatomit yatak yapısının içinde değişik kalınlıklarda kil, mil ve tüfitik kumlara da rastlanmaktadır. Tabandan tavana doğru diziliş şekline göre kumlu, saf, killi ve kireçli olmak üzere dört diatomit katmanı gözlenmiştir (Çetin ve Taş, 2012; Uygun, 1976). Ayrıca Keprin-Toklar, Melenki, Oymağaç, Beydeğirmen köyleri yakınında da diatomit yatakları bulunmaktadır. Ürgüp yakınlarında da diatomit yatakları bulunmaktadır (Çetin ve Taş, 2012; Gabriel vd., 1979; Uygun, 1976). Aksaray ilinde Ihlara vadisinde bulunan Melendiz Çayı'nda yapılan jeolojik çalışmalarda vadinin Belisırma bölgesinde yer alan diatomitlerin Pleosen jeolojik döneminde oluştuğu ve yaklaşık olarak 15-20 m yüksekliğinde tabakalar halinde yayıldığı görülmüştür. Bu bölgelerde keşfedilen diatomit yataklarının araştırmalar sonucunda tatlı su habitatlı olduğu gözlenmiştir (Çetin ve Taş, 2012; Sıvacı ve Dere, 2006).

b) Ankara-Çankırı Bölgesi; Çankırı il sınırları içerisinde Orta, Çerkeş ve Şabanözü ilçeleri arasında bulunan bir alanda Bastak, Karağaç ve Akhasan diatomitleri bulunur. Bu rezervlerin bir bölümü işletilmektedirler. Ankara il sınırları içinde ise Güvem, Gürcüköy ile Ayaş'ın Başberket ve Gücügöz köylerinde diatomit yatakları bulunmaktadır (Çetin ve Taş, 2012; Uygun, 1976; MTA, 1968).

c) Batı Anadolu Bölgesi; bu bölgede Afyon-Şeydiler, Kütahya-Alayunt, Uşak-Kayağıl diatomitleri bulunmaktadır. Aydın-Karacasu, Denizli-Tırkaz ve Karakıran diatomit yatakları da bilinmektedir. Aynı zamanda Balıkesir-Gönen ile Bursa- Orhuneli'nde de diatomite rastlanılmıştır. Kütahya-Alayunt'ta bulunan diatomit yataklarının yaklaşık 15 milyon ton rezerve sahip olduğu tahmin edilmektedir (Çetin ve Taş, 2012; Ediz vd., 2005; Bentli, 2002).

d) Doğu Anadolu Bölgesi; bölgede diatomit yatağı olarak keşfedilmiş ve literatüre geçmiş bir yatak bulunmamaktadır. Neojen devrinde ki linyit araştırmalarında diatomitlere rastlanması ve bölgede volkanizmanın çok yaygın olması diatomit yataklarının olabileceğini göstermektedir. Bilinen yataklara göre hacimce en büyük

diatomit yatakları İç Anadolu'nun Güneydoğu Bölgesi'nde bulunmaktadır (Çetin ve Taş, 2012; Uygun, 1976). Şekil 2.1'de Türkiye'deki diatomit yatakları görülmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye diatomit yatakları (URL-3, 2020)

Dünyada bulunan diatomit yatakları;

a) Avrupa; en önemli diatomit yatakları Kuzey Almanya'da bulunan Lüneburger Heide'de bulunmaktadır. Pleistosen'de Inter ve Glasiyal göllerinde diatomit yatakları belirlenmiştir. Bu yatakların rezervlerinin 12 milyon m³ civarında olduğu belirtilmiştir. Fransa'nın Masif Central bölgesinde genellikle daha çok tatlı su kökenli diatomitler bulunmuştur. İtalya'nın Toscana bölgesinde bulunan diatomitlerin volkanizma içeriklidir. Viyana havzasında yer alan Limberg diatomit yatakları ise denizel oluşuklardan meydana gelmiştir. Danimarka'da yüksek demir ve kil içeren Moller adı verilen Alt Tersiyer yaşlı diatomitler bulunmuştur. İngiltere'de kalite bakımından düşük diatomit yataklarının olduğu bilinmektedir. Macaristan ve eski adı ile Yugoslavya ülkelerinin bazı bölgelerinde işletilen diatomit yatakları bulunmaktadır (Sezer, 2010).

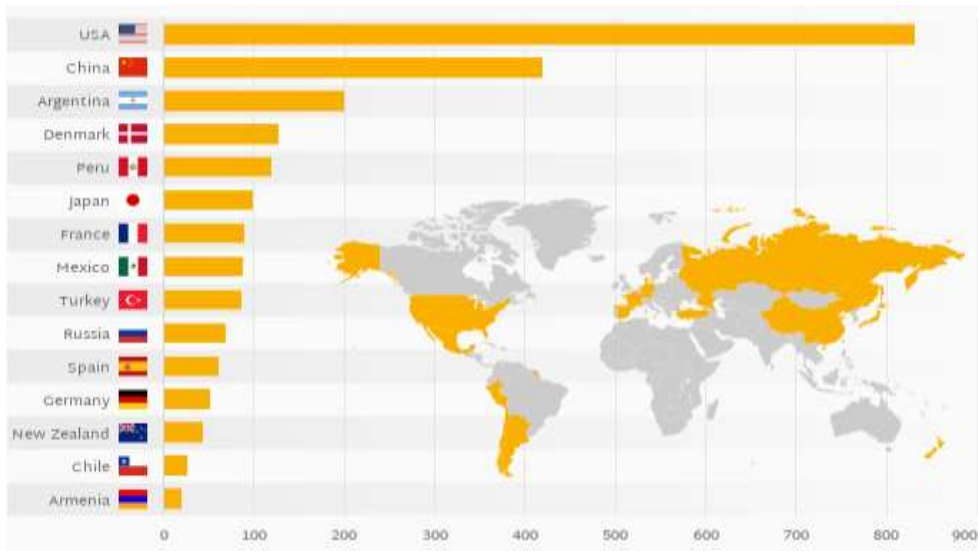
b) Afrika; Cezayir'de bulunan denizel diatomitleri karbonat ve jips içermektedir. Cezayir'de bulunan diatomitler işletilerek Fransa ve İtalya'da satılmaktadır. Kenya'da Rift Valley'de gölsel diatomitler bulunmaktadır. Güney Afrika'da diatomit yataklarının bulunduğu bilinmektedir (Sezer, 2010).

c) Asya ve Okyanusya; Urallar, Ermenistan ve Kafkasya bölgelerinde önemli diatomit yatakları bulunmaktadır. Endonezya, Kore, Kıta Çini, Avustralya, Yeni Zelanda ve Japonya Hokkaido’da diatomit yataklarının olduğu bilinmektedir (Sezer, 2010).

d) Amerika; Kaliforniya-Lompoc’ya bölgesinde dünyanın en büyük denizel diatomit yatakları bulunmaktadır. Bu yatakların kalınlıkları 300 m’ye kadar ulaşabilmektedir. Ayrıca Amerika’da Maryland bölgesinde denizel, Nevada, Washington, Oregon, Kansas ve Arizona bölgesinde tatlı su kökenli diatomit yatakları bulunmakta ve işletilmektedir. Kanada’da Quesnel bölgesinde tatlı su diatomit yatakları bulunmakta bu yataklardan diatomit üretimi yapılmaktadır. Meksika’da zengin diatomit yatakları bulunmaktadır. Brezilya, Arjantin, Peru, Şili ve Kolombiya’da önemsiz seviyede diatomit yatakları yer almaktadır (Sezer, 2010). Çizelge 2.1 ve Şekil 2.2’de dünya daki diatomit rezervleri görülmektedir.

Çizelge 2.1. Dünyadaki diatomit rezervleri (Çetin ve Taş, 2012; DPT, 1996)

Diatomit Yatakları	Rezervler (Milyon Ton)
Avrupa	1200
Kuzey Amerika	500
Güney Amerika	100
Asya	50
Afrika	20
Avusturalya	20
Diğer	100



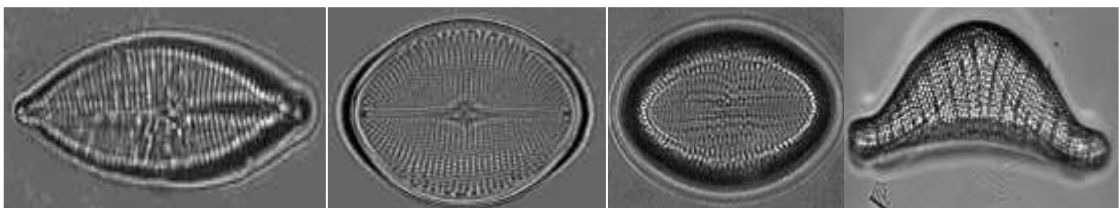
Şekil 2.2. Dünya diatomit rezervleri (URL-4, 2020)

2.1.5 Diatomitin kullanım alanları

Diatomitin kullanım alanları son derece geniştir. Diatomit, filtrasyon işlemleri için filtre yardımcı malzemesi, şeker fabrikasında, şarap, bira, meşrubat, meyve suyu ve içecek üretiminde, makine, hayvani, nebati ve yağlama yağlarının filtrasyonunda, atık suların, havuz sularının süzülmesinde, kuru temizleme çözeltilerinin yeniden kazanılması için, ilaç sanayindeki filtrasyonunda, kimyasal ve asit madde imalatında ve daha birçok kaba veya hassas filtrasyon yapılacak işlemlerde ve dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Katkı maddesi olarak ise lastik, plastik, boya, diş macunu, kağıt, kibrit, ilaç, kozmetik, sır, cila, temizlik maddesi ve benzerlerinin üretiminde, katalizör taşıyıcısı malzeme olarak kimyasal reaksiyonlarda, silis içeriğiyle birçok kimyasal madde üretilmesinde, yalıtım malzemesi üretiminde, hafif yapı malzemesi ve refrakter malzeme üretiminde absorbent olarak, aşındırıcı ve yüzey temizleyici madde olarak, gübrelerde taşıyıcı ve topraklanmayı engelleyici madde olarak kullanılmaktadır (Çetin ve Taş, 2012; DPT, 1996; Özbey ve Atamer, 1987).

2.1.6 Diatomitin yapısı

Diatomitin yapısı birbirine geçen iki parçadan oluşmaktadır. Bu birleşimde bir parça diğerinin üstüne binerek bir kenetlenme oluşturur. Bu yapıda görülen üst kapağa epiteka, altta bulunan küçük kapağa ise hipoteka denir. Diatomit kabuklarının birbirlerini örttükları bölgeye kuşak denilmektedir. Diatomitler yandan görünüşlerde dikdörtgen bir form alırken üst görünüşleri diatomitin özelliğine göre değişkenlik göstermektedirler (Sezer, 2010; Yıldız 1997). Diatomitlerin dairesel veya elips formlarındaki çapı 2.5 µm ile 2 mm arasında değişmektedir. Diatomitlerin ortalama çap ve uzunluları 5 µm ile 100 µm arasında değişebilmektedir (Sezer, 2010). Fotoğraf 2.4'te doğada bulunan bazı diatomit türlerinin şekilleri görülmektedir.



Fotoğraf 2.4. Doğada bulunan bazı diatomit türlerinin şekilleri (Gökçe, 2010)

2.1.7 Diatomitin genel özellikleri

2.1.7.1 Diatomitin fiziksel özellikleri

Diatomit saf, kumlu, milli, killi, kireçli, marnlı ve tüflü şekillerde doğada bulunabilirler. Oluşum bakımında masif veya laminalı tabakalanma görülebilir. Diatomitlerin tane boyu dağılımı diatomun cinsine, iriliğine, kabukların durumuna, kil ve kumların diatomitin içinde bulunma durumu ve oranına göre değişebilir (Çetin ve Taş, 2012; Uygun, 1976). Diatomit kayaçları genellikle beyaz renkli, hafif, elde kolayca dağılabilmeye özelliği göstermektedir. Diatomitin özgül ağırlığı 1.9 ile 2.35 g/cm³ arasında değişmektedir (Sezer, 2010). Kuru birim hacim ağırlığı ise 320 ile 640 g/cm³ arasındadır (Sezer, 2010; Seelev, 1949). Diatomit kayacının sertliği mohr ölçeğine göre 1.5 civarındadır. Silis içeren kavkın setliği ise kayaçtan farklı olarak 4.5 ile 5.0 arasında değişmektedir (Çetin ve Taş, 2012; Özbey ve Atamer, 1987). Basınç dayanımı değeri 3 ile 18 kgf/cm² arasında değişmektedir (Çetin ve Taş, 2012; Mete, 1985; Uygun, 1976). Diatomit gözenekli bir yapıda bulunduğu için %80 ile %85 arasında bir poroziteye sahiptir. Diatomit yüzeyinde bulunan mikro delikli hücreler 0.037 ile 0.52 µm arasında değişmektedir. Diatomit, su emme kapasitesi oldukça yüksek bir kayaçtır. Ham diatomit ağırlığının 3 ile 4 katı, kalsinasyon işlemine tabi tutulmuş diatomit ise ağırlığının 5 ile 10 katı arasında su emebilmektedir. Gözenekli yapısından dolayı yüzey alanı oldukça fazladır. Isı iletkenliği 100 °C ile 300 °C arasında 0.08 kcal/m².°C, 800°C ve üstü sıcaklıklarda 0.11 kcal/m².C° civarındadır. Diatomitin erime nokta 1000 ile 1590 °C arasında görülmektedir (Çetin ve Taş, 2012; Özbey ve Atamer, 1987).

2.1.7.2 Diatomitin kimyasal özellikleri

Diatomitlerin kimyasal analizleri diatomitlerin ticari değerinin belirlenmesinde en önemli rolü oynamaktadır. Diatomitlerin hücre çeperleri amorf silis (SiO₂ x nH₂O) bileşiminden oluşmaktadır. Aynı zamanda bu amorf silis farklı oranlarda Al, Fe, Ca, Mg, Na ve K elementlerini içermektedir. Çizelge 2.2’de bazı bölgelerdeki diatomitlerin kimyasal içerikleri ve Çizelge 2.3’te ticari önemi olan diatomitlerin kimyasal içeriği verilmiştir. Diatomitlerin rezervden çıkarıldıktan sonraki pH değeri 5 ile 9 arasında değişiklik göstermektedir. Diatomite uygulanan kalsinasyon işleminden sonra flaks

kalsine işleme yapılırsa diatomitin pH değeri 10 civarına kadar yükselme gösterir. Yalnızca kalsinasyon işleminde ise ham diatomitin pH'ına bağımlı kalır. Diatomit birçok kimyasal maddeye karşı inert özellik göstermektedir. Diatomitin kimyasal bileşenleri, içeriğinde bulunan silikatların türleri diatomitin ticari önem açısından son derece önem teşkil etmektedir (Özbey ve Atamer, 1987).

Çizelge 2.2. Bazı bölgelere ait diatomitin kimyasal özellikleri (Gökkonca, 2010)

Bileşen (%)	Afyon Diatomiti	Aydın-Karacasu Diatomiti	Kütahya-Alanyurt Diatomiti	Yunanistan-Elassona Diatomiti
SiO ₂	88.94	90.11	54.65	59.52
Al ₂ O ₃	1.90	1.31	12.10	17.83
Fe ₂ O ₃	2.46	0.79	3.50	8.08
CaO	2.10	1.25	1.15	1.82
MgO	0.44	0.63	3.80	1.79
SO ₃	0.00	0.67	0.03	0.00
Kızdırma kaybı	4.52	4.13	22.43	7.27
Na ₂ O	0.23	0.27	0.65	1.28
K ₂ O	0.26	0.16	1.70	2.58
Cl	0.006	0.01	0.00	0.00

Çizelge 2.3. Ticari önemi olan diatomitin kimyasal içeriği (Kuşçu 2008; Sezer, 2010)

Major Oksitler (%)	Miktar
SiO ₂	85-92
Al ₂ O ₃	4-10
Fe ₂ O ₃	0.8-2.0
CaO	0.1-2.0
MgO	0.1-2.0
Alkaliler	0.2-1.5
Kızdırma kaybı	5.8
Organik madde	0-3

2.1.7.3 Diatomitin mineralojik özellikleri

Diatomit kavkuları amorf silisten meydana gelir. Bu diatomit kavkuları aynı zamanda Al, Fe, Ca, Mg, Na, K elementlerinin silikatlarını da içerirler. Dünyada diatomitin yaklaşık olarak 1500 türü olduğu saptanmıştır. Bu diatomit türlerinin kendine has geometrik şekil, geometrik yapısı, deseni ve büyüklüğü vardır (Özbey ve Atamer, 1987). Diatomit farklı renklerde doğada bulunabilmektedirler. Sarı veya kahverengi renklere sahip

diatomit organik bir matris içerisinde bulunan hidratlı silisten oluşmuş kendine has cam gibi hücre duvarlarına sahiptirler. Diatomitin hücre çeperini oluşturan ana madde pektindir. Hücre çeperlerinde genellikle pektinle beraber %95 oranına kadar bulunabilen silis yer alır. Diatomitin hücre çeperlerinin silis içermesi, diatomit diğer algler arasında karakteristik bir özellik kazandırır. Diatom kabukları karmaşık yüzey modellerine sahiptirler (Çetin ve Taş, 2012; Şen, 1987)

2.1.7.4 Diatomitin puzolanik aktivitesi

Puzolanik malzeme; kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan veya çok az bir bağlayıcılık özelliği olan; öğütülmüş ince taneli olarak ve sulu ortamlarda kalsiyum hidroksitle birleşmesi sonucunda bağlayıcılık özelliği kazanan malzemeler olarak tanımlanırlar. Puzolan malzemeler özellikle silis veya silis ve alümin içerirler. Puzolan malzemelerin yapısında genellikle silis ve alümin ile birlikte bir miktar demir oksit, kalsiyum oksit, karbon ve alkalilerde yer alabilmektedirler. Puzolanlar literatürde doğal puzolanlar ve yapay puzolanlar olmak üzere iki grupta toplanmıştır (Erdoğan, 2010).

Doğal puzolanlar, doğada bulunan volkanik tüfler, volkanik camlar, volkanik küller, ısıtılma tabii tutulmuş killer, şeyller ve diatomlu topraklar bu grup içerisinde yer almaktadır. Yapay puzolanlar ise endüstriyel üretim sürecinde oluşan silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi yan ürünlerdir (Erdoğan, 2010).

İnce taneli puzolanik malzemeler kalsiyum hidroksit ve su ile birleşmeleri sonucunda kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu kimyasal reaksiyonların sonucunda tıpkı çimento ve suyun birleşimi sonucunda meydana gelen C-S-H jelleri gibi jeller oluşmaktadır. Bu jellerin oluşumu ile puzolanik malzeme bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Puzolanik malzemelerin kalsiyum hidroksit ve su ile reaksiyon oluşturma ölçüsü ve bu reaksiyon sonucunda bağlayıcılık özelliği kazanması “puzolanik aktivite” olarak adlandırılır. Puzolanik malzemelerin yeterli puzolanik aktiviteye sahip olabilmesi için ince taneli olması, amorf bir yapıya sahip olması ve içeriğinde silis, alümin ve demir oksit bileşiklerinin bulunması gerekmektedir.

Puzolanik malzemelerin aktivitesi puzolanik malzemelerle yapılan karışımlar üzerinde yapılan deneylerle belirlenmektedir. Puzolanik aktivite tayini ASTM standardında şu

şekilde yapılmaktadır. 500 g Portland çimentosu + 1375 g kum + 242 ml su ile kontrol harcı ve 400 g Portland çimentosu + 100 g puzolan + 1375 g kum + kontrol numunelerinde ki yayılma değerini sağlayabilecek kadar su ile puzolanlı harç üretilir. Daha sonra kontrol ve puzolanlı harçlardan 5×5×5 cm küp numuneler hazırlanır. Bu numuneler üzerinde 7. ve 28. günlerde basınç dayanımı deneyleri yapılır (ASTM C 311/C311M-18, 2018; Erdoğan, 2010). Puzolanik aktivite, TS EN 450 no.lu Türk standardına göre ise kontrol harcı ve kütlece %75 Portland çimentosu + %25 puzolan ile üretilen harcın 28 günlük dayanımlarının birbirlerine oranlanmasıyla belirlenir (Erdoğan, 2010; TS EN 450, 1988). Puzolanik malzemelerin puzolanik aktivitesi dayanım aktivite indeksi olarak adlandırılan bir değer hesaplanmasıyla belirlenir ve dayanım aktivite indeksi Denklem 2.1 ile hesaplanır (Erdoğan, 2010).

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100 \quad (2.1)$$

Burada; A, puzolanlı harç numunelerin ortalama basınç dayanımı ve B, kontrol harç numunelerin ortalama basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Dayanım aktivite indeksi belirli bir değerden az olmamalıdır. Doğal puzolanlar için, ASTM'ye göre, bu değer en az %75, Türk standartlarına göre, bu değer, en az %70 olmalıdır.

Doğada bulunan puzolanik malzemeler volkanik orjinli puzolanlardır. Diatomit yüksek silis oranı ve amorf yapısından dolayı doğada bulunan önemli puzolanik malzemelerdendir. Diatomitler diğer doğal puzolanlara göre daha yüksek SiO₂ oranı içerirler. Diğer puzolanlara göre Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranı içerikleri ise daha azdır. Çizelge 2.4'te doğal puzolanların içeriğinde bulunan oksit miktarı verilmiştir. Ham diatomit öğütülerek puzolanik malzeme olarak kullanılabilir. Ancak diatomit 700 °C ile 1000 °C sıcaklıklar arasında kalsine edildikten sonra ince taneli duruma getirildikleri zaman puzolanik özelliklerinin arttığı gözlenmiştir (Erdoğan, 2010; Ramachandran, 1995).

Çizelge 2.4. Doğal puzolanların içeriğinde bulunan oksit miktarları (Erdoğan, 2010)

Puzolanlar (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali
Volkanik cam	65.1	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5
Volkanik tuf	52.1	18.3	5.8	4.9	1.2	6.6
Diatomit	86.0	2.3	1.8	-	0.6	0.4
Pişirilmiş kil	42.2	16.1	7.0	21.8	1.9	1.3

2.1.8 Diatomin taze harç ve beton özelliklerine etkisi

Diatomit bileşenlerinin içeriğinde SiO_2 bulunması puzolan madde olarak kullanılması için pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Diatomit aynı zamanda boşluklu yapısından dolayı gaz beton üretiminde de kullanılmıştır. Çimento esaslı bağlayıcılar dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerindedir. Çimento maliyetinin azaltılabilmesi ve özel yapılarda kullanılacak yüksek performanslı beton üretilebilmesi için puzolanik malzemelerin önemi büyüktür. Beton şantiyelere akışkan prizini almamış şekilde gelerek kalıpların içerisine deneyimli ustalar tarafından yerleştirilmektedir. Betonun tam olarak yerleştirilebilmesi ve sıkıştırılabilmesi için beton karışımı içerisinde yeterli su miktarı bulunmalıdır. Betonun su oranının az olması betonun işlenebilirliğini azaltmakta, beton yerleşiminde ki işçilik maliyetini arttırmakta ve betonun dayanım ve dayanıklılığını olumsuz şekilde etkilemektedir. Beton karışımlarında ki gerekli olan su oranı beton içerisinde kullanılan çimentonun inceliğine, agreganın cins, ıslaklık ve kuruluk durumuna göre değişmektedir. Çimento yerine belirli oranlarda puzolan malzeme kullanılması su ihtiyacını arttırmaktadır. Diatomit özellikle su emme kapasitesi yüksek olduğundan dolayı beton karışımı içerisinde suyu bünyesine hapseder ve beton karışımına yeterli işlenebilirliği kazandırabilmek için su ilave edilir, fakat bu su ilavesi betonun dayanım ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkiler. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için diatomitlerin yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı etkisi olan kimyasal katkı maddeleri birlikte kullanılması gereklidir.

İran'ın güneybatısında bulunan Tebriz'deki diatomit yataklarından elde edilen ham diatomit öğütülerek yapılan bir çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada, Portland çimentosu, öğütülmüş diatomit, doğal nehir kumu, su ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak harç numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda çimento yerine ağırlığınca % 0, 15, 30 ve 40 oranlarında ham öğütülmüş diatomit kullanılmıştır. Karışımların su/çimento oranı 0.48 olarak belirlenmiştir. Ancak karışımlarda kullanılan öğütülmüş diatomit miktarı arttıkça süper akışkanlaştırıcı katkı miktarı da artmıştır. Karışımlar üzerinde taze beton deneyi olarak slump (çökme) deneyi yapılmış ve Çizelge 2.5'teki gibi bu değerlerin öğütülmüş diatomit miktarı arttıkça süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının arttırılmasına rağmen azaldığı görülmüştür (Ahmadi vd., 2018).

Çizelge 2.5. Ham diatomitli harçların çökmesi (Ahmadi vd., 2018)

Karışım Kodu	Çökme (mm)
Kontrol	185
%15 Diatomit	175
%30 Diatomit	170
%40 Diatomit	160

Yapılan bir çalışmada, 900 °C sıcaklıkta kalsine ettikleri diatomitleri çimento yerine ağırlığınca %0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 oranlarında kullanarak harç numuneler üretilmiştir. Üretilen harçlarda kullanılan diatomit miktarı arttıkça, karışımlarda kullanılan su miktarı artmasına rağmen yayılma değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir (Gökkonca, 2010). Yapılan bir çalışmada, özgül yüzey alanları 7550 cm²/g ve 12950 cm²/g olan iki farklı diatomit kullanılmıştır. Hazırlanan beton karışımlarında su/çimento oranı 0.50 ve 0.55 olarak belirlenmiştir. Kontrol karışımına ek olarak, bu iki özgül yüzey alanı farklı olan diatomit çimento yerine % 3, 5 ve 10 oranlarında kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda su/çimento oranının artması ile çökme değerlerinde bir artış olduğu gözlemlenmiş, ancak diatomitin özgül yüzey alanının artmasıyla çökme değerlerinde bir düşüş görülmüştür (Genç, 2006).

Boşluklu yapısından dolayı diatomitin su emme kapasitesi birçok malzemeye göre fazladır. Bu boşluklu yapıya sahip olan diatomit beton içerisinde puzolan olarak kullanımında beton karışımına girecek olan karışım suyunu arttırmaktadır. Çimento yerine ağırlığınca % 5, 10, ve 15 oranlarında diatomit kullanımı beton karışımlarının standart kıvam suyu değerlerini % 5 diatomit içeren karışımlarda % 10, % 10 diatomit içeren karışımlarda % 26.6 ve % 15 diatomit içeren karışımlarda % 40 arttırmıştır (Dinler, 2012).

Çimento üretiminde % 5, 10 ve 20 oranlarında hem ham diatomit hem de kalsine edilmiş diatomit kullanılması durumunda, diatomit miktarı arttıkça, su ihtiyacının arttığı belirlenmiştir (Yılmaz vd., 2006). Yine yapılan bir çalışmada klinker ile birlikte öğütülmüş % 10, 20 ve 40 oranında diatomit kullanıldığında, diatomit miktarı arttıkça, ihtiyaç duyulan su miktarının arttığı belirtilmiştir. Kıvam suyu miktarındaki artışın diatomit miktarı ve çimentonun inceliğine bağlı olduğu görülmüştür (Aruntaş, 1996).

Diatomit agregaları hafif olduğu için hafif beton üretiminde kullanılabilir. 0 ile 1 mm arasında ve 0 ile 4 mm arasında boyutlara sahip olan diatomit agregaları ile hafif harçlarda karışımın taze birim ağırlıklarının azaldığı görülmüştür. Karışımlarda kullanılan 0 ile 4 mm arasındaki diatomit agregasının artması ve 0 ile 1 mm arasındaki diatomit agregasının azalmasıyla da taze harçların birim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüştür (Gündüz ve Kalkan, 2016).

2.1.9 Diatomin sertleşmiş harç ve beton özelliklerine etkisi

2.1.9.1 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun birim ağırlığına etkisi

Harç ve betonun birim ağırlık değerlerine etki eden en büyük faktör, karışımlarda kullanılan malzemelerin birim ağırlıklarıdır. Diatomitin özgül ağırlığı çimentonun özgül ağırlığından daha düşük bir değere sahiptir. Bunun sebebi diatomitin yapısında bulunan boşluk oranının daha fazla olmasıdır. Özellikle diatomitin porozitesinden dolayı yapı ağırlıklarının azaltılmasına büyük katkı sağlayacaktır. Bunun sayesinde de geleneksel betonlara göre yapıya gelecek olan deprem yüklerinin azalmasına da katkı sağlayacaktır. Çimento yerine ağırlığınca % 5, 10 ve 15 oranlarında diatomit kullanılan harçların diatomit içeriği arttıkça, sertleşmiş birim ağırlık değerleri azalmıştır (Dinler, 2012). Alkali aktivatör olarak Na_2CO_3 ve çimento yerine ağırlığınca % 25, 50, 75 ve 100 oranlarında öğütülmüş ham diatomit kullanılan harçların sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin öğütülmüş ham diatomit içeriğinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Hatta üretilen harç numunelerine uygulanan kür süresinin de artmasıyla birlikte de birim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüştür (Sarıdemir, 2016). Çimento yerine ağırlıkça %15, 30 ve 40 oranlarında ham diatomit kullanılan bir çalışmada, özellikle %30 ve 40 oranlarında ham diatomit kullanılması durumunda sertleşmiş birim ağırlık değerlerinde azalmanın olduğu gözlenmiştir (Ahmadi vd., 2018). Çimento yerine ağırlıkça % 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 oranlarında diatomit kullanılarak harç numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin harç içeriğindeki diatomit oranının artması ile azaldığı gözlenmiştir. Özellikle % 35 diatomit içeren harç numunesinin kontrol numunesine göre % 7.5 daha hafif olduğu belirtilmiştir (Gökkonca, 2010). Çimento yerine ağırlığınca % 20 oranında iki farklı puzolanik özelliğe sahip diatomit kullanmışlardır. Diatomitli harçların sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin standart harçların sertleşmiş birim ağırlık değerlerinden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ek

olarak puzolanik aktivite değeri daha yüksek olan numunelerin sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin puzolanik özelliği az olandan daha düşük olduğu belirtilmiştir (Rovnaníková vd. 2015). Bu karışımların sertleşmiş birim ağırlık değerleri Çizelge 2.6'de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Diatomitli harçların sertleşmiş birim ağırlıkları (Rovnaníková vd., 2015)

Karışım Kodu	Sertleşmiş birim ağırlık (kg/m³)
Kontrol	2202
% 20 Diatomit	1947
% 20 Diatomit	1901

Başka bir deneysel çalışmada, farklı yüzey alanlarına sahip iki farklı diatomit kullanılmıştır. Üretilen numunelerde çimento yerine ağırlıkça % 3, 5 ve 10 oranlarında öğütülmüş diatomit ikame edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda numunelerde diatomit oranı arttıkça numunelerin sertleşmiş birim ağırlıklarında azalmalar meydana gelmiştir. Aynı zamanda daha fazla yüzey alanına sahip diatomitle üretilen numunelerde birim ağırlık değerleri yüzey alanı az olan diatomitli numunelerin birim ağırlık değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Genç, 2006). Deneysel bir çalışmada, Ankara ve Çankırı diatomitleri çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 40 oranında klinker ile öğütülerek diatomit katkılı çimento ve diatomit ikameli çimento üretilmiştir. İki farklı kullanımında çimentonun özgül ağırlık değerini düşürdüğü ve diatomit oranı arttıkça çimentonun özgül ağırlığının azalttığı gözlenmiştir (Aruntaş, 1996). Yapılan diğer bir deneysel çalışmada, beton karışımlarında çimento yerine ağırlıkça % 10 ve 20 diatomit, % 10 ve 20 zeolit, % 5 diatomit + % 5 zeolit ve %10 diatomit + %10 zeolit kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin çok küçük değerlerde azaldığı gözlemiştir (Savaş, 2012).

İnsanlık tarihi boyunca insanoğlu depremlerin yıkıcı etkileri karşı karşıya kalmıştır. Yapı mühendisliğindeki en önemli konulardan biriside yapıların deprem etkisi altında stabilitesini korumasıdır. Bir yapının kütlesi arttıkça yapıya etkiyen deprem yükü de artmaktadır. Bunun başlıca sebebi depremin bir kuvvet olarak değil, yeryüzünde ivmelenme hareketi yapmasından kaynaklanmaktadır. Newton fiziğinde kütle ve ivmenin bileşkesi kuvveti vermektedir. Yapıların kütlesi ile yeryüzü ivmesinin bileşkesi sonucunda yapıya etkiyen deprem yükleri meydana gelmektedir. Son yıllarda yapı

kütlesinin azaltılması ile yapıya etkiyen deprem yüklerinin azaltarak yıkıcı etkilerini engellemek amaçlanmaktadır. Yapı kütleleri özellikle hafif harç, hafif beton ve hafif dolgu duvar vb. gibi malzeme ve tekniklerle azaltılmaktadır.

Diatomitin hafif agrega olarak harç ve betonlarda kullanılması ile ilgili araştırmalar da yapılmıştır. Diatomitin agrega olarak kullanılması durumunda beton birim ağırlığının azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte yapıya etki eden deprem yükleri de azalacaktır. Farklı oranlarda diatomitin iri agrega ve ince agrega olarak kullanıldığı harçların sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin, kalker agregası kullanılan standart harçların birim ağırlık değerlerinden daha az olduğu görülmüştür (Karagöz, 2014). Diatomitin hafif harç özelliklerine etkisini incelemek için kalsit agregası ile üretilen kontrol numunesine ek olarak farklı oranlarda ince agrega ile diatomit agregalı harçlar üretilmiştir. Kullanılan ince diatomit agregalarının boyutları 0 ile 1 mm ve iri diatomit agregalarının boyutları 1 ile 4 mm arası değişmektedir. İnce ve iri agrega oranları ile oluşturulan numunelerde, ince/iri agrega oranı azaldıkça sertleşmiş birim ağırlık değerlerinde düşüş gözlenmiştir (Gündüz ve Kalkan, 2016). Yapılan diğer bir çalışmada 250 ile 400 arasında değişen çimento dozajları ile birlikte 8 ile 16 mm arası iri diatomit agregası, 4 ile 8 mm arası orta diatomit agrega ve 0 ile 4 mm arası ince diatomit agrega kullanmıştır. Üretilen betonlarda, sertleşmiş birim ağırlık değerleri 1030 ile 1190 kg/m³ arasında bulunmuştur. Çimento dozaj miktarı azaldıkça birim ağırlık değerlerinin de azaldığı görülmüştür (Ünal ve Uygunoğlu 2007). Yapılan bir diğer çalışmada, Kütahya/Alayunt bölgesindeki killi diatomitler katkılı çimento üretiminde puzolanik malzeme olarak kullanılmıştır. Klinker ile birlikte % 5, 10 ve 20 oranında killi diatomit öğütülmüş ve sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin killi diatomit oranları arttıkça azaldığı gözlenmiştir (Yılmaz vd., 2006).

2.1.9.2 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun ultrases geçiş hızına etkisi

Ultrases geçiş hızı (U_{pv}) değerleri harç ve betonların dayanım ve dayanıklılığı ile doğrudan ilişkilidir. Beton ve harç numunelerin hazırlanma evresinde kullanılan malzeme miktarı, malzeme yapısı ve malzeme cinsine göre ve yanlış malzeme oranı ve işçiliğin yanlış yapılması nedeni ile harç ve beton içerisinde yer yer boşluklar oluşur. Bu boşluklar harç ve betonun U_{pv} değerlerini negatif yönde etkiler. Harç ve beton numunelerden elde edilen U_{pv} değerleri içerisinde bulunan boşluk oranına göre

değişkenlik gösterir. Eğer beton ve harç içerisinde boşluk oranı fazla ise U_{pv} değeri daha düşük boşluk oranı az ise U_{pv} değeri daha yüksek olarak gözlenir.

Diatomit, porozitesinin yüksek olması sebebi ile hafif beton üretiminde araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Diatomitin boşluklu yapısından dolayı ısı ve ses yalıtımı için iyi bir malzeme olarak kullanılabilmesi de düşünülmektedir. Ses dalgaları bir malzemenin içerisinden geçerken karşılaştığı boşluklardan direk olarak geçemediği için malzemenin katı olan kısımlarından ilerler. Ses dalgalarının hızı boşluklar etrafındaki katı kısımlardan ilerlemesi ile azalmaktadır. Boşluk oranının az olması ile ses dalgalarının hızı artmaktadır. Diatomitin boşluklu yapısından dolayı ses dalgalarının hızı azaltmakta ve bu sebeple ısı ve ses yalıtımı için iyi bir malzeme olabileceği anlaşılmaktadır.

Çimento üretimini azaltarak çimento üretiminde ortaya çıkan ve küresel ısınmaya neden olan sera gazlarını azaltmayı hedefleyen bir çalışmada, çimento yerine ağırlığınca % 15, 30 ve 40 oranlarında ham diatomit kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde 28 günlük kürün sonrasında U_{pv} deneyi yapılmıştır. Numunelerde kullanılan diatomit oranı arttıkça U_{pv} değerlerinin azaldığı gözlenmiştir, Bu azalma Çizelge 2.7’de görülmektedir (Ahmadi vd., 2018). Diğer bir deneysel çalışmada, çimento yerine ağırlıkça %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında diatomit tozu kullanılarak beton numuneler hazırlanmıştır. Diatomit tozu ile üretilen beton numunelerden elde edilen U_{pv} değerleri göstermiştir ki, beton karışımlarında diatomit oranı arttıkça U_{pv} değerlerinde düşüş görülmüştür (Esen, 2017). Yapılan bir çalışmada, çimento yerine ağırlıkça %10 ve 20 diatomit, %10 ve 20 zeolit, %5 diatomit + %5 zeolit, %10 diatomit + %10 zeolit içeren beton numuneler üretilmiştir. Numunelere 28 gün boyunca yaş kür uygulanmış daha sonrasında ise H_2SO_4 , $MgSO_4$, $NaCl$, H_2O ortam koşullarında bulundurulmuş 56 ve 90 gün sonra numuneler üzerinde U_{pv} deneyi yapılmıştır. U_{pv} değerlerinin diatomit ve zeolit miktarlarına, ortam koşullarına ve betonun yaşına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, tüm karışımlarda betonun kür günü arttıkça U_{pv} değerlerinde artış olduğu ve en olumlu U_{pv} sonuçlarının $MgSO_4$ ortamına maruz bırakılan 90 günlük %10 diatomit içeren beton örneklerinde görülmüştür (Savaş, 2012).

Ankara Kızılcahamam’dan elde edilen diatomit harç karışımlarında, % 5, 10 ve 15 oranlarında çimento yerine ağırlıkça kullanılmıştır. Bu oranlarla elde edilen beton örnekleri 150 °C, 300 °C, 500 °C ve 700 °C sıcaklıklara 3 saat süre ile maruz bırakılmış

ve soğuma işlemi havada ve suda olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. 28 ve 90 günlük bu beton örnekleri üzerinde U_{pv} deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda 28 günlük % 10 diatomit içeren numunelerin ve 90 günlük % 5 diatomit içeren numunelerin U_{pv} değerlerinin sadece çimento içeren kontrol numunelerinin U_{pv} değerlerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir (Dinler, 2012).

Çizelge 2.7. Diatomitli harçların U_{pv} değerleri (Ahmadi vd., 2018).

Karışım	Ultrases Geçiş Hızı (m/sn)
Kontrol	3390
% 15 Diatomit	3797
% 30 Diatomit	3710
% 40 Diatomit	3620

Diatomitin alternatif bir hafif agrega olarak kullanılabilirliği için yapılan bir deneysel çalışmada, harç karışımlarında diatomit agrega olarak farklı oranlarda ince ve iri agrega olarak kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda üretilen harç numuneleri U_{pv} deneyine tabi tutulmuştur. Diatomit agregası içeren karışımlarda U_{pv} değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi diatomit agregasının gözenekli bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Gözenekli yapı dayanım olarak negatif yönde etki ederken, ısı ve ses yalıtımında pozitif etki gösterir. Aynı zamanda karışımlarda kullanılan çimento oranı arttıkça U_{pv} değerlerinin arttığı görülmüştür (Karagöz, 2014). Diatomit agregası kullanılarak hafif harç yapılması hedeflenen bir çalışmada kalsit agregası kullanılarak elde edilen kontrol numunesine ek olarak farklı oranlarda 0 ile 1 mm ve 1 ile 4 mm arası diatomit agregası kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Bu harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen U_{pv} deneyleri sonucunda 1 ile 4 mm arası diatomit agregasının oranı arttıkça, U_{pv} değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Buna ek olarak kalsit agregalı numunelerin U_{pv} değerleri, en yüksek U_{pv} değerli diatomit agregalı numunelerden yaklaşık olarak iki kat daha yüksek çıkmıştır (Gündüz ve Kalkan, 2016).

Afyonkarahisar-Seydiler'den elde edilen diatomit, 8 ile 16 mm arası iri agrega, 4 ile 8 mm arası orta agrega ve 0 ile 4 mm arası ince agrega olarak sınıflandırılmış ve 250, 300, 350 ve 400 çimento dozajlı beton numunelerde agrega olarak kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan çimento dozajı artırılırken, diatomit agrega ağırlıkları azaltılmıştır. Daha sonra numuneler üzerinde 7 ve 28 gün sonra U_{pv} deneyleri

yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda çimento dozajı yükseldikçe ve diatomit agrega miktarı azaldıkça U_{pv} değerlerinde artış görülmüştür (Ünal ve Uygunoğlu, 2007).

2.1.9.3 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun eğilme dayanımına etkisi

Harç ve beton eğilme dayanımı (f_{fs}) açısından zayıf bir malzemedir. Harç ve betonun eğilme dayanımının düşük olmasının sebebi gevrek bir malzeme olması ve sünek bir yapıya sahip olmamasıdır. Çelik gibi malzemeler sünek malzemelerdir, belirli yükler altında şekil değişimine uğrayarak elastik ve plastik davranışlar gösterirler. Elastik davranış, malzemenin yük altında şekil değiştirirken yük kalktıktan sonra malzemenin tekrar aynı formu alması, plastik davranış ise; malzemelerin belirli bir yüke maruz kaldıktan sonra kalıcı şekil değişimine uğramasıdır. Harç ve beton gibi malzemeler önemsenmeyecek biçimde elastiklik özelliği gösterirken, belirli bir plastik şekil değişimi özelliğine sahiptirler. Ayrıca, harç ve betonların sabit ve dinamik yükler etkisi altında yapı sisteminde meydana gelen moment ve normal kuvvetler nedeni ile sistemde oluşan eğilme momentlerinin sebep olduğu gerilmeleri harç ve betonların f_{fs} değerleri karşılayamamaktadır. Betonarme yapılarda betonun eğilme gerilmelerini karşılaması için çelik donatı kullanılmaktadır. Harç ve betonun eğilme kuvvetlerine karşı dayanımının hayli düşük bir seviyede olduğu bilinmektedir. Son yıllarda harç ve betonların eğilme dayanımlarının artırılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Çimento dünyada en fazla kullanılan yapı malzemesidir. Çimento en çok kullanılan yapı malzemesi olmasına nazaran üretimi zahmetli, pahalı ve çevresel açıdan zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu etkileri azaltmak için puzolanik malzemeler çimento üretimi esnasında klinkere ve çimento ile yer değiştirilmek suretiyle harç ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Puzolanik malzeme olarak, sadece çimento içeren kontrol numunesine ek olarak çimento yerine ağırlıkça % 5, 10 ve 15 oranlarında diatomit kullanılan harç numuneleri 28 ve 90 gün kür işleminden sonra 20, 150, 300, 500 ve 700 °C sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Bu numuneler ısı işleminden sonra havada soğutma ve suda soğutma yöntemleri ile soğutulmuş ve eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda 28 günlük numunelerdeki f_{fs} değerleri kontrol numunelerinde hem havada hem de suda soğutmada genellikle sıcaklık arttıkça azaldığı, %5 ve 10 diatomit ilaveli numunelerin eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 90 günlük numunelerde ise f_{fs} değerlerinin 28 günlük

numunelerden daha düşük olduğu görülmüştür. 28 günlük numunelerde en yüksek f_{fs} değeri 13.291 MPa ile 20 °C sıcaklığa maruz bırakılmış %10 diatomit içeren numunelerde görülmüştür. 90 günlük numunelerde ise en yüksek f_{fs} değeri 11.268 MPa ile 150 °C'ye maruz bırakılmış %15 diatomit içeren numunelerde görülmüştür (Dinler, 2012). Başka bir deneysel çalışmada, ham diatomit % 15, 30 ve 40 oranlarında çimento yerine ağırlıkça kullanılmış ve ham diatomit içeren harç numune karışımları elde edilmiştir. Bu harç numuneler 3, 7, 28 ve 91 gün boyunca küre tabi tutulmuş ve her kür yaşı gününde numuneler üzerinde eğilme deneyi yapılmıştır. 3 günlük numunelerde yapılan deneysel çalışma sonucunda diatomit miktarı arttıkça f_{fs} değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. 7, 28 ve 91 günlük diatomit içeren numunelerin f_{fs} değerlerinin çimento içeren kontrol numunesinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 3 günlük en yüksek f_{fs} değerine sahip karışım %15 diatomit içeren karışımlar iken, 7, 28 ve 91 günlük numunelerde %30 diatomit içeren karışımlarda olduğu görülmüştür. En yüksek f_{fs} değeri 91 günlük %30 diatomit içeren karışımda, en düşük eğilme dayanımı değeri ise 3 günlük %40 içeren karışımda görülmüştür. Aynı zamanda tüm karışımlarda kür süresi arttıkça eğilme dayanımı değerlerinin arttığı gözlenmiştir (Ahmadi vd., 2018).

Afyon-Karacasu bölgesinden elde edilen diatomitler 900 °C'de kalsine edilerek deneysel çalışmada kullanılmıştır. Karışımlarda diatomit çimento yerine ağırlıkça %5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 oranlarında kullanılmış ve numuneler 2, 7, 28 ve 90 günlük küre tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışma sonucunda, 7 ve 28 günlük numunelerde diatomit miktarı arttıkça f_{fs} değerlerinin düştüğü görülmüştür. 90 günlük numunelerde ise %10 diatomit içeren numuneler hariç numunelerde diatomit oranı arttıkça f_{fs} değerlerinin azaldığı görülmüştür. %5 diatomit içeren 90 günlük numunelerin f_{fs} değerlerinin kontrol numunesine yakın bir değere sahip olduğu ve 90 günlük %10 diatomit içeren numunelerin kontrol numunesinden daha yüksek bir f_{fs} değerine sahip olduğu belirlenmiştir (Gökkonca, 2010).

Yapılan bir deneysel çalışmada, Kütahya-Alayunt bölgesinde bulunan killi diatomitlerin puzolanik katkı çimento üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimento üretiminin en önemli malzemesi olan klinker yerine %5, 10 ve 20 oranlarında diatomit kullanılmış ve alçı taşı ile bu yeni karışımlar öğütülmüş, diatomitli puzolanik çimento üretilmiştir. Üretilen çimentolarla hazırlanan harç karışımlarını karşılaştırmak için sadece çimento içeren kontrol harç numunesi de üretilmiştir. Numuneler üzerinde

yapılan eğilme deneyleri sonucunda, sadece çimento içeren kontrol numunelerin f_{fs} değerleri 2 günlük numunelerde bir miktar yüksek olduğu ve %5, 10 ve 20 diatomit içeren harç numunelerde f_{fs} değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. 7 ve 28 günlük numunelerde %10 diatomit içeren numunelerin tüm numunelerden daha yüksek bir f_{fs} değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Yılmaz vd., 2006).

Ankara ve Çankırı ocaklarından elde edilen diatomitler çimento ağırlığının % 10, 20 ve 40 oranlarında doğrudan klinkerle öğütülerek diatomitli çimentolar ve çimento yerine kullanılarak diatomit katkıli harç numuneleri üretilmiştir. Bu harç karışımlardan üretilen numuneler üzerinde 7, 28, 90 ve 180 kür işlemi yapılmış ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Diatomitli çimentolarla üretilen harç numunelerinin ve çimento yerine kullanılarak diatomit katkıli harç numunelerinin f_{fs} sonuçları, dayanımı 32,5 ve 42,5 MPa olan Portland çimentoları ile üretilen harç numunelerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hem diatomitli çimentolarla hem de çimento yerine kullanılarak diatomit katkıli harç numunelerde diatomit miktarı arttıkça f_{fs} değerlerinde düşüş görülmüştür. Çankırı diatomitinin f_{fs} değerlerine etkisinin Ankara diatomitinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Diatomit ikameli çimentolarda f_{fs} değerlerinin, dayanımı 32,5 MPa olan Portland çimentosu ile yapılan harç numunelerin f_{fs} sonucuna, diatomit katkıli çimentolarda ise dayanımı 42,5 MPa olan Portland çimentosu ile yapılan harç numunelerin eğilme dayanımı sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Diatomit katkıli çimento ile üretilen numunelerin f_{fs} değerleri, diatomit ikameli çimento ile üretilen numunelerin f_{fs} değerlerinden daha yüksek olmasının sebebi ise klinker ile beraber öğütülen ikameli çimentolarda diatomit ve çimentonun aynı incelikte olması gösterilmiştir (Aruntaş, 1996).

2.1.9.4 Diatomitin sertleşmiş harç ve betonun basınç dayanımına etkisi

Çimentoya alternatif bir bağlayıcı malzeme geliştirmek dünyada en çok araştırma alanlarından biridir. Dünyada yapı malzemesi olarak yaygın olarak beton ve çelik kullanılmaktadır. Bu malzemelerden çelik genellikle çekme gerilmelerini beton ise basınç gerilmelerini karşılamak için kullanılmaktadır. Basınç gerilmelerini harç ve betonların dayanımları karşı koymaktadır. Bundan dolayı, basınç dayanımı (f_c) harç ve beton için hedeflenen en önemli özelliklerden birisidir. Betonarme yapılarda meydana gelen basınç gerilmelerini, betonun basınç dayanımı karşılamaktadır. Literatürde harç

ve beton üzerinde yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu, harç ve betonun dayanım özelliklerini geliştirmek üzere yapılmaktadır. Puzolanik malzemeler betonun dayanım ve dayanıklılığını arttırmak için belirli oranlarda çimento klinkeri ile birlikte veya çimento yerine belirli oranlarda bir bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Puzolanik malzemeler çimento yerine belirli oranlarda kullanıldığı zaman hem ekstra C-S-H jelleri oluşturmakta, ince taneli olmalarından dolayı hem de dolgu etkisi yapmaktadır. Bu durumda harç ve betonun dayanım ve dayanıklılığını arttırmaktadır. Puzolanik malzemelerin diğer bir kullanım amacı da çimentonun yerine kullanılarak çimento üretiminin azaltılması ile çimento üretiminin sebep olduğu küresel ısınma ve hava kirliliğinin azaltılmasıdır.

Çimento yerine belirli oranlarda puzolanik malzeme olarak ham ya da kalsine edilmiş diatomit kullanılarak birçok harç ve betonlar üretilmiştir. f_c değerlerini belirlemek üzere bu üretilen harç ve betonlar üzerinde deneyler yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda belirli oranlarda ham ve kalsine edilmiş diatomitlerin f_c değerlerini geliştirdiğini göstermektedir. Diatomitin kimyasal içeriğinde SiO_2 bulunması nedeni ile alternatif bir puzolanik malzeme olmasının araştırılmasında, araştırmacıların ilgisini son yıllarda bir hayli arttırmıştır. Yapılan bir çalışmada, %0 diatomit içeren kontrol numunesine ek olarak, %15, 30 ve 40 oranlarında çimento yerine ağırlıkça ham diatomit kullanılarak harç örnekleri üretilmiştir. Daha sonra üretilen bu numunelere 3, 7, 28 ve 91 gün boyunca ıslak kür uygulaması yapılmıştır. Bu kür uygulamasından sonra, yapılan deneyler sonucunda diatomit ilavesi arttıkça ilk günlerdeki f_c değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Ancak ileriki yaşlarda diatomit içeren numunelerin f_c değerlerinin, kontrol harçlarının f_c değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmanın f_c değerleri Çizelge 2.8' de verilmiştir (Ahmadi vd., 2018)

Çizelge 2.8. 3 farklı oranda diatomit içeren harçların f_c değerleri (Ahmadi vd., 2018)

*Karışım Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)			
	3. gün	7. gün	28. gün	91. gün
Kontrol	31.4	41.9	53.1	58.8
%15 Diatomit	30.8	43.7	55.9	65.3
%30 Diatomit	27.3	39.2	52.4	64.4
%40 Diatomit	22.7	37.6	53.3	65.9

Yapılan diğerk bir deneysel çalışmada, Afyon ve Aydın-Karacasu bölgelerinden elde edilen diatomitler 900  C’de kalsine edilmiş ve kalsine işleminden sonra puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmaya daha yüksek puzolanik aktivite değerine sahip olan Afyon diatomiti ile devam edilmiştir. Sadece imento içeren kontrol numunesi ile beraber imento yerine ağırlıkça % 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 oranlarında kalsine edilmiş diatomit içeren harç numuneler üretilmiş 2, 7, 28 ve 90 gün kür yaşlarından sonra f_c değerleri belirlenmiştir. f_c değerlerinin % 10 diatomit içeren 90 günlük kür yaşı hariç kontrol numunesinden daha düşük olduğu ve en yüksek basınç dayanımı değerinin %10 diatomit içeren numunede gözlenmiştir. Kalsine diatomit içeren örneklerde en yüksek f_c değeri 60.8 MPa olarak llmştir. Aynı zamanda f_c değerlerinin kr yaşının artması ile doğru orantılı olarak arttığı, kalsine edilmiş diatomit ilavesi ile f_c değerlerinin ters orantılı olarak azaldığı gözlenmiştir. Farklı oranlarda kalsine edilmiş diatomit içeren harç numunelerinin farklı kür günlerindeki f_c değerleri izelge 2.9’da verilmiştir (Gökkonca, 2010).

Çizelge 2.9. 6 farklı oranda diatomit içeren harçların f_c değerleri (Gökkonca, 2010)

Karışım	Basınç dayanımı (MPa)			
	2. gün	7. gün	28. gün	90. gün
Kontrol	29.7	45.6	54.4	59.4
%5 Diatomit	25.0	42.8	49.9	54.1
%10 Diatomit	26.3	37.2	49.8	60.8
%20 Diatomit	16.0	24.9	44.1	-
%25 Diatomit	13.8	24.2	43.1	-
%30 Diatomit	12.3	20.6	38.9	-
%35 Diatomit	8.4	16.4	32.0	-

Kütahya-Alanyunt ocaklarından elde edilen diatomit katkılı imento üretiminde kullanılabilirliği açısından deneysel çalışmalara tabi tutulmuştur. Çimento retiminde ağırlıkça klinker yerine % 5, 10 ve 20 oranlarında killi diatomit kullanılmıştır. Farklı diatomit katkılı klinkerlerin öğütülmesiyle diatomit katkılı çimentolar üretilmiştir. Bağlayıcı malzemenin inceliği ve özgül yüzey alanının artmasıyla f_c değerlerinde artış gözlenmektedir. Yani imentonun incelik modülünün artmasıyla daha yüksek f_c değerlerine çıkabileceği grlmştir. Aynı zamanda beton içerisinde bulunan agregaların yüzey alanlarının imento şerbeti ile kaplanması sırasında boşluk oluşması sebebi ile f_c değerlerinde azalmaktadır. Bu azalmanın giderilmesi ve daha hızlı

hidratasyonun gerçekleşmesi ise çimentoğun incelik modülü arttırılmakta ve boşlukların azalmasını sağlanmaktadır. %5 diatomit içeren numunelerin f_c değerlerinin, sadece çimento içeren numunelerin f_c değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Ancak, %10 ve 20 diatomit içeren numunelerin f_c değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Çimento üretiminde ağırlıkça kullanılan diatomit oranının artmasının f_c değerlerinin azalmasına sebep olduğu belirtilmiştir (Yılmaz vd., 2006).

Ankara ve Çankırı ocaklarından elde edilen diatomitler iki farklı yöntemle harç üretiminde kullanılmıştır. Birinci yöntemde diatomitler % 10, 20 ve 40 oranlarda klinker ile birlikte diatomitli çimento üretiminde kullanılmış ve harç numuneler üretilmiştir. İkinci yöntemde ise diatomitler % 10, 20 ve 40 oranlarda ağırlıkça çimento yerine kullanılmış ve harç numuneler üretilmiştir. Üretilen harç numuneler 7, 28, 90 ve 180 günlük küre tabi tutulmuşlardır. Üretilen numunelerin f_c değerleri hem kendi arasında hem de sadece çimentolarla üretilen numunelerin f_c değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda iki farklı yöntemde de karışımlarda diatomit oranı arttıkça f_c değerlerinde düşüş görülmüştür. Her iki yöntemde de, diatomit içeren numunelerde en yüksek f_c değerleri, %10 diatomit içeren harç numunelerinde gözlenmiştir. Fakat her iki yöntemde de diatomit içeren harç numunelerinin f_c değerlerinin, kontrol numunelerinin f_c değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Klinker ile birlikte üretilen diatomitli çimentolardan üretilen harç numunelerinin f_c değerlerinin, çimento ile yer değiştirerek kullanılan diatomitli harç numunelerin f_c değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Aruntaş, 1996).

Yunanistan'ın Samos, Ellasona ve Milos bölgelerinden elde edilen diatomitlerin puzolanik malzeme olarak çimento yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Samos diatomitleri CaO ve SiO₂ açısından zengin iken Ellasona diatomitleri SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ açısından daha zengindir. Deneysel çalışmada %0, 10, 15 ve 20 oranlarında diatomit ikameli çimento harçları üretilmiştir. 1, 2, 7 ve 28 gün kür uygulanan numuneler f_c testine tabi tutulmuşlar. Deneysel çalışma sonucunda, en yüksek f_c değeri Ellasona bölgesinden elde edilen 28 günlük % 15 diatomit içeren numunede 64.10 MPa olarak belirlenmiştir. Diatomit oranı arttıkça numunelerin f_c değerlerinde genellikle bir düşüş olduğu görülmüştür (Fragoulis, 2005). Enorandall 3 ve Enorandall 7 olarak isimlendirilen iki farklı kimyasal içeriğe ve iki farklı puzolanik aktivite değerine sahip diatomitler çimento yerine ağırlığınca % 20 oranlarında kullanılarak ve sadece çimento

kullanılarak harç numuneler üretilmiştir. 28 günlük küre tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri sonucunda, sadece çimento içeren numunelerin f_c değerlerinin %20 diatomit içeren numunelerin f_c değerlerinden daha yüksek olduğu, farklı kimyasal içeriklere sahip diatomitlerin basınç dayanımı değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir (Rovnanikova vd., 2015).

Çimento veya puzolanik malzemelerin özgül yüzey alanları arttıkça bağlayıcılık özellikleri de artmaktadır. Dayanım kazanma sürecinde özgül alanı yüksek olan çimento ve puzolanik malzemeler suyla birlikte dayanımı doğrudan etkileyen daha fazla C-S-H jellerinin oranını arttırmaktadır. 7550 cm^2/g ve 12950 cm^2/g özgül yüzey alanlarına sahip iki farklı ham diatomit 0.50 ve 0.55 su/çimento oranı ile oluşturulan beton karışımlarda çimento yerine ağırlıkça %0, 3, 5 ve 10 oranlarında kullanılmış ve beton numuneler üretilmiştir. Bu numunelere 7, 14 ve 28 gün kür uygulanmıştır. Kür günleri arttıkça, numunelerin f_c değerleri artmıştır. 7550 cm^2/g özgül yüzey alanına sahip diatomit içeren ve 0.50 su/çimento oranında üretilen numunelerde yapılan f_c deneyleri sonucunda % 10 diatomit katkılı betonlar hariç karışımlarda 7 günlük f_c değerleri sadece çimento içeren kontrol numunesine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak, 14 ve 28 günlük kür yaşlarında ise diatomit katkılı betonların f_c değerlerinin kontrol numunesinin f_c değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yani diatomit oranı arttıkça beton f_c değerlerinde artış olduğu da gözlenmiştir. 12950 cm^2/g özgül yüzey alanına sahip diatomit içeren ve 0.50 su/çimento oranında üretilen numunelerde ise diatomit oranı arttıkça f_c değerlerinin azaldığı görülmüş ve 28 günlük f_c değerlerinin kontrol numunesinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 7550 cm^2/g özgül yüzey alanına sahip diatomit içeren ve 0.55 su/çimento oranında üretilen numunelerde (% 3 diatomit içeren numuneler hariç) 28 günlük f_c değerlerinin kontrol numunesinin f_c değerlerinden daha düşük olduğu, diatomit ilavesi arttıkça f_c değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. 7550 cm^2/g özgül yüzey alanına sahip diatomit içeren ve 0.55 su/çimento oranında üretilen numunelerde ise diatomit içeren numunelerin f_c değerlerinin kontrol numunesine göre daha yüksek olduğu ve diatomit oranı arttıkça (% 5 diatomit içeren karışım hariç) f_c değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Karışımlarda beton f_c değerlerine en olumlu etkiyi yapan karışım, 0.50 su/çimento oranında çimento yerine ağırlığınca % 3 ve % 10 diatomit içeren karışım olduğu belirlenmiştir (Genç, 2006).

Sadece çimento içeren kontrol numunesine ek olarak %10 ve 20 diatomit, %10 ve 20 zeolit ve % 5 diatomit ile birlikte % 5 zeolit, % 10 diatomit ile birlikte % 10 zeolit beton karışımları hazırlanmış, bu karışımlardan 15×15×15 cm küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler ortalama 25 °C sıcaklıkta 28 gün kür havuzunda küre tabii tutulmuş, 56 ve 90 gün boyunca da H₂SO₄, MgSO₄, NaCl ve H₂O içeren ortamlara maruz bırakılmışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda diatomit, zeolit ve diatomit+zeolit içeren numunelerin f_c değerlerinin sadece çimento içeren numunelerin f_c değerlerinden daha düşük olduğu, diatomit, zeolit ve diatomit-zeolit içeren karışımları da diatomit ve zeolit oranı arttıkça f_c değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Sadece 90 günlük H₂O ortamına maruz bırakılan %10 zeolit içeren numunelerin f_c değerlerinin kontrol numunesinden yüksek olduğu belirlenmiş, H₂SO₄ çevresel etkisine maruz kalan tüm numunelerin f_c değerlerinin tüm hidratasyon günlerinde en düşük olduğu görülmüştür. MgSO₄ çevresel etkisinde ise en yüksek f_c değerinin 90 günlük %10 diatomit içeren numunelerde görülmüştür. NaCl çözeltisine maruz bırakılan tüm numunelerin 28, 56 ve 90 günlük f_c değerlerinin diğer ortam koşullarındaki f_c değerlerinden daha yüksek olduğu ve en yüksek f_c değerlerinin ise 90 günlük %10 diatomit içeren numunelerde görüldüğü belirlenmiştir (Savaş, 2012).

Özellikle insanların yaşamlarını sürdürdüğü yapılarda yapıları ve insanları en çok tehdit eden afetlerden birisi yangınlardır. Yapılarda kullanılan malzemelerin yangın esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalması yapıların çökmelerine sebep olmaktadır. Betonun yangın dayanımını araştırmak için çimento yerine ağırlıkça %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında diatomit kullanılan betonlar 28 günlük kürden sonra 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış ve numunelerin soğuma işlemi gerçekleştikten sonra üzerlerinde f_c deneyi yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, normal şartlarda sadece çimento içeren numunenin f_c değerinin diatomit içeren numunelerin f_c değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. % 10 diatomit içeren betonların f_c değerlerinin diatomit içerikli betonlar içerisinde en yüksek basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. 400 °C sıcaklığa kadar sadece çimento içeren numunelerin f_c değerlerinin diatomit içeren numunelerden daha yüksek olduğu, 400 °C'den sonra %10 diatomit içerikli betonların tüm karışımlardan daha yüksek f_c değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklara maruz kalan diatomitli betonların f_c değerleri Çizelge 2.10'da görülmektedir (Esen, 2017). Yapılan diğer bir çalışmada, sadece çimento içeren kontrol numunesine ek olarak %5, 10 ve 15

oranlarında çimento yerine diatomit kullanılan harç numuneleri 20 °C ortam sıcaklığında 28 ve 90 gün kür edilmiştir. Ayrıca harç numuneler, hem 28 gün hem de 90 gün kür edildikten sonra 150, 300, 500 ve 700 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler havada ve suda olmak üzere iki tür soğutmaya tabi tutulmuştur. Numunelere yapılan f_c deneyleri sonucunda diatomit katkılı betonların f_c değerlerinin yüksek sıcaklık etkisi karşısında kontrol numunelerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Özellikle %10 diatomit katkılı betonların f_c değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Beton numunelerine yüksek sıcaklık etkisi sonrasında havada soğutma yapılan numunelerin suda soğutma yapılan numunelere göre basınç dayanımı açısından daha verimli olduğu tespit edilmiştir (Dinler, 2012).

Çizelge 2.10. Yüksek sıcaklıklardaki diatomitli betonların f_c değerleri (Esen, 2017)

Sıcaklık	Kontrol (MPa)	D10 (MPa)	D20 (MPa)	D30 (MPa)	D40 (MPa)
20 °C	38.8	33.3	22.8	18.9	13.6
200 °C	39.4	35.3	23.1	18.4	13.3
400 °C	39.6	37.3	24.4	18	13.2
600 °C	26.6	32.5	17	10.8	7.3
800 °C	13.1	22.6	8.3	8.3	3.9

Geopolimer malzemeler doğal minerallerin kimyasal kompozisyonlarının ve kristal yapılarının çeşitli yöntemlerle değiştirilmesi sonucu üretilir. Geopolimer malzemeler doğal kayaç yapısı ile benzer özellikler taşımaktadırlar. Yapılan bir çalışmada, uçucu kül yerine uçucu kül ağırlığının % 0, 60, 80 ve 100 oranlarında diatomit kullanılan harç numunelerde, aktivatör olarak Na_2SiO_3 ve NaOH kullanılmıştır. Karışımlarda NaOH konsantrasyonu 15 molar, $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranı ağırlıkça 1.5 ve alkali aktivatör bağlayıcı oranı 0.40, 0.50, 0.60 ve 0.70 olarak belirlenmiştir. Daha sonra üretilen harç numuneler, 75 °C’ de 24 saat ısıtma işlemine tabi tutulmuşlardır. Soğutmaya bırakılan harç numunelerde ertesi gün yapılan f_c deneyleri sonucunda, tüm karışım oranlarında sadece uçucu küllü harçların f_c değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Karışımlarda kullanılan diatomit oranı arttıkça f_c değerlerinin düştüğü görülmüştür (Sinsiri vd., 2012).

Sadece çimento içeren kontrol numunesine ek olarak Na_2CO_3 ile aktive edilmiş ve kuru kür ve ıslak küre tabi tutulmuş %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında diatomit içeren

numunelerin f_c deęerleri arařtırılmıřtır. Harç karıřımlarında diatomit oranı arttıķa f_c deęerlerinin dūřtūęu gōzlenmiřtir. % 100 diatomit içeren harç karıřımlarında f_c deęerleri elde edilememiřtir. Aynı oranlarda diatomit içeren karıřımlara imento yerine aęırlıkça bir miktar TiO_2 ilavesiyle elde edilen f_c deęerlerinde en dūřuk deęer % 75 diatomit ve TiO_2 içeren numunelerde gōzlenmiřtir. Kuru kūr ve ıslak kūr uygulanan numunelerde kuru kūr yapılan numunelerin basınç dayanımı deęerlerinin, ıslak kūr yapılan numunelere gōre daha yūksək olduęu gōrūlmūřtır (Sarıdemir, 2016)

Kuvars kumu yerine diatomit kullanılan selūloz elyaf takviyeli harçların f_c değerleri araştırılmıştır. Kuvars kumu yerine kullanılan diatomit oranı arttıķa, erken gūnlerdeki f_c değerleri artmış, bunun sebebi kuvars kumuna ek olarak kullanılabilecek daha ince bir malzeme olması olarak gōsterilmiřtir (İnce vd., 2019).

Yapılan bir deneysel çalıřmada, farklı oranlarda ince ve iri diatomit agregası kullanarak harç numuneler ūretmiřtir. Yapılan basınç deneyleri sonucunda priz sūresi arttıķa, f_c deęerlerinin dūřūř gōsterdięi, bunun sebebinin de diatomitin nemi absorbe etmesi ile iliřkilendirilmiřtir (Karagōz, 2014). 0 ile 1 mm kalsit agregası içeren kontrol harç numunesine ek olarak, agrega yerine 0 ile 1 mm ve 0 ile 4 mm arası farklı oranlarda diatomit agregası içeren harç numuneleri ūretilmiřtir. Harç numuneleri ūzerinde 28 gūn sonra yapılan basınç deneyi sonucunda f_c deęerlerinin yalnızca kalsit içeren numunenin, kontrol numunesinin f_c deęerlerinden daha dūřuk olduęu gōrūlmūřtır. Karıřımlarda kullanılan 1 ile 4 mm arası diatomit agrega oranı arttıķa f_c deęerlerinde dūřūř olduęu gōrūlmūřtır (Gūndūz ve Kalkan, 2016). Afyonkarahisar bōlgesinde bulunan diatomitler ile hafif beton ūretmek amacı ile kalker agregası yerine diatomit agregası kullanılan deneysel çalıřmada, 250, 300, 350 ve 400 kg/m^3 imento dozajlarına sahip beton numuneler ūretilmiřtir. Bu beton numunelerde farklı oranlarda 8 ile 16 mm, 4 ile 8 mm ve 0 ile 4 mm boyutlarında diatomit agregası kullanılmıřtır. Çimento dozajı arttıķa karıřımlarda her boyuttan diatomit agrega oranı azaltılmıřtır. Çimento dozajı arttıķa 7 gūnlük f_c deęerlerinde artıř gōzlenmiř, fakat 300, 350 ve 400 kg/m^3 dozajlı beton numunelerdeki f_c deęerlerindeki artıř arasındaki farkın dūřuk deęerlerde olduęu gōrūlmūřtır. 28 gūnlük deney sonuçlarında ise en yūksək f_c deęeri 350 kg/m^3 dozajlı betonda gōrūlmūřtır (Ūnal ve Uygunoęlu, 2007).

2.1.9.5 Diyatomitin sertleşmiş harç ve betonun elastisite modülüne etkisi

Elastisite modülü, bir malzemeye uygulanan kuvvet nedeni ile meydana gelen gerilmeler altında oluşan şekil değişiminin, gerilmelere sebep olan kuvvet kaldırıldıktan sonra malzemenin eski şekline alma özelliğini ifade eden değer olarak tanımlanır. Elastisite modülü, İnşaat Mühendisliği'nde kullanılan, faydalanılan en önemli sayısal donelerden biridir. İnşa edilen yapıların, zati yük, hareketli yük, kar yükü ve özellikle deprem ve rüzgar gibi yanal kuvvetlere karşı yeteri kadar rijit ve sünek olması hedeflenir. Deprem yönetmeliklerinde, özellikle yüksek katlı ve deprem fay hatlarına yakın yerlerde (deprem yer ivmesinin yüksek olduğu yerlerde) inşa edilen yapıların yüksek sünek çözülmesi şartı koşulmaktadır. Deprem anında yapıda meydana gelen salınımlar sonucunda yapının kolon ve kiriş gibi yapı elemanlarının şekil değişimi ile deprem enerjisinin sönmülmesi özellikle yapıların depremden sonrada kullanılabilmesi için şekil değişimlerinin plastik değil elastik olması da amaçlanmaktadır. Elastisite modülü malzemede oluşan gerilemelerin birim şekil değiştirmeye bölümü ile elde edilir. Yapıda kullanılan malzemelerin elastisite modülünün yüksek olması malzemelerin kırılmadan daha çok enerji sönmülmesini sağlayarak, yük altında daha stabil yapıların meydana gelmesini sağlar.

Literatürde, diatomit içeren harç ve betonların elastisite modülü değerlerinin belirlendiği çok az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri iki farklı kimyasal içeriğe ve puzolanik aktivite değerlerine sahip diatomitlerin %0 ve 20 oranında çimento yerine ağırlıkça kullanıldığı diatomitli harç numunelerdir. Bu harç numunelerin elastisite modüllü değerleri belirlenmiştir. Sadece çimento içeren numunelerin elastisite modülü değerinin daha yüksek olduğu ve puzolanik aktivite değeri yüksek olan diatomitli numunelerin elastisite modülü değerinin diğer diatomitli numunelerin elastisite modülü değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada elastisite modülünün puzolanik aktivite ile doğrudan bir ilişkiye sahip olduğu anlaşılmıştır (Rovnanikova, 2015). Yapılan diğer bir çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak uçucu kül içeren geopolimer harç karışımlarında uçucu kül yerine ağırlıkça %0, 60, 80 ve 100 oranlarında diatomit kullanılmıştır. Çalışmada, elastisite modülü değerleri, f_c değerlerinin kareköküne bağlı olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar f_c değerlerine benzer şekilde sadece uçucu kül içeren geopolimer harçların elastisite modülü

değerlerinin daha yüksek olduğu, karışımlarda diatomit oranı arttıkça elastite modülü değerlerinin azaldığı görülmüştür (Sinsiri vd., 2012).

2.2 Yapılmış Çalışmalar

Sezer (2010) çalışmasında, gazbeton üretiminde diatomitin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneysel çalışmada, Afyonkarahisar-Seydiler bölgesinden elde edilen diatomit ile sönmemiş kireç, alçı ve alüminyum tozundan 13 farklı karışım elde edilmiştir. Bu elde edilen numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda birim hacim ağırlık değerlerinin piyasada bulunan ticari gazbetona benzerlik gösterdiğini, ancak f_c değerlerinin ticari gazbetonlardan daha düşük olduğunu belirtmiştir. Diatomit içerikli gazbetonlarda basınç dayanımı değerlerinin artırılması ve çimento kullanımının azaltılabilesinin daha yüksek buhar basınçlı otoklav kürü ile mümkün olabileceğini belirtmiştir.

Gökçe (2010) yaptığı deneysel çalışmada, diatomit esaslı hafif yapı malzemesi üretiminde üre-formaldehitin bağlayıcı olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada, %10, 20, 30 ve 40 oranlarında çimento/diatomit ve %10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 oranlarında üre-formaldehit/diatomit içeren numuneler hazırlamıştır. Yapılan deneyler sonucunda, hacimce %40 ve 45 oranında üre-formaldehit/diatomit içeren numunelerde sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin $0,70 \text{ g/cm}^3$ ve $0,65 \text{ g/cm}^3$ olduğunu, f_c değerlerinin 3.7 ve 3.5 MPa arasında değiştiğini ve %40 üre-formaldehit/diatomit içeren numunelerin $0,134 \text{ W/mK}$ ısı iletim katsayısı değerine sahip olduğunu belirtmiştir. Elde edilen bu bulgularla üre-formaldehitin diatomitle hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Bideci vd. (2009) yaptıkları deneysel çalışmada, diatomitin ve genleştirilmiş perlitin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan diatomit Ankara Şeker Fabrikası diatomit tesislerinden, perlit ise İzmir Eti Holding A.Ş.'den temin edilmiştir. Diatomit ve perlit, tuğla kiline %0, 10, 20 ve 30 oranlarında ilave edilmiştir. Daha sonra diatomit ve perlit içeren harç numuneler ile $800 \text{ }^\circ\text{C}$, $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de pişirilmiş tuğla üretilmiştir. Üretilen diatomitli ve perlitli tuğlalar üzerinde f_c , su emme ve dona dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Basınç deneyleri sonucunda 900

°C'de pişirilmiş %20 ve 30 diatomit içeren tuğlaların f_c değerlerinin yeterli olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, 900 °C'de pişirilmiş %20 oranında diatomit içeren tuğlaların standart tuğlaların mekanik özelliklerini karşılayabileceği belirtilmiştir.

Ünal vd. (2003) yaptıkları deneysel çalışmada, pomza ve Afyon Tınaztepe yöresinden elde edilen diatomitin hafif beton blok üretiminde kullanılabilirliğini incelemiştir. Üretilen karışımlarda hafif agrega olarak pomza ve diatomit, normal agrega olarak kum ve kırma kum kullanılmıştır. Aynı zamanda pomza+diatomit ve diatomit+kum+kırma kum karışımları da kullanılmıştır. Bu karışımlardan hazırlanan numuneler üzerinde, U_{pv} , kılcal su emme ve f_c deneyleri yapılmıştır. Agrega olarak, 2 ile 5 mm arasındaki diatomit oranı arttıkça ve 5 ile 10 mm arasındaki diatomit oranı azaldıkça, f_c ve U_{pv} değerlerinin yükseldiği gözlenmiştir.

Çalışkan (2015) yaptığı deneysel çalışmada, diatomit, çimento, alçı, kireç, alüminyum tozu ve kimyasal katkı ile 14 farklı karışım oranlarında, gazbeton örnekleri üretmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde atmosferik buhar kürü, düşük basınç otoklav kürü ve otoklav kürü uygulanmıştır. Daha sonra üretilen numuneler üzerinde, birim hacim ağırlık, f_c ve ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Kuvars kumu yerine diatomit kullanılan gazbeton numunelerinde, birim hacim ağırlık değerlerinin 375 ile 285 kg/m³, f_c değerlerinin 1.75 ile 0.85 MPa ve ısı iletkenlik değerlerinin ise 0.07 ile 0.09 W/mK arasında değiştiği görülmüştür. Üretilen gazbeton numunelerinin yalıtım özelliklerinin piyasada bulunan ticari gazbeton yalıtım özelliklerinden daha iyi olduğu fakat f_c değerlerinin ticari gazbetona göre bir miktar düşük olduğu belirtilmiştir.

Demir vd.(2002) deneysel çalışmada, tuğla üretiminde kullanılan belirli oranlarda kil yerine diatomitin tuğla üzerinde etkilerini incelemiştir. Üretilen numuneler 900 °C'de pişirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, diatomitin tuğla hamurunun plastisitesinin arttırdığı ve diatomit oranı arttıkça f_c değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. %60 kil yerine diatomit içeren numunelerin gözenekli, hafif ve ısı yalıtım özelliğinden dolayı izolasyon tuğlası olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Tatar vd. (2004) yaptıkları deneysel çalışmada, çini karolara diatomit ilavesi ile f_c değerlerinin artırılmasını ve birim hacim ağırlık değerlerinin azaltılmasını amaçlamışlardır. Çalışmada, çini karolara %8, 18 ve 23 oranlarında diatomit ilave

edilmiş numuneler kuru olarak preslenmiş ve 900 °C sıcaklıkta pişirilmiştir. %18 diatomit katkılı çini karolarda f_c değerinin 2.3 kat arttığı ve birim hacim ağırlık değerinin %7.2 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Memiş vd. (2017) deneysel çalışmada, farklı oranlardaki diatomit ve su itici yapısı olan hidrofob kilin çimento ile karışımlarının prefabrike yapı elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Karışımlarda diatomit tozu yerine ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranında hidrofob kil ve %10, 20 ve 30 oranlarında çimento kullanılmıştır. Hazırlanan numunelere pres ve buhar kürü uygulandıktan sonra birim hacim ağırlık, f_c ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, diatomitin presleme yöntemi ile prefabrike yapı elemanlarında kullanılabileceği, f_c değerlerinin 4 ile 8 MPa, birim hacim ağırlık değerlerinin 1000 ile 1300 kg/m³ arasında değiştiği gözlenmiştir.

Uygunoğlu ve Ünal (2006) yaptıkları deneysel çalışmada, Afyon bölgesinde yer alan yataklardan elde edilen diatomitin agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini incelemiştir. Karışımlarda, diatomite farklı oranlarda iri, orta ve ince agrega olarak kullanılmıştır. Ayrıca karışımlarda çimento 250, 300, 350 ve 400 kg/m³ dozajlarında kullanılmıştır. Karışımlardan elde edilen numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, birim hacim ağırlık değerlerinin geleneksel gazbetonun birim hacim ağırlık değerlerinden daha yüksek olduğu, pomza ile üretilen bloklarla birim hacim ağırlık değerlerinin benzerlik gösterdiği belirtilmiştir. f_c değerlerinin 4 ile 8 MPa arasında değiştiği ve diatomitin taşıyıcı olmayan ısı yalıtım özelliği olan blok üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Uygunoğlu ve Ünal (2005) yaptıkları deneysel çalışmada, yapılarda meydana gelecek depremlerin sebep olduğu hasarları azaltmak için yapı ağırlığını hafifletecek bölme duvarlarda diatomit bloklarının kullanılabilirliğini incelemiştir. Karışımlar farklı oranlarda diatomit agregası kullanılarak üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde birim ağırlık, U_{pv} , f_c ve porozite deneyleri yapılmıştır. Numunelerin birim ağırlık değerlerinin 0.8 ile 1.2 kg/dm³ ve f_c değerlerinin 5 ile 6 MPa arasında değiştiği belirtilmiştir. Üretilen numunelerin tuğlalar için belirlenen minimum f_c değerini sağladığı belirtilmiş ve birim hacim ağırlık değerlerinin standart tuğlanın birim hacim ağırlık değerlerinden %25 ile %50 arasında daha hafif olduğu sonucuna varılmıştır.

Çubuk (1998) yaptığı çalışmada, yol kaplamalarında kullanılan asfalt betonunun elastikliğini arttırmak için diatomit kullanmıştır. Yapılan çalışmada standart marshall numuneleri farklı oranlarda asfalt, agrega ve diatomit karışımından hazırlanmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda %2 diatomit ve %7.5 asfalt içeren numune oranlarına kadar marshall stabilitesi ve elastisite modülünün arttığı gözlenmiştir.

Degirmenci and Yılmaz (2009) çalışmada, harçlar için Portland çimento kısmi yerdeğişim malzemesi olarak diatomit kullanımını araştırmışlardır. Karışımlarda, kum ve su miktarları sabit tutulurken, kısmi yerdeğişim malzemesi olarak diatomit %0, 5, 10 ve 15 oranlarında çimento yerine ağırlıkça kullanılmıştır. Üretilen harçların f_{fs} ve f_c değerleri, donma-çözülme direnci, sülfat direnci, su emme ve kuru birim ağırlık değerleri belirlenmiştir. f_{fs} ve f_c değerleri, tüm kür dönemlerinde artan diatomit içeriği ile azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, %5 diatomit içeriği ile üretilen çimento harcının f_c değerinin standartlarda verilen minimum değerle uyumlu olduğu ifade edilmiştir. Diatomit yerdeğişimin genellikle 25 donma-çözülme çevriminden sonra harçların f_c değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. Harçların su emme oranlarının, % 15 diatomit içeren harç hariç, diatomit içeriğinin artması ile azaldığı gözlenmiştir. Harçların kuru birim ağırlık değerlerinin, diatomitin yüksek gözenekliliği nedeniyle kontrol harcından daha düşük olduğu belirtilmiştir. % 5 sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmış harç çubuklarının genleşmesinin, artan diatomit içeriği ile azaldığı ve genellikle diatomit içerikli harçların sülfat dirençlerinin kontrol harcından daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Ergün (2011) çalışmasında, çimento kısmi yerdeğişim malzemesi olarak diatomit ve atık mermer tozu kullanımının betonun mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Beton karışımlarını üç seri şeklinde hazırlamışlardır. Birinci seride çimento yerine % 5, 7.5 ve 10 diatomit, ikinci seride çimento yerine %5, 7.5 ve 10 atık mermer tozu ve üçüncü seride ise % 5 ve 10 diatomit ve atık mermer tozu birlikte kullanılmıştır. Bu karışımlarla üretilen beton numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük f_c ve f_{fs} değerleri belirlenmiştir. Kontrol betonuna göre, birinci seride çimento yerine kullanılan diatomit miktarı arttıkça f_c değerlerinin arttığı, f_{fs} değerlerinde ise önemli bir değişikliğin olmadığı belirtilmiştir. Kontrol betonuna göre, üçüncü seride çimento yerine kullanılan diatomit+atık mermer tozu içeren karışımların ilk günlerinde f_c

değerlerinde önemli bir değişimin olmadığı, ileriki yaşlarda f_c değerlerinin arttığı, f_{fs} değerlerinde ise önemli bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir.

Posi vd. (2013) çalışmalarında, kalsine diatomit agregası içeren preslenmiş hafif beton özelliklerini incelemiştir. Kırılmış diatomitleri ince, orta ve kaba agregalar olarak sınıflandırmışlardır. Daha sonra, bu sınıflandırılan agregaları 4 saat boyunca 400-1000 °C'de kalsine etmişlerdir. Preslenmiş hafif betonların f_c değerlerinin 7.8 ile 12.9 MPa, yoğunluklarının 1000 ile 1200 kg/m³, gözenekliliklerinin %58 ile 61, su emmelerinin %61 ile 72 ve termal iletkenliklerinin 0.15 ile 0.19 W/mK arasında olduğunu belirtmişlerdir. Hafif ve yüksek dayanımlı blokların, 1000 °C'lik yüksek kalsine edilmiş sıcaklıktan elde edilen kaba diatomit agregasının kullanılması ve 600 °C'lik kalsinasyon sıcaklığından elde edilen ince diatomit agregasının kullanılmasıyla elde edildiğini ifade etmişlerdir. Kalsine edilmiş diatomitlerin, preslenmiş hafif beton bloklar yapmak için uygun hafif bir agrega olduğunu belirtmişlerdir.

Xu vd. (2016) agrega olarak atık taş tozu ve mineral katkı olarak diatomit ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan doğal hidrolik kireç esaslı harçların özelliklerini incelemiştir. Özellik değerlendirmelerinde diatomit ile hazırlanan harçların f_c ve f_{fc} değerlerini büyük ölçüde arttırdığını, uçucu kül ilavesinin harçların f_{fc} değerleri üzerinde belirgin bir iyileşme oluşturduğunu belirtmişlerdir. Diatomitin, harçların f_c değerleri üzerinde uçucu külden daha olumlu bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Yılmaz ve Ediz (2008) çalışmada, çimento üretiminde ham ve kalsine diatomit kullanımını araştırmışlardır. Portland çimentosu klinkerinin %5, 10 ve 20'si oranında ham ve kalsine diatomit ve alçı karışımıyla hazırlanan harçların fiziksel, kimyasal, mineralojik, mikro-yapısal ve mekanik özelliklerini incelemiştir. %5 ve 10 ham ve kalsine diatomit içeren çimentoların f_c ve f_{fc} değerlerinin, Portland çimentosunun f_c ve f_{fc} değerlerine yakın olduğunu belirtmişlerdir.

BÖLÜM III

DENEYSEL ÇALIŞMA

Üretilen harç karışımlarda kullanılan malzemeler ve malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri bu bölümde açıklanmıştır. Harç karışımlarının üretimi ve harç karışımları üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümüne ait Yapı Malzemeleri Laboratuvarında ve Merkezi Araştırma Laboratuvarı Analiz Biriminde yapılmıştır. Üretilen karışımlarda Rilem kumu (CEN standart kumu) ve kalker kumu olmak üzere iki tür kum kullanılmıştır. Her iki karışımda da sadece çimento içeren kontrol karışımları ile beraber çimento yerine ağırlığınca % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında kalsine edilmiş diatomit kullanılarak 10 farklı karışım üretilmiştir. Karışımlarda su/bağlayıcı oranı sabit tutulmuş ve süper akışkanlaştırıcı değişik oranlarda kullanılmıştır. Karışımlardan elde edilen numunelere 14, 28, 56 ve 91 gün süresince su havuzu kürü uygulanmıştır. Taze harç numuneler üzerinde birim ağırlık ve yayılma deneyi, sertleşmiş harç numunelere 14, 28, 56 ve 91 gün kür uygulamasından sonra sertleşmiş birim ağırlık, ultrases geçiş hızı (U_{pv}), basınç dayanımı (f_c), eğilme dayanımı (f_{fc}) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 56 günlük numuneler 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra, bu numuneler üzerinde sertleşmiş birim ağırlık, U_{pv} , f_c , f_{fc} deneyleri yapılmıştır. Dahası, 56 günlük numuneler 25 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılan bazı harç numunelerden elde edilen örnekler üzerinde XRD, SEM, EDS spot ve PLM analizleri yapılmıştır.

3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri

3.1.1 Çimento

Çimento fabrikalarda kalker ve kilin pişirilmesi ile elde edilen klinkerin bir miktar alçı taşıyla öğütülmesinden elde edilir. Çimento; harç ve beton karışımlarında su ile birleşerek hidrasyon sürecine girer. Bu hidrasyon sürecinde kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$), kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jelleri ve kalsiyum alümina silika hidrat (C-A-S-H) jelleri oluşur ve agregalar arasında bağlayıcılığı sağlarlar.

Harç numunelerin üretiminde Niğde Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen TS EN 197-1 (2012) standardına uygun ilk günkü dayanımı hızlı ve yüksek olan CEM-I 42.5R türü çimento kullanılmıştır. CEM-I 42.5R Portland çimentosunun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Harç üretiminde kullanılan çimentonun görüntüsü Fotoğraf 3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Çimento esaslı malzemelerin özellikleri

Kimyasal bileşenler (%)	CEM-I 42.5	*ÖKD
SiO ₂	18.31	82.02
Fe ₂ O ₃	3.72	5.24
CaO	61.80	2.68
Al ₂ O ₃	3.93	3.76
SO ₃	3.66	1.91
MgO	2.88	0.60
Na ₂ O	0.61	0.33
K ₂ O	0.73	0.20
P ₂ O ₅	0.08	1.21
TiO ₂	0.38	0.30
MnO	0.05	-
BaO	-	0.77
Kızdırma kaybı	3.65	0.88
<i>Fiziksel özellikler</i>		
Priz başlama-bitiş süresi (dakika)	115-225	
Özgül ağırlık	3.21	2.74
Özgül yüzey alanı (Blaine) (m ² /kg)	355	
Yüzey alanı (Ss BET) (m ² /g)	1.038	12.251
<i>Mekanik Özellikler</i>		
Basınç dayanımı (MPa)		
3 gün	31.48	
7 gün	44.15	
28 gün	53.27	

*ÖKD: Ögütülmüş kalsine diatomit

3.1.2 Ögütülmüş kalsine diatomit

Nevşehir Kapadokya bölgesinden temin edilen diatomitler çelik bilyeli değirmenlerde öğütülme işleminden sonra 850 °C'de kalsine edilmiştir ve kalsine edildikten sonra tekrar öğütülerek çimento yerine karışımlarda puzolanik malzeme olarak kullanılmıştır. Elde edilen öğütülmüş kalsine diatomit (ÖKD) tozunun özgül ağırlığı 2.74, yüzey alanı 12.251 m²/g olarak belirlenmiştir. ÖKD'nin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Aynı zamanda diatomit TS 25 (2008)'e göre doğal puzolan olarak kabul edilmektedir. Fotoğraf 3.1'de ÖKD'nin görüntüsü verilmiştir.



C: Çimento, ÖKD: Öğütülmüş kalsine diatomit, ÖD: Öğütülmüş diatomit,

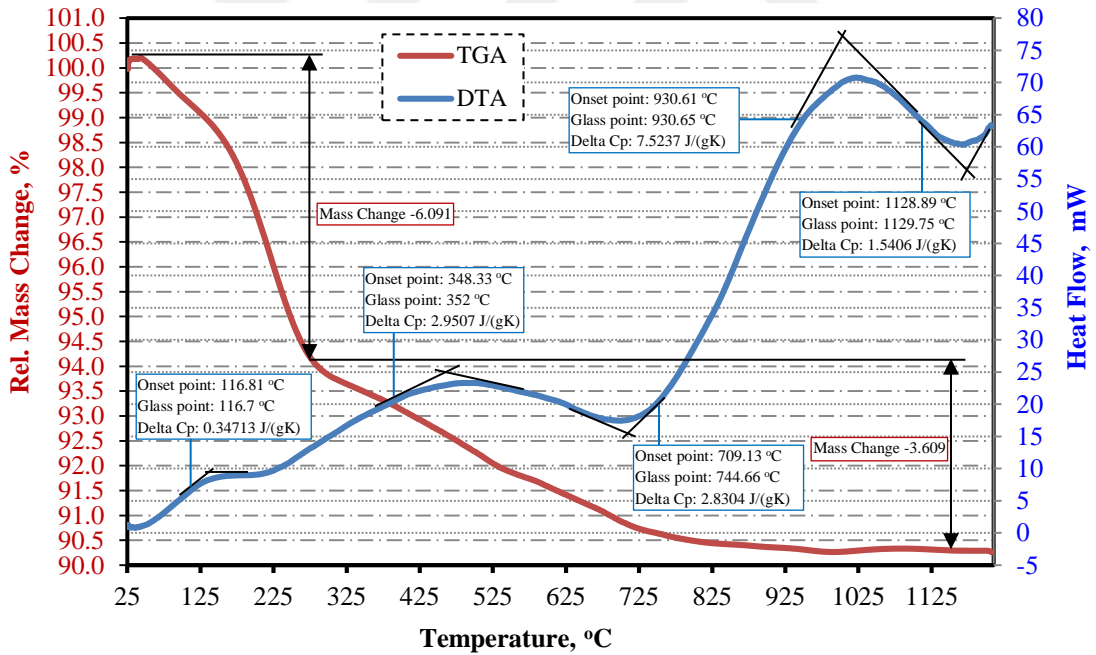
Fotoğraf 3.1. Harç karışımlarında kullanılan mineral katkıları

3.1.2.1 Diatomitin Kalsinasyon ve Öğütülme İşlemi

Deneysel çalışmada kullanılan diatomit doğadan ham bir şekilde elde edildiği için kırıldıktan sonra öğütülmüştür. Bir malzemenin puzolanik özellik gösterebilmesi için ince taneli olması gerekmektedir. Bu nedenle kırılmış diatomit parçaları öğütülmüştür. Ham diatomit parçalarının öğütülme işlemi çelik bilyeli değirmende gerçekleştirilmiştir. Öğütülme işleminden sonra öğütülmüş ham diatomit 90 µm altına düşürülmüştür. Daha sonra öğütülmüş ham diatomit farklı sıcaklıklarda kalsine edilmiştir. Kalsinasyon, oksit bileşenleri oluşumunu sağlamak için yüksek sıcaklık etkisi ile karbonat ve hidratların parçalanma işlemidir. Kalsinasyon işlemi sadece malzeme içerisinde absorbe olmuş nemin uzaklaştırılmasını sağlamaz aynı zamanda karbondioksit ve bileşim içerisinde yer alan kimyasal bazlı diğer gazların da uzaklaştırılmasını sağlar. Öğütülmüş ham diatomitin kalsinasyonu için 6 ayrı numune grubu oluşturulmuş ve bu numunelerin her biri 5 °C/dak ısıtma oranıyla iki saat süreyle 650 °C, 750 °C, 850 °C, 950 °C ve 1050 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. ASTM C 311/C311M-18 (2018) standardına göre her bir kalsinasyon sıcaklığına maruz kalan öğütülmüş kalsine edilmiş diatomitin dayanım aktivite indeksi belirlenmiştir. Kullanılan deney yöntemi ile en yüksek dayanımlı kalsine öğütülmüş diatomit belirlenmiştir. Bu standarda göre kontrol harcı için karışımda, 500 g çimento, 1375 g CEN standart kum ve 242 g su kullanılmıştır. Puzolanik aktivite için karışımlarda, 400 g çimento, 100 g öğütülmüş kalsine diatomit, 1375 g kum ve 245 su kullanılmıştır. Karışımlar hazırlandıktan sonra 50×50×50 mm küp kalıplara titreşim masasında yerleştirilmişlerdir. Bir gün sonra kalıplardan çıkarılan numuneler 25 °C'lik kür havuzunda 7 ve 28 gün kür işlemine tabi tutulmuşlardır. 7 ve 28 sonra gerçekleştirilen f_c

deneyleri sonucunda 850 °C’de öğütülmüş kalsine diatomitin en yüksek dayanım aktivite indeksini gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuca göre öğütülmüş diatomitin kalsinasyon sıcaklığının 850 °C olduğu görülmüş ve tüm deneysel çalışmalarda kullanılacak öğütülmüş diatomit bu sıcaklıkta kalsine edilmiştir.

Öğütülmüş diatomitin yüksek sıcaklıklardaki fiziksel ve kimyasal değişikliklerini araştırmak için termogravimetrik analizi (TGA) ve diferansiyel termal analizi (DTA), gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan öğütülmüş ham (kalsine edilmemiş) diatomitin TGA ve DTA sonuçları Şekil 1.1’de görülmektedir. TGA sonuçlarına göre öğütülmüş ham diatomitte 300 °C sıcaklıkta % 6.091, 1150 °C sıcaklıkta ise % 9.7 kütle kaybı meydana gelmiştir. Sıcaklık 800 °C yükseldikçe öğütülmüş ham diatomitin opal yapısı ayrılmış ve ham diatomitin yapısında bulunan suyun buharlaşması ile kütle kayıpları azalmaya devam etmiştir. Bu nedenle öğütülmüş ham diatomitin kalsinasyon sıcaklığının 850 °C olarak belirlenmesi uygundur.



Şekil 3.1. Öğütülmüş ham diatomitin TGA ve DTA eğrileri

DTA sonuçlarında öğütülmüş ham diatomitin içerisinde bulunan su kaybına bağlı endotermik piklerin başlangıç noktaları 116.7 °C ve 149 °C sıcaklıklarda gözlenmiştir. 709 °C sıcaklıktaki başlangıç noktası öğütülmüş ham diatomitin yapısında bulunan kaolin minerallerinin dehidrasyonunu ifade etmektedir. 930 °C ve 1129 °C sıcaklıklarda

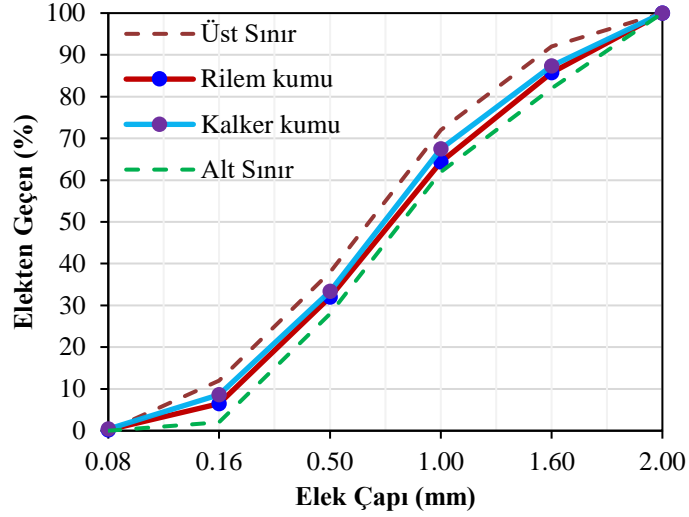
ki başlangıç noktaları ise öğütülmüş ham diatomitin dehidrasyonunun tamamen gerçekleştiğini ve yeni silikat malzemelerin oluştuğunu göstermektedir. Öğütülmüş ham diatomitin kalsinasyon sıcaklığının belirlenmesinde yapılan TGA ve DTA sonuçları puzolanik aktivite indeksi deney sonuçları ile örtüşmektedir.

3.1.3 Kum

Yapılan bu tez çalışmasında, iki farklı seri karışım elde etmek için iki farklı kum agrega olarak kullanılmıştır. Bu iki farklı kum Rilem kumu (RK) (CEN standart kumu ve kalker kumu (KK) agregalarıdır. TS EN 196-1 (2009)'e göre tanımlanan ve özellikleri verilen CEN standart kumunun görünüşü Fotoğraf 3.2'de verilmiştir. CEN standart kumu ile üretilen harç numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarının tahkikinde kullanılan standart kum olarak bilinmekte ve uygulanmaktadır. Agrega; harç ve betonların karışımlarının en önemli parçalarından biridir. Çimento hamuru agregaların yüzeylerini sararak agregalar arasında mekanik ve kimyasal bağ meydana getirirler, bu oluşan bağ ve özellikle agregalar betonun dayanımını sağlarlar. Çalışmada kullanılan CEN standart kumunun özgül ağırlığı 2.63 ve kalker kumunun özgül ağırlığı 2.68 olarak belirlenmiştir. Harç ve betonların istenilen performansı göstermesini sağlayan diğer önemli etmenlerden biri de agreganın gradasyonudur. Gradasyonu iyi olan agregalar harç bileşimi içerisinde homojen bir dağılım göstererek ve daha iyi bir dayanım ve dayanıklılık oluşturur. Karışımlarda kullanılan CEN standart kumunun ve kalker kumunun elek analizleri Çizelge 3.2'de ve granülometri eğrileri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Fotoğraf 3.2. CEN standart kumu (Rilem kumu)



Şekil 3.2. CEN standart ve kalker kumlarının granülometri eğrileri

Çizelge 3.2. CEN standart ve kalker kumlarının elek analizleri (%)

Elek çapı (mm)	2	1.6	1	0.5	0.16	0.08
RK için elekten geçen (%)	100	85.7	64.3	32	6.5	0.2
KK için elekten geçen (%)	100	87.3	67.5	33.4	8.6	0.4
Sınır değerler (%)	100-98	82-92	62-72	28-38	2-12	0-0

3.1.4 Süper akışkanlaştırıcı

Harç ve beton karışımlarda basınç dayanımını etkileyen en önemli etken su/çimento oranıdır. Beton ve harç karışımlarda karışım suyunun azaltılması ile basınç dayanımında artış gözlenir fakat karışım suyunun azaltılması ile yeterli işlenebilirlik azalmakta, karışımların kalıba yerleştirilmesinden sonra segregasyonlar ve harç ve beton içerisinde yer yer boşluklar oluşabilmektedir. Son yıllarda akışkanlaştırıcı olarak üretilen kimyasal katkıları ile harç ve beton karışımlarında kullanılan su/çimento oranı düşürülebilmektedir. Bu sayede de, daha yüksek dayanımlı harç ve betonlar elde edilebilmektedir. Akışkanlaştırıcılar normal ve süper akışkanlaştırıcılar olarak ikiye ayrılmaktadır. Deneysel çalışmada üretilen harç karışımlarında yeterli işlenebilmeyi sağlamak ve yüksek basınç dayanımı değerini sağlamak için TS EN 934-2+A1 (2013) ve ASTM C 494-99a (2002)'e uygun süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcının özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan süper akışkanlaştırıcının özellikleri

Malzemenin kimyasal yapısı	Polikarbosilik eter esaslı
Renk	Amber
Yoğunluk (kg/m ³)	1.082 – 1.142
Klor içeriği (%)	< 0.1
Alkali içeriği (%)	< 3

3.1.5 Karışım suyu

Üretilen karışımlarda kullanılan karışım suyu Niğde belediyesinin şehir içme suyu isale hattından temin edilmiştir. Harç ve beton üretiminde içilebilir düzeydeki tüm sular kullanılabilir olarak kabul edilmektedir. Karışım suyu içerisinde sülfat, magnezyum sülfat, klorür, sodyum klorür, alkaliler vb. maddelerin bulunması beton üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilir. Harç ve beton karışımlarında kullanılan suyun 3 ana görev vardır. Bunlardan birincisi harç ve beton karışımların hazırlanması aşamasında kuru karışıma ilave edilerek çimentonun bağlayıcılık özelliği kazanabilmesi için hidrasyonu başlatması, ikincisi agregaları ıslatarak harç ve beton karışımlarının kalıplara yerleştirilebilmesi ve yeterli işlenebilmelerinin sağlanması ve üçüncüsü ise harç ve betonların kürünün yapılması için su kullanılmaktadır.

3.2 Harç Karışım Oranları

Deneylerde kullanılan 3 adet prizmatik numune için harç karışım oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Harç karışımlarda kullanılan malzemelerin miktarları TS EN 196-1 (2009) standartlarına uyularak belirlenmiştir. Karışımlarda standart CEN standart kumu ve kalker kumu olmak üzere 2 farklı kum kullanılmıştır. Kum miktarı tüm karışımlarda 1350 g olarak sabit tutulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0.35 olarak belirlenmiştir. Su bağlayıcı oranının yüksek olması harçların mukavemet değerlerinde düşüşe sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda fazla su miktarı harcın içyapısında oluşturacağı boşluk sebebi ile fazla geçirgen bir yapı almasına neden olur. CEN standart kumu ve kalker kumu ile üretilen tüm karışımlarda, sadece çimento içeren kontrol numunelerine ek olarak çimento yerine ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 oranında ÖKD kullanılmış ve 10 farklı seri üretilmiştir. Karışımlarda süper akışkanlaştırıcı harç karışımlarının işlenebilme özelliğini arttırmak ve mukavemet değerlerini arttırmak için kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Diatomitli harç karışım miktarları (3 adet prizmatik numune için)

Karışım Kodu	Çimento (g)	ÖKD (g)	RK (g)	KK (g)	Su (g)	SA (g)	Yayılma (cm)	Δ (kg/m ³)
RK0	500	0	1350	0	175	20	14	1790
RK5	475	25	1350	0	175	25	14.5	1784
RK10	450	50	1350	0	175	30	15	1776
RK15	425	75	1350	0	175	30	14	1769
RK20	400	100	1350	0	175	35	14.5	1757
KK0	500	0	0	1350	175	20	17	1847
KK5	475	25	0	1350	175	25	16	1832
KK10	450	50	0	1350	175	30	16	1820
KK15	425	75	0	1350	175	30	15.5	1800
KK20	400	100	0	1350	175	35	15	1785

RK: Rilem kumu, KK: Kalker kumu, ÖKD: Öğütülmüş kalsine diatomit, SA: Süper akışkanlaştırıcı, Δ : Taze birim ağırlık

3.3 Harç Üretimi ve Kürü

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan karışımlar mobil hazneli ve yukarıdan karıştırıcılı harç mikserinde hazırlanmıştır. Harç karışım serilerinin tamamının hazırlanmasına başlanmadan önce deneme harçları hazırlanmış harçların uygun işlenebilirliğini sağlamak ve yayılmasını 15 ± 2 cm olacak şekilde ayarlamak için süper akışkanlaştırıcı miktarları belirlenmiştir. Kullanılacak malzemelerin miktarları belirlendikten sonra mikserde öğütülmüş kalsine diatomit, çimento, kum, su ve süper akışkanlaştırıcı konulmuş ve yaklaşık 3 dakika boyunca homojen bir yapı alıncaya kadar karıştırılmıştır. Elde edilen harç karışımlarının yayılma değerleri yayılma tablasında belirlenmiş, taze birim ağırlık, sertleşmiş birim ağırlık, U_{pv} , f_{fs} ve f_c değerlerinin belirlenebilmesi için $40 \times 40 \times 160$ mm prizmatik numune kalıplarına yerleştirilmiştir. Harçlar $40 \times 40 \times 160$ mm prizmatik kalıplara yerleştirilmeden önce harçların kalıplara yapışmaması için kalıplar fırça ile yağlanmıştır. Harçlar kalıplara 2 aşamada doldurulmuş ve her 2 aşamada da harcın içerisinde bulunan havanın harç bünyesini terk etmesini sağlamak için titreşim sehpasında sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kalıpların yüzeyleri temizlenmiş ve numunelerin yüzeyi çelik mala ile tesviye edilmiştir. Harç numunelerin 24 saat boyunca kalıp içerisinde üzerleri örtülerek priz almaları sağlamıştır. Prizini alan numuneler kalıplardan çıkarılarak 25 ± 2 °C sıcaklığa sahip kür havuzunda 14, 28, 56 ve 91 gün boyunca kür işlemi için bekletilmiştir.

3.4 Yüksek Sıcaklık Uygulaması

Yangın yapılar da meydana gelme olasılığı yüksek olan afetlerden birisidir. Dünyada yangın sebebi ile yüksek oranda can ve mal kayıpları meydana gelebilmektedir. Yapılarda kullanılan malzemelerin yangın esnasında ki dayanıklılığı can ve mal kayıplarını önlemede en önemli etkindir. Bu tez çalışmasında öğütülmüş kalsine diatomitli harçlar yangın esnasında meydana gelebilecek yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış ve yangına maruz kalan harçların sertleşmiş birim ağırlık, U_{pv} , f_{fs} ve f_c değerleri belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklara maruz bırakmak için 56 günlük numuneler elektrikli fırında sırasıyla 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara 3 °C/dak ısıtma hızıyla iki saat süreyle maruz bırakılmışlardır. Sıcaklığın yükselme ve düşüş süreleri de dikkate alındığında numunelerin sıcaklığa maruz kalma süreleri 4 ile 8 saat arasında değişim göstermiştir. Yüksek sıcaklık işlemi bittikten sonra fırın kapatılmış, havalandırma deliği açılmış ve soğumaya bırakılmıştır. Numunelerde soğuma gerçekleştikten sonra deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış numunelerin görüntüleri Fotoğraf 3.3'te verilmiştir.



Fotoğraf 3.3. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numune örnekleri

3.5 Taze Harç Deneyleri

3.5.1 Yayılma ve birim ağırlık

Yayılma deneyi, harçların kıvam ve işlenebilirliklerinin tayininde en çok kullanılan deneylerden biridir. Deneysel çalışmada, üretilen harçların yayılma değerlerinin belirlenmesi TS EN 1015-3 (2000) standardına göre yapılmıştır. Yayılma deneyine başlamadan önce deneyde kullanılacak olan koni ve tablalar nemlendirilmiş ve temizlemiştir. Harçlar yayılma tablasının üzerine yerleştirilen koniye 2 kademeli olarak doldurulmuş ve her bir kısım 10 kez şişleme yöntemi ile sıkıştırılmıştır. Bu işlemden sonra koni yavaşça çekilerek harcın tabla üzerine akması sağlanmıştır. Daha sonra tabla da yukardan düşürme sistemi ile 15 vuruş yapılmış yayılımın tamamlanması sağlanmıştır. Yayılan harç 4 farklı yönden ölçülerek ortalama yayılma değeri belirlenmiştir. Diatomitli harç karışımlarının yayılma deneyinin yapılışı ve yayılma değerlerinin belirlenmesi Fotoğraf 3.4’de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.4. Yayılma deneyi

Taze birim ağırlık değerleri, harç ve betonların prizini almamış ıslak haldeki karışım içerisindeki boşluklar dahil ağırlığının hacmine bölünmesi ile elde edilir. Bu şekilde belirlenen değerler harç ve betonun birim hacimdeki taze birim ağırlığını ifade eder. Çalışmada, taze birim ağırlık değerleri belirlemeden önce 40×40×160 mm boyutundaki kalıpların daraları belirlenmiştir. Taze harçlar numune kalıplarına yerleştirildikten sonra titreşim sehpası ile sıkıştırılma işlemi gerçekleştirilmiş ve daha sonra numunelerin

yüzeyleri temizlenmiştir. Priz almaya bırakılmaya hazır numunelerin ağırlıkları belirlendikten sonra, daha önceden belirlenen kalıp darası toplam ağırlıktan çıkarılarak net ağırlık elde edilmiştir. Elde edilen net ağırlık 40×40×160 mm kalıbın hacmine bölünerek taze berim ağırlık değerleri Denklem 3.1'deki gibi elde edilmiştir. Üretilen taze harçların birim ağırlık değerleri, TS EN 12350-6 (2010) ve ASTM C138 (1994) standartlarında belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

$$\Delta = \frac{P_a}{V_h} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de verilen, P_a ; harç ağırlığını (kg), V_h ; harç hacmini (m^3) ve Δ ; harç birim ağırlığını (kg/m^3) ifade etmektedir.

3.6 Sertleşmiş Harç Deneyleri

Sertleşmiş harçlarda yapılan birim ağırlık, f_{fs} ve U_{pv} deneyleri 40×40×160 mm numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. f_c deneyi ise f_{fs} deneyinde ikiye ayrılmış numunelerin üstünden ve altından 40×40 mm plakalardan yük etkiyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. TS EN 196-1 (2009) standardına göre, f_{fs} deneyinde 50 N/sn yükleme hızı ve f_c deneyinde ise 2500 N/sn yükleme hızı kullanılmıştır.

3.6.1 Sertleşmiş birim ağırlık

40×40×160 mm boyutlarındaki ÖKD içeren harç numunelere 14, 28, 56 ve 91 günlük kür uygulamalarının bitmesiyle kür havuzundan çıkarılan numunelerin yüzeylerindeki ıslaklığın kurumasından sonra, suya doymuş kuru yüzey haldeki numuneler üzerinde tartım işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir karışımdan 3 farklı numune ayrı ayrı tartılmış ve bu tartımların numune hacmine bölünmesiyle her bir numunenin birim ağırlık değeri belirlenir. Yani, yukarıda verilen Denklem 3.1'de gösterilen formül yardımı ile sertleşmiş birim ağırlık değerleri hesaplanır. Sertleşmiş birim ağırlık için numunenin tartılması Fotoğraf 3.5'te görülmektedir.



Fotoğraf 3.5. Sertleşmiş birim ağırlık ölçümü

3.6.2 Ultrases geçiş hızı

Ultrases geçiş hızı (U_{pv}) deneyi ile harç ve betonların dayanımları, diğer tahribatlı deney yöntemleri gibi tam olarak belirlenemez. Ancak harç ve betonların dayanımları ve dayanıklılıkları hakkında bize fikir veren tahribatsız deney yöntemlerinin en önemlisidir. Harç ve beton içerisinde boşluk, çatlak ve kılcal çatlakların oluşması, harç ve betonun hem dayanım kaybetmesini hem de durabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Harç ve betonun içerisine gönderilen sesüstü dalgalar, harç ve betonun mikro ve makro yapısında boşluk ve çatlaklar bulunuyorsa daha yavaş ilerlemekte boşluk ve çatlak daha az veya yoksa sesüstü dalgalar daha hızlı ilerlemektedir. Bu sebepten dolayı sesüstü dalgaların geçiş süreleri ne kadar kısaysa beton ve harçların o kadar kaliteli, dayanıklı ve mekanik özelliklerinin iyi olduğu sonucuna varılır. Sesüstü dalgaların yavaş ilerlemesi ise izolasyon malzemelerinde aranan en önemli özelliklerden biridir. İzole yapı bloklarındaki harç ve betonlardan ses ve ısı dalgalarının geçiş süresi uzadığı takdirde yapının ısı ve ses izolasyonu artmaktadır. Yapılan bu çalışmada 14, 28, 56 ve 91 günlük kür uygulamalarından sonra kuru yüzey suya doymun $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarındaki numuneler üzerinde U_{pv} deneyi yapılmış ve deneye başlamadan önce sağlıklı değerlerin elde edilebilmesi için numunelerin yüzeyleri temizlenmiştir. Deneyde ultrases geçiş hızını belirlemek için dijital ultrases geçiş süresi ölçme aleti kullanılmış ve ölçümlerde ASTM C 597 (1994) standardına bağlı kalınmıştır. Ölçüm cihazının alıcı ve verici başlıkları, daha sağlıklı ölçüm yapılabilmesi için jel ile jellenmiş ve alıcı ve

verici uçlar karşılıklı gelecek şekilde iki okuma yapılmıştır. Her bir karışım için 3 numunenin ultrases geçiş sürelerinin ortalaması alınarak ultrases geçiş süresi belirlenmiştir. Ultrases geçiş süresinin ölçülmesi Fotoğraf 3.6’da gösterilmiştir. Ultrases geçiş süresi saniyenin milyonda biri olarak belirtilen mikrosaniye (μs) ile ifade edilir. U_{pv} değerleri, Denklem 3.3’de verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$U_{pv} = \frac{S}{t} \times 10 \quad (3.2)$$

Bu formülde, S; harç numunenin dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzey arasındaki mesafeyi (cm), t; sesüstü dalganın gönderilmiş olduğu harç numune yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen süreyi (μs) ve U_{pv} ; ultrases geçiş hızını (km/sn) ifade etmektedir.



Fotoğraf 3.6. Ultrases geçiş hızı ölçümü

3.6.3 Eğilme dayanımı

Belirli bir yük etkisi altında kirişlerde yükün yönü doğrultusunda eğilme meydana gelir. Bu eğilmenin sebebi kiriş üzerindeki yükün kiriş üzerinde moment oluşturması ve bu moment sebebi ile kirişlerde çekme gerilmelerinin meydana gelmesidir. Kirişlere yük

etki etmesi ile kirişin yüke maruz kalan en kesitinde tarafsız eksenin ikiye böldüğü iki alan meydana gelir. Yükün doğrultusuna göre tarafsız eksenin üst tarafında kalan alan basınç bölgesi, alt tarafında kalan ise çekme bölgesi olarak adlandırılır. Eğilme deneyinde yük etkisi altında kirişlerin basınç bölgesinde basınç gerilmeleri meydana gelir, bu bölgede betonun ve harcın basınca karşı dayanımı yüksek olduğu için gözle görülen değişimler çatlamlar meydana gelmez, fakat mikroyapısı incelendiği zaman basınç bölgesinde kılcal ezilmeler oluşabilir. Çekme bölgesinde ise beton ve harcın çekme gerilmelerine karşı dayanımı zayıf olduğu ve elastiklik özelliği önemsenmeyecek kadar minimal bir değer olduğu için yükleme başlaması ile beraber çekme bölgesinde kılcal çatlaklar oluşmaya başlar, daha sonra bu çatlakların genişlemesi ile kirişlerde kırılma meydana gelir.

Üretilen numunelerin eğilme dayanımı (f_{fs}) değerleri tek noktadan yükleme (diğer bir ifadeyle üç noktadan yükleme) deney yöntemi ile belirlenmiştir. Tek noktadan yükleme yöntemi, iki mesnet üzerine yerleştirilen numunelere tek eksenli tekil kuvvetin numunede (+) yönde moment oluşmasını sağlayacak eğilmeye zorlamasıdır. f_{fs} deneyi, 40×40×160 mm boyutlarındaki suya doymuş kuru yüzey numuneler üzerinde sertleşmiş birim ağırlık ve U_{pv} deneyleri yapıldıktan sonra TS EN 196-1 (2016) standardındaki ilkelere göre gerçekleştirilir. Eğilme deneyinde, 3 adet 40×40×160 mm boyutlarındaki numunelerin kırımından elde edilen değerlerin ortalaması alınarak her bir karışımın f_{fs} değerleri belirlenmiştir. Eğilme deneyleri 250 kN yükleme kapasitesine sahip tek eksen yüklemeli pres cihazında, 50 N/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımının gerçekleştirilmesi ile ilgili görseller Fotoğraf 3.7’de verilmiştir. f_{fs} değerleri aşağıda verilen Denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$f_{fs} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.3)$$

Denklemden verilen, P; Numune yüzey alanına etkiyen kuvveti (N), L; kiriş numunenin uzunluğunu (mm), b; kiriş numunenin enini (mm) ve d; kiriş numunenin yüksekliğini ve f_{fs} ise eğilme dayanımını (MPa) ifade eder.



Fotoğraf 3.7. Eğilme deneyinin yapılışı

3.6.4 Basınç dayanımı

Deneyel çalışmada basınç dayanımı (f_c) değerleri belirlenirken TS EN 196-1 (2016) standardındaki kurallar uygulanmıştır. f_c deneyleri sertleşmiş birim ağırlık, U_{pv} ve f_{fs} deneyleri yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. f_c deneyi, eğilme deneyinden sonra ikiye bölünen parçaların üstünden ve altından 40×40 mm plakalardan yük etkiyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyleri 250 kN yükleme kapasitesine sahip tek eksen yüklemeli pres cihazında, 2500 N/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyinin yapılması ile ilgili görseller Fotoğraf 3.8’de verilmiştir. f_c değerlerinin hesaplanması için kullanılan formül Denklem 3.4’de verilmiştir

$$f_c = \frac{P}{A_c} \quad (3.4)$$

Bu formülde, P; numune yüzey alanına etkiyen kuvveti (N), A_c ; kuvvetin etkidiği numune yüzey alanını (mm^2), f_c ; basınç dayanımı değerini (MPa) ifade etmektedir.



Fotoğraf 3.8. Basınç deneyinin yapılışı

3.7 Yüksek Sıcaklık Sonrası Harç Deneyleri

56 günlük 40×40×160 mm boyutlarındaki numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra içinde bulunan bağlanmamış suyun yüksek sıcaklıklardan dolayı numunelerde oluşturacağı hasarı önlemek için 105±5 °C sıcaklıkta etüvde 24 süreyle bekletilmişlerdir. Daha sonra numuneler, yüksek sıcaklık fırınında sırasıyla 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Elektrikli yüksek sıcaklık fırınının sıcaklık artışı dakikada 3 °C artış olacak şekilde ayarlanmış ve numuneler hedeflenen sıcaklıkta 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra fırının havalandırma deliği açılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işlemi gerçekleştikten sonra ilk olarak numuneler üzerinde birim ağırlık, U_{pv} ve f_{fs} deneyleri yapılmış, eğilme dayanımından sonra kırılan numunelere üstünden ve altından 40×40 mm plakalardan yük etkiyecek şekilde f_c değerleri belirlenmiştir.

3.7.1 Yüksek sıcaklık sonrası sertleşmiş birim ağırlık

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin soğuma işleminden sonra her ayrı sıcaklık ve her bir karışımdaki 3 numune tartılmış numunelerin ortalama ağırlıklarının hacimlerine bölünmesiyle 56 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen 3 numunenin sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin ortalaması alınarak her sıcaklık ve her bir karışımın yüksek sıcaklık sonrası sertleşmiş birim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

3.7.2 Yüksek sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı

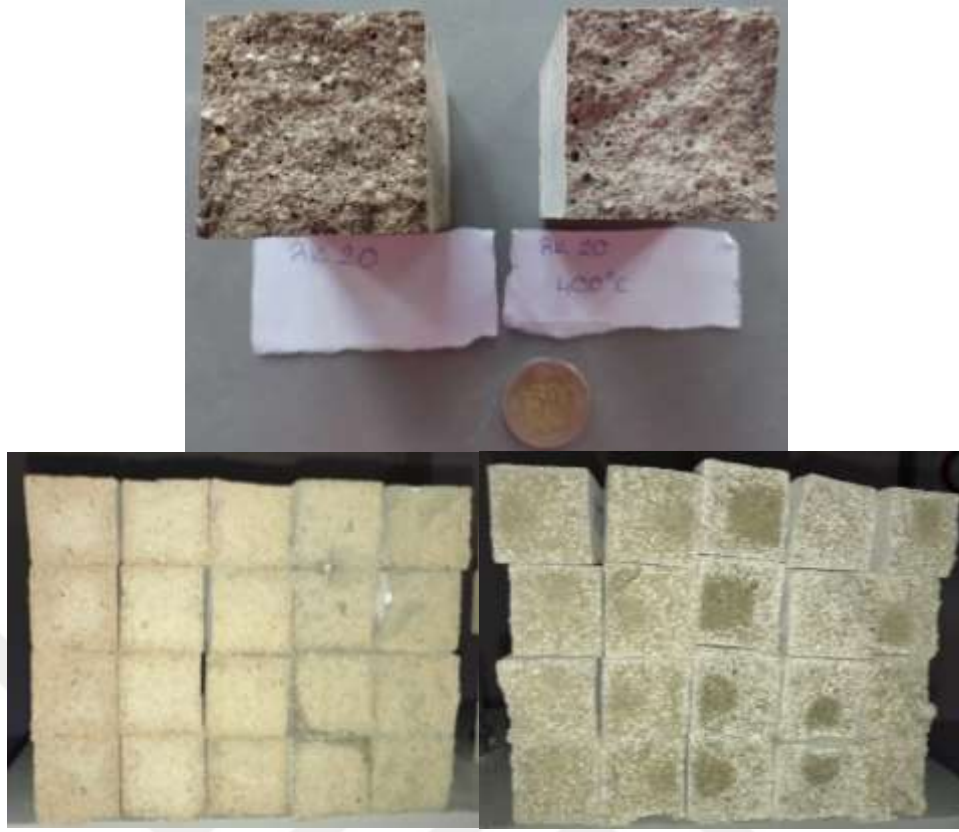
400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış 56 günlük numunelerin soğuma işleminden sonra, dijital ultrases cihazı ile U_{pv} değerleri belirlenmiştir. Deneyde, daha iyi bir ölçümün yapılabilmesi için cihaz alıcı ve vericilerin uçları jellenmiş ve birbirini karşılayacak şekilde numune üzerine yerleştirilerek sesüstü dalgalarının hızları ölçülmüştür. Ölçümler her bir numunede 2 defa yapılarak her 3 numunenin U_{pv} değeri belirlenmiş ve her farklı karışım ve sıcaklık uygulaması için ortalama U_{pv} değerleri belirlenmiştir.

3.7.3 Yüksek sıcaklık sonrası eğilme dayanımı

Yüksek sıcaklık sonrası eğilme dayanımı deneyi TS EN 196-1 (2016) standardına göre gerçekleştirilmiştir. 56 gün sonra 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklık uygulaması yapılan her bir karışımdaki 3 numuneye eğilme deneyi uygulanmış ve ortalamaları alınarak söz konusu karışımın yüksek sıcaklık sonrası f_{fs} değerleri belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin eğilme deneyinden sonraki kırılma yüzeyi örnekleri Fotoğraf 3.9.'da verilmiştir.

3.7.4 Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı

Yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış 56 günlük numuneler üzerinde sertleşmiş birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve eğilme deneyleri yapıldıktan sonra, eğilme dayanımı ile ortasından ikiye bölünen numuneler üzerinde basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Her bir karışımın f_c değerlerinin belirlenmesinde en az 3 numunenin ortalaması kullanılmıştır.



Fotoğraf 3.9. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin eğilme deneyinden sonraki kırılma yüzeyi örnekleri

3.8 Mikroyapı Analizleri

Mikroyapı analizleri X-ışını kırınımı (XRD), polarize ışık mikroskobu (PLM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımı spektrometresi (EDS) yöntemleri ile rilem ve kalker kumu ile üretilen ÖKD harçlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. 56 gün sonra 25 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ile üretilen %0, 10 ve 20 ÖKD içeren (RK0, RK10 ve RK20 karışım kodlu) numuneler ve 56 gün sonra 25 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen %0, 10 ve 20 ÖKD içeren (KK0, KK10 ve KK20 karışım kodlu) numuneler bu analizler için kullanılmıştır.

3.8.1 XRD analizi

X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi, her bir kristalin fazın atomik yapısı ve moleküler yapısı üzerine gelen x ışınlarını karakteristik bir biçimde kırması prensibine dayanır. Bu

ışınların kırılması her kristalin fazını parmak izi gibi o kristal ile tanımlar. Aynı zamanda, XRD analizi belirli bir fazın içerisindeki kristallerin o faz içerisindeki oransal miktarlarını da belirlememizi sağlar. XRD analizi özellikle kayaç, cevher, kil mineralleri, endüstriyel hammaddeler, kristalen malzemeler ve böbrek taşlarının incelemesinde kullanılır. XRD analizleri, Philips Panalytical EMPYREAN marka cihaz ile 56 günlük 25 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 karışım kodlu ve 56 günlük 25 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 karışım kodlu numunelerden elde edilen öğütülmüş örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. XRD analizlerini gerçekleştirebilmek için seçilen bu numunelerden parçalar alınmış ve bu parçalar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen numuneler, özel numune tutuculara konulmuş ve XRD cihazından bulunan özel örnek localarına yerleştirilmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir.

3.8.2 PLM analizi

Polarize ışık mikroskobu (PLM) yöntemi, ışık kaynağından gelen ışınları farklı büyütmelemlerle polarizasyon filtreleri ve prizmalarla lineer polarizasyon ışınlarına çevirerek örneklerden görüntü alınmasıdır. Yapılan çalışmada PLM analizleri Nikon ECLIPSE E400 Pol tipi cihaz ile 56 günlük 25 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 karışım kodlu ve 56 günlük 25 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 karışım kodlu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu analizde kullanılacak örnekler eğilme testinden sonra kırılarak iki parçaya ayrılan numunelerden birinin seçilmesiyle belirlenmiştir. Seçilen parçalar üzerindeki toz ve kir hava kompresörü yardımı ile arındırıldıktan sonra parçaların düzgün yüzü ıslak reçine içerisine yerleştirilmiştir. Reçinenin sertleşmesinden sonra örneklerden taş kesme makinası ile 4×4×0.5 cm boyutlarında parçalar kesilmiş ve bu parçalar görüntüleme gerçekleştireceğimiz camlara epoksi ile yapıştırılmıştır. Cama yapıştırılmış PLM analizinde kullanılacak olan ince kesit örnekleri Fotoğraf 3.10'de görülmektedir. Yapıştırma işleminden sonra numune örnekleri ince kesit makinesi ile inceltilmiş ve 4×4×0.03 cm elde edilinceye kadar numunelerin yüzeyinde hassas elmas ile aşındırma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 3.10. Daitomitli harçların PLM analizi için hazırlanan ince kesit örnekleri

3.8.3 SEM ve EDS analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi, hızlandırılmış elektronların numune yüzeyine gönderilerek numune üzerinde bulunan atom ve elektronların etkileşimleri sonucunda meydana gelen etkilerin algılayıcı ile toplanıp, sinyal güçlendiricilerle güçlendirilip katot ışınları tüpünün ekranına yansıtılmasıyla görüntü elde edilmesidir.

Enerji dağılımı spektroskopisi (EDS) yöntemi, taramalı elektron mikroskopunda kullanılan numunenin kimyasal karakterizasyonunun veya elementel analizinin belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir. SEM ve EDS analizleri Zeiss EVO 40XVP ve EDAX-Ametek cihazlarla 56 günlük 25 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 karışım kodlu ve 56 günlük 25 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 karışım kodlu numunelerden elde edilen parçaların üzerinde altın kaplama yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM IV

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1 Yayılma ve birim ağırlık

Yayılma deneyi ÖKD içeren harç karışımlarının kıvam ve işlenebilirliklerinin tayini için gerçekleştirilmiştir. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilmiş ÖKD içeren harç karışımlarının yayılma değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi karışımlar üzerinde gerçekleştirilen yayılma deneyi sonucunda rilem kumu ile üretilen karışımların yayılma değerlerinin 14 ile 15 cm arasında ve kalker kumu ile üretilen karışımların yayılma değerlerinin 15 ile 17 cm arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Yeterli işlenebilmeyi sağlayabilmek için deneysel çalışmada, rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen karışımlarda kullanılan ÖKD oranı arttıkça süper akışkanlaştırıcı oranı arttırılmıştır. Karışımlarda süper akışkanlaştırıcı oranının sabit kullanılması durumunda, ÖKD'in daha fazla karışım suyu absorbe etmesi nedeni ile yayılma değerlerindeki düşüşün önlenmesi için karışımlarda kullanılan ÖKD oranı arttıkça yeterli kıvamın sağlanabilmesi için süper akışkanlaştırıcı oranı arttırılmıştır. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen karışımların yayılma değerleri karşılaştırıldığı zaman, rilem kumu ile üretilen karışımlara göre kalker kumu ile üretilen karışımların yayılma değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak kalker kumunun kırılması esnasında ortaya çıkan toz partiküllerinin kalker kumunun yüzeylerine yapışmasından dolayı kıvam ve işlenebilirliğin artması gösterilebilir.

Rilem kumu ve kalker kumu üretilmiş ÖKD içeren harç karışımlarının taze birim ağırlık değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Ayrıca, sertleşmiş birim ağırlık değerleri ile karşılaştırmak için Şekil 4.1'de rilem kumu ve Şekil 4.2'de kalker kumu ile üretilen harçların taze birim ağırlık değerleri verilmiştir. Rilem kumu ile üretilen karışımlarda ÖKD oranı arttıkça taze birim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen karışımlarda en yüksek taze birim ağırlık değeri sadece çimento içeren kontrol karışımında (RK0) görülmüş ve kontrol karışımın taze birim ağırlık değeri 1790 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. En düşük taze birim ağırlık değeri ise en yüksek ÖKD içeren

karışımda (RK20) 1757 kg/m³ olarak gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen karışımlarda, RK0 karışımına göre RK5, RK10, RK15 ve RK20 karışımlarının taze birim ağırlık değerleri sırasıyla % 0.3, 0.7, 1 ve 1.8 oranlarında azalmıştır. Karışımların taze birim ağırlık değerlerinde meydana gelen bu azalmanın nedeni, ÖKD'nin özgül ağırlık değerinin çimentonun özgül ağırlık değerinden daha düşük olması ve diatomitin boşluklu ve hafif yapıda olması nedeniyle özgül ağırlığının düşük olması ile ilişkilendirilebilir. Rilem kumu ile üretilen karışımlarda olduğu gibi kalker kumu ile üretilen karışımlarda, ÖKD oranı arttıkça taze birim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen karışımlarda en yüksek taze birim ağırlık değeri sadece çimento içeren kontrol karışımında (KK0) 1847 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen karışımlarda en düşük taze birim ağırlık değeri en yüksek ÖKD içeren karışımda (KK20) 1785 kg/m³ olarak gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen karışımlarda, KK0 karışımına göre KK5, KK10, KK15 ve KK20 karışımlarının taze birim ağırlık değerleri sırasıyla % 0.81, 1.46, 2.54 ve 3.36 oranlarında azalmıştır.

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen karışımların taze birim ağırlık değerleri karşılaştırıldığı zaman, kalker kumu ile üretilen karışımların taze birim ağırlık değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise kalker kumunun özgül ağırlık değerinin rilem kumunun özgül ağırlık değerinden daha yüksek olması gösterilebilir. Her iki karışımda da ÖKD oranı arttıkça taze birim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Aynı zamanda RK5 ve KK20 karışımlarının taze birim ağırlık değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

4.2 Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.2.1 Sertleşmiş birim ağırlık

DeneySEL çalışmada, rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların 14, 28, 56 ve 91 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Buna ek olarak, tüm harçların 14, 28, 56 ve 91 günlük sertleşmiş birim ağırlık değerleri Çizelge 4.1'de de verilmiştir. 14, 28, 56 ve 91 günlük rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri, karışımlarda kullanılan ÖKD oranı arttıkça azalmıştır. Ayrıca, numunelere uygulanan kür yaşı arttıkça da, rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen sadece çimento içeren kontrol harçlarının (RK0) ve ÖKD içeren harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri azalmıştır.

Kür yaşına göre numunelerin sertleşmiş birim ağırlık değerlerindeki azalma kür yaşı boyunca çimento harç karışımında serbest halde bulunan kirecin suda çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Harç karışımlarında kullanılan ÖKD oranının artıkça, harçların birim ağırlık değerlerinin azalmasının sebebi, ÖKD'in özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olmasıdır.

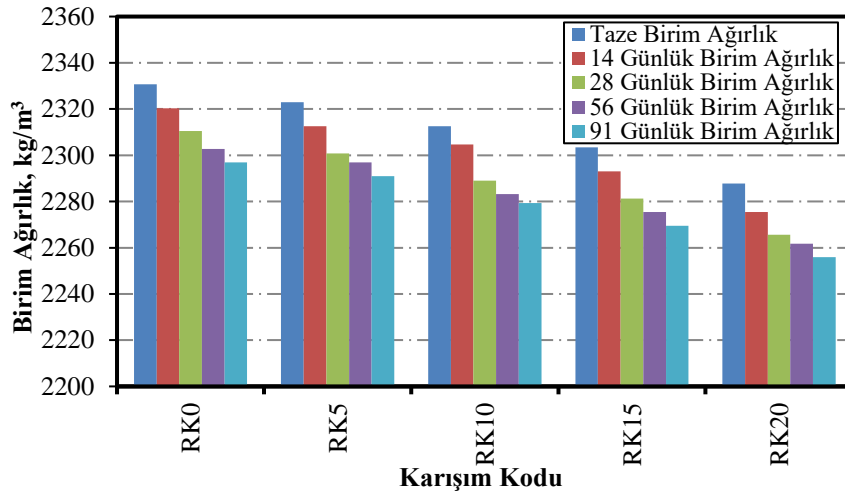
Çizelge 4.1. Harçların birim ağırlık değerleri

Karışım Kodu	Sertleşmiş Birim Ağırlık Değerleri (kg/m ³)			
	14 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	91 Günlük
RK0	2320	2311	2303	2297
RK5	2313	2301	2297	2291
RK10	2305	2289	2283	2279
RK15	2293	2281	2275	2270
RK20	2275	2266	2262	2256
KK0	2387	2383	2373	2359
KK5	2367	2355	2344	2338
KK10	2359	2350	2338	2322
KK15	2336	2324	2314	2313
KK20	2313	2305	2299	2297

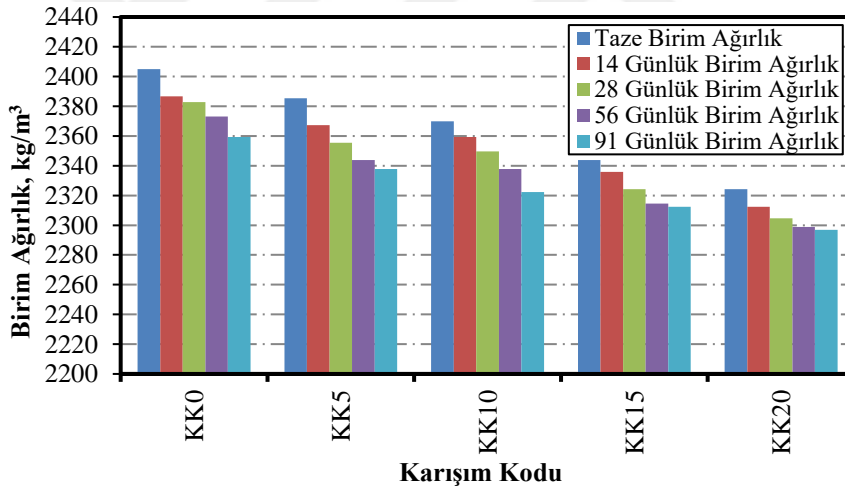
Şekil 4.1'de görüldüğü gibi rilem kumu ile üretilen 14, 28, 56 ve 91 günlük numunelerde en yüksek sertleşmiş birim ağırlık değerleri RK0 (kontrol) numunelerinde gözlenirken, en düşük sertleşmiş birim ağırlık değerleri ise RK20 (%20 ÖKD içeren) numunelerinde gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen 14 günlük harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri, sadece çimento içeren RK0 (kontrol) numunesine göre RK5, RK10, RK15 ve RK20 numunelerinde sırasıyla %0.3, 0.6, 1.16 ve 1.93 oranlarında azalma göstermiştir. Bu azalmalar 28 günlük numunelerde sırasıyla %0.42, 0.93, 1.27 ve 1.94, 56 günlük numunelerde sırasıyla 0.25, 0.85, 1.19 ve 1.78 ve 91 günlük numunelerde sırasıyla 0.26, 0.77, 1.19 ve 1.79 oranlarında olmuştur.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi kalker kumu ile üretilen 14, 28, 56 ve 91 günlük numunelerde en yüksek sertleşmiş birim ağırlık değerleri KK0 (kontrol) numunelerinde gözlenirken, en düşük sertleşmiş birim ağırlık değerleri ise KK20 (%20 ÖKD içeren) numunelerinde gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri, sadece çimento içeren KK0 (kontrol) numunelerine göre KK5, KK10 ve KK15 ve KK20 numunelerinde sırasıyla 14 günlük kür için %0.82, 1.15, 2.13 ve 3.11, 28 günlük

kür için %1.15, 1.39, 2.46 ve 3.28, 14 günlük kür için %1.23, 1.48, 2.47 ve 3.12 ve 91 günlük kür için %0.91, 1.57, 1.99 ve 2.65 oranlarında azalma göstermiştir.



Şekil 4.1. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri



Şekil 4.2. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri

Kalker kumunun özgül ağırlığının rilem kumunun özgül ağırlığından yüksek olması sebebi ile kalker kumu ile üretilen numuneler daha yüksek sertleşmiş birim ağırlık değerlerine sahiptirler. Kalker ile üretilen numunelerin sertleşmiş birim ağırlık değerlerinde ki azalma oranı rilem kumu ile üretilen numunelerin sertleşmiş birim ağırlık değerlerinde ki azalma oranından daha yüksektir. Bunun sebebi kalker kumu yapısında bulunan serbest kirecin daha fazla olması ve daha fazla suda çözünmesidir. Numunelerin kür yaşlarına göre sertleşmiş birim ağırlık değerlerinde ki azalma oranı

hem kalker kumu hem de rilem kumu için yaklaşık olarak birbirine yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir.

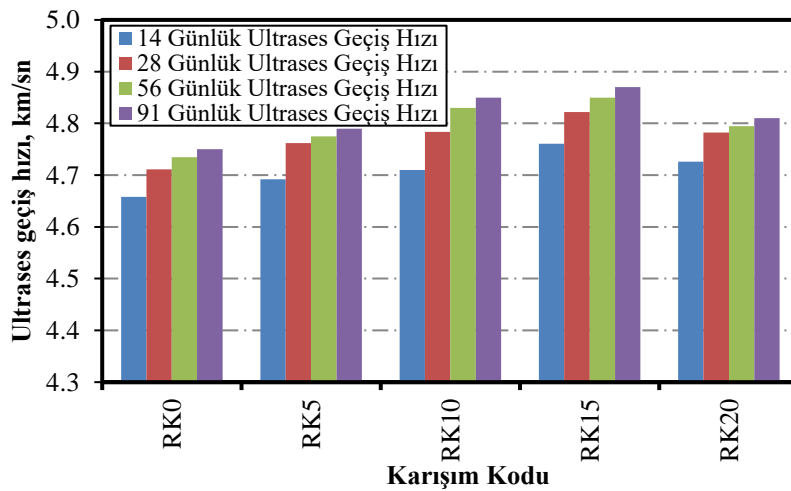
4.2.2 Ultrases geçiş hızı

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların ultrases geçiş hızı (U_{pv}) değerleri belirlenmiş ve bu değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ayrıca rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri Şekil 4.3’te ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri Şekil 4.4’te verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, tüm kür yaşlarında rilem ve kalker kumu ile üretilen numunelerde çimento yerine ağırlıkça % 15 oranına kadar ÖKD kullanılması U_{pv} değerlerini arttırmıştır. ÖKD’nin özgül yüzey alanının çimentonun özgül yüzey alanından daha fazla olması ve çimentonun inceliğinden daha ince olması karışımda meydana gelen boşlukları doldurarak dolgu malzemesi özelliği göstermesi ve $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek ekstra C–S–H jelleri oluşturması ile ultrases dalgalarının daha hızlı geçmesini ve harç numuneler içerisinde boşluk oranını azaltarak daha kaliteli harç numuneler elde etmemizi sağlamıştır. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların kür yaşı arttıkça U_{pv} değerleri artmıştır. Çimento içerisinde bulunan kalsiyum ve silisyum iyonları ile su tepkimeye girerek C–S–H jellerini oluşturur. C–S–H jellerinin oluşumu zamanla azalarak devam etmektedir. Kür yaşları boyunca numunelerde oluşan C–S–H jelleri harç numuneler içerisindeki boşluk oranını azaltmış ve U_{pv} değerlerini arttırmıştır.

Çizelge 4.2. Harçların U_{pv} değerleri

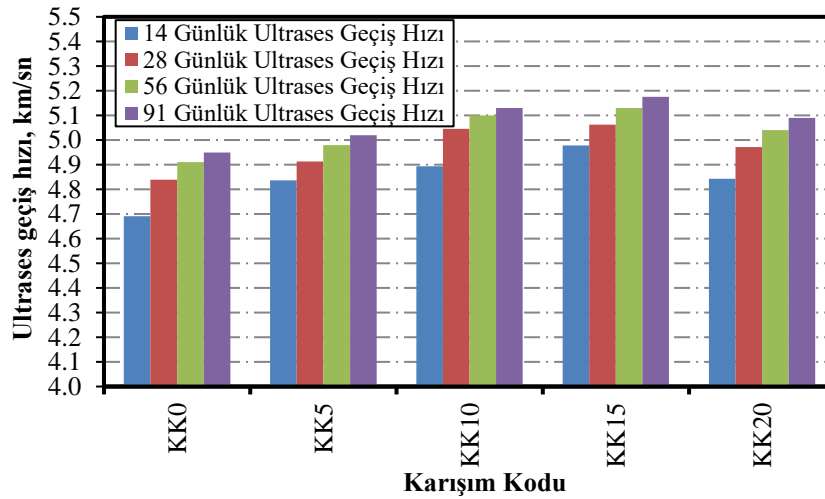
Karışım Kodu	Harçların Ultra Ses Geçiş Hızı Değerleri (km/sn)			
	14 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	91 Günlük
RK0	4.66	4.71	4.74	4.75
RK5	4.69	4.76	4.78	4.79
RK10	4.71	4.78	4.83	4.85
RK15	4.76	4.82	4.85	4.87
RK20	4.73	4.78	4.80	4.81
KK0	4.69	4.84	4.91	4.95
KK5	4.84	4.91	4.98	5.02
KK10	4.89	5.05	5.10	5.13
KK15	4.93	5.06	5.13	5.18
KK20	4.84	4.97	5.04	5.09

Rilem kumu ile üretilen harçlarda 14 günlük U_{pv} değerleri, RK0 (kontrol) harcında 4.66 km/sn iken, ÖKD içeren harçlarda 4.69 ile 4.76 km/sn arasında değişmiştir. Bu değerlerden de görüldüğü gibi tüm ÖKD içeren harçlarının U_{pv} değerleri, RK0 (kontrol) harcının U_{pv} değerlerinden daha büyüktür. En yüksek U_{pv} değeri 4.76 km/sn ile RK15 harcında, en düşük U_{pv} değeri ise 4.66 km/sn ile RK0 harcında gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harçların 28, 56 ve 91 günlük U_{pv} değerleri sırasıyla 4.71 km/sn ile 4.82 km/sn, 4.74 km/sn ile 4.85 km/sn ve 4.75 km/sn ile 4.87 km/sn değerleri arasında olduğu görülmüştür. 28, 56 ve 91 günlük numunelerde de en yüksek U_{pv} değerleri RK15 harçlarında, en düşük U_{pv} değerleri RK0 numunesinde meydana gelmiştir. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlarda 14 günlük U_{pv} değerleri RK0 numunesine göre RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarında sırasıyla %0.64, 1.07, 2.14 ve 1.50 oranlarında artmıştır. 28, 56 ve 91 kür günleri için sırasıyla RK0 harçlarına göre U_{pv} değerlerindeki artışlar RK5 için %1.06, 0.84 ve 0.84, RK10 için %1.48, 1.90 ve 2.1, RK15 için %2.33, 2.32 ve 2.52 ve RK20 için %1.48, 1.26 ve 1.26 olarak belirlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harçların kür yaşı arttıkça U_{pv} değerleri artmıştır. 14, 28, 56 ve 91 günlük harçların U_{pv} değerleri 4.66 km/sn ile 4.87 km/sn arasında değişmiştir. En düşük U_{pv} değeri 14 günlük RK0 harcında, en yüksek U_{pv} değeri ise 91 günlük RK15 harcında gözlenmiştir. 14 günlük ve 91 günlük harçların U_{pv} değerlerindeki artış oranları, RK0 harcında % 1.93, RK5 harcında % 2.13, RK10 harcında % 2.97, RK15 harcında % 2.31 ve RK20 harcında % 1.69 olduğu belirlenmiştir. RK0 harcı ve RK5 harcının kür yaşları boyunca U_{pv} değerlerinde meydana gelen değişim yaklaşık olarak aynıdır. Kür yaşları arasında en yüksek artışın RK10 harcında olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kalker kumu ile üretilen harçlarda, çimento yerine ağırlıkça %15 oranına kadar ÖKD kullanılması harçların U_{pv} değerleri de artışa neden olmuştur. KK20 harçları, KK15 harçlarından daha az U_{pv} değerine sahip olurken, KK0 harçlarından daha yüksek U_{pv} değeri göstermiştir. 14, 28, 56 ve 91 kür günleri için harçların U_{pv} değerlerindeki değişimin sırasıyla 4.69 km/sn ile 4.93 km/sn, 4.84 km/sn ile 5.06 km/sn, 4.91 km/sn ile 5.13 km/sn ve 4.95 km/sn ile 5.18 km/sn arasında olduğu belirlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen harçlarda, tüm kür yaşlarında en yüksek U_{pv} değerleri KK15 harçlarında, en düşük U_{pv} değerlerinin ise KK0 harçlarında olduğu görülmüştür. 14, 28, 56 ve 91 kür günleri için harçların U_{pv} değerlerindeki artış, KK0 (kontrol) harçlarına göre sırasıyla KK5 harçlarında %3.19, 1.44 1.42 ve 1.41, KK10 harçlarında %4.26, 4.33, 3.86 ve 3.63, KK15 harçlarında %5.11, 4.54, 4.48 ve 4.64 ve KK20 harçlarında %3.19, 2.68, 2.64 ve 2.82 oranlarında meydana gelmiştir. En yüksek U_{pv} değerindeki artışın 14 günlük KK15 numunesinde olduğu görülmüştür. Tüm kür yaşlarında en yüksek U_{pv} değeri 91 günlük KK15 harcında gözlenmiştir. 14 günlük ve 91 günlük kürler arasında U_{pv} değerleri, KK0 harcı için %5.54, KK5 harcı için %3.71, KK10 harcı için %4.9, KK15 harcı için %5.07 ve KK20 harcı için %5.16 oranlarında artmıştır. Sadece çimento içeren KK0 harcının U_{pv} değerinin değişiminin en yüksek olmasının sebebi, ÖKD içeren numunelere göre hidrasyon sürecinin daha uzun sürmesiyle açıklanabilir.



Şekil 4.4. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçlar kıyaslandığı zaman kalker kumu içeren numunelerin U_{pv} değerleri daha yüksektir. Rilem kumu ile üretilen en yüksek U_{pv}

değerine sahip olan 91 günlük RK15 harcına göre, kalker kumu ile üretilen en yüksek 91 günlük KK15 harcının U_{pv} değeri % 6.36 artış göstermiştir. Bunun nedeni kalker kumu ince dane dağılımının rilem kumundan daha fazla olmasıdır. Kalker kumu harç karışımı içerisinde çimento pastası ile üniform bir dağılım göstererek prizini almış numunelerde meydana gelen boşlukların azalmasını sağlamıştır.

4.2.3 Eğilme dayanımı

14, 28, 56 ve 91 günlük 40×40×160 mm boyutlarında rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlar üzerinde yapılan eğilme deneyi sonucunda f_{fs} değerleri elde edilmiş ve elde edilen f_{fs} değerleri Çizelge 4.3 verilmiştir. Ayrıca, rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri Şekil 4.5'te ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, tüm kür yaşlarında rilem ve kalker kumu ile üretilen harçlarda çimento yerine ağırlıkça ÖKD kullanılması f_{fs} değerlerini arttırmıştır. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların kür süresi arttıkça da, f_{fs} değerleri artmıştır.

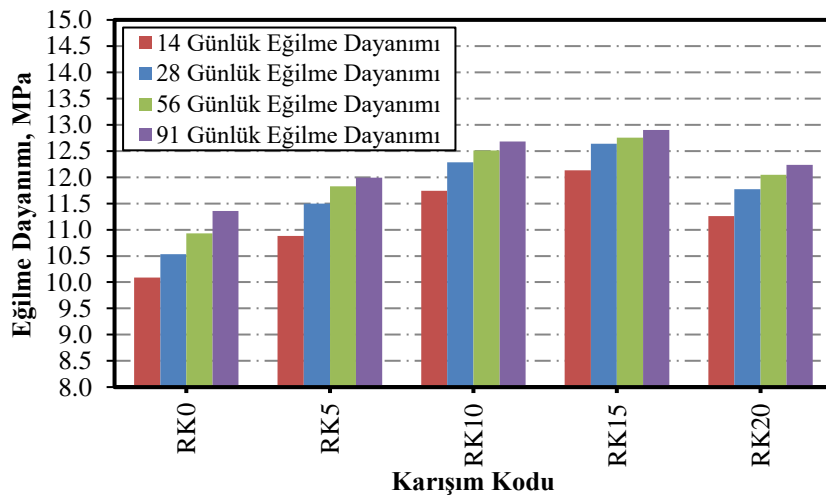
Çizelge 4.3. Harçların f_{fs} değerleri

Karışım Kodu	Harçların Eğilme Dayanımı Değerleri (MPa)			
	14 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	91 Günlük
RK0	10.09	10.54	10.93	11.36
RK5	10.88	11.50	11.83	12.00
RK10	11.74	12.29	12.51	12.68
RK15	12.13	12.64	12.76	12.90
RK20	11.26	11.77	12.05	12.24
KK0	9.00	9.21	9.47	9.52
KK5	9.55	9.80	9.94	10.21
KK10	10.49	10.67	10.86	11.06
KK15	10.94	11.29	11.44	11.60
KK20	10.20	10.46	10.69	10.78

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi rilem kumu ile üretilen harçlarda, çimento yerine kullanılan ÖKD içeriği f_{fs} değerlerini arttırmıştır. Bu harçlarda RK0 (kontrol) harçlarına göre %15 ÖKD içeriğine kadar f_{fs} değerlerini artırırken, %20 ÖKD içeriği azalma eğilimi göstermiştir. Rilem kumu ile üretilen harçlarda tüm kür günleri için en yüksek f_{fs} değerleri RK15 (%15 ÖKD içeren) harçlarda, en düşük f_{fs} değerleri ise RK0 (kontrol) harçlarında gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harçlarda f_{fs} değerleri 14 günlük kür

için 10.09 MPa ile 12.13 MPa, 28 günlük kür için 10.54 MPa ile 12.64 MPa, 56 günlük kür için 10.93 MPa ile 12.76 MPa ve 91 günlük kür için 11.36 MPa ile 12.90 MPa arasında gözlenmiştir. 14 günlük kür için RK0 harcının f_{fs} değerlerine göre, ÖKD içeren RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının f_{fs} değerleri sırasıyla %7.82, 16.35, 20.21 ve 11.59 oranında artmıştır. 28 günlük kür için RK0 harcının f_{fs} değerlerine göre, ÖKD içeren numunelerin f_{fs} değerleri RK5, RK10, RK15 ve RK20 için % 9.10, 16.6, 19.92 ve 11.66 oranında artmıştır. 56 ve 91 günlük kürler için f_{fs} değerlerinde, RK0 harçlarına göre ÖKD içeren RK5 harçlarında % 8.23 ve 5.63, RK10 harçlarında % 14.45 ve 11.61, RK15 harçlarında %16.74 ve 13.55 ve RK20 harçlarında % 10.24 ve 7.74 oranlarında artış meydana gelmiştir. En yüksek f_{fs} değerlerindeki artış oranı 14 günlük RK15 numunesinde gözlenmiştir.

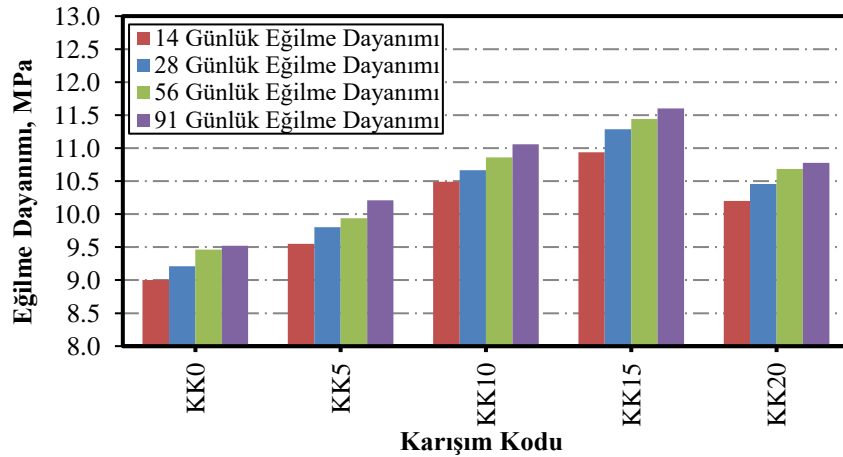
Rilem kumu ile üretilen harçlara uygulanan kür işlemi arttıkça, f_{fs} değerleri Şekil 4.5'te görüldüğü gibi artmıştır. En yüksek f_{fs} değeri 91 günlük RK15 harcında, en düşük f_{fs} değerinin ise 14 günlük RK0 harcında olduğu gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen 14 günlük RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarına göre 91 günlük RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının f_{fs} değerleri sırasıyla % 12.58, 10.29, 8.00, 6.34 ve 8.7 oranında artmıştır. Rilem kumu ile üretilen harçların 14 günlük ve 91 günlük f_{fs} değerleri arasında en yüksek değişim kontrol (RK0) numunesinde meydana gelmiştir. RK0 numunesinin erken ve geç kür yaşları arasındaki f_{fs} değerleri arasında daha yüksek bir fark oluşurken, ÖKD içeren numunelerin erken ve geç kür yaşlarındaki f_{fs} değerleri arasında daha düşük fark oluşmuştur.



Şekil 4.5. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi kalker kumu ile üretilen harçlarda, çimento yerine kullanılan ÖKD içeriği f_{fs} değerlerini arttırmıştır. Bu harçlarda KK0 (kontrol) harçlarına göre %15 ÖKD içeriğine kadar f_{fs} değerlerini artırırken, %20 ÖKD içeriği azalma eğilimi göstermiştir. Kalker kumu ile üretilen harçlarda tüm kür günleri için en yüksek f_{fs} değerleri KK15 (%15 ÖKD içeren) harçlarda, en düşük f_{fs} değerleri ise KK0 (kontrol) harçlarında gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen harçlarda f_{fs} değerleri 14 günlük kür için 9.00 MPa ile 10.94 MPa, 28 günlük kür için 9.21 MPa ile 11.29 MPa, 56 günlük kür için 9.47 MPa ile 11.44 MPa ve 91 günlük kür için 9.52 MPa ile 11.60 MPa arasında gözlenmiştir. 14 günlük kür için KK0 harcının f_{fs} değerlerine göre, ÖKD içeren KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_{fs} değerleri sırasıyla % 6.11, 16.55, 21.55 ve 13.33 oranında artmıştır. 28 günlük kür için KK0 harcının f_{fs} değerlerine göre, ÖKD içeren numunelerin f_{fs} değerleri KK5, KK10, KK15 ve KK20 için % 6.40, 15.85, 22.58 ve 13.57 oranında artmıştır. 56 ve 91 günlük kürler için f_{fs} değerlerinde, KK0 harçlarına göre ÖKD içeren KK5 harçlarında % 4.96 ve 7.24, KK10 harçlarında % 14.67 ve 16.17, KK15 harçlarında %20.8 ve 21.84 ve KK20 harçlarında % 12.88 ve 13.23 oranlarında artış meydana gelmiştir. En yüksek f_{fs} değerlerindeki artış oranı 28 günlük KK15 numunesinde gözlenmiştir.

Kalker kumu ile üretilen harçlara uygulanan kür işlemi arttıkça, f_{fs} değerleri Şekil 4.6’da görüldüğü gibi artmıştır. En yüksek f_{fs} değeri 91 günlük KK15 harcında 11.60 MPa olarak, en düşük f_{fs} değerinin ise 14 günlük KK0 harcında 9.00 MPa olarak oluştuğu gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen 14 günlük harçlara göre 91 günlük harçların f_{fs} değerleri yaklaşık olarak ortalama % 6.00 oranında artmıştır.



Şekil 4.6. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri

Rilem kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerleri, kalker kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerlerinden daha yüksektir. Bunun nedeninin rilem kumu ve kalker mumunun mineralojik ve kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Rilem kumu ile üretilen harçlardaki f_{fs} değerleri 10.09 MPa ile 12.90 MPa arasında değişirken, kalker kumu ile üretilen harçlardaki f_{fs} değerleri 9.00 MPa ile 11.60 MPa arasında değişkenlik göstermektedir. Rilem kumu ile üretilen harçlardaki en düşük ve en yüksek f_{fs} değeri, kalker kumu ile üretilen harçlardaki en düşük ve en yüksek f_{fs} değerinden sırasıyla 1.09 MPa ve 1.30 MPa daha fazladır.

4.2.4 Basınç dayanımı

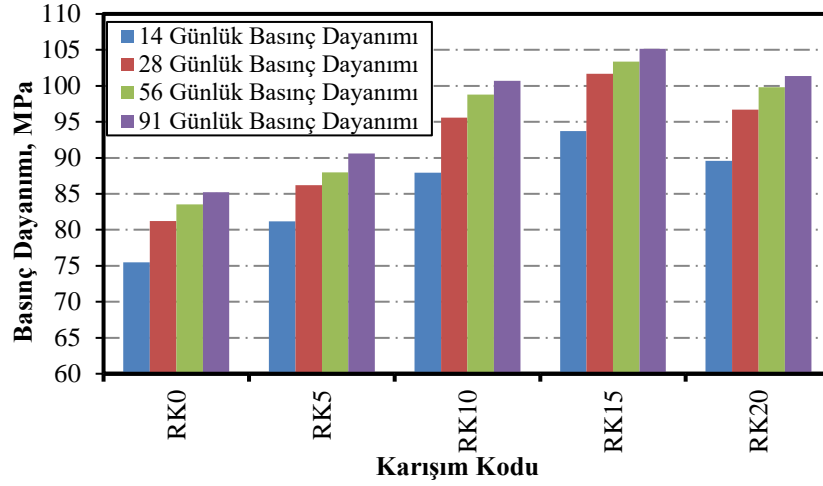
Yapılan deneysel çalışmada rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların 14, 28, 56 ve 90 günlük basınç deneyleri sonucunda belirlenen f_c değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ayrıca, rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Tüm kür yaşlarında rilem ve kalker kumu ile üretilen harçlarda çimento yerine ağırlıkça ÖKD kullanılması f_c değerlerini arttırmıştır. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların kür süresi arttıkça da, f_c değerleri artmıştır. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçlarda ÖKD katkısının f_c değerlerini arttırmasının sebebi, ÖKD katkısının çimento tanelerine göre daha ince tanelere sahip olması nedeniyle harç içerisinde dolgu etkisiyle boşlukların daha az oluşmasını sağlaması, kalsinasyon işleminin ham diatomitin puzolanik aktivitesini arttırması ve içeriğinde bulunan zengin SiO_2 ile daha fazla C-S-H jellerinin oluşmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 4.4. Harçların f_c değerleri

Karışım Kodu	Harçların Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)			
	14 Günlük	28 Günlük	56 Günlük	91 Günlük
RK0	75.46	81.23	83.54	85.24
RK5	81.16	86.18	87.96	90.59
RK10	87.95	95.60	98.79	100.70
RK15	93.71	101.68	103.36	105.16
RK20	89.58	96.68	99.81	101.39
KK0	77.47	79.89	83.34	85.35
KK5	85.32	88.01	89.54	91.44
KK10	89.84	93.15	95.41	97.35
KK15	91.41	94.97	96.88	98.71
KK20	86.33	90.21	93.39	95.05

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi rilem kumu ile üretilen harç karışımlarında ÖKD kullanılması f_c değerlerini arttırmıştır. Rilem kumu ile üretilen harç karışımlarında tüm kür yaşları için en yüksek f_c değeri RK15 (% 15 ÖKD içeren) harçlarda gözlenmiştir. Karışımlarda %15 oranına kadar arttırılan ÖKD oranı f_c değerlerini arttırmış, %20 oranında ÖKD kullanılması f_c değerinde azalma eğilimi göstermiştir. Rilem kumu ile üretilen harç karışımlarında en düşük f_c değerlerinin sadece çimento içeren RK0 (kontrol) harçlarında, en yüksek f_c değerlerinin RK15 harçlarında meydana geldiği görülmüştür. Rilem kumu ile üretilen 14 günlük harçlardaki f_c değerleri 75.46 MPa ile 93.71 MPa arasında değişmiştir. En düşük f_c değeri RK0 numunesinde, en yüksek f_c değeri RK15 numunesinde belirlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harç karışımlarında, RK0 harçlarının 14 günlük f_c değerlerine göre RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının 14 günlük f_c değerleri sırasıyla % 7.55, 16.55, 24.18 ve 18.71 artmıştır. RK20 harçları, RK15 harçlarından daha düşük bir artış göstermiş olmasına rağmen diğer karışımlardan daha yüksek bir artış göstermiştir. Rilem kumu ile üretilen 28 günlük harçlardaki f_c değerleri 81.23 MPa ile 101.68 MPa arasında meydana geldiği belirlenmiş ve en yüksek f_c değerinin RK15 harcında, en düşük f_c değerinin ise RK0 harcında olduğu görülmüştür. 28 günlük ÖKD içeren harçlarının RK0 harcına göre f_c değerlerindeki artış RK5 için %6.09, RK10 için %17.69, RK15 için %25.17 ve RK20 için %19.08 olarak belirlenmiştir. 56 günlük harçların f_c değerlerindeki değişim 83.54 MPa ile 103.36 MPa arasında meydana gelmiştir. 56 günlük RK0 harçlarının f_c değerlerine göre 56 günlük RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %5.29, 18.25, 23.72 ve 19.47 oranlarında artmıştır. 91 günlük harçlarda ise f_c değerleri 85.24 MPa ile 105.16 MPa aralığında gözlenmiştir. RK0 harcının f_c değerine göre RK5 harcı %6.27, RK10 harcı %18.13, RK15 harcı %23.69 ve RK20 harcı %18.94 artmıştır. Rilem kumu ile üretilen harç karışımlarında, kontrol harcına göre en yüksek f_c değeri artışı 28 günlük RK15 harcında gözlenmiştir.

Rilem kumu ile üretilen harç karışımlarının f_c değerleri, artan kür yaşına bağlı olarak Şekil 4.7’de görüldüğü gibi artmıştır. Harçların f_c değerleri kür yaşları boyunca devam eden hidratasyon sonucunda C-S-H jellerinin oluşumuna bağlı olarak artmıştır. 14 günlük RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarına göre 91 günlük RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçları sırasıyla %12.96, 11.61, 14.49, 12.21 ve 13.18 oranlarında artış göstermiştir. 14 ve 91 günlük kür yaşları arasında en yüksek f_c değeri artışı RK10 harcında görülmüştür.

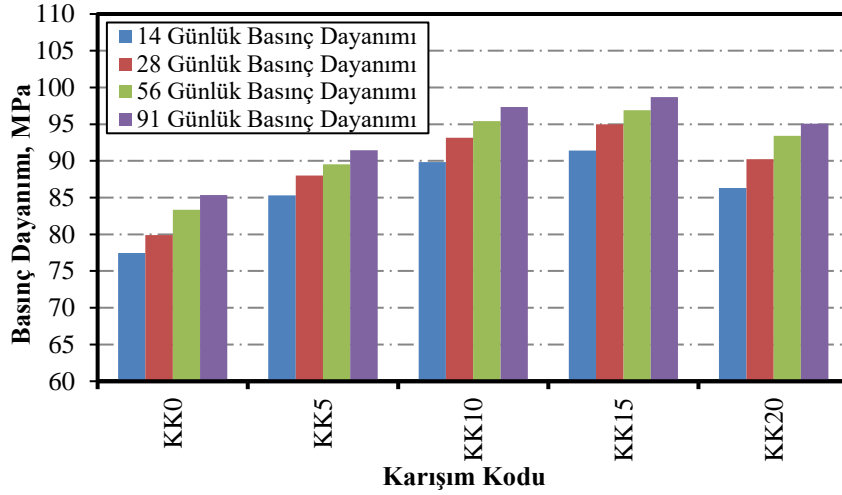


Şekil 4.7. Rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi kalker kumu ile üretilen harçlarda çimento yerine ağırlıkça %15 oranına kadar ÖKD kullanılan harçların f_c değerleri artmıştır. Tüm kür yaşları için kalker kumu ile üretilen harçlarda en yüksek f_c değeri çimento yerine ağırlıkça %15 ÖKD kullanılan (KK15) harçlarda, en düşük f_c değeri ise KK0 (kontrol) harçlarında gözlenmiştir. 14 günlük harçlarda f_c değerleri 77.47 MPa ile 91.41 MPa arasında değişmiştir. Kontrol harcına göre ÖKD içeren harçların f_c değerlerindeki artış oranları KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarında sırasıyla %10.13, 15.96, 17.99 ve 11.43 olarak belirlenmiştir. 28, 56 ve 91 günlük kalker kumu ile üretilen harçlardaki f_c değerleri sırasıyla 79.89 MPa ile 94.97 MPa, 83.34 MPa ile 96.88 MPa ve 85.35 MPa ile 98.71 MPa arasında değişim göstermiştir. Dahası 28, 56 ve 91 günlük kür uygulamaları için KK0 harçlarının f_c değerlerine göre KK5 harçlarının f_c değerleri sırasıyla % 10.16, 7.43 ve 7.13, KK10 harçlarının f_c değerleri sırasıyla % 16.59, 14.48 ve 14.05, KK15 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %18.87, 16.24 ve 15.65 ve KK20 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %12.91, 12.05 ve 11.36 oranlarında artmıştır. Kontrol harcının f_c değerlerine göre ÖKD içeren harçların en yüksek f_c değeri artış oranı 28 günlük KK15 harcında, en düşük f_c değeri artış oranı ise 91 günlük KK5 harcında görülmüştür.

Uygulanan kür yaşı arttıkça, kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerleri artış göstermiştir. 14 günlük KK0 harcına göre 91 günlük KK0 harcının f_c değeri % 7.17, 14 günlük KK5 harcına göre 91 günlük KK5 harcının f_c değeri %7.14, 14 günlük KK10 harcına göre. 91 günlük KK10 harcının f_c değeri %8.35, 14 günlük KK15 harcına göre 91 günlük KK15 harcının f_c değeri % 8.35, ve 14 günlük KK20 harcına göre 91 günlük

KK20 harcının f_c değeri %10.10 oranında artmıştır. Kür yaşına göre harçların f_c değerlerinde meydana gelen artışlar birbirine yakın değerdedir. Ancak, ÖKD malzemesinin puzolanik etkisinden dolayı, ÖKD içerikleri fazla olan harçların f_c değerlerinde meydana gelen artışların daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri karşılaştırıldığı zaman özellikle ileriki yaşlarda, rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerleri karşılaştırıldığı zaman, 14 günlük kür uygulamasında, kalker kumu ile üretilmiş %0, 5 ve 10 ÖKD içeren harçların f_c değerlerinin, rilem kumu ile üretilmiş %0, 5 ve 10 ÖKD içeren harçların f_c değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak, 14 günlük kür uygulamasında, kalker kumu ile üretilen %15 ve 20 ÖKD içeren harçların f_c değerleri, rilem kumu ile üretilen %15 ve 20 ÖKD içeren harçların f_c değerlerinden daha düşüktür. 28, 56 ve 91 günlük kürler için rilem kumu ve kalker kumu ile üretilmiş %0 and 5 ÖKD içeren harçların f_c değerlerinin birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. 28, 56 ve 91 günlük kürler için kumu ile üretilmiş %10, 15 ve 20 ÖKD içeren harçların f_c değerleri, kalker kumu ile üretilmiş %10, 15 ve 20 ÖKD içeren harçların f_c değerlerinden daha yüksektir. Tüm kür günleri için en yüksek f_c değerleri, rilem kumu ile üretilmiş %15 ÖKD içeren harçlarda görülürken, en düşük f_c değerleri RK0 (rilem kumlu kontrol) ve KK0 (kalker kumlu kontrol) harçlarında görülmüştür. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi ÖKD içeriği hem rilem kumu hem de kalker kumu ile üretilmiş harçların f_c değerlerini geliştirmiştir.

4.3 Yüksek Sıcaklık Sonrası Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.3.1 Yüksek sıcaklık sonrası sertleşmiş birim ağırlık

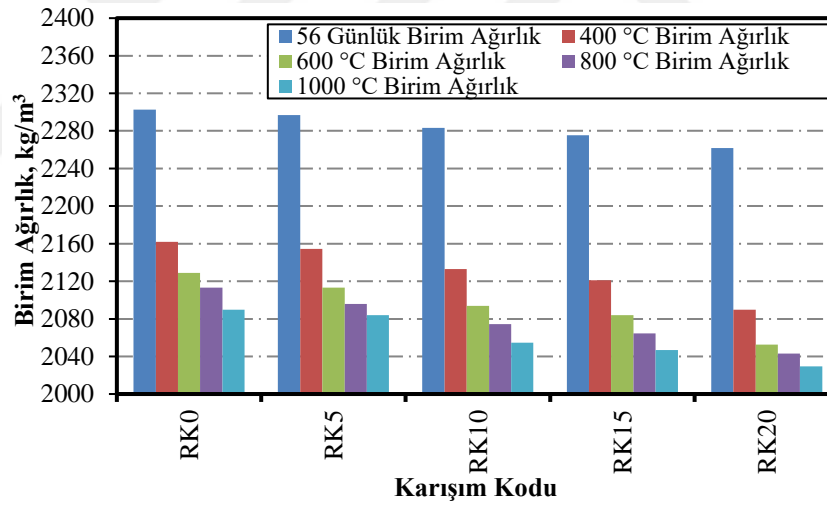
56 günlük kür uygulanmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren haçlara 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulamaları yapılmış ve her bir harç karışımının sertleşmiş birim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklık sonrası birim ağırlık değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Ayrıca rilem kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklık sonrası sertleşmiş birim ağırlık değerleri Şekil 4.9'da ve kalker kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklık sonrası sertleşmiş birim ağırlık değerleri Şekil 4.10'da görülmektedir.

Çizelge 4.5. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların birim ağırlık değerleri

Karışım Kodu	Yüksek Sıcaklıklara Maruz Kalan Sertleşmiş Birim Ağırlık Değerleri (kg/m ³)			
	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C
RK0	2162	2129	2113	2090
RK5	2154	2113	2096	2084
RK10	2133	2094	2074	2055
RK15	2121	2084	2064	2047
RK20	2090	2053	2043	2029
KK0	2197	2086	1998	1750
KK5	2180	2072	1988	1734
KK10	2172	2064	1980	1727
KK15	2154	2051	1967	1713
KK20	2139	2035	1959	1693

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren haçların maruz kaldıkları yüksek sıcaklık arttıkça birim ağırlık değerleri azalmıştır. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren haçların normal sıcaklık koşullarındaki 56 günlük birim ağırlık değerlerine göre, 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılanların birim ağırlık değerleri azalmıştır. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren haçların birim ağırlık değerlerindeki bu azalma, RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçları için sırasıyla % 6.12, 6.22, 6.57, 6.76 ve 7.6 oranlarındadır. 400 °C sıcaklık sonrası, tüm harçlarda yaklaşık olarak birbirine yakın oranlarda azalmalar meydana gelmiş ve yüksek sıcaklık tüm numunelere aynı etkiyi yapmıştır. 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının birim ağırlık değerleri, 56 günlük normal koşullardaki harçlara

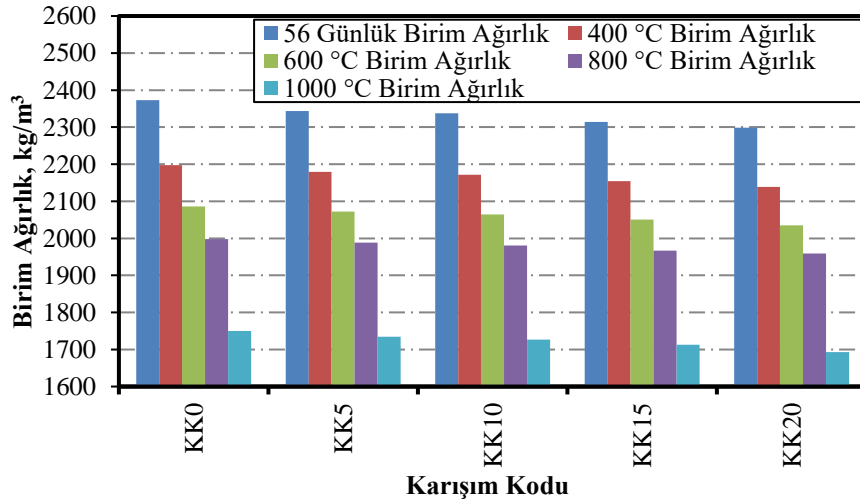
göre sırasıyla %7.55, 8.01, 8.27, 8.39 ve 9.23 oranlarında azalmıştır. 600 °C'ye maruz bırakılan harçlardaki azalma oranları yaklaşık olarak aynı değerlerde meydana gelmiş ve 600 °C'deki birim ağırlık kaybı 400 °C'deki birim ağırlık kaybından daha fazladır. 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılan RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının birim ağırlık değerleri ise sırasıyla %8.25 ve 9.24, %8.75 ve 9.27, %9.15 ve 9.98, %9.27 ve 10.00, %9.68 ve 10.3 oranlarında azalmıştır. Harçların birim ağırlık değerlerinin yüksek sıcaklığın artışı ile azalmasının sebebi, yüksek sıcaklık etkisi altında düşük sıcaklıklarda absorbe edilmiş suyun buharlaşması, yaklaşık 400 °C sıcaklıktan sonra Ca(OH)₂ yapısının bozulması ve daha yüksek sıcaklıklarda C-S-H jellerinin bozulmaya başlamasıdır. Yüksek sıcaklık etkilerinden dolayı, rilem kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerlerindeki azalma oranlarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Harçlarda kullanılan ÖKD içeriğinin yüksek sıcaklık etkisinden dolayı birim ağırlık değerlerindeki azalma üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.10'da görüldüğü üzere yüksek sıcaklık uygulamalarına tabi tutulan kalker kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerleri, 56 günlük ortam sıcaklığına maruz bırakılan harçların birim ağırlık değerlerine göre kademeli olarak azalmıştır. 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının birim ağırlık değerleri sırasıyla %7.41, 6.99, 7.1, 6.91 ve 6.95 oranlarında azalırken, 600 °C sıcaklığa maruz bırakılan harçlarının birim ağırlık değerleri %12.09, 11.6, 11.71, 11.36 ve 11.48 oranlarında azalmıştır. 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan

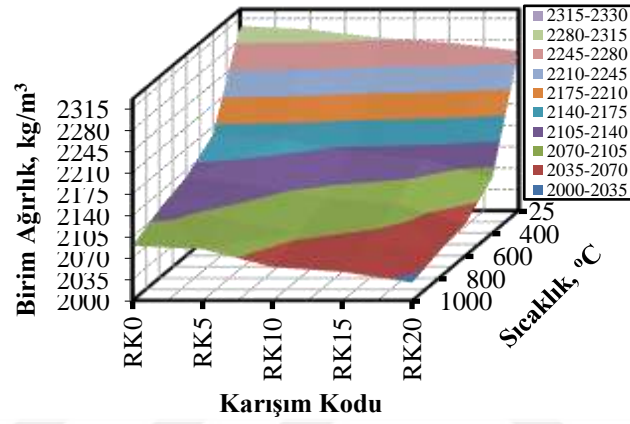
kalker kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerlerindeki azalmaya göre 600 °C sıcaklığa maruz bırakılanların birim ağırlık değerlerindeki azalma oranı daha yüksektir. 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara tabi tutulan KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri sırasıyla 800 °C’de %15.8, 15.18, 15.31, 14.99 ve 14.78 ve 1000 °C’de %26.25, 26.02, 26.13, 25.97 ve 26.35 oranlarında azalmıştır. Numunelere uygulanan sıcaklık arttıkça numunelerin sertleşmiş birim ağırlıkları birbirine yakın oranlarda azalmıştır. Yüksek sıcaklık etkilerinden dolayı, kalker kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerlerindeki azalma oranlarının sıcaklık arttıkça arttığı görülmüştür. Kalker kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerlerinin yüksek sıcaklığın artışı ile azalmasının sebebi, düşük sıcaklıklarda absorbe edilmiş suyun buharlaşması, yaklaşık 400 °C sıcaklıkta Ca(OH)₂ yapısının bozulması ve 600 °C sıcaklıktan sonra C–S–H jellerinin ve kullanılan kalker kumunun bozulmaya başlamasıdır. Kalker kumu ile üretilen harçlarda kullanılan ÖKD içeriğinin yüksek sıcaklık etkisinden dolayı birim ağırlık değerlerindeki azalma üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Dahası 600 °C sıcaklıktan sonra ÖKD içeren harçlarda kullanılan kalker (CaCO₃) kumunun yapısı bozularak CaO’de yani sönmemiş kirece dönüşmeye başlamakta bu durum da birim ağırlık değerlerinin daha fazla oranda düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.10. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların 25 °C (ortam sıcaklığında 56 gün kür uygulanmış), 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz

birakıldıktan sonraki birim ağırlık değerleri ile ÖKD içeriği oranları ile u boyutlu olarak değişimi sırasıyla Şekil 4.11’de ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekil 4.11’deki u boyutlu şekilden de görüldüğü gibi rilem kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerlerinde 400 C’de ani bir azalmanın olduğu, daha yüksek sıcaklıklarda ise kademeli bir azalmanın olduğu görülmektedir. Şekil 4.12’deki u boyutlu şekilden de görüldüğü gibi kalker kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerlerinde 600 C’den sonra ani bir azalmanın olduğu ve bu azalmanın diğer yüksek sıcaklıklarda artarak devam ettiği görülmektedir.



Şekil 4.11. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerlerinin u boyutlu değişimi



Şekil 4.12. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerlerinin u boyutlu değişimi

Kalker kumu ile üretilen harçlar ve rilem kumu ile üretilen harçlar kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman 400 C yüksek sıcaklık uygulaması yapılan kalker kumu üretilen harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri rilem kumu ile üretilen harçlardan daha

yüksek olduğu görülürken, sıcaklıkların 600 °C, 800 °C ve 1000 °C'ye artırılmasıyla kalker kumu üretilen harçların sertleşmiş birim ağırlık değerlerindeki azalmanın, rilem kumu ile üretilen harçlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. 600 °C yüksek sıcaklıktan sonra, kalker kumu ile üretilen harçların birim ağırlık değerlerinin daha fazla azalmanın sebebi, kullanılan kalker (CaCO_3) kumunun yapısının bozularak CaO 'de yani sönmemiş kirece dönüşmeye başlamasıdır. Bu durum Fotoğraf 4.1'de görüldüğü gibi 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış numunelerin suyla temas ettirildiğinde, kirecin suyla söndürülmesinde olduğu gibi reaksiyona girmesiyle açıklanabilir.



Fotoğraf 4.1. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen harçların su ile reaksiyonu

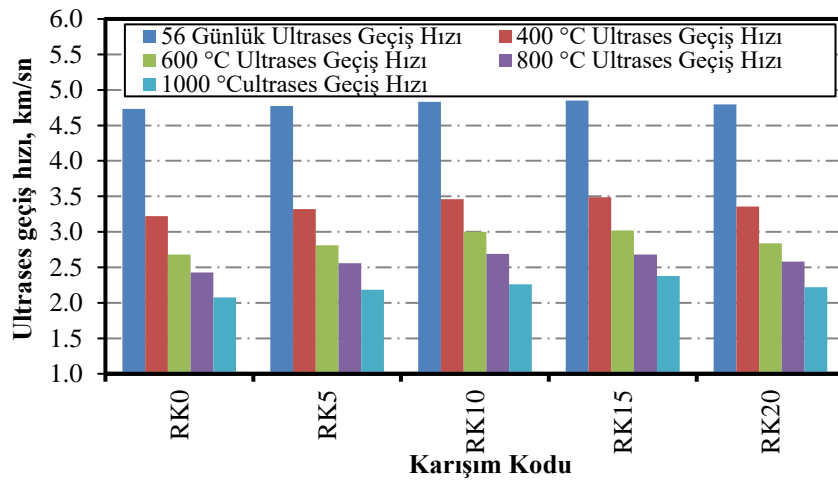
4.3.2 Yüksek sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı

400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri deneysel çalışmalarla belirlenmiş ve bu değerler Çizelge 4.6'da ve Şekil 4.13'te verilmiştir. 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklık uygulanan rilem kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinin sırasıyla 3.22 km/sn ile 3.49 km/sn, 2.68 km/sn ile 3.02 km/sn, 2.43 km/sn ile 2.68 km/sn ve 2.08 km/sn ile 2.38 km/sn değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerlerinde, 56 günlük normal sıcaklık uygulaması yapılmış olanlara göre azalma meydana gelmiştir. 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının U_{pv} değerleri, 56 günlük normal sıcaklığa maruz bırakılan harçların U_{pv} değerlerine göre sırasıyla %32.06, 30.54, 28.36, 28.04 ve 30 oranlarında azalma göstermiştir. 56 günlük normal sıcaklığa maruz bırakılan harçların U_{pv} değerlerine göre,

600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan RK0 harçlarının U_{pv} değerleri sırasıyla % 43.45, 48.73 ve 56.11, RK5 harçlarının U_{pv} değerleri sırasıyla % 41.21, 46.44 ve 54.18, RK10 harçlarının U_{pv} değerleri sırasıyla % 37.88, 44.30 ve 53.20 RK15 harçlarının U_{pv} değerleri sırasıyla %37.73, 44.74 ve 50.92 ve RK20 harçlarının U_{pv} değerleri sırasıyla %40.83, 46.25 ve 53.75 oranlarında azalmıştır. Yüksek sıcaklık uygulamaları tüm rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlarda birbirine yakın oranlarda U_{pv} değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Deneysel çalışmada yüksek sıcaklık uygulamaları yapılmış harçların U_{pv} değerlerinin normal sıcaklık uygulaması yapılmış harçların U_{pv} değerlerinden daha düşük olmasının sebebi sıcaklık etkisiyle harçlarda oluşan gerilme çatlakları, boşlukların büyümesi ile doğal harç kimyasal yapısının sıcaklık etkisiyle bozularak çatlakların oluşması ve büyümesidir.

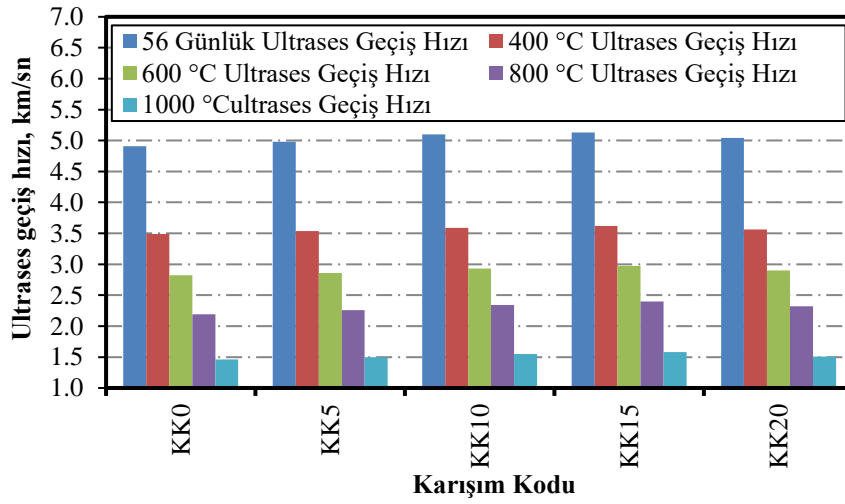
Çizelge 4.6. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların U_{pv} değerleri

Karışım Kodu	Yüksek Sıcaklıklara Maruz Kalan Harçların Ultrases Geçiş Hızı Değerleri (km/sn)			
	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C
RK0	3.22	2.68	2.43	2.08
RK5	3.32	2.81	2.56	2.19
RK10	3.46	3.00	2.69	2.26
RK15	3.49	3.02	2.68	2.38
RK20	3.36	2.84	2.58	2.22
KK0	3.49	2.82	2.19	1.46
KK5	3.54	2.86	2.26	1.50
KK10	3.59	2.93	2.34	1.55
KK15	3.62	2.97	2.40	1.58
KK20	3.56	2.90	2.32	1.51



Şekil 4.13. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri

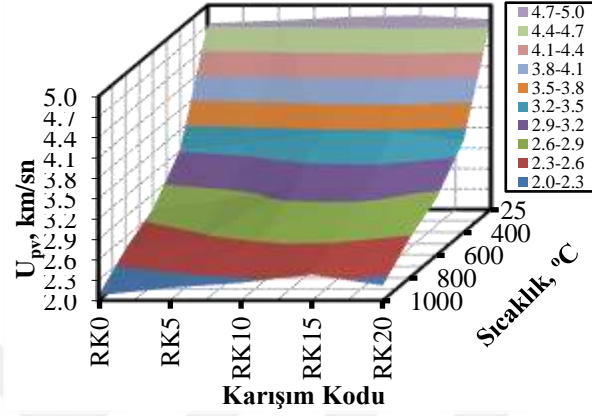
400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri deneysel çalışmalarla belirlenmiş ve bu değerler Çizelge 4.6'da ve Şekil 4.14'te verilmiştir. 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklık uygulanan kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinin sırasıyla 3.49 km/sn ile 3.62 km/sn, 2.82 km/sn ile 2.97 km/sn, 2.19 km/sn ile 2.40 km/sn ve 1.46 km/sn ile 1.58 km/sn değerleri arasında olduğu belirlenmiştir. 400 °C ve 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının U_{pv} değerleri, 56 günlük normal sıcaklık uygulaması yapılmış harçların U_{pv} değerlerine göre, sırasıyla %28.92 ve 42.56, %28.91 ve 42.57, %29.6 ve 42.54, %29.43 ve 42.1, %29.36 ve 42.46 oranlarında azalmıştır. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının U_{pv} değerleri ise sırasıyla %55.39 ve 70.26, %54.61 ve 69.87, %54.11 ve 69.6, %53.21 ve 68.53, %53.96 ve 70.03 oranlarında azalmıştır. Yüksek sıcaklık uygulamaları hem kontrol harçlarının hem de ÖKD içeren harçlarının U_{pv} değerlerinde yaklaşık olarak aynı oranlarda düşüşe sebep olmuştur. Uygulanan yüksek sıcaklık derecesi arttıkça ise U_{pv} değerlerindeki düşüşün daha fazla olmasına neden olmaktadır. Özellikle 600 °C üzerindeki sıcaklıklarda U_{pv} değerlerindeki azalmanın %50'nin üzerinde olduğu görülmektedir.



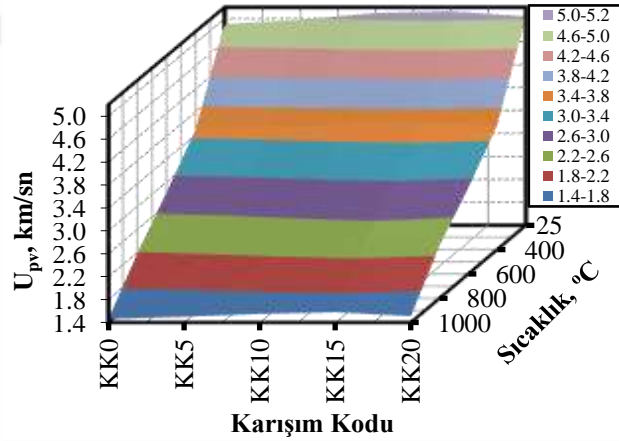
Şekil 4.14. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların karışımlarında kullanılan ÖKD içerikleri ile yüksek sıcaklıklar arasındaki ilişkiye göre U_{pv} değerlerindeki değişim 3 boyutlu olarak sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. 400 °C

sıcaklık uygulanan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerlerinde daha hızlı bir düşüş görülürken, daha sonraki sıcaklıklarda kademeli bir düşüş görülmektedir. Bu üç boyutlu şekillerden de görüldüğü gibi karışımlarda kullanılan ÖKD içeriğinin U_{pv} değerlerindeki azalma üzerinde önemli bir katkısının olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.15. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerlerinin üç boyutlu değişimi



Şekil 4.16. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerlerinin üç boyutlu değişimi

Değişen yüksek sıcaklıklar karşısında rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri, 56 günlük normal şartlardaki harçlara göre azalmıştır. Ancak kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerlerindeki kayıp, rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerlerindeki kayıptan daha fazla olmuştur. 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri, 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış rilem kumu ile

üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerlerinden daha yüksektir. Ancak bu durum, 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlarda tersine dönmeye başlamıştır. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılan KK0, KK5 ve KK20 harçlarının U_{pv} değerleri, RK0, RK5 ve RK20 harçlarının U_{pv} değerlerinden daha yüksekken, 600 °C sıcaklığa maruz bırakılan KK10 ve KK15 harçlarının U_{pv} değerleri, RK10 ve RK15 harçlarının U_{pv} değerlerinden daha düşüktür. Özellikle 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerlerinden daha düşüktür. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların özellikle 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra U_{pv} değerindeki azalmasının sebebi kullanılan kalker ($CaCO_3$) kumunun yapısının bozularak CaO 'de yani sönmemiş kirece dönüşmeye başlamasıdır.

4.3.3 Yüksek sıcaklık sonrası eğilme dayanımı

56 gün kür uygulandıktan sonra, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan 40×40×160 mm boyutlarında rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlara üç nokta eğilme deneyi yapılmış ve elde edilen eğilme dayanımı (f_{fs}) değerleri Çizelge 4.7 verilmiştir. Ayrıca, rilem kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklık sonrası f_{fs} değerleri Şekil 4.17'de ve kalker kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklık sonrası f_{fs} değerleri Şekil 4.18'de görülmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça f_{fs} değerlerinin azaldığı görülmektedir. ÖKD içeren harçların f_{fs} değerlerinin azalmasına, matris içerisindeki mikro çatlak ve boşlukların büyümesi, $Ca(OH)_2$, kalsiyum alümina silika hidrat (C-A-S-H) ve C-S-H jellerindeki bozulmalar ve kullanılan agregalardaki bozulmalar neden olmaktadır.

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.17'de görüldüğü gibi rilem kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerleri özellikle 400 °C sıcaklıktan sonra kademeli olarak azalmıştır. 400 °C sıcaklık uygulanan rilem kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerleri 7.81 MPa ile 9.44 MPa arasında iken, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklarda sırasıyla 3.37 MPa ile 5.27 MPa, 2.40 MPa ile 3.59 MPa ve 2.05 MPa ile 2.43 MPa arasında değişmiştir. 56 gün kür uygulanmış normal sıcaklıktaki RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının f_{fs} değerleri göre, 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan rilem kumu ile üretilmiş RK0, RK5,

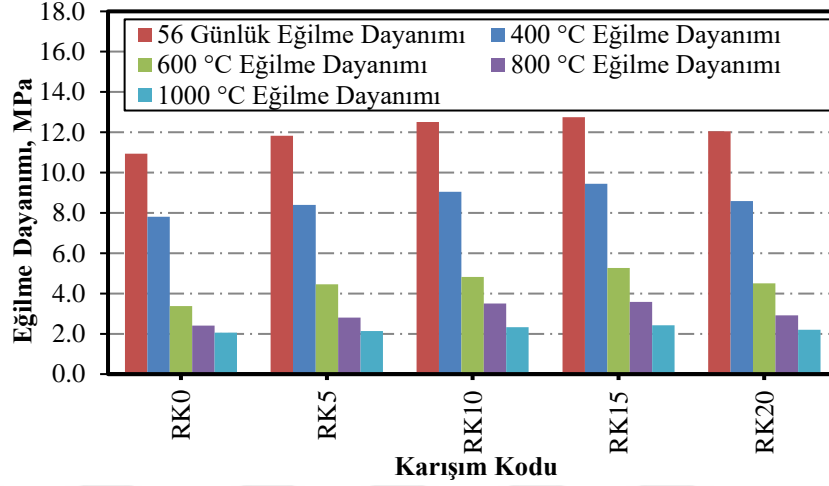
RK10, RK15 ve RK20 harçlarının f_{fs} değerleri sırasıyla %28.54, 28.99, 27.65, 26.01 ve 28.71 oranlarında azalırken, 600 °C sıcaklığa maruz bırakılanların f_{fs} değerleri sırasıyla % 69.16, 62.29, 61.47, 58.69 ve 62.57 oranlarında azalma göstermiştir. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan rilem kumu ile üretilmiş RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının f_{fs} değerleri ise sırasıyla %78.04 ve 81.24, %76.24 ve 81.91, %71.94 ve 81.45, %71.86 ve 80.95, %75.85 ve 81.74 oranlarında azalma göstermiştir. Bu azalma oranlarından da görüldüğü gibi özellikle 400 °C yüksek sıcaklık uygulamasından 600 °C yüksek sıcaklık uygulamasına geçildiğinde f_{fs} değerlerindeki azalmanın 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle 600 °C üzerindeki sıcaklıklarda f_{fs} değerlerindeki azalmanın %60'nin üzerinde olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları hem kontrol harçlarının hem de ÖKD içeren harçlarının f_{fs} değerlerinde yaklaşık olarak aynı oranlarda düşüşe sebep olmuştur. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen harçlarda kullanılan ÖKD içeriğinin yüksek sıcaklık etkisine karşı pek fazla bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.7. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların f_{fs} değerleri

Karışım Kodu	Yüksek Sıcaklıklara Maruz Kalan Harçların Eğilme Dayanımı Değerleri (MPa)			
	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C
RK0	7.81	3.37	2.40	2.05
RK5	8.40	4.46	2.81	2.14
RK10	9.05	4.82	3.51	2.32
RK15	9.44	5.27	3.59	2.43
RK20	8.59	4.51	2.91	2.20
KK0	7.47	6.14	3.50	1.16
KK5	7.87	6.67	4.06	1.24
KK10	8.83	7.48	4.75	1.67
KK15	9.51	7.88	5.27	1.76
KK20	8.57	7.19	4.52	1.48

Yüksek sıcaklık uygulamaları karşısında sadece rilem kumu ile üretilen sadece çimento içeren kontrol harçlarına göre, rilem kumu ile üretilen harç karışımlarında çimento yerine ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ÖKD kullanılması ile daha yüksek f_{fs} değerleri elde edilmiştir. 400 °C yüksek sıcaklık sonrası, kontrol harcına göre, rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerlerinin % 7.55 ile % 20.87 arasında daha fazla olduğu gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların maruz kaldıkları sıcaklıklar arttıkça ise bu farkın azaldığı görülmektedir. Yüksek sıcaklıklar

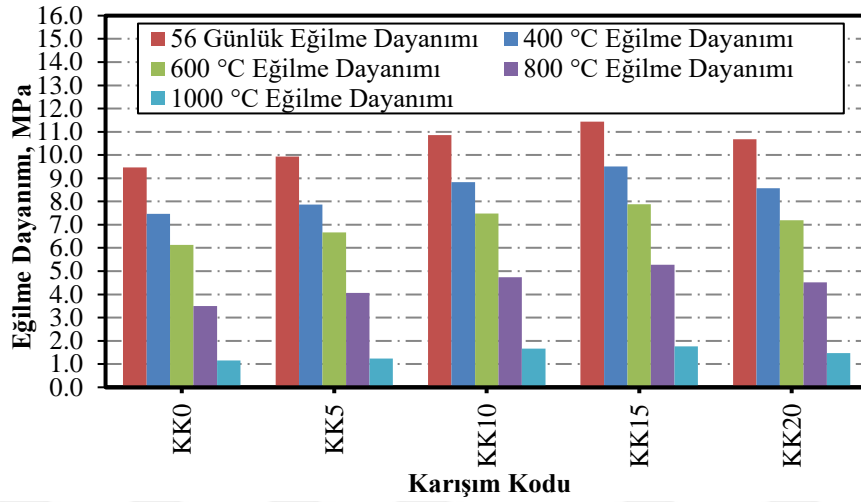
sonrası en yüksek f_{fs} değerleri yine RK15 harçlarında gözlenmiştir. 1000 °C sıcaklık uygulaması sonrasında ise ÖKD içeren harçlar ile kontrol harcının f_{fs} değerleri yaklaşık aynı değerlerde gözlenmiş, ÖKD içeriğinin f_{fs} değerlerine önemli bir etkisi olmamıştır.



Şekil 4.17. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.18’de görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kalker kumu ile üretilen KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_{fs} değerleri 400 °C’de 7.47 MPa ile 9.51 MPa, 600 °C’de 6.14 MPa ile 7.88 MPa, 800 °C’de 3.50 MPa ile 5.27 MPa ve 1000 °C’de 1.16 MPa ile 1.76 MPa arasında gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki f_{fs} değerleri Şekil 4.18’de görüldüğü gibi kademeli olarak azalmıştır. Bu azalmanın sebebi yüksek sıcaklık etkisi nedeni ile çatlak ve boşlukların artması, $Ca(OH)_2$, C-A-S-H ve C-S-H jellerinin bozulma ve kalker kumunun sönmemiş kirece dönüşmesidir. 56 günlük yüksek sıcaklık uygulanmamış kalker kumu ile üretilen KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_{fs} değerlerine göre, 400 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_{fs} değerleri sırasıyla %21.11, 20.82, 18.69, 16.87 ve 19.83 oranlarında azalma ve 600 °C yüksek sıcaklığa maruz kalanların f_{fs} değerleri ise sırasıyla %35.16, 32.89, 31.12, 31.11 ve 32.74 oranlarında azalma göstermiştir. Dahası, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_{fs} değerleri sırasıyla % 63.04 ve 87.75, %59.15 ve 87.52, %56.26 ve 84.62, %53.93 ve 84.61 ve %57.71 ve 86.15 oranlarında azalmalar göstermiştir. Özellikle, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs}

değerlerindeki çok yüksek seviyelerdedir. Bunun en büyük sebebi de yukarıda da belirtildiği gibi kalker (CaCO_3) kumunun yüksek sıcaklık etkisi nedeni ile sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesidir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerlerindeki azalması tüm harçlar da hemen hemen aynı oranlardadır. Normal şartlardaki f_{fs} değerleri göz önünde bulundurulduğuna, ÖKD içeriğinin yüksek sıcaklık etkisinden dolayı meydana gelen f_{fs} değerlerindeki azalma üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

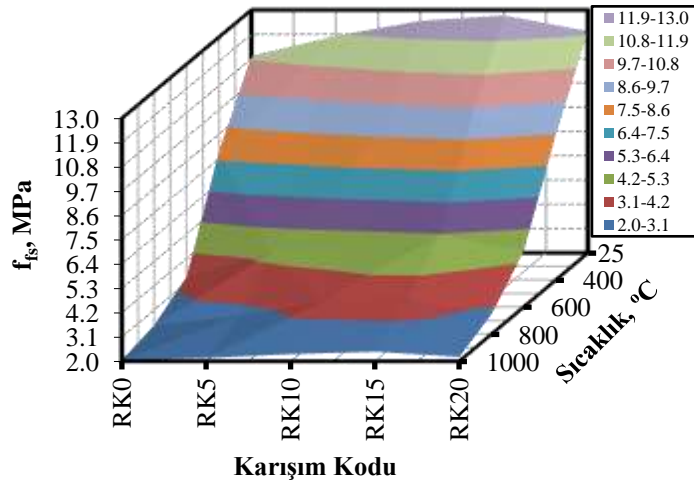


Şekil 4.18. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri

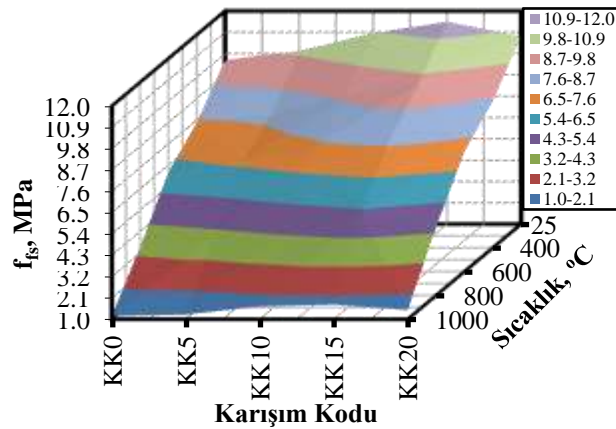
Normal koşullarda olduğu gibi yüksek sıcaklığa maruz kalan kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerlerinin, sadece çimento içeren kontrol harcına göre, daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların içyapısında boşluk oranının az olması ve daha fazla C-S-H jellerine sahip olması kontrol harçlarından daha yüksek f_{fs} değerleri elde edilmesini sağlamıştır. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri de, kontrol harçlarınınkinden daha yüksek elde edilmiştir. 400 °C yüksek sıcaklık uygulamasına maruz kalmış KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_{fs} değerleri, KK0 harcından sırasıyla %5.08, 18.20, 27.30 ve 14.72 oranlarında daha fazla görülürken, 600 °C yüksek sıcaklık uygulamasına maruz kalmış KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_{fs} değerleri ise KK0 harcından sırasıyla %8.63, 21.82, 28.33 ve 17.10 oranlarında daha fazla görülmüştür. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklığa maruz kalmış KK0 harçlarına göre, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklığa maruz kalmış KK5, KK10, KK15 ve KK20

harçlarının f_{fs} değerleri sırasıyla %16 ve 6.89, %35.71 ve 43.96, %50.57 ve 51.72 ve %29.14 ve 27.58 oranlarında daha yüksek görülmüştür.

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların karışımlarında kullanılan ÖKD içerikleri ile yüksek sıcaklıklar arasındaki ilişkiye göre f_{fs} değerlerindeki değişim 3 boyutlu olarak sırasıyla Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir. 400 °C sıcaklık uygulanan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerlerinde daha az bir düşüş görülürken, sonraki sıcaklıklarda daha yüksek bir düşüş görülmüştür. Bu üç boyutlu şekillerden de görüldüğü gibi karışımlarda kullanılan ÖKD içeriğinin f_{fs} değerlerindeki azalma üzerinde önemli bir katkısının olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.19. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerlerinin üç boyutlu değişimi



Şekil 4.20. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerlerinin üç boyutlu değişimi

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerleri karşılaştırıldığı zaman, 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan rilem kumlu ve kalker kumlu ile üretilen harçların f_{fs} değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerleri daha yüksekken, 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. 400 °C, 600 ve °C 800 °C ‘ye maruz bırakılmış rilem kumlu harçlarda, kalker kumlu harçlara göre daha fazla oranda f_{fs} kaybı meydana gelmiştir. 1000 °C sıcaklık uygulamasında ise kalker kumlu harçların f_{fs} kaybı oranı daha fazladır.

4.3.4 Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı

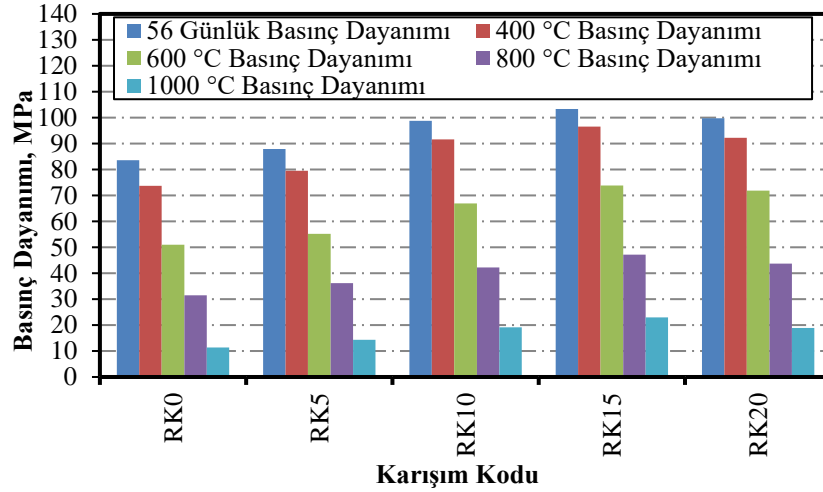
56 günlük kür uygulamasından sonra, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan 40×40×160 mm boyutlarında rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlara eğilme deneyi yapıldıktan sonra ikiye bölünen numuneler basınç deneyi için kullanılmıştır. Eğilme deneyinde ikiye bölünmüş numunelerin üstüne ve altına 40×40 mm plakalarla kuvvet etki ettirilerek elde edilen rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Ayrıca, rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların yüksek sıcaklık sonrası f_c değerleri Şekil 4.21’de ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların yüksek sıcaklık sonrası f_c değerleri Şekil 4.22’de görülmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça f_c değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.8. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan harçların f_c değerleri

Karışım Kodu	Yüksek Sıcaklıklara Maruz Kalan Harçların Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)			
	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C
RK0	73.74	51.00	31.52	11.44
RK5	79.58	55.19	36.17	14.29
RK10	91.59	66.90	42.18	19.19
RK15	96.51	73.80	47.14	22.98
RK20	92.23	71.89	43.70	18.86
KK0	65.33	50.38	20.31	8.38
KK5	77.40	61.00	25.29	10.59
KK10	86.21	67.98	31.41	13.19
KK15	89.58	72.59	34.45	15.72
KK20	83.11	65.62	28.32	11.70

Rilem kumu ile üretilen harçların maruz kaldıkları yüksek sıcaklık arttıkça, Çizelge 4.8 ve Şekil 4.21’de görüldüğü gibi f_c değerleri kademeli olarak azalmıştır. 400 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri 73.74 MPa ile 96.51 MPa arasında iken, 600 °C yüksek sıcaklığa maruz kalanların f_c değerleri 51.00 MPa ile 73.80 MPa arasında değişmiştir. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalanların ise sırasıyla 31.52 MPa ile 47.14 MPa ve 11.44 MPa ile 22.98 MPa arasında değişmiştir. 56 günlük normal sıcaklık uygulaması yapılan rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerlerine göre 400 °C ve 600 °C yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz bırakılmış rilem kumu ile üretilen RK0, RK5, RK10, RK15 ve RK20 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %13.28 ve 38.95, %9.52 ve 37.25, %7.29 ve 32.28, %6.62 ve 28.59 ve %7.59 ve 27.97 oranlarında azalmıştır. Bu azalmalardan da, görüldüğü gibi 400 °C yüksek sıcaklık uygulamasından meydana gelen azalmalar çok düşük oranlarda iken, 600 °C yüksek sıcaklık uygulamasından meydana gelen azalmalar yüksek oranlara çıkmıştır. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalanların f_c değerleri ise RK0 harçlarında %62.26 ve 86.3, RK5 harçlarında %58.87 ve 83.75, RK10 harçlarında %57.3 ve 80.57, RK15 harçlarında %54.39 ve 77.76 ve RK20 harçlarında %56.21 ve 81.1 oranlarında azalmıştır. Bu yüksek sıcaklık uygulamalarından meydana gelen azalmalar yüksek oranlara çıkmıştır. Bu düşmelerin en büyük sebebi de yukarıda da belirtildiği gibi yüksek sıcaklıklardan dolayı çatlak ve boşlukların artması, $Ca(OH)_2$, C-A-S-H ve C-S-H jellerinin bozulmasıdır.

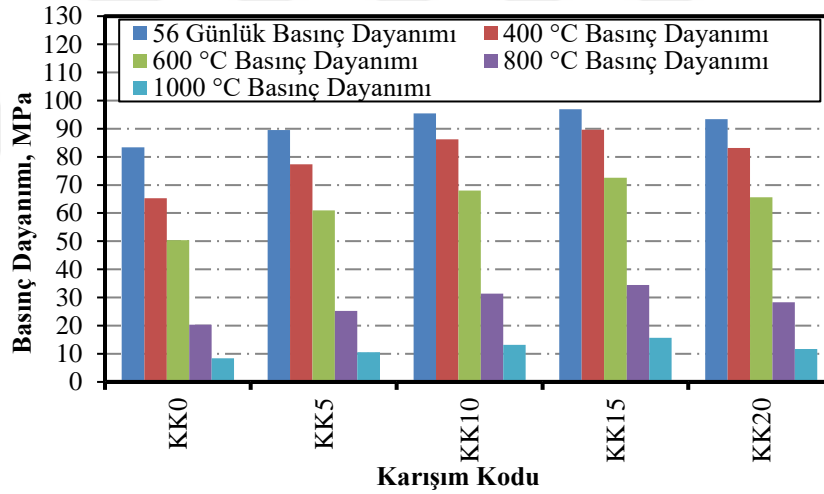
Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen RK0 harçlarının f_c değerlerine göre, ÖKD içeren harçların f_c değerleri daha yüksektir. 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan kontrol harcına göre ÖKD içeren harçların f_c değerleri incelendiği zaman RK5 harcının %7.91, RK10 harcının %24.2, RK15 harcının %30.87 ve RK20 harcının %25.07 daha yüksek olduğu görülmüştür. 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan harçlarda ise RK0 harcına göre f_c değerleri RK5 harcında %8.21, RK10 harcında %31.17, RK15 harcında %44.7 ve RK20 harcında %40.96 oranlarında daha yüksektir. 800 °C ve 1000 °C’ye maruz bırakılan RK0 harçlarına göre ÖKD içeren harçların f_c değerleri RK5 harcında %14.75 ve 24.91, RK10 harcında %33.81 ve 67.74, RK15 harcında %49.55 ve 100 ve RK20 harcında %38.64 ve 64.86 oranlarında daha yüksektir. Özellikle, yüksek sıcaklıklarda da kontrol numunelerine göre, ÖKD içeren harçların f_c değerinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.21. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerleri de yüksek sıcaklık uygulaması yapılmamış 56 günlük harçların f_c değerlerine göre azalma göstermiştir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerleri Çizelge 4.8 ve Şekil 4.22’de verilmiştir. 400 °C ve 600 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri 65.33 MPa ile 89.58 MPa ve 50.38 MPa ile 72.59 MPa arasında iken, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalanların ise 20.31 MPa ile 34.45 MPa ve 8.38 MPa ile 15.72 MPa arasında değişmiştir. 56 günlük sıcaklık uygulaması yapılmamış kalker kumu ile üretilmiş KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_c değerlerine göre, 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilmiş KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %21.61, 13.55, 9.64, 7.53 ve 11 oranlarında azalmıştır. 600 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilmiş KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçların f_c değerleri ise sırasıyla %39.54, 31.87, 28.74, 25.07 ve 29.73 oranlarında azalmıştır. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklar uygulanan kalker kumu ile üretilmiş KK0, KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_c değerleri de sırasıyla %75.62 ve 89.90, %71.75 ve 88.17, %67.07 ve 86.17, %64.44 ve 83.77, %69.67 ve 87.47 oranlarında azalma göstermiştir. Kalker kumu ile üretilen harçların maruz kaldığı yüksek sıcaklık artışı ile f_c kaybı artmıştır. Bu kayıpların en büyük sebebi de yukarıda da belirtildiği gibi yüksek sıcaklıklardan dolayı çatlak ve boşlukların artması, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, C-A-S-H ve C-S-H jellerinin bozulması ve kalker (CaCO_3) kumunun yüksek sıcaklık etkisi nedeni ile sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesidir.

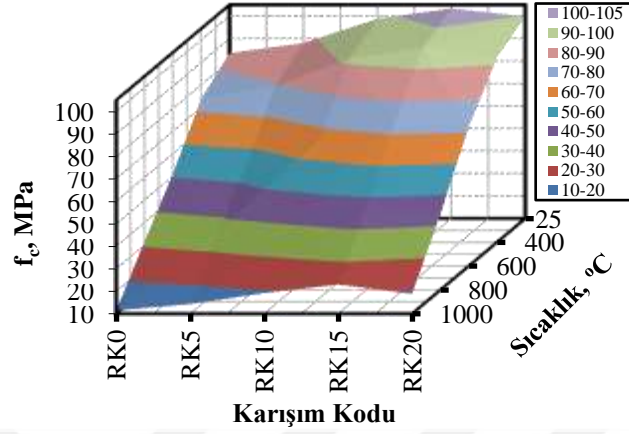
Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0 harçlarının f_c değerlerine göre, kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri daha yüksektir. 400 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış kalker kumu ile üretilen KK0 harcının f_c değerlerine göre, kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %18.47, 31.96, 37.11 ve 27.21 oranlarında daha yüksek çıkmıştır. 600 °C sıcaklık uygulamasına maruz kalan KK0 harcının f_c değerlerine göre, ÖKD içeren KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %21.07, 34.93, 44.08 ve 30.25 oranlarında daha yüksek çıkmıştır. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan KK0 harçlarının f_c değerlerine göre, ÖKD içeren KK5, KK10, KK15 ve KK20 harçlarının f_c değerleri sırasıyla %24.51 ve 26.37, %54.65 ve 57.39, %69.62 ve 87.58, %39.43 ve 39.61 oranlarında daha yüksek çıkmıştır. Özellikle 400 °C yüksek sıcaklık sonrası kontrol harcının f_c değeri ile %15 ÖKD içeren harcının f_c değeri arasındaki fark yaklaşık olarak % 37 iken, bu fark 1000 °C yüksek sıcaklık sonrası yaklaşık % 87 olmuştur.



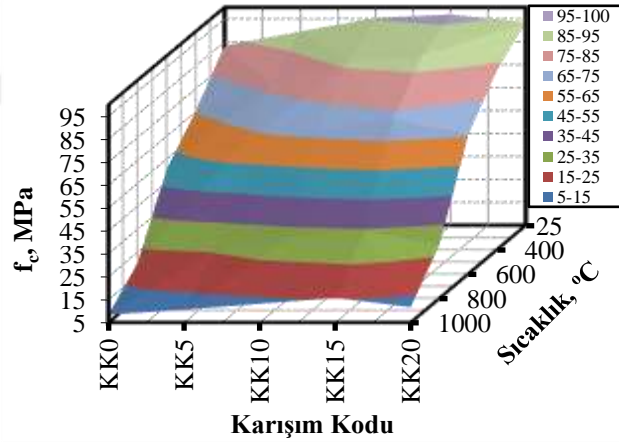
Şekil 4.22. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te sırasıyla rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların karışımlarında kullanılan ÖKD içerikleri ile yüksek sıcaklıklar arasındaki ilişkiye göre f_c değerlerindeki değişim 3 boyutlu olarak verilmiştir. Bu üç boyutlu şekillerden de görüldüğü gibi 56 günlük ortam sıcaklığındaki harçların en yüksek f_c değerlerinin %15 ÖKD içeren harçlarda olduğu, bu durumun yüksek sıcaklıklarda da aynı şekilde %15 ÖKD içeren harçlarda olduğu görülmektedir. Özellikle 400 °C sıcaklığa maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c

değerlerinde daha az bir düşüş görülürken, sonraki sıcaklıklarda daha yüksek bir düşüş görülmüştür. Bu üç boyutlu şekillerden de görüldüğü gibi kullanılan ÖKD içeriğinin f_c değerlerindeki azalma üzerinde önemli bir katkısının olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.23. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerlerinin üç boyutlu değişimi



Şekil 4.24. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerlerinin üç boyutlu değişimi

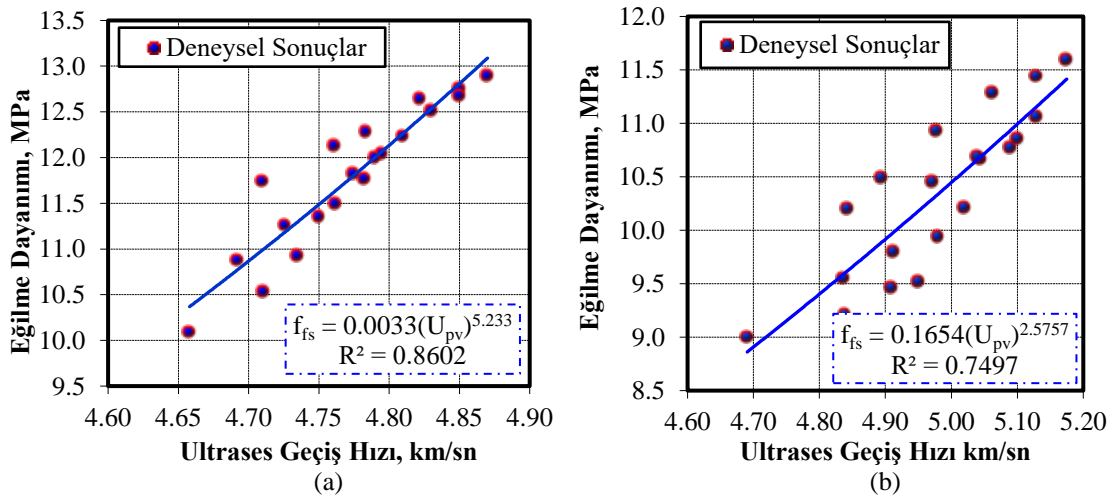
Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinde farklılıklar meydana gelmiştir. Genellikle rilem kumu ile üretilen harçların f_c değerleri, kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinden daha yüksektir. 400 °C, 800 °C, 1000 °C yüksek sıcaklık uygulaması sonrası rilem kumu ile üretilen harçların f_c değerleri, kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenirken, 600 °C yüksek sıcaklık uygulamasında ise rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Yukarıda da bahsedildiği gibi yüksek sıcaklıklardan dolayı kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerindeki kaybın fazla olmasının nedeni kalker (CaCO_3) kumunun yüksek sıcaklık etkisi nedeniyle sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesidir.

4.4 Sertleşmiş Beton Özellikleri Arasındaki İlişkiler

4.4.1 Eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki

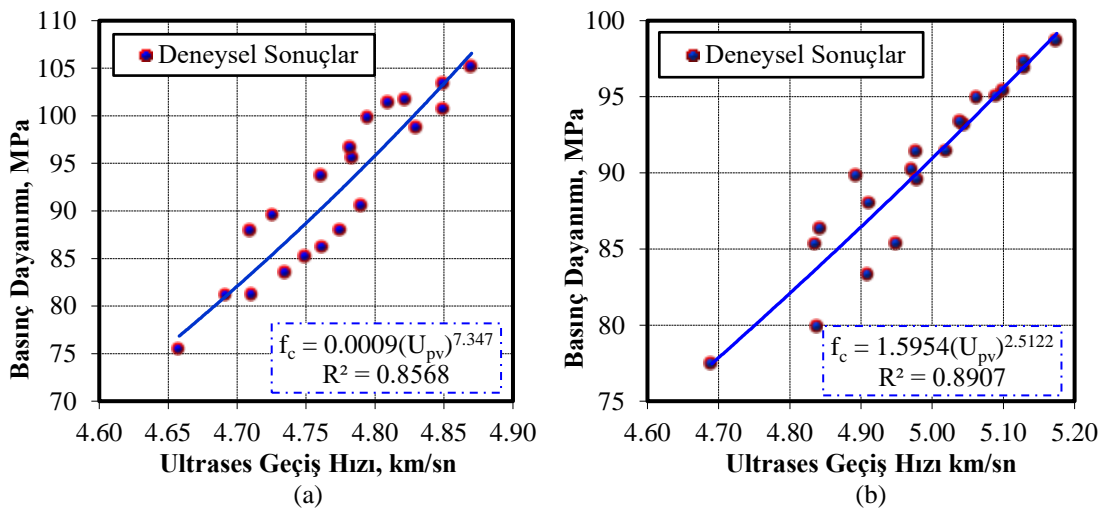
Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen çimento yerine ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ÖKD kullanılan harçlarının ve sadece çimento kullanılan kontrol harçlarının 14, 28, 56 ve 91 günlük U_{pv} ve f_{fs} değerleri ilişkilendirilmiş ve bu ilişki Şekil 4.25'te verilmiştir. Şekil 4.25a'da görüldüğü gibi rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} ve f_{fs} değerleri arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi gözlenirken, Şekil 4.25b'de görüldüğü gibi kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} ve f_{fs} değerleri arasında daha düşük bir korelasyon ilişkisi gözlenmiştir. Bu durum, rilem kumu ile üretilen harçların R^2 değerinin 0.8602 olması ve kalker kumu ile üretilen harçların R^2 değerinin 0.7497 olması ile açıklanabilir. Ayrıca, rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} ve f_{fs} değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren denklemler şekiller üzerinde verilmiştir. Bu denklemlerden görüldüğü gibi U_{pv} değerleri ile f_{fs} değerleri arasında üstel bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 4.25. Rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} ve f_{fs} değerleri arasındaki ilişki

4.4.2 Basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki

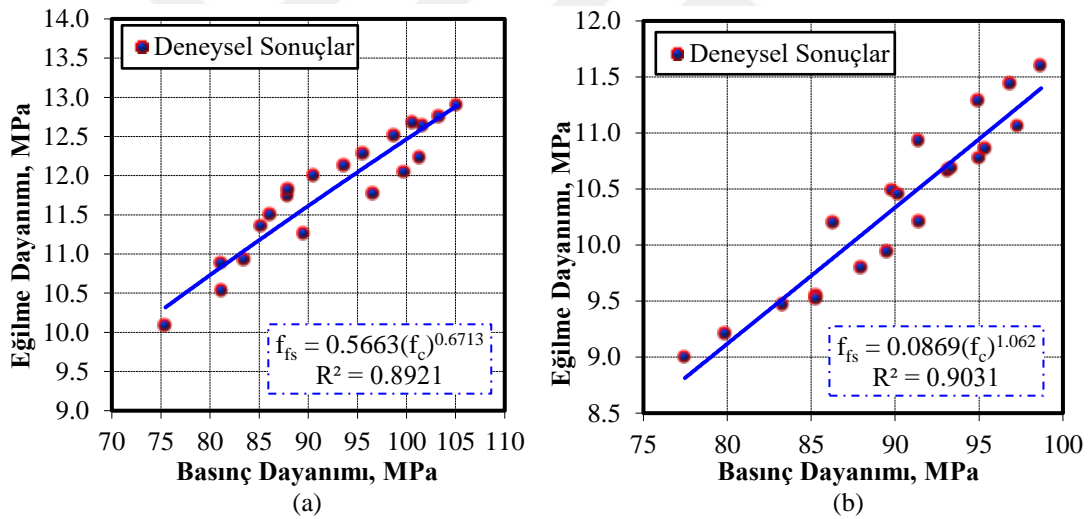
Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen çimento yerine ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ÖKD kullanılan harçların ve sadece çimento kullanılan kontrol harçlarının 14, 28, 56 ve 91 gün kür uygulamasından sonra elde edilen U_{pv} ve f_c değerleri ilişkilendirilmiş ve bu ilişkiler Şekil 4.26a ve b'de verilmiştir. Şekil 4.26a ve b üzerinde verilen R^2 değerlerinden ve korelasyon çizgisinden görüldüğü gibi rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} ve f_c değerleri arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi gözlenmiştir. Bu durumu, rilem kumu ile üretilen harçların R^2 değerinin 0.8568 olması ve kalker kumu ile üretilen harçların R^2 değerinin 0.8907 olması göstermektedir. Hem rilem kumu ile üretilen harçlardan hem de kalker kumu ile üretilen harçlardan elde edilen R^2 değerleri U_{pv} ve f_c değerleri arasında yüksek korelasyonun olduğunu göstermektedir. Dahası, R^2 değerlerinden de görüldüğü gibi kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} ve f_c değerleri arasındaki korelasyon ilişkisinin, rilem kumlu ile üretilen harçların U_{pv} ve f_c değerleri arasındaki korelasyon ilişkisinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} ve f_{fs} değerleri arasındaki ilişkiye göre, U_{pv} ve f_c değerleri arasındaki ilişkisinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} ve f_c değerleri arasındaki ilişkilerden elde edilen formüller Şekil 4.26a ve 4.26b üzerinde verilmiştir. Bu formüllerden de görüldüğü gibi U_{pv} değerleri ile f_c değerleri arasında üstel bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. Rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} ve f_c değerleri arasındaki ilişki

4.4.3 Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen çimento yerine ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ÖKD kullanılan harçların ve sadece çimento kullanılan kontrol harçlarının 14, 28, 56 ve 91 günlük f_c ve f_{fs} değerleri ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirmeler Şekil 4.27a ve b'de gösterilmiştir. Şekil 4.27a ve b'de görüldüğü gibi rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c ve f_{fs} değerleri arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların R^2 değeri 0.8921 ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların R^2 değeri 0.9031 olarak belirlenmiştir. Hem rilem kumu ile üretilen harçlardan hemde kalker kumu ile üretilen harçlardan elde edilen R^2 değerleri f_c ve f_{fs} değerleri arasındaki yüksek korelasyon ilişkisini doğrulamaktadır. f_c ve f_{fs} değerleri arasındaki üstel ilişkiyi gösteren denklemler Şekil 4.27a ve b üzerinde verilmiştir.



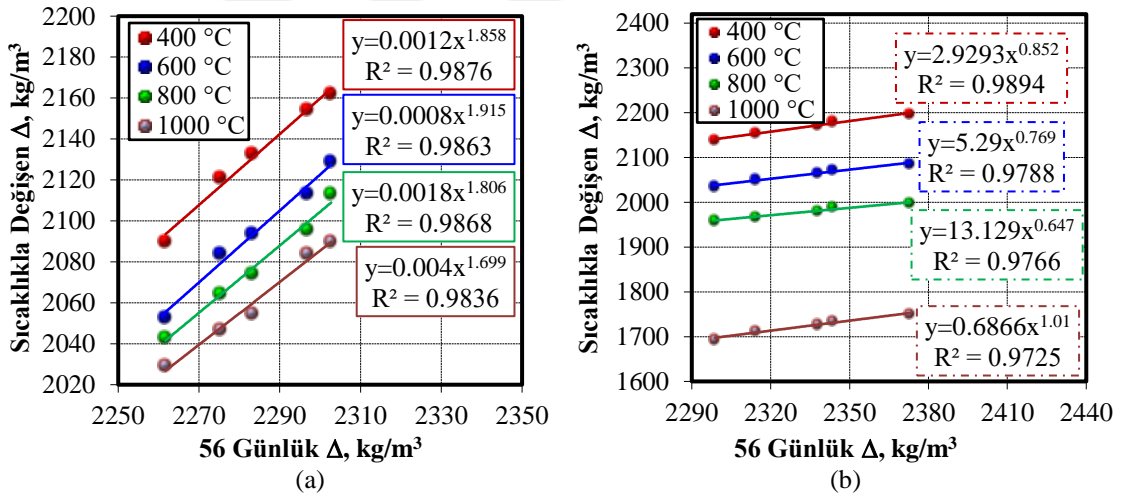
Şekil 4.27. Rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c ve f_{fs} değerleri arasındaki ilişki

4.5 Yüksek Sıcaklık Sonrası Sertleşmiş Beton Özellikleri Arasındaki İlişkiler

4.5.1 Sertleşmiş birim ağırlıkları arasındaki ilişki

25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların birim ağırlık (Δ) değerleri ile 400 °C, 600, °C 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren

harçların birim ağırlık değerleri ilişkilendirilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların birim ağırlık değerleri her bir yüksek sıcaklığa maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların birim ağırlık değerleri ilişkileri sırasıyla Şekil 4.28a ve b'de verilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların birim ağırlık değerleri ile rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklıklar sonrası elde edilen birim ağırlık değerleri arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harçlarda 400 °C, 600, °C 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklar sonrası R² değerleri sırasıyla 0.9876, 0.9863, 0.9868 ve 0.9836 iken, kalker kumu ile üretilen harçlarda ise sırasıyla 0.9894, 0.9788, 0.9766 ve 0.9725 olarak belirlenmiştir. Bu R² değerlerinden de görüldüğü gibi 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış sertleşmiş birim ağırlık değerleri ile yüksek sıcaklıklar sonrası sertleşmiş birim ağırlık değerleri arasındaki yüksek korelasyon ilişkilerinin olduğu görülmektedir.

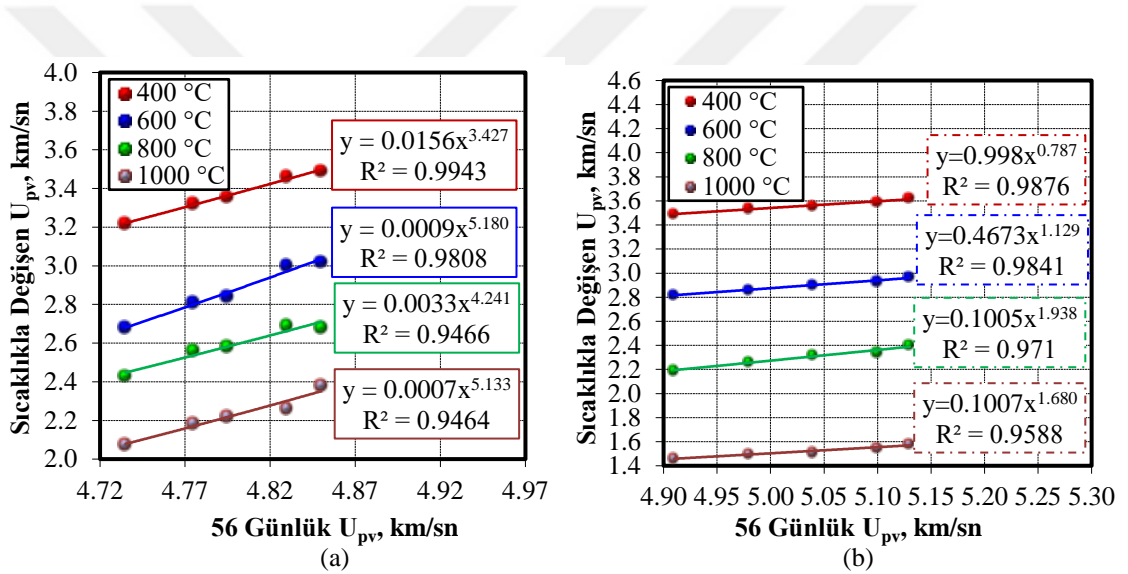


Şekil 4.28. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki

4.5.2 Ultrases geçiş hızları arasındaki ilişki

25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri ile 400 °C, 600, °C 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri ilişkilendirilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri her bir yüksek sıcaklığa

maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri ilişkileri sırasıyla Şekil 4.29a ve b'de verilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} değerleri ile rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklıklar sonrası elde edilen U_{pv} değerleri arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harçlarda 400 °C, 600, °C 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklar sonrası R^2 değerleri sırasıyla 0.9943, 0.9808, 0.9466 ve 0.9464 iken, kalker kumu ile üretilen harçlarda ise sırasıyla 0.9876, 0.9841, 0.9710 ve 0.9588 olarak belirlenmiştir. Bu R^2 değerlerinden de görüldüğü gibi 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış U_{pv} değerleri ile yüksek sıcaklıklar sonrası U_{pv} değerleri arasındaki yüksek korelasyon ilişkilerinin olduğu görülmektedir.

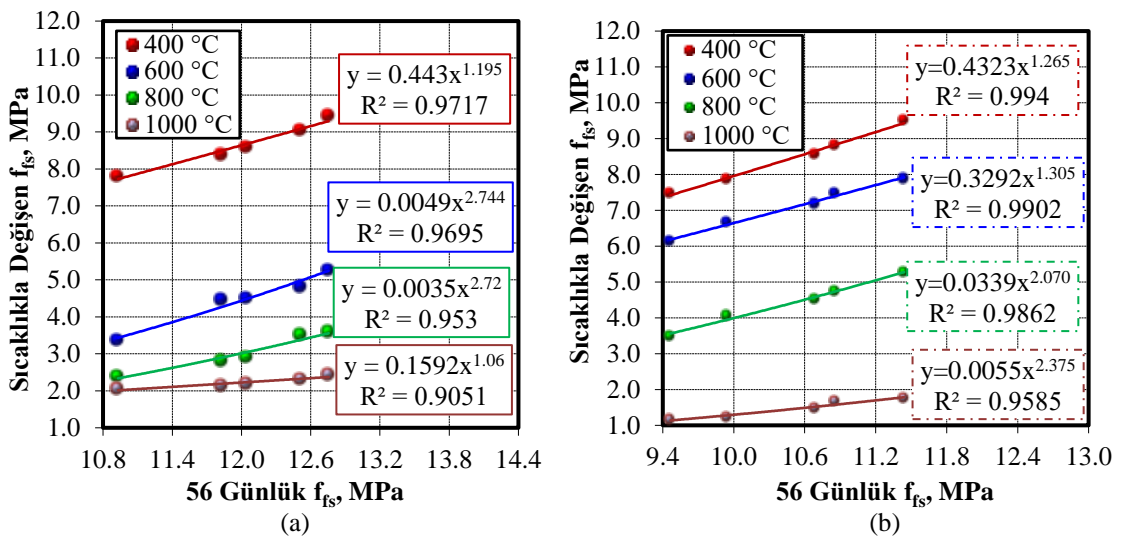


Şekil 4.29. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların U_{pv} değerleri arasındaki ilişki

4.5.3 Eğilme dayanımları arasındaki ilişki

25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri ile 400 °C, 600, °C 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri ilişkilendirilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri her bir yüksek sıcaklığa maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri ilişkileri sırasıyla Şekil 4.30a ve b'de verilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri ile

rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklıklar sonrası elde edilen f_{fs} değerleri arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harçlarda 400 °C, 600, °C 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklar sonrası R^2 değerleri sırasıyla 0.9717, 0.9695, 0.9530 ve 0.9051 iken, kalker kumu ile üretilen harçlarda ise sırasıyla 0.9940, 0.9902, 0.9862 ve 0.9585 olarak belirlenmiştir. Bu R^2 değerlerinden de görüldüğü gibi 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış f_{fs} değerleri ile yüksek sıcaklıklar sonrası f_{fs} değerleri arasındaki yüksek korelasyon ilişkilerinin olduğu görülmektedir. Ancak sıcaklık arttıkça bu yüksek korelasyon ilişkilerinin azaldığı görülmektedir.

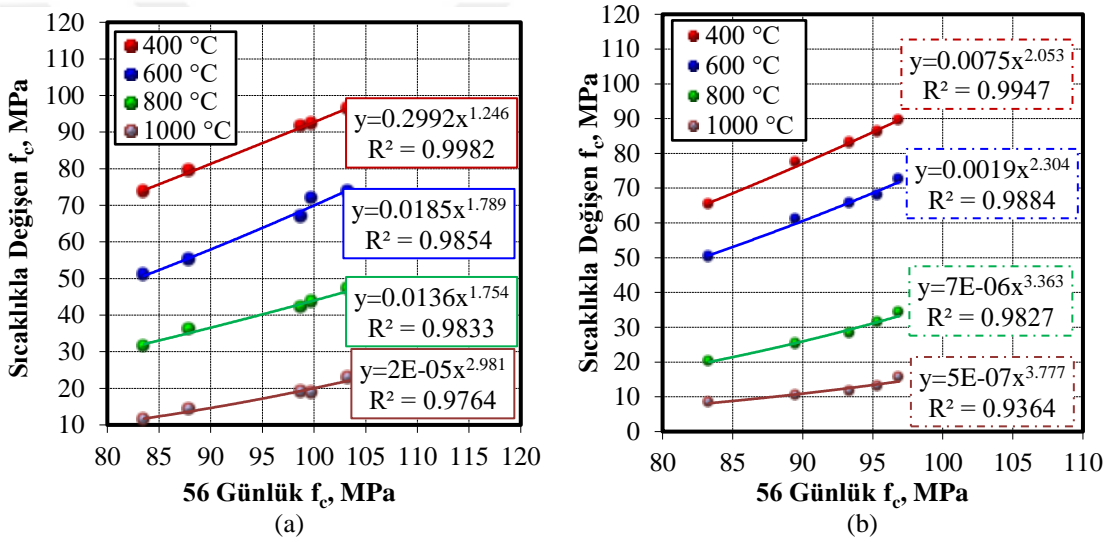


Şekil 4.30. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların f_{fs} değerleri arasındaki ilişki

4.5.4 Basınç dayanımları arasındaki ilişki

25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri ile 400 °C, 600, °C 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri ilişkilendirilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri her bir yüksek sıcaklığa maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri ilişkileri sırasıyla Şekil 4.31a ve b'de verilmiştir. 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri ile rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklıklar sonrası elde edilen

f_c değerleri arasında yüksek bir korelasyon ilişkisi gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen harçlarda 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklar sonrası R^2 değerleri sırasıyla 0.9982, 0.9854, 0.9833 ve 0.9764 iken, kalker kumu ile üretilen harçlarda ise sırasıyla 0.9947, 0.9884, 0.9827 ve 0.9364 olarak belirlenmiştir. Bu R^2 değerlerinden de görüldüğü gibi 25 °C ortam sıcaklığına maruz bırakılmış f_c değerleri ile yüksek sıcaklıklar sonrası f_c değerleri arasındaki yüksek korelasyon ilişkilerinin olduğu görülmektedir. Ancak sıcaklık arttıkça bu yüksek korelasyon ilişkilerinin azaldığı görülmektedir. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri arasındaki ilişkilerin, kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri arasındaki ilişkilerden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem (a) ve kalker (b) kumu ile üretilen diatomitli harçların f_c değerleri arasındaki ilişki

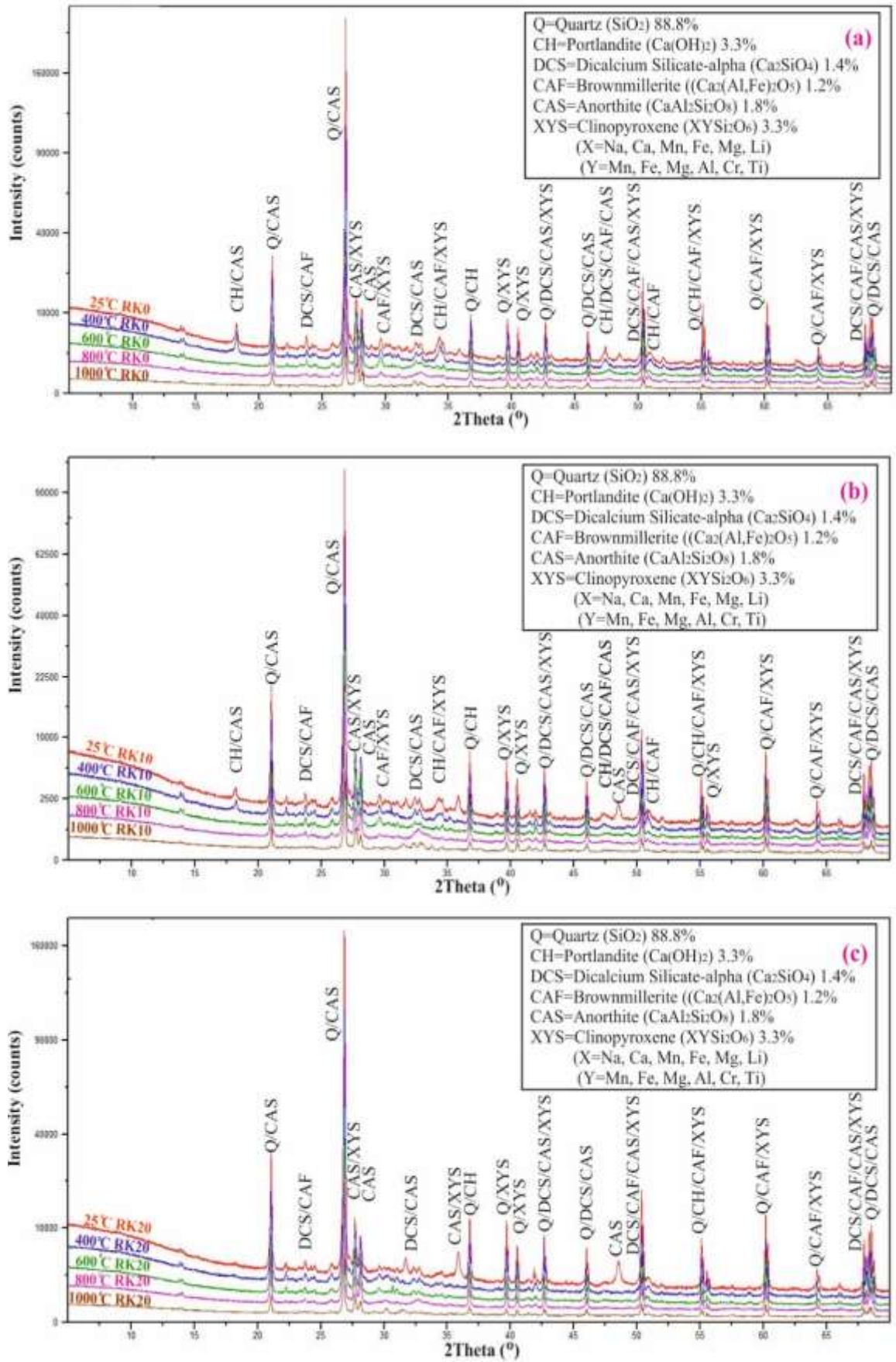
4.6 Mikroyapı Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.6.1 XRD analiz

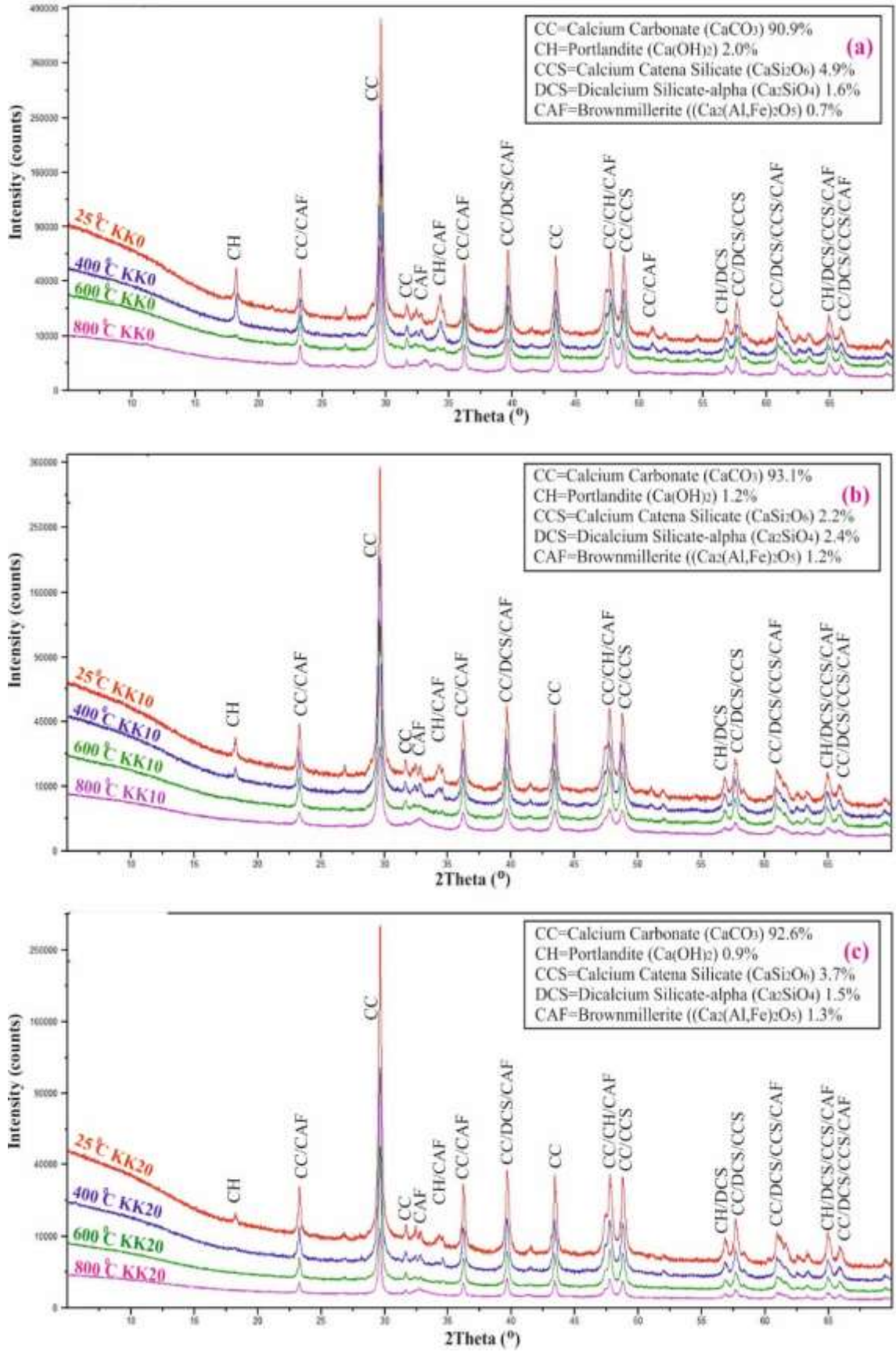
Ortam sıcaklığına ve yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 ve kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarından elde edilen toz haline getirilmiş numuneler üzerinde XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri ile harçların mineralojik özellikleri belirlenmiştir.

25 °C ortam sıcaklığına ve 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının XRD analizleri Şekil 4.32’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere RK0, RK10 ve RK20 harçlarının bazı önemli pik noktaları 0° ve 75° aralığında 2Theta ile görülmektedir. Rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının XRD analizleri üzerinde Kuvars (Quartz) (SiO₂), Portlandit (Portlandite) (Ca(OH)₂), Dikalsiyum Silikat-alfa (Dicalcium Silicate-alpha) (Ca₂SiO₄), Brownmillerit (Brownmillerite) ((Ca₂ (Al, Fe)₂O₅) ve Klinopiroksen (Clinopyroxene) pikleri görülmektedir. Harçlara uygulanan yüksek sıcaklık uygulaması arttıkça, XRD pikleri kademeli olarak azalmıştır. Kuvars (SiO₂) pikleri her sıcaklıkta gözlenirken, Portlandit (Ca(OH)₂) pikleri 600 °C yüksek sıcaklıktan sonra gözlenmemiştir. Bunun nedeni Alarcon-Ruiz vd. (2005) ve Seleem vd. (2011) tarafından belirtildiği gibi yaklaşık 400 °C yüksek sıcaklıktan sonra Ca(OH)₂ yapısının CaO ve H₂O olarak ayrışmasıdır. Aynı zamanda rilem kumu ile üretilen RK10 ve RK20 harçlarının pikleri 600 °C yüksek sıcaklıktan sonraki sıcaklıklarda daha az azalırken, rilem kumu ile üretilen RK0 harcının pikleri bu sıcaklıklardan sonraki sıcaklıklarda daha fazla azalmıştır. ÖKD malzemesinin puzolanik aktivitesi nedeni ile harç karışımlarında kullanılan ÖKD oranı arttıkça, Ca(OH)₂ oranı azalmıştır.

25 °C ortam sıcaklığına ve 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının XRD analizleri Şekil 4.33’te verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarından elde edilen toz numunelerin bazı önemli pik noktaları 0° ve 75° aralığında 2Theta ile gösterilmiştir. Kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının XRD analizleri üzerinde Kalsiyum Karbonat (Calcium Carbonate) (CaCO₃), Portlandit (Portlandite) (Ca(OH)₂), Kalsiyum katena silikat (Calcium Catena Silicate) (CaSi₂O₆), Dikalsiyum Silikat-alfa (Dicalcium Silicate-alpha) (Ca₂SiO₄), Brownmillerit (Brownmillerite) ((Ca₂(Al, Fe)₂O₅) pikleri görülmektedir. Kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarına uygulanan yüksek sıcaklık uygulaması arttıkça, XRD analizlerindeki pikler kademeli olarak azalmıştır. Kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının XRD analizlerinde, harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, CaCO₃ piklerinin azaldığı, (Ca(OH)₂) piklerinin ise bazı yerlerde oluşmadığı gözlenmiştir. ÖKD malzemesinin puzolanik aktivitesi nedeni ile harçlarda kullanılan ÖKD oranı arttıkça Ca(OH)₂ oranının da azaldığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar harçların U_{pv}, f_{fs} ve f_c değerleri ile uyum göstermektedir.



Şekil 4.32. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların XRD analizleri



Şekil 4.33. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların XRD analizleri

4.6.2 PLM analizi

Ortam sıcaklığına ve 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 ve kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarından elde edilen ince kesitlerin matris, agrega ve arayüzey bölgeleri üzerinde PLM analizleri gerçekleştirilmiştir. PLM analizleri ile yüksek sıcaklıklardan dolayı rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların matrislerinde, agregalarında ve arayüzey bölgelerinde meydana gelen renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve içyapıda meydana gelen bozulmalar incelenmiştir.

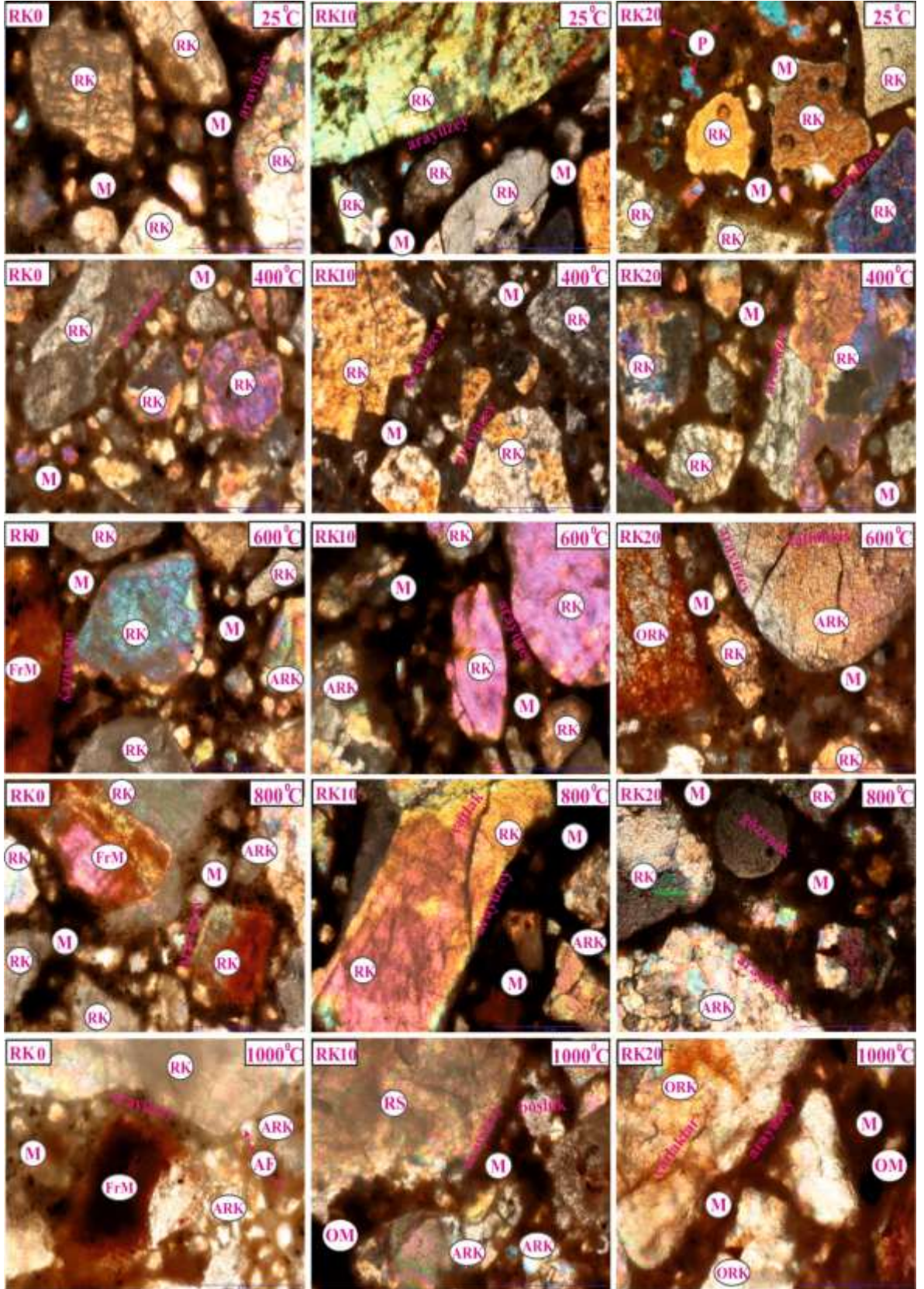
Ortam sıcaklığına (25 °C), 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının ince kesitleri üzerinde PLM analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.34'te görüldüğü gibi 25 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının matrisinde meydana gelen renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve bozulmalar PLM analizleri ile incelenmiştir. 25 °C ve 400 °C sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının matrisleri üzerinde renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve bozulmalar gibi olumsuz etkiler gözlenmezken, 600 °C ve daha sonraki yüksek sıcaklık uygulamalarında bu olumsuz etkilerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu olumsuz etkilerin harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, arttığı da gözlenmiştir.

Şekil 4.35'te görüldüğü gibi 25 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının arayüzey bölgesi ve rilem kumlarında (agregalarda) meydana gelen renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve bozulmalar gibi olumsuz etkiler PLM analizleri ile incelenmiştir. 25 °C ve 400 °C sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının arayüzey bölgeleri ve agregaları üzerinde bu olumsuz etkiler gözlenmezken, 600 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan harçların bazı arayüzey bölgeleri ve bazı agregaların üzerinde bu olumsuz etkilerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Arayüzey bölgeleri ve agregalar üzerindeki bu olumsuz etkilerin harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, arttığı görülmektedir. Özellikle bazı rilem kumu agregaları üzerinde harita çizgileri gibi çatlakların oluştuğu ve arayüzey bölgelerinde çizgi şeklinde boşlukların ortaya çıktığı görülmektedir.



RK: Rilem kumu, M: Matris, ARK: Altere rilem kumu, ORS: Okside rilem kumu, OM: Okside matris

Şekil 4.34. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların matrislerinin PLM analizleri



RK: Rilem kumu, M: Matris, ARK: Altere rilem kumu, ORS: Okside rilem kumu, OM: Okside matris

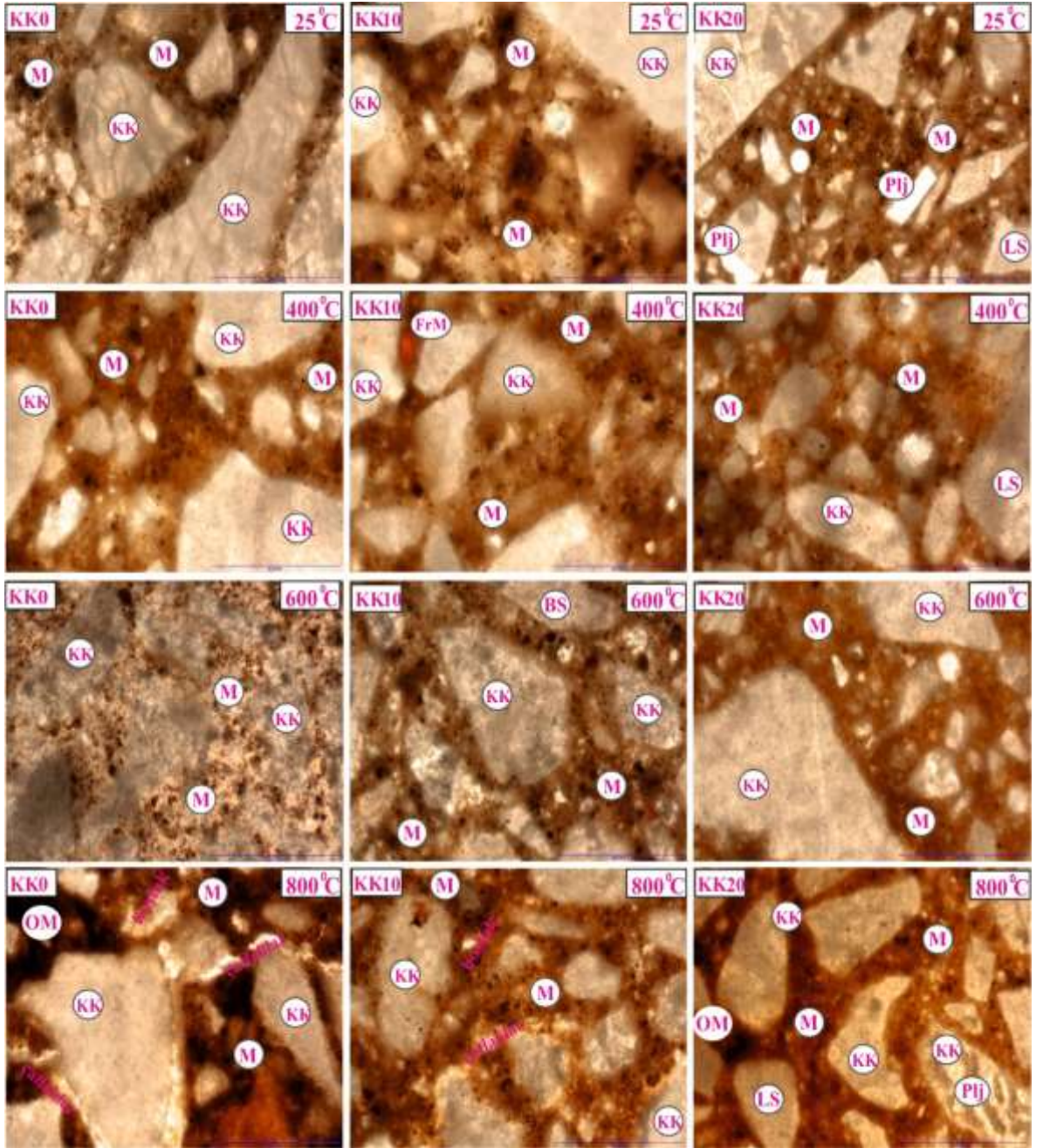
Şekil 4.35. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların agrega ve arayüzey bölgelerinin PLM analizleri

Ortam sıcaklığına (25 °C), 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının ince kesitleri üzerinde PLM analizi gerçekleştirilmiştir. PLM analizleri ile 25 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının matrisinde meydana gelen renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve bozulmalar gibi olumsuz etkiler Şekil 4.36'da görüldüğü gibi incelenmiştir. Ortam (25 °C) sıcaklığına ve 400 °C sıcaklığa maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının matrisleri üzerinde bu olumsuz etkiler gözlenmemiştir. 600 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan kalker kumlu harçların matrislerinde küçük çatlaklar ve boşluklar gözlenirken, 800 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan kalker kumlu harçların matrislerinde daha büyük çatlaklar ve boşluklar gözlenmiştir.

PLM analizleri ile ortam sıcaklığına (25 °C), 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının arayüzey bölgesi ve kalker kumlarında (agregalarda) meydana gelen renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve bozulmalar gibi olumsuz etkiler Şekil 4.37'te görüldüğü gibi incelenmiştir. Arayüzey bölgeleri ve agregalar üzerindeki bu olumsuz etkilerin harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, arttığı görülmektedir. 25 °C ve 400 °C sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının arayüzey bölgeleri ve agregaları üzerinde bu olumsuz etkiler gözlenmezken, 600 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan kalker kumu ile üretilen harçların bazı arayüzey bölgeleri ve bazı agregaların üzerinde çatlakların ortaya çıktığı gözlenmiştir. Özellikle, 800 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan kalker kumu ile üretilen harçların arayüzey bölgelerinde çizgi şeklinde boşlukların ve çatlakların ortaya çıktığı görülmektedir. Arayüzey bölgelerinde Ca(OH)_2 yapısının bozulması nedeni ile agrega ve matrisler arasında bağlar zayıflamış ve arayüzey bölgelerinde boşluk ve çatlak oranı daha fazla oranda oluşum göstermiştir. Sarıdemir vd. (2016), Sarıdemir vd. (2017), Akçaözoğlu (2013) ve Akçaözoğlu vd. (2014) çalışmalarında, harç ve betonun maruz kaldığı sıcaklık arttıkça arayüzey geçiş bölgelerinin zayıfladığını belirtmişlerdir.

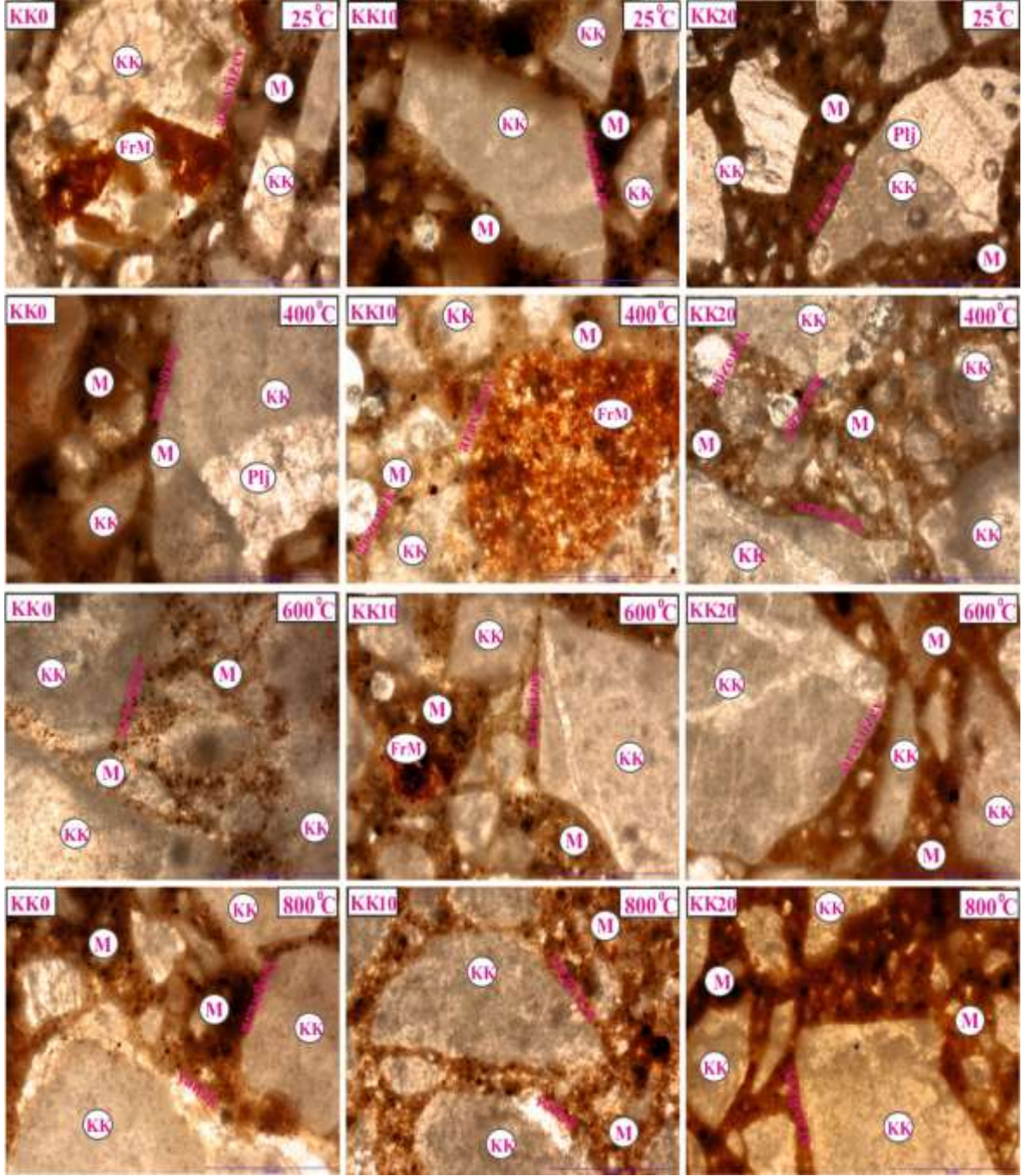
Agregalar ve matrislerde meydana gelen oksitlenmeye Fe_2O_3 mineralinin neden olduğu düşünülmektedir. Sarıdemir vd. (2016) yaptıkları çalışmada, Fe_2O_3 mineralinin 300 °C yüksek sıcaklık uygulamasından sonra oksitlenmeye sebep olduğunu belirtmiştir. 400 °C ve daha yüksek sıcaklıklardan sonra harç numunelerin içyapısında daha fazla boşluk

oluşmasının sebebi ise Ca(OH)_2 yapısının CaO ve H_2O olarak ayrışmasıdır. Agregalar ile matris arayüzey bölgelerinde daha fazla oluşan Ca(OH)_2 yapısının sıcaklık etkisi ile ayrışması bu bölgeleri etkilemektedir. Özellikle Ca(OH)_2 ayrışması ile arayüzey bölgelerinde zayıflamalar ve çatlaklar meydana gelmiştir. PLM analizi ile gözlemlenen harçlardaki yapısal değişimler deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen U_{pv} , f_{fs} ve f_c değerleri ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Harçların içyapısında oluşan değişimlere çimento yerine ÖKD kullanılmasının önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



KK: Kalker kumu, M: Matris, OM: Oksidlenmiş matris, Plj: Plajiyoklaz

Şekil 4.36. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların matrislerinin PLM analizleri



KK: Kalker kumu, M: Matris, , OM: Oksidlenmiş matris, Plj: Plajiyoklaz, FrM: Ferro magnezyum

Şekil 4.37. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların agrega ve arayüzey bölgelerinin PLM analizleri

4.6.3 SEM ve EDS analizi

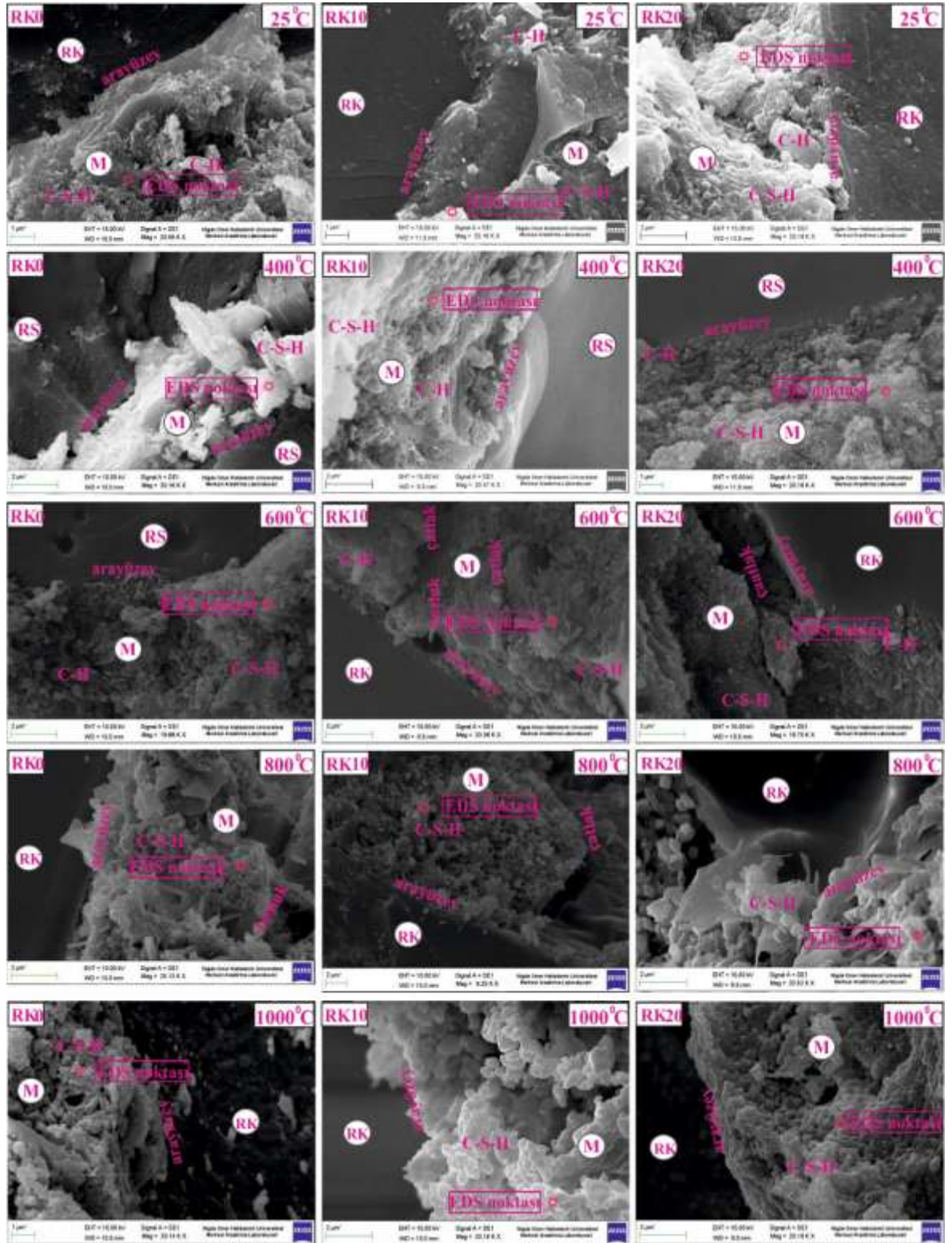
Ortam sıcaklığına ve 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 ve kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarından kırılarak elde edilen örneklerinin matris, agrega ve

arayüzey bölgeleri SEM analizleri ile incelenmiştir. SEM analizleri ile yüksek sıcaklıklardan dolayı rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların matrislerinde, agregalarında ve arayüzey bölgelerinde meydana gelen renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve içyapıda meydana gelen bozulmalar incelenmiştir.

Ortam (25 °C) sıcaklığına, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının SEM analizleri Şekil 4.38'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Ortam sıcaklığına ve 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan RK0, RK10 ve RK20 harçlarının matris ve arayüzey bölgeleri kompakt bir yapıda iken, 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan RK0, RK10 ve RK20 harçlarının arayüzey bölgelerinde çatlak ve boşluklar görülmektedir. Özellikle, rilem kumu ile üretilen harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, matris yapılarının ve ara yüzey bölgelerinin daha boşluklu olduğu görülmektedir. 800 °C sıcaklığa maruz bırakılan harçların C-S-H jellerinin yapısında kritik değişimler meydana gelmiş ve iğnemsî ve boşluklu yapılara dönüşmüşlerdir. 1000 °C sıcaklığa maruz bırakılan harçların C-S-H jellerinin yapısı daha farklı bir yapıya dönüşmüştür. 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklarda Ca(OH)₂ yapısının tamamen bozulmasından dolayı matris ile rilem kumu arasındaki arayüzey bölgesinin daha boşluklu ve daha zayıf aderans oluşturduğu görülmektedir. Özellikle, 1000 °C yüksek sıcaklıklarda harç karışımlarında kullanılan rilem kumunun yapısında bozulmalar oluşturduğu görülmektedir.

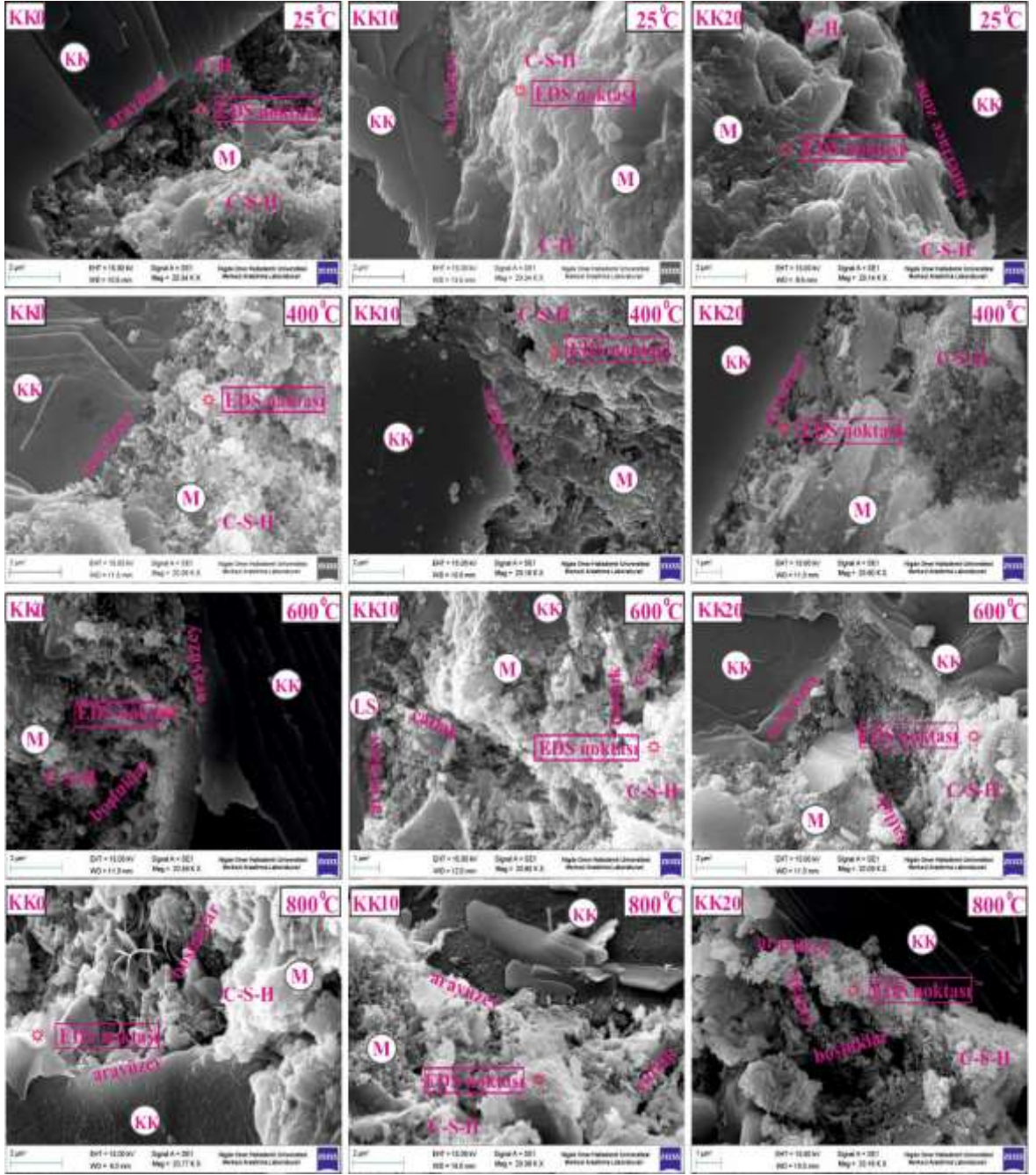
Ortam (25 °C) sıcaklığına, 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının SEM analizleri Şekil 4.39'da görüldüğü gibi elde edilmiştir. Ortam sıcaklığındaki KK0, KK10 ve KK20 harçlarının matris ve arayüzey bölgelerinin yoğun ve kompakt bir yapıda olduğu görülürken, 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan KK0, KK10 ve KK20 harçlarının matris ve arayüzey bölgelerinde çatlak ve boşluklar görülmektedir. Özellikle, kalker kumu ile üretilen harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, matris yapılarının ve ara yüzey bölgelerinin daha boşluklu olduğu ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılan harçların matrislerinde C-S-H jellerinin yapısında kritik değişimler meydana gelmiş ve iğnemsî ve boşluklu yapılar görülmüştür. 800 °C yüksek sıcaklıkta Ca(OH)₂ yapısının tamamen bozulmasından dolayı matris ile kalker kumu arasındaki arayüzey bölgesinin daha boşluklu ve daha zayıf aderans oluşturduğu ve matris yapısında bulunan C-S-H jellerinin daha boşluklu yapılar oluşturduğu

görülmektedir. 800 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan kalker kumu ile üretilen harçlarının kalker kumunun minerolojik yapısında bozulmalar görülmüştür.



RK: Rilem kumu, M: Matris, C-H: Kalsiyum hidroksit, C-S-H: Kalsiyum silika hidrat, EDS: Enerji dağılım spektroskopisi

Şekil 4.38. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların SEM analizleri



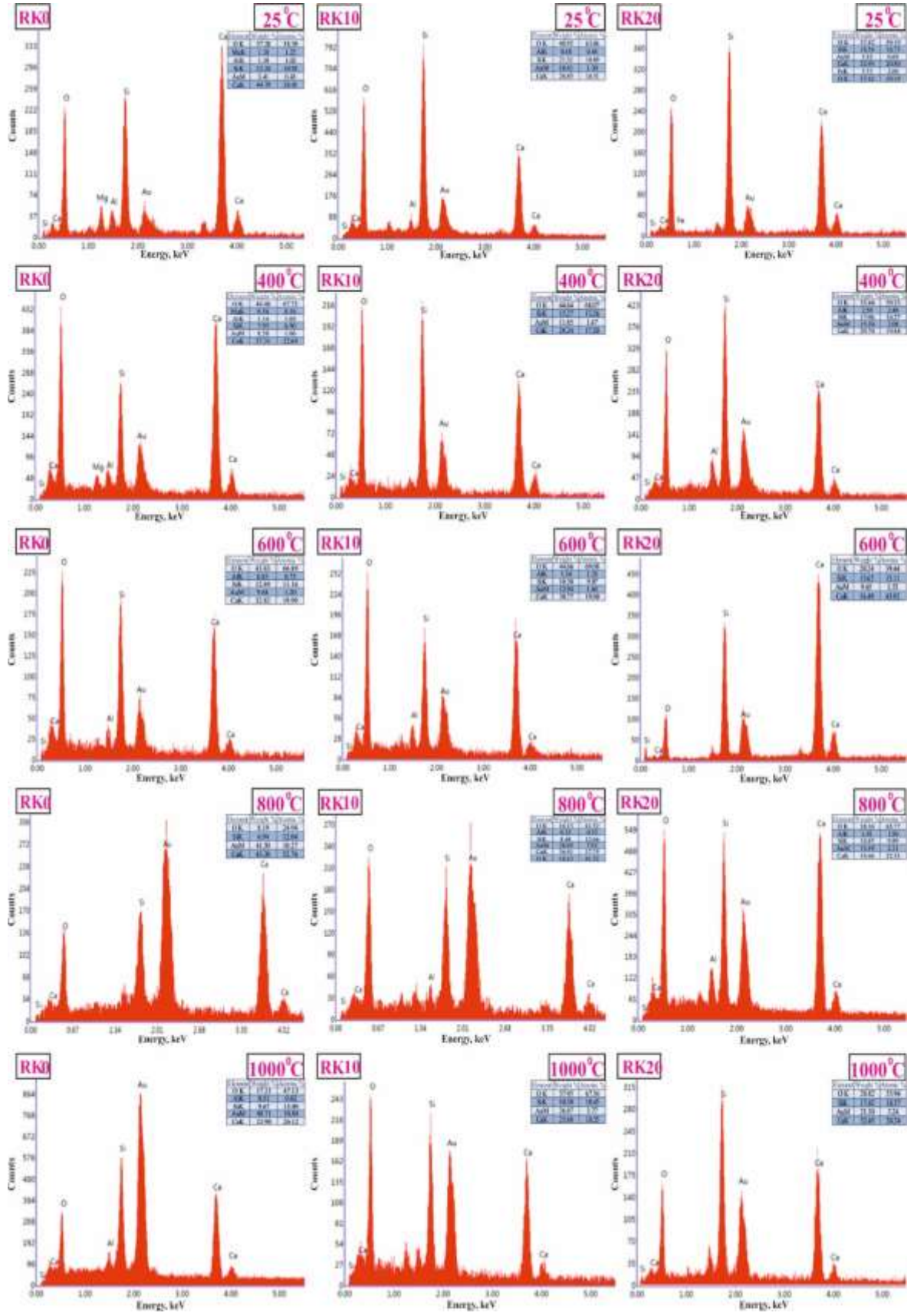
KK: Kalker kumu, M: Matris, C-H: Kalsiyum hidroksit, C-S-H: Kalsiyum silika hidrat, EDS: Enerji dağılım spektroskopisi

Şekil 4.39. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların SEM analizleri

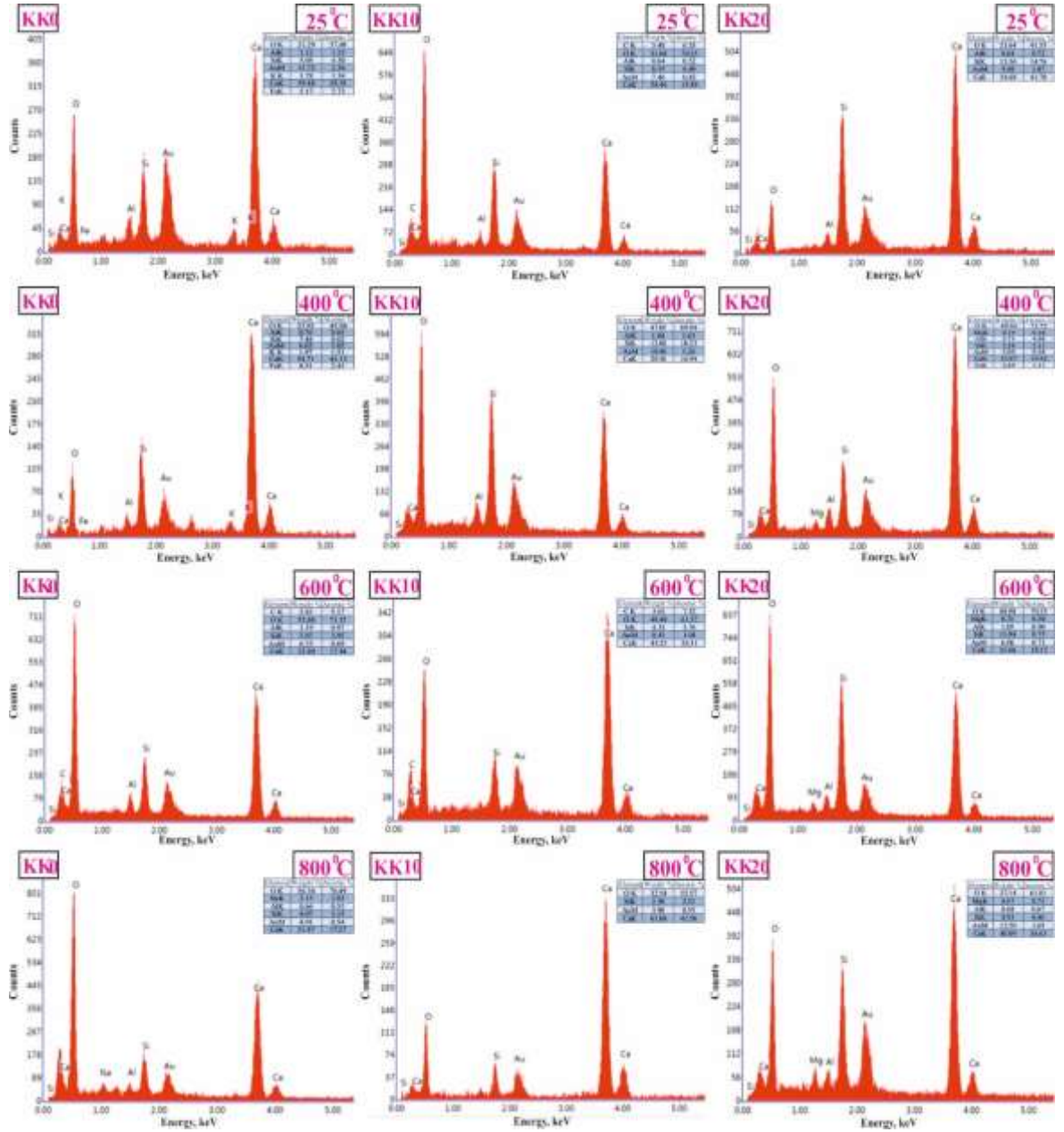
Ortam (25 °C) sıcaklığına, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen RK0, RK10 ve RK20 harçlarının SEM analizleri üzerinde verilen EDS noktalarında analizler yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre rilem kumu ile üretilen harçların matrislerinin kimyasal bileşiminde Si, Ca, Mg, Al, Au, O ve Fe elementlerinin bulunduğu görülmüştür. Au elementi, SEM analizinde daha iyi bir görüntü elde etmek için küçük

parçaların kaplamasında kullanılmasından dolayı gözlenmiştir. Si, Ca, Mg, Al, O elementleri, çimento matrisinin bileşenlerinden ortaya çıkmaktadır. Bu elementler aynı zamanda çimentonun hidrasyon ürünlerinin varlığını da göstermektedir. Rilem kumu ile üretilen harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, O elementinin miktarının azaldığı görülmektedir. Rilem kumu ile üretilen RK10 ve RK20 örneklerinin EDS noktalarının Ca/Si oranları, ÖKD malzemesinin puzolanik reaksiyonu nedeniyle, RK0 örneklerinin EDS noktalarının oranından daha düşüktür. Saleh vd. (2015) ve Zheng (2016) yaptıkları çalışmalarda, Ca/Si oranının düşmesini puzolanların yapmış oldukları puzolanik reaksiyona bağlamışlardır. Ayrıca, EDS nokta analizlerine göre, istisnalar dışında sıcaklık arttıkça, rilem kumu ile üretilen harçların Ca/Si oranları artmıştır. Bunun sebebi olarak yüksek sıcaklıklardan dolayı bazı elementlerin ortamdaki kaybolması gösterilebilir. Bazı elementlerin ortadan kaybolmasının sebebi rilem kumu ile üretilen harçların yüksek sıcaklıklara maruz kalmasından dolayı Ca(OH)_2 , C-A-S-H ve C-S-H jellerinin yapılarının bozulması ve yapılarında bulunan serbest ve bağlı suyun ortamdaki buharlaşmasındandır.

Ortam (25 °C) sıcaklığına, 400 °C, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen KK0, KK10 ve KK20 harçlarının SEM analizleri üzerinde verilen EDS noktalarında analizler yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 4.41’de verilmiştir. EDS nokta analiz sonuçlarına göre kalker kumu ile üretilen harçların kimyasal bileşiminde, temel olarak Si, Ca, Mg, Al, Au, O, Fe, K ve Na elementleri bulunduğu görülmüştür. Au elementi, SEM analizinde daha iyi bir görüntü alabilmek için küçük parçaların kaplamasında kullanılmasından dolayı gözlenmiştir. Si, Ca, Mg, Al, O, Fe, K ve Na elementleri, çimento matrisinin bileşenlerinden ortaya çıkmaktadır. Bu elementler aynı zamanda çimentonun hidrasyon ürünlerinin varlığını da göstermektedir. Kalker kumu ile üretilen KK0 harçlarına göre, karışımlarda kullanılan ÖKD içeri arttıkça Si içeriğinin arttığı görülmektedir. Kalker kumu ile üretilen KK10 ve KK20 örneklerinin EDS noktalarının Ca/Si oranları, ÖKD malzemesinin puzolanik reaksiyonu nedeniyle, KK0 örneklerinin EDS noktalarının oranından daha düşüktür. EDS nokta analizlerine göre, istisnalar dışında sıcaklık arttıkça, kalker kumu ile üretilen harçların Ca/Si oranları artmıştır. Bunun sebebi ise yüksek sıcaklıklardan dolayı kalker kumunun yapısında bulunan Ca elementinin ortaya çıkmasındandır.



Şekil 4.40. Rilem kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların EDS nokta analizleri



Şekil 4.41. Kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların EDS nokta analizleri

BÖLÜM V

SONUÇLAR

Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren yüksek dayanımlı harçların 14, 28, 56 ve 90 günlük birim ağırlık, U_{pv} , f_{fs} ve f_c değerleri ve ortam sıcaklığına (25 °C), 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren yüksek dayanımlı harçların mekanik, mikroyapısal ve mineralojik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harç karışımlarında, kontrol harç karışımlarına göre çimento yerine ağırlıkça ÖKD kullanılması yayılma değerlerini azaltmıştır. Ancak karışımlarda kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı miktarları ile yeterli yayılma değerleri elde edilmiştir.
- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harç karışımlarında çimento yerine ağırlıkça kullanılan ÖKD oranı arttıkça, ÖKD malzemesinin özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olmasından dolayı harçların taze birim ağırlık değerleri azalmıştır. Kalker kumu ile üretilen harçların taze birim ağırlık değerlerinin, rilem kumu ile üretilen harçların taze birim ağırlık değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçlarda çimento yerine ağırlıkça kullanılan ÖKD oranı arttıkça, harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri tüm kür yaşları boyunca azalmıştır. Tüm kür yaşlarında, kalker kumu ile üretilen harçların sertleşmiş birim ağırlık değerlerinin, rilem kumu ile üretilen harçların sertleşmiş birim ağırlık değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri sıcaklık artışı ile azalmıştır. Özellikle 400 °C yüksek sıcaklık uygulamasına kadar kalker kumu ile üretilen harçların sertleşmiş birim ağırlık değerleri, rilem kumu ile üretilen harçların

sertleşmiş birim ağırlık değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenirken, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulamalarından sonra daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ise 600 °C'den sonraki yüksek sıcaklıklarda, kalker kumunun CaO ve H₂O olarak yapısının bozulmaya başlamasıdır.

- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçlarda ÖKD kullanılması, kontrol harçlarına göre U_{pv} değerlerini artırmıştır. Hem rilem kumu ile üretilen harçlarda hem de kalker kumu ile üretilen harçlarda artan kür yaşı ile doğru orantılı olarak U_{pv} değerleri artmıştır. En yüksek U_{pv} değerleri RK15 ve KK15 harçlarında gözlenmiştir. Kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinin, rilem kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların maruz kaldıkları yüksek sıcaklık arttıkça, U_{pv} değerleri azalmıştır. 400 °C yüksek sıcaklık uygulamasına kadar kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinin rilem kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinden daha yüksek olduğu, 600 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinin birbirine yakın olduğu, ancak 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulamalarından sonra rilem kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinin kalker kumu ile üretilen harçların U_{pv} değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri sadece çimento içeren kontrol harçlarının f_{fs} değerlerinden daha yüksektir. En yüksek f_{fs} değerleri KK15 ve RK15 harçlarında görülmüştür. Harçların kür yaşı arttıkça, f_{fs} değerleri de artmıştır. Rilem kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerleri, kalker kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerlerinden daha yüksektir.
- Yüksek sıcaklık uygulaması arttıkça, yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_{fs} değerleri azalmıştır. Tüm sıcaklıklar ve tüm serilerde en yüksek f_{fs} değerleri RK15 ve KK15 harçlarında gözlenmiştir. 400 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerlerinin kalker kumu ile üretilen

harçların f_{fs} değerlerine göre daha yüksek olduğu, 600 °C ve 800 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan kalker kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerlerinin rilem kumu ile üretilen harçların f_{fs} değerlerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların f_c değerleri, sadece çimento içeren kontrol harçlarının f_c değerlerinden daha yüksek elde edilmiştir. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlara uygulanan kür süresi arttıkça, harçların f_c değerleri artmıştır. Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçlarda, tüm kür günleri için en yüksek f_c değerleri RK15 ve KK15 harçlarında gözlenmiştir. Rilem kumu ile üretilen %10, 15 ve 20 ÖKD içeren harçların f_c değerlerinin kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Yüksek sıcaklık uygulamalarına maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu üretilen harçların f_c değerleri uygulanan sıcaklık artışı ile azalmıştır. Tüm yüksek sıcaklık uygulamalarında en yüksek f_c değerleri RK15 ve KK15 harçlarında gözlenmiştir. 400 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklara maruz kalan rilem kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinin kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinden daha yüksek, 600 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların f_c değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.
- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların U_{pv} ve f_{fs} , U_{pv} ve f_c , f_c ve f_{fs} değerleri arasında yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir.
- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların 56 günlük birim ağırlık, U_{pv} , f_{fs} ve f_c değerleri ile yüksek sıcaklık uygulamaları sonrası her bir sıcaklıkta elde edilen birim ağırlık, U_{pv} , f_{fs} ve f_c değerleri arasında yüksek korelasyonlar gözlenmiştir.
- XRD analizleri ile rilem kumu ve kalker kumu ile üretilmiş harçlardan elde edilen $Ca(OH)_2$ piklerinin harçların maruz kaldıkları yüksek sıcaklık uygulaması ve karışımlarda kullanılan ÖKD içeriğinin artışı ile azaldığı görülmüştür.

- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen harçların PLM analizlerinde, 400 °C yüksek sıcaklığa maruz kalan harçların matris, agrega ve arayüzey bölgelerinde renk değişimi, çatlak oluşumu, boşluk oluşumu ve bozulma görülmezken, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C yüksek sıcaklıklarda bu değişimler gözlenmiştir.
- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların SEM analizlerinde, yüksek sıcaklık uygulamalarının artmasıyla ile harçların matris ve arayüzey bölgelerinde zayıflamalar, çatlaklar ve boşluklar meydana geldiği gözlenmiştir. 600 °C yüksek sıcaklık uygulamalarından sonraki sıcaklıklarda agrega ve matris arasındaki bağ bozulmaya başlamıştır.
- Rilem kumu ve kalker kumu ile üretilen ÖKD içeren harçların EDS nokta analizlerinde, harçların maruz kaldığı sıcaklık arttıkça, harçlardaki Ca/Si oranları artmıştır.

KAYNAKLAR

Ahmadi Z., Esmaili J. Kasaei J. and Hajialioghli R., “Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite”, *Sustainable Materials and Technologies* 16, 47-53, 2018.

Akçaözoğlu, K., “Microstructural examination of concrete exposed to elevated temperature by using plane polarized transmitted light method”. *Construction and Building Materials* 48, 772–779, 2013.

Akçaözoğlu, K., Fener, M., Akçaözoğlu, S. and Öcal, R., “Microstructural examination of the effect of elevated temperature on the concrete containing clinoptilolite”. *Construction and Building Materials*, 72, 316–32, 2014.

Alarcon-Ruiz, L., Platret, G., Massieu, E. and Ehlacher, A., “The use of thermal analysis in assessing the effect of temperature on a cement paste”. *Cement and Concrete Research* 35, 609-613, 2005.

Antonides, L.E. and Diatomite, U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries, *U.S. Geological Survey* s.60-61, 1999.

Aruntaş, H. Y., Diatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s.56-94, 1996.

ASTM C 138, Standard test method for unit weight, yield and air content of concrete, *Annual Book of ASTM Standards*, 1994.

ASTM C 305, Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency, *Annual Book of ASTM Standards*, 2014.

ASTM C 311/C311M-18, Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete, *ASTM International, Book of Standards* Volume: 04.02, USA, 2018.

ASTM C 494-99a, Standard specification for chemical admixtures for concrete, *Annual Book of ASTM Standards*, 2002.

ASTM C 597, Standard test method for pulse velocity through concrete, *Annual Book of ASTM Standards*, 1994.

Bentli, İ., “Kütahya-Alayunt diatomit cevherinin zenginleştirilmesinin araştırılması”, *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, s.121-126, 18-19 Ekim, 2002.

Bideci, A., Sallı Bideci Ö. ve Sever Ü., “Farklı hammaddelerin tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 13-15 Mayıs, 2009.

Borat, M., Türkiye Diatomitlerinin Özellikleri ve Filtrasyon Karakteristikleri, Doktora tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 1-112, 1992.

Breese, R.O.Y., “Diatomite, in Industrial Minerals and Rocks, Carr, D.D., and others (Eds), Littleton, CO, Society for Mining”, *Metallurgy and Exploration Inc.*, Colorado, USA, s. 397-412, 1994.

Cummins, A.B., “Diatomite, Industrial Minerals and Rocks (Nonmetallics other than fuels)”, 3rd ed., *The Am. Inst. of Mining and Metallurgical Engineers*, New York, 1960.

Çalışkan, E., Diatomitten atmosferik buhar kürü yöntemi ile gazbeton üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, s.56-68, 2015.

Çetin, M. ve Taş, B., “Biyolojik orijinli tek doğal mineral: diatomit”, *Tübav Bilim Dergisi* 5(2), 28-46, 2012.

Çoban, O., Balıkdamı (Sivrihisar-Eskişehir) epilitik ve epifitik alglerinin flora yönünden araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2005.

Çubuk, M. K., Katkı maddesi olarak diatomitin diatomitin bitümlü sıcak karışımlar üzerindeki etkileri, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s.98-171, 1998.

Degirmenci, N. and Yılmaz, A., “Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars”, *Construction and Building Materials*, 23, 284-288, 2009.

Demir, İ., Evcin A. ve Yıldız A., “Diyatomit katkısının yapı tuğlası üretiminde kullanılması”, *2. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu*, Eskişehir, s.119-124, 17-30 Haziran, 2002.

DESİYAB, Diatomit Sektör Araştırması, *Devlet Sanayi ve İşçi Yatırım Bankası, APG: SA/8*, Ankara, 1979.

Dinler, E., Yüksek sıcaklığın diatomit katkılı harçlar üzerinde etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s.30-67, 2012.

DPT, Asbest, Bentonit, Fluorit, Diatomit (Kizelgur), Kalsit, Kıymetli ve Yarı-Kıymetli Taşlar (Süs Taşları), Lityum, Titanyum, Zirkonyum ve Hafniyum, 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *DPT, Cilt-2 DPT:2421 - ÖİK: 480*, Ankara, 1996.

DPT, Genel Endüstri Mineralleri IV, Bentonit, Barit, Diatomit ve Aşındırıcılar, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, *DPT, DPT: 2621-ÖİK 632*, Ankara, s.59-64, 2001.

Ediz, N., Tatar, İ. and Bentli, İ., “The use of raw and calcined diatomite in art-tile bodies”, *Turkey 19th International Mining Congress*, İzmir, s.259-262, 9-12 Haziran, 2005.

Elfert, R.J., “Bureau of Reclamation Experiences With Fly Ash and Other Pozzolans in Concrete”, *3th International Ash Utilization Symposium*, Washington, Information Circular No. 1c8640, US Bureau of Mines, 80, 1973.

Erdoğan, S.T. ve Erdoğan, T.Y., “Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri”, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, s. 263-275, 12-13 Nisan, 2007.

Erdoğan, T. Y., Beton, 3, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.*, 2010.

Ergün, A., “Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete”, *Construction and Building Materials* 25, 806-812, 2011.

Esen Y., “Barit, diatomit, silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonların yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışları”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 29(1), 83-93, 2017.

Fragoulis D., Stamatakis M.G., Papageorgiou D. and Chaniotakis E., “The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures”, *Cement & Concrete Composites* 27, 205-209, 2005.

Gabriel, M., Malecha, A., Kartal, G. and Özer, H., “Diatomite deposits near Belisırma and Ihlara Turkey”, *Geocome-I First Geological Congress of the Middle East*, Ankara, s.621-636, 4-7 Eylül, 1979.

Genç, S.S., Diatomit katkılı betonların yük altındaki davranış ve kullanılabilirlik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, s.21-64, 2006.

Gökçe, M.V., Diatomit esaslı hafif yapı elemanı üretiminde üre-formaldehitin bağlayıcı olarak kullanılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s.27-84, 2010.

Gökkonca, E.K., Diatomit katkılı harçların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin değişiminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, s. 67, 2010.

Gündüz, L. ve Kalkan Ş.O., “Diyatomit agregaların çimento esaslı hafif harç özelliklerinin gelişimine etkisi”, *8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu*, Kütahya, s.284-294, 13-14 Ekim, 2016.

URL-1, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/di_dis.jpg, 2020.

URL-2, <https://commons.wvc.edu/rdawes/VirtualFieldSites/Vantage/VantageDetail4.jpg>, 2020.

URL-3, <https://www.dicalite.com/wp-content/uploads/2017/08/burney.jpg>, 2020.

URL-4, <https://www.helgilibrary.com/charts/which-country-produces-the-most-diatomite>, 2020.

Işık, I., 1984, “Diyatomit”, *Anadolu Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü*, 81- 98, 1984.

İnce C., Derogar S., Ball R.J., Ekinci A. and Yüzer N. “Long-term mechanical properties of cellulose fiber-reinforced cement mortar with diatomite”, *Advances in Cement Research* 31(8), 343-352, 2019.

Karagöz, M., Diyatomit agreganın kompozit hazır harç üretiminde değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, s.25-73, 2014.

Kuşçu, M., Endüstriyel Kayaçlar ve Minareler, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları*, Isparta, 2008.

Lee, R.E., Phycology, *Cambridge University Press*, New York, 2008.

Livingstone, D. A., Chemical composition of rivers and lakes, *U.S.A Government Printing Office, 440 - G*, Washington, 1963.

M.T.A., Türkiye Diatomit Envanteri, *M.T.A. Enstitüsü, No. 138*, Ankara, 1968.

Memiş S., Şahin S. ve Şirin Ü. “Diatomit ve hidrofob kil ile üretilen prefabrik yapı malzemesinin bazı özellikleri”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 23(3), 245-249, 2017.

Mete, Z., “Kütahya Alayunt yöresi diatomit yataklarının izole tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması”, *Seramik Teknik Kongresi*, Ankara, s.253-263, 15-19 Nisan, 1985.

Önem, Y., Sanayi Hammaddeleri, *Kozan Ofset*, Ankara, 2000.

Özbey, G. ve Atamer, N., “Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler”, *10. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi*, Ankara, s.493-502, 1987.

Posi, P., Lertnimoolchai, S., Sata, V. and Chindaprasirt, P., “Pressed lightweight concrete containing calcined diatomite aggregate”, *Construction and Building Materials* 47, 896-901, 2013.

Ramachandran, V.S., Concrete Admixtures Handbook, *Noyes Publication*, New Jersey, U.S.A., 1995.

Rovnaníková P., Šimonová H., Schmid P., Zahálková J., Bayer P., Havlíková I. and Keršner Z., “Mechanical fracture properties of cement mortars with diatomite in relation to their microstructure”, *Advanced Materials Research* 1124, 57-62, 2015.

Saleh, N.J., Ibrahim, R.I. and Salman, A.D., “Characterization of nano-silica prepared from local silica sand and its application in cement mortar using optimization technique”. *Advanced Powder Technology* 26, 1123-1133, 2015.

Sarıdemir, M., “Alkali ile Aktive edilmiş öğütölmüş diatomitli harçların dayanım özellikleri”, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 5 (2), 124-134, 2016.

Sarıdemir, M., Severcan, M. H., Ciflikli, M., Çelikten, S., Ozcan F. and Atis C. D., “The influence of elevated temperature on strength and microstructure of high strength concrete containing ground pumice and metakaolin”, *Construction and Building Materials* 124, 244–257, 2016.

Sarıdemir, M., Severcan, M.H., Çiflikli, M. and Çelikten, S., “Microstructural analyses of high strength concretes containing metakaolin at high temperatures”. *International Journal of Civil Engineering* 15(2), 273-285, 2017.

Savaş, M., Diatomit ve zeolit ikameli betonların kimyasal etkilere karşı davranışlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, s.69-73, 2012.

Seelev, W. M., Industrial Minerals and Rocks, 2nd ed., *American Institute of Mining*, New York, 1949.

Seleem, H. E. H., Rashad, A. M., and Elsokary, T., “Effect of high temperature on physico-mechanical properties of blended cement concrete”. *Construction and Building Materials* 25(2), 1009-1017, 2011.

Sezer, H., Öğütölmüş diatomitin gazbeton üretiminde kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, s.28-62, 2010.

Sıvacı, R. ve Dere, Ş., “Melendiz Çayı’nın (Aksaray-Ihlara) Epipelik Diyatome Florasının Mevsimsel Değişimi”, *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 27 (1), 1-12, 2006.

Sinsiri T., Phoo-ngernkham T., Sata V. and Chindapasirt P. “The effects of replacement fly ash with diatomite in geopolymer mortar”, *Computers and Concrete* 9(6), 427-437, 2012.

Şen, B., Plankton ve Kültür, *Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Yüksekokulu*, Elazığ, 1987.

Taliaferro, N.L., Relation of volcanism to Diatomaceous and associated siliceous sediments, *Bull. Univ Geol. Sci.*, California, 1933.

Tatar, I., Ediz N. ve Bentli İ., “Diatomit katkılı çini karo bünye üretimi”, *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, s.313-317, 13-14 Mayıs, 2004.

Temur, S., Endüstriyel Hammaddeler, *Çizgi Kitabevi*, Konya, 2001.

TS 25, Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2008.

TS EN 1015-3, Kâgir harcı- Deney metotları- bölüm 3: taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.

TS EN 12350-6, Beton-taze beton deneyleri-Bölüm 6: yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 196 -1, Çimento deney metotları - bölüm 1: dayanım tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2016.

TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: genel çimentolar - bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.

TS EN 450, Betonda Kullanılan Uçucu Kül – Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1975.

TS EN 934-2+A1, Kimyasal katkıları-Beton, harç ve şerbet için-Bölüm 2: beton kimyasal katkıları-tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013.

Ünal O. ve Uygunoğlu T., “Diyatomitin hafif beton üretiminde kullanılması”, *İmo Teknik Dergi* 4025-4034, 2007.

Ünal, O., Demir İ. ve Uygunoğlu T., “Pomza ve diyatomitin hafif blok eleman üretiminde kullanılmasının araştırılması”, **3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu**, İstanbul, s.107-114, 3-4 Aralık, 2003.

Uygun, A., “Diatomit, Jeolojisi ve yararlanma olanakları”, **Madencilik** 15, 31-38, 1976.

Uygun, A., “Hırka (Kayseri) Diyatomit Yatağının Jeokimyası ve Oluşumu”, **Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni** 19, 127-132, 1976.

Uygunoğlu T. ve Osman Ü., “Diyatomitin hafif blok üretiminde kullanılması”, **Politeknik Dergisi** 9(1), 65-70, 2006.

Uygunoğlu T. ve Osman Ü., “Yapıların zati yükünün azaltılması için diyatomit ile üretilen hafif blok elemanların özelliklerinin araştırılması”, **Deprem Sempozyumu**, Kocaeli, s.51-56, 23-25 Mart, 2005.

Xu, S., Wang, J., Jiang, Q. and Zhang, S., “Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures”, **Journal of Cleaner Production** 119, 118-127, 2016.

Yıldız, A., Seydiler (Afyon) diyatomit cevherinin jeolojisi ve izolasyon tuğlası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, s.1-95, 1997.

Yılmaz B., Ediz N. ve Bentli İ., “Kütahya-alayunt bölgesi killi diyatomitlerin çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** 12, 95-104, 2006.

Yılmaz, B. and Ediz, N., “The use of raw and calcined diatomite in cement production”. **Cement and Concrete Composites** 30, 202–211, 2008.

Zheng, K., “Pozzolanic reaction of glass powder and its role in controlling alkali–silica reaction”. **Cement and Concrete Composites** 67, 30-38, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Yıldırım 28.10.1990 tarihinde Antalya ilinin Akseki ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Akseki ilçesinde tamamladı. 2009 yılında başladığı Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılından itibaren çeşitli inşaat firmalarında kontrol mühendisliği, saha mühendisliği ve şantiye şefliği ve aemzumas grup adı altında kendi firmasında proje ve taahhüt işleri yaptı. 2019 yılından beri Konya ilinde Kayrahan Yapı Denetim firmasında müdürlük görevini yürütmektedir. 2018 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.

TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından, 1 (bir) adet uluslararası makale üretilmiştir. Bu üretilen makale aşağıda sunulmuştur.

Sarıdemir, M. Çelikten, S., and Yıldırım, A., “Mechanical and microstructural properties of calcined diatomite powder modified high strength mortars at ambient and high temperatures”. *Advanced Powder Technology* 31(7), 3004-3017, 2020.



