

**T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**KONVANSİYONEL ÇİMENTOLU KARIŞIMLARIN ÖZELLİKLERİNİN
FARKLI BİLEŞEN VE YÖNTEMLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

Özge BEYCAN TATANOĞLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2018

ANTALYA

**T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**KONVANSİYONEL ÇİMENTOLU KARIŞIMLARIN ÖZELLİKLERİNİN
FARKLI BİLEŞEN VE YÖNTEMLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

Özge BEYCAN TATANOĞLU

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONVANSİYONEL ÇİMENTOLU KARIŞIMLARIN ÖZELLİKLERİNİN
FARKLI BİLEŞEN VE YÖNTEMLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

Özge BEYCAN TATANOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi
tarafından FYL-2016-1278 nolu projeye ve ATSO tarafından desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2018

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONVANSİYONEL ÇİMENTOLU KARIŞIMLARIN ÖZELLİKLERİNİN
FARKLI BİLEŞEN VE YÖNTEMLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Özge BEYCAN TATANOĞLU

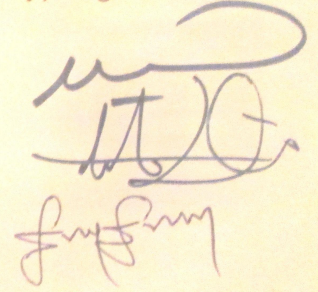
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 06/06/2018 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL (Danışman)

Doç. Dr. Turhan BİLİR

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN



ÖZET

KONVANSİYONEL ÇİMENTOLU KARIŞIMLARIN ÖZELLİKLERİNİN FARKLI BİLEŞEN VE YÖNTEMLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Özge BEYCAN TATANOĞLU

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı

Danışman: Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Haziran 2018; 100 sayfa

Geçtiğimiz iki yüz yıla bakıldığında konvansiyonel çimentolu bileşiklerin en çok kullanılan yapı malzemeleri oldukları görülmektedir. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte yapı sektöründe de inovatif adımlar atılmaya başlanmıştır. Hali hazırda kullanılmakta olan yapı malzemelerinin mevcut özelliklerinin iyileştirilmesi ve yeni ilave özellikler kazandırılmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir.

Bu tez çalışmasında konvansiyonel çimentolu karışımların bünyesel yükünü azaltmak, termal ve durabilite özelliklerini iyileştirmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda pomza ve zeolit hafif agregaları değişen hacimsel yüzdelerde birleştirilerek harç numuneleri üretilmiştir. Farklı kür etkilerinin mekanik ve durabilite özellikleri üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla, numuneler normal (standart) kür, sıcak su kürü ve buhar kürü olmak üzere üç farklı ortamda kürlenmişlerdir. Bileşenlerin kimyasal kompozisyonları X ışını floresans analizi (XRF), minerolojik yapıları X ışını difraktometresi (XRD) yöntemleriyle incelenmiştir. Sertleşmiş harç numunelerin içyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenerek mekanik ve durabilite deney sonuçları desteklenmeye çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Buhar kürü, durabilite, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, pomza, sıcak su kürü, zeolit.

JÜRİ: Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Doç. Dr. Turhan BİLİR

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

ABSTRACT

IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF CONVENTIONAL CEMENTITIOUS MATERIALS WITH DIFFERENT COMPONENTS AND METHODS

Özge BEYCAN TATANOĞLU

MSc. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

June 2018; 100 pages

Conventional cementitious compounds are the most commonly used building materials in nowadays. However, with the developing technology, innovative steps have been started in the building sector. Currently, studies are being carried out to improve existing properties of building materials being used and to provide new additional features.

In this thesis study, it is aimed to decrease the self loads of conventional cementitious mixes and improve the thermal and durability properties. In this direction, pumice and zeolite lightweight aggregates were combined in varying percentages by volum to produce mortar samples. In order to observe the effects of different curing effects on the mechanical and durability properties, the samples were cured in three different environments: normal (standard) curing, hot water curing and steam curing. Chemical compositions of the components were investigated by X-ray fluorescence analysis (XRF), minerological structures X-ray diffractometry (XRD) methods. The internal structure of the hardened mortar specimens was examined by scanning electron microscopy (SEM) and mechanical and durability test results were tried to be supported.

KEYWORDS: Durability, hot water curing, pumice, mechanical properties, physical properties, steam curing, zeolite.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Assoc. Prof. Dr. Turhan BİLİR

Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

ÖNSÖZ

Akademiye ilk adım olarak nitelendirdiğim yüksek lisans sürecim boyunca bilgi ve birikimleriyle beni yönlendirerek nitelikli düşünmeyi ve yazmayı öğreten bunları yaparken de daima etik çerçeveler içerisinde kalmanın önemini vurgulayan sayın hocam Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Bu zahmetli süreçte bazı zamanlar vakit ayıramadığım, bazı zamanlar da benimle birlikte laboratuvarında çalışan biricik eşim Hakan TATANOĞLU’na çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmamı hayatını sorgulamaya, araştırmaya ve öğrenmeye adanmış bütün meraklı insanlara atfediyorum.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Konvansiyonel Çimentolu Karışımlar.....	3
2.2. Konvansiyonel Çimentolu Karışımların Özelliklerini İyileştirmek İçin Kullanılan Yöntemler.....	5
2.2.1. Hafif agregalar	5
2.2.1.1. Pomza kullanımının KÇK üzerindeki etkileri.....	7
2.2.1.2. Zeolit kullanımının KÇK üzerindeki etkileri	8
2.2.2. Değişik kür yöntemleri	10
2.2.2.1. Buhar kürü.....	10
2.2.2.2. Sıcak su kürü	10
2.2.3. Katkılar	11
2.2.3.1 Kimyasal katkılar	11
2.2.3.2. Mineral katkılar.....	12
2.2.4. Lifler	15
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Çimento.....	20
3.1.2. Karışım suyu	20
3.1.3. Agregalar	21
3.2. Metot	21
3.2.1. Agregalar üzerinde gerçekleştirilen test ve analizler.....	21
3.2.1.1. Agregaların fiziksel özellikleri.....	21
3.2.1.2. Agregaların mikro yapı özellikleri	25

3.2.2. Karışımların hazırlanma prosedürü ve malzeme oranları.....	25
3.2.3. Taze hal deneyleri.....	27
3.2.3.1. Akma tablası deneyi.....	27
3.2.3.2. Birim hacim ağırlık tayini	27
3.2.4. Uygulanan kür yöntemleri	28
3.2.5. Sertleşmiş hal deneyleri	29
3.2.4.1. Fiziksel deneyler	29
3.2.4.2. Üç nokta eğilme deneyi.....	31
3.2.4.3. Yarmada çekme deneyi	32
3.2.4.4. Basınç dayanımı deneyi	33
3.2.4.5. Gerilme şekil değiştirme davranışı.....	34
3.2.4.6. Mikroyapı çalışmaları	35
3.2.6. Durabilite deneyleri	35
3.2.6.1. Kılcal geçirimsizlik deneyi.....	35
3.2.6.2. Yüksek sıcaklık direnç deneyi	36
3.2.6.3. Hızlandırılmış donma-çözülme deneyi	36
3.2.6.4. Termal iletkenlik deneyi	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	38
4.1. Harç Bileşenleri Üzerinde Gerçekleştirilen Deney Bulguları	38
4.1.1. Fiziksel deney bulguları.....	38
4.1.2. Mikroyapı çalışmaları bulguları.....	40
4.2. Harçların Taze Hal Deney Bulguları.....	45
4.2.1. Yayılma çapı ve birim hacim ağırlık deneyi bulguları	45
4.3. Sertleşmiş Hal Deney Bulguları	47
4.3.1. Fiziksel deneylere ait bulgular.....	47
4.3.2. Mekanik deneylere ait bulgular	56
4.3.3. SEM bulguları.....	72
4.3.4. EDX bulguları.....	77
4.4. Durabilite Deneyleri Bulguları	81
4.4.1. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney bulguları	81
4.4.2. Donma-çözülme çevriminden sonra numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney bulguları	88

4.4.3. Kılcal geçirimsizlik deneyi bulguları.....	95
5. SONUÇLAR	99
6. KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	

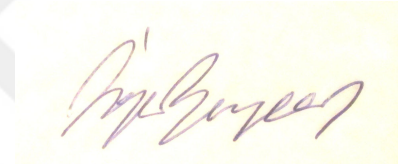


AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Konvansiyonel çimentolu karışımların özelliklerinin farklı bileşen ve yöntemlerle iyileştirilmesi.” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

06.06.2018

Özge BEYCAN TATANOĞLU



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al_2O_3	: Alümina
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
C_2S	: Dikalsiyum Silikat
C_3A	: Trikalsiyum Alüminat
C_3S	: Trikalsiyum Silikat
C_4AF_4	: Tetrakalsiyum Alüminoferrit
CaO	: Kalsiyum Oksit
cm^3	: Santimetreküp
CSH	: Kalsiyum Silika Hidrat
Fe_2O_3	: Demir Oksit
g	: Gram
K_2O	: Potasyum Oksit
kg	: Kilogram
m^3	: Metreküp
MgO	: Magnezyum Oksit
Na_2O	: Sodyum Oksit
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
SiO_2	: Silika
SO_3	: Sülfür Oksit

Tez metni içerisinde ondalık sayıların gösterimi “virgül” kullanılarak yapılmıştır.

Kısaltmalar

ACI	: American Concrete Institute
ASTM	: American Society for Testing Materials
GBO	: Görünür boşluk oranı
KBA	: Kuru birim ağırlık
KÇK	: Konvansiyonel çimentolu karışım
LOI	: Loss on ignition. (Kızdırma kaybı)
SDKY	: Suya doymuş kuru yüzey
SEM	: Scanning electron microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
SEY	: Su emme yüzdesi
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
XRD	: X ışını difraktometresi
XRF	: X ışını floresans analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Agregalar arası hava boşlukları (Serinoğlu 2011)	13
Şekil 2.2. Değişik lif tipleri (Yazıcı 2016).....	16
Şekil 2.3. Çelik lif tipleri ve kesitleri (Yazıcı 2016).....	17
Şekil 3.1. Kullanılan agrega çeşitleri: a) Kırma kum, b) Pomza, c) Zeolit	21
Şekil 3.2. a) Le Chatelier Balonu, b) Balon Joje, c) Mezür	22
Şekil 3.3. Isıtıcı plaka yardımıyla agregaların SDKY hale getirilmesi.....	22
Şekil 3.4. Abrams konisi ile SDKY hal tayini	23
Şekil 3.5. Agregaların ağırlıkça yüzde su emme değerlerini hesaplamada kullanılan nem ölçer cihaz	23
Şekil 3.6. Agregaların tane boyut dağılımını belirlemede kullanılan elek seti ve sarsma cihazı	24
Şekil 3.7. Agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi.....	25
Şekil 3.8. Harç karışımlarının üretildiği mikser	26
Şekil 3.9. Sarsma tablası deney aparatları	27
Şekil 3.10. Taze birim hacim ağırlık tayininde kullanılan kap ve titreşim cihazı	28
Şekil 3.11. Normal kür tankı.....	28
Şekil 3.12. Buhar kürü (Üstte), Sıcak su kürü (altta).....	29
Şekil 3.13. Sertleşmiş harç numunelerin KBA ve SDKY değerlerini tayin etmede kullanılan deney düzeneği.....	30
Şekil 3.14. Üç nokta eğilme deneyi moment diyagramı (Anonim 6)	31
Şekil 3.15. Nokta eğilme deney düzeneği ve deney sonucu numune görünümü.....	32
Şekil 3.16. Yarmada çekme dayanımı basınç ve çekme bölgeleri (Yazıcı 2014).....	32
Şekil 3.17. Yarmada çekme dayanımı tayininde kullanılan yükleme çerçevesi ve deney sonucu numune görünümleri	33

Şekil 3.18. Basınç dayanımı tayininde kullanılan yükleme çerçevesi ve deney sonrası numune görünümü	33
Şekil 3.19. Basınç dayanım testi sonucu kırılan numuneler	34
Şekil 3.20. Gerilme-şekil değiştirme davranışı deney düzeneği.....	34
Şekil 3.21. Kılcal geçirimsizlik tayini deney düzeneği.....	35
Şekil 3.22. Kül fırını ve numune dizilimi	36
Şekil 3.23. Donma-çözülme cihazı	37
Şekil 3.24. Mahfazalı sıcak plaka metodu deney düzeneği	37
Şekil 4.1. Agregaların tane boyut dağılımı (gradasyon) eğrileri	40
Şekil 4.2. Zeolit agregasına ait XRD verileri.....	43
Şekil 4.3. Zeolit tetrahedral olarak birbirine bağlanması (Akay vd. 2018)	44
Şekil 4.4. Pomza agregasına ait XRD verileri	44
Şekil 4.5. Pomza ince kesit filmi üzerinde görüntülenen feldspat minerali (gri) (Döyen ve Aksoy 2012)	45
Şekil 4.6. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin SDKY yığın yoğunlukları	47
Şekil 4.7. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin SDKY yığın yoğunlukları	48
Şekil 4.8. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin SDKY yığın yoğunlukları	49
Şekil 4.9. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin KURU yığın yoğunlukları.....	50
Şekil 4.10. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin KURU yığın yoğunlukları.....	51
Şekil 4.11. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin KURU yığın yoğunlukları.....	51
Şekil 4.12. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin ağırlıkça % su emme değerleri.....	52
Şekil 4.13. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin ağırlıkça % su emme değerleri.....	53
Şekil 4.14. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin ağırlıkça % su emme değerleri.....	53
Şekil 4.15. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin görünür boşluk değerleri (%)	55
Şekil 4.16. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin görünür boşluk değerleri (%)	55

Şekil 4.17. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin görünür boşluk değerleri (%)	56
Şekil 4.18. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin eğilme dayanımı değerleri.....	57
Şekil 4.19. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin eğilme dayanımı değerleri.....	59
Şekil 4.20. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin 7 günlük yarmada çekme dayanımı değerleri.....	59
Şekil 4.21. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin eğilme dayanımı değerleri.....	60
Şekil 4.22. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin basınç dayanımı değerleri	61
Şekil 4.23. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin basınç dayanımı değerleri	62
Şekil 4.24. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin basınç dayanımı değerleri	63
Şekil 4.25. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin kür çeşitlerine göre gerilme şekil değiştirme eğrileri: (a) Normal Kür,(b) Sıcak Su Kürü (c) Buhar Kürü.....	65
Şekil 4.26. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin kür çeşitlerine göre gerilme şekil değiştirme eğrileri: (a) Normal Kür,(b) Sıcak Su Kürü (c) Buhar Kürü.....	67
Şekil 4.27. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin kür çeşitlerine göre gerilme şekil değiştirme eğrileri: (a) Normal Kür,(b) Sıcak Su Kürü (c) Buhar Kürü.....	68
Şekil 4.28. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrileri toplu şekilde gösterimi	69
Şekil 4.29. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrileri toplu şekilde gösterimi	70
Şekil 4.30. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrileri toplu şekilde gösterimi	71
Şekil 4.31. BKC kodlu numuneden alınan SEM görüntüsünde numune içerisindeki zeolit ve pomza agregalarının gösterimi	72
Şekil 4.32. BKC kodlu numuneden 500x büyütme oranında alınan SEM görüntüsü	73
Şekil 4.33. BKE kodlu numuneden 250x (a) ve 500x (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.....	73
Şekil 4.34. NKD kodlu numuneden 1000x (a) ve 1000x (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.....	75
Şekil 4.35. NKE kodlu numuneden 250x (a) ve 500x (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.....	75

Şekil 4.36. SKA kodlu numuneden 500x (a) ve 2500x (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.....	75
Şekil 4.37. SKB kodlu numuneden 250x (a) ve 1000x (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.....	76
Şekil 4.38. SKD kodlu numuneden 500x (a) ve 750x (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.....	76
Şekil 4.39. SKF kodlu numuneden 500x (a) ve 2000x (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri.....	76
Şekil 4.40. %100 Pomza ile üretilen numunede EDX alınan spektrumların gösterimi.....	77
Şekil 4.41. %100 Pomza ile üretilen numunede pomza agregası üzerinden alınan spektrum 1 alanı içerisindeki element gösterimi.....	77
Şekil 4.42. %100 Pomza ile üretilen numunede EDX alınan spektrumların gösterimi.....	78
Şekil 4.43. %100 Pomza ile üretilen numunede pomza agregası, çimento hamuru-agrega ara yüzeyi ve çimento hamuru alanını kaplayan 11 nolu spektruma ait elementler.....	78
Şekil 4.44. %100 Zeolit ile üretilen numunede EDX alınan spektrumların gösterimi ...	79
Şekil 4.45. %100 Zeolit ile üretilen numunede zeolit agregası üzerinden alınan spektrum 12 alanı içerisindeki elementlerin gösterimi	80
Şekil 4.46. %100 Zeolit ile üretilen numunede çimento hamuru üzerinden alınan spektrum 13 alanı içerisindeki elementlerin gösterimi	80
Şekil 4.47. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri	81
Şekil 4.48. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri	82
Şekil 4.49. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri	83
Şekil 4.50. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri.....	83
Şekil 4.51. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri.....	84

Şekil 4.52. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri.....	84
Şekil 4.53. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri.....	85
Şekil 4.54. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri.....	86
Şekil 4.55. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri.....	86
Şekil 4.56. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	87
Şekil 4.57. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	87
Şekil 4.58. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	88
Şekil 4.59. Donma-çözülme çevrimi deneyi sonucu bazı numune görünüşleri	88
Şekil 4.60. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri	89
Şekil 4.61. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri	89
Şekil 4.62. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri	90
Şekil 4.63. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri.....	90
Şekil 4.64. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri.....	91
Şekil 4.65. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri.....	91
Şekil 4.66. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri.....	92
Şekil 4.67. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri.....	92

Şekil 4.68. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri.....	93
Şekil 4.69. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	93
Şekil 4.70. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	94
Şekil 4.71. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri	94
Şekil 4.72. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin kılcal geçirimlilik katsayıları değerleri.....	95
Şekil 4.73. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin kılcal geçirimlilik katsayıları değerleri.....	95
Şekil 4.74. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin kılcal geçirimlilik katsayıları değerleri.....	96
Şekil 4.75. 200 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri.....	97
Şekil 4.76. 300 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri.....	97
Şekil 4.77. 400 kg/m ³ çimento dozajlı numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Klinker bileşenleri (Erdoğan 2007)	4
Çizelge 2.2. Bazı sentetik liflerin özellikleri (Yaşar 2011)	18
Çizelge 3.1. Karışımlarda kullanılan malzeme miktarları ve karışım kodlamaları	26
Çizelge 4.1. Bileşenlerin SDKY(Agregalar için) özgül ağırlık değerleri.....	38
Çizelge 4.2. Agregaların ağırlıkça su emme değerleri.....	39
Çizelge 4.3. Agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri.....	39
Çizelge 4.4. Agregaların incelik modülleri.....	40
Çizelge 4.5. XRF analizi sonucu çimentonun kimyasal kompozisyonu.....	41
Çizelge 4.6. XRF analizi sonucu agregaların kimyasal kompozisyonu.....	41
Çizelge 4.7. Bileşenlerin ağırlıkça yüzde kızdırma kaybı değerleri	41
Çizelge 4.8. Taze hal harçların birim hacim ağırlık ve yayılma çapı değerleri	46

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca dünya üzerinde varoluş savaşı vermiştir. Bu süreç boyunca motivasyonunu korumasını sağlayan şey ise ihtiyaçlar hiyerarşisi olmuştur. Abraham Maslow'a ait bu teoriye göre insan ihtiyaçları beş basamaklı bir piramit ile tasvir edilebilmektedir (1943). Bu piramitin ilk iki basamağı ise sırasıyla psikolojik ihtiyaçlar ve güvenlik ihtiyaçları olarak belirtilmiştir. Psikolojik ihtiyaçlar, fizyolojik ihtiyaçlarla temellendirilerek yani sadece yemek, içmek gereksinimlerini karşılamak olarak tanımlanmıştır. Güvenlik ihtiyaçları ise en ilkel çağlardan beri öncelikle kendi barınağımızın güvenli hissettirmesiyle açıklanabilir. Bizler başlangıçta sadece doğanın bize verdiklerini olduğu gibi kullanarak barınaklarımızı inşa edebilen varlıklar iken zaman içerisinde ateşin keşfi ile tuğla yapmayı, daha ileriki tarihlerde ise meraklı bir duvar ustası olan Joseph Aspdin'in (1824) denemeleri sayesinde çimentoyu keşfedebilen bir tür olabildik. Günümüzde ise konvansiyonel çimentolu karışımlar (KÇK) en çok kullanılan yapı malzemesi olarak medeniyeti kurmamızda bizlere yardım etmekte. Ancak piramitteki ilk iki basamak temin edilip üçüncü basamaktaki aidiyet ihtiyaçları da karşılandıktan sonra sırada kendini gerçekleştirmek ve varoluşunu anlamlandırmak gelmektedir. Bu süreç ise sorgulama, anlama ve geliştirme şeklinde açıklanabilir. Bu tez çalışmasında ise KÇK'nın özellikleri farklı bileşen ve yöntemlerle geliştirilmeye çalışılmıştır.

Gelişen teknolojiyle birlikte inşaat sektöründe çeşitli alanlarda inovatif adımlar atılmaya başlanmıştır. Hali hazırda kullanılan yapı malzemelerinin mevcut özelliklerinin iyileştirilmesi ve yeni ilave özellikler kazandırılmasına yönelik bazı çalışmalar bilimsel olarak yürütülmektedir. KÇK hacminin yaklaşık olarak %75'i agregalar tarafından oluşturulmaktadır (Erdoğan 2007). Dolayısıyla agregalara ait yoğunluk, gözeneklilik, kimyasal kompozisyon, dayanım gibi herhangi bir özellik, KÇK'nın özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kırma taş ve kum ise kolay temin edilebilirliği, düşük maliyeti ve yeterli dayanım özellikleri sayesinde KÇK içerisinde en çok tercih edilen agrega çeşididir. Buna rağmen kırma taş 2,60-2,70 g/cm³ arasında seyreden yoğunluk değerine sahiptir. Bu durum yapılarda ölü yüklerin artmasına sebebiyet vermektedir. Çevreci bir bakış açısıyla baktığımızda ise binaları ısıtmak ve soğutmak için fazlasıyla enerji harcanmaktadır (Kockal 2016). Kırma taşın termal özellikleri yalıtım için yeterli olmamaktadır. Yapı malzemelerinin yığın yoğunluğunu düşürmek ve aynı zamanda yalıtım özelliklerini iyileştirmek için birçok çalışma araştırmacılarca yürütülmektedir (Patnai vd. 2015; Degrave-Lemeurs vd. 2018).

KÇK'nın özelliklerini iyileştirmek için kullanılan malzemeler ve yöntemler oldukça çeşitlilik göstermektedir. Zhang ve Poon (2015) genleştirilmiş kil agregası ve fırın dibi külünü kullanarak KÇK'nın yüksek yığın yoğunluğunu düşürmeyi ve termal yalıtım özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarının sonucunda ise genleştirilmiş kil agregası kullanılarak taşıyıcı elemanlar üretilebileceğini, fırın dibi külünün ise termal iletkenliği azalttığını bildirmişlerdir. Bazı araştırmacılar ise plastik şişe ve kauçuk parçaları (Yesilata vd. 2009), hindistan cevizi lifleri (Mintorogoa vd. 2015) gibi atık maddeleri kullanarak hem çevreci bir yaklaşım sergilemiş hem de KÇK'nın termal özelliklerini iyileştirmişlerdir.

Yığın yoğunluğu azaltmak aynı zamanda da taşıyıcılık özelliklerini korumak bakımından ise doğal yahut yapay hafif agregalar en çok kullanılan malzemelerdir. Bir çok araştırmacı pomza (Widodo vd. 2017), zeolit (Najimi vd. 2012), perlit (Sengul vd. 2011), vermikülit (Schackow vd.2014), sinterlenmiş uçucu kül (Kockal ve Ozturan a:2010, b:2011, c:2011, Kockal 2015), genleştirilmiş kil (Fantilli vd. 2016) gibi bileşenleri kullanmışlardır.

KÇK'nın bileşenlerinin yanında, uygulanan kür yöntemleri de dayanım ve durabilite özelliklerini etkilemede önemli rol oynamaktadır. Çimento hidratasyonu günlerce, haftalarca hatta aylarca sürer. Hidratasyon reaksiyonunun devamı için yeterli miktarda su ve sıcaklık gerekmektedir. Bu koşullar sağlanamadığı takdirde betonun beklenen dayanım ve dayanıklılık (durabilite) elde edilemez. Kürlemede kullanılan geleneksel yöntemler su püskürterek KÇK yüzeyini nemli tutmak ya da yüzeyi su geçirmez örtülerle kapatarak bünye içerisinden buharlaşma yoluyla uzaklaşabilecek olan suyu engellemektir. Bu yöntemlere ek olarak sıcak su kürü ve buhar kürü hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırmak ve erken yaştaki dayanımları arttırmak için kullanılmaktadır.

Uygunoğlu ve Ünal (2007) pomza agregası kullanarak ürettikleri hafif çimentolu karışımlarda farklı kür koşullarının etkilerini gözlemlemişlerdir. Bu amaçla ürettikleri numunelerin bir kısmını normal su kürüne tabi tutarken, diğer bir kısmını değişen süreler boyunca buhar kürüne maruz bırakmışlardır. Buhar kürü ile kürlen numunelerin birim hacim ağırlık değerleri, normal kürle kürlen numunelere göre daha düşük değerler almıştır. Buna rağmen daha düşük porozite ve su emme değerine sahiptirler. Buhar kürü ile kürlen numunelerin erken basınç dayanımları ise normal kür ile kürlen numunelere göre daha yüksek değerler almıştır.

Parameshwar vd. (2017) ise farklı kür rejimlerinin reaktif pudra betonunun özellikleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında öncelikle sıcak su kürüne maruz bırakılan numunelerin sonrasında sıcak hava kürü ortamında bekletildiklerinde basınç dayanımlarının 200 MPa'a kadar çıktığını bildirmişlerdir.

Bu tez çalışmasında 200 kg/m^3 , 300 kg/m^3 ve 400 kg/m^3 olmak üzere üç farklı çimento dozajı ile pomza ve zeolit agregalarının hacimce değişen oranlarda kullanıldığı harç numuneleri üretilmiştir. Bu numunelerin özelliklerini kıyaslamak amacıyla ise kırma kum agregası kullanılarak kontrol numuneleri üretilmiştir. Kür farklılıklarının etkilerini gözlemek amacıyla numuneler normal (standart) su kürü, sıcak su kürü ve buhar kürü ile kürlenmişlerdir. Harçlar üzerinde taze halde birim hacim ağırlık ve yayılma çapı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş halde ise yığın yoğunluk, su emme, görünür porozite gibi fiziksel deneylerin yanında çekme dayanımı, basınç dayanımı olmak üzere mekanik deneyler yapılmıştır. Durabilite özellikleri kapsamında yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılık, donma çözünme çevrimine karşı dayanıklılık, kılcal geçirimsizlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bütün bu deney sonuçlarını açıklamaya yardımcı olması amacıyla XRF ve XRD analizleri ile bileşenlerin mikro yapı özellikleri, SEM ve EDX analizleri yardımıyla ise sertleşmiş harç numunelerinin mikro yapıları incelenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Konvansiyonel Çimentolu Karışımlar

Konvansiyonel çimentolu karışımlar (KÇK), çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Çimento esas olarak, killi ve kalkerli maddelerin uygun oranlarda karıştırılması ve yaklaşık 1400 – 1500 °C sıcaklıkta pişirilmesi sonucu katı parçacıklar halinde elde edilen klinkerin uygun oranda alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir. Klinkerin üretilmesi için başlıca gerekli maddeler kalsiyum oksit ve silisyum dioksittir. Ayrıca klinkerin erime sıcaklığını düşürmek için az miktarlarda alüminyum oksit ve demir oksite de ihtiyaç vardır. Bu kimyasalları içeren maddeler genellikle kalker ve kildir. Aynı amaçla bunların doğal karışımı olan kalkerli marn da kullanılabilir. Kalkerden klinker için gerekli olan kalsiyum oksit, kilden silisyum dioksit, alüminyum oksit ve demir oksit gereksinimi karşılanır. Bazı durumlarda klinkerin silisyum dioksit ve demir oksit ihtiyacı yeterli olmaz ve hammadde harmanına ayrıca örneğin, kuvarz kumu veya demir cevheri katılarak ayarlanır. Ancak elde edilecek klinkerin bileşimi dikkate alınarak hammaddeyi oluşturan harmanın kimyasal bileşimi çok hassas bir şekilde kontrol altında tutulur. Özellikle fırına giren hammadde karışımı içinde CaCO_3 miktarının %75 – 79 arasında kalmasına özen gösterilir (Yalçın ve Gürü 2006). Çimento tanelerinin boyutları 1 – 200 μm arasında değişkenlik göstermekte olup özgül ağırlığı 3,10 – 3,15 g/cm^3 civarındadır (Dilli 2015). Başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşp, istenen şekli alabilen kompozit yapı malzemeleridir (Şimşek 2004).

Betonun ve sertleşmiş çimento hamurunun mekanik ve durabilite özelliklerinden birçoğu kimyasal yapısından çok hidrate ürünlerin koloidal boyuttaki fiziksel yapısına bağlıdır. Bu noktada çimentonun jel yapısını iyi bilmekte fayda vardır. Çimentonun hammaddeleri olan kireç (CaO), silika (SiO_2), alümin (Al_2O_3) ve demir oksittir (Fe_2O_3). Bu bileşenler döner fırında yüksek sıcaklıkta kendi aralarında birleşerek daha kompleks ürünler meydana getirirler.

Karma oksit adı verilen ve çimentonun birçok özelliğini belirleyen bu bileşenlerden en önemlileri; trikalsiyum silikat ($\text{C}_3\text{S} = 3\text{CaO}.\text{SiO}_2$), dikalsiyum silikat ($\text{C}_2\text{S} = 2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), trikalsiyum alüminat ($\text{C}_3\text{A} = 3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) ve tetrakalsiyum alüminoferrit ($\text{C}_4\text{AF} = 4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$) olmaktadır. Çimento kimyasında $\text{CaO}=\text{C}$, $\text{SiO}_2=\text{S}$, $\text{Al}_2\text{O}_3=\text{A}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=\text{F}$ ve $\text{H}_2\text{O}=\text{H}$ harfleri ile simgelenmektedir.

Karma oksitlerin hidratasyon hızları birbirinden oldukça farklıdır. C_3A ve C_4AF ilk günde hidrate olurken, C_3S 'nin hidratasyonu C_2S 'e göre oldukça hızlıdır. Bu nedenle çimentonun erken yaşlardaki dayanımının gelişiminde C_3S baskın öge iken, ilerleyen yaşlardaki dayanım gelişimi büyük oranda C_2S bileşenine bağlıdır. Taze çimento hamuru su içinde çimento partiküllerinin plastik bir ağdan oluşmaktadır. Hidratasyonun herhangi bir aşamasında sertleşmiş çimento hamuru değişik hidrate bileşenlerden oluşmaktadır. Karma oksitlerin (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF) su ile yaptıkları reaksiyonlar sonucu oluşan kalsiyum silikat hidrateler (CSH) ve kalsiyum alüminat hidratelerin (CAH) değişik ürünlerine topluca jel adı verilmektedir. Jel partikülleri

çoğunlukla lifsi yapıda, yığınlar şeklinde birbirine çapraz bağlı, amorf yapılı, yaklaşık 90 Å boyutlarında elemanlardır.

Çizelge 2.1. Klinker bileşenleri (Erdoğan 2007)

Bileşen	Açık Formül
C ₂ S	2CaO.SiO ₂
C ₃ S	3CaO.SiO ₂
C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃
C ₄ AF	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃

Çimento su ile birleşince kalsiyum sülfat, kalsiyum silikat ve alüminatlar çözeltiye karışırlar ve sıvı faz kısa sürede çeşitli iyonlara doymun hale gelir. Hidratasyonun ilk birkaç dakikasında kalsiyum, sülfat, alüminat ve hidroksil iyonları arasındaki birleşmeden ilk önce iğne formundaki kalsiyum sülfat alüminat hidrat (etrenjit) oluşur. Birkaç saat sonra ise geniş prizmatik yapılı kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) kristalleri ve kısa lifli kalsiyum silikat hidratlar (CSH) suyun ve çimento partiküllerinin oluşturduğu boşlukları doldurmaya başlar.

Kalsiyum silikat hidratlar (CSH) çimento hidratasyon ürünlerinin yaklaşık %50-60'lık kısmını oluşturur ve çimento hamurunun özelliklerini belirleyen en önemli bileşendir. Tobermorit adıyla da bilinmektedir. Gerçek yapısı hakkındaki bilgiler kesinlik taşımaya da, CSH'nin hidrate çimento hamuruna bağlayıcılık özelliğini Van der Waals kuvvetleri ile kazandığı ve çok yüksek özgül yüzeye sahip olduğu bilinmektedir (Baradan vd. 2010).

Kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucunda oluşan ve çimento hamurunun bünyesinde yer alan iki üründen birisi olan kalsiyum hidroksitin çimento hamurunun dayanımına bir miktar katkı sağladığı kesindir. Ancak, bu katkı çok yüksek değildir. Çimento hamurunun nihai dayanımının çok yüksek olduğu hatırlanacak olursa, yüksek dayanıma yol açan katkının C-S-H jelleri tarafından sağlandığı anlaşılmaktadır. Kolloidal katı parçacıklar olan çimento jellerinin büyüklüğü çimento tanesinden yaklaşık olarak 1000 misli daha küçüktür. Bu çok küçük boyutlu ürünler arasında oluşan çekim, kuvvetli bir bağlayıcılık yaratmaktadır.

C₃A anabileşeninin hidratasyonu sonucunda kalsiyum alüminomonosülfat C₃ASH₁₂ ve etrenjit olarak da adlandırılan C₆AS₃H₃₂ ürünleri oluşmaktadır. Bu ürünler, özellikle C₆AS₃H₃₂, çimento hamurunda büyük genleşme yaratmaktadır. C₄AF anabileşeni de, hidratasyon sonucunda birtakım kalsiyum alüminomonosülfatların oluşmasına yol açmaktadır.

Çimento hamurunun ne hızla katılaşabileceği ve ne hızla dayanım kazanabileceği, çimentonun anabileşenleri ile su arasındaki kimyasal reaksiyonların hangi hızla ve ne ölçüde gerçekleşmiş olduğuna bağlıdır. Böyle bir durum ise, çimentoyu oluşturan anabileşenlerin oranlarına, çimento tanelerinin inceliğine, reaksiyonların devam edebilmesi için yeterli nemlilik ve sıcaklık ortamının mevcut olup olmamasına bağlı olmaktadır.

KÇK'ları kullanılan agregaya boyutuna göre beton ve harç olarak ikiye ayırmak mümkündür. Türk standartlarının tanımlamasına göre elendiğinde 4 mm göz açıklıklı kare delikli elekten geçebilen boyutlardaki agregaya ince agregaya ve bu elek üzerinde kalan agregaya iri agregaya denilmektedir. Beton, çimento, iri agregaya, ince agregaya ve suyun karışımından elde edilirken, harç üretiminde betondan farklı olarak iri agregaya kullanılmaz. Harç içerisinde iri agregaya bulunmayan bir betondur (Erdoğan 2007). Betonun yahut harcın fiziksel, mekanik, kimyasal, elastik ve durabilite özelliklerini belirleyen bileşenlerinin incelenmesi uygun kalitede malzeme üretmek için son derece gereklidir.

2.2. Konvansiyonel Çimentolu Karışımların Özelliklerini İyileştirmek İçin Kullanılan Yöntemler

2.2.1. Hafif agregalar

KÇK içerisinde bileşen olarak, hem hacimce hem de ağırlıkça en büyük oran agregalara aittir. Bu oran %70 - % 80 arasında değişebilmektedir. Bu durumdan da anlaşılacağı gibi agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri, aynı zamanda kimyasal yapısı KÇK'nın özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

Günümüzde yapı sektöründe en çok kullanılan agregaya çeşidi doğal yöntemlerle taş ocaklarından elde edilebilen kırma taşlardır. Kırma taş kullanılarak imal edilen KÇK'lar taşıyıcılık yönünden oldukça iyi performans göstermelerine rağmen oldukça ağırdırlar. Geleneksel bir kırma taşın özgül ağırlığı 2,65 g/cm³ ile 2,71 g/cm³ arasında seyretilmektedir. Dolayısıyla bu agregaların kullanılmasıyla elde edilecek ürünün birim ağırlığı da yüksek olmaktadır. Fizik yasaları gereğince kütlesi büyük olan cisimler, dışarıdan gelen ivmeler altında daha büyük kuvvetlerle yüklenmektedirler. Yapı sektöründe karşımıza çıkan bu büyük kuvvet ise deprem kuvvetidir.

Geleneksel agregalar ağır olmalarının yanında, donma-çözünme gibi durabilite problemlerine karşı gösterdikleri davranışlar ve yüksek ısı iletkenlik gibi mali kayıplara da fazlasıyla sebep olabilecek özellikleri nedeniyle dezavantajlıdırlar (Serin vd. 2007).

Hafif agregalar birim ağırlığı 2000 kg/m³'ten küçük olan agregalardır. Doğal ve yapay olarak sınıflandırılabilirler. Hafiflikleri gözenekli yapıya sahip olmalarıyla açıklanabilir. Bu gözenekler birbiriyle bağlantılı veya bağlantısız olabilmektedir. Gözeneklerinin yapısına göre su emme oranları, ısı iletkenlikleri ve donma-çözünme çevrimine karşı dirençleri değişiklik gösterebilir.

Shafigh vd. (2018), yaptıkları çalışmada, hafif ve normal agregaya kullanarak ürettikleri betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Hafif agregaya olarak genleştirilmiş kil agregası ve palmye yağı üretim sisteminin atığı şeklinde ortaya çıkan, palmye yağı kaynatma kazanlarındaki çökeltileri laboratuvar ortamında yıkayıp kırma makinesinde parçalayarak kullanmışlardır. Normal ağırlıklı agregaya için ise kırma kum kullanmışlardır. Bütün karışımlar için su ve çimento miktarını sabit tutmuşlardır. Üretilen numuneler üzerinde; kıvam, özgül ağırlık, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı ve elastisite modülü tayini için deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; genleştirilmiş kil agregalı ve palmye

klinkeriyle üretilmiş numunelerin her ikisi de ortalama bir su/çimento değerine rağmen segregasyon ve akma olmadan tatmin edici bir işlenebilirlik göstermiştir. Palmiye klinkeriyle üretilen betonun ölü yükü normal agregayla üretilen betonun ölü yükünden %12 daha az ve genişleştirilmiş kil ile üretilen betonunkinin ise %34 daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanında hafif agregalarla üretilen betonun mekanik özellikleri normal agregayla üretilen betona göre bir miktar düşük kalmıştır.

Hafif agregalar olarak pulverize kömür fırını dip külleri ve genişleştirilmiş şeyl kullanılarak üretilen numuneler ile normal kırma kumdan üretilen numunelerin termal iletkenlik ve akustik özelliklerinin karşılaştırıldığı bir başka çalışma ise Kim vd. (2012) tarafından yürütülmüştür. Numuneler içerisindeki normal agregalar ile hafif agreganın yer değiştirme oranı arttıkça termal iletkenlikte belirgin bir azalma gözlemlemişlerdir. Ancak normal agregalar ve hafif agregalar ile üretilen betonların akustik iletim kaybı ölçümleri birbirine yakın değerlerde olduğu sonucuna varmışlardır.

Zhang ve Poon (2018), yürüttükleri deneysel çalışmada geri dönüştürülmüş kauçuk parçalarının beton içerisinde kullanımının, betonun ses geçirgenliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kontrol numunelerini de yine birer hafif agregalar olan genişleştirilmiş kil agregası ve termik santral fırını taban külü kullanarak üretmişlerdir. Üretilen numunelerde geri dönüştürülmüş kauçuk parçaları sırasıyla %25, %50, %75 ve %100 oranlarında, termik santral fırını taban külü agregasıyla yer değiştirerek kullanmışlardır. İnce agregalar olarak kullanılan genişleştirilmiş kil agregasının miktarı ise bütün numuneler için sabit tutulmuştur. Ses geçirgenliği ölçüm testleri ise 40x40x4 cm ebatlı numuneleri, 630 ile 3150 Hz arasında frekanslara tabi tutarak gerçekleştirmişlerdir. Kauçuk agregaların ses geçirgenliği üzerindeki olumlu etkileri %50 oranında yer değiştirmede önemli ölçüde gözlemleyerek, maksimum faydaya %75 yer değiştirme oranıyla üretilen numunelerde ulaştıklarını raporlamışlardır. Klasik hafif agregayla üretilen numunelerle karşılaştırıldığında 2000 Hz frekansta, %100 yer değiştirme oranıyla üretilen numuneler 43 dB gürültü engellerken, kontrol numunesinin 21 dB gürültü engelleyebildiğini bildirmişlerdir. Geri dönüştürülmüş kauçuk agregaların mekanik özelliklere etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla ise basınç dayanımı deneyleri ve elastisite modülü tayini deneyleri de düzenlemişlerdir. Kauçuk agregalar oranı arttıkça numunelerin hem basınç dayanımlarında hem de elastisite modülü değerlerinde düşmeler olduğunu tespit etmişlerdir.

Hafif agregaların boşluklu yapıları sayesinde düşük yoğunluk, ısı yalıtımı ve ses yalıtımı gibi gösterdikleri olumlu özelliklerinin yanında bazı araştırmacılar hafif agregaların iyi öğütüldükleri takdirde puzolanik özellik de gösterdiklerini belirtmişlerdir (Suraneni vd. 2018). ISO kumu ve genişleştirilmiş şeyl agregası ile ürettikleri numunelerde, Nie vd. (2017) hafif agreganın puzolanik reaksiyonunu ve çimento hidratasyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Amorf yapıyı elde edebilmek için şeyl kayacını döner fırın içerisinde, 300 °C'den 1250 °C'ye kadar 40 dakika içerisinde ısıtıp, sonrasında 200 °C'ye 5 dakika içerisinde hızlıca soğuttukları bir işlem gerçekleştirmişlerdir. Kontrol numunesini tamamen ISO kumu kullanarak, gözlemlenecek numuneyi ise hacimce %19,39 oranında genişleştirilmiş şeyl agregasını ISO kumu ile yer değiştirerek üretmişlerdir. Puzolanik reaksiyonu hızlandırmak amacıyla, numuneler henüz taze halde kalıplarda iken sekiz saatlik bir süreç içerisinde, öncelikle 25 °C'den 55 °C'ye kadar ısıtılan bir ortam içerisinde tutmuşlar ve akabinde

tekrar soğutmuşlardır. Pozolanik reaksiyonu gözlemleyebilmek için kirece doymuş su içerisinde bekletilen numunelerin kür suyuna salgıladıkları iyon konsantrasyonlarını ICP-OES analizi ile incelemişler ve SEM analizleri yapmışlardır. Analizler sonucunda geliştirilmiş şeyl ile üretilen numuneler tarafından kür suyuna Al ve Si iyonları salınımı yapıldığını belirtmişler ve SEM analizlerinde ise geliştirilmiş şeyl taneleri tarafından oluşturulan C-S-H jellerini görüntüleyerek pozolanik reaksiyonu kanıtlamışlardır.

Turgutalp ve Örüng (1992), hafif agrega kullanımının betonun donma-çözülme direnci üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla Sarıkamış yöresindeki konsolide olmamış pomza kullanarak ürettikleri numuneler üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bunun için 300 kg/m^3 , 400 kg/m^3 , 500 kg/m^3 olmak üzere üç farklı çimento miktarı ile ürettikleri numunelerde agrega miktarını sabit tutup su/çimento oranlarını değiştirerek seriler üretmişlerdir. Her dozaj için iki grup halinde üretilen numunelerin birinci grubu, normal kür koşullarına tabi tutarken, ikinci grubu donma-çözülme etkisine maruz bırakmışlardır. 28 gün sonunda basınç deneyi uyguladıkları numunelerin performanslarını karşılaştırdıklarında, donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımları, normal kürde muhafaza edilen numunelere göre bir miktar düşük olsa da aradaki farkın azımsanacak ölçüde olduğunu söylemişlerdir. Bu durum hafif agregaların boşluklu yapıları sayesinde, donma-çözülme gibi olumsuz etkilere maruz kalınan durumlarda, oluşabilecek hasarı önemli ölçüde azalttığına örnek gösterilebilir.

2.2.1.1. Pomza kullanımının KÇK üzerindeki etkileri

Pomza, birçok sektörde doğrudan veya dolaylı olarak kullanılan bir hammadde türüdür. En yaygın kullanım alanı olarak ise inşaat sektörü karşımıza çıkmaktadır. Başpınar ve Gündüz (2006), pomzanın sıklıkla kullanıldığı alanları; hafif ve prefabrik yapı elemanları üretimi, çatı ve dekoratif kaplamalar, hafif hazır sıva ve harç, çatı ve döşeme izolasyon dolgusu olarak sıralamışlardır. Pomzanın oluşum şeklini ise Özkan ve Tuncer (2001) aşağıdaki şekilde izah etmişlerdir:

“Pomza, açık renkli, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli, silisli volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle, pomza çok poroz olan volkanik cam taşıdır. Ortalama ergime noktası 1343°C 'dir. 760°C 'nin altında herhangi bir hacim değişikliğine uğramaz. Bu sıcaklıkta dış yüzeydeki lifler buruşur, çekilir. 480°C ile 650°C aralığındaki alevlerde pomza yapısal bozulma ve parçalanmaya uğramaz. Pomza yaygın biçimde gaz boşlukludur. Oluşumu sırasında, bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terketmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan, permeabilitesi (geçirgenliği) düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir.”

Mineralojik yapısına bakıldığında ise, çoğu pomza çeşidinde ağırlıkça %60'ın üzerinde SiO_2 bileşiğine rastlanmıştır ve bunu %14'ün üzerinde bir oranla Al_2O_3 takip etmiştir (Döylen ve Aksoy 2013). Çimentonun yapısında da Si minerali oldukça yüksek oranda bulunmaktadır. Pomza agregası ile ortak olan bu özellik araştırmacıları, pomzanın ince öğütüldüğü takdirde çimento ile yer değiştirebilen bir katkı malzemesi

olarak kullanılması düşüncesine sevk etmiştir. Tapan vd. (2012), Van ve Ağrı yörelerinde bulunan farklı türdeki pomzaları çimento incelik derecesinde öğütürerek ve %5, %10, %20, %30 oranlarında çimentoyla yer değiştirerek numuneler üretmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde 3, 7, 28 ve 90'ıncı günlerde basınç dayanımı testi gerçekleştirmişlerdir. Erken dayanımlarda, pomzanın etkisi sadece %5 yer değiştirme oranında olumlu sonuçlar verirken diğer oranlarda basınç dayanımının, kontrol numunesi dayanımının gerisinde kaldığını belirtmişlerdir. 28. günden sonra ise, pomza yer değiştirme oranı arttıkça, basınç dayanımının da paralel olarak arttığını raporlamışlardır. Pomzanın olumlu etkilerinin ileriki yaşlarda ortaya çıkması ise puzolanik aktiviteye dayandırılabilir.

Pomzanın puzolanik etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışma ise Binici ve Bodur (2005) tarafından yürütülmüştür. Araştırmacılar dört farklı bölgeden aldıkları pomzaları öğütüp çimento ile belirli yüzdelerde yer değiştirerek kullanmışlardır. Bütün karışımlarda agrega olarak kum kullanmışlardır ve öğütülmüş pomzanın etkisini gözlemleyebilmek için sadece çimento, su ve kum kullanarak referans numunesi üretmişlerdir. Yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda pomzaların %10-%30 yer değiştirme oranıyla kullanılması durumunda basınç dayanımını önemli ölçüde arttırdığını, %30'dan fazla kullanıldığında ise negatif etkilediğini belirtmişlerdir.

KÇK'da karşımıza çıkan en büyük problemlerden biri, birim ağırlığın yüksek olmasıdır. Tatlıdil ve Sancak (2013), pomza agregasının düşük birim ağırlığından faydalanarak, yük taşıyıcılık özelliği olmayan bölme panel duvar üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bunun için farklı çimento dozajları belirleyerek numuneler üretmişlerdir. İşlenebilirliği sabit tutmak amacıyla akışkanlaştırıcı katkı kullanmışlardır. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğilme ve basınç deneyleri sonucunda pomza agregasının duvar gibi elemanların üretiminde kullanmak için yeterince dayanımlı olduğu ve bunun yanında yalıtım amaçlı olarak da kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

2.2.1.2. Zeolit kullanımının KÇK üzerindeki etkileri

Etimolojik olarak “zeolit” kelimesi incelendiğinde eski Yunancada; zeo: kaynama, lithos: kaya, sözcüklerinin birleşimi olan zeolithos: kaynayan taş sözcüğünden günümüze kadar geldiğini söylemek mümkündür (Şahin'in 2017'de bildirdiğine göre; Coombs vd. 1998).

Cejka vd. (2007) zeolitler hakkındaki görüşlerini aşağıdaki şekilde belirtmişlerdir:

“Zeolitler, çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle endüstriyel hammadde kaynakları içerisinde kullanım alanları hızla yaygınlaşan, son yıllarda teknolojik gelişmelerin paralelinde ileri teknoloji ürünlerinin üretiminde de önemli bir yer kazanan, ekonomik değere sahip mineral türleridir. Bir zeolit minerali, üç boyutlu kafes yapısına sahip kristalin halde bulunan bir alüminosilikat olarak tanımlanabilir. Bu kafes yapısı ile zeolit mineralinde moleküler çapta, eş boyutlu gözenekler oluşmakta ve olağanüstü bir yüzey alanı ortaya çıkmaktadır.”

Gülen vd. (2012) ise zeolitlerin oluşum şekillerini şu şekilde açıklamışlardır:

“a) Suyu tuzlu (kapalı) göllerde volkanik malzemenin birikip göl suyu ile reaksiyonu sonucu oluşan yataklar.

b) Tatlı veya tuzlu açık göllerde volkanik malzemenin birikip göl suyu ile kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan yataklar.

c) Kıyıda veya derin denizel ortamda volkanik malzemenin birikip deniz suyu ile reaksiyonu sonucu oluşan yataklar.

d) Düşük ısılı gömülme metamorfizması sonucunda, Al-Si'lusedimanter ya da volkanik malzemelerden oluşan zeolit yatakları.

e) Hidrotermal ya da sıcak kaynak sularının Al-Si'lu malzemeye etkisi sonucu, bu malzemenin bozulması sonucu oluşan yataklar.”

Literatüre bakıldığında, inşaat sektöründe zeolit in çoğunlukla çimento ile ikame malzeme olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir (Canpolat ve Yılmaz 2002; Kılınçarslan 2007; Yıldız vd. 2010; Sevim ve Okumuş 2011; Bilim 2011; Markiv vd. 2016). Zeolit in, klinker ile birlikte öğütölerek, katkılı çimentoların üretildiğı çalışmalar mevcuttur (Dayı vd. 2013). Ancak agrega olarak kullanıldığı çalışmalara rastlamak da mümkündür (Sarıkaya vd. 2009).

Zeolit agregası kullanılarak üretilen betonlarda gerçekleştirilen ses iletkenliğı deneyleri sonucunda, normal agregalı betonlara göre zeolit agregalı betonların ses iletkenliğinin daha az olduğı gözlemlenmiştir (Kim vd. 2018).

Betonda içsel kürlenme yapmak amacıyla zeolit agregalarının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Zhang vd. (2017), zeolit agregasının yüksek su emme kapasitesini göz önünde bulundurarak, kuruma büzölmesini engellemek amacıyla zeolit agregalarının bünye içerisinde potansiyel su rezervi görevi göreceklerini düşündükleri bir çalışma yürütmüşlerdir. Bunun için, 0,18 mm tane boyutlu zeoliti olduğı gibi ve 500 °C’de 30 dakika boyunca tutup kalsine ederek kullanmışlardır. Numunelerin 28 günlük büzölme sonuçları karşılaştırıldığında, normal zeolit ilave edilen karışımların büzölme değeri kontrol karışımına göre %30 daha az, kalsine zeolit ilave edilen karışımların büzölmesinin ise %60 oranında daha az olduğunu bildirmişlerdir.

2.2.2. Değişik kür yöntemleri

Çimento hidrolik bağlayıcılık özelliği gösteren bir malzemedir ve teorik olarak KÇK’larda su/çimento değerinin 0,42 ya da daha büyük olması çimentonun hidratasyonu için yeterlidir. Ancak bu durum sadece laboratuvar ortamında gerçekliğini korur. Uygulamada KÇK yüksek veya düşük sıcaklık, aşırı rüzgar, yoğun buharlaşma gibi çevresel etkenlere fazlasıyla maruz kalmaktadır. Gerekli olan su azaldığında ve bağıl nem de %80’in altına düştüğünde ise hidratasyon duracak ve dayanım beklenen değerlerin altında seyredecektir (Newman 2003; Turgut 2015).

Su kaybını önlemek ya da kaybedilen suyu geri kazanmak amacıyla uygulanan geleneksel kür yöntemleri; naylon ya da polietilen bir örtüyle yüzeyi kaplamak, spreyleme veya sulama yoluyla yüzeyi nemli tutmak ve kimyasal kür katkıları kullanmak sayılabilir (Taylor 2000; Özdemir 2016).

2.2.2.1. Buhar kürü

Kısa sürede kalıcı mukavemet istenilen durumlarda veya soğuk havalarda imalat yapabilmek için kullanılan yöntemlerden biri buhar kürüdür. Normal koşullarda 28 günde elde edilebilecek dayanım buhar kürü ile 24-25 saat gibi kısa sürelerde elde edilebilmektedir (Mamlouk ve Zaniewski 1999). Bilindiği gibi yüksek sıcaklıklarda ve ortamın neme yeterince doymun olduğu durumlarda hidratasyon hızı artmaktadır. Ortamı ısıtmak için gerekli ısı buhar kürü ile sağlanabilir (Türkel ve Alabaş 2002).

2.2.2.2. Sıcak su kürü

KÇK’nın basınç dayanımının erken tayin edilmesi gereken durumlarda sıcak su kürü uygulamasına gidilebilmektedir. Bu yöntemin oturduğu ana mantık ise hidratasyonun sıcaklık dolayısıyla çabuk ivmelenmesi ve saatler içerisinde elle tutulur, güvenilir bir referans basınç dayanımına ulaşılabilmesidir.

Sıcak su kürünü; kaynar su kürü ve sıcak su yöntemi gibi başlıklar altında incelemek mümkündür. Kaynar su kürü yönteminde; numuneler üretilip kalıplara yerleştirildikten 23 saat sonra, kalıplarından çıkarılıp 3,5 saat süresince kaynar suda kürlenmektedir. Kür işlemi bittikten 28,5 saat sonra ise dayanım testi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ani ısıtma soğutma çevrimine sahip olmasından dolayı bünyede termik çatlamalara neden olabilmekte ve işlem sıcaklığının yüksekliği nedeniyle de olası kazalar ve yaralanmalar açısından tehlike arz etmektedir. Elde edilen hızlandırılmış dayanımlar ise genellikle standart dayanımlara yakın seyrettiği için araştırmacılarca kullanılmaktadır.

Sıcak su yönteminde, numuneler üretilir üretilmez 35 °C deki suya yerleştirilmekte, 23,5 saat sonunda çıkarılıp 24 saat sonunda denenmektedir. İşlem sıcaklığı düşük olduğu için KÇK bünyesi zarar görmemekte, böylece basınç dayanım değerlerinin dağılımı düşük olmaktadır. Fakat yine işlem sıcaklığının düşüklüğü nedeniyle basınç dayanım değerleri de düşük olmakta ve bu da tahminin hassasiyetini olumsuz etkilemektedir (Kurbetçi ve Öztekın 2011).

2.2.3. Katkılar

Katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında KÇK'larda çok düşük miktarda ve genellikle kullanılan çimento miktarının hacimce belli bir oranına göre katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Zorlu iklim koşulları altında yapılacak üretimlerde, erken ya da geç dayanımın istendiği durumlarda çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile KÇK üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş özellikleri geliştirirler.

2.2.3.1 Kimyasal katkılar

Kimyasal katkılar KÇK'nın akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliği ve don dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar (Anonim 2).

KÇK üretiminde kullanılması gereken çimento miktarı azaltılmaksızın veya dayanımdan ödün vermeksizin üretilen KÇK'nın, akıcı ve kolay yerleşebilir olmasının sağlanması gerekmektedir. Bu akıcılığın sağlanabilmesi için akışkanlaştırıcı ve süperakışkanlaştırıcı katkılar kullanılmaktadır. Bu katkılar uygun koşullarda kullanılarak KÇK içerisine katıldığında aynı işlenebilmeyi sağlamak koşulu ile karışım suyu miktarında azalmalar sağlayabilmektedirler. Karışım suyunu azaltmadan kullanıldıklarında ise işlenebilirliği önemli ölçüde arttırarak pompalanabilirliği arttırırlar. Katkı kullanımı, s/ç oranını sabit tutarak, su ve çimento miktarını azaltıp ekonomik yararlar sağlanmaktadır (Topçu vd 2004).

Normal akışkanlaştırıcılar beton içine hava sürükleyerek ve çimento tanelerinin birbirlerine yapışmasını, topaklanmasını önleyerek etki göstermektedirler. Akışkanlaştırıcılar, çimento taneleri tarafından adsorbe edilmeleri sonucu tane yüzeyine çökeler. Tane yüzeyine çökelen bu maddelerin oluşturduğu film negatif elektrik yüklüdür. Bu şekilde negatif elektrik yüklenen taneler birbirlerini ittiklerinden bu maddelerin dağıtıcı etkisi ortaya çıkar. Bu maddelerin topaklanmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbirleri üzerinde kaymalarını kolaylaştırdıklarında yağlayıcı etki göstermeleri, betonun iç sürtünmesi azaltır, bu da betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına neden olmaktadır (Anwar 2010).

KÇK bileşenleri bir araya getirilip elde edildiği andan, plastik şekil değişimini tamamlayana kadar geçen süreye priz süresi denilmektedir. İlk priz genellikle döküm anından itibaren iki saat içerisinde gerçekleşmektedir. Ancak yüksek hava sıcaklığı, düşük rölatif nem, şiddetli rüzgar, hızlı buharlaşma gibi durumlarda KÇK çökme değerini çabuk kaybetmekte ve öngörülen priz başlangıç süresi yerleştirme işlemlerini tamamlamak için yeterli olmamaktadır. Priz geciktirici katkıların kullanılmasıyla bu tür sorunlar kalıcı bir probleme sebep olmadan aşılabilir (Erdoğan ve Erdoğan 2007).

Soğuk iklim koşullarında KÇK'nın priz alması uzun zaman alabilmektedir. Bazı durumlarda ise don riski nedeniyle üretimin mümkün olan en kısa zamanda bitirilmesi gerekebilmektedir. Priz hızlandırıcı katkıları, çimento ile su arasındaki hidratasyonu

hızlandırarak priz süresini kısaltma yönünde olumlu etkiler sağlamaktadırlar. Bu katkılar iklim koşullarının zorlu olduğu ortamlar dışında, erken mukavemet kazanımı istenen çalışmalarda da kullanılabilir. Böylece; kalıp sökümü erken yapılabilir, beton kür süresinde kısaltmalar sağlanabilir, prekast üretimler daha seri hale getirilebilir ve yapılar daha erken servise girebilir.

Priz hızlandırıcı katkılar KÇK karışım suyuna ilave edilerek kullanılmaktadır. Kuru karışım üzerine direk ilave edilmemelidir. Karışım suyunun %70'i kullanılıp karıştırıldıktan sonra, geri kalan suyla birleştirilerek karışıma ilave edilmelidir. Doğrudan taze betona ilave edilmesi durumunda, yeterli homojenliği sağlayabilmek için karışım süresi hızlı devirde en az 1-2 dakika uzatılmalı veya bu süre laboratuvar denemelerinde belirlenmelidir (Yalçın ve Gürü 2006; Anonim 3).

Hava sürükleyici katkılar genellikle soğuk hava koşullarında üretim yapılacak bölgelerde tercih edilmektedir. KÇK'nın donma direncini arttırmak için kullanılırlar. Buza dönüşen suyun hacmi artar ve bünye içerisinde gerilmelere yol açar. KÇK'dasuyun bulunacağı yerler genellikle çimento hamuru içerisindeki jel ve kapiler boşluklar ile agregalar içinde ve arasındaki boşluklardır. Buza dönüşen suyun hacmi yüzde 9 artar. Bu hacim genişlemesini karşılayacak boşluğu olmayan KÇK, kritik doygunluğa erişir ve hacim genişmesi sonucu itilen suyun yaptığı hidrolik basınç yüzünden yüksek gerilmeler meydana gelir.

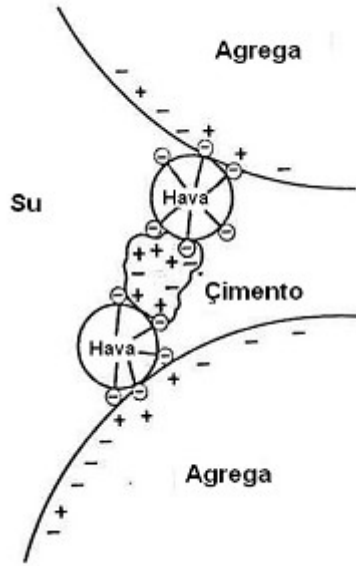
Hava sürükleyici katkılar, bünye içerisinde hacim genişlemelerinin ilerleyebileceği kontrollü hava boşlukları oluşturmayı sağlamaktadır. Bu katkılar yüzey gerilmelerini azaltır, hava boşluklarının bir araya gelmesini önler, ve hava boşluklarını çimento ve agrega parçalarına sabitlerler. Böylece küçük hava boşluklarının KÇK içinde kalmasını sağlarlar. Bu küçük boşlukların çapı 1 mm'den az olup çoğunlukla 0.01 mm ile 0.1 mm arasındadır. Hava sürükleyici katkılar "sümfaktant" denilen kimyasal gruba dahildirler. Moleküllerin bir ucu hidrofildir (su isteyen) ve artı veya eksi elektrik yükü taşır. Diğer ucu suyla karışmaz ve hidrofobiktir. Hava boşluklarının etrafında su iten (repel) bir film oluştururlar (Özyıldırım 2007).

Özyıldırım (2007) tarafından bildirildiğine göre; (Kosmatka 2002) Hava sürükleyicilerin KÇK'nın donma direncini artırmasının yanında daha başka faydaları da bulunmaktadır. Yuvarlak şekillerinden dolayı KÇK'nın işlenebilirliğini yükseltirler. Dolayısıyla daha düşük su-çimento oranı veya daha iyi işlenebilirlik elde edilir. Böylece daha yüksek dayanım ve dayanıklılık elde edilmiş olur. Ayrışma ve terleme daha azdır, çünkü daha az su kullanılır ve hava boşlukları küçük çimento ve agrega parçalarının çökmesini önlemektedir.

2.2.3.2. Mineral katkılar

Çimento hidrolik bağlayıcı özelliği sayesinde KÇK'ların yüksek mukavemetli ve dayanıklı olmasını sağlayan ana bileşendir. Ancak maliyet açısından düşünmemiz gerektiğinde KÇK içerisindeki en maliyetli bileşenin yine çimento olduğu gerçeği karşımıza çıkar. Bunun yanı sıra çimento üretimi hem çok yüksek enerji gerektiren hem de fazlasıyla karbondioksit salınımı yapan bir süreçtir.

Mineral katkılar çimentonun daha az kullanılmasını sağlamakla birlikte daha az sera gazı salınımı, daha az enerji tüketimi ve atık olduğu durumlarda çevre kirliliği yapabilecek materyallerin dönüştürülmesi açısından önemli özellikler sergilemektedir (Anonim 4).



Şekil 2.1. Agregalar arası hava boşlukları (Serinoğlu 2011)

Mineral katkılar aynı zamanda puzolanlar olarak da adlandırılmaktadır. Puzolanlar, tek başlarına bağlayıcı özellik göstermedikleri halde, tane çapları çok küçük olduğu için, su bulunan ortamlarda ve uygun sıcaklık sağlanabildiği takdirde çimentonun reaksiyon fazlası kireci ile tepkimeye girerek düşük de olsa bağlayıcı özellik kazanabilen alüminli ve silisli malzemelerdir. Puzolanik katkı maddeleri, doğada serbest halde bulunabildikleri gibi bir sanayi kuruluşunun üretim prosesleri sonucu açığa çıkmış atık malzeme veya yan ürün olabilirler (Şimşek 2004).

Doğal mineral katkılar, volkanik kül, pomza, diatomik toprak, opalin şist, camısı alümino silikat, zeolitler olarak sıralanabilir.

Volkanik kökenli mineral katkılar, erimiş magmanın patlama esnasında atmosfere çıkması ve hızla soğuması ile oluşur. İçerisinde bulunan alumina silikatlar, suyun içindeki kalsiyum iyonları ile kimyasal reaksiyona girebilir. Magmanın şiddetli püskürmesi ile yüksek puzolanik camısı malzemeler oluşurken, daha zayıf püskürmeler, daha zayıf puzolanik külleri oluşturur.

Volkanik camlar, şiddetli volkanik püskürmeler esnasında bırakılan sıvı lavların soğuması sonucu oluşurlar. Bu malzemeler puzolanik aktivite karakteristiklerini esas olarak, düzensiz yapıdaki alumina silikat camlarından elde ederler. Küçük miktarlarda reaktif olmayan kuvars, feldspat ve mika gibi mineral kristalleri camısı faz içinde bulunabilir. İnce öğütülmeleri halinde puzolanik özellikleri yüksektir.

Volkanik küller ve traslar magma içerisinde gazlar açısından zengindir. Yeryüzüne çıktıktan sonra içerisindeki gazlar gözenek halinde şekillenir. Andezit, bazalt ve bazalt tüfü, genellikle kalite ve performans açısından yeterli değildir.

Killer ve killi zeminler, plaka veya çubuk şeklinde sahip, boyutları 0.002 mm'den daha küçük parçalardan oluşurlar. Küçük parçalar, orjinal kayaların daha az stabil olan bileşenlerinin kırılmasından meydana gelen ve çoğunlukla alumina silikat içeren kil minerallerinden oluşur. Şeyller, killer ile benzer bileşenlere sahiptir ancak su içerikleri killerden daha azdır. Kil mineralleri kristal yapılı olup, killerin ve şeyllerin hammadde formları puzolanik özellik göstermez. Ancak 700 °C ile 900 °C arasında ısıtılma ile kalsine olurlar ve puzolanik özellik kazanırlar. Isıl işlem killerin ve şeyllerin kristal yapılarını bozar ve yarı amorf şekle veya bozulmuş alumina silikat yapısına dönüştürür.

Diatomitler hücre duvarları silikadan oluşmuş, opal ve hidrate silika içeren, mikroskobik su bitkisi olan diatomların kalıntılarıdır. Bazı topraklarda bulunan bu organik kalıntılar %94 oranında silis içerirler. Diatomitlerin sahip olduğu puzolanik aktivite, içerdiği amorf silis miktarına bağlıdır. Yüksek miktarda kil minerali içeren diatomitlerde, killer puzolanik aktiviteyi azaltır. Bu yüzden bazı çeşitleri, 760 °C ile 1000 °C arasında ısıtılma yaparak puzolanik aktiviteleri artırılır (Anonim 5).

Silis dumanı, uçucu küller, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü olarak sıralanabilir. Bu mineral katkılar genellikle bir sanayi kuruluşunun üretimleri sonucu açığa çıkan atık malzemelerdir. Uçucu küller termik santrallerin, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu ise demir, krom gibi cevher işleyen fabrikaların üretimleri sonucu açığa çıkan yan ürünleridir.

Pulverize kömürün yanmasıyla büyük miktarı çok ince olan kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Çok ince olan küller sıcak hava akımının da etkisiyle uçarak bacadan çıkabilirken, ağır olan kül tanecikleri ocağın tabanına düşmektedir. Uçabilen kül tanelerinin etrafa yayılarak çevre kirliliği yaratmasını önlemek amacıyla, bacalarda filtrelenerek tutulması yoluna gidilmektedir. Uçucu küller genellikle küresel şekle sahip olup, yüksek oranda amorf yapı gösteren taneciklerdir. Bünyelerinde SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi oksitleri yüksek miktarda bulundurmaktadırlar. Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip olmalarının yanında çok ince yapıya da sahip oldukları için, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiklerinde hidrolik bağlayıcı özellik göstermektedirler. Uçucu küller C ve F tipi olarak sınıflandırılmaktadır. F tipi uçucu küllerdeki CaO oranı %10'dan düşük olduğu için sadece puzolanik özellik gösterebilirler. C tipi uçucu küllerde ise CaO oranı %10'dan fazla değerlerde seyretmektedir. Bu sayede hem bağlayıcı hem de puzolanik özellik sergileyebilmektedirler (Erdoğan 2003).

Metal alaşımların üretim endüstrisinde, yüksek saflıktaki kuvars, 1900°C-2000°C gibi yüksek sıcaklıklarda fosil yakıtlar yardımıyla ergitilmektedir. Bu proses esnasında çoğunluğu SiO 'dan oluşan gazlar ortaya çıkmaktadır. Yüksek sıcaklığa sahip gaz halindeki SiO , fırının soğuk bölgelerine temas etmesi sonucu ani bir şekilde yoğunlaşmakta ve bunun sonucunda düzgün bir şekilde kristalleşmeden amorf yapıya sahip SiO_2 'ye dönüşmektedir. Çok ince taneli ve amorf yapıya sahip olmasının yanında yüksek oranda SiO_2 içeriği silis dumanına mükemmel bir mineral katkı olma özelliği bahsetmektedir (Erdoğan 2003; Özcan 2005). Silis dumanı taze halde KÇK'nın

işlenebilirliğini azaltmakta ise de, katılaşmış KÇK'nın birçok özelliğini iyileştirmektedir. Silis dumanının KÇK içindeki davranışı fizikokimyasaldır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento hamuru matrisindeki, özellikle de agrega-çimento ara yüzeyindeki, boşluk sisteminin boyutunun küçültülmesidir. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum-hidroksit (kireç) kristallerini kalsiyum-silikathidrata dönüştüren puzolanik reaksiyondan oluşmaktadır. Silis dumanının kullanılması, KÇK asit ve sülfat saldırılarına karşı durabilitesini artırmakta, boşluk oranını ve geçirimsizliğini azaltmaktadır (Atış vd. 2003).

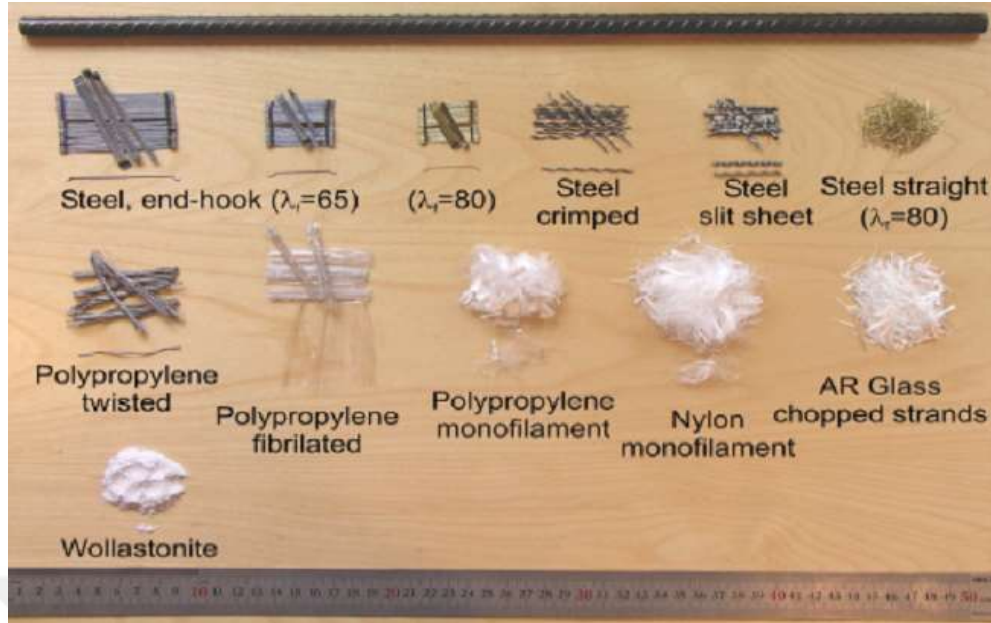
Yüksek fırın cürufları, çeşitli metalürji tesislerinin ham demir üretimleri esnasında açığa çıkan yan ürünlerdendir. Yüksek fırın cüruflarının özellikleri üretildikleri fabrikalara göre çok çeşitli kimyasal yapılara ve özelliklere sahip olabilmektedir.

Bilim'in (2006) bildirdiği üzere; Newman ve Choo (2003)'nun çalışmalarından elde edilen bilgilere göre;

“Fırınlarda en yaygın olarak kullanılan yakıt kok kömürü olup, cevherin yabancı maddelerden arındırılmasına yardımcı olması için flux madde olarak bir miktar kalker taşı da cevherle birlikte üst uçtan fırına girmektedir. Kok kömürünün karbonu, cevherin içerisindeki demir oksitini oksijeniyle birleşerek karbondioksit ve karbon monoksit olarak fırından ayrılır. Böylece, geride eriyik durumdaki demir ile birlikte, kireç, kok kömürünün külü, silis, alümin, karbon, mangan, fosfor ve sülfür gibi yabancı maddelerden oluşan ve “cüruf” adı verilen malzeme topluluğunu bırakır. Yoğunluk farkından dolayı, demir ve cüruf ayrı çıkışlarla dışarı alınmaktadır. Fırından çıkarılan cüruf yaklaşık olarak 1400-1600 °C sıcaklıkta olduğu için, kullanılmadan önce soğutulması gerekmektedir. Uygulanan soğutma tekniklerine de bağlı olarak cüruf farklı özellikler kazanmaktadır. Cürufun uygun bir forma getirilmesi ve bağlayıcı bir malzeme olarak kullanılması için granülasyon ve peletleme (hava granülasyonu) olmak üzere iki farklı yöntem mevcuttur. Her iki yöntemde de cürufun düzensiz bir camsı yapı kazanması için hızlı bir şekilde Soğutulması esastır. Cürufun yavaş bir şekilde soğumasına izin verilmesi durumunda ise, bağlayıcılık değeri olmayan kristal bir yapı ortaya çıkmaktadır.”

2.2.4. Lifler

KÇK, tipik olarak yorulma, kaviteasyon, aşınma, çarpma dayanımı, çatlama dayanımı ve tokluk açısından zayıf bir performans sergiler. KÇK'nın bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde, KÇK içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu KÇK'nın yukarıda anılan zayıf özellikleri iyileştirilerek güçlendirilmiş olur. Bu kompozit malzemenin kullanılması sonucu, belli bir yapı için gerekli kütle narinleştirilerek tasarımlanabilme olanağına kavuşmuş olur.



Şekil 2.2. Değişik lif tipleri (Yazıcı 2016)

Şimşek'in 2004'te bildirdiğine göre KÇK'da lif kullanmanın getirileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

“Dinamik yükleme veya çarpma mukavemetini arttırmak, malzemenin dökülme parçalanma ve dağılmasını önlemek için lif ilave edilir.

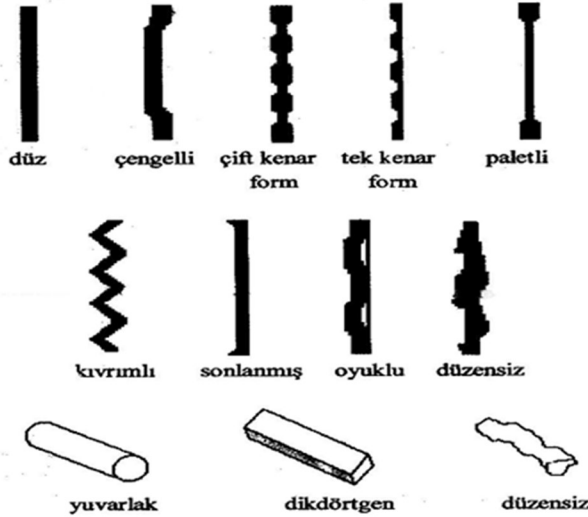
Yapıdaki çekme, eğilme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı ve zor kesit tesirlerine karşı yapı elemanı, çelik donatı ve lif ile kuvvetlendirilerek dayanımı büyük ölçüde artırılabilir.

Lif duktilitesi KÇK'ya göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı KÇK'ya göre daha dayanıklıdır.

KÇK içerisinde bulunan değişik gerilmeler, malzeme içerisindeki çok küçük çatlaklar sebebiyle düzensizdirler. KÇK içerisine katılan lifle, çimento matrisini takviye ederek KÇK içerisinde üzerinden gerilmelerin geçtiği küçük köprüler olarak rol oynar. Dağılmış olan liflerin çatlak sonlarında bitişik olmasından dolayı lif, matristeki çatlağın yayılmasına yol açan gerilmeleri kendi üzerine ve çatlamamış bölgelere nakleder. İletilen bu gerilmeler çatlağın diğer yanına daha düşük kuvvetler olarak nakledilir. Böylece lifli KÇK; yorulma ve kesme kuvvetlerine karşı yüksek dayanım, çok yüksek enerji tutma kapasitesi ve darbe dayanımı, yüksek elastik mukavemet ve çatlamaya karşı yüksek dayanım sağlar.”

Çelik lifler, düşük karbonlu C 1008'den üretilmişlerdir. En belirgin özellikleri; yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 N/mm² olup elastik limitleri %0,2'nin altındadır. Çelik lifler farklı çeşit ve en kesitlerde bulunabilmektedir. Çapları ise genel olarak 0,13 ile 1,0 mm arasında olup uzunluk/çap oranları 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları ise 13 mm'den 70 mm'ye kadar değişebilmektedir.

Çelik liflerin KÇK içerisindeki performansı bu malzemelerin uzunluk/çap oranı, liflerin geometrik yapısıyla alakalıdır. Dalgalandırılmış ve uçları bükülmüş liflerin, Çekme kuvvetleri etkisi ile harç fazından ayrılması düz liflere göre daha zordur. Liflerin belli bir gerilme değerinden sonra matristen sıyrılması, lifli betonun performansını en önemli yönde etkileyen faktördür. Bu olay, matrisin yapısı ile ilgili olmakla birlikte kullanılan liflerin geometrik yapısıyla da yakından ilgilidir.



Şekil 2.3. Çelik lif tipleri ve kesitleri (Yazıcı 2016)

Lif seçiminde en önemli husus lif boyunun, agrega maksimum tane çapının en az 1,5 veya 2 katı olması zorunluluğudur. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonlar yüksek dayanıma ihtiyaç duyulan ve zor koşullar altında kullanılan kompozitler olduğu için yüksek kaliteli agregaya gereksinim duyarlar. Bu nedenle agreganın şekli ve miktarı önemlidir. Lifli beton yapımında, maksimum tane çapı 32 mm olan betonlarda 16 mm'den büyük agrega oranı toplam agreganın %15 - %20'si arasında sınırlandırılır.

Petrokimya ve tekstil endüstrisinde yapılan araştırmalar sonucunda üretilen sentetik polimer lifler, beton teknolojisinde de kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Akrilik, aramid, naylon, polyester, polietilen ve polipropilen başlıca polimer esaslı liflerdir. Tümünün çekme dayanımları çok yüksektir. Sentetik liflerin kalitesi, çap ve narinliklerine bağlıdır. Bu lifler tekil ya da lif demeti halinde bulunurlar. Lif donatılı KÇK'larda kullanılanların uzunlukları 12 – 50 mm arasında değişmektedir. Oranları %0,05 – 6,5 arasında değişebilen sentetik lifler KÇK'nın kırılma direncini artırırlar. Lif donatılı KÇK'lar için dört noktalı eğilme deneyindeki eğilme dayanımı, liflerin elemandaki çatlakları köprülediği yerlerde yarı sünek bir davranış sergiler. Ancak yük tepe noktasını aştığında çok az bir enerji yutulmasıyla kırılır (Yaşar 2011).

Çizelge 2.2. Bazı sentetik liflerin özellikleri (Yaşar 2011)

Lif Tipleri	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Nihai Uzama (%)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Çap (µm)
Akrilik	1,17	207-1000	14,6-19,6	7,5-50,0	-	13-104
Aramid I	1,14	3620	62	4,4	-	12
Aramid II	1,44	3620	117	2,5	-	10
Naylon	1,16	965	5,17	20,0	260	23
Polyester	1,34-1,39	896-110	17,5	-	265	-
Polietilen	0,96	200-300	5,0	3,0	253	25-30
Polipropilen	0,90-0,91	310-760	3,5-4,9	15,0	160	18

Polipropilen lifler, bir petrol ürünü olan propilenin uygun katalizörler ile 25 – 30 atmosfer basıncı altında 100 °C’de polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Polipropilen lifleri günümüzde yumuşak çekim veya düzensiz çekim yöntemine (film yarma tekniği) göre elde edilir. Polipropilen liflerinin enine kesitleri genelde yuvarlak boyuna görünüşleri ise silindiriktir. Lif yüzeyi pürüzsüz görünür. Renksiz olarak üretilir. Üretim sırasında polimer sıvısı boyanarak istenilen renkte lif elde edilebilir. Polipropilen lifleri çeşitli uzunluklarda üretilebilir. Kullanım alanına bağlı olarak filament halde olabileceği gibi kesikli (stapel) şekilde de olabilir. Polipropilen liflerinin özgül ağırlığı çok düşük olup 0, 92 gr/cm³ tür. Bu lifin sudan da hafif olduğunu gösterir. Lifler 120 °C’ye kadar şekil değişimine uğramazlar, bu sıcaklık aşıldığında ise büzüşürler. Erime noktaları ise 170 °C civarındadır (Anonim 1).

Naylon, doğrusal poliamid tipi plastiklere verilen genel bir addır. Günümüzde KÇK içerisinde kullanılmak üzere geliştirilmiş naylon 6 ve naylon 66 olmak üzere iki çeşit naylon lif donatı bulunmaktadır. Çoklu iplikçik formunda KÇK içerisine karıştırılarak kullanılırlar. Nem dengesini korumada su emme özellikleri etkin rol oynar ve polipropilen liflerin sadece mekanik yönden bağlantı kurmasına nazaran, bu özellikleri sayesinde KÇK ile daha kuvvetli bağ oluştururlar (Yaşar 2011).

Cam liflerinin yapımında kullanılan temel hammadde, daha çok soda-kireç silikatları veya boraks silikatları bileşiminden oluşan camlardır. Cama kazandırılmak istenen özelliklere göre, katkı maddelerinin oranı değişebilmektedir. Bu nedenle cam liflerinin kimyasal yapısı kesin olarak verilememektedir. Buna rağmen silisyum dioksit ve kalsiyum karbonattan oluştuğu söylenebilmektedir. Ancak değişik amaçlar için ilave edilen, sodyum karbonat, alüminyum-hidroksit, magnezyum oksit ve borik asit oranları değişken olabilmektedir.

Cam lifler saydam ve düzgün yüzeylidirler. Ayrıca kesit görünüşleri yuvarlaktır. İncelikleri 2-13 mikron arasında değişmektedir. 6µ inceliğindeki 1 kg cam lifi yüzeyi 280 m²’dir. Cam lifleri mukavemetlerinin yüksek oluşu ile tanınmaktadır ve genellikle

kopma mukavemetleri 6-7,3 g/denye arasında değişmektedir. Bununla beraber ince liflerin mukavemeti kalın liflerden daha iyidir. Bunların kopma anındaki uzama yüzdeleri %2 civarındadır. Yoğunlukları 2,5-2,7 g/cm³ dür. Bu bakımdan alüminyuma benzerler. Fakat cam liflerinden yapılan yün camının özgül ağırlıkları 0,025'dir ki normal cam liflerine oranla düşük sayılmaktadır. Çünkü bu lifler büyük çapta geniş hacimli hava içermektedirler. Cam liflerinin içermiş oldukları nem miktarı %0,13-0,8 arasındadır. Kompozitlerde kullanılan cam liflerinin yoğunlukları yaklaşık olarak 2,11 g/cm³ ile 2,72 g/cm³ arasında değişmektedir. Cam liflerinin mukavemeti bulundukları ortam sıcaklığındaki artışla birlikte düşmektedir. Sertleştirilmemiş silikat cam liflerinin elastisite modülleri yaklaşık 52 GPa ile 87 GPa arasında değişmektedir. Lif ısıtıldığında elastisite modülü kademeli olarak artmaktadır (Anonim 1).

Karbon liflerinin üretiminde, organik kökenli hammaddelerin ısıtılması sonucu karbon dışındaki diğer atomlar uzaklaşmakta böylece karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmektedir. Bu filamentlerin kristalizasyonundan sonra yüksek mukavemetli lifler elde edilmektedir. Poliakrilnitril liflerinden, bitkisel esaslı hammaddelerden, katran tortusu ve ziftten, polivinilden klorür veya polivinilden klorür kopolimerlerinden üretilen karbon liflerinin özellikleri kullanılan hammaddeye, işlem sıcaklığına ve üretim aşamalarına bağlı olarak değişmektedir.

Karbon liflerinin yoğunluğu kullanılan hammadde ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 1,6-2,2 g/cm³ arasında değişlik göstermektedir. Karbon lif üretiminde kullanılan hammadde yoğunluğu 1,14-1,19 g/cm³ arasında değişmektedir. Elde edilen lif modülündeki artış grafitizasyon sıcaklığının artışı ile artmaktadır (Yaman vd. 2007).

3. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda, numune üretiminde kullanılmış olan malzemelerin özellikleri ve bu özelliklerin tayini için düzenlenen deneysel çalışmalardan, tasarlanan karışımlardaki malzeme oranlarından, sertleşmiş harç numuneler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel, mekanik ve durabilite deneylerinden bahsedilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Çalışmada, hidrolik bağlayıcı olarak Antalya Bölgesi'nde faaliyet gösteren Göltaş Çimento Fabrikası'nın ürünü olan, TS EN 197-1 CEM I 42,5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Ürün özelliklerinde belirtildiğine göre;

“CEM I Portland çimentosu üretimi için, kalker marn demir ve boksit hassas bir orantıyla birleştirilerek öğütülür. Elde edilen farin fırınlarda pişirilerek portland çimentosu klinkeri elde edilir. Daha sonra, Priz süresinin kontrol altında tutulması amacıyla kalsiyum sülfatla birlikte gerekli incelikte öğütülür. %5 miktarına kadar minör ilave bileşen (kalker) öğütme aşamasında eklenir. CEM I 42,5 R ve CEM I 42,5 N aynı klinkerden üretilir. Fakat CEM I 42,5 R daha yüksek reaktivite sağlaması için daha ince öğütülür. Böylece, CEM I 42,5 R priz alma süresinde önemli bir azalma olmadan daha yüksek erken dayanıma sahip olur. Bu çimento tipi, prefabrik, ön gerilmeli betonlar, sanat yapıları ve günümüzde toplu konut inşaatlarında yaygın olan tünel-kalıp uygulamalarına uygundur (Anonim 6).”

Çimento laboratuvar ortamında, yerden 10 cm yüksek ahşap bir platformun üzerinde, taşlaşmayı önlemek için üst üste en fazla 6 torba koyarak ve erken hidrasyonu engellemek için, herhangi bir nem girişine olanak vermeyecek şekilde plastik örtülerle örtülerek deneysel çalışmalar süresince muhafaza edilmiştir.

Çimentonun özgül ağırlığı TS-EN 196-6'ya göre, Le Chatelier balonu ile, 64 g çimento ve tiner kullanılarak tayin edilmiştir. Mikroyapı özelliklerinin tayini için, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezi'nde (İYTE MAM), XRF analizi gerçekleştirilmiştir ve kızdırma kaybı analizi yapılmıştır.

3.1.2. Karışım suyu

Hidrasyon reaksiyonlarının düzgün bir şekilde gerçekleşebilmesi ve harç karışımlarının işlenebilir olması için su, çimento bağlayıcılı karışımlarda en önemli bileşenlerden biridir. Bu çalışmada Antalya şebeke suyu, işlem yapılmaksızın olduğu gibi kullanılmıştır. Turhan Y. Erdoğan'ın Beton (2007) adlı duayen kitabında belirttiği gibi;

“Su içilebilir ise, beton içerisinde kullanmak uygundur.”

3.1.3. Agregalar

Çalışmada, Burdur yöresi asidik pomzası ve Ege Zeolit Fabrikası'nın ürünü zeolit olmak üzere iki farklı tür hafif agrega, aynı karışım içerisinde, hacimce değişen yüzdelerde kullanılarak farklı kompozisyonlar elde edilmiştir. Kaynak taramalarına göre her iki agreganın da kullanıldığı çalışmalar araştırmacılarca yürütülmesine rağmen, bu agregalar genellikle ayrı ayrı kullanılmışlardır.

Üretilen numunelerin pozitif ve negatif özelliklerini, KÇK ile karşılaştırabilmek amacıyla, kırma kum agregası kullanılarak kontrol numuneleri üretilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan agrega çeşitleri: **a)** Kırma kum, **b)** Pomza, **c)** Zeolit

3.2. Metot

3.2.1. Agregalar üzerinde gerçekleştirilen test ve analizler

3.2.1.1. Agregaların fiziksel özellikleri

Karışımlarda kullanılacak agregaların öncelikle özgül ağırlıkları tayin edilmiştir. Bunun için Le Chatelier balonu, balon joje ve mezür olmak üzere üç farklı deney yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, mezür kullanılarak yapılan ölçümlerin diğer deney araçlarıyla yapılan ölçümlere göre fazla sapma gösterdiği tespit edildiğinden dolayı bu değerler kullanılmamıştır. Agregaların özgül ağırlığı, diğer iki yöntemden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması hesaplanarak bulunmuştur.



Şekil 3.2. a) Le Chatelier Balonu, b) Balon Joje, c) Mezür

Belirtilmesi gereken bir diğer önemli nokta ise, özgül ağırlık hesaplamalarında agregaların suya doymun kuru yüzey (SDKY) halde kullanıldığıdır. Pomza ve zeolit agregaları boşluklu yapılarından dolayı, su emme kapasiteleri yüksek agregalardır. Kuru halde karışıma katıldıkları takdirde, çimentonun hidrasyonu için gerekli olan karışım suyunu emerek dayanım kayıplarına sebep olabilmektedirler. SDKY hal için, agregalar 24 saat boyunca su içerisinde bekletilerek suya doymun hale getirilmişlerdir. Sonrasında ise ısıtıcı plaka üzerinde 100 °C’de, sürekli karıştırılarak ve Abrams konisiyle kontrol edilerek SDKY hal elde edilmiştir. Abrams konisi yönteminde, SDKY hale geldiği düşünülen agreg, iki parça halinde koninin içerisine doldurularak, her bir parça 20 tokmak darbesiyle sıkıştırıldıktan sonra koni kaldırılmaktadır. Agreg taneleri dağılma göstermeden, birbirini tutar halde koni şeklini koruyorsa SDKY hale ulaşılammış demektir. Eğer dış yüzeyler bir miktar dağılıp, merkezdeki agregalar az da olsa birbirlerini tutabiliyorsa SDKY hal elde edilmiş demektir. Koni kaldırıldığında bütün agreg taneleri dağılıyorsa deney tekrarlanmalıdır.



Şekil 3.3. Isıtıcı plaka yardımıyla agregaların SDKY hale getirilmesi



Şekil 3.4. Abrams konisi ile SDKY hal tayini

Agregaların su emme oranı tayini için, SDKY haldeki bir miktar agregata tartılıp ağırlığı not edilerek buna W1 denilmiştir. Sonrasında W1 ağırlığındaki agregata etüve konularak mutlak kuruluğa kadar kurutulmuş ve bu halde tartılarak elde edilen ağırlığa W2 denilmiştir. Kütlece % su emme değeri ise aşağıdaki formül (3.1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ su emme} = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100 \quad (3.1)$$

Klasik etüv yönteminin yanında, agregaların su emme %'si nem ölçer cihaz ile hızlı bir şekilde ölçülmüştür. Karışım hesaplarında kullanılan su emme değeri, bu iki yöntem ile elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.



Şekil 3.5. Agregaların ağırlıkça yüzde su emme değerlerini hesaplamada kullanılan nem ölçer cihaz

Elek analizi deneyi sonucunda, agregaların tane boyut dağılımları belirlenmiştir. Harç üretmek istenildiği için 4 mm göz açıklıklı elek altında kalan, tane boyutuna sahip agregalar kullanılmıştır. Kullanılan elek göz açıklıkları sırasıyla 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm olarak belirlenmiştir. Elekler, göz açıklıklarına göre küçükten büyüğe olacak şekilde, en alttaki eleğin en küçük göz açıklığına sahip olması şartı ile dizilerek, en üstteki yani 4 mm göz açıklıklı eleğe bir miktar numune koyularak sarsma cihazı ile sarsılmıştır. Her bir elek üstünde kalan agregata miktarları

tartılarak, akabinde elek üstü yığışımı ağırlıklar hesaplanmıştır. Elek üstü yüzde yığışımı değerler hesap edilerek agregaların incelik modülleri tayin edilmiştir. Granülometri eğrileri logaritmik olarak, elekten geçen yüzde yığışımı değerler kullanılarak çizilmiştir. Kullanılan standartlar ise TS EN 933-1 ve ASTM C-136'dır.



Şekil 3.6. Agregaların tane boyut dağılımını belirlemede kullanılan elek seti ve sarsma cihazı

Agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerlerini hesaplayabilmek için hacmi bilinen bir kap kullanılmıştır. Gevşek birim ağırlık için darası alınan kaba, agrega taneleri bir kürek yardımıyla 5 cm mesafeden doldurulmuştur. Kap tamamen doldurulduktan sonra yüzeyi bir şiş yardımıyla, bastırmamaya dikkat edilerek düzeltilmiştir. Sıkışık birim hacim ağırlık için, aynı kap bu defa üç aşama halinde ve her aşamada 25 şiş darbesiyle şişlenerek doldurulmuştur. Şişleme işlemi ile agrega taneleri

sıkıştırılmıştır. Her iki yöntemle doldurulan kapların tartılarak elde edilen ağırlık değerlerinin, kap hacmine bölünmesiyle gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıklar elde edilmiştir.



Şekil 3.7. Agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

3.2.1.2. Agregaların mikro yapı özellikleri

Agregaların kimyasal bileşenlerini belirleyebilmek ve bu bileşenlerin bünye içerisinde hangi oranlarda bulunduğunu tespit edebilmek amacıyla, agrega numuneleri 0,063 mm göz açıklıklı elekten elenerek, elek altında kalan toz numunelere İYTE MAM'da X-Işını Floresans Spektrometrisi analizi yapılmıştır.

X Işını Difraktometresi (XRD) analizi ile, toz agrega numunelerinin kristal ya da amorf gibi yapı türlerinden hangisine dahil olduğu incelenmiştir.

3.2.2. Karışımların hazırlanma prosedürü ve malzeme oranları

Karışımlarda 200 kg/m^3 , 300 kg/m^3 ve 400 kg/m^3 olmak üzere üç farklı çimento miktarı belirlenmiştir. Kontrol karışımları yapılarak, düzgün işlenebilirlik için en uygun su/çimento değerinin 0,6 olduğu hesaplanmıştır ve bu oran her karışım için sabit tutulmuştur. Karışıma girecek malzeme miktarları 1 m^3 hacim için hesaplanarak, üretimler esnasında sürüklenecek hava miktarı her karışım için 10 dm^3 olarak kabul edilmiştir. Çimento, su ve havanın hacmi toplanarak 1 m^3 hacimden çıkarıldıktan sonra elde edilen değer agrega hacmi olarak alınmıştır. Bu hacim, pomza ve zeolit agregaları arasında aşağıdaki tabloda verilen oranlar doğrultusunda paylaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Karışımlarda kullanılan malzeme miktarları ve karışım kodlamaları

Karışım	Çimento (kg/m ³)	Zeolit (Hacimce %)	Pomza (Hacimce %)
X	200	70	30
Y	200	60	40
Z	200	50	50
W	200	40	60
T	200	Kontrol	Kontrol
A	300	70	30
B	300	60	40
C	300	50	50
D	300	40	60
E	300	30	70
F	300	Kontrol	Kontrol
1	400	70	30
2	400	60	40
3	400	40	50
4	400	50	60
5	400	30	70
6	400	Kontrol	Kontrol

Karışımlar laboratuvar tipi 2 dm³ hazneli mikserde, sırasıyla bir miktar karışım suyu, pomza agregası, zeolit agregası, çimento ve geriye kalan karışım suyu ilave edilerek 3'üncü devirde 2 dakika boyunca karıştırılmıştır. Hazne tabanı, homojenlik kaybı olmaması için bir spatula yardımıyla kontrol edilerek yapışan taneciklerin karışımın içerisine dönmesi sağlanmıştır. Bu işlemten sonra bileşenler 7'inci devirde 2 dakika boyunca tekrar karıştırılmışlardır.

**Şekil 3.8.** Harç karışımlarının üretildiği mikser

3.2.3. Taze hal deneyleri

3.2.3.1. Akma tablası deneyi

Bu deney yöntemiyle, taze harç karışımının kıvamını ve işlenebilirliğini ölçmek amaçlanmıştır. Yeterli işlenebilirliğe sahip olmayan harçlarda, taze halde segregasyon ve işçilik maliyetlerinin artması gibi problemler yaşanabilmekte, sertleşmiş halde ise hedeflenen dayanıma ulaşamayabilmektedir.

Deney aparatları; kolu çevrildiği taktirde serbest düşme yapan metal daire bir tabla, kesik koni şeklinde numune kalıbı ve şiş olmak üzere üç adettir. Hazırlanan harç karışımı, kalıba iki aşamada ve her aşamada 25 defa şişlenerek yerleştirilmiştir. Kalıp yüzeyi bir spatula yardımıyla düzeltilerek akabinde, kalıp yavaşça kaldırılmıştır. Harç, kol çevrilerek 15 defa sarsılmıştır. Düşmeler etkisiyle şekil değiştirip yayılan harcın çapı, hem x hem de y yönünde ölçülmüştür ve bu değerlerin aritmetik ortalaması yayılma çapı değeri olarak alınmıştır.



Şekil 3.9. Akma tablası deney aparatları

3.2.3.2. Birim hacim ağırlık tayini

Taze betonun birim hacim ağırlığı birincil olarak, üretildiği malzemelerin özgül ağırlıkları tarafından belirlenmekle birlikte yerleştirme esnasında sıkıştırma işlemlerinin yeterli olup olmaması, bünyeye hava sürüklenmesi gibi faktörler tarafından da etkilenmektedir.

Harç karışımların taze birim hacim ağırlıkları hacmi bilinen bir kap yardımıyla ölçülmüştür. Taze harç kaba doldurulup titreşim tablasında 15 saniye boyunca titretilerek yerine yerleşmesi sağlanmıştır. Bu işlem sonrası beklenildiği üzere bir miktar çökme gerçekleşmiştir. Gerçekleşen çökme miktarına göre harç ilave edilip yüzey bir spatula yardımıyla düzeltildikten sonra, tartım işlemi yapılarak taze haldeki birim hacim ağırlık bulunmuştur.



Şekil 3.10. Taze birim hacim ağırlık tayininde kullanılan kap ve titreşim cihazı

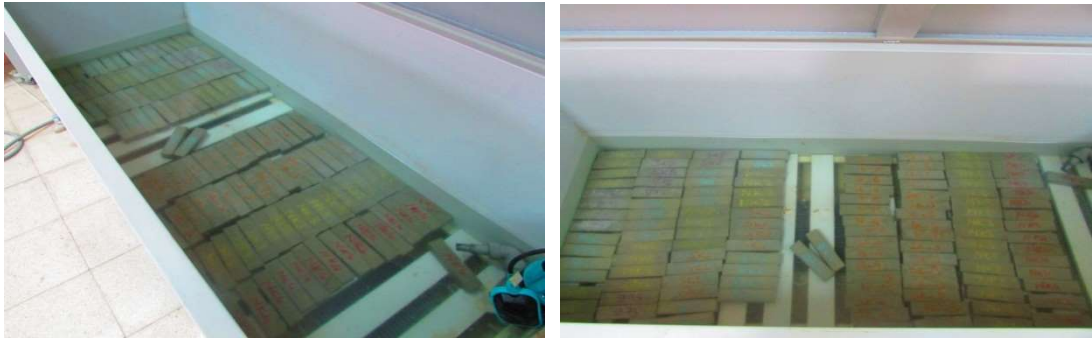
3.2.4. Uygulanan kür yöntemleri

Çimento hidrolik bir bağlayıcıdır ve ortamda yeterli miktarda su bulunmaması halinde hidrasyon reaksiyonları olması gerektiği şekilde gerçekleşmemektedir. Karışım suyu, taşıma, yerleştirme gibi işlemler esnasında hava koşullarının da etkisiyle bünyeden uzaklaşabilmektedir. Hedeflenen dayanıma ulaşabilmek için bu etkenler göz önünde bulundurularak, alınan önlemlere betonun kürü denilmektedir. Erdoğan (2003) tarafından bildirildiğine göre; ACI 308-92 (1994);

“Betonun, özellikle ilk günlerinde, yeterince hidrasyon yapabilmesini sağlayabilmek üzere, betonun içerisinde yeterli miktarda suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması işlemi betonun kürü veya bakımı olarak anılmaktadır.”

Taze karışımlar 40x40x160 mm ebatlarında prizmatik kalıplara dökülerek üzerleri nem kaybına karşı plastik örtüyle kapatılmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan sertleşmiş numuneler kür ortamlarının etkisini gözlemlemek amacıyla 3 farklı ortamda kürlenmiştir: Sıcak kür, buhar kürü ve normal kür.

Normal kürde, numuneler ısıtma ve soğutma sistemine sahip kür tankında kirece doygun su içinde 20 ± 2 C°’de deney günlerine kadar kürlenmiştir.



Şekil 3.11. Normal kür tankı

Sıcak kürde, numuneler 60 °C’de kirece doymun su içinde 2 gün kürlendikten sonra, buhar küründe ise %85 nemde ve 50 °C’de kür kabiniinde 7 gün kürlendikten sonra, normal kür tankına alınmış ve deney günlerine kadar kürlenmiştir.



Şekil 3.12. Buhar kürü (üstte), Sıcak su kürü (altta)

Normal kürde kürlenene numuneler için seri adı başına NK, buhar kürü için BK, sıcak kür için de SK kodlaması yapılmıştır. Örnek olarak X serisi NKX, BKX, SKX olarak kodlanmıştır.

3.2.5. Sertleşmiş hal deneyleri

Hacimce farklı agrega kombinasyonları ile üretilen ve farklı kür yöntemleri uygulanan numunelerin sertleşmiş haldeki fiziksel ve mekanik performanslarını anlayabilmek amacıyla aşağıdaki deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1. Fiziksel deneyler

Numuneler üzerinde “Arşimet Terazisi” yardımıyla 2, 7, 28 ve 56’ıncı günlerde ASTM C 642’ye göre birim ağırlık, su emme ve görünür boşluk oranları deneyleri yapılmıştır.



Şekil 3.13. Sertleşmiş harç numunelerin KBA ve SDKY değerlerini tayin etmede kullanılan deney düzeneği

Kür tankından çıkarılan numuneler üzerinde öncelikle SDKY birim ağırlık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yüzeyleri kurulan numuneler terazi yardımıyla önce havada, sonra terazinin su içerisinde bulunan kefesine koyularak tartılmış ve bu ağırlıklar hesaplamalarda kullanılmak üzere not edilmiştir. Kuru birim ağırlığı hesaplayabilmek için ise numuneler 90 °C’de etüve konularak kurutulmuştur. 90 °C seçilmesindeki amaç, daha yüksek sıcaklıklarda numunelerde oluşabilecek termal çatlakları önlemektir. Etüvde kurutma süresi, numune içerisinde bulunan zeolit agregasının çokluğuna göre uzamaktadır. Zeolit su emme oranı yüksek bir bileşen olduğu için standartlarda belirtilen 24 saat kurutma süresinde, içerisindeki nemi kaybetmemektedir. Bu nedenle kurutma işlemi bazı numuneler için 72 saati bulmuştur. Nihai kuruluğa erişen numuneler tartılarak aşağıdaki formüller yardımıyla ASTM C 642’ye göre, hedeflenen değerler hesaplanmıştır (Kockal and Ozturan 2011).

$$KBA=W_1/(W_2-W_3) \quad (3.2)$$

$$SDKY=W_2/(W_2-W_3) \quad (3.3)$$

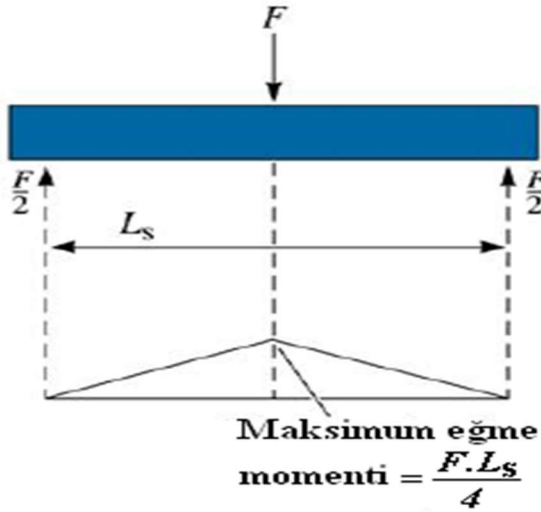
$$GBO=((W_2-W_1)/(W_2-W_3)) \times 100 \quad (3.4)$$

$$SEY=((W_2-W_1)/W_1) \times 100 \quad (3.5)$$

Burada KBA kuru birim ağırlık, SDKYsuya doymun kuru yüzey birim ağırlık, GBO görünür boşluk oranı, SEY kütlece su emme yüzdesini belirtmektedir. W_1 numunenin etüv kuru ağırlığı, W_2 sdyk ağırlığı, W_3 su içindeki ağırlığıdır.

3.2.4.2. Üç nokta eğilme deneyi

Bağlayıcı olarak çimentonun tercih edildiği konvansiyonel karışımlar, tasarımlarda çoğunlukla basınç kuvvetlerini karşılamak üzere tercih edilmektedir. Ancak bu elemanlar doğrudan olmasa da dolaylı olarak çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Betonarme kiriş bir elemana üstten uygulanan basınç kuvveti, kirişin alt kısmında çekme kuvvetine dönüşmektedir ve bu noktada elemanın çekme dayanımı kritik bir önem kazanmaktadır. Üç nokta eğilme deneyi ile harç numunelerin çekme dayanımı doğrudan olmasa da, dolaylı olarak hesaplanabilmektedir. Ancak yük tek bir noktadan uygulandığı ve maksimum moment tek bir noktada oluştuğu için, numune içerisindeki çok küçük bir alan çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır.



Şekil 3.14. Üç nokta eğilme deneyi moment diyagramı (Anonim 6)

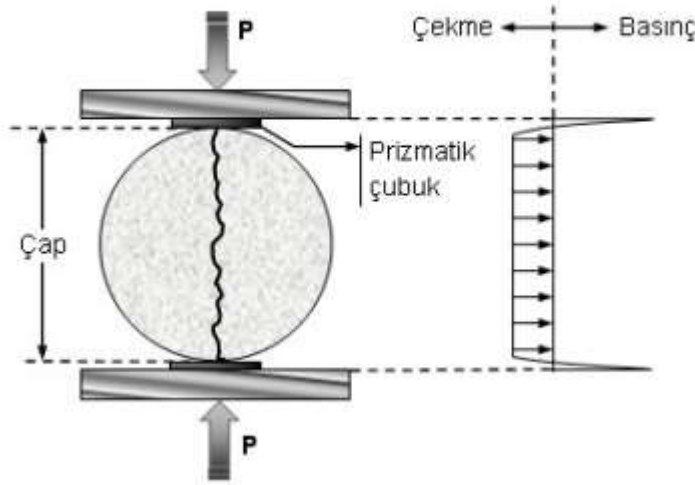
40x40x160 mm ebatlarında üretilen numuneler 2, 7, 28 ve 56 günlük kür sürelerinin her birinin sonucunda TS EN 1015-11'e göre üç nokta eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Numuneler, aralarında 100mm mesafe olan iki silindir destek üzerine oturtularak bir üçüncü silindir tam numunenin ortasına gelecek şekilde yükleme çerçevesine yerleştirilmişlerdir. Yükleme tam numune ortasından yapılması önemli olduğu için, numunenin orta noktası çerçeveye yerleştirilmeden önce işaretlenmiştir.



Şekil 3.15. Nokta eğilme deney düzeneği ve deney sonucu numune görünümü

3.2.4.3. Yarmada çekme deneyi

Çekme dayanımının dolaylı yoldan hesaplanabileceği bir başka yöntem olan yarmada çekme dayanımı ile, gerçek çekme dayanımına daha yakın sonuçlar elde edilmektedir. Bu yöntem ile numune içerisinde daha büyük bir alan çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır.



Şekil 3.16. Yarmada çekme dayanımı basınç ve çekme bölgeleri (Yazıcı 2014)

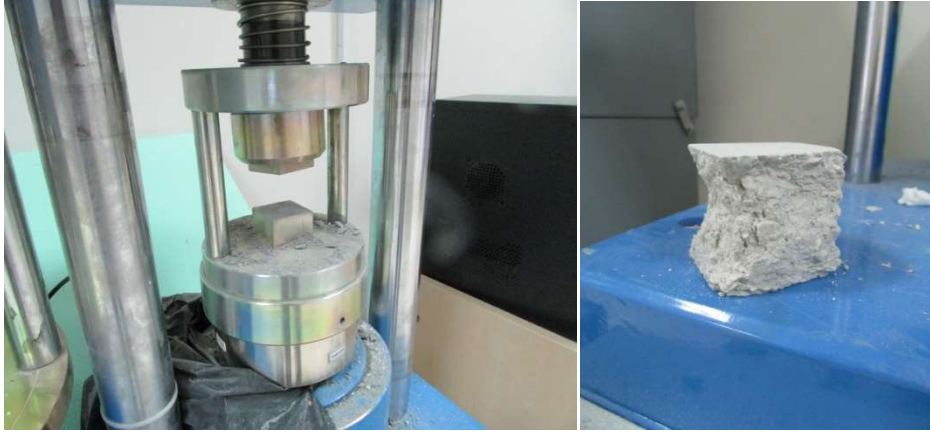
50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindir kalıplar kullanılarak üretilen numuneler 7 günlük kür sürelerinin sonucunda yarmada çekme dayanımı testine tabi tutulmuşlardır. Yarmada çekme dayanımı testi sadece 300 kg/m³ çimento dozajı ile üretilen numuneler için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.17. Yarmada çekme dayanımı tayininde kullanılan yükleme çerçevesi ve deney sonucu numune görünüşleri

3.2.4.4. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı tayini için, üç nokta eğilme deneyi sonucu ortadan ikiye bölünen 40x40x160 mm ebatlı numuneler kullanılmıştır. Kırık parçalar, numuneye alt ve üstten temas eden 40x40 mm ebatlı yükleme yüzeylerine sahip çerçeve içerisine, kalıp yüzeyi yükleme ekseninde kalmayacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Kalıp yüzeyi, diğer yüzeylere göre daha pürüzlü olduğu için yükleme ekseninde kaldığı takdirde, uygulanan yük numune üzerine üniform bir şekilde yayılmayacak ve yanlış ölçümler yapılmasına sebep olacaktır. Numunenin kendi ayırıtı da 40mm olduğu için, ölçümler 40x40x40mm boyutlarında bir küp numune test ediliyor kabulüyle gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneyi 2, 7, 28 ve 56 günlük kür sürelerinin her birinin sonucunda TS EN 1015-11'e göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Basınç dayanımı tayininde kullanılan yükleme çerçevesi ve deney sonrası numune görünümü



Şekil 3.19. Basınç dayanım testi sonucu kırılan numuneler

3.2.4.5. Gerilme şekil değiştirme davranışı

Malzemenin gösterebileceği maksimum dayanımların yanında, yük altındaki davranışı da tasarımlar açısından oldukça önem arz etmektedir. Yük altında, malzemenin kırılıncaya kadar sönümlediği enerjiye tokluk denilmektedir. Bazı durumlarda dayanımı yüksek olan bir malzemenin tokluğu, dayanımı düşük olan bir malzemenin tokluğundan daha düşük olabilmektedir. Bu gibi durumlarda numune davranışlarını irdeleyebilmek için deneyler düzenlenmiştir.



Şekil 3.20. Gerilme-şekil değiştirme davranışı deney düzeneği

Sertleşmiş numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri deformasyon kontrollü SHIMADZU presile belirlenmiştir. 40x40x40 küp numuneler dakikada 1 mm deformasyon yapacak şekilde kırılmıştır ve cihazdan alınan veriler TRAPEZIUM programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu veriler yardımıyla gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir.

3.2.4.6. Mikroyapı çalışmaları

Sertleşmiş harç numuneler üzerinde, SEM ve EDX analizleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerde agrega üzerinden, çimento matrixinden ve agrega ile çimento matrixi ara yüzeyinden görüntüler alınmıştır. Farklı hacimsel yüzdelerde kullanılan pomza ve zeolit agregalarının, normal su kürü, sıcak su kürü ve buhar kürü olmak üzere farklı kür yöntemlerinin mikroyapı üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

3.2.6. Durabilite deneyleri

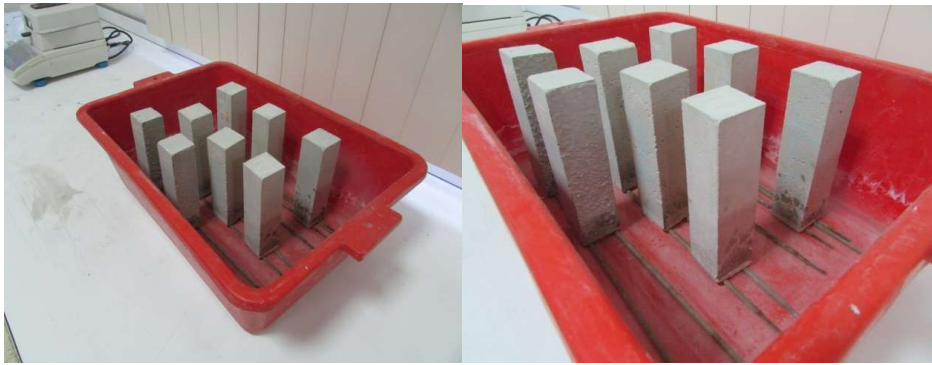
Malzemelerin dayanımlı olmalarının yanında, süreç içerisinde sahip oldukları bütünlüğü korumaları ve dışarıdan gelen kimyasal saldırılar, sıcaklık değişimleri, ıslanma kuruma çevrimleri gibi etkilere karşı dirençli olmaları beklenmektedir. Bu özelliklerin hepsine malzemenin durabilite (kalıcılık, dayanıklılık) özellikleri denilmektedir.

3.2.6.1. Kılcal geçirimlilik deneyi

Numunelerin kılcal su emme katsayıları 40x40x160 mm prizma numuneler 24 saat boyunca emilen su miktarının ölçülmesiyle hesaplanmıştır. Numunenin sadece tabanını suyla temas ettirmek amacıyla yan taraflar parafinlenerek izole edilmiştir ve numune yanlardan 3 – 4 mm suya batırılarak deney yapılmıştır. Tüm taban yüzeyinin rahatlıkla suya temas edebilmesi için numuneler silindirik çubuklar kullanılarak su dolu kap tabanından 1mm yükseltilmiştir. Kılcal su emme katsayıları ise;

$$K = Q / (A \times t^{1/2}) \quad (3.6)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada K kılcal su emme katsayısı ($\text{cm}/\text{sn}^{1/2}$), Q emilen su miktarı (cm^3), A suya temas eden yüzeyin alanı (cm^2), t zaman (sn)'dir.



Şekil 3.21. Kılcal geçirimlilik tayini deney düzeneği

3.2.6.2. Yüksek sıcaklık direnç deneyi

Yüksek sıcaklığa maruz kalmak, malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler yaratmaktadır ve bu değişimler genelde olumsuz olmaktadır. Özellikle bünyesinde az boşluk bulunduran elamanlar, yüksek sıcaklık sonucu gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar ve içyapıdaki gaz basıncının artması sonucu ciddi dayanım kayıplarına uğrayabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan zeolit ve pomza agregaları oldukça boşluklu yapıya sahip agregalardır. Bu boşluklu yapıları sayesinde, yüksek sıcaklık sonucu oluşabilecek dayanım kayıplarında etkileri araştırılmıştır.

Sertleşmiş numunelerdeki yüksek sıcaklığa karşı direnç deneyleri, 400 C°'de 30, 90 ve 150 dakika olmak üzere üç farklı süre belirlenerek yapılmıştır. Deney numunelerinin 7 günlük kür süreleri sonucunda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yüksek sıcaklığa tabi tutulmadan önceki ve sonraki birim ağırlıkları ile eğilme-basınç dayanımları belirlenmiştir.



Şekil 3.22. Kül fırını ve numune dizilimi

3.2.6.3. Hızlandırılmış donma-çözülme deneyi

Donma-çözülme etkisi, özellikle bu etkilere çevrimsel olarak maruz kalabilecek malzemeler üzerinde tahrip edici olabilmektedir. Çimento matrixinde kapiler boşluklar ve jel boşlukları olmak üzere iki çeşit boşluk bulunmaktadır ve bu boşluklar su ile doludur. Jel boşluklarındaki su çevredeki sıcaklık değişimlerinden ekstrem farklılıklar olmadığı sürece etkilenmemektedir. Ancak, kapiler boşluklardaki su, bu sıcaklık değişimlerinden etkilenecek fiziksel olarak hal değiştirmektedir. Su donduğunda hacmi büyümekte, sıvılaştığında ise tekrar eski hacmine dönmektedir. Mevsimsel olarak sıcaklık farklarının yüksek olduğu bölgelerdeki yapılarda, kapiler boşluklardaki su kışın donarak boşluk çeperlerine hacim genişlemesi sonucu bir kuvvet uygulamaktadır. Bu donma ve çözülme olayı tekrarlandığı sürece, oluşan gerilmeler nihayetinde bünye içerisinde çatlaklar oluşmaktadır. Çatlaklar zamanla ilerleyerek dayanım kayıplarına sebep olmaktadır.

Pomza ve zeolit agregalarının boşluklu yapıları sayesinde donma-çözülme çevrimlerine karşı dayanım kayıplarını düşüreceği düşünülmüştür. Bu amaçla üretilen 40x40x160mm ebatlarında numuneler 7 günlük kür sürelerinin sonucundahavada

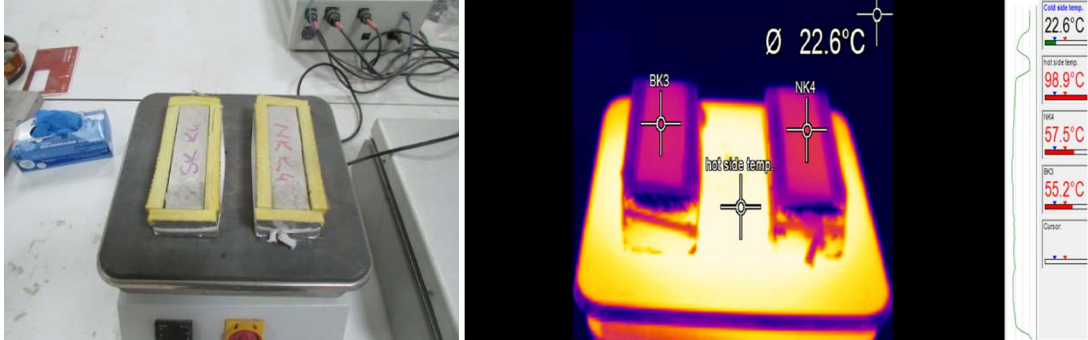
donma (-20 C°), suda çözme ($+20\text{ C}^{\circ}$) yapan donma-çözülme kabini kullanılarak 10 çevrim boyunca kabinde tutulmuştur. Deney sonucunda numunelerin birim ağırlıklarındaki değişimler ile çevrim sonrası eğilme ve basınç değerleri bulunmuştur.



Şekil 3.23. Donma-çözülme cihazı

3.2.6.4. Termal iletkenlik deneyi

Numunelerin termal iletkenlik davranışı, ASTM C177 “Mahfazalı sıcak plaka” metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemde hot plate aracılığıyla numuneye alttan sabit bir ısı verilerek ortam sıcaklığı da sabit tutulur. Numunenin yan kenarlarını ısı saçılımını önlemek amacıyla yalıtılır. Yalıtım metaryeli olarak cam yünü kullanılmıştır. Termal kamerayla izlenen numunenin üst sıcaklığının sabitleşmesi beklenerek son sıcaklık not edilmiştir.



Şekil 3.24. Mahfazalı sıcak plaka metodu deney düzeneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Harç Bileşenleri Üzerinde Gerçekleştirilen Deney Bulguları

Çimento, asidik pomza, zeolit ve kırma kum bileşenlerinin fiziksel ve mikroyapı deney sonuçları bu bölümde incelenmiştir.

4.1.1. Fiziksel deney bulguları

Bileşenler üzerinde gerçekleştirilen özgül ağırlık tayin deneyi sonuçları aşağıda verildiği gibidir. Çimento özgül ağırlık tayini için Le Chatelier balonu, 64 g çimento ve tiner kullanılmıştır. Çimento taneleri çok ince yapıda olduklarından su içerisinde topaklanabilmektedir. Tiner taneler arasında yağlayıcı etki yaparak topaklanmaları engellemektedir ve bu sayede daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Asidik pomza, zeolit ve kırma kum agregaları için ise Le Chatelier balonu ile birlikte balon joje yöntemiyle kullanılarak elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Agregalarda herhangi bir topaklanma eğilimi olmadığı için deneysel çalışmalarda sıvı olarak su tercih edilmiştir. Verilen agregaların özgül ağırlıkları SDKY hal için geçerlidir.

Çizelge 4.1. Bileşenlerin SDKY(Agregalar için) özgül ağırlık değerleri

BİLEŞENLER	ÖZGÜL AĞIRLIK
Çimento	3,03
Kırma Kum	2,7
Asidik Pomza	2,13
Zeolit	1,94

Agregaların özgül ağırlıklarının düzgün bir şekilde tayin edilmesi, karışıma girecek malzeme miktarlarını doğrudan etkilemektedir. Malzemeler 1m³ hacimi dolduracak şekilde hesaplanmıştır. Bir özgül ağırlığın gerçekteki değerinden küçük/büyük hesaplanması, karışıma girmesi gereken malzeme miktarının da olması gerekenden az/fazla hesaplanacağı anlamına gelmektedir. Böyle bir durumda ise bileşen miktarlarının, numunelerin özellikleri üzerindeki etkileri yanlış yorumlanabilmektedir.

Kullanılan agregaların su emme değerlerinin hesaplanması konusuna oldukça önem verilmiştir. Pomza ve zeolit agregaları yapıları gereği oldukça boşlukludur. Boşluklu yapıları ağırlıkça su emme kapasitelerini oldukça arttırmaktadır.

Hesaplamalar dikkatli bir şekilde yapılmadığı takdirde, agregaların karma suyunu emerek bünyesinde tutmaktadır. Bu da çimento için gerekli olan hidrasyon suyunun ortamdan uzaklaşmasına sebep olarak dayanım kayıpları yaratabilmektedir. Karışımlar üretilirken pomza agregaları öncesinde SDKY hale getirilmiştir. Zeolit agregalarının emeceği su ise doğrudan karışım suyuna eklenmiştir. Bunun sebebi ise zeolit agregasının nemlilik durumunun, laboratuvarın mevcut neminden de etkilenmesidir. Her karışım üretimi öncesi, nem ölçer cihaz yardımıyla zeolit agregasının nemi ölçülerek bünyesinde tuttuğu nem de dikkate alınarak, emeceği su karışım suyuna eklenmiştir.

Çizelge 4.2. Agregaların ağırlıkça su emme değerleri

AGREGA	SU EMME (%)
Kırma Kum	2,08
Asidik Pomza	9,96
Zeolit	23,01

Agregaların su emme yüzdeleri bünyelerinde bulundurdıkları gözeneklerin açık ya da kapalı olmasına göre değişkenlik göstermektedir. Şapa vd. (2004), sekiz farklı pomza üzerinde gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda açık gözenek oranı fazla olan pomza çeşitlerinin daha fazla su emdiklerini belirtmişlerdir. Açık gözenek oranı %23,37 olan pomza %22,75 su emerken, açık gözenek oranı %5,94 olan pomza %9,91 oranında su emdiği görülmüştür. Aynı çalışmada, agrega tane boyutu arttıkça su emme oranlarının da paralel olarak arttığı belirtilmiştir. Bu tez kapsamında kullanılan pomzanın su emme oranı %9,96 olarak belirlendiğinden, gözeneklerin çoğunlukla kapalı olduğu söylenebilmektedir. Kütlece su emme oranı %53,25 değerlerine kadar çıkabilen pomzalarla yapılan çalışmaların olduğu görülmüştür (Hariyadia ve Tamai 2015).

Zeolit agregasının yüksek su emme kapasitesi, bazı araştırmacıların zeoliti içsel kütleme aracı olarak kullanmasına vesile olmuştur. Ghourchian vd. (2013) çalışmalarında kullandıkları zeolit su emme oranı %15,6'dır. Araştırmacılar zeolit bünyesinde tuttuğu su sayesinde, süreç içerisinde gelişecek kuruma büzülmesinin etkilerinin azalacağını düşünmüşlerdir. Zeoliti normal kumla %20 ve %30 oranlarında yer değiştirerek kullanmışlardır. Çalışma sonucunda kullanılan zeolit agregasının, içsel kütleme malzemesi olarak uygun bir tür olmadığını belirtmişlerdir. İçsel kütlemede kullanılacak malzemelerin su emme kapasitelerinin yanında, boşluk yapılarının da elverişli olması gerektiğini, aksi takdirde kendi çalışmalarında olduğu gibi agreganın emdiği suyun kendi içerisindeki boşluklarda tutulu kalabileceğini ve hedeflenen kütleme görevini yapmayacağını bildirmişlerdir.

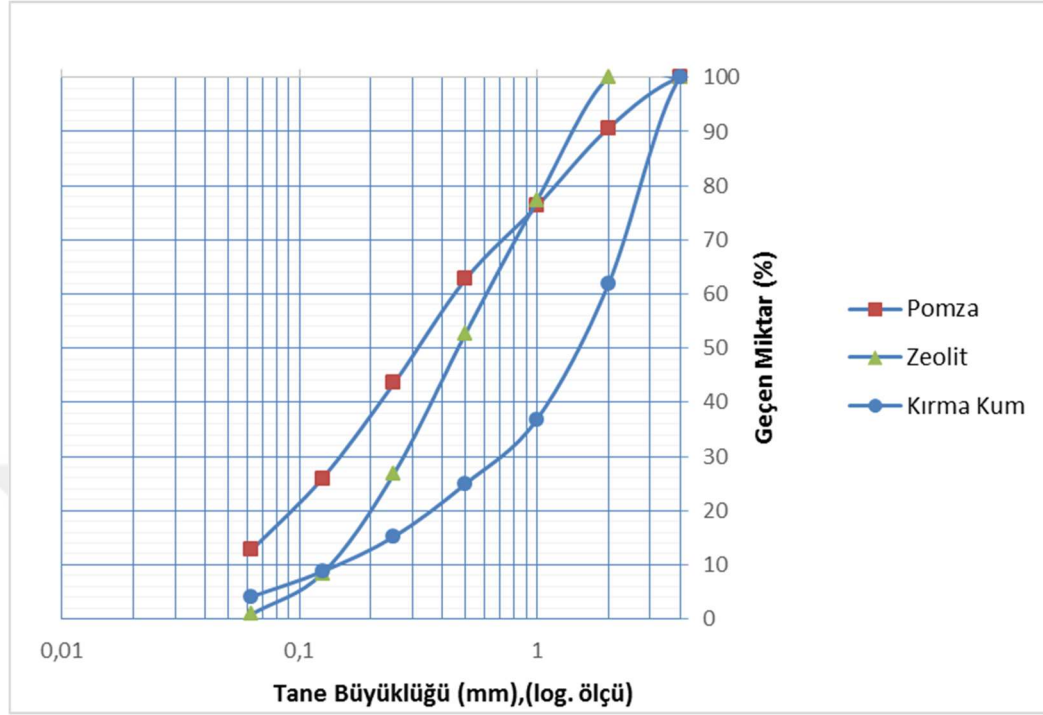
Agregaların yerleştirme şekillerine göre, kapladıkları hacmin ağırlığı üzerinde fikir sahibi olmak amacıyla gerçekleştirilen sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyleri sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.3. Agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri

AGREGA	GEVŞEK BHA (g/cm ³)	SIKIŞIK BHA (g/cm ³)
Kırma Kum	1,54	1,72
Asidik Pomza	1,26	1,38
Zeolit	0,99	1,17

Agregaların yüzdesel olarak sıkışma oranları karşılaştırıldığında zeolit agregası %18,18 oranıyla en çok sıkışabilen bileşendir. Sırasıyla %11,68 ve %9,52 değerleriyle kırma kum ve pomza takip etmektedir. Anlaşılabileceği üzere herhangi bir ek işlem yapmadan pomza agregası belirli bir hacmi daha yüksek oranda bir dolulukla kaplamaktadır.

Elek analizi sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, agregalara ait tane boyut dağılımı (gradasyon) eğrileri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. Agregaların tane boyut dağılımı (gradasyon) eğrileri

Asidik pomza ve zeolit agregaları tane boyut dağılımı bakımından birbirine yakın seyrederken, kırma kum agregası onlara kıyasla daha iri tanelere sahip bir agregadır. Asidik pomza ve zeolit agregalarının yaklaşık olarak %80 kadarlık bir kısmının tane boyutu 1 mm'nin altında kalmaktadır. Bu sonuca dayanarak, asidik pomza ve zeolit agregalarını ultra ince agregalar olarak nitelendirmek mümkündür. Elek analizi sonucu elde edilen agregaların incelik modülleri ise aşağıda verildiği gibidir.

Çizelge 4.4. Agregaların incelik modülleri

AGREGA	İNCELİK MODÜLÜ
Kırma Kum	4,39
Asidik Pomza	2,54
Zeolit	3,32

4.1.2. Mikroyapı çalışmaları bulguları

Bileşenler üzerinde gerçekleştirilen XRF ve XRD analizleri sonuçları bu bölümde incelenmiştir.

Çizelge 4.5. XRF analizi sonucu çimentonun kimyasal kompozisyonu (%)

OKSİT	KONSANTRASYON
Na ₂ O	0,1
MgO	1,77
Al ₂ O ₃	4,28
SiO ₂	19,28
SO ₃	2,95
K ₂ O	0,58
CaO	61,36
Fe ₂ O ₃	2,65
Alkaliler	1,38

Çizelge 4.6. XRF analizi sonucu agregaların kimyasal kompozisyonu (%)

OKSİT	POMZA	ZEOLİT
Na ₂ O	8,23%	< 0,11
MgO	1,89%	1,22
Al ₂ O ₃	21,68%	14,71
SiO ₂	54,09%	75,14
SO ₃	0,18%	0,01
K ₂ O	6,10%	2,80
CaO	4,03%	4,21
Fe ₂ O ₃	2,48%	1,28

Pomza ve zeolit agregalarının kimyasal kompozisyonlarına bakıldığında, iki agrega çeşidi için de bünyede en fazla yer kaplayan oksitin SiO₂ olduğu görülmektedir. Pomza agregalarının asidik yahut bazik karakterde olması ise bünyelerindeki SiO₂ miktarına göre belirlenmektedir. Asidik karakterli pomzalarda SiO₂ oranı %66'dan fazla, orta asidik karakterdekilerde %52-66 arasında, bazik karakterde olanlarda ise %45-52 arasında olmaktadır. %45'ten daha az SiO₂ içeren pomzalar aşırı bazik olarak sınıflandırılmaktadır (Koçkal 2016).

Zeolit ile yapılan diğer çalışmalara bakıldığında; (Taşçı vd. 2013, Sevim ve Okumuş 2011, Kılınçarslan 2007) zeolit içerisinde SiO₂ oranının %64-69 arasında olduğu görülürken bu tez çalışmasında kullanılan zeolit agregasının SiO₂ oranı %75,14 gibi bir oranla oldukça yüksektir. Bünye içerisinde bulunan diğer oksitlerin oranları literatürle çoğunlukla paralellik göstermektedir.

Çizelge 4.7. Bileşenlerin ağırlıkça yüzde kızdırma kaybı değerleri (%)

BİLEŞEN	KIZDIRMA KAYBI
Çimento	4
Pomza	3,55
Zeolit	10,938

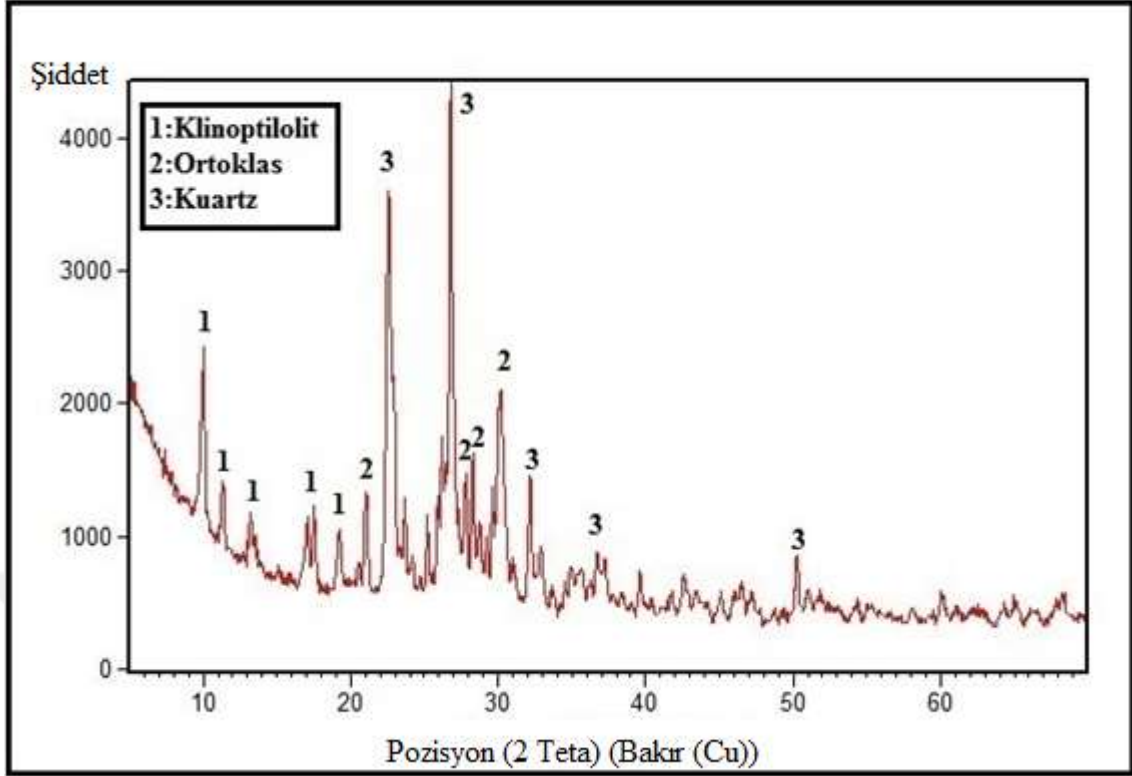
Kızdırma kaybı analizi ile, malzemeler içerisindeki karbondioksit, su gibi uçucu malzemelerin yüksek sıcaklık etkisi ile bünyeden uzaklaşması sonucu ortaya çıkacak kütle kaybı ölçülmektedir. Deney, havada gerçekleştirilerek, ortamın oksitleyici etkisiyle oksitlenebilen bileşenlerin oksitlenmesi sağlanmaktadır. Ölçümü yapılacak numuneden yaklaşık 1g alınarak 975 ± 25 °C'de bekletilerek, kütle kaybı gözlemlenmektedir (Arın 2011).

Çimento için kızdırma kaybı değeri, çimentonun rutubete maruz kalma derecesini göstermektedir. TS 197-1'e göre CEM-I tipi çimentolar için kızdırma kaybı değeri max %5 olarak belirlenmiştir. Bilindiği gibi çimento hidrolik bir bağlayıcıdır. Kızdırma kaybı yüksek olan çimentolarda, ortamdaki nemin etkisiyle bir miktar hidratasyon reaksiyonu gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır. Böylece çimento tazeliğini kaybetmiş ve karışım içerisinde gerçekleştirmesi gereken hidratasyon reaksiyonlarının bir kısmını önceden gerçekleştirmiş olmaktadır. Bunun sonucunda ise hesaplanan çimento miktarı, hedeflenen dayanım için yeterli olmamaktadır. Çalışmada kullanılan çimentonun kızdırma kaybı %4 olarak ölçülmüştür ve bu kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.

Pomza agregalarının kızdırma kaybı literatürden örneklerle karşılaştırıldığında Türkmenoğlu vd. (2015) yürüttükleri çalışmada %3,33, Aksay vd. (2009) için ise %4,99 olduğu görülmektedir.

Akgün ve Yazıcıoğlu (2016), klinoptilolit kökenli zeolit ile yaptıkları çalışmalarında zeolit kızdırma kaybını %11,80, Bideci vd. (2013) zeoliti puzolan olarak kullandıkları çalışmalarında %13,41, Bilim (2011), zeolit ilavesinin aşınma direnci üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmasında %14, Dıgış (2015) ise mineral katkı olarak öğütülmüş doğal zeolitlerin harç özellikleri üzerine etkilerini araştırdığı çalışmasında %7,14-%16,15 aralıklarında zeolit için kızdırma kaybı değerleri belirtmişlerdir.

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanmaktadır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri karakteristiktir. XRD, tahribatsız bir analiz yöntemidir. Analiz için numunelerin çok ince taneli olması gerekmektedir. Bu çalışmada, agregalar 0,063 mm elekten elenerek, elek altı kalan taneler kullanılmıştır. XRD analizi numune miktarının çok az olması durumlarında dahi rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu tez çalışmasında olduğu gibi kayaç örneklerin analizi için 10g numune yeterli olmaktadır (Merlab 2014).



Şekil 4.2. Zeolit agregasına ait XRD verileri

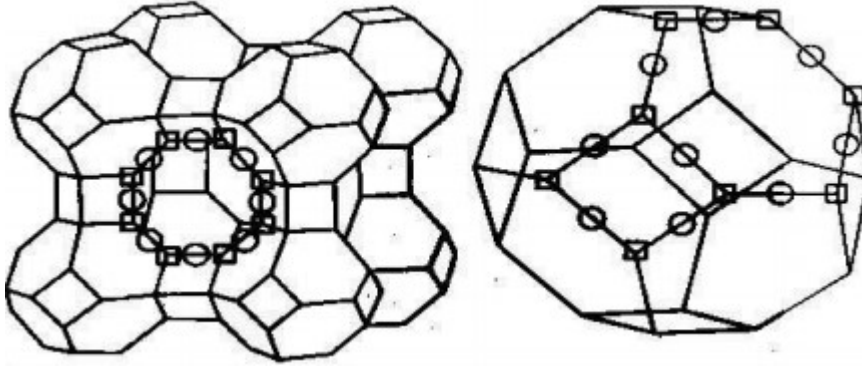
Zeolit agregasının kristal faz yapısı incelendiğinde kuartz, klinoptilolit ve ortoklas kristallerinin çoğunlukta olduğu görülmektedir.

Kuartz genellikle renksiz veya açık beyaz renkli ve ince taneli yapı sergileyen bir mineraldir. Kuvarsın kimyasal formülü SiO_2 olup, saf halde %46,5 Si ve %53,3 O içermektedir. Mohs skalasında sertliği 7, özgül ağırlığı 2,65, ergime sıcaklığı 1785°C olan ve yer kabuğunda sık görülen minerallerden biridir (Akçıl vd 2007).

Kuartz kristali, hegzagonal kafes yapısına sahip bir kristaldir ve bünye içerisinde en fazla görülen oksit SiO_2 olmasına rağmen çok küçük bir miktar Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oksitlerine de rastlanmaktadır. SiO_2 oranının yüksek olması çimento bağlayıcılı yapı malzemelerinin üretiminde kullanılması için pozitif bir özelliktir.

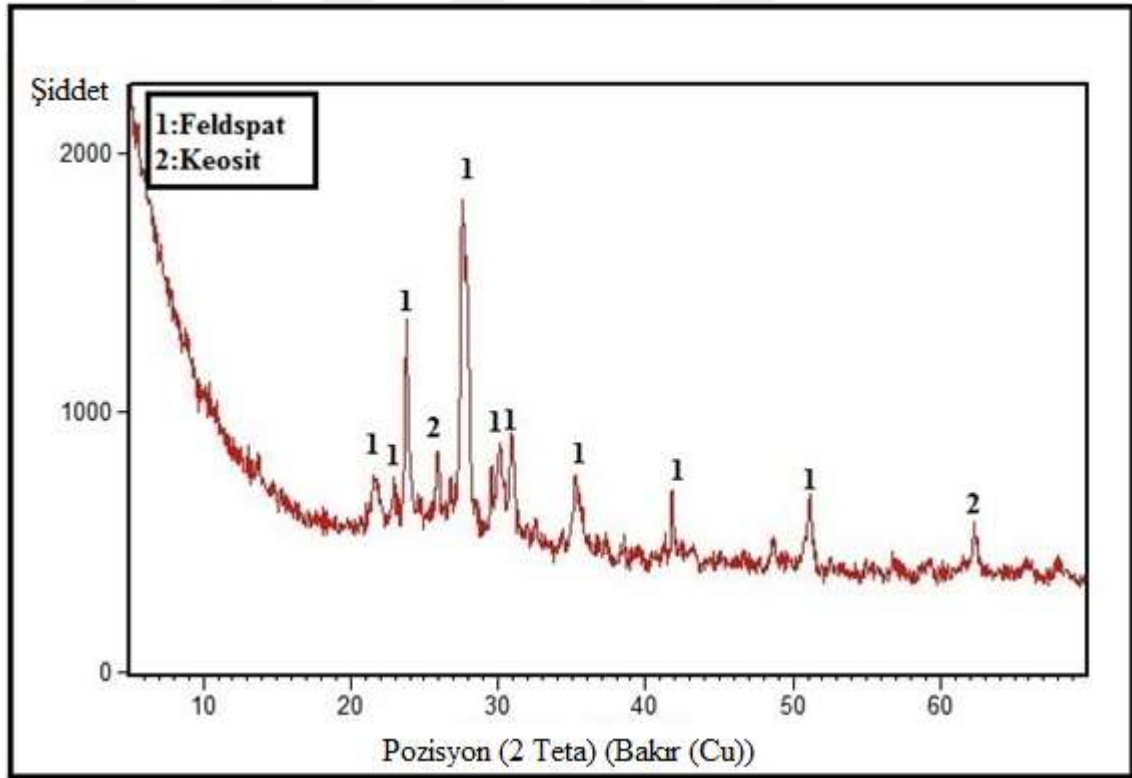
Ortoklas, $\text{Si}_{12}\text{Al}_4\text{K}_4\text{O}_{32}$ kimyasal formülüne sahip monoklinik kristal yapısında bir kristaldir. Genellikle porfirik dokulu taşlarda idimorf oluşumlar şeklinde yer alır. Oluşum şekline göre değişik şekillerde kristalleri gelişmektedir. Ortoklas adı altında genellikle berrak olmayan K-Feldspatları gösterilmektedir.

Kristal yapıda temel birim olan SO_4 ve AlO_4 tetrahedralleri birleşerek ikincil bir yapı oluşturmaktadır. İkincil yapı birimlerinin farklı kombinasyonlarla birleşmesi, boşluklu ve kanallı bir yapı oluşturmaktadır. Bu kanal ve oyuklar bünye içerisinde %30 - %35 oranında boşluklu bir hacim oluşturarak önemli bir yüzey alanı yaratmaktadır. Böylece klinoptilolit mikrogözenekli ve yüksek yüzey alanı yapısıyla adsorptif özellik kazanmaktadır (Ersoy 2000).



Şekil 4.3. Zeolitin tetrahedral olarak birbirine bağlanması (Akay vd. 2018)

Klinoptilolit, $\text{Si}_{29,04}\text{Al}_{6,96}\text{O}_{96,40}\text{Na}_{1,92}\text{Ca}_{1,57}\text{Ba}_{0,32}\text{K}_{0,56}\text{Mg}_{0,72}$ kimyasal formülüne sahip monoklinik kristal yapısında bir kristaldir. Bu çalışmada kullanılan zeolit agregasında en çok karşılaşılan kristal yapı klinoptilolittir.

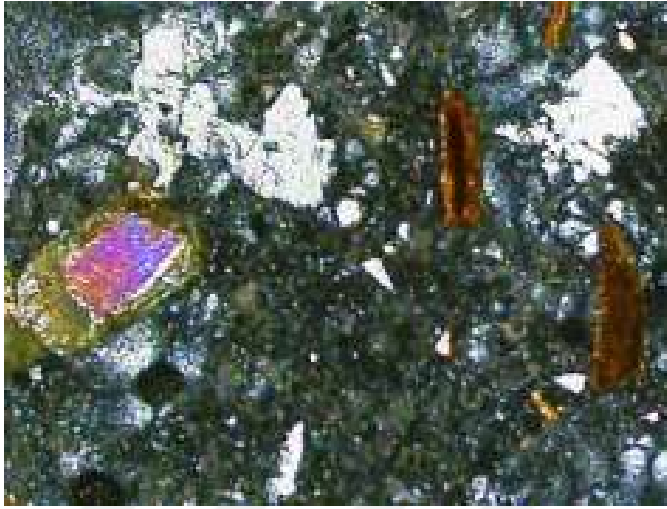


Şekil 4.4. Pomza agregasına ait XRD verileri

Pomza agregasında, feldspat ve keosit kristal yapılarına rastlanmıştır. Feldspat $\text{Si}_{9,04}\text{Al}_{6,96}\text{Sr}_{3,36}\text{Na}_{0,12}\text{O}_{32}$ kimyasal formülüne sahip monoklinik yapıda bir kristaldir. Feldspatlar kayaç oluşturan minerallerin en çok bulunanı olup yer kabuğunun %60'ını oluşturmaktadır. Genel formülleri $\text{XAl}_{(1-2)}\text{Si}_{(3-2)}\text{O}_8$ olup X duruma göre sodyum, potasyum veya kalsiyum olabilmektedir.

K_2O değeri %10'dan büyük olanlar K-feldispat veya potas feldispat, Na_2O oranı %7'den büyük olanlar Na-feldispat veya soda feldispat olarak tanımlanmaktadırlar. Feldispatlar; silikatlar grubuna dahildirler ve alümina-silikatlar olarak da tanımlanırlar. Başka bir deyişle feldispat; bir mineral grubunun genel adıdır. Feldispatlar, izomorf karışımları ve oluşum özellikleri bakımından alkali feldispatlar ve kalko-sodik feldispatlar (plajioklaslar) olmak üzere 2 gruba ayrılırlar (Anonim 8).

Döyen ve Aksoy (2012), Isparta ve Gelincik pomza yatakları üzerinde yaptıkları çalışmalarında, pomza agregasının ince kesit görüntülerinde feldispat minerallerine rastlamışlardır.



Şekil 4.5. Pomza ince kesit filmi üzerinde görüntülenen feldispat minerali (gri) (Döyen ve Aksoy 2012)

Keosit $Si_{16}O_{32}$ formülüne sahip monoklinik yapıda bir kristaldir. Keosit, kuvarsın yüksek basınçlı polimorfudur ve çarpma kayaçlarında, metamorfik kayaçta ve manto kayalarında bulunmuştur (Chen vd. 2010).

4.2. Harçların Taze Hal Deney Bulguları

4.2.1. Yayılma çapı ve birim hacim ağırlık deneyi bulguları

Çalışmada agrega ve kür çeşitlerinin etkisi birincil olarak ele alındığından su/çimento değeri bütün karışımlar için 0,6 olarak sabit tutulmuştur. 0,6 değeri daha çok 200 kg/m^3 dozajlı karışımlar göz önünde bulundurularak seçilmiştir ve bu seride işlenebilirlik için gerekli olan minimum değerdir. Sadece W kodlu karışım serisinin üretiminde bir miktar akışkanlaştırıcı çimento miktarının ağırlıkça %1 oranında olacak şekilde ilave edilmiştir. Çizelge 4.8'de yayılma çapı değerinin W serisi karışımında, diğer serilere kıyasla oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ancak deneysel çalışmayı etkilememek amacıyla çok fazla müdahale edilmemiştir. Diğer serilerde çimento miktarının artmasıyla su miktarı da arttığından uygun bir işlenebilirlik elde edilmiştir.

Bütün seriler çimento dozajlarına göre kendi içlerinde değerlendirildiğinde, pomza miktarının artmasıyla BHA’da da bir artış gözlemlenmektedir. Üretilen en ağır harç numunesinin BHA 1896 g olmasına rağmen, kontrol karışımının BHA değeri olan 2367,9 g ile kıyaslandığında oldukça düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Pomza ve zeolit agregalarıyla üretilen harç karışımları, KÇK ile kıyaslandığında yapıya aktaracakları ölü yük değerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Taze hal harçların birim hacim ağırlık ve yayılma çapı değerleri

KARIŞIM	BHA (g/dm ³)	Y.ÇAPI (cm)
X	1751,5	16,7
Y	1767,5	15,5
Z	1787,4	14,45
W	1791,5	11,85
T	2367,9	10,5
A	1765	>25
B	1814	15,75
C	1817	14,4
D	1843,7	14,35
E	1866,5	14,26
F	2346	16,4
1	1797,4	>25
2	1829,5	>25
3	1860,5	21,25
4	1888	20,5
5	1896	19
6	2310,5	22,6

Pomza agregalarının işlenebilirlik üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla Öz vd. (2017), iri agrega olarak bazik pomza kullandıkları numunelerin özelliklerini kırma kumdan üretilen numuneler ile karşılaştırmışlardır. Pomza agregalarını hacimce %20, %30, %40, %50, %60 oranında kırma kum ile yer değiştirerek kullanmışlardır. İşlenebilirliği ölçmek amacıyla slump, yayılma çapı, V hunisi akış süresi ve L kutusu yükseklik oranı deneysel yöntemlerini kullanmışlardır. Mekanik özellikler üzerindeki etkileri ise basınç dayanımı ile tayin etmişlerdir. Karışımlarda kullanılan pomza oranı arttıkça birim hacim ağırlıklarda gözlenen düşmeleri, basınç dayanımlarında düşmelerin takip ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca pomza oranı arttıkça işlenebilirlikte herhangi bir olumlu gelişme olmadığını söyleyerek bu durumu pomza agregasının yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanan sürtünme kuvvetlerine dayandırmışlardır.

Zeolit agregasının artışıyla birlikte yayılma çapı değerlerinde artış gözlenmekteyken, BHA değerleri bu durumla ters orantılı olarak düşmektedir. Karışımlar üretilirken zeolit agregasının hava kurusu bir şekilde kullanılıp, emeceği

suyun karışım suyuna ilave edildiğinden önceki bölümde bahsedilmiştir. İşlenebilirliğin, hacimce zeolit yoğunluklu karışımlarda daha iyi olması bu duruma bağlanabilmektedir.

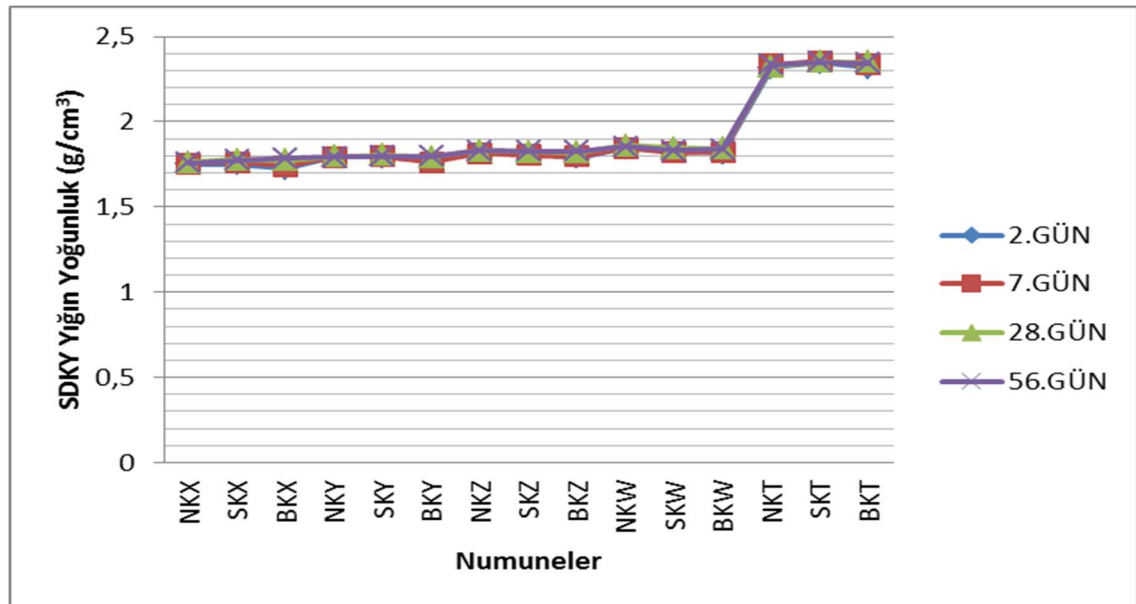
Şişman vd. (2008), doğal zeolitın hafif beton üretiminde kullanılmasının etkilerini araştırmışlardır. Bunun için zeolit agregasını %25, %50, %75 ve %100 oranlarında standart kırma kum agregası ile yer değiştirerek numuneler üretmişlerdir. Çalışmada işlenebilirliği sabit tutmak amacıyla su/çimento değerlerini her bir zeolit yüzdesi için düzenlemişlerdir. Zeolit agregası kullanılarak ürettikleri numunelerin BHA'nın standart kırma kum ile üretilenlere oranla %40 daha düşük çıktığını belirtmişlerdir. Taşıyıcı elemanların üretiminde zeolit kullanılması halinde ise, %50 yer değiştirme sınırı aşılmadığı takdirde, yeterli taşıyıcılık performansının sağlanabildiğini yaptıkları basınç dayanımı testi ile göstermişlerdir.

Ranjbar vd. (2013), kendinden yerleşen betonun taze hal özellikleri üstünde zeolit kullanımının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında zeoliti çimento ile ağırlıkça yer değiştirerek kullanmışlardır. %5, %10, %15, %20 yer değiştirme oranları için slump değerleri 660-700 mm arasında ölçülmüştür. Zeolit miktarının artışıyla birlikte V kutusu akış süresinin uzadığını bildirmişlerdir. Sertleşmiş halde ise %15 yer değiştirme oranından sonra, zeolitın mekanik özellikleri olumsuz etkilediği görülmüştür.

4.3. Sertleşmiş Hal Deney Bulguları

4.3.1. Fiziksel deneylere ait bulgular

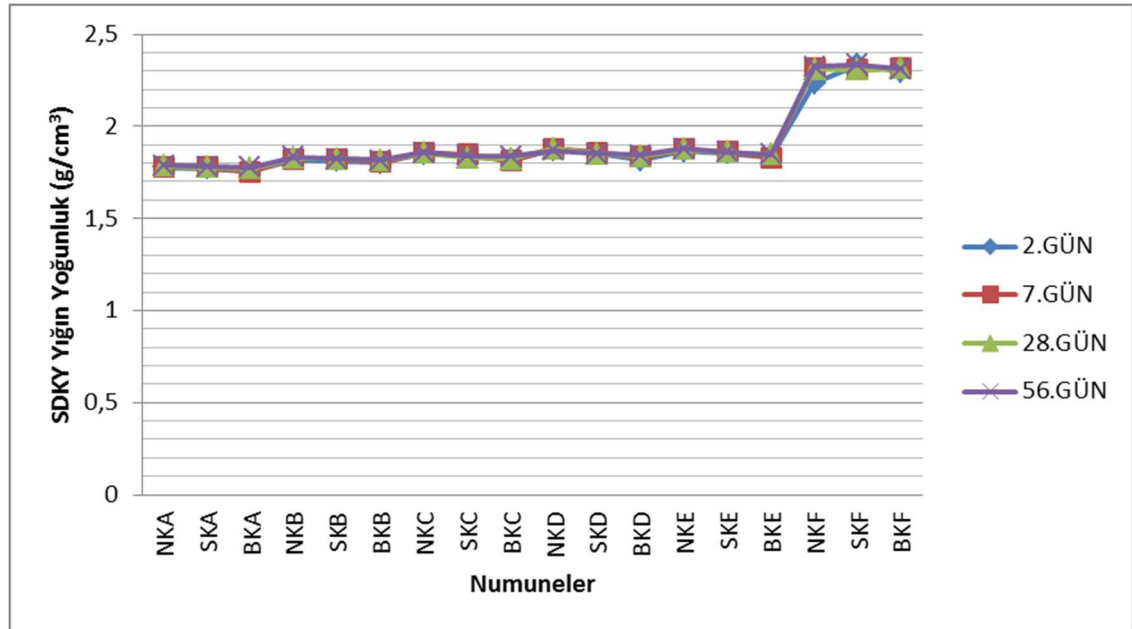
Numunelere ait SDKY yığın yoğunluk, KURU yığın yoğunluk, ağırlıkça % su emme ve görünür porozite deney bulguları bu bölümde verilmiştir. Deney bulguları üzerinde hacimce agregat yer değiştirme oranı, çimento dozaj farkı ve değişik kür yöntemlerinin etkileri tartışılmıştır. Harç numunelere ait SDKY yığın yoğunluk değerleri Şekil 4.6-4.8 de verildiği gibidir.



Şekil 4.6. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin SDKY yığın yoğunlukları

Pomza ve zeolit agregaları kullanılarak üretilen harç numunelerinin SDKY yığın yoğunluk değerleri farklı çimento dozajlarıyla üretilen her grup için 2 g/cm^3 'ten daha küçük değerler almıştır. Bu nedenle bu harçlara hafif harçlar denilerek devam edilecektir. Kırma kum ile üretilen kontrol numunelerinin SDKY yığın yoğunluk değerleri $2,30 \text{ g/cm}^3$ 'ün üzerindedir. KÇK'nın kendi öz ağırlığından dolayı yapılara yüklediği ağırlığı azaltmak amacıyla, Amel vd. (2017) kumul kumu ve pomza kullanarak numuneler üretmişlerdir. Pomza ilavesinin numunelerin yığın yoğunluğunu düşürmek konusunda faydalı olacağı görüşüne varmışlardır. Hafif harçlar içerisinde pomza agregasının artmasıyla birlikte SDKY yığın yoğunluk değerleri de artmıştır. Buhar kürü ile kürlenerek harçların, SDKY yığın yoğunluk değerleri 2. ve 7. günlerde alınan ölçümler dikkate alındığında, diğer kür tiplerine maruz bırakılan harçlara göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.

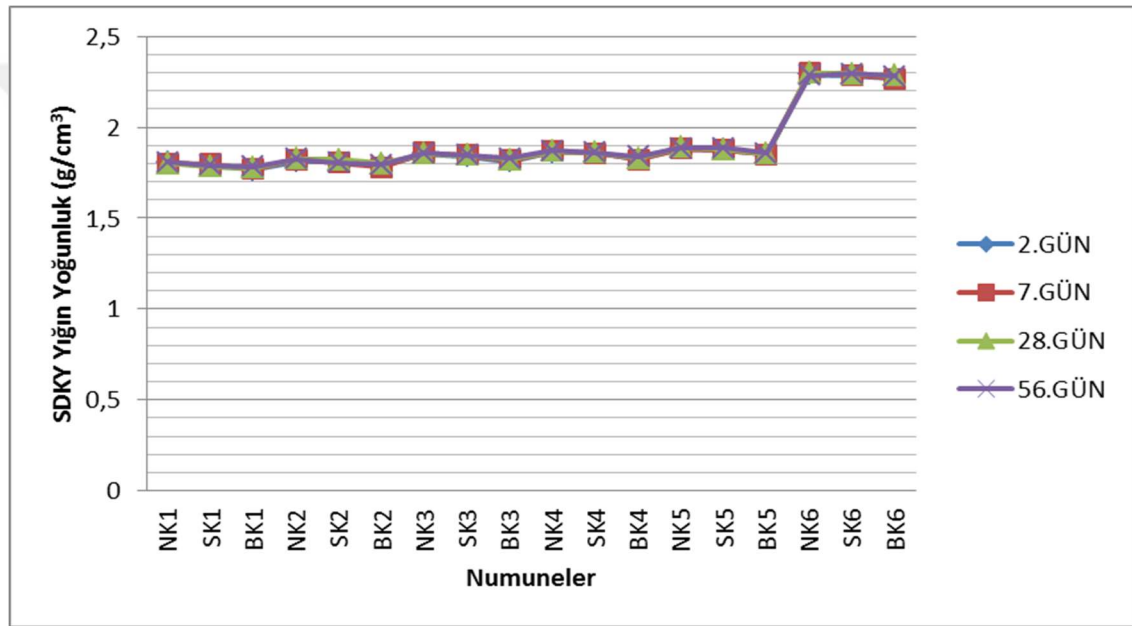
200 kg/m^3 çimento dozajı ile üretilen numunelerin 2. gününde alınan SDKY ölçümlerine bakıldığında, BKX numunesinin $1,72 \text{ g/cm}^3$ değeri ile en küçük, NKW numunesinin ise $1,84 \text{ g/cm}^3$ ile en büyük değere sahip olduğu görülmektedir. 56 günlük kür sürelerinin sonucunda ise NKX $1,75 \text{ g/cm}^3$ değeri ile en küçük, NKW $1,85 \text{ g/cm}^3$ değeri ile en büyük SDKY yığın yoğunluğuna sahiptir. Numunelerin günlere göre SDKY yığın yoğunluk değerlerinin, buhar kürü ile kürlenerek numuneler hariç tutulduğunda, çok fazla bir değişkenlik göstermediği görülmüştür. Buhar kürü ile kürlenerek numunelerde ise 7. günden sonra SDKY ağırlık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise, buhar kürüne maruz bırakılan numunelerin 7 günlük buhar kürü sonunda normal kür tankına alınarak deney günlerine kadar orada bekletilmesi olabilir. Buhar küründe numune içerisindeki boşluklar tam anlamıyla su dolu olmadığından ve normal kür tankına alındıktan sonra bu boşluklar tamamen su ile dolduklarından SDKY yığın yoğunluk değerlerinde yükselmeler görülmüştür.



Şekil 4.7. 300 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerin SDKY yığın yoğunlukları

300 kg/m³ çimento dozajı ile üretilen numunelerin SDKY yığın yoğunluk değerleri çimento dozajının artmasına paralel olarak, aynı agrega birleşim oranına sahip 200 kg/m³ göre bir miktar artmıştır. Çimento dozajının artmasının numunelerin SDKY yığın yoğunluk değerleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, hacimce %60 zeolit, %40 pomza içeren Y ve B kodlu numunelere bakıldığında 56. günde alınan ölçümlere göre kür koşulunu da sabit tutmak şartıyla SKY numunesin 1,79 g/cm³, SKB numunesin ise 1,82 g/cm³ değerini aldığı görülmektedir.

Bu duruma paralel olarak 400 kg/m³ çimento dozajı ile üretilen harç numunelerinin, aynı agrega oranları için SDKY yığın yoğunlukları diğer çimento dozajlarıyla üretilen numunelerin SDKY yığın yoğunluklarına göre daha büyük değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bütün hafif harç numuneleri içerisinde SK5 numunesin 1,88 g/cm³ değeri ile en yüksek SDKY yığın yoğunluk değerine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.8. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin SDKY yığın yoğunlukları

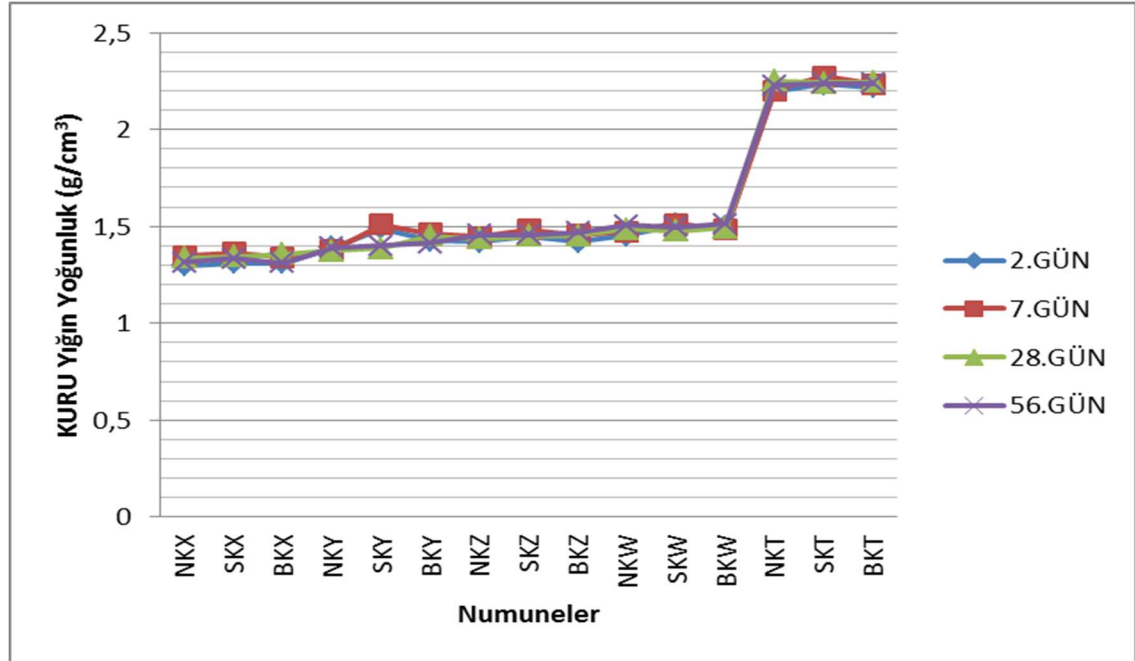
Harç numunelerin kuru yığın yoğunluk değerleri Şekil 4.9-11'de sergilenmektedir. Farklı çimento dozajlarında üretilen her bir harç numunesinin kuru yığın yoğunluğun 1,60 g/cm³'ten daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol numunelerinin kuru yığın yoğunluklarının ise 2,20 g/cm³'ten daha yüksek değerler aldığı ölçülmüştür. Zeolit içeriği fazla olan numunelerin kuru yığın yoğunluğu, düşük olan numunelere göre daha küçük değerler almıştır. Kuru yığın yoğunluk değerleri, numune yaşı ilerledikçe artan değerler alacak şekilde gelişme göstermiştir.

200 kg/m³ çimento dozajlı numuneler içerisinde 56. günde gerçekleştirilen ölçümlere göre en düşük kuru birim ağırlık değerinin 1,31 g/cm³ değeri ile BKX numunesine, en yüksek kuru birim ağırlık değerinin ise 1,51 g/cm³ değeri ile BKW numunesine ait olduğu belirlenmiştir.

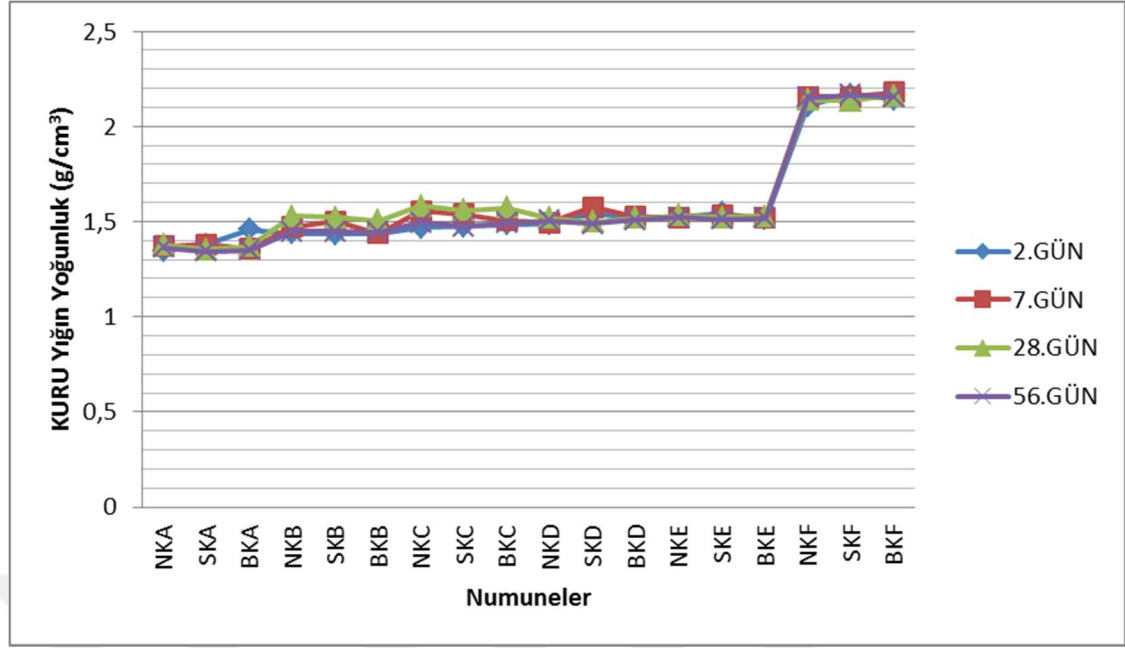
SDKY yığın yoğunluk değerlerinde olduğu gibi, çimento dozajının artmasıyla kuru yığın yoğunluk değerleri de artış göstermiştir. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde 56. günde ölçülen en düşük ve en yüksek kuru yığın yoğunluk değerleri sırasıyla SKA: 1,33 ve NKE: 1,51 g/cm³'tür. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise 56. günde ölçülen en küçük ve en büyük değerler sırası ile SK1: 1,34 ve BK5: 1,53 g/cm³'tür.

Kontrol numunelerinin kuru birim ağırlık değerleri çimento dozajı arttıkça düşüş göstermiştir. Bu duruma sebep olarak artan çimento dozajı ile birlikte karışıma giren su miktarının da artmasıyla agrega hacminin azalması gösterilebilir. Su yoğunluk değerinin, kırma kum agregasının yoğunluk değerine göre oldukça küçük bir değere sahip olması toplam numune yoğunluğuna düşüş olarak yansımıştır. Hafif agregalarla üretilen karışımlarda ise, agrega yoğunlukları çimento yoğunluğuna göre düşük olduğundan çimento miktarının artışı karışım yığın yoğunluğuna artış olarak yansımıştır. 200 kg/m³ çimento dozajlı seri içerisinde kontrol numunelerine ait kuru yığın yoğunluklar NKT 2,22 g/cm³, SKT 2,22 g/cm³ ve BKT ise 2,23 g/cm³'tür. 300 kg/m³'lük seride NKF 2,15 g/cm³, SKF 2,16 g/cm³ ve BKF 2,15 g/cm³'tür. Özellikle 400 kg/m³ çimento dozajı ile üretilen seride düşüşler daha belirgindir: NK6 2,07 g/cm³, SK6 2,09 g/cm³ ve BK6 2,06 g/cm³'tür.

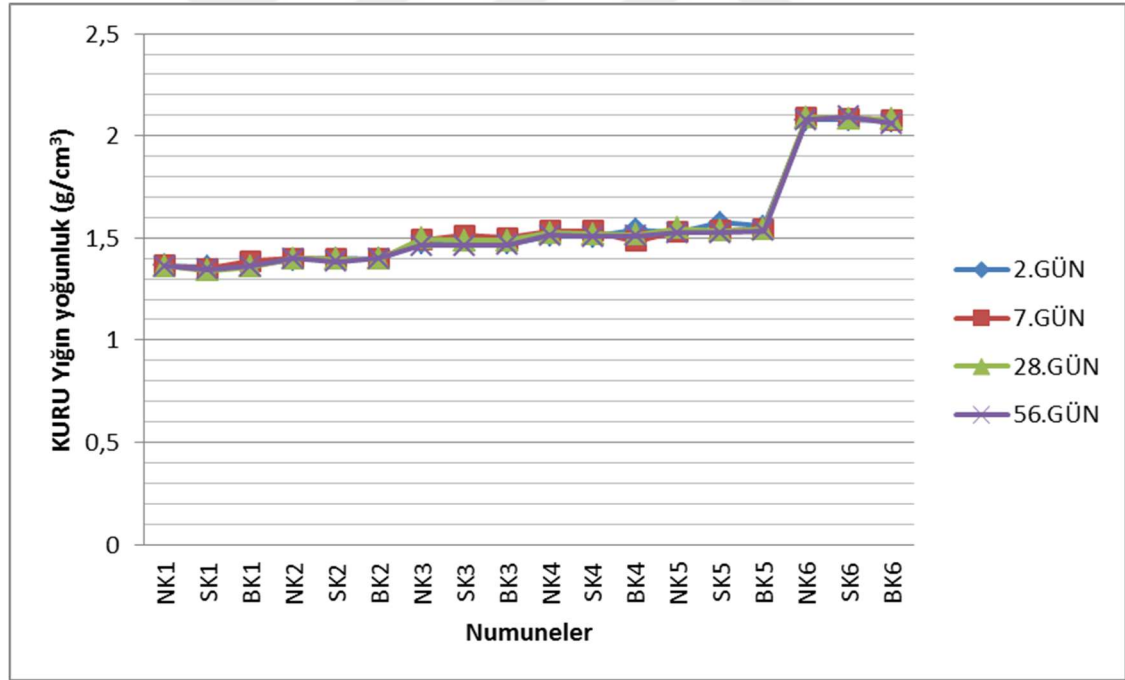
Buhar kürünün çimento çimento bağlayıcı malzemelerin boşluk yapısındaki etkileri Gonzalez-Corominas vd. (2016) tarafından araştırılmıştır. Karşılaştırma için havada kürlene yaptıkları bir seri numune daha üretmişlerdir. Boşluk karakteristiğini test edebilmek için civa porozimetresi deney metodunu kullanmışlardır. 1. gün ve 90. gün alınan ölçümleri karşılaştırdıklarında buhar kürü ile kürlenen numunelerin boşluk yüzdelerindeki artışın, hava kürüne tabi tutulan numunelere göre bir miktar daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.9. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin KURU yığın yoğunlukları



Şekil 4.10. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin KURU yığın yoğunlukları



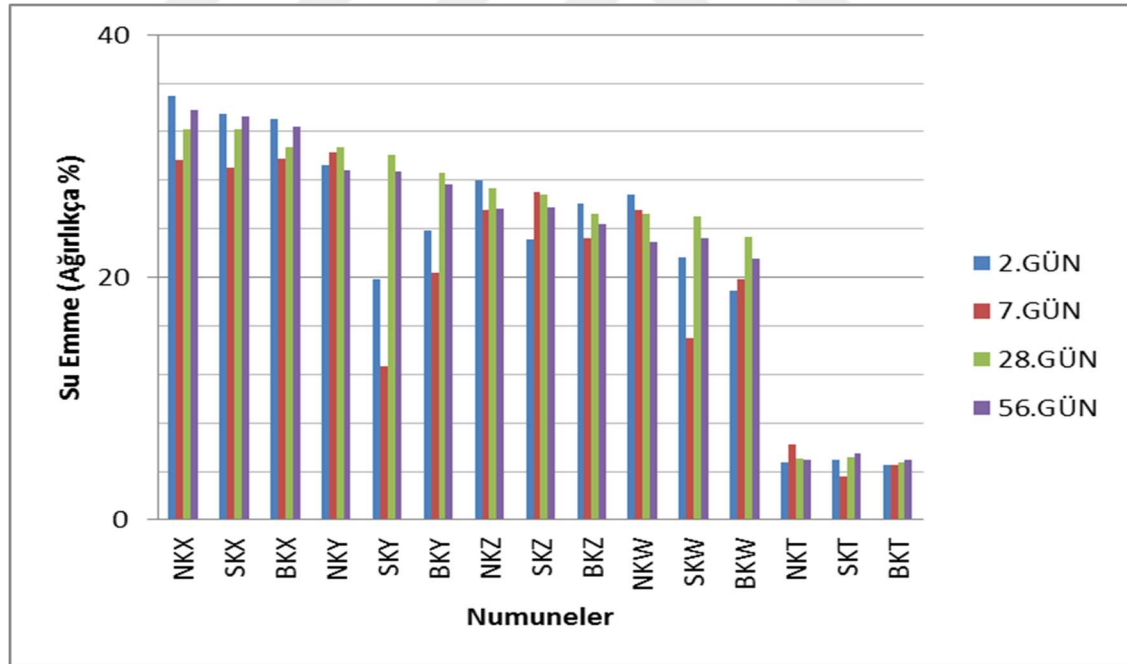
Şekil 4.11. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin KURU yığın yoğunlukları

Buhar kürü ile kürlenene hafif harç numunelerinin SDKY ve kuru yığın yoğunlukları, diğer kür çeşitlerine maruz bırakılan numunelere göre daha düşük değerler almıştır. Buhar kürünün numunelerin iç yapısındaki etkisi daha boşluklu bir yapı oluşturmak yönünde olabilir. Bu duruma paralel sonuçların elde edildiği çalışmalar literatürde mevcuttur. Ba vd. (2011) buhar kürünün etki süresinin harçların iç yapılarındaki boşluk karakteristiğini araştırdıkları bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu

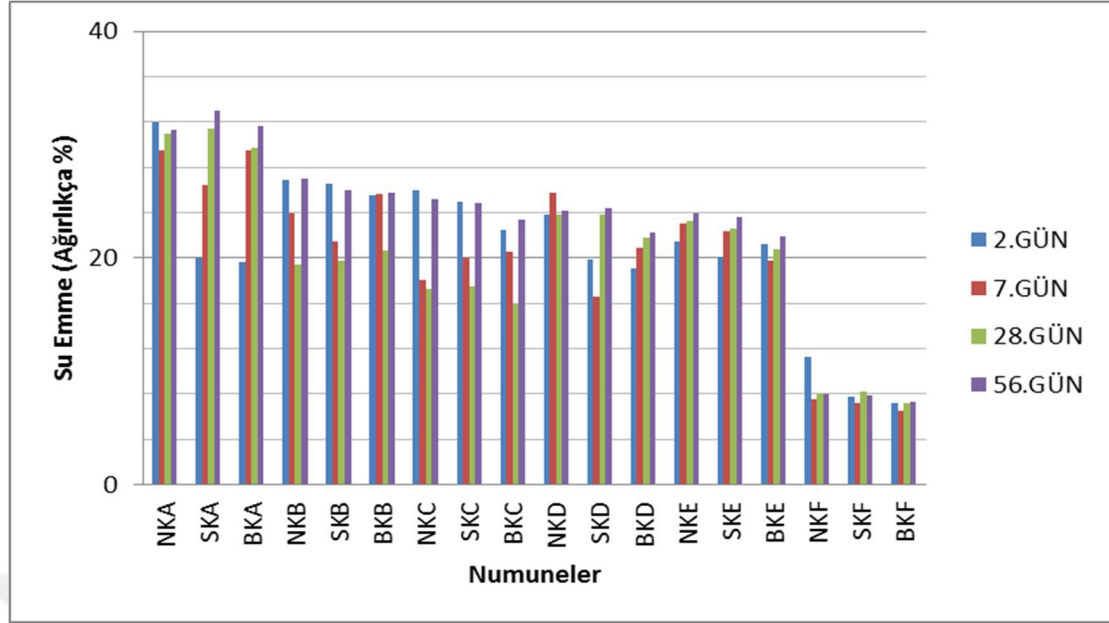
amaçla 5, 10, 14 ve 24 saat olmak üzere, dört farklı süreyle buhar kürü ile kürledikleri numunelerin boşluk karakteristiğini, civa porozimetresi metodu ile incelemişlerdir. Toplam boşluk oranı tüm numunelerde yakın değerlerde seyretmesine rağmen özellikle 10 saat üzerinde buhar kürü ile kürlenen numunelerde oluşan boşlukların çapında büyüme olduğunu belirtmişlerdir.

Kılınçarslan vd. (2018) farklı kökenlere sahip dört çeşit pomza agregasını köpük beton üretiminde kullandıkları bir çalışma yürütmüşlerdir. Numune üretimlerinde çimento miktarı ve su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Kontrol numunesini ise kireç taşı agregası kullanarak üretmişlerdir. Gerçekleştirdikleri kuru yığın yoğunluk deneyi sonuçlarına göre, her ne kadar kullanılan agregaların hepsi pomza olsa da, agreganın elde edildiği kaynağa göre kuru yığın yoğunluk değerlerinde farklılıklar elde etmişlerdir. Bu durumu ise pomzanın gözenekli bir yapıya sahip olması ve bu incelenen özelliklerinin pomzanın yapısı ile ilişkili olmasına bağlamışlardır. Pomza agregası ile üretilen köpük betonların kuru yoğunluk değerlerini iki pomza çeşidi için kontrol numunesinden küçük, diğer iki çeşit için ise büyük olarak ölçmüşlerdir.

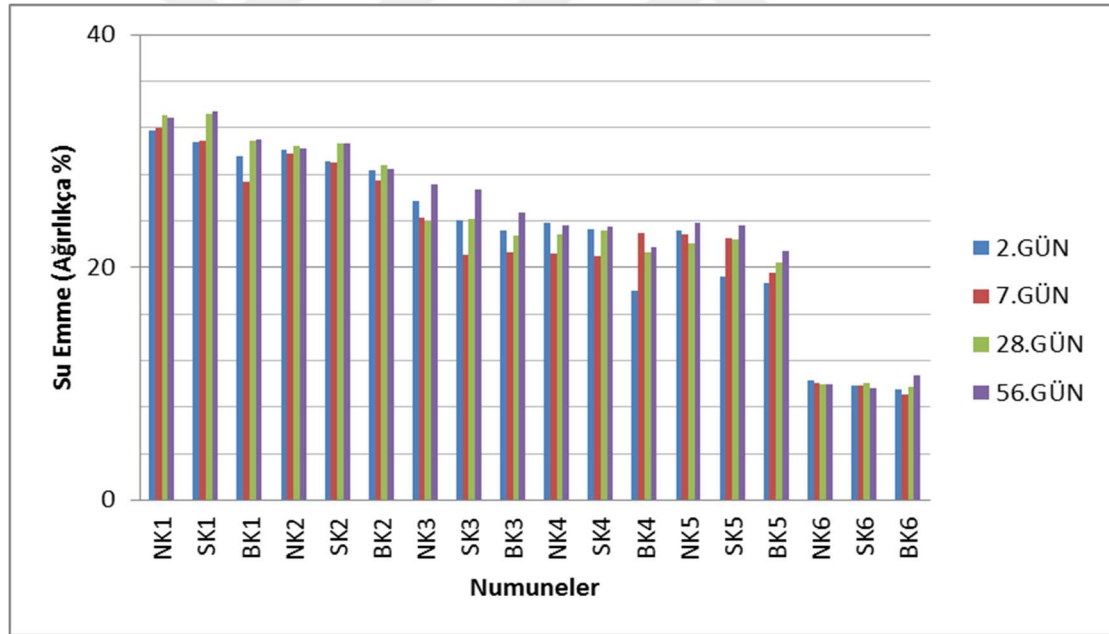
Harç numunelerin ağırlıkça su emme %'leri Şekil 4.12-14'te gösterilmektedir. Artan çimento dozajıyla birlikte hafif agregalarla üretilen harç numunelerin su emme değerlerinde düşmeler gözlemlenirken, kontrol numunelerinde artan çimento dozajının etkisi artan su emme oranları şeklinde gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin ağırlıkça % su emme değerleri



Şekil 4.13. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin ağırlıkça % su emme değerleri



Şekil 4.14. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin ağırlıkça % su emme değerleri

Pomza ve zeolit agregaları su emme kapasitesi yüksek agregalar olduklarından bu agregalarla üretilen harçların su emme değerleri de bütün seriler için kontrol numunesinden daha yüksek değerlerde olmuştur. Su emme değerlerinde en yüksek değer genellikle 2. günde ölçülmüştür. 2 günlük süreç, çimentonun hidrasyon reaksiyonlarını tamamlayabilmesi için çok erken bir zaman dilimidir. 7. günde alınan ölçümlerde 2. güne kıyasla düşmeler gözlemlenmiştir. Dolayısıyla reaksiyonlar tam anlamıyla bitmediğinden numune içyapısında birbiriyle bağlantılı boşluk oranı fazladır.

Harç numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri içerdikleri zeolit agregası miktarı ile doğru orantılıdır. Zeolit agregasının miktarı arttıkça numunelerin ağırlıkça su emme değerleri de artış göstermiştir. Ramezaniapour vd. (2015) klinoptilolit mineral fazlı doğal zeoliti, değişik oranlarda çimento ile yer değiştirerek kullandıkları deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Numuneler içerisindeki zeolit miktarı arttıkça işlenebilirlik değerleri düşmüştür ve karışım suyu miktarına olan ihtiyaç artmıştır.

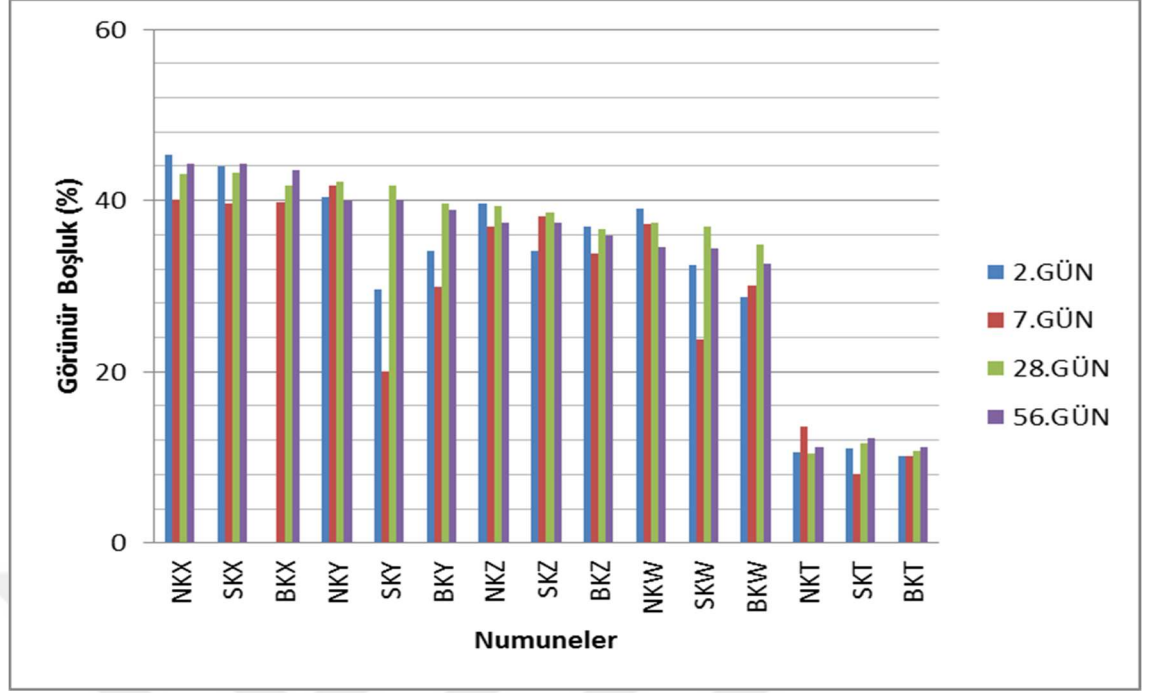
Numunelerin su emme değerleri, çimento dozajı 300 kg/m^3 ve 400 kg/m^3 olan seriler için, numune yaşı arttıkça artış göstermiştir. NKB numunesinin 28. günde ölçülen ağırlıkça su emme değeri %19,44 iken 56. günde ölçülen değer %26,99'dur. NK3 numunesinin 28. ve 56. günlerde ölçülen su emme değerleri ise sırasıyla %23,96 ve %27,13'tür. Benzer sonuçların elde edildiği bir çalışma Ranjbar vd. (2013) tarafından yürütülmüştür. Araştırmacılar doğal zeolit kullanımının kendinden yerleşen betonların davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada da doğal zeolit değişen yüzdelerde çimento ile yer değiştirme malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen karışımlar üzerinde yapılan taze hal deneylerine, göre zeolit miktarının artmasıyla viskozite de artmış ve bunun sonucu olarak işlenebilirlik negatif yönde etkilenmiştir. Su emme oranları ise %16'dan %23,7'ye çıktığı görülmüştür.

Numunelerdeki pomza agregası miktarı artış gösterdikçe, daha az pomza içeren harçlara göre su emme değerlerinde azalış gözlemlenmiştir. Ayrıca ileriki yaşlardaki su emme değerleri karşılaştırıldığında 28. ve 56. günlerde ölçülen değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. NKE kodlu numune için 28. ve 56. günlerde ölçülen değerler sırasıyla %23,22 ve %23,92'dir. BK5 numunesinin değerleri ise %20,40 ve %21,38'dir.

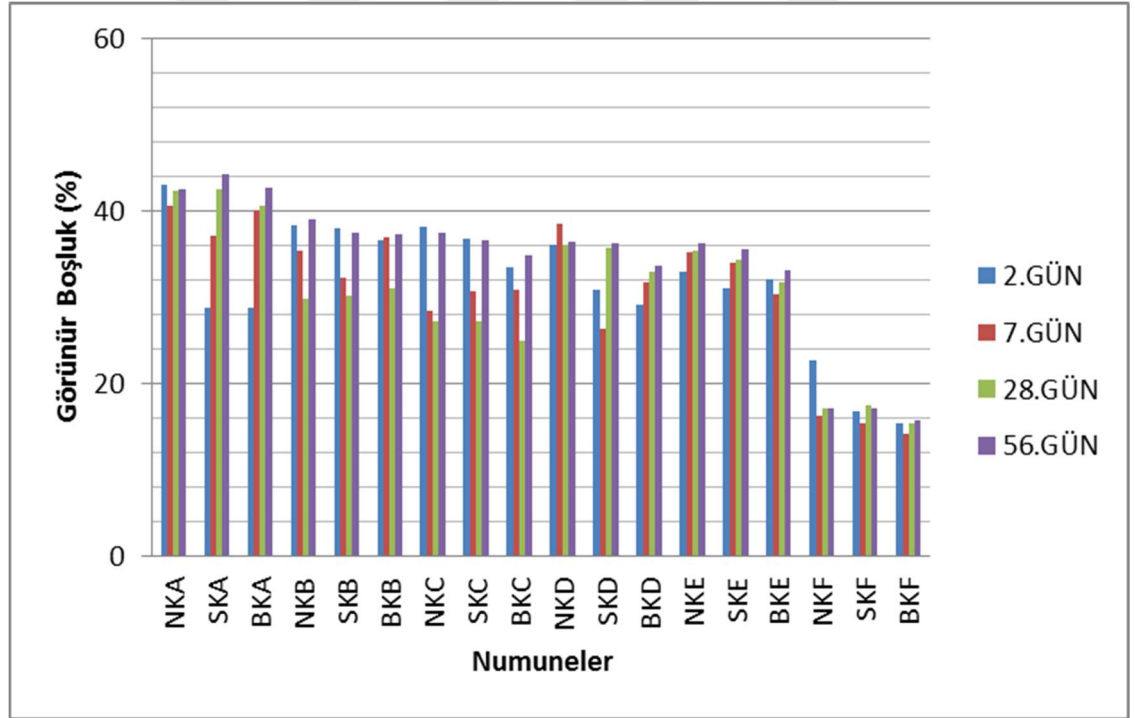
Farklı çimento dozajları ile üretilen hafif agregalı serilerde, çimento dozajı arttıkça ağırlıkça su emme oranlarında azalmalar gözlemlenmiştir. Kontrol numunelerinde ise bu durum tam tersi bir şekilde gelişmiştir. 400 kg/m^3 çimento dozajı ile üretilen kontrol numunelerinin su emme oranı diğer serilerle kıyaslandığında en büyüktür. 200 kg/m^3 çimento dozajlı kontrol numunelerinde 56. günde ölçülen en büyük su emme değeri %5 ile NKT numunesine aittir. Aynı gün ölçüm yapılan 400 kg/m^3 çimento dozajlı kontrol numunelerde ise en büyük su emme değeri %10,69 ile BK6 numunesine aittir.

Sıcak su kürü ile kürlen numunelerde su emme değerleri 2. günden 7. güne düşüş göstermiş olup sonrasında 56. güne kadar tekrar artış gösteren bir trend izlemiştir. SKY numunesi 7. günde, 2. güne göre %7,15 daha az su emerken 56. Günde 2. Güne göre %8,84 daha fazla su emmiştir. Buhar kürü ile kürlen numuneler ise erken yaşlarda daha düşük oranlarda su emerken ilerleyen yaşlarda su emme değerlerinde artış gözlemlenmiştir. BK5 numunesinin su emme değerleri artan günlere göre sırasıyla %18,66, %19,49, %20,40 ve %21,38'dir.

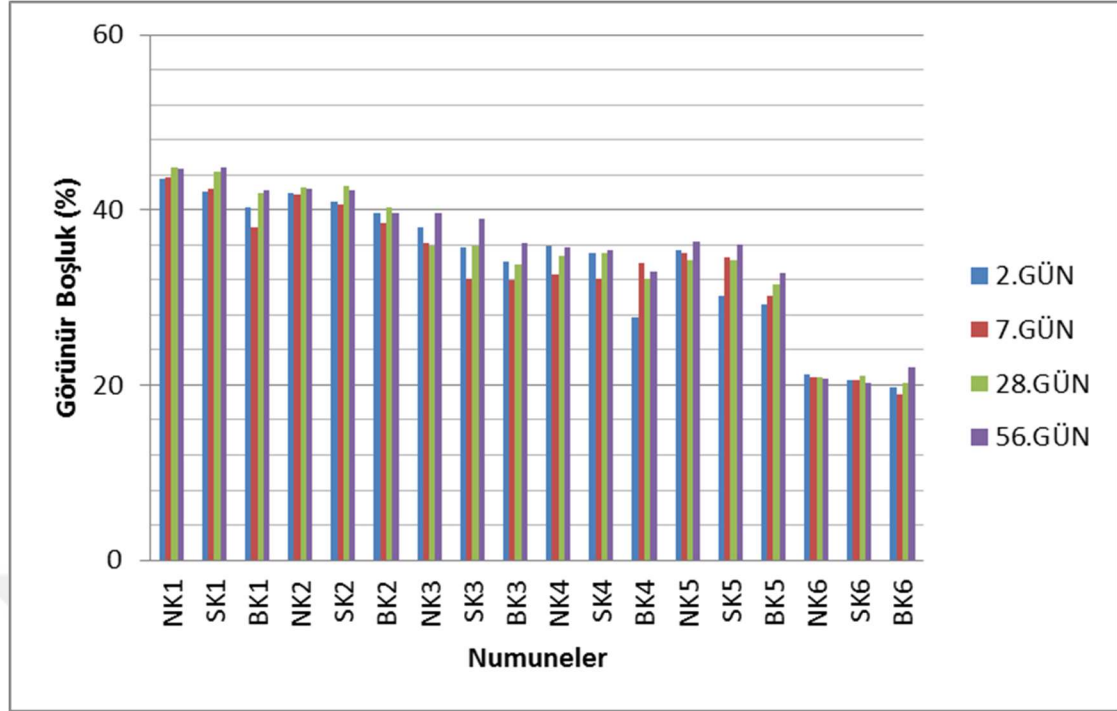
Kontrol numuneleri ve hafif agregalı harçlara ait görünür boşluk yüzdeleri Şekil 4.15-17'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.15. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin görünür boşluk değerleri (%)



Şekil 4.16. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin görünür boşluk değerleri (%)



Şekil 4.17. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin görünür boşluk değerleri (%)

Görünür boşluk değerleri, ağırlıkça % su emme değerleri ile paralellik göstermektedir. 200 kg/m³ çimento dozajlı numuneler içerisinde 2. günde alınan ölçümlere göre NKX numunesi en yüksek ağırlıkça su emme ve görünür boşluk değerine sahiptir. Numuneler içerisinde pomza miktarının artmasıyla görünür porozite değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumu daha iyi gözlemleyebilmek için hafif agregalarla üretilen bütün seriler içerisinde 56. günde alınan ölçümlere bakıldığında, 200 kg/m³ çimento dozajlı numuneler içerisinde NKX %44,36 ve NKW %34,53'tür. X serisinden W serisine pomza oranı hacimce %30 artmıştır ve bu artış görünür boşluk oranında %9,93 azalış olarak gözlemlenmiştir. A serisinden E serisine ve 1 serisinden 5 serisine pomza artış oranları %40 olarak aynı değere sahiptir. 300 kg/m³ çimento dozajlı numuneler içerisinde NKA %42,51 ve NKE %36,3 değerini almıştır. Bu seride gözlenen düşüş ise %6,21 dir. 400 kg/m³ çimento dozajlı numuneler içerisinde NK1 %44,71 ve NK5 %36,30 değerini alarak %8,41 düşüş göstermiştir.

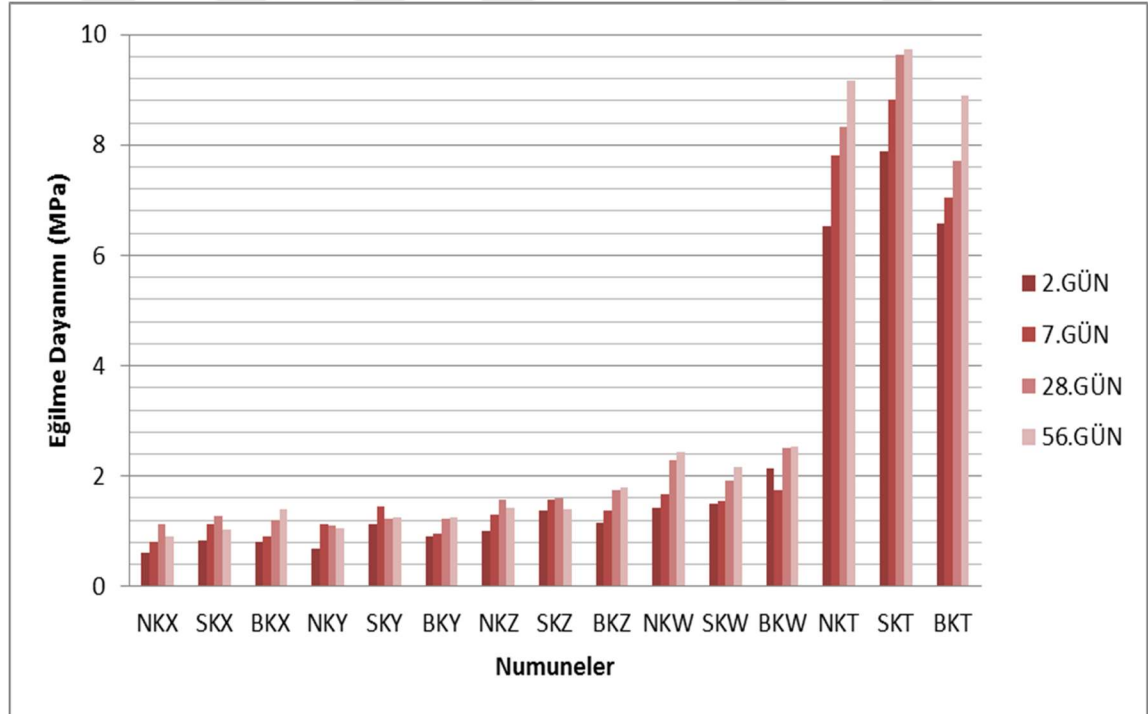
Kendi serileri içerisinde buhar kürü ile kürlen numunelerin görünür boşluk oranları diğer kür yöntemlerine maruz bırakılan numunelere göre daha düşüktür. C serisinin 56. gün alınan ölçümleri NKC, SKC ve BKC sırasıyla %37,39, %36,57 ve %34,88'dir.

4.3.2. Mekanik deneylere ait bulgular

Bu bölümde numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğilme dayanımı ve basınç dayanımı testlerinin bulguları verilerek numunelerin mekanik özellikleri üzerinde fiziksel özelliklerin etkileri de göz önünde bulundurularak tartışılmıştır. Bunun yanında yarmada çekme deneyleri 300 kg/m³ çimento dozajlı numuneler için gerçekleştirilmiştir.

olup deney bulguları bu bölümde irdelenmiştir. Yarmada çekme dayanımları Şekil 4.20’de sergilenmiştir.

Eğilme dayanımı testleri 2, 7, 28 ve 56. günlerde gerçekleştirilmiştir ve numunelere ait dayanım değerleri Şekil 4.18-21’de verildiği gibidir. Çimento miktarının artmasıyla eğilme dayanım değerleri de artış göstermiştir. 200 kg/m³’lük ve 400 kg/m³’lük serilerde, aynı agrega yer değiştirme oranına sahip ve aynı küre tabi tutulan NKZ ve NK3 kodlu numunelerin 2. günde ölçülen eğilme dayanımları sırasıyla 0,99 MPa ve 3,87 Mpa’dır. Bu numuneler için çimento dozajının iki katına çıkması eğilme dayanımının yaklaşık olarak dört kat artmasına neden olmuştur. Ancak bu artış her numune için aynı miktarlarda görülmemektedir. BKW ve BK4 numunelerinin 2 günlük eğilme dayanımları 2,14 MPa ve 3,83 MPa’dır. Bu numuneler için ise çimento miktarının iki katına çıkmasıyla, eğilme dayanımının da yaklaşık olarak iki kat artması şeklinde sonuçlanmıştır. Bu durumun sebebi Z ve 3 serilerine göre W ve 4 serilerinde pomza agregasının %10 daha fazla olması ve aynı zamanda kür rejiminin farklı olması gösterilebilir. Normal küre maruz bırakılan numunelerin çimento dozajı arttıkça eğilme dayanımlarındaki artış, sıcak kür ve buhar kürü ile kürlen numunelere göre daha fazladır. Özellikle 2 ve 7. gün gibi erken yaşlarda sıcak kür ile kürlen numunelerin eğilme dayanımları diğer kür koşullarında bekletilen numunelere göre daha fazladır. Bu çalışmada numuneler kalıptan çıkarılmalarını takriben 2 gün boyunca sıcak kürde bekletilip sonrasında normal kür tankına alınmışlardır. Özellikle çimento miktarının fazla olduğu sıcak su kürü ile kürlen bazı numunelerde 2. gün eğilme dayanımları 7. gün ölçülen değerlere göre daha yüksektir. SK2 numunesinin 2. ve 7. günlerdeki eğilme dayanımları sırasıyla 3,19 MPa ve 2,91 MPa’dır.



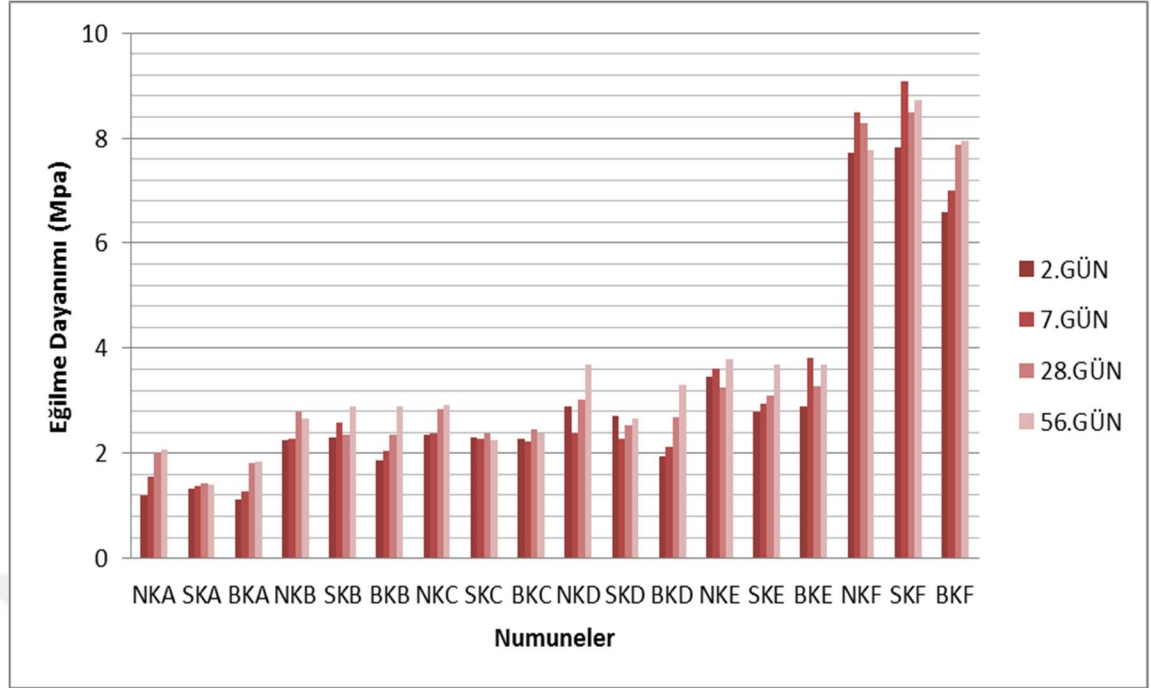
Şekil 4.18. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin eğilme dayanımı değerleri

X-W serisi numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı değerleri her yaşta W kodlu numuneler için ölçülmüştür. Ayrıca W serisi kendi içerisinde de en yüksek eğilme dayanımı sonuçlarını buhar kürü ile kürlenmiş numunelerde vermiştir. X'ten W'ye numunelerin içerdiği pomza miktarı artmaktadır ve eğilme dayanımı da bu artışla paralel bir davranış sergilemektedir. Uygunoğlu ve Ünal (2007) pomza agregası ile ürettikleri harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin gelişimi üzerinde buhar kürünün etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla ürettikleri harçlarda çimento miktarını ve su/çimento oranını sabit tutarak harçları havada, suda ve basınçlı buhar kürü (otoklav) ile kürlemişlerdir. Buhar kürünü ise 2, 4, 6, 8, 10 saat olmak üzere beş farklı süre ile numunelere uygulamışlardır. 8 saate kadar olan buhar kürü artış miktarı numunelerin mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkiler yaratırken, 8 saat sonrasında dayanımlarda düşmeler gözlemlenmiştir. Bu durum numunelerin su emme ve görünür boşluk değerlerinde de aynı şekilde sirayet etmiştir. 2 saatten 8 saat kür süresine çıkılan her bir basamakta numunelerin su emme ve görünür boşluk oranı kür süresine paralel olarak düşmüş ancak 8. saatten sonra tekrar yükselmiştir.

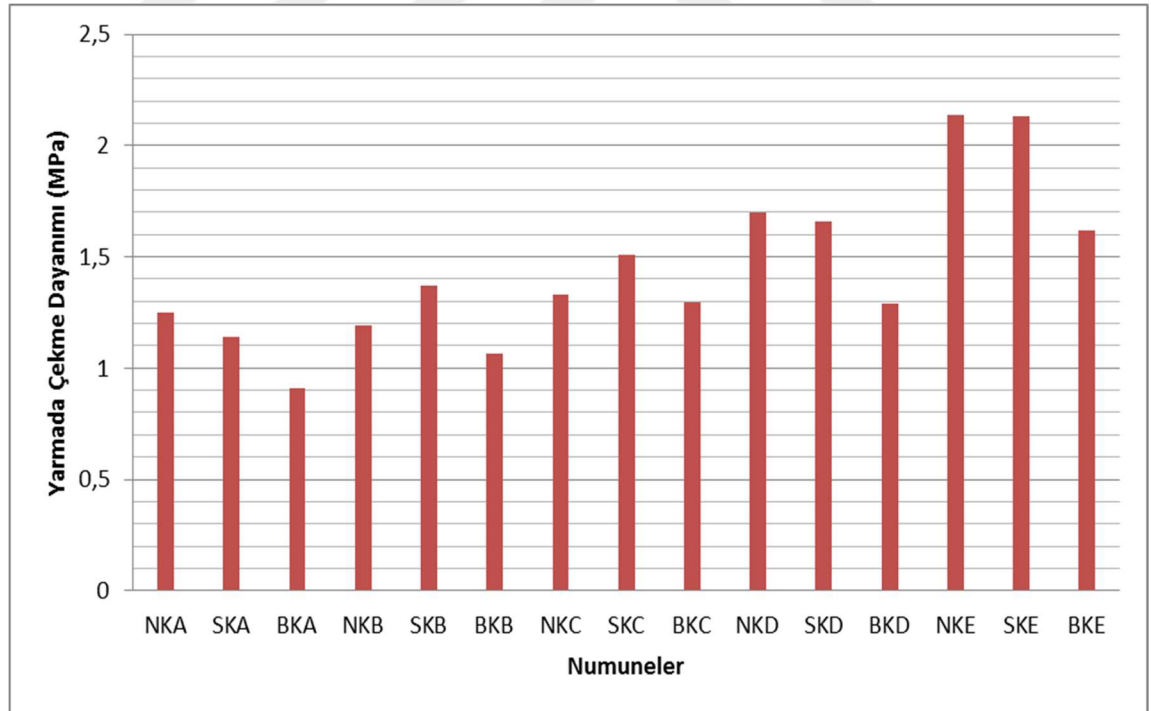
Zeolit agregasının hacimce fazla olduğu X ve Y serilerinde ise sıcak su kürünün erken yaşlardaki dayanımı artırıcı etkisi daha fazla gözlemlenmektedir. X ve Y serilerinde 2. gün eğilme dayanımları buhar kürü ve sıcak su kürü etkileri dikkate alınarak karşılaştırıldığında SKX 0,84 MPa, BKX ise 0,81 MPa'dır. Y serisinde ise fark daha belirgin gözlemlenmektedir. SKY 1,13 MPa ve BKY 0,90 MPa eğilme dayanımına sahiptir. 300 kg/m³'lük seride ise D kodlu numuneye ait 2. günde ölçülen eğilme dayanımları SKD 2,71 MPa ve BKD 1,95 MPa'dır. Arel (2016) farklı kür etkilerinin yüksek dayanımlı betonların üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada sıcak su kürünün dayanımlar üzerindeki olumlu etkisinin buhar kürü ve standart kürlemeye göre daha fazla olduğunu belirtmiştir.

300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin eğilme dayanımı değerleri 56. gün ölçümleri dikkate alındığında 1,41 MPa ve 3,69 MPa değerleri arasındadır. Aynı seri içerisinde 56. günde kontrol numuneleri ise 7,76 MPa ve 8,72 MPa arasında değerler almışlardır. Bu seride de pomza agregasının artış göstermesiyle eğilme dayanımı değerleri artış göstermiştir ve en yüksek eğilme dayanımı değerleri en yüksek pomza içeriğine sahip E serisi içerisinde ölçülmüştür.

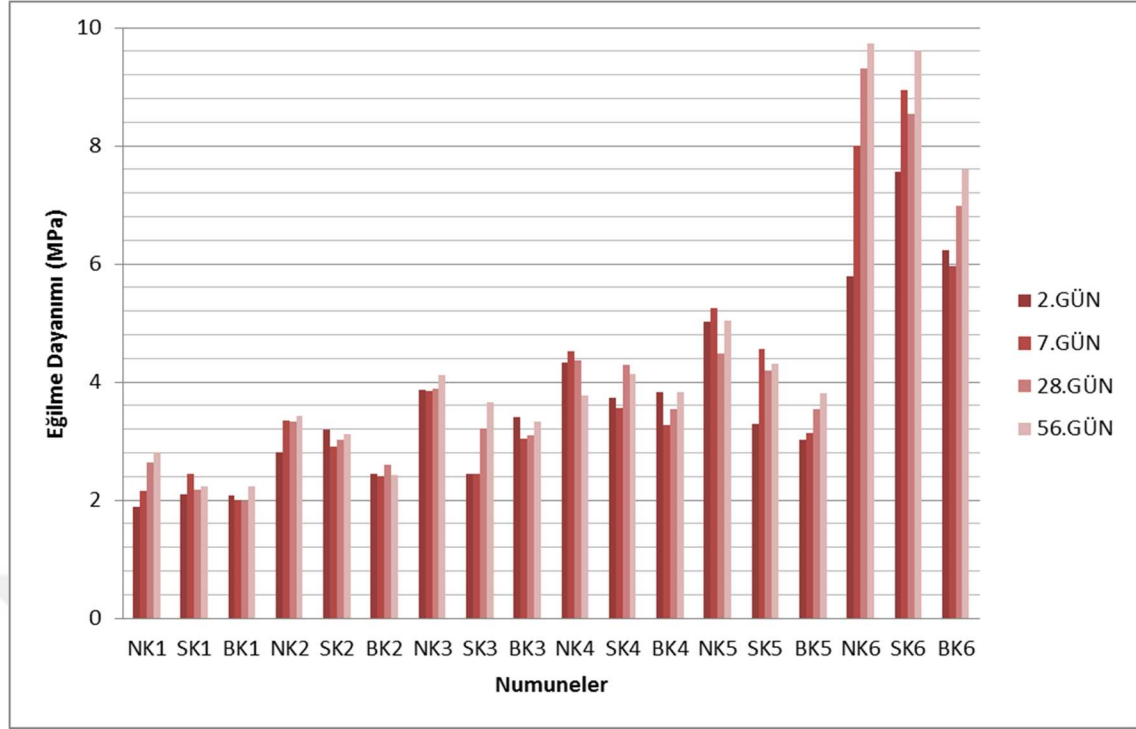
Yarmada çekme dayanımları ise beklenildiği üzere eğilme dayanımlarından daha düşüktür. Eğilme dayanımında maksimum moment tek bir noktada oluşmaktadır ve böylece numune içerisinde çok küçük bir alan çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Ayrıca çekme bölgesi bir doğru gibi numuneyi ortadan bölen düzlemde geçmektedir. Numune içerisinde çekme yönünden zayıf bölgeler olsa dahi bu doğrusal çekme alanında olmadıkları takdirde dayanımı azaltıcı etkileri görülemeyecektir. Yarmada çekme yönteminde ise, çekme kuvvetlerine maruz kalan alan daha büyüktür. Ayrıca numune içerisindeki süreksizliklerin bu çekme alanı içerisinde kalma olasılığı daha yüksektir. Yarmada çekme dayanımları da numune içerisinde pomza miktarının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. 7. günde gerçekleştirilen yarmada çekme testinin sonuçlarına göre dayanımlar 0,91 MPa ve 2,13 MPa arasında değişmektedir. Numunelere ait eğilme dayanımları önce verilmek koşuluyla karşılaştırmalara gidilirse değerler şu şekildedir: NKA: 1,55-1,25, NKB: 2,28-1,18, NKC: 2,37-1,33, NKD: 2,37-1,69 ve NKE: 3,61-2,13 şeklindedir.



Şekil 4.19. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin eğilme dayanımı değerleri



Şekil 4.20. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin 7 günlük yarmada çekme dayanımı değerleri



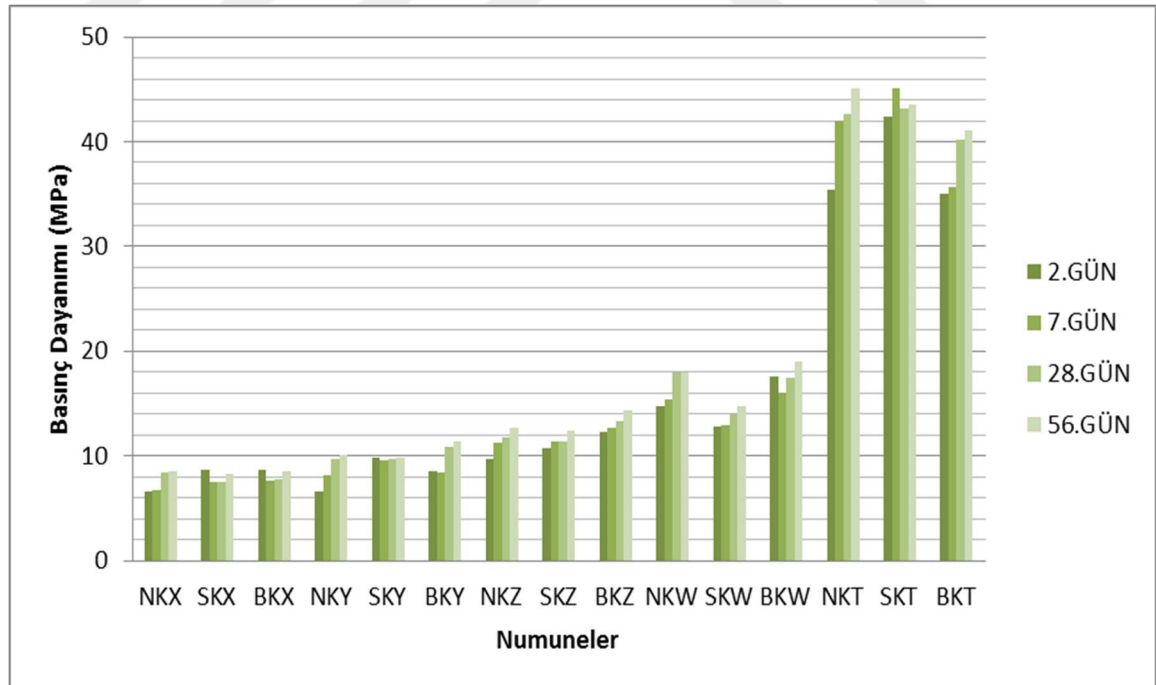
Şekil 4.21. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin eğilme dayanımı değerleri

400 kg/m³ çimento dozajlı seri, tüm seriler içerisinde en yüksek eğilme dayanımlarının alındığı seridir. Serinin kendi içerisinde elde edilen en düşük dayanımlar genellikle zeolit agregasının hacimce yüksek olduğu numunelerde olmuştur. 56. günde ölçülen en düşük eğilme dayanımı değeri %70 oranında zeolit agregası içeren SK1 ve BK1 numunelerine aittir ve bu değer her iki numune için de aynı olup 2,23 MPa'dır. İçerik bakımından en fazla pomza agregasına sahip olan 5 serisinde her yaşta alınan eğilme dayanımı ölçümlerine göre buhar kürü ile kürlenene numuneler hep daha küçük değerler almıştır. 5 serisinde elde edilen en yüksek eğilme dayanımları ise normal küre maruz bırakılan numunelerde görülmüştür. Bütün numunelere bakıldığında ise buhar kürü ile kürlenene numunelerin eğilme dayanımları genellikle diğer kür rejimlerine tabi tutulan numunelere göre bir miktar düşük kalmıştır. Bunun sebebi artan çimento miktarı ile hidrasyon reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi ve devam edebilmesi için su ihtiyacının artmasına bağlanabilir. Buhar kürü ortamı her ne kadar %90 rölatif nem içerse de tamamen su içerisinde bulunan numuneler %100 oranında nemlilik içerisindeyler. Ayrıca suyun kılcallık özelliğinden dolayı numune içlerine nüfus edebilmesi daha kolay olmaktadır.

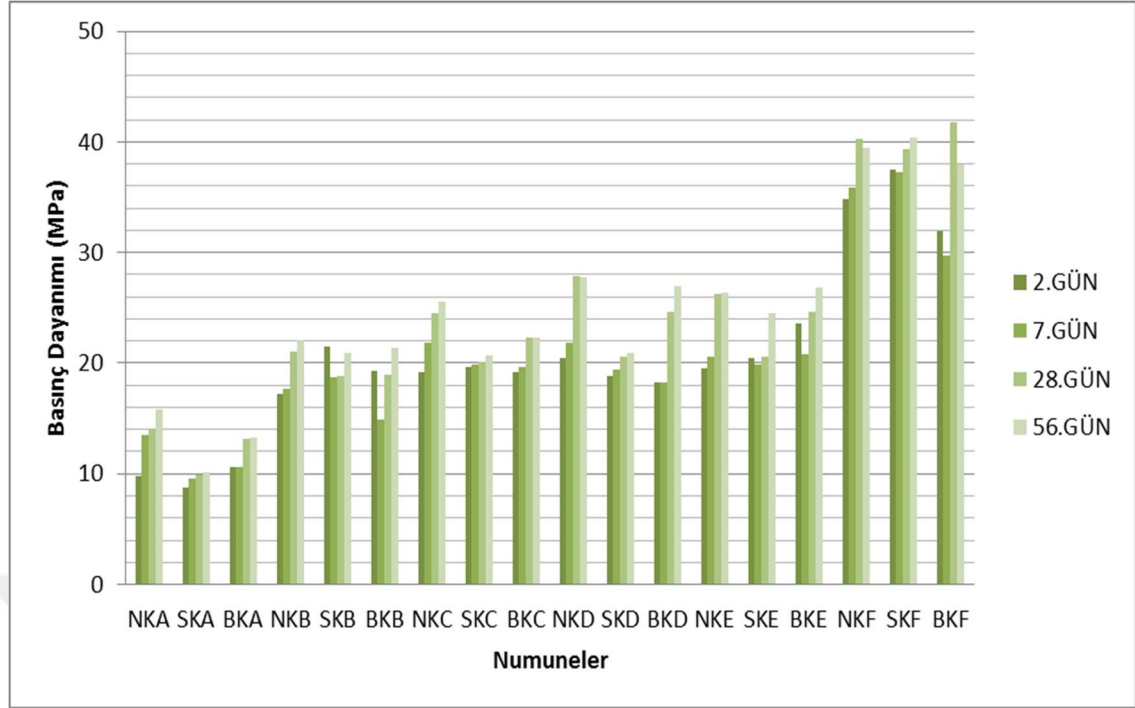
Numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.22-4.24'te verildiği gibidir. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin basınç dayanımı kontrol numunesine göre oldukça düşük kalmıştır. Ancak artan çimento dozajlarıyla birlikte hafif agregalarla üretilen numunelerin basınç dayanımı 30 MPa'nın üzerine çıkmıştır. 200 kg/m³ çimento dozajlı seri içerisinde 56. günde ölçülen en düşük basınç dayanımı değeri 8,25 MPa olarak SKX numunesine aittir. En yüksek değer ise 19,04 MPa ile BKW numunesidir. Buhar kürü ve sıcak su kürünün erken yaşlarda dayanımı arttırıcı etkisi gözlemlenmektedir. Y kodlu numunenin kürlere göre 2. günde ölçülen basınç dayanımları şu şekildedir: NKY:6,55 MPa, SKY: 9,83 MPa ve BKY:

8,51 MPa. Gesoğlu vd. (2013) buhar kürü ve normal su kürünün hafif agregalarla ürettikleri numuneler üzerinde etkilerini araştırmışlardır. Buhar kürünü 23 saat süresince 70 60 °C’de uygulamışlardır. Sonrasında numuneleri normal kür tankına almışlardır. Buhar kürü ile kürledikleri numunelerin 1. gün ölçtükleri basınç dayanım değerleri yaklaşık 30 MPa iken, normal su kürü ile kürledikleri numunelerin ise ancak 20 MPa’dır. Ancak 56. günde kürlere göre basınç dayanım değerlerini karşılaştırdıklarında buhar kürü ile kürlenene numunelerin basınç dayanımı 35 MPa seviyelerinde iken normal su ile kürlenene numunelerin 40 MPa’ın üzerinde değerler aldıklarını belirtmişlerdir. Buhar kürünün erken yaşlarda hızlı dayanım kazanımı sağladığını ancak ilerleyen yaşlarda bir miktar düşüşlere sebebiyet verdiğini söylemişlerdir.

Long vd. (2017) hafif agrega olarak genişletilmiş kil ve seramik atıklarını sinterleyerek ürettikleri seramik kumunu kullanarak ürettikleri harçlar üzerinde buhar kürünün mekanik özelliklere etkilerini araştırmışlardır. Kontrol numunesi olarak ise kırma taştan ürettikleri numuneyi kullanmışlardır. Hafif agregalı numuneleri ise genişletilmiş kil ve seramik kumunu, kırma kum agregası ile %30 oranında yer değiştirerek üretmişlerdir. Numuneleri 14 saat süresince buhar kabinde 60 °C’de kürlenmişlerdir. Bu 14 saatin 2 saati ön ısıtma, 2 saati ısıtma, 8 saat boyunca küre maruz bırakma ve 2 saat soğutma şeklindedir. Buhar kürü süresi dolduktan sonra numuneleri normal kür tankına almışlardır. 28. günde gerçekleştirdikleri basınç dayanımı testine göre buhar kürü ile kürlenene genişletilmiş kil ve seramik kumu agregalı numunelerin basınç dayanımı değerlerinin kontrol numunesine göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.



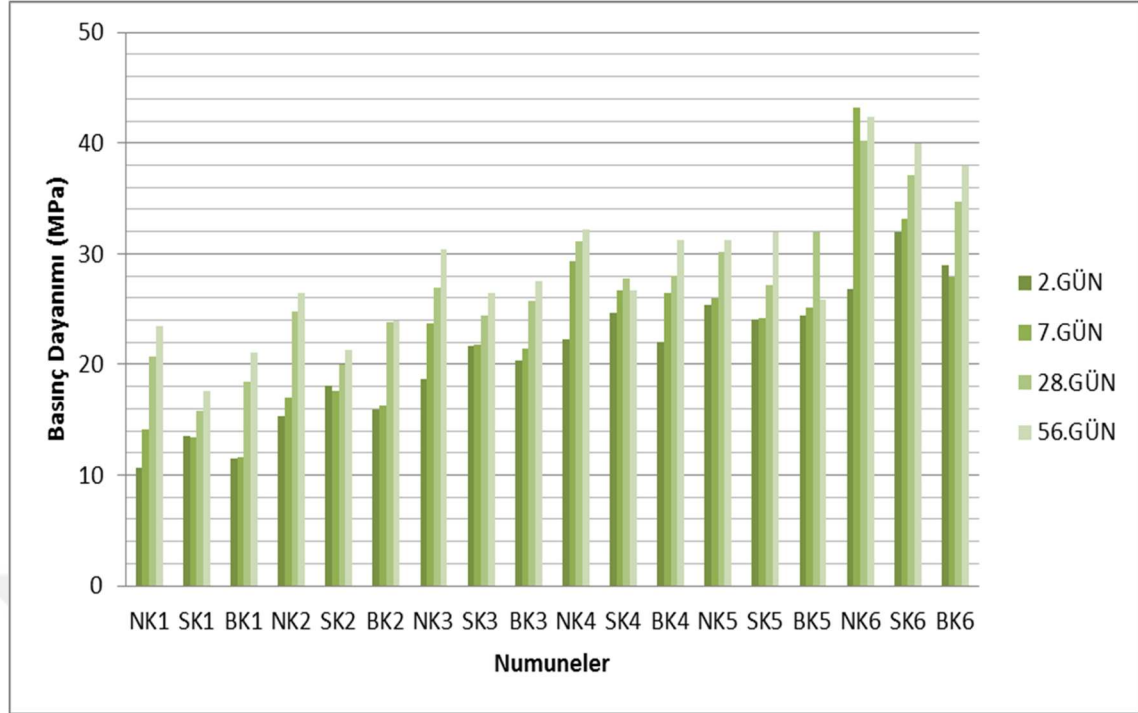
Şekil 4.22. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin basınç dayanımı değerleri



Şekil 4.23. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin basınç dayanımı değerleri

300 kg/m³ çimento dozajlı seride 56. günde ölçülen en düşük ve en yüksek basınç dayanımları sırasıyla SKA: 10,14 MPa ve NKD:27,77 MPa olarak belirlenmiştir. Seri içerisinde bazı numunelerde erken yaşlarda kazanılan dayanımın ileriki yaşlarda bir miktar düşüş gösterip sonradan tekrar artmaya başladığı davranışlar gözlemlenmiştir. Bu davranışların sebepleri numunelere uygulanan kür yöntemlerinin ileriki yaşlarda değişiklik göstermesi olabileceği gibi numune iç yapısında gerçekleşen bir agrega reaksiyonu olma ihtimali de göz önünde tutulmuştur. Agregaların iç yapısının dayanımlardaki zik zak değerler üzerinde ne gibi etkiler oluşturduğu ileriki bölümlerde verilecek olan SEM ve EDX analizleriyle incelenmiştir.

Buhar kürü ile kürlenmiş kontrol numunelerinin basınç dayanımı değerleri ise 300kg/m³ çimento dozajı ile üretilen seri içerisinde önce artış göstermiş sonrasında düşüşler ve artışlar birbirini takip etmiştir. BK K3 numunesinin 2, 7, 28 ve 56. günde ölçülen basınç dayanım değerleri sırasıyla 31,915 MPa, 29,685 MPa, 41,7425 MPa ve 38,0175 MPa'dır. Gołaszewska and Ponikiewski (2017) farklı çimento türleri ve uçucu kül kullanarak ürettikleri numuneleri 40 °C, 60 °C ve 80 °C'de sıcaklıklarda 6 saat süresince buhar kürüne maruz bırakmışlardır. Buhar kürü ile kürlenmiş numunelerin erken yaş basınç dayanımları 20 MPa'ın üzerindedir. Buna karşılık normal küre tabi tutulan numunelerin erken basınç dayanımları 10 MPa'ın altında kalmıştır. Buhar kürü sıcaklığı arttıkça numunelerdeki erken basınç dayanım değerleri de artış göstermiştir. Ancak nihai dayanımlara bakıldığında kullanılan çimento tipinin de etkisi olmakla birlikte buhar kürü ile kürlenmiş numunelerin basınç dayanım değerleri, kürlenmeyenlere göre daha düşük çıktığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.24. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin basınç dayanımı değerleri

Çimento dozajının az olduğu serilerde sıcak su kürünün erken yaşlardaki basınç dayanımlarını artırma yönündeki etkisi diğer kür çeşitlerine göre daha fazladır. 200 kg/m³ çimento dozajlı seride 2. günde ölçülen basınç dayanımı değerleri Y kodlu seri için kürlere göre sırasıyla NKY 6,55 MPa, SKY 9,83 MPa ve BKY 8,51 MPa'dır. Sıcak su kürünün erken yaş dayanımları üzerindeki etkisi Parameshwar vd. (2017) tarafından incelenmiştir. Araştırmacılar sıcak su kürünün yanında normal su kürü, sıcak hava kürü yöntemlerini de karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Sıcak su kürünü 90°C sıcaklıkta uygulamışlardır. Sıcak hava kürü ise 100 °C, 150 °C ve 200 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta uygulamışlardır. Kür uygulama süreleri 1, 3, 6, 9 ve 12 saat olarak belirlemişlerdir. Basınç dayanımlarına bakıldığında kür uygulama süresi arttıkça dayanımların da arttığını görmüşlerdir. Sıcak su kürüne maruz bırakılan numunelerin, hava küründe her sıcaklık değeri için kürlenene numunelere göre basınç dayanımlarının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Öncesinde sıcak su kürü ile kürledikleri numuneleri sonrasında 200 °C'de hava kürüne maruz bıraktıklarında ise 7. günde yaklaşık 180 MPa düzeyinde basınç dayanımları elde etmişlerdir.

Yüksek miktarda zeolit içeren numunelerde sıcak su kürün etkisi numune basınç dayanımları üzerinde ileriki yaşlarda dayanım kayıplarına yol açmıştır. 400 kg/m³ çimento dozajlı seride 56. günde ölçülen basınç dayanım değerlerinin hepsi SK1 numunesinin dışında 20 MPa'nın üzerindedir. SK1 17,6 MPa basınç dayanım değeriyle 56. günde ölçülen en düşük basınç dayanımına sahiptir. Zeolit içeriği fazla olmayan numunelerde sıcak kürün etkisi beklenildiği gibi olumlu şekilde olmuştur. SK5 numunesi 56. günde 31,91 MPa değeri ile en yüksek basınç dayanımına sahiptir.

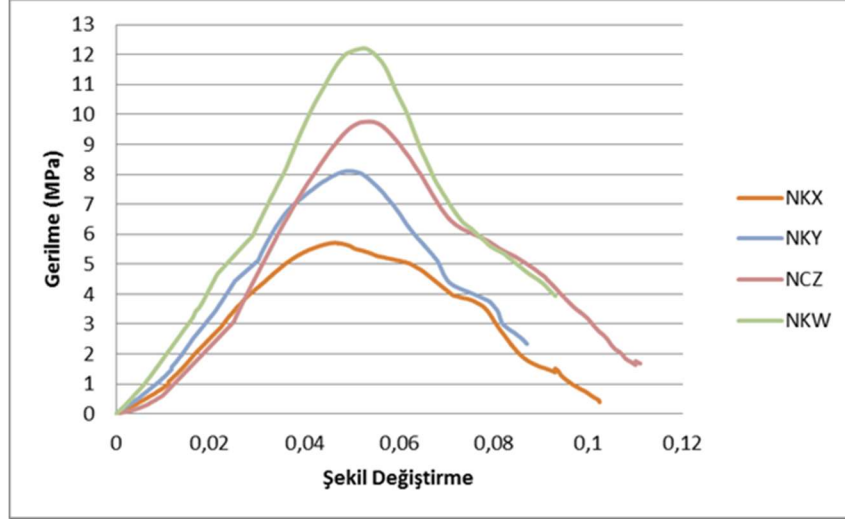
Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik bazı özellikleri birbiriyle ilişki içerisinde. Kuru yığın yoğunluğu fazla olan numunelerin basınç ve eğilme

dayanımları, kuru yığın yoğunluğu düşük olan numunelere göre daha yüksektir. Kockal vd. (2017) pomza agregası kullanarak ürettikleri geopolimer bağlayıcılı numuneler üzerinde yürüttükleri deneysel çalışmalar sonucunda artan kuru yığın yoğunluk değerleriyle birlikte basınç dayanımlarında da artışlar saptamışlardır. NK2 numunesinin 56. günde ölçülen kuru yığın yoğunluğu ve basınç dayanımı sırasıyla $1,40 \text{ g/cm}^3$ ve $26,48 \text{ MPa}$ 'dır. Bu duruma karşılık kuru yığın yoğunluğu daha yüksek olan NK4 numunesinin yığın yoğunluk ve basınç dayanımı değerleri ise sırasıyla $1,51 \text{ g/cm}^3$ ve $32,25 \text{ MPa}$ 'dır.

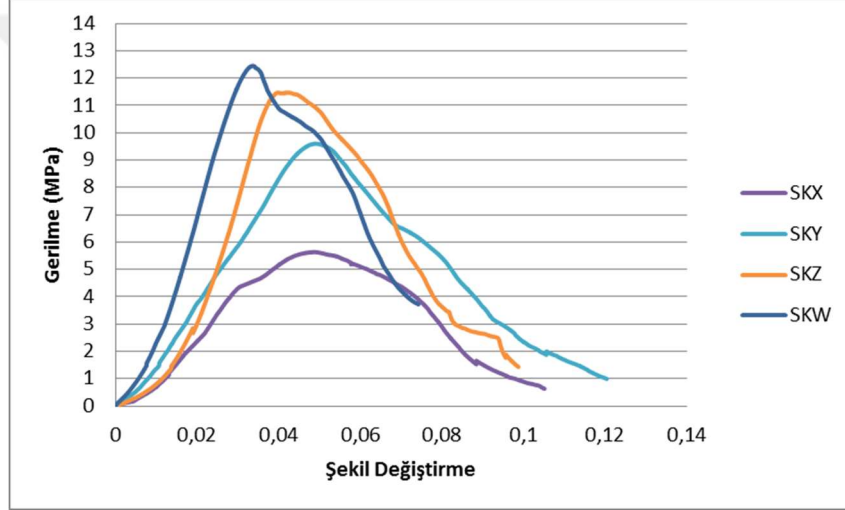
Eğilme ve basınç dayanımı değerleri üzerinde zeolit agregası miktarının etkisi ise ters orantılı olmuştur. Zeolit agregası arttıkça kuru yığın yoğunluklar düşerken mekanik dayanımlar da düşüş göstermiştir. Sarıkaya vd. (2009) normal kırma kum agregası ve değişen hacimsel oranlarda zeolit içeren numuneler üretmişlerdir. Bu numuneler üzerinde taze halde slump deneyi, sertleşmiş halde ise su emme, basınç dayanımı ve elastisite modülü tayini deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Artan zeolit oranıyla birlikte slump değerlerinde düşmeler gözlemlenirken, numunelerin su emme yüzdeleri artış göstermiştir. Basınç dayanımları ise %50 zeolit ilavesiyle kontrol numunesine göre 25 MPa daha düşük değerler almıştır. Elastisite modülü ise $6,34 \text{ GPa}$ 'dan $1,67 \text{ GPa}$ 'a düşmüştür. Zeolit agregası mikro gözenekli bir yapıya sahip olduğu için yığın yoğunlukları düşürmede alternatif bir agregadır ancak mekanik özelliklerde yeterli değerleri elde edebilmek için kullanım yüzdeleri dikkatli bir şekilde hesaplanmalıdır.

Samimi vd. (2017) zeolit ve pomzayı %10 ve %15 oranlarında çimento ile yer değiştirerek kendinden yerleşen betonların taze haldeki işlenebilirlik özellikleri, basınç dayanımı ve klor geçirimsizliği gibi durabilite özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Zeolit ve pomza üzerinde gerçekleştirdikleri kimyasal analizlere göre kullandıkları zeolitın silika oranı oldukça yüksektir. Karışımlar içerisinde pomza ve zeolit oranı arttıkça işlenebilirliği sabit tutabilmek için daha fazla süper akışkanlaştırıcıya ihtiyaç duymuşlardır. Zeolit yüksek puzolanik özellikler göstermesine rağmen, zeolit yer değiştirmesi ile üretilen numunelerin boşluk oranı diğer numunelere göre daha yüksek, basınç dayanımı ise daha düşüktür. Bu durumun tersine pomza ile üretilen numunelerin basınç dayanımı kontrol numunesine yakın değerler almıştır. Samimi vd. zeolit ve pomza ilavesinin basınç dayanımına etkileri ile ilgili elde ettikleri sonuçlar bu tez çalışmasına paralellik göstermektedir.

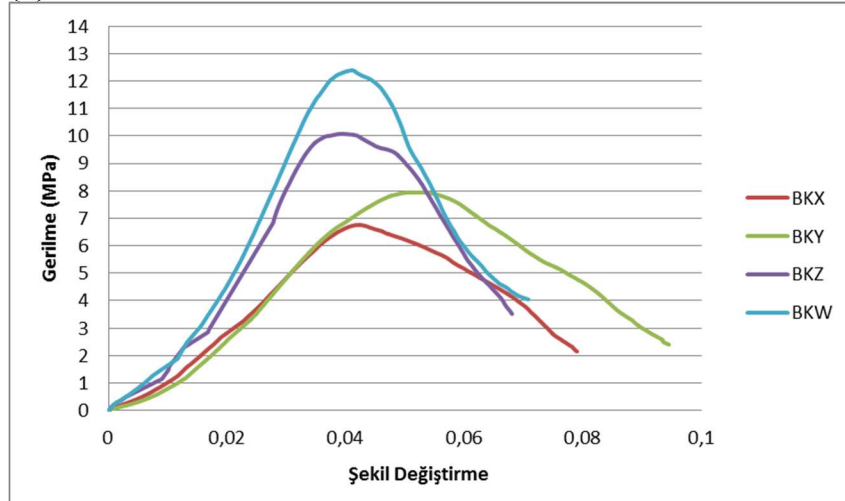
200 kg/m^3 çimento dozajlı numunelere ait 7. günde belirlenen gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.25'te belirtildiği gibidir. Numuneler içerisinde pomza agregasının artmasıyla birlikte dayanımlar artmış ancak düktilite azalmıştır. Zeolit agregasının fazla olduğu X, A ve 1 serilerinde ise dayanımlar düşük olmasına rağmen numune davranışları daha düktiler ve nihai dayanıma ulaşmaları istikrarlı bir şekilde olmuştur. Zeolit agregasının fazla olduğu numuneler buhar kürü ile kürlendiklerinde daha düşük dayanımlar göstermişlerdir. W kodlu numunelerin her kür çeşidinde dayanım değerleri birbirine yakın değerler almıştır. Ancak SKW numunesinin elastik bölgedeki davranışı incelendiğinde gerilme-şekil değiştirme doğrusu daha dik bir açıya sahiptir. W kodlu numunesi sıcak kür etkisi altında daha rijit bir davranış sergilemiştir denilebilir.



(a)



(b)



(c)

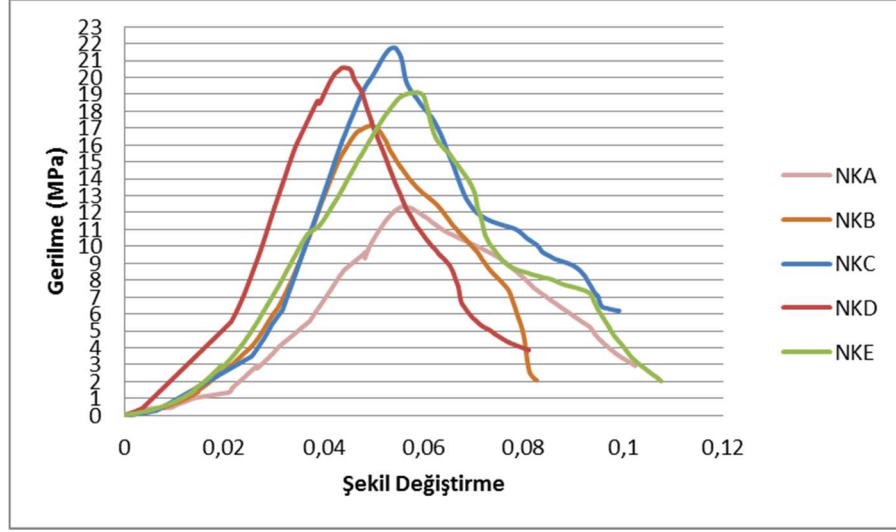
Şekil 4.25. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin kür çeşitlerine göre gerilme şekil değiştirme eğrileri: (a) Normal Kür, (b) Sıcak Su Kürü (c) Buhar Kürü

300 kg/m³ ve 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelere ait 7. günde belirlenen gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.26 ve 4.27’de belirtildiği gibidir. Normal kürde kürlen numuneler daha fazla şekil değiştirme göstererek nihai dayanıma ulaşmışlardır. Buna karşılık sıcak su kürü ve buhar kürü ile kürlen numunelerin yük altında şekil değiştirme kabiliyetleri daha düşüktür. Numunelerin şekil değiştirme yetenekleri içerdikleri agregaların cinsi ve miktarı ile ilgilidir. Pomza oranı fazla olan numuneler daha rijit davranış sergilerken, zeolit oranının artmasıyla numune davranışı da daha sünek olmaya başlamıştır.

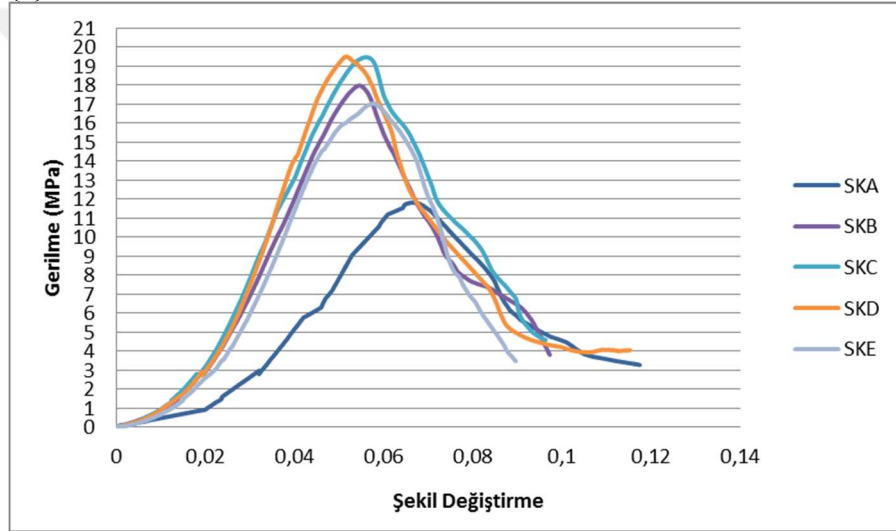
Gündüz ve Uğur (2005) farklı kaynaklardan temin ettikleri pomza agregalarını kullanarak ürettikleri numunelerin yığın yoğunluk ve gerilme şekil değiştirme özelliklerini standart kırma kumdan üretilen betonlara göre karşılaştırmışlardır. Bunun için iki farklı pomza agregası ve dört farklı agrega/çimento oranı kullanmışlardır. Agregası/çimento oranı yüksek olan numunelerin dayanımları standart beton dayanımlarına yakın olduğunu ve yığın yoğunlukları %30-40 mertebesinde daha az olduğunu belirtmişlerdir. Agregası/çimento oranı büyüdüğünde ise mekanik dayanımlar bir miktar düşüş gösterdiğini belirterek numunelerin yük altında enerji yutabilme kabiliyetleri yani tokluklarının yeterli seviyelerde olduğunu bildirmişlerdir.

Libre vd. (2011) çimento bağlayıcı malzemelerin kendi ağırlığından kaynaklanan ölü yükleri azaltmak ve tokluk değerlerini arttırmak için pomza agregası kullanarak ürettikleri numunelerin gerilme şekil değiştirme altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sadece pomza agregası kullanarak ürettikleri numunelerin basınç dayanımların 15 MPa’da ve 0,006 şekil değiştirme yaptıklarını belirtmişlerdir. Taşıyıcı bir eleman üretiminde kullanılmak üzere sadece pomza ile üretilen elemanlar yeterli değildir. Bu amaçla araştırmacılar çeşitli oranlarda çelik lifler katarak hem dayanımı hem de tokluğu artırma yoluna gitmişlerdir. Lifli betonların basınç dayanımları 20 MPa’nın üzerinde değerler alırken, kırılma anına kadar 0,018 şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda ise pomza agregası ile üretilen betonların ölü yükleri azalttığı ve standart betona göre daha esnek davranışlar sergilediğini belirtirlerken lif kullanmanın mekanik özelliklere fazlasıyla olumlu katkılar yaptığını bildirmişlerdir.

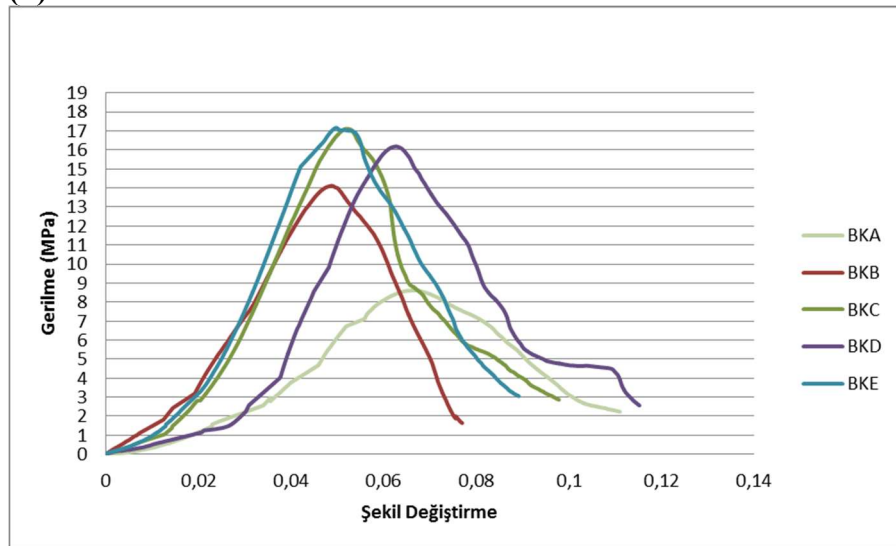
400 kg/m³ çimento dozajlı seri içerisinde aynı agrega birleşim oranlarına sahip numuneler kür çeşitlerine göre davranışları karşılaştırıldığında normal küre maruz bırakılan numunelerin diğer kür çeşitleriyle kürlen numunelere göre daha sünek davranışlar gösterdiği görülmüştür. Dayanım değerleri 11MPa ile 25 MPa arasında değişmektedir. Hacimce %70 pomza içeren 5 kodlu seride normal kürde 24 MPa, sıcak su küründe 22,5 MPa dayanımlar gözlemlenirken, numune buhar kürü ile kürlendiğinde dayanım 20 MPa gerilemiştir. Zeolit içeriği hacimce %70 olan 1 serisinde ise normal su kürü ve sıcak su küründe birbirine yakın dayanımlar elde edilirken numune buhar kürüne tabi tutulduğunda yine bir miktar düşmeler gözlemlenmiştir. 1 serisinde numunenin şekil değiştirme eğrisindeki davranış ise kür çeşitlerinin hepsinde benzer bir trend sergilemektedir. Kür farklılıkları daha çok pomza agregası yüksek olan numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrilerini etkilemiştir. Pomza agregası yüksek numuneler sıcak su kürü ve buhar kürü etkisi altında normal küre göre daha rijit davranışlar göstermişlerdir.



(a)

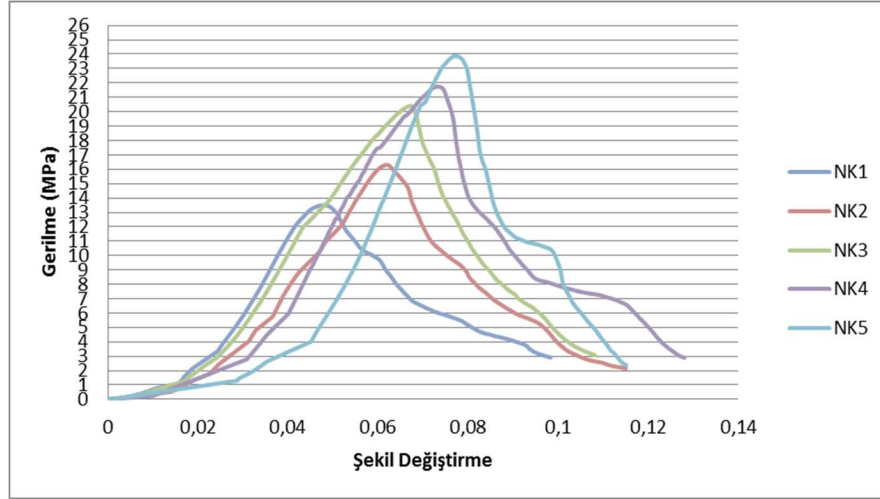


(b)

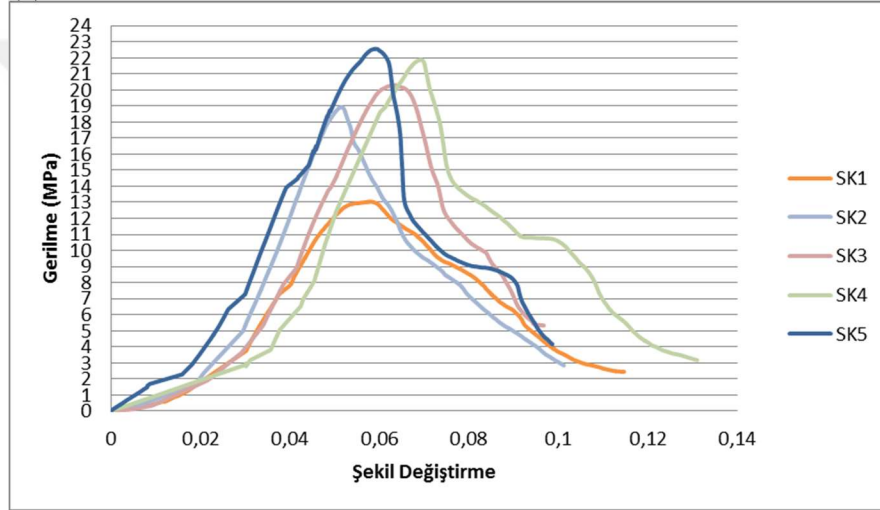


(c)

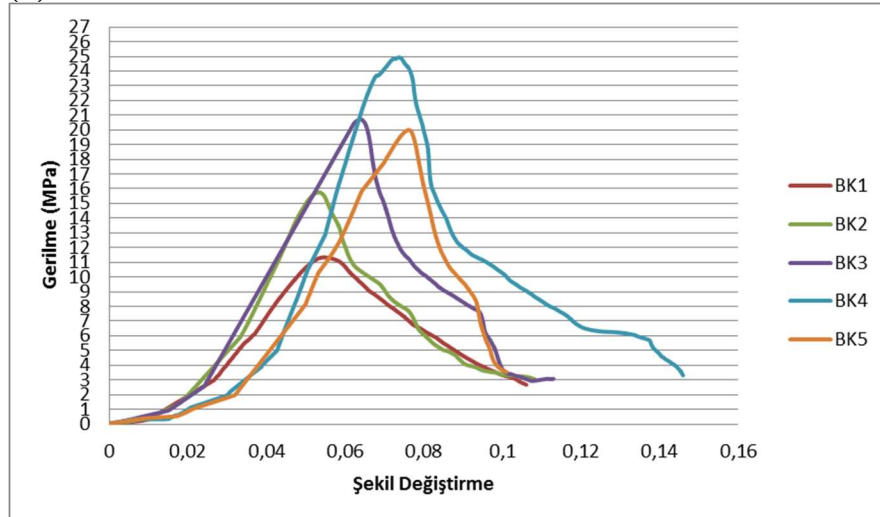
Şekil 4.26. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin kür çeşitlerine göre gerilme şekil değiştirme eğrileri: (a) Normal Kür,(b) Sıcak Su Kürü (c) Buhar Kürü



(a)

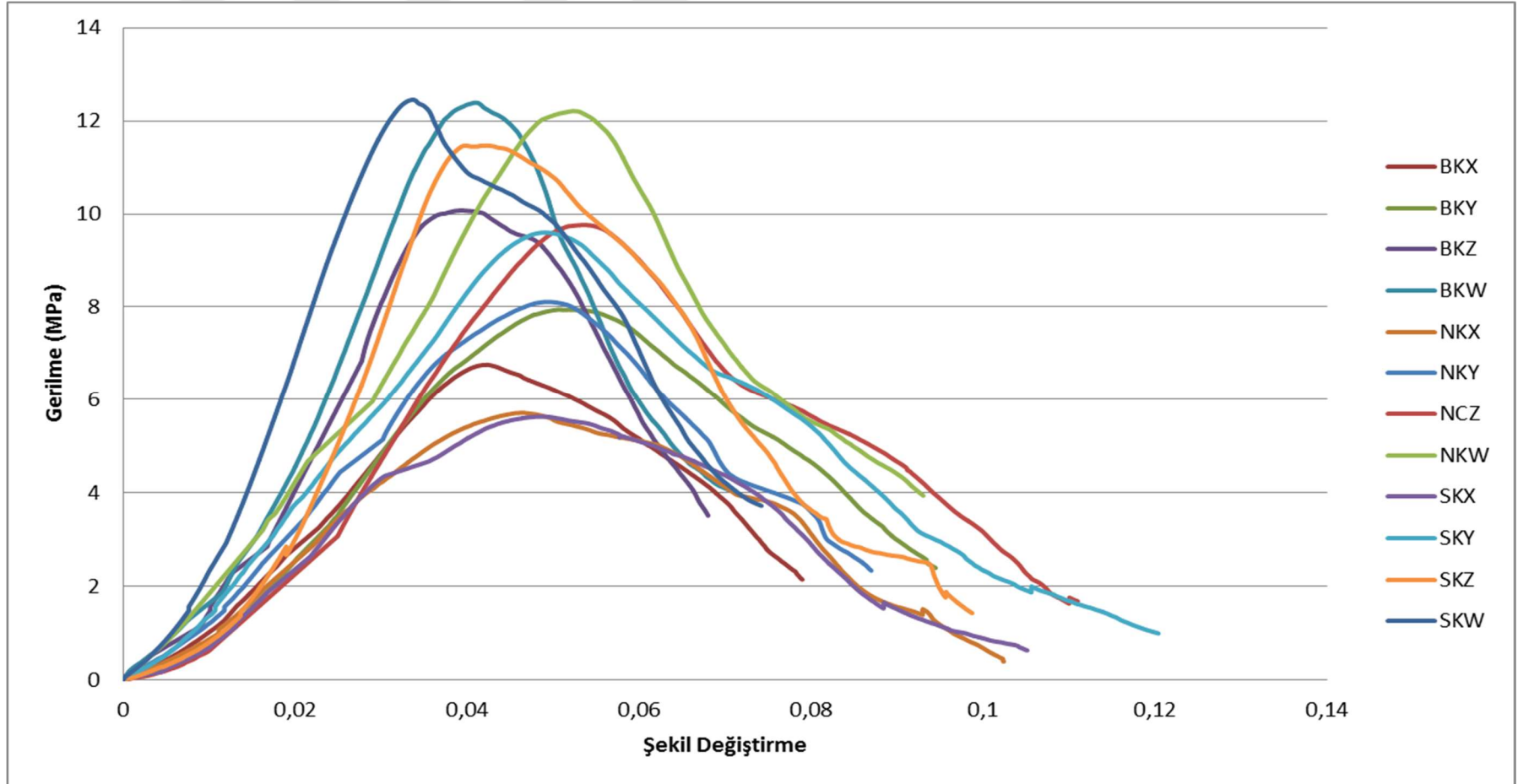


(b)

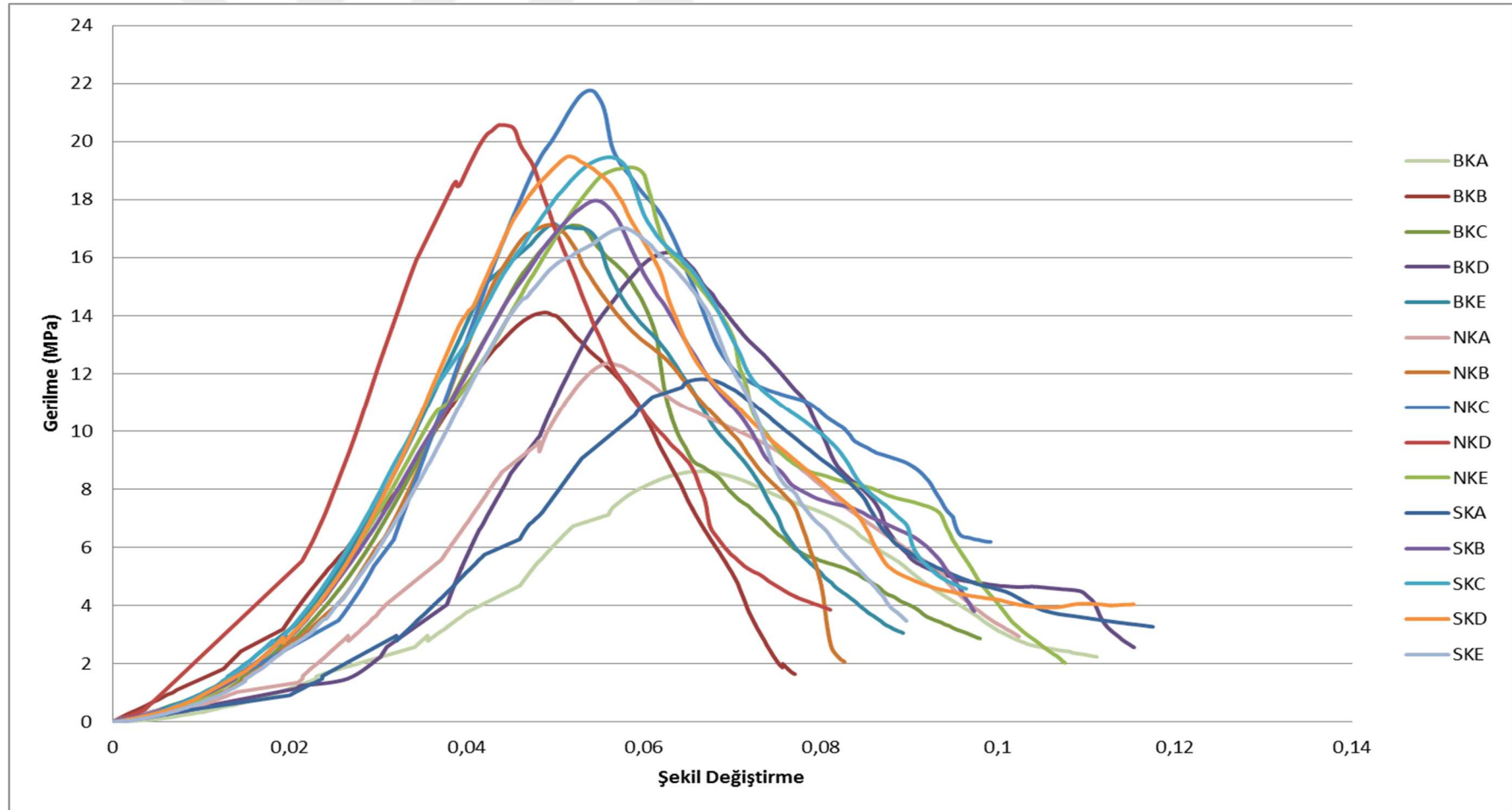


(c)

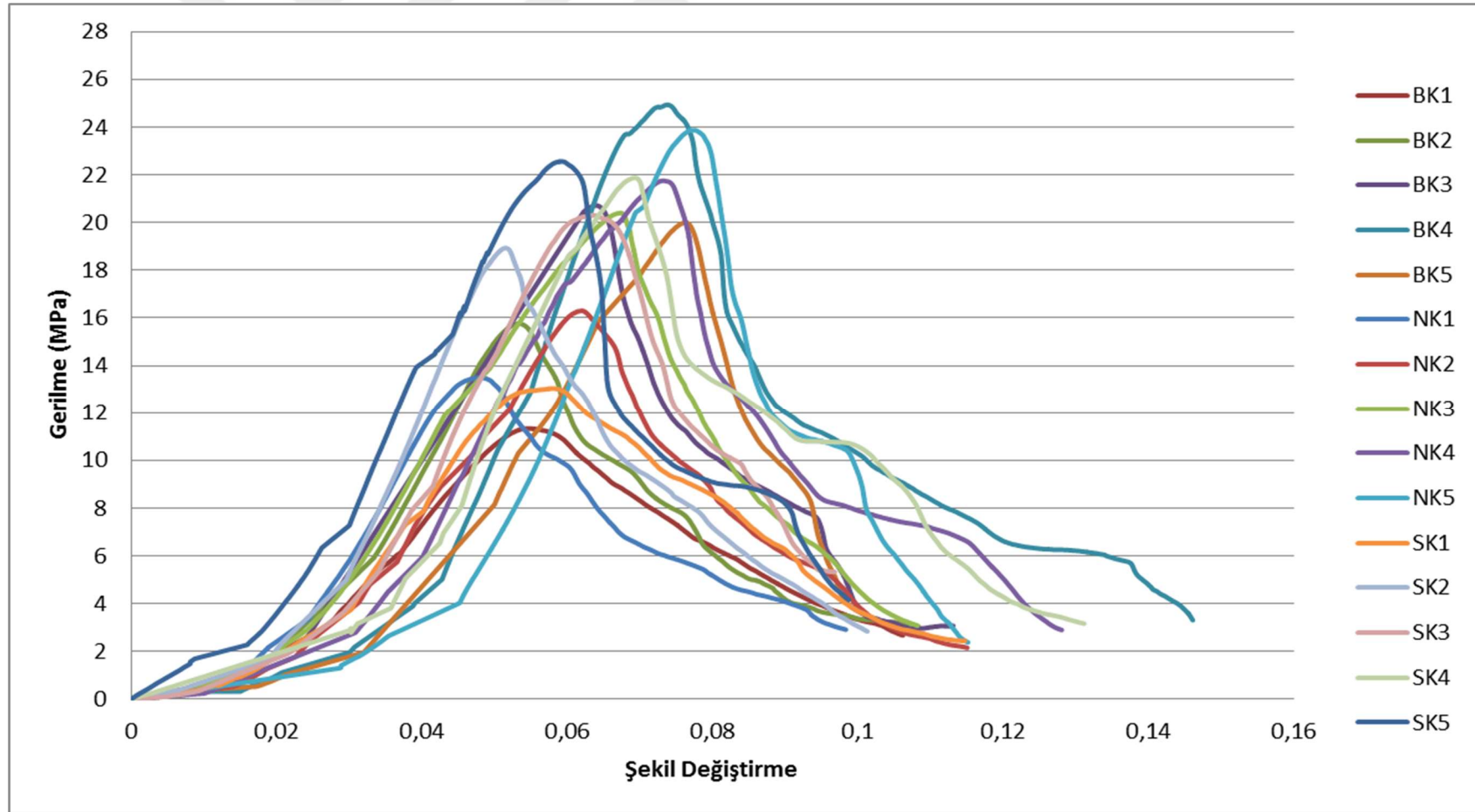
Şekil 4.27. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin kür çeşitlerine göre gerilme şekil değiştirme eğrileri: (a) Normal Kür, (b) Sıcak Su Kürü (c) Buhar Kürü



Şekil 4.28. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrileri toplu şekilde gösterimi



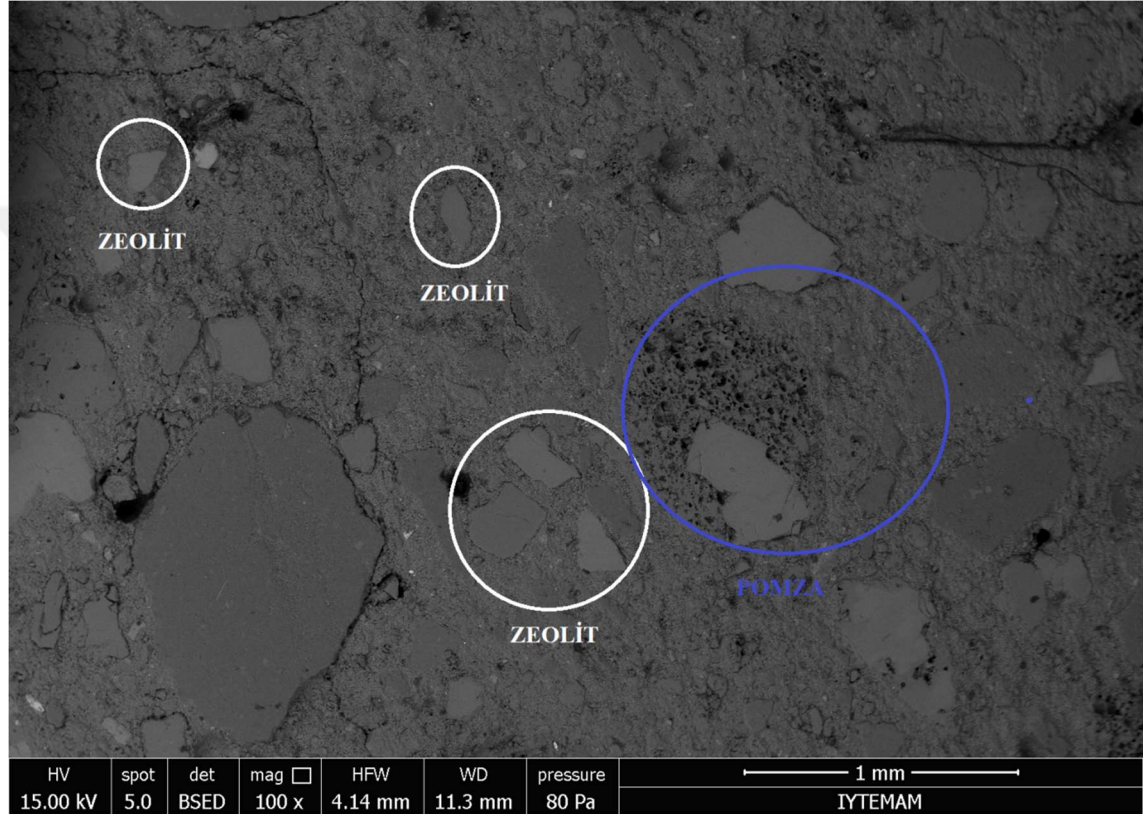
Şekil 4.29. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrileri toplu şekilde gösterimi



Şekil 4.30. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin gerilme şekil değiştirme eğrileri toplu şekilde gösterimi

4.3.3. SEM bulguları

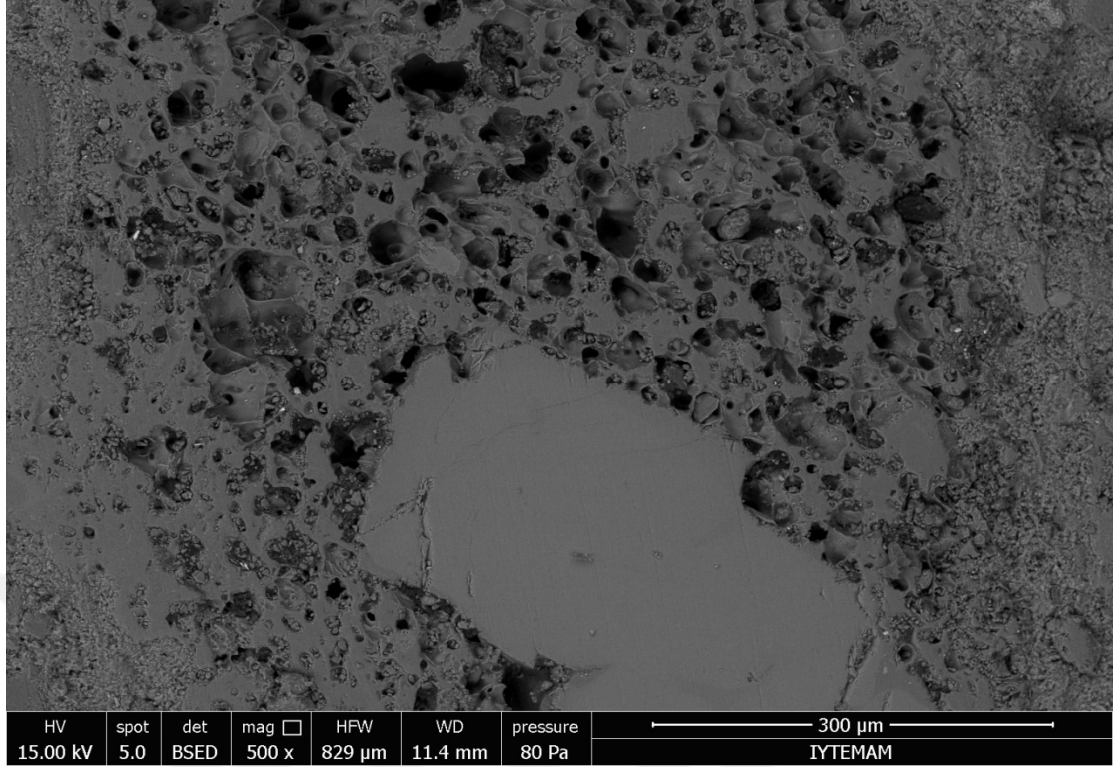
300 kg/m³ çimento dozajına sahip numuneler içerisinde NKD, NKE, SKA, SKB, SKD, BKC ve BKE kodlu numuneler ile kontrol numunesi olarak SKF kodlu numune incelenmiştir. Kür farklılıkları ve değişik agrega kombinasyonlarının mikro boyutta ne gibi farklılıklar oluşturduğu anlaşılmaya çalışılmıştır. Özellikle sıcak su kürü ve buhar kürüne maruz bırakılan bazı numunelerde ileriki yaşlarda görülen dayanım kayıplarına dair iç yapısal nedenler araştırılmıştır.



Şekil 4.31. BKC kodlu numuneden alınan SEM görüntüsünde numune içerisindeki zeolit ve pomza agregalarının gösterimi

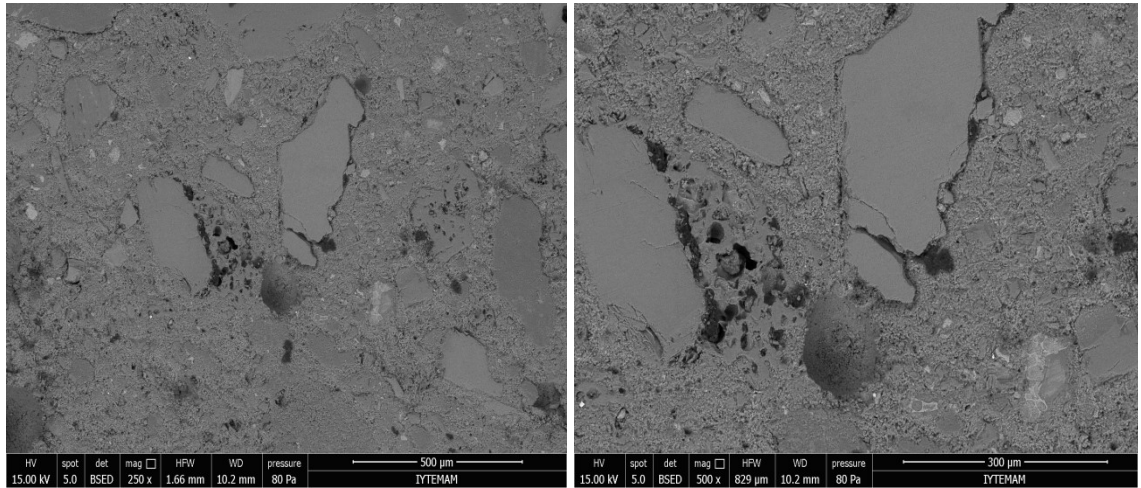
Zeolit agregaları pomza agregasına göre daha küçük tane boyutuna sahiptir. Önceki bölümlerde verilen tane boyut dağılımı eğrilerinden ve incelik modülü değerinden de bu durumu destekleyici sonuçlar çıkmaktadır. Agregalar geometrik yapı bakımından karşılaştırıldıklarında zeolit agregasının pomza agregasına göre daha köşeli yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Bu görüntüde dikkat edilmesi gereken ise pomza agregasının orta kısmında daha yoğun bir yapı gözlemlenirken çimento hamuru ile temas ettiği kısımlarda daha boşluklu adeta yapısal bütünlüğü bozulmuşçasına bir yapı gözlemlenmesidir. Daha yakından alınan görüntülerde yapıdaki bozulmaların agrega bünyesinin içerisine doğru ilerlediği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.32. BKC kodlu numuneden x500 büyütme oranında alınan SEM görüntüsü

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi pomza agregasının çevresinde görünen boşluklanma agreganın iç yüzeyine doğru ilerleme eğilimi göstermektedir. Bu duruma benzer görüntülere pomza agregası içeriği yüksek olan BKE kodlu numunede de rastlanmıştır.



(a) **(b)**
Şekil 4.33. BKE kodlu numuneden x250 (a) ve x500 (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri

Pomza agregasında gözlemlenen bu değişimler akla alkali-silika reaksiyonunu (ASR) getirmiştir. ASR genellikle çimentodan kaynaklanan alkali oksitlerle reaktif silika formları içeren agregalar arasında oluşan, betonda genleşme etkisi yaratan bir reaksiyondur. Yüzeyde görülen harita çatlakları, ileri derecede kapanmış derzler, kapak atmalar ve yapının çeşitli bölgelerinde deplasmanlar ASR'nin beton elemanlardaki görünür etkileridir. Oluşan çatlaklar zaman zaman yapının güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir. ASR betonun eğilme ve basınç dayanımını olumsuz etkileyerek azaltmaktadır. Genleşmeye neden olan ASR'nin oluşabilmesi için agregada reaktif silika formları, betonda yeterli miktarda alkali (sodyum ve potasyum) ve ortamda nem bulunmalıdır. Bu koşullardan herhangi biri olmazsa ASR nedeniyle herhangi bir genleşme olmayacaktır (Baradan vd. 2010). Beton içerisinde ASR iki aşamada gösterilebilir:

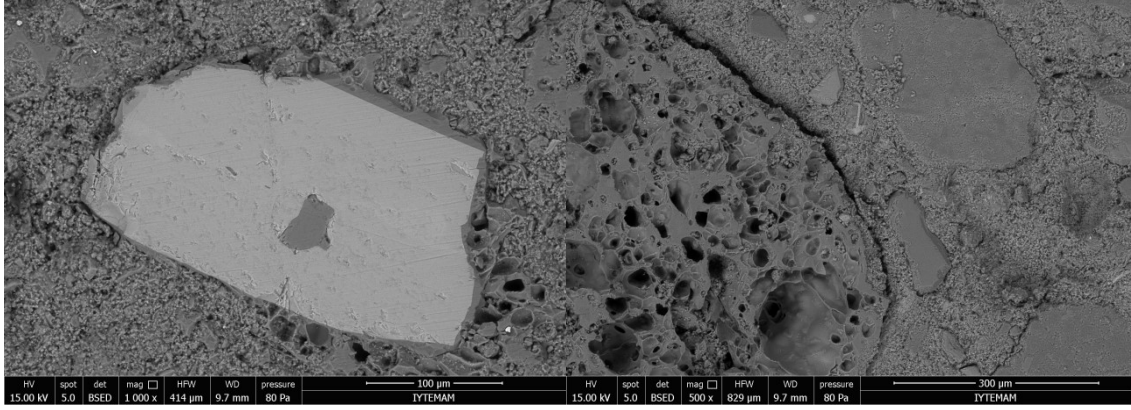
1. Alkali + Reaktif Silika = Alkali-Silika jel ürünleri

2. Alkali-Silika jeli + Nem = Genleşme

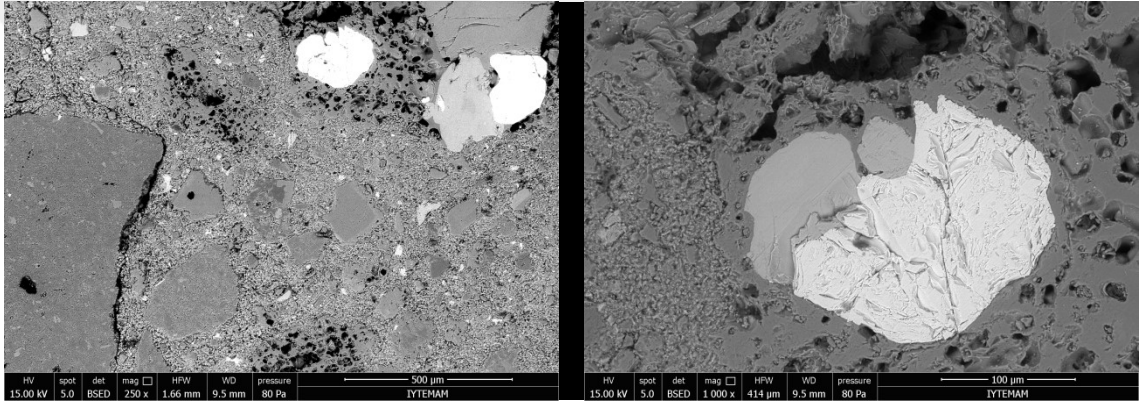
Bu çalışmada kullanılan agreganın silika miktarı %54,09 değerinde olmakla birlikte içerdiği silikanın ne kadar reaktif olduğu bilinmemektedir. Ancak, agregadaki reaktif silika miktarı %5 civarında bir değere doğru arttıkça alkali-agrega genleşmesinde de artma olmaktadır. Ancak %5'in üzerindeki artma daha düşük genleşmelere yol açmaktadır. Yüksek miktarda silika içeren ortamdaki alkali-silika genleşmesinin az olması şu şekilde açıklanmaktadır: Ortamda mevcut olan alkali, fazla miktarda yer alan silisin tümü ile alkali-silika reaksiyonu yapmaya yetmemektedir. Bu nedenle reaksiyonlar tam gerçekleşmemektedir (Erdoğan 2007). ASR'nin gerçekleşmesi ise üç aşamada olmaktadır:

1. Yarı kararlı reaktif silisin çözülmesi
2. Nano-kolloidal silikanın oluşması ve jelleşerek alkali silika jelini oluşturması
3. Alkali silika jelinin şişmesi (Rajabipour vd. 2015).

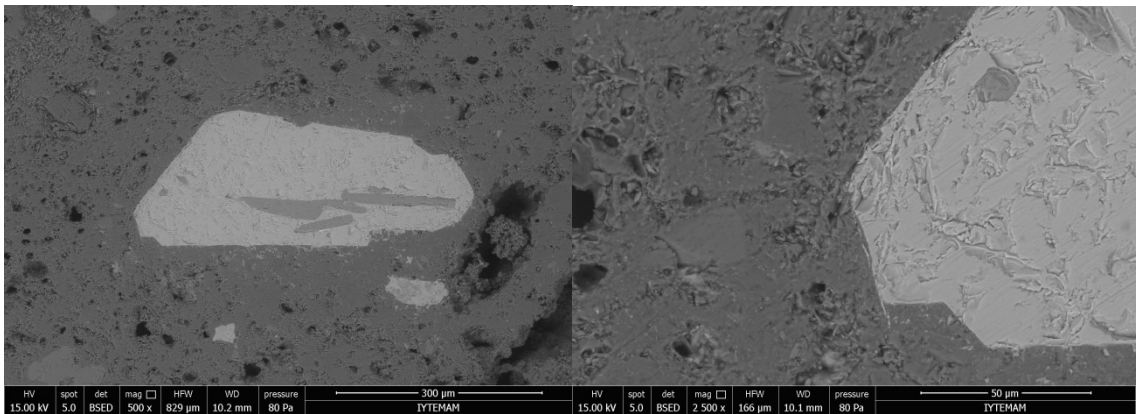
Diğer bir taraftan pomza kullanımının ASR genleşmelerini azalttığı yönde yapılan çalışmalar mevcuttur. Hossain (2005), volkanik kül ve pomzanın çimento katkı maddesi olarak kullanıldığında ASR üzerine etkilerini ve genleşmeleri kontrol etmede ne derecede etkili olduğunu araştırmıştır. Bu araştırmada kullanılan volkanik kül (VK) ve volkanik pomza (VP), Papua Yeni Gine Doğu Yeni Britanya'nın doğusundaki Rabaul bölgesinden toplanmıştır ve kaynak Tavurvur adlı bir volkandır. Karışımlarda çimento dozajı olarak 400 kg/m³ seçilmiş VK ise, 45µ elekten geçirilerek kullanılmıştır. VK ve VP ayrı ayrı olacak şekilde, çimento ile kütlece %10, %20, %30, %40 oranlarında yer değiştirilerek numuneler üretilmiştir. Genleşme ise, numuneler 14 gün boyunca 38 °C' de bekletildikten sonra 0,002 hassasiyetli komparatör ile alınan ölçümlerin 1. gün ile 14. gün ölçümünün oranlanmasıyla elde edilmiştir. Çalışma sonucunda VK ve VP eklenmesinin ASR genleşmelerini azalttığı doğrulanmıştır. Ancak bu eklemeler yapılırken aynı zamanda mekanik özelliklerin de kabul edilebilir bir performans göstermesi beklenir. Yapılan basınç dayanımı testlerinde %20 yer değiştirmeden fazla oranların betonun performansını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.



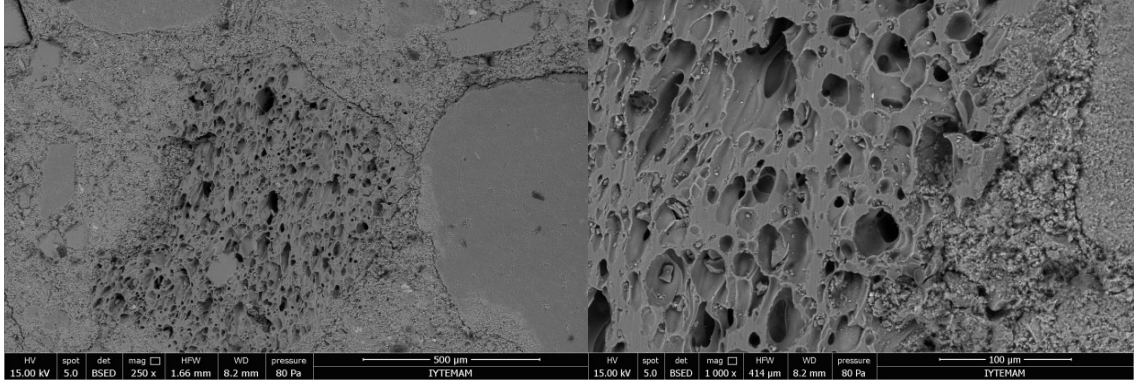
(a) (b)
Şekil 4.34. NKD kodlu numuneden x1000 (a) ve x1000 (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri



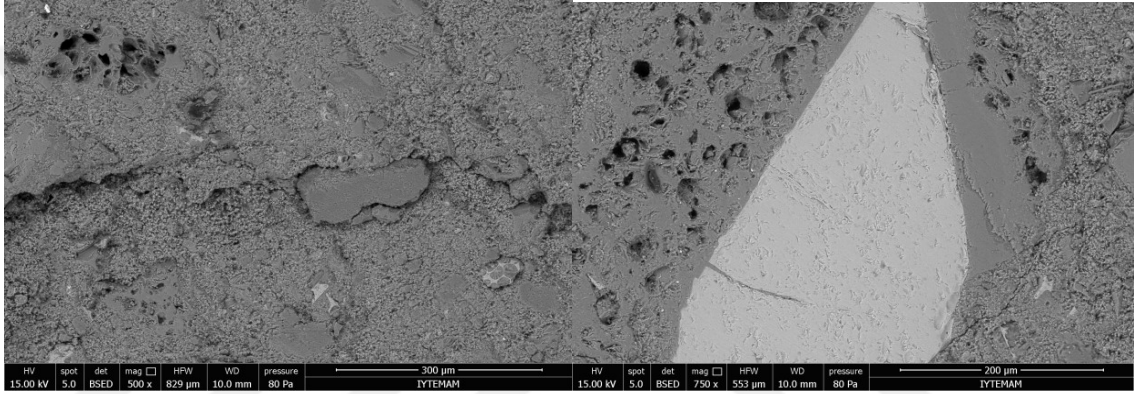
(a) (b)
Şekil 4.35. NKE kodlu numuneden x250 (a) ve x500 (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri



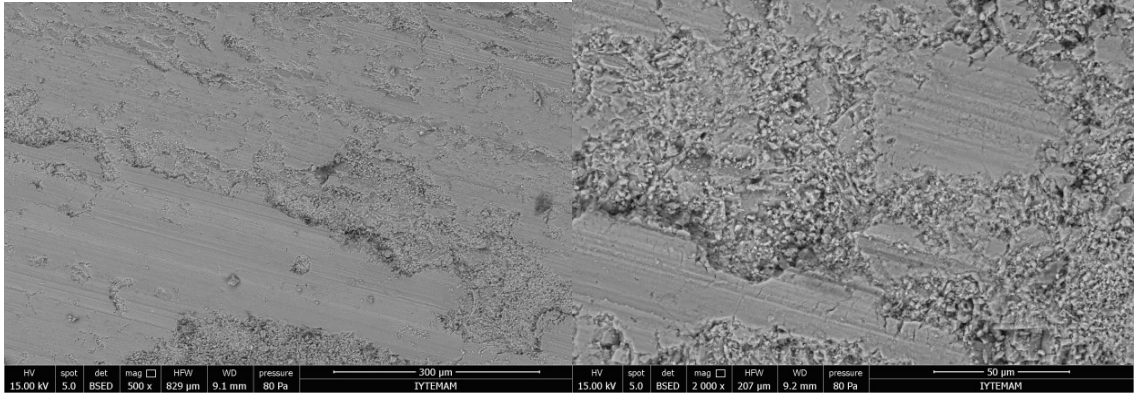
(a) (b)
Şekil 4.36. SKA kodlu numuneden x500 (a) ve x2500 (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri



(a) (b)
Şekil 4.37. SKB kodlu numuneden x250 (a) ve x1000 (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri



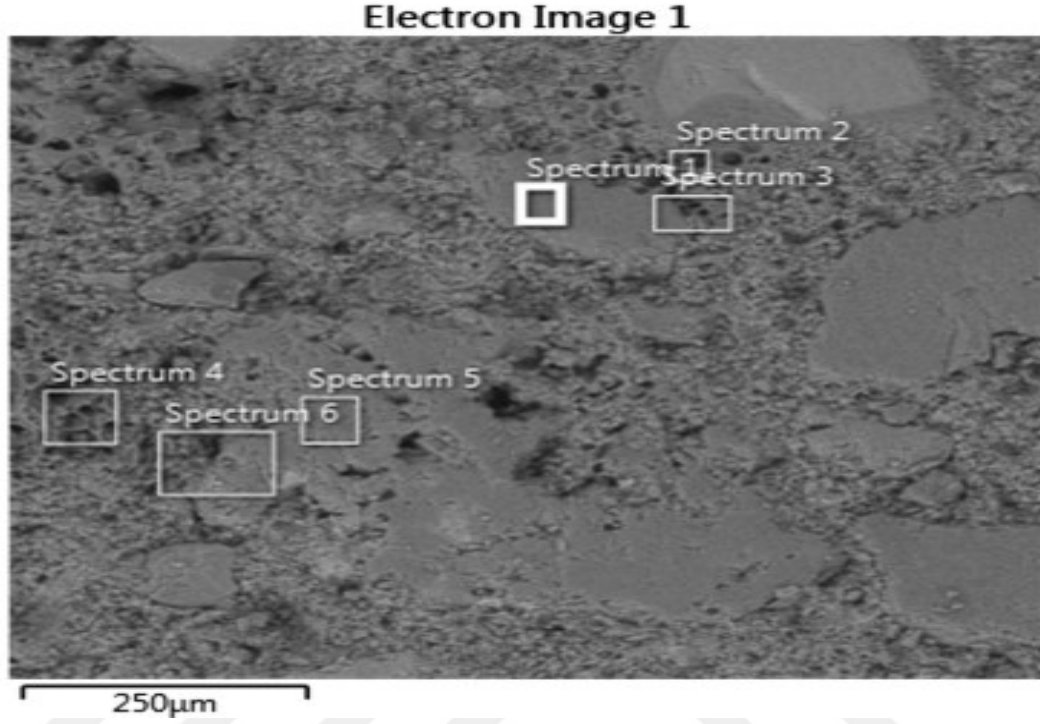
(a) (b)
Şekil 4.38. SKD kodlu numuneden x500 (a) ve x750 (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri



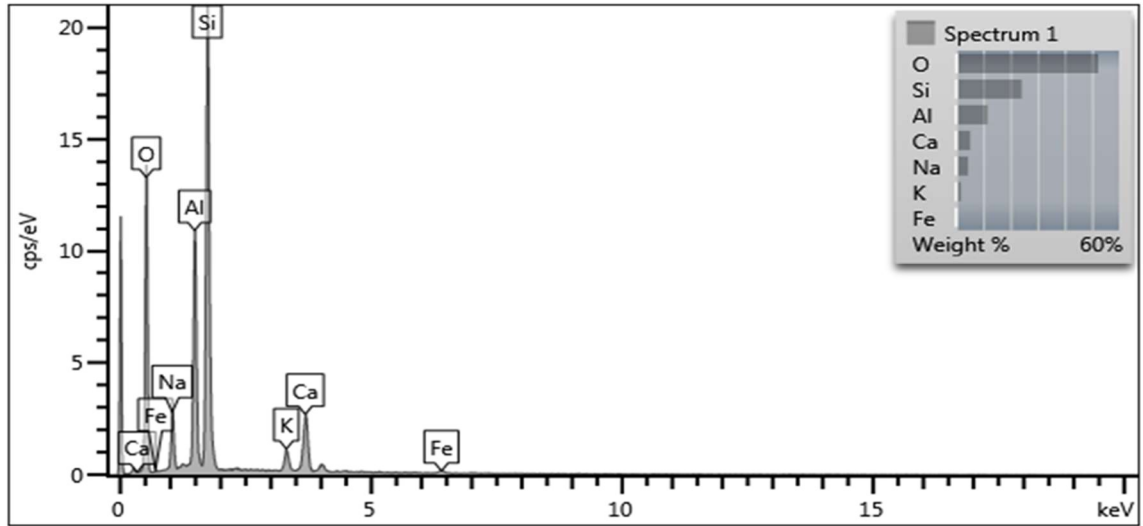
(a) (b)
Şekil 4.39. SKF kodlu numuneden x500 (a) ve x2000 (b) büyütme oranında alınan SEM görüntüleri

4.3.4. EDX bulguları

%100 pomza agregası ve %100 zeolit agregası ile üretilen numunelerle birlikte SKA, SKE ve BKC kodlu numuneler üzerinde gerçekleştirilen EDX analizi bulguları bu bölümde incelenmiştir.

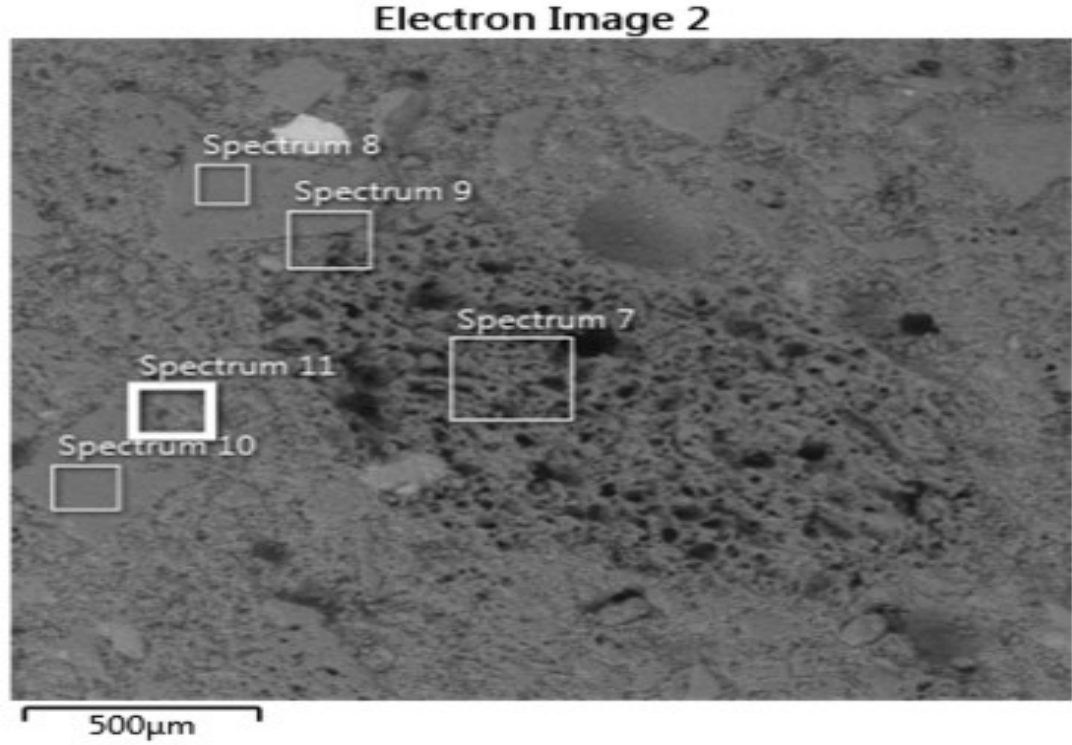


Şekil 4.40. %100 Pomza ile üretilen numunede EDX alınan spektrumların gösterimi

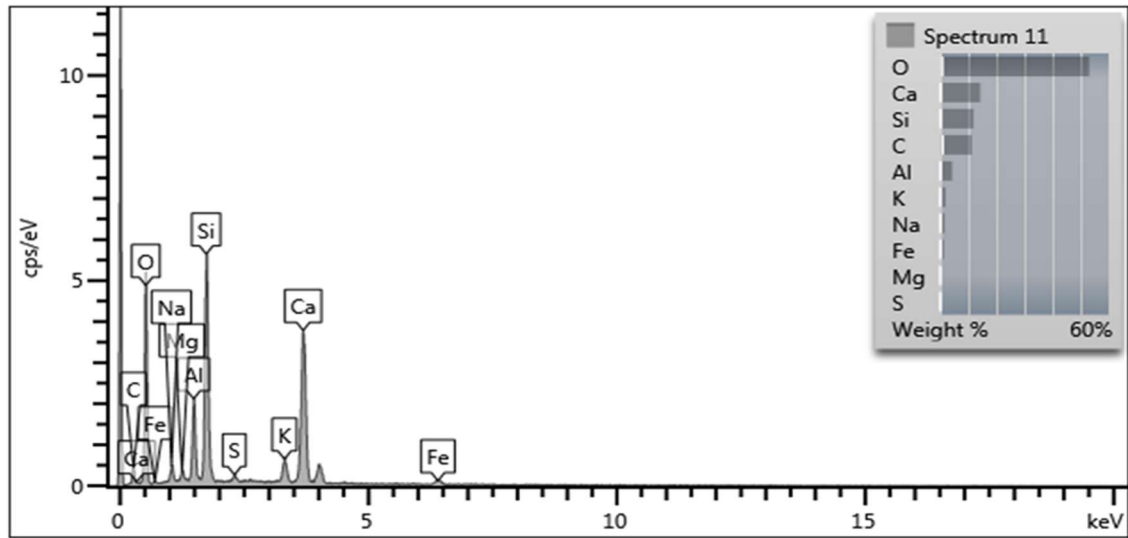


Şekil 4.41. %100 Pomza ile üretilen numunede pomza agregası üzerinden alınan spektrum 1 alanı içerisindeki element gösterimi

Spektrum 1 pomza agregası üzerinden alınmıştır. Alan içerisinde gözlemlenen element miktarlarının, pomza agregası XRF analiz sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Elementler yapı içerisinde oksit halde bulunduklarından ağırlıkça en büyük yüzde oksijen elementine aittir. XRF analizi ile elde edilen sonuçlara göre %54,09 SiO₂ ve %21,68 Al₂O₃ oksitleri pomza agregasını oluşturan temel oksitlerdir. EDX analizinde ise beklenildiği gibi Si ve Al elementlerinin yüzdeleri diğer elementlere göre daha fazladır.



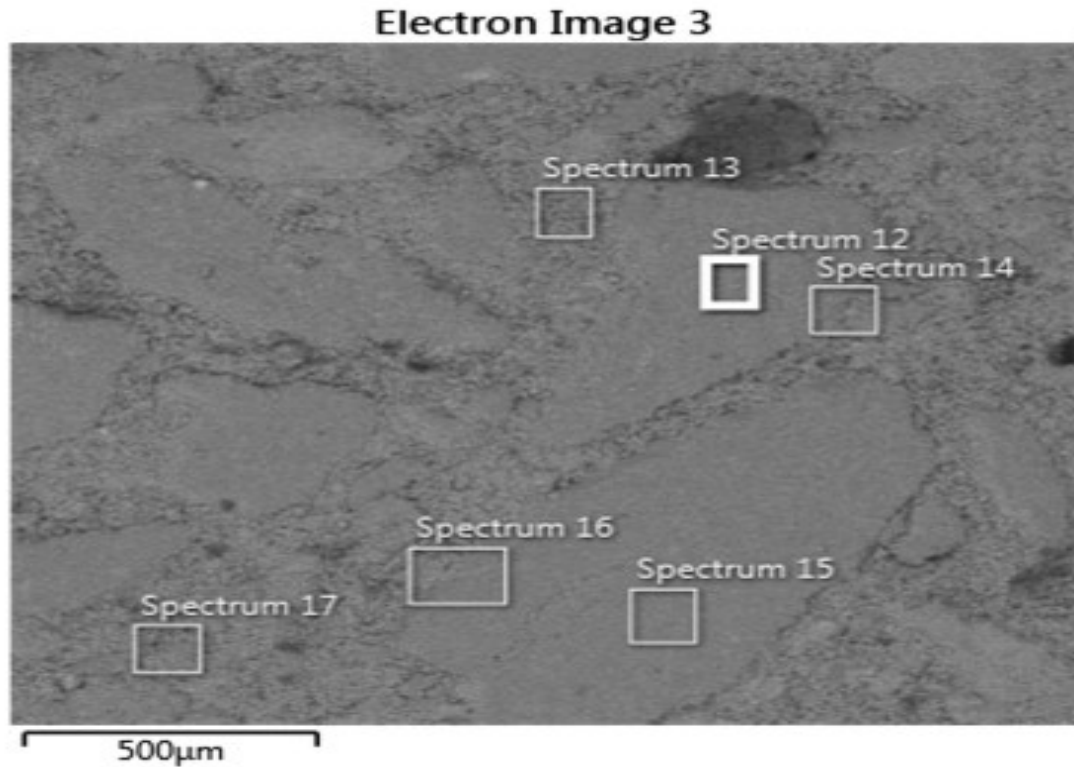
Şekil 4.42. %100 Pomza ile üretilen numunede EDX alınan spektrumların gösterimi



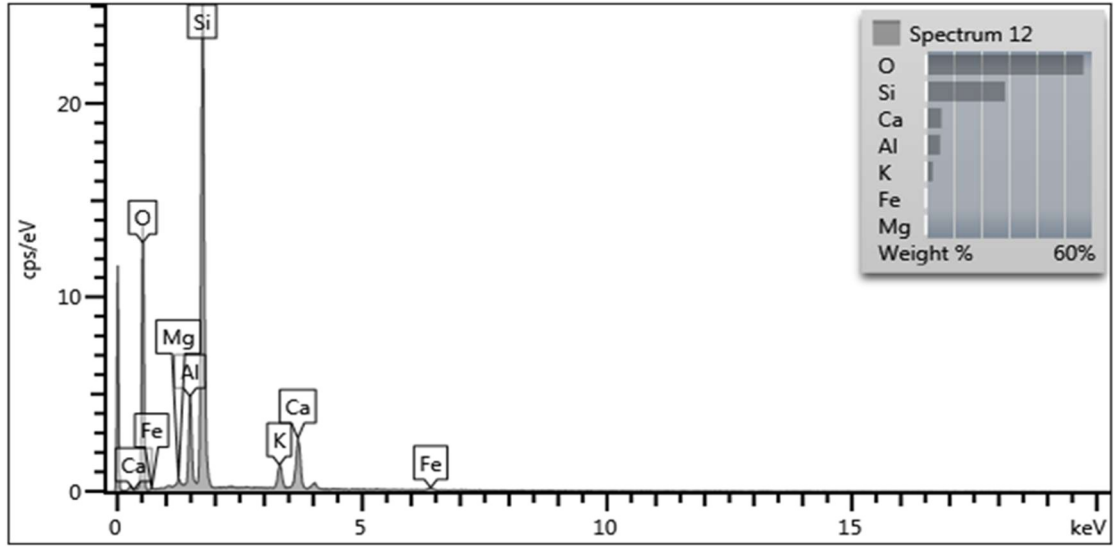
Şekil 4.43. %100 Pomza ile üretilen numunede pomza agregası, çimento hamuru-agrega ara yüzeyi ve çimento hamuru alanını kaplayan 11 nolu spektruma ait elementler

%100 pomza agregası kullanılarak üretilen numune üzerinden alınan, pomza agregası, agrega çimento hamuru ara yüzeyi ve çimento hamuru alanlarını kaplayan 11 nolu spektrumda O, Si, Ca ve Na elementlerine rastlanmaktadır. Pomza agregasının tam üzerinden alınan 1 spektrumuna göre Si oranı bir miktar daha düşüktür. Bu da 11 nolu spektrumun daha çok çimento hamuru içeriğini yansıttığını göstermektedir. Si ve Ca elementleri çimento hamuru içerisindeki bağlayıcı yapı olan C-S-H jellerine aittir. Na elementinin olması gereken miktarın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum şüphelenilen ASR reaksiyonuna zemin hazırlamış olabilir. Çimento hamuru yapısındaki Na serbest bir alkali oksit olarak, pomza agregası içerisindeki reaktif silis ile tepkimeye girerek ASR reaksiyonuna sebep olmuş olabilir. Neville (1981) bildirdiğine göre bazı çimentoların içinde fazla miktarda bulunan sodyum oksit (Na_2O) ve potasyum oksit (K_2O) gibi alkali oksitler beton gözenek suyunda çözülerek sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) oluşturmaktadırlar ve aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerek, zamanla betonu çatlatan bir jel oluşumuna sebep olmaktadır.

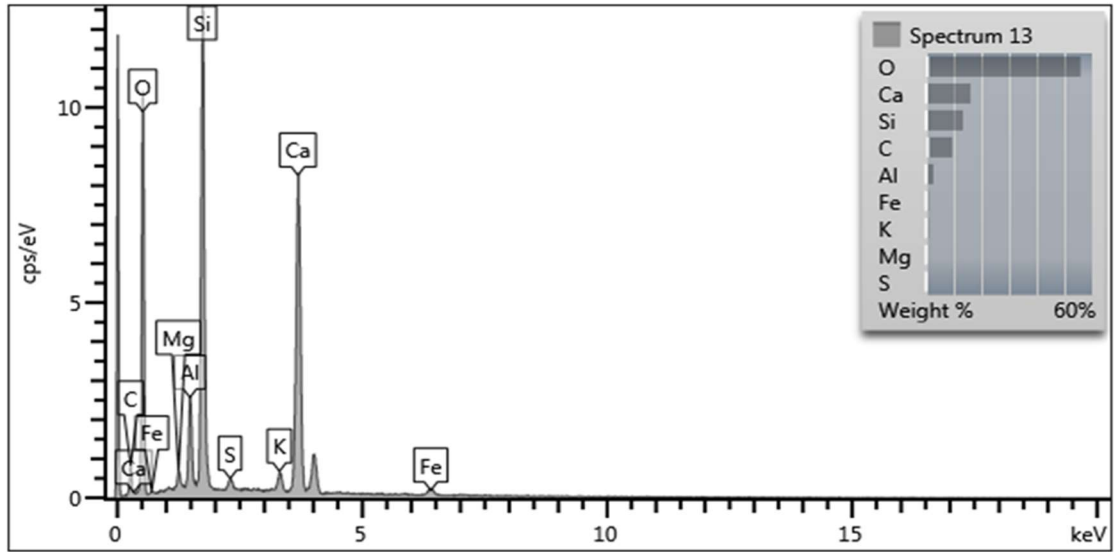
%100 zeolit agregası kullanılarak üretilen numuneye ait EDX analizi yapılan spektrumların gösterimi Şekil 4.44'te verilmiştir. Spektrum 12'ye ait element analizi ise Şekil 4.45'te gösterildiği gibidir. Zeolit agregasının XRF analiz sonuçları ile EDX sonuçları birbirine paralellik göstermektedir. Her iki analizde de yapı içerisinde en çok rastlanan elementler sırasıyla Si, Mg ve Al'dir. EDX analizinde Mg elementi yüzdesinin daha yüksek bir değer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.44. %100 Zeolit ile üretilen numunede EDX alınan spektrumların gösterimi



Şekil 4.45. %100 Zeolit ile üretilen numunede zeolit agregası üzerinden alınan spektrum 12 alanı içerisindeki elementlerin gösterimi



Şekil 4.46. %100 Zeolit ile üretilen numunede çimento hamuru üzerinden alınan spektrum 13 alanı içerisindeki elementlerin gösterimi

Şekil 4.46’da görüldüğü üzere çimento hamurundan alınan EDX analizinde Si ve Ca element yüzdelere birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Yapı içerisinde bir miktar Mg ve Al elementlerine de rastlanmaktadır. K elementinin çimento hamuru içerisinde K_2O halinde bulunması ve boşluk suyunda çözünerek KOH formuna geçmesiyle ASR riski artmaktadır.

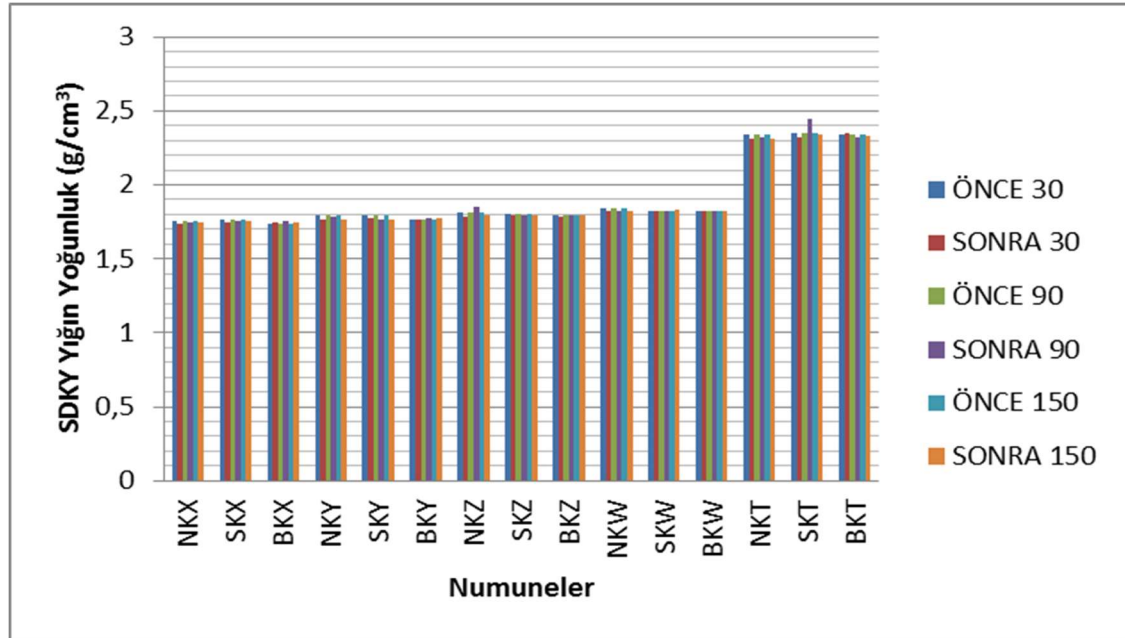
4.4. Durabilite Deneyleri Bulguları

Bu bölümde sertleşmiş harçlar üzerinde 7. günde gerçekleştirilen yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki davranışlar, donma-çözülme çevrimi sonrası davranışlar ve numunelere ait kılcal geçirimsizlik özellikleri bulguları verilerek tartışılmıştır.

4.4.1. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney bulguları

Farklı çimento dozajları ve zeolit/pomza agregası birleşim oranlarıyla üretilen harç numuneler ile birlikte kontrol numuneleri 400 °C’de 30 dk, 90 dk ve 150dk olmak üzere üç farklı zaman dilimi boyunca kül fırınında tutulmuşlardır. Numuneler üzerinde yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası yığın yoğunluk, eğilme ve basınç dayanımı değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

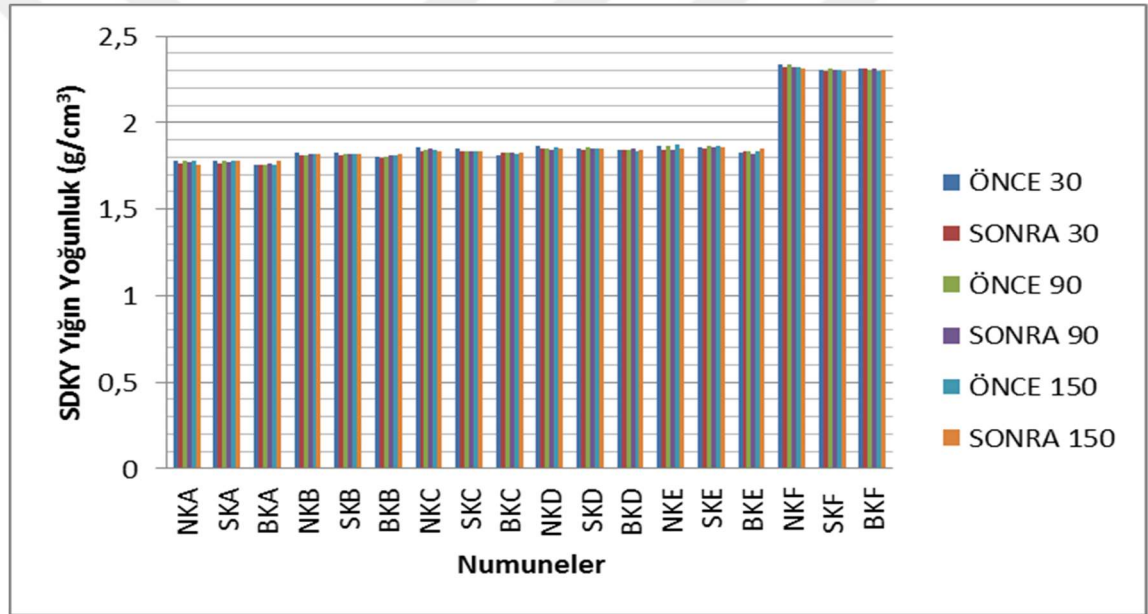
Harç karışımlar agregası ve çimento hamurundan oluşan kompozit malzemeler olduklarından yüksek sıcaklık etkisini çimento hamuru ve agregası kapsamında ayrı ayrı incelemek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Çimento hamuru bünyesindeki çeşitli boşluklarda su ihtiva etmektedir. 100 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda kapiller boşluklardaki su buharlaşırken, sıcaklık 250 °C’leri aştığında ise kimyasal olarak bağlı bulunan su bünyeyi terk etmeye başlar. 200 °C’ye kadar olan sıcaklıklarda çimento hamuru genleşme eğilimi gösterirken bu sıcaklıktan sonra davranışı büzölmeye döner. Yine bu sıcaklıktan sonra agregası genleşmeleri başlamaktadır. Agregası ve çimento hamurundaki bu zıt yönlü şekil değiştirmeler çatlak oluşumlarına sebebiyet vermektedir (Mahsanlar 2006).



Şekil 4.47. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri

Farklı süreler boyunca 400 °C sıcaklıkta tutulan numunelerin SDKY yığın yoğunluklarında çok belirgin değişiklikler gözlemlenmemiştir. Yüksek sıcaklıktan sonra SDKY yığın yoğunluk genellikle azalma eğilimindedir. Ancak sıcaklığa maruziyet süresi arttıkça SDKY azalma oranı da azalmaktadır. NKX numunesinin yüksek sıcaklık etkisi öncesinde SDKY yığın yoğunluğu $1,75 \text{ g/cm}^3$ iken, 30, 90 ve 150 dk sıcaklık etkisinden sonra sırasıyla $1,73 \text{ g/cm}^3$, $1,74 \text{ g/cm}^3$, $1,74 \text{ g/cm}^3$ olmuştur. Buhar kürü ile kürlen numunelerin ise SDKY yığın yoğunluğu yüksek sıcaklık etkisinden sonra artmıştır. BKX numunesinin yüksek sıcaklık etkisi öncesinde SDKY yığın yoğunluğu $1,73 \text{ g/cm}^3$ iken 90 dk yüksek sıcaklık etkisinden sonra sonrasında $1,75 \text{ g/cm}^3$ olmuştur.

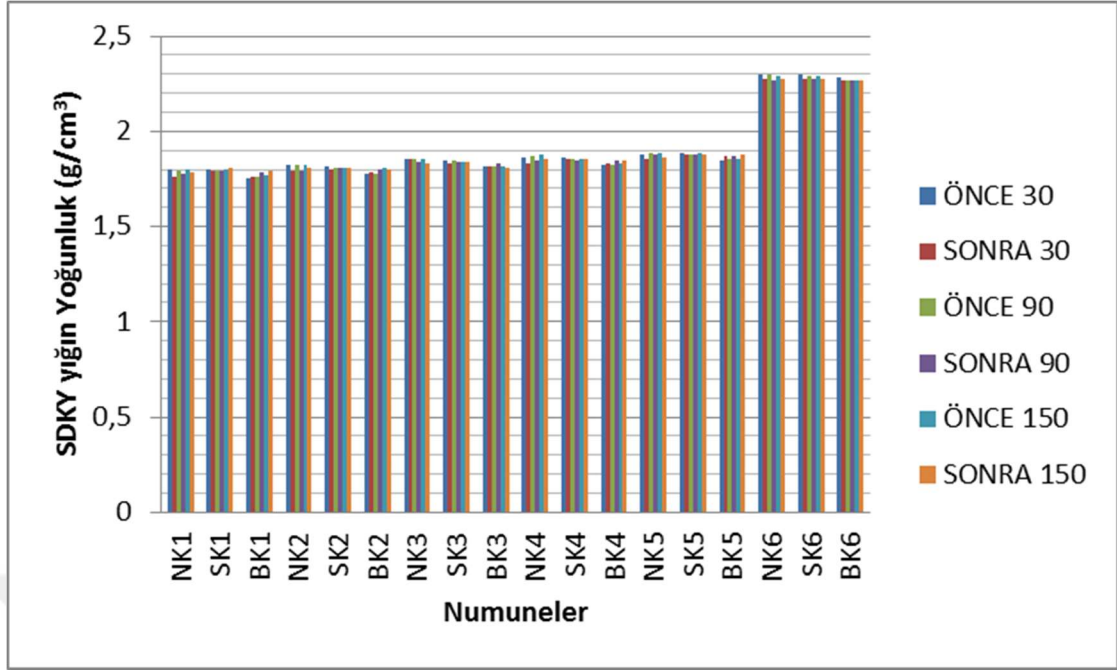
Çimento dozajı arttıkça normal kür ve sıcak su kürü ile kürlen numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonucu SDKY özgül ağırlıklarında genellikle düşmeler gözlemlenmiştir. Kontrol numunelerinde ise her çimento dozajı ve her kür tipinde yüksek sıcaklık sonrası SDKY yığın yoğunluk değerinde genellikle düşüş gözlemlenmektedir.



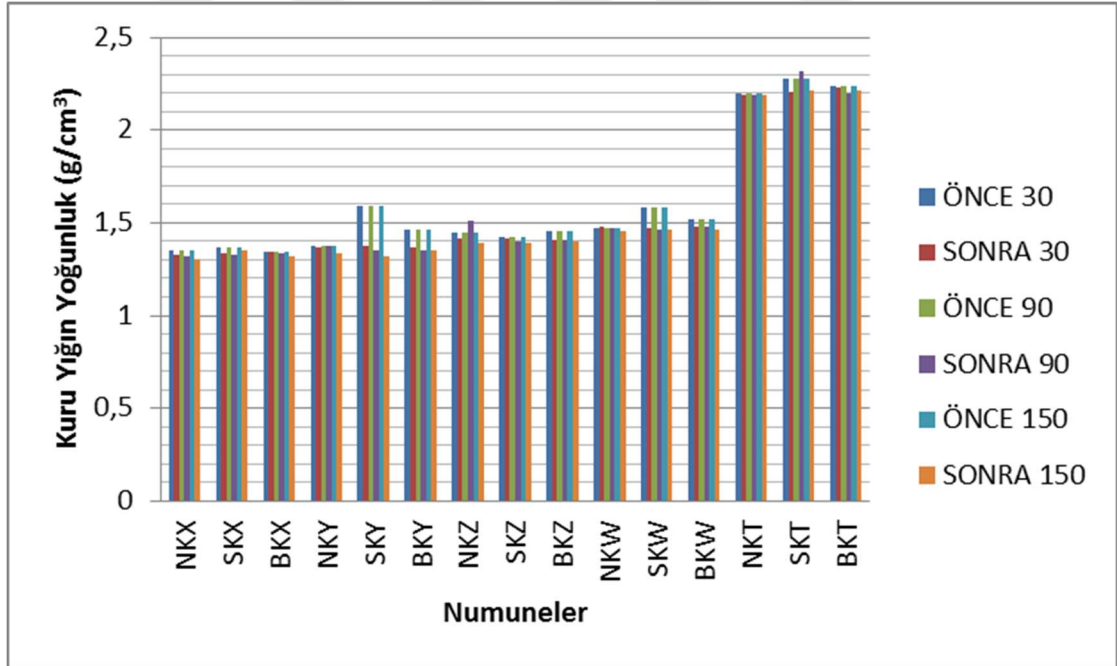
Şekil 4.48. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri

Mahsanlar (2006) yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve uçucu kül olmak üzere farklı mineral katkıları kullanarak ürettiği beton numuneleri farklı yüksek sıcaklıklara maruz bırakarak, yüksek sıcaklık etkisi sonucu numunelerin özelliklerini incelemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre birim ağırlık değerlerinde çok belirgin bir değişim olmamakla birlikte sıcaklık arttıkça bir miktar düşüşler gözlemlenmiştir. Birim hacim ağırlıkta azalma en fazla silis dumanı katkılı grupta gözlemlendiğini belirterek belirgin azalmaların gözlemlendiği eşik sıcaklık değerinin ise 900 °C olduğunu söylemiştir.

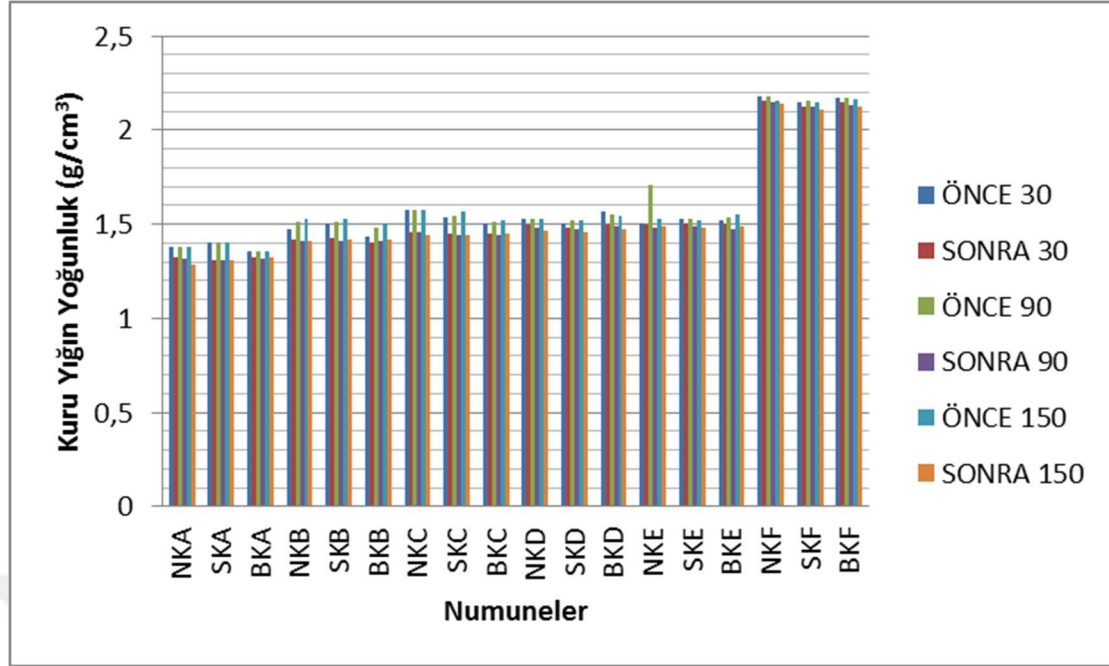
Numunelere ait kuru yığın yoğunluk değerleri yüksek sıcaklık etkisi sonucu düşüş göstermiştir. Zeolit içeriği fazla olan numunelerde bu düşüş daha belirgindir.



Şekil 4.49. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri

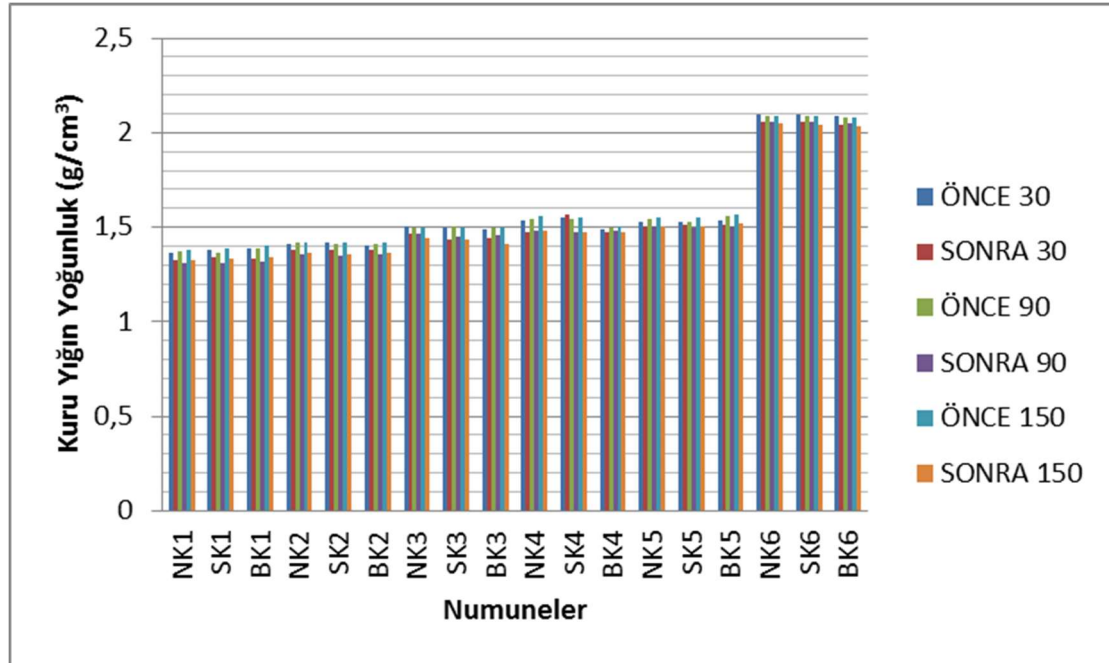


Şekil 4.50. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri



Şekil 4.51. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri

Yüksek sıcaklık etkisi sonucu numunelere ait kuru yığınlık değerlerindeki düşme oranları düşük çimento dozajı ile üretilen serilerde daha fazladır. NKX numunesine ait yüksek sıcaklık öncesi ve 150 dk yüksek sıcaklık sonrası kuru yığın yoğunluk değerleri sırasıyla 1,35 g/cm³ ve 1,30 g/cm³ tür.

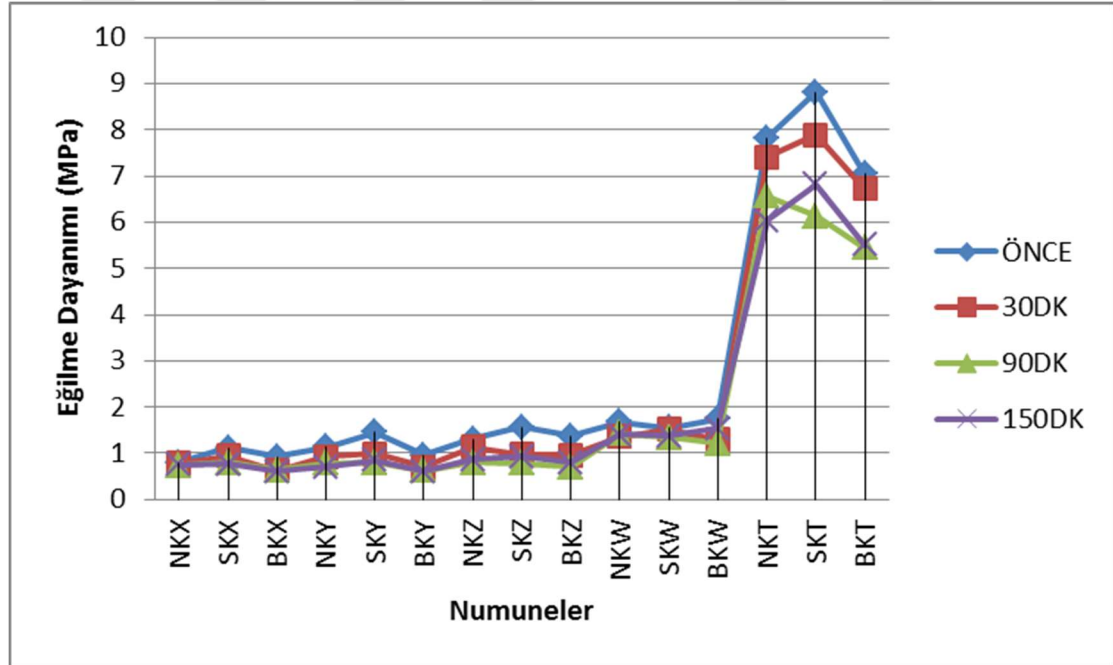


Şekil 4.52. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri

Mekanik dayanımlara bakıldığında ise yüksek sıcaklık etkisi sonucu numunelere ait eğilme dayanımı değerlerinin düştüğü görülmektedir. Basınç dayanımı değerlerinde ise 30dk yüksek sıcaklık etkisi sonucu genellikle artışlar gözlemlenmiştir. Bazı numunelerde ilerleyen sürelerde tekrar düşüşler görülmüştür.

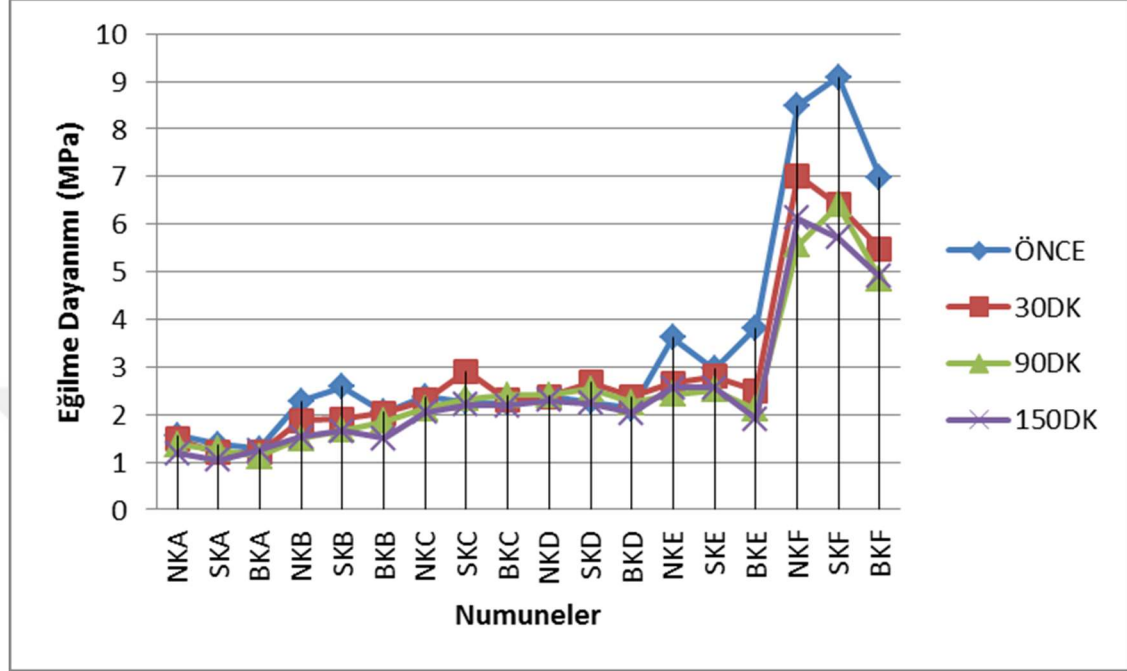
Eğilme dayanımında basınç dayanımına göre gözlemlenebilen belirgin düşmelerin sebebi ise deneylerin numune yükleme proseslerinin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Eğilme dayanımı tayin edilirken yük numunenin tam ortasından doğrusal bir mesnetle uygulanmaktadır. Çimento bağlayıcılı bileşenlerin çekme kuvvetlerinin etkisi altında iyi performans göstermediği bilinen bir olgudur. Özellikle yüksek sıcaklık etkisi gibi içyapıda düzensizlikler yaratacak bir uygulamadan sonra bünye içerisinde çatlak oluşumları iyice artmaktadır. Yük ise doğrusal bir alanda yani daha küçük bir alanda numune yüzeyine tatbik edildiğinden, numune bu sürede şekil değişimi yapmadan eğilme dayanımına ulaşmaktadır.

Basınç deneyi düzenğinde ise yük eğilme dayanımına göre daha büyük bir alana uniform şekilde uygulanmaktadır. Dolayısıyla yük altında öncelikle numune içerisindeki boşluklar, çatlaklar ve düzensizlikler kapanarak sıkışma eğilimi göstermektedir. Böylece numune şekil değişimi yaparak uygulanan yükün bir kısmını sönmüledikten sonra basınç dayanımına ulaşmaktadır. Basınç dayanımlarında yüksek sıcaklık öncesine göre belirgin farklılıklar gözlemlenmemesinin sebebi bu şekilde açıklanabilir. Ayrıca literatüre bakıldığında özellikle hafif agrega kullanılarak üretilen numunelerin dayanımlarında 150-300 °C sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra belirgin değişiklikler gözlemlenmemiştir (Bingöl ve Gül 2004).

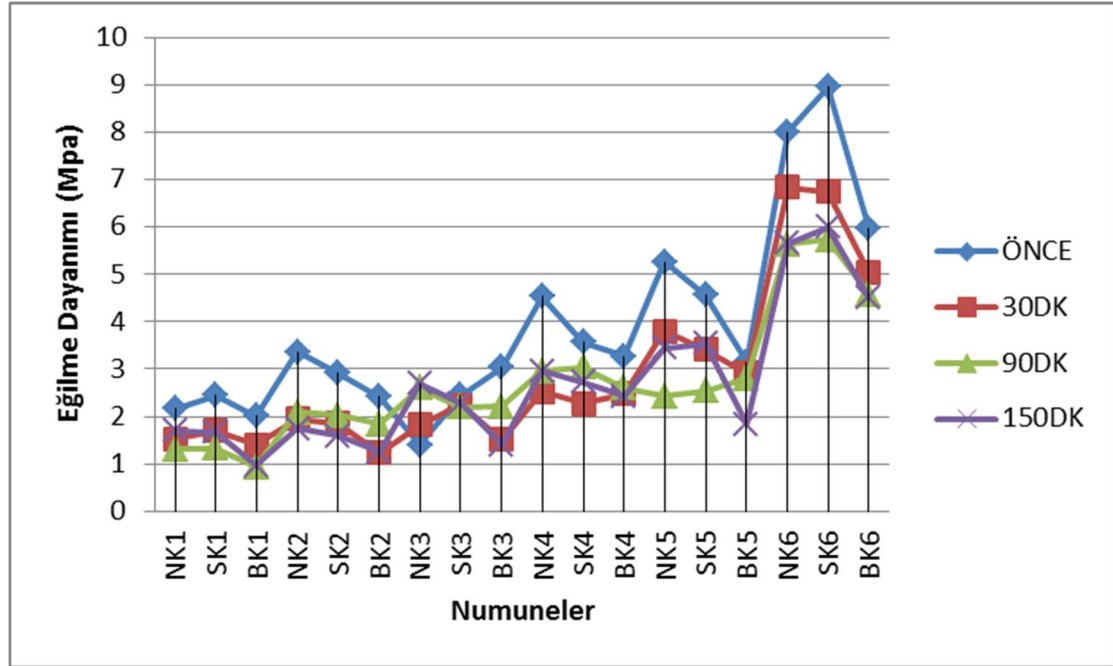


Şekil 4.53. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri

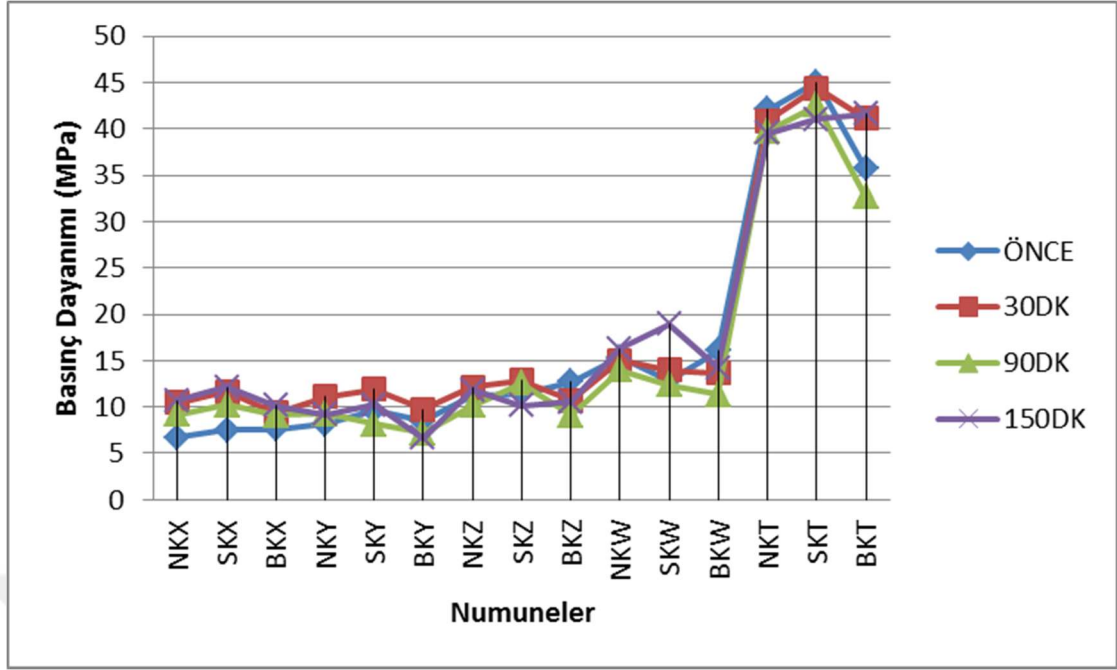
Yüksek sıcaklık etkisi sonucu eğilme dayanımlarındaki en fazla düşüşler ise 400kg/m^3 çimento dozajı ile üretilen seride gözlemlenmiştir. Serinin kendi içerisinde ise zeolit agregası içeriği fazla olan numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonucu eğilme dayanım kayıpları daha fazladır.



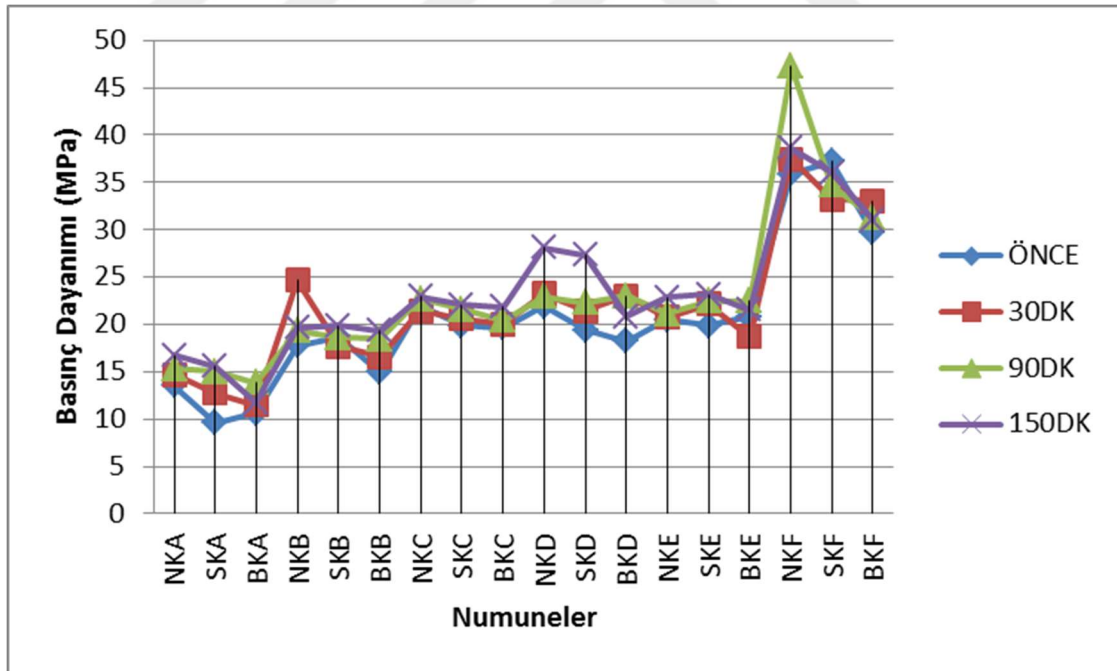
Şekil 4.54. 300 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri



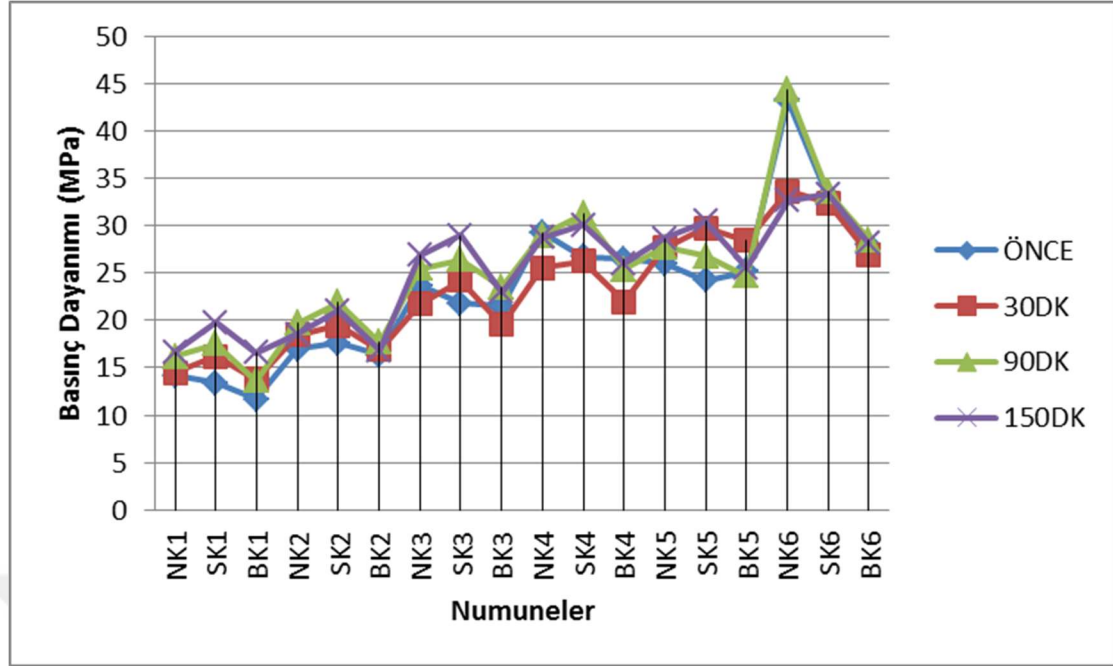
Şekil 4.55. 400 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri



Şekil 4.56. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri



Şekil 4.57. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri



Şekil 4.58. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri

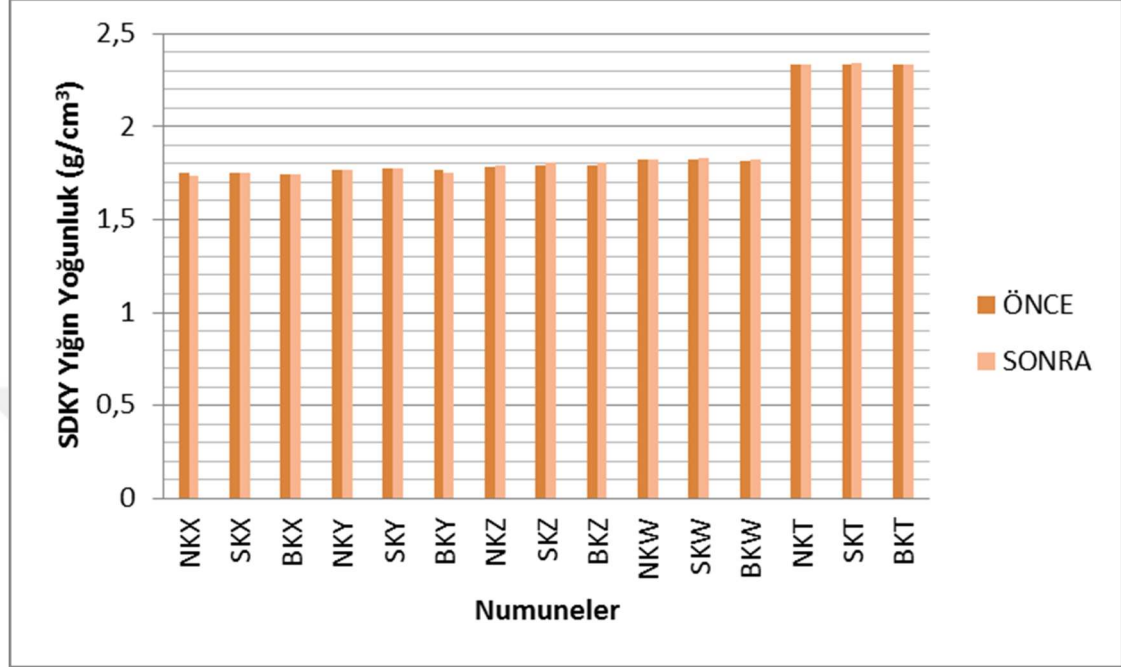
4.4.2. Donma-çözülme çevriminden sonra numuneler üzerinde gerçekleştirilen deney bulguları

Üretilen numuneler -20 °C’de havada donma, +20 °C’de suda çözme yapabilen donma-çözülme kabininde 10 çevrim boyunca tutulduktan sonra deney öncesi ve sonrası yığın yoğunluk değerleri ile eğilme, basınç dayanım değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

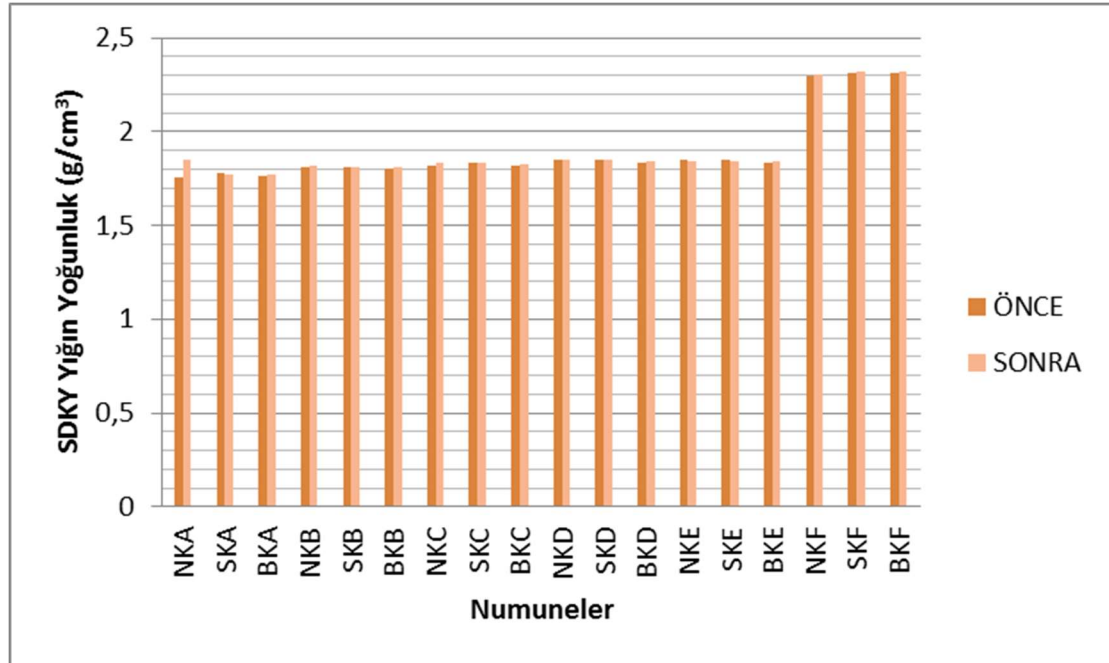


Şekil 4.59. Donma-çözülme çevrimi deneyi sonucu bazı numune görünüşleri

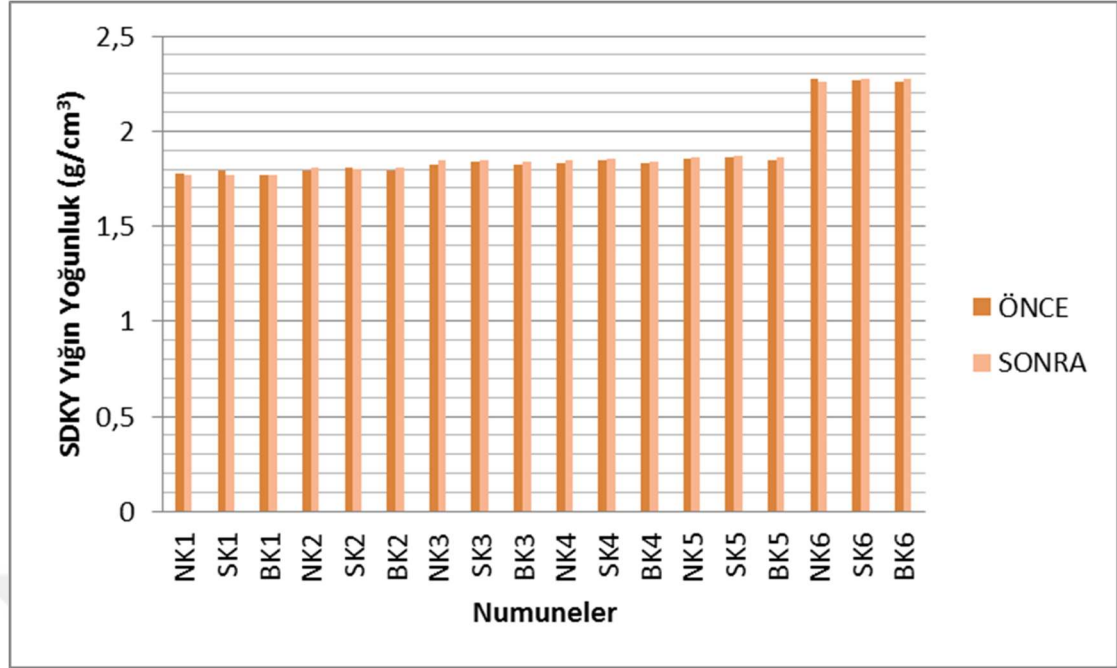
Donma-çözünme çevrimi öncesi ve sonrası numunelerin SDKY yığın yoğunluk değerleri birbirine yakındır. Gözlemlenen en farklı değerler ise NKA numunesine aittir. Donma çözünme öncesi ve sonrası NKA numunesine ait SDKY yığın yoğunluk değerleri sırasıyla $1,75 \text{ g/cm}^3$ ve $1,85 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.60. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri

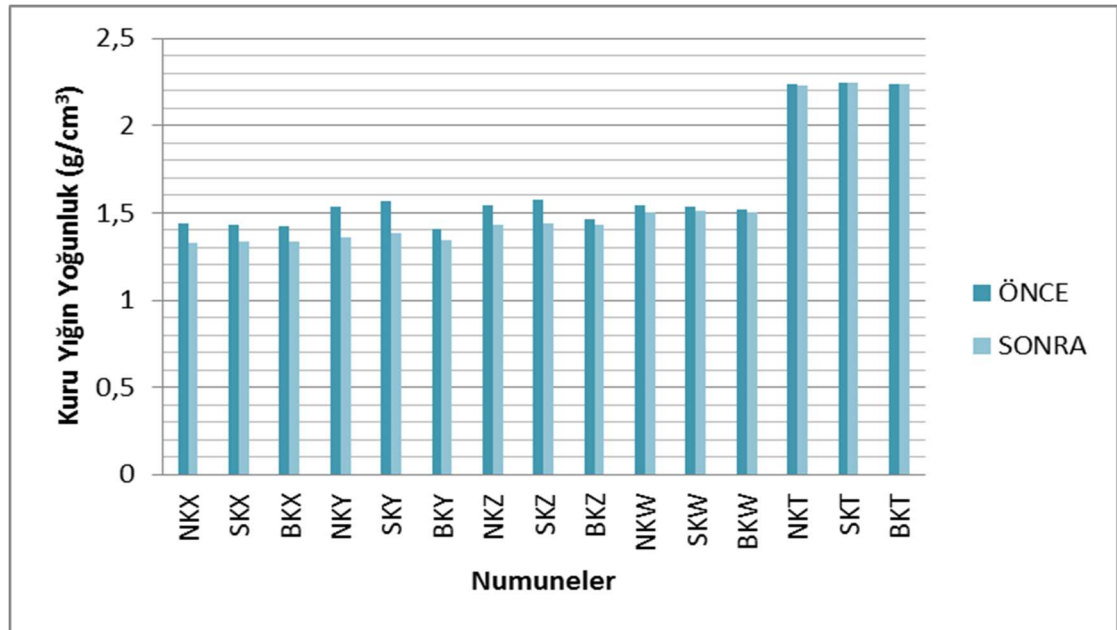


Şekil 4.61. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri



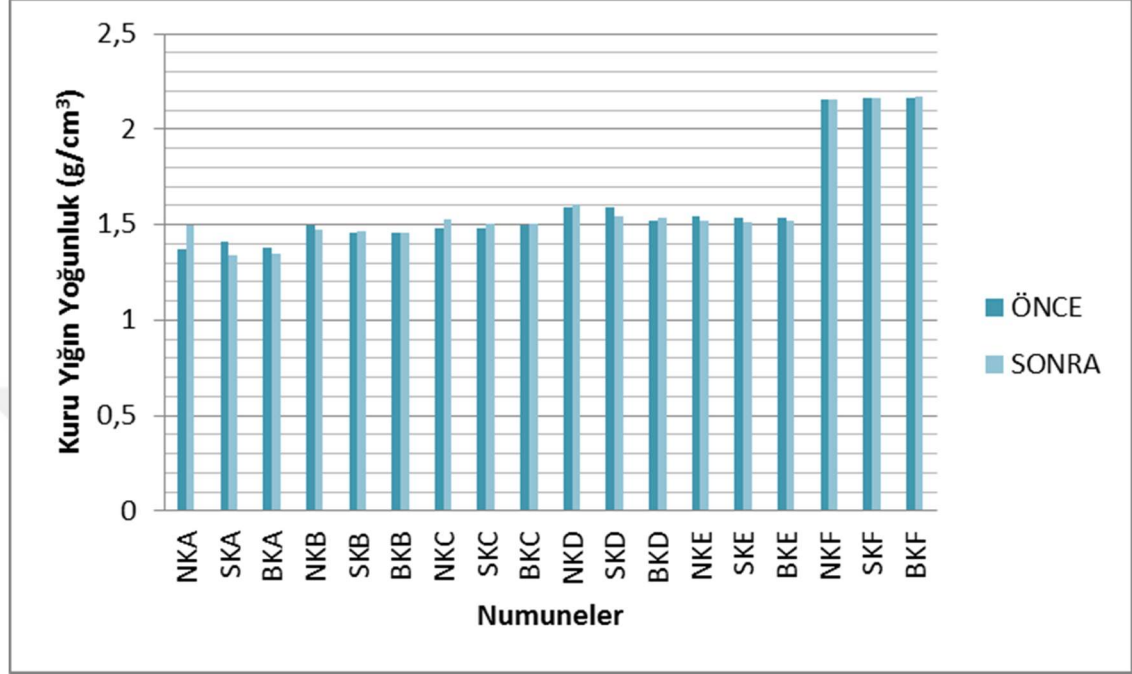
Şekil 4.62. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası SDKY yığın yoğunluk değişimleri

Donma-çözülme çevrimi sonucu numunelere ait kuru yığın yoğunluk değerleri ise düşüş göstermiştir. Bu düşüşler hafif agregalarla üretilen numunelerde daha belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Yüksek çimento oranlarıyla üretilen serilerde kuru yığınlık değerlerindeki düşmeler, düşük çimento dozajı ile üretilenlere göre daha düşüktür.

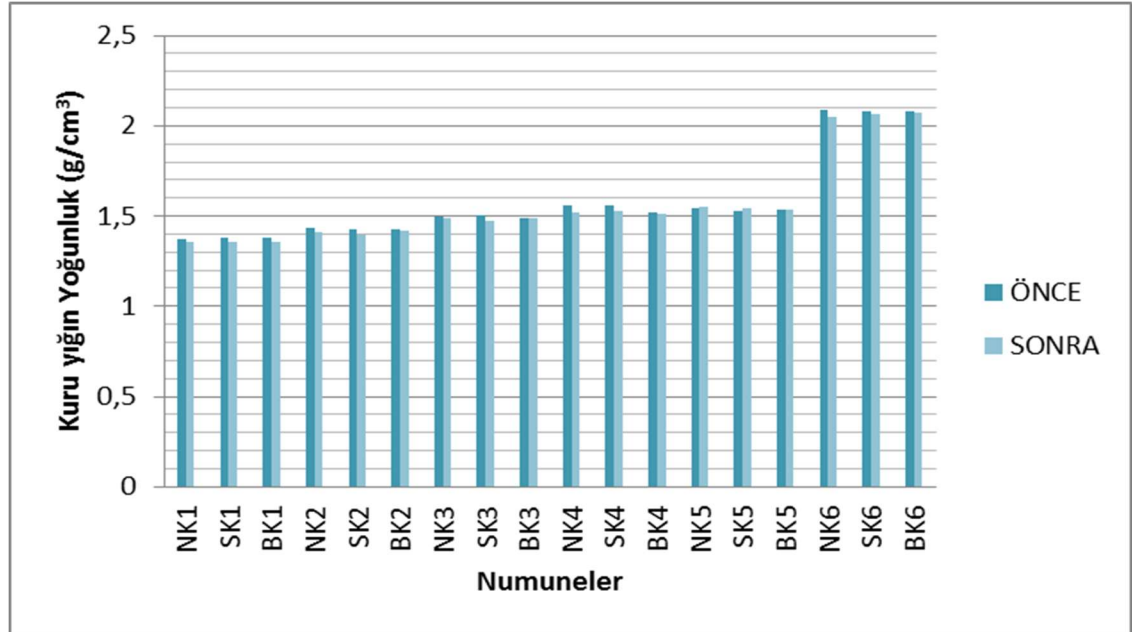


Şekil 4.63. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri

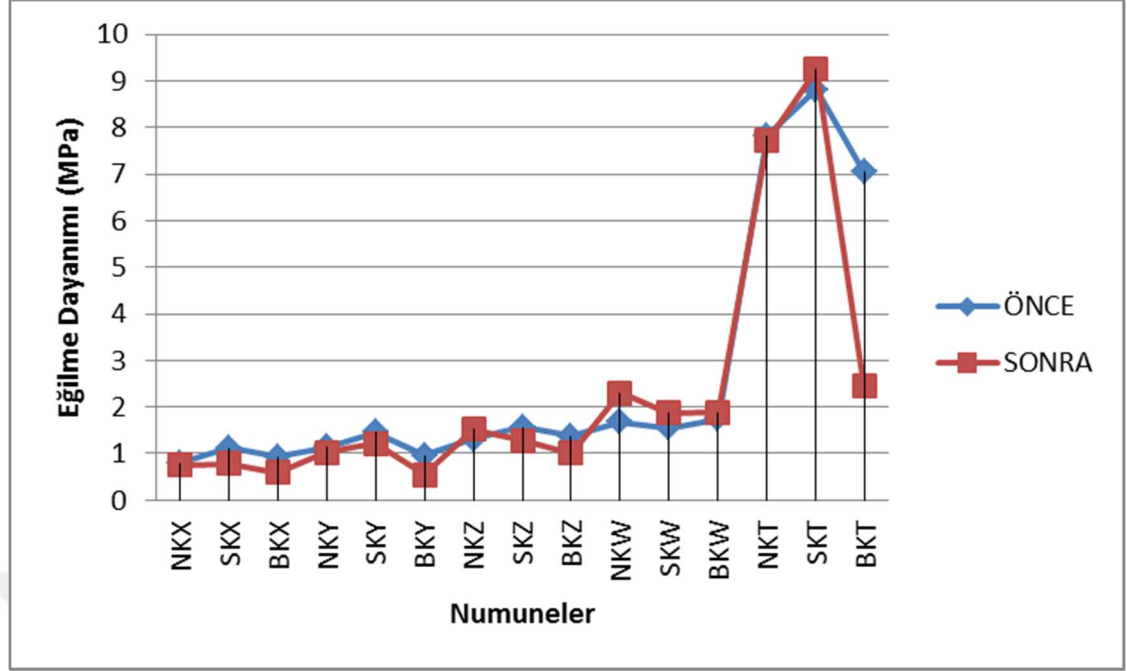
Diğer numunelerde gözlemlenen davranışın tersine NKA numunesinin donma-çözülme çevriminden sonra kuru yığın yoğunluğunda artış gözlemlenmiştir. Öncesinde $1,37 \text{ g/cm}^3$ olan kuru yığın yoğunluk değeri çevrim sonrası $1,51 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.



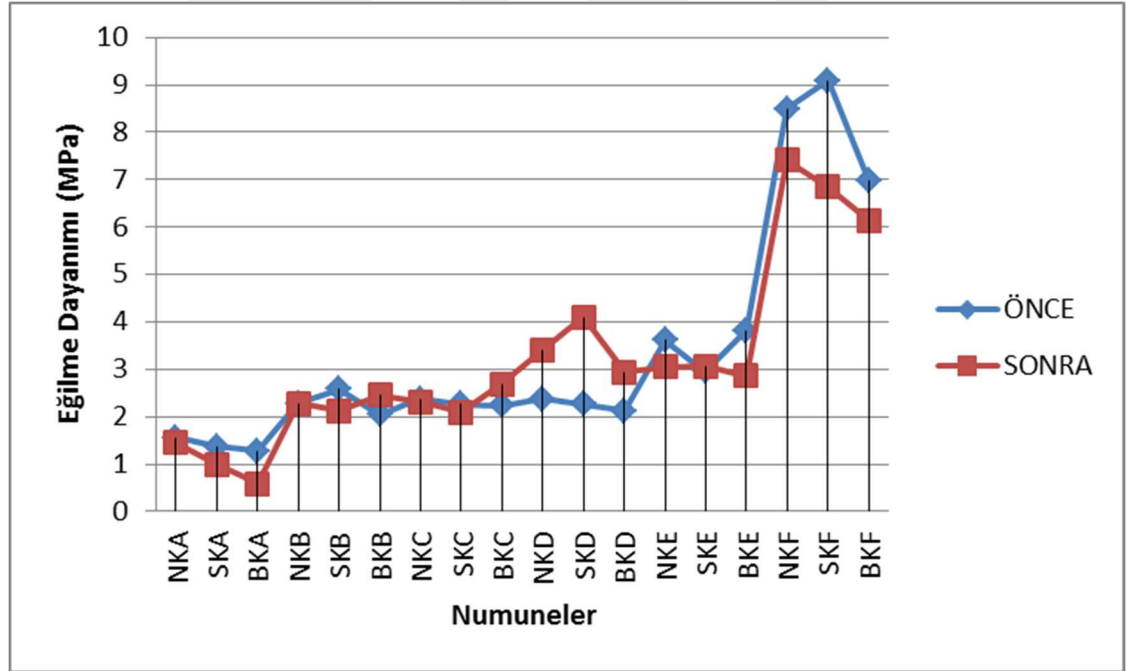
Şekil 4.64. 300 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri



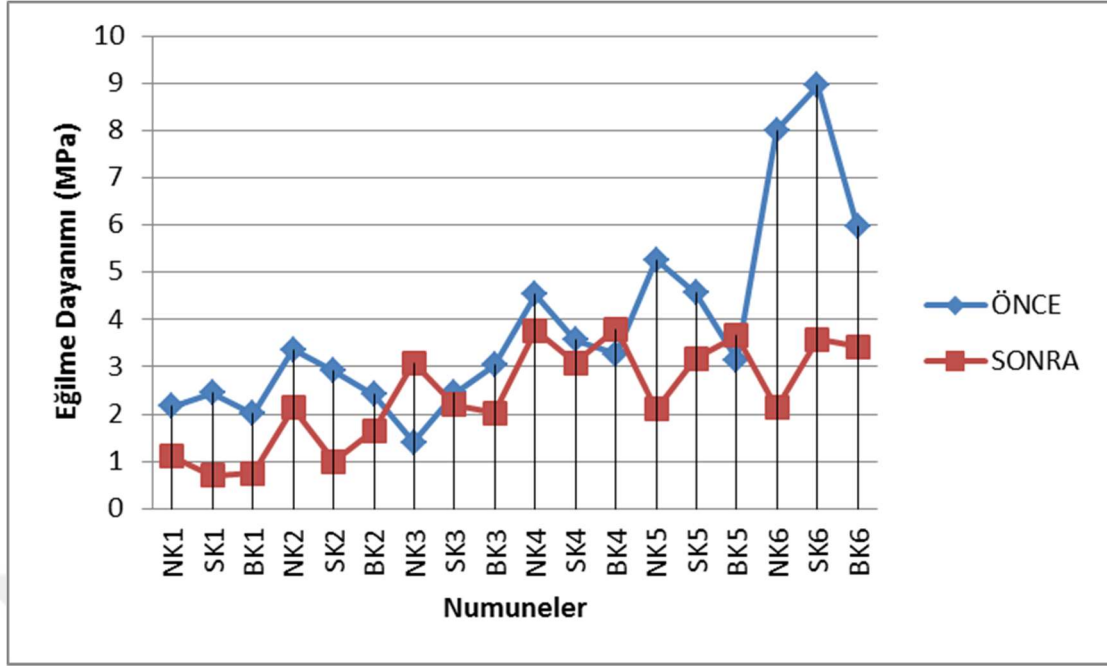
Şekil 4.65. 400 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası kuru yığın yoğunluk değişimleri



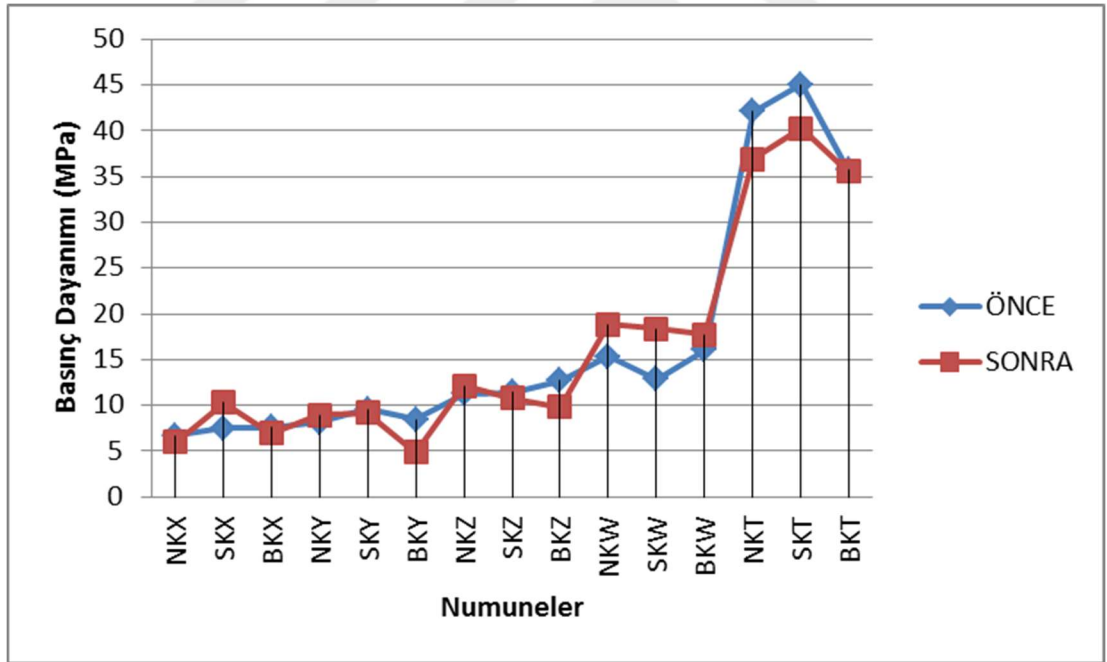
Şekil 4.66. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri



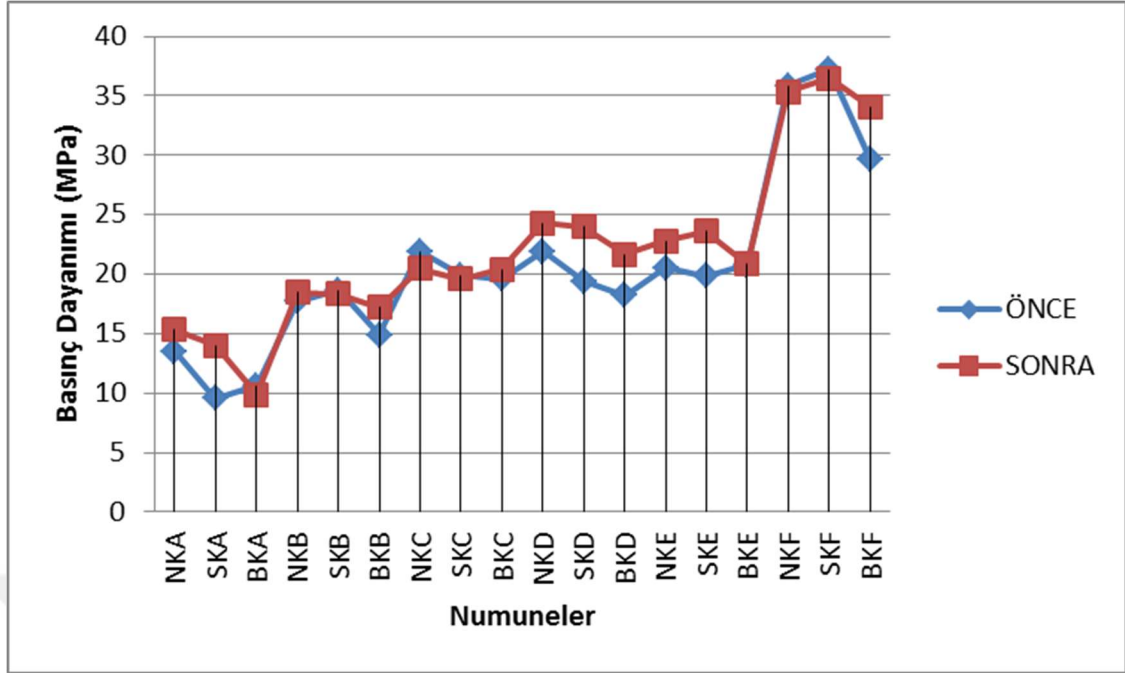
Şekil 4.67. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri



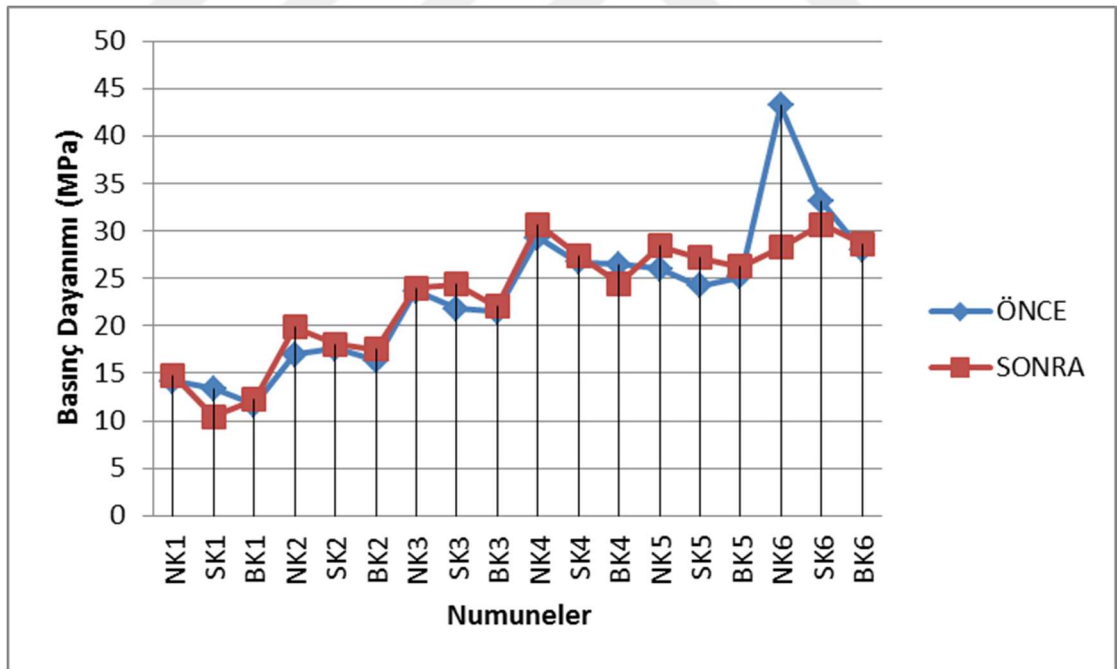
Şekil 4.68. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimleri



Şekil 4.69. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri



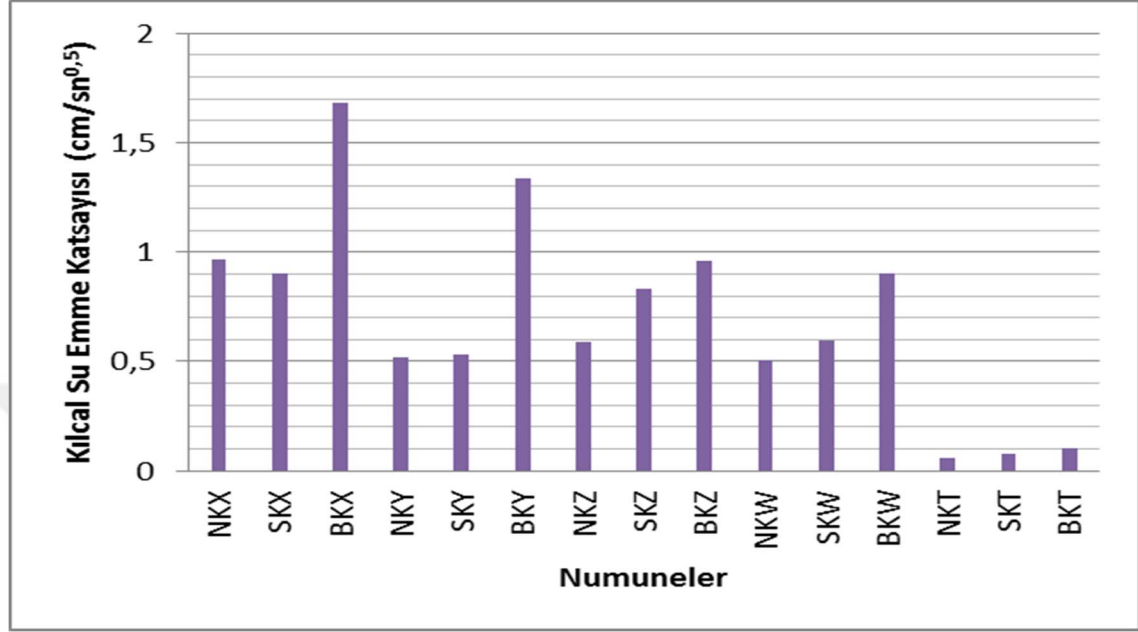
Şekil 4.70. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri



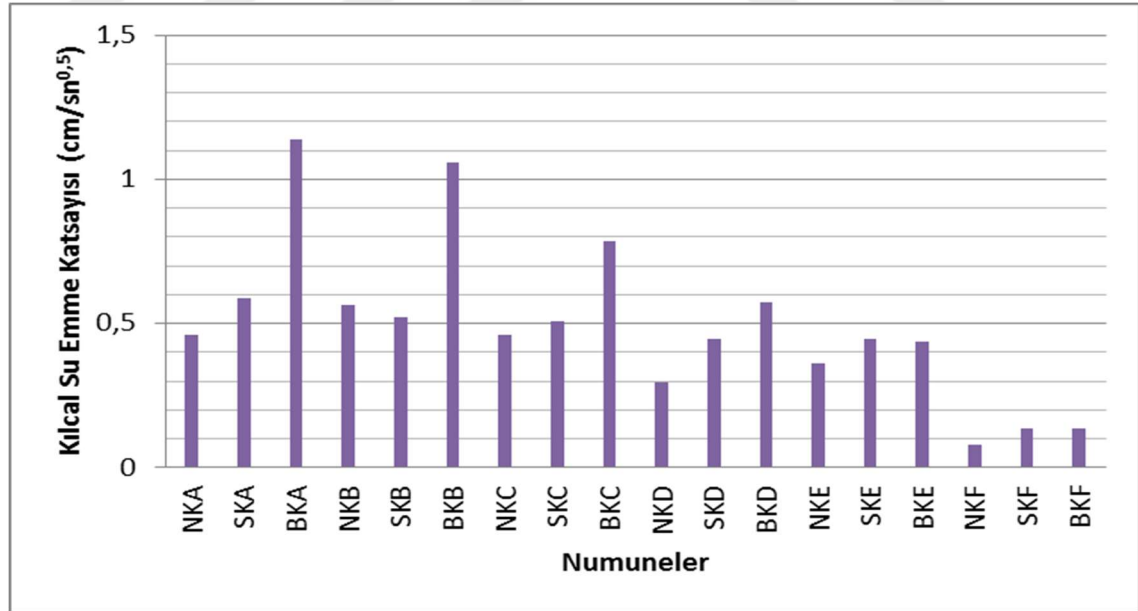
Şekil 4.71. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin donma-çözülme öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimleri

4.4.3. Kılcal geçirimlilik deneyi bulguları

Numunelere ait kılcal geçirimlilik katsayısı değerleri Şekil 4.72-74'te gösterildiği gibidir.

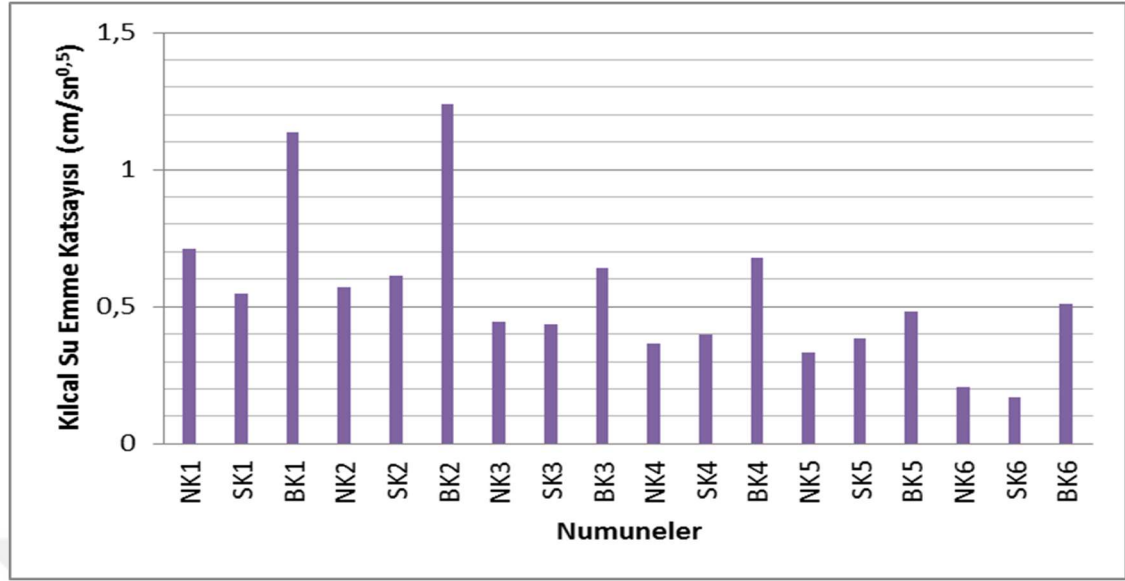


Şekil 4.72. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin kılcal geçirimlilik katsayı değerleri



Şekil 4.73. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin kılcal geçirimlilik katsayı değerleri

Kılcal geçirimlilik davranışını en fazla etkileyen parametrenin ise kür farkı olduğu görülmektedir. Buhar kürü ile kürlenen numunelerin kılcal geçirimlilik katsayıları diğer kür çeşitleriyle kürlenen numunelere göre daha yüksektir.



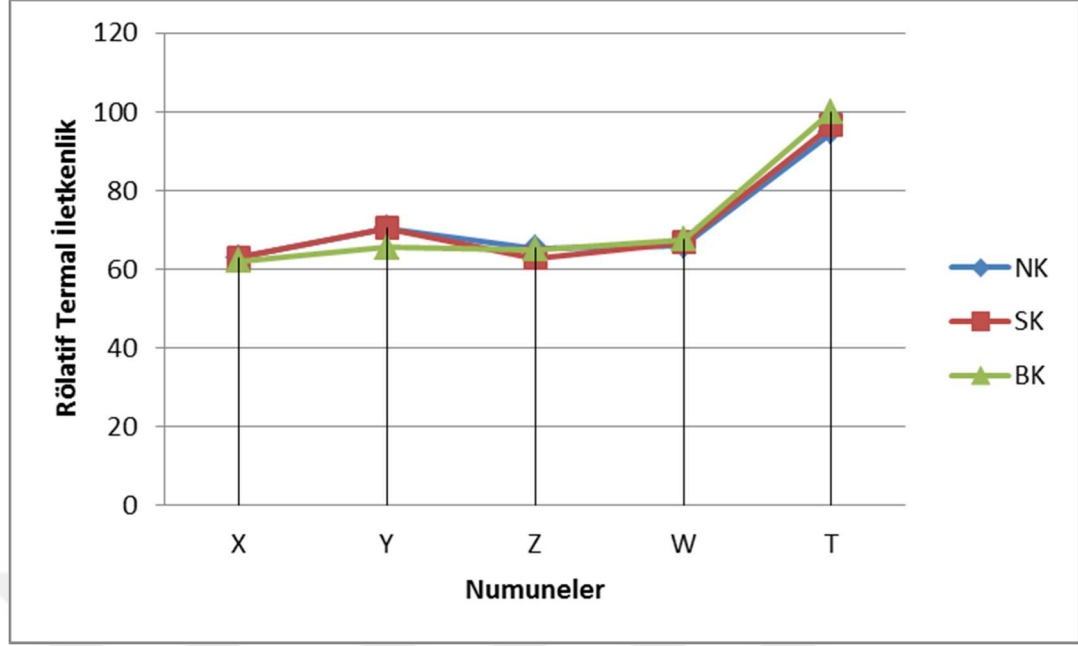
Şekil 4.74. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin kılcal geçirimsizlik katsayı değerleri

4.4.4. Rölatif termal iletkenlik deneyi bulguları

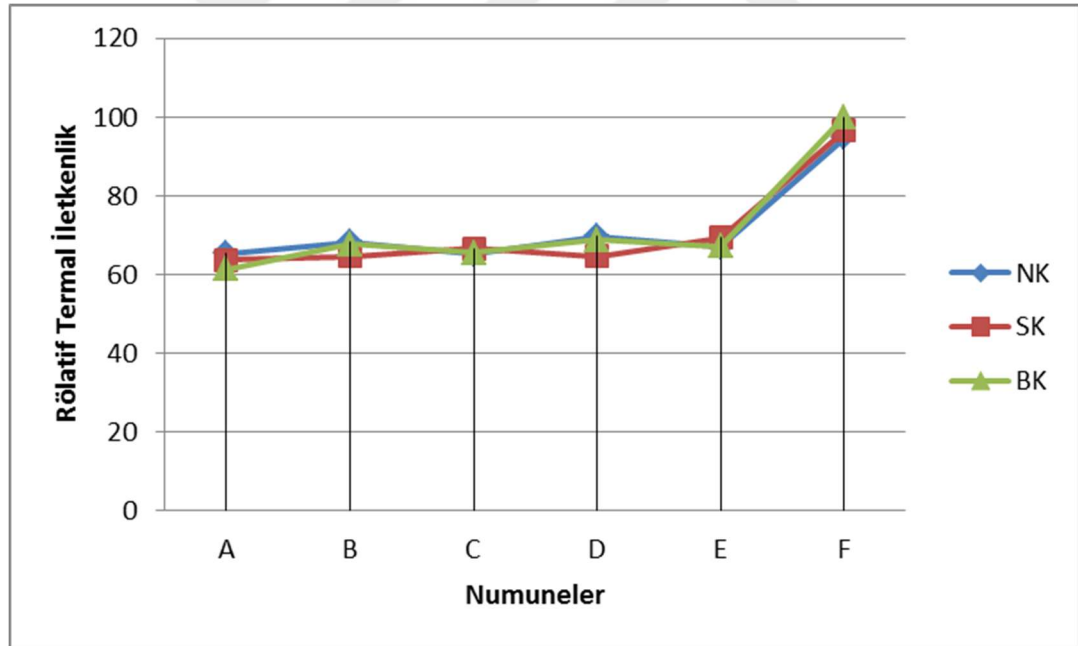
Numunelere ait rölatif termal iletkenlik değerlerini bulabilmek için numune yan yüzeyleri ısı saçılımını önlemek amacıyla cam yünü ile kaplanarak ısıtıcı plaka üzerine yerleştirilmişlerdir. Bütün numuneler için numune alt yüzeyine gelen sıcaklık 100 °C’de sabitlenmiştir. Rölatif termal iletkenlik değeri numune üst yüzey sıcaklığı sabit bir değere ulaştığındaki sıcaklık kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun için de numuneler içerisinde en yüksek üst sıcaklık değerine sahip olan BKT numunesinin üst sıcaklık değeri olan 70 °C kullanılmıştır.

Hafif agregaların yer değiştirme oranları birbirine yakın olduğundan rölatif termal iletkenlik değerleri arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmemektedir. Ancak yine de çimento dozajının artması ile rölatif termal iletkenliğin arttığı söylenebilir. NKW numunesinin rölatif termal iletkenliği 65,93 iken NK5 numunesinin rölatif termal iletkenliği 68,49’dur.

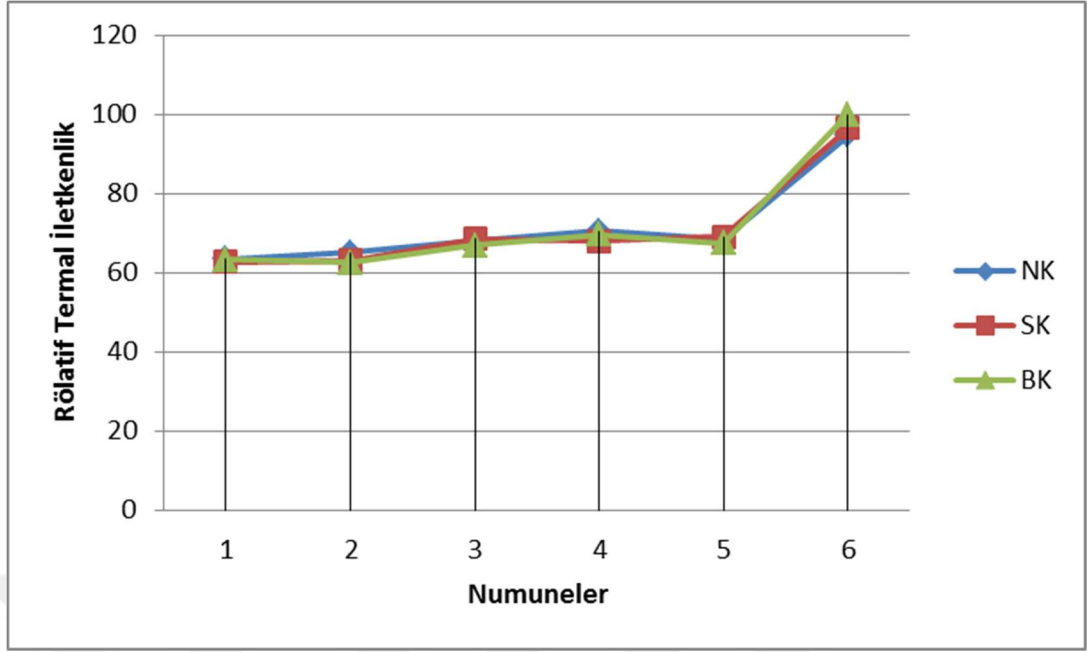
Farklı çimento dozajlarından üretilen her seri kendi içerisinde değerlendirildiğinde numuneler içerisindeki pomza agregası arttıkça rölatif termal iletkenlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. 200 kg/m³ çimento dozajlı seri içerisinde BKX 63,29 değerini alırken BKW 67,56 değerini almıştır. 300 kg/m³ çimento dozajlı seri içerisinde ise BKA 61,34 değerini alırken BKE 67,11 değerini aldığı görülmektedir.



Şekil 4.75. 200 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri



Şekil 4.76. 300 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri



Şekil 4.77. 400 kg/m³ çimento dozajlı numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri

5. SONUÇLAR

KÇK, çimentonun icat edilmesinden itibaren en çok kullanılan yapı malzemeleri olmuştur. Bileşenlerin ilk birleştikleri anda plastik kıvamda olmalarından dolayı istenilen her formda eleman KÇK kullanılarak üretilmektedir. Ayrıca ihtiyaç olunan özelliklere göre KÇK'yı çeşitli müdahalelerle geliştirmek her geçen gün mümkün olmaktadır. Bu tez çalışmasında ise değişik hafif agregalar ve kür yöntemleri kullanılarak KÇK'nın özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Pomza ve zeolit agregalarının kullanımı ile taze birim hacim ağırlık değerleri kontrol numunesine göre düşüş gösterirken, sarsma tablası ile tahlil edilen işlenebilirlik özellikleri kontrol numunesine göre daha yüksek değerler almıştır. Taze halde düşük birim hacim ağırlık, özellikle şantiye alanlarında kalıp planları oluşturulurken daha az kalıp destek dikmesi ile taşınabileceğinden bir avantaj yaratmaktadır. İşlenebilirlik değerlerinin yüksek olması ise yerine yerleştirme süreçlerinde kolaylık sağlayacağından zaman ve işçilikten kazanç sağlayacaktır.

Sertleşmiş halde ölçülen fiziksel özelliklere bakıldığında ise pomza ve zeolit ile üretilen hafif harç numunelerinin hem SDKY hem de kuru yığın yoğunluk değerleri kontrol numunesine göre daha düşük değerler almıştır. Buradan çıkarılabilecek sonuç ise pomza ve zeolit kullanılarak üretilen bir yapı elemanının taşıyıcı sisteme aktaracağı kendi öz ağırlığından kaynaklanan ölü yüklerin daha az olacağıdır. Böylelikle taşıyıcı eleman kesitlerini küçültmek mümkün olurken, maliyet ve kullanım alanından tasarruf sağlanacaktır.

Su emme ve görünür boşluk değerlerine bakıldığında ise hafif agregalarla üretilen numunelerin kontrol numunelerine göre daha yüksek su emme kabiliyetine ve görünür boşluk oranına sahip oldukları görülmektedir. Bu agregalarla üretilen elemanlarda su yalıtımına önem verilmesi gerektiği açıktır.

Mekanik özellikler olarak eğilme ve basınç dayanımları ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Pomza ve zeolit ile üretilen numunelerin hem eğilme hem de basınç dayanımı değerleri kırma kum ile üretilen kontrol numunesine göre daha düşük çıkmıştır. Ancak üretilen numuneler %100 hafif agregası içeriklidir. Bir miktar kırma kum takviyesi ile optimum değerler elde edilmeye çalışıldığı takdirde hem hafif hem de taşıyıcı elemanlar üretmek mümkün olacaktır.

Yüksek sıcaklığa maruziyet sonrasında özellikle eğilme dayanımı değerleri hafif agregalı numuneler ve kontrol numuneler gruplarının her ikisinde de düşme göstermiştir. Ancak kontrol grubunda gözlemlenen düşme değerleri daha yüksektir. Kontrol grubu numunelerinin basınç dayanımı değerleri 30 ve 90 dk yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra bir miktar artsa da 150dk'dan sonra düşüş göstermiştir. Pomza ve zeolit agregası ile üretilen numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonrası basınç dayanımı değerleri genellikle artış göstermiştir.

Donma-çözülme çevriminden sonra ise numunelerin kuru yığın yoğunlukları çevrim öncesi değerlere göre daha düşük değerler almıştır. Mekanik özelliklere bakıldığında ise çevrim sonrası eğilme dayanımlarında özellikle kontrol numunelerinde

büyük dayanım kayıpları görülmektedir. Hafif agregalı numunelerde ise çimento içeriği arttıkça eğilme dayanımlarındaki kayıplar da artmıştır.

Numunelerin kılcal geçirimlilik özellikleri üzerinde en fazla etkiye sahip olan etmen ise kür farklılığıdır. Buhar kürü ile kürlen numunelerin hem hafif agregalı grupta hem de kontrol grubunda olmak üzere kılcal geçirimlilik katsayıları daha yüksektir. Sıcak su kürü ile kürlen numuneler ise genellikle daha düşük kılcal geçirimlilik katsayılarına sahiptir. Kontrol numuneleri ise en yüksek kılcal geçirimlilik katsayısı değerlerini 400kg/m^3 çimento dozajı ile üretilen seride almıştır.

Hafif agregalarla üretilen numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri her bir çimento dozajı için kontrol numunesine göre yaklaşık %30 daha küçük değerler almışlardır. Hafif agregalı harç numuneleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde ise, hacimce pomza oranı arttıkça rölatif termal iletkenliğin de arttığı görülmüştür.



6. KAYNAKLAR

- ACI 308-92, 1994. Standart practise for curing concrete. *ACI Manual of Concrete Practise*. (2): 1-11.
- Akay, O.E., Gizlenci, Ö.S. , Sönmez, K. 2018. Bir kurutma sisteminde kullanılan zeolit kurutma yatağının adsorpsiyon performansının deneysel olarak incelenmesi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1):100-106.
- Akçıl, A., Tuncuk, A. , Deveci, H. 2007. Kuvarsın saflaştırılmasında kullanılan kimyasal yöntemlerin incelenmesi. *Madencilik*, 46(4):3-10.
- Akgün, Y., Yazıcıoğlu, Ö.F. 2016. İki farklı doğal zeolit katkısının çimento harç aşınma dayanımına etkisi. *Ordu Üniversitesi Bilim Teknik Dergisi*, 6(1): 94-104.
- Aksay, E.K., Akar, A. , Cöcen, İ. , Onargan, T. 2009. İzmir-menderes pomza cevherinin bazı tür mermerlerin aşındırılmasında abrasiv olarak kullanımı. *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(31):32-43.
- Amel, C.L., Kadri, E., Sebaibi, Y., Soualhi, H. 2017. Dune sand and pumice impact on mechanical and thermal lightweight concrete properties. *Construction and Building Materials*, 133: 209–218.
- Anonim 1: <http://www.tekstildershanesi.com.tr/bilgi-deposu/sentetik-lif-cesitleri-kullanim-alanlari-ve-ozellikleri.html>
- Anonim 2: http://www.teknolojikarastirmalar.com/egitim/yapi_malzemesi/beton/3.4.htm. Beton Teknolojisi
- Anonim 3: <http://www.aydos.com.tr/sayfa/sektorel-cozumler-detay/18/su-azaltici-priz-hizlandirici-en-934-2-cizelge-12>
- Anonim 4: https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/4FE58AA58E3A4B7B85F_A9E4EE011A8/0F1225956F804377AC3B5D8C47EDC0A8.pdf
- Anonim 5: <http://izahiyet.net/izah/dogal-puzolanlar/>
- Anonim 6: [http://www.goltas.com.tr/pdf/CEM%20I%2042,5%20R-N\(1\).pdf](http://www.goltas.com.tr/pdf/CEM%20I%2042,5%20R-N(1).pdf)
- Anonim 7: https://www.google.com.tr/search?q=%C3%BC%C3%A7+nokta+e%C4%99Filme+deneyi&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi7_Y3VjpvaAhURyKQKHWV2Cq4Q_AUICigB&biw=1280&bih=918#imgcr=dlr-31tVO8LpEM:
- Anonim 8: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldispat>.

- Anwar, I.I. 2010. Katkıların beton performansına etkisi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 48s.
- Arel, H.S. 2016. Effects of curing type, silica fume fineness, and fiber length on the mechanical properties and impact resistance of UHPFRC. *Results in Physics*, 6: 664-674.
- Arın, S. 2011. Modifiye edilmiş klasik eberhart tipi fırınlarda kireç üretiminin incelenmesi: Yılankale’de örnek uygulama. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 52 s.
- ASTM C 666, procedure B. C. The freezing and thawing cycles.
- Atış, C. D., Özcan, F. , Karahan, O. , Bilim, C. , Sevim, U. K. , Demir, A. 2003. Silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımı üzerine etkisi. *Türkiye Mühendislik Haberleri* 426 (4): 121-124.
- Ba, M., Qian, C., Guo, X., Han, X. 2011. Effects of steam curing on strength and porous structure of concrete with low water/binder ratio. *Construction and Building Materials*, 25: 123–128.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H. 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul, 11s.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ,Ün, H. 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, 112-135, İstanbul.
- Başpınar, E. ve Gündüz, L. 2006. Mineralogical and petrographical properties of pumice aggregates fo ruse in civil industry. 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 2-4 Aralık 2006, İstanbul.
- Bideci, S.Ö., Bideci, A., Oymael, S. 2013. Zeolit katkılı çimentoların özelliklerinin incelenmesi. *SDU International Technologic Science*, 5(3):70-76.
- Bilim, C. 2011. Çimento harçlarında ikame malzemesi olarak zeolit ve silis dumanı kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4): 339-345.
- Bilim, C. 2011. Zeolit katkısının harçların aşınma direncine etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, ss. 55-58 Elazığ, Turkey.
- Bingöl A.F., Gül R., 2004. Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 11: 68–72.
- Binici, H. Ve Bodur, M. N. 2005. Çimento katkı maddesi olarak pomzaların aktiviteleri. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi,ss. 1-9, Süleyman Demirel Üniversitesi Kültür Merkezi, Isparta.

- Canpolat, F. ve Yılmaz, K. 2002. Doğal zeolit ve uçucu kül katkı ve katkısız harçların sülfat dayanıklılığı. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(2):11-24.
- Cejka J., van Bekkum H., Corma A. ve Schüth F. (Editors), 2007, Introduction to Zeolite Science ve Practice. ISBN: 978- 0-444-53063-9, ISSN: 0167-2991. Elsevier Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands.
- Chen, M., Xiao, W. , Xie, X. 2010. Coesite and quartz characteristic of crystallization from shock-produced silica melt in the Xiuyan crater. *Earth and Planetary Science Letters*, 297(1-2):306-314.
- Dayı, M., Aruntaş, H.Y. , Çavuş, M., Şimşek, O. 2013. Zeolit, uçucu kül ve atık cam malzemelerin portland kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3):491-499, 2013.
- Degrave-Lemeurs, M., Glé, P., Hellouin de Menibus, A. 2018. Acoustical properties of hemp concretes for buildings thermal insulation: Application to clay and lime binders. *Construction and Building Materials*, 160: 462–474.
- Dığış, A. 2015. Mineral katkı olarak kullanılan öğütülmüş doğal zeolit harç özelliklerine etkisi. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 38s.
- Dilli, M.E. 2015. Hafif agrega içeren yalın ve PVA ile güçlendirilmiş yapısal betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 3s.
- Döyen, A ve Aksoy, E. 2013. Isparta ve gelincik pomza yataklarının jeolojisi ve beton yapımına uygunluğunun araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 28 (1): 25-34.
- Erdoğan, T. Y., Erdoğan, S. T. 2007. Kimyasal Katkı Maddeleri ve Tarihi Geçmişleri. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, ss. 21-34, 12-13 Nisan, Milli Kütüphane, Ankara.
- Erdoğan, T. Y. 2003. Beton. 1. Baskı. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. , Ankara, 183-184 s. , 191s.
- Erdoğan, T.Y., Erdoğan, S.T. 2007. Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi. ODTÜ Yayıncılık. Ankara, 92s.
- Erdoğan, T.Y. 2007. Beton. 2. Baskı. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş, Ankara, 19 s. , 67 s.

- Ersoy, B. 2000. Klinoptilolit (Doğal zeolit): Özellikleri, kullanım alanları ve Türkiye açısından önemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1):41-52.
- Fantilli, A.B., Chiaia, B., Gorino, A. 2016. Ecological and mechanical assessment of lightweight fiber-reinforced concrete made with rubber or expanded clay aggregates. *Construction and Building Materials* 127: 692–701.
- Gesoglu, M., Güneyisi, E., Ali, B., Mermerdas, K. 2013. Strength and transport properties of steam cured and water cured lightweight aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 49: 417–424.
- Ghourchian, S., Wyrzykowski, M., Lura, P. , Shekarchi, M., Ahmadi, B. 2013. An investigation on the use of zeolite aggregates for internal curing of concrete. *Construction and Building Materials*, 40 (2013):135–144.
- Gołaszewskaa, M. and Ponikiewskia, T. 2017. Influence of low pressure steam curing on development of strength of mortars based on cement with high-calcium fly ash. *Procedia Engineering*, 192: 249 – 254.
- Gonzalez-Corominas, A., Etxeberria, M., Poon, C.S. 2016. Influence of steam curing on the pore structures and mechanical properties of fly-ash high performance concrete prepared with recycled aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 71: 77-84.
- Gülen, J., Zorbay, F., Arslan, S. 2012. Zeolitler ve Kullanım Alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi /Karaelmas Science and Engineering Journal*, 2 (1), 63-68, 2012.
- Gündüz, L. ve Ugur, I. 2005. The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. *Cement and Concrete Research*, 35: 1859 – 1864.
- Hariyadia ve Tamai, H. 2015. Enhancing the performance of porous concrete by utilizing the pumice aggregate. The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5), *Procedia Engineering*, 125 (2015) 732 – 738.
- Hiremath, P.N. ve Yaragal, S.C. 2017. Effect of different curing regimes and durations on early strength development of reactive powder concrete. *Construction and Building Materials*, 154:72–87.
- Hossain, K.M.A. 2005. Volcanic ash and pumice as cement additives: pozzolanic, alkali-silica reaction and autoclave expansion characteristics. *Cement and Concrete Research*, 35:1141 – 1144.
- Kılınçarslan, Ş. 2008. Zeolit içeren betonların termomekanik özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(3):262-267.

- Kılınçarslan, Ş., Davraz, M., Akça, M. 2018. Pomza agregalı köpük betonların özelliklerinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1): 148-153.
- Kim, H., Hong, J., Pyo, S. 2018. Acoustic characteristics of sound absorbable high performance concrete. *Applied Acoustics*, 138 (2018) 171–178.
- Kim, H.K., Jeon, J.H. , Lee, H.K. 2012. Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air. *Construction and Building Materials*, 29: 193–200.
- Kockal, N.U ve Ozturan, T. 2011. Durability of lightweight concrete with lightweight fly ash aggregates. *Construction and Building Materials*, 25 : 1430-1438.
- Kockal, N.U. 2016. Investigation about the effect of different fine aggregates on physical, mechanical and thermal properties of mortars. *Construction and Building Materials*, 124 (2016) 816–825.
- Kockal, N.U. ve Ozturan, T. a: 2010. Effects of lightweight fly ash aggregate properties on the behavior of lightweight concretes. *Journal of Hazardous Materials*, 179: 954–965.
- Kockal, N.U. ve Ozturan, T. b: 2011. Characteristics of lightweight fly ash aggregates produced with different binders and heat treatments. *Cement and Concrete Composites*, 33: 61-67.
- Kockal, N.U. ve Ozturan, T. c: 2011. Optimization of properties of fly ash aggregates for high-strength lightweight concrete production. *Materials & Design*, 32: 3586-3593.
- Kockal, N.U., 2016. Investigation about the effect of different fine aggregates on physical, mechanical and thermal properties of mortars. *Construction and Building Materials*, 124: 816-825.
- Kockal, N.U., Beycan, O., Gülmez, N. 2018. Effect of binder type and content on physical and mechanical properties of geopolymer. *Sādhanā* 43:49.
- Kosmatka, S., B. Kerkhoff, and W.C. Panarese. 2002. *Design and Control of Concrete Mixtures*, 14th ed. Portland Cement Association, Skokie, Ill.
- Kurbetçi, Ş., Öztekin, E. 2011. Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini, İMO Teknik Dergi, 2004 3145-3153, Yazı 211, Kısa Bildiri.

- Libre, N.A., Shekarhci, M., Mahoutian, M., Soroushian, P. 2011. Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice. *Construction and Building Materials*, 25(5):2458-2464.
- Long, G., Yang, J., Xie, Y. 2017. The mechanical characteristics of steam-cured high strength concrete incorporating with lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*, 136: 456-464.
- Mahsanlar, N. 2006. Yüksek sıcaklık etkisinde beton davranışı. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 48s.
- Mamlouk, M.S. , Zaniewski, J.P. 1999. Materials for Civiland Construction Engineers. Addison Wesley Longman, Inc. , California, 187s.
- Markiv, T., Sobol, K. , Franus, M. , Franus, W. 2016. Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite. *Archives of Mechanical Engineering*, 16: 554-562.
- Merlab, 2014. <https://merlab.metu.edu.tr/tr/x-isini-difraktometresi>. [Son erişim tarihi: 31.12.2014].
- Mintorogoa, D.S., Widigdoa, W.K., Juniwatia, A. 2015. Application of coconut fibres as outer eco-insulation to control solar heat radiation on horizontal concrete slab rooftop. *Procedia Engineering*, 125: 765 – 772.
- Nagrockiene, D., Girskas, G. 2016. Research into the properties of concrete modified with natural zeolite addition. *Construction and Building Materials*, 113 (2016) 964–969.
- Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B., Shekarchi, M. 2012. An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, 35:1023–1033.
- Neville, A. M. 1981. Properties of Concrete. Longman Scientific & Technical, England, 155-166 s.
- Newman, J., Choo, B.S. 2003. Advanced Concrete Technology (ConcreteProperties). Elsevier, Typeset by Replika Press Pvt Ltd, India, Printed and bound in Great Britain, 3/10s.
- Nie, S., Hu, S. ,Wang, F. , Hu, C. , Li, X. , Zhu, Y.2017. Pozzolanic reaction of lightweight fine aggregate and its influence on the hydration of cement. *Construction and Building Materials*, 153 (2017):165–173.

- Öz, H. Ö., Yücel, H. E. , Güneş, M. 2017. Bazik pomzanın kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik özellikleri üzerine etkisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1):90-97.
- Özcan, F. 2005. Silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri ve hızlandırılmış kür ile dayanım tahmini. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 46s.
- Özdemir, A. , <http://www.aykutozdemir.com.tr/insaat/wp-content/uploads/2013/01/beton-bak%C4%B1m%C4%B1.pdf>[Son erişim tarihi: 21.04.2016].
- Özkan, Ş. G. ve Tuncer, G. 2001. Pomza madenciliğine genel bir bakış.4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, ss. 200-207, İstanbul Üniversitesi, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye.
- Özyıldırım, Ç. Hava Sürükleyici Katkıların Beton Dayanıklılığındaki Yeri. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, ss. 37-52, 12-13 Nisan, Milli Kütüphane, Ankara.
- Patnai, A., Myubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A., Anandijwala, R.D. 2015. Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. *Energy and Buildings*, 92: 161-169.
- Rajabipour, F., Giannini, E. , Dunant, C. , Ideker, J.H. , Thomas, M.D.A. 2015. Alkali-Silica Reaction: Current Understanding of the reaction Mechanism and the Knowledge Gaps. *Cement and Concrete Research*. 76: 130-146.
- Ramezaniapour, A.A., Mousavi, R., Kalhori, M., Sobhani, J., Najimi, M. 2015. Micro and macro level properties of natural zeolite contained concretes. *Construction and Building Materials*, 101: 347–358.
- Ranjbar, M.M, Madandoust, R. , Mousavi, S.Y. , Yosef, S. 2013. Effects of natural zeolite on the fresh and hardened properties of self-compacted concrete. *Construction and Building Materials*, 47 (2013) 806–813.
- Ranjbar, M.M., Madandoust, R., Mousavi, S.Y., Yosef, S. 2013. Effects of natural zeolite on the fresh and hardened properties of self-compacted concrete. *Construction and Building Materials*, 47: 806–813.
- Samimi, K., Kamali-Bernard, S., Maghsoudi, A.A., Maghsoudi, M., Siad, H. 2017. Influence of pumice and zeolite on compressive strength, transport properties and resistance to chloride penetration of high strength self-compacting concretes. *Construction and Building Materials*, 151:292–311.
- Sarikaya, H., Şengün, N. , Başığit, C. , Altındağ, R. 2009. Zeolit katkılı betonların elastisite modülünün tahmin edilmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 4(4):485-494.

- Schackow, A., Effting, C., Folgueras, M.V., Güths, S., Mendes, G.A. 2014. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *Construction and Building Materials*, 57: 190–197.
- Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F., Tasdemir, M.A. 2011. Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*, 43: 671–676.
- Serin, G., Çankıran, O. , Başıyigit, C. , Taş, H. H. , Fenkli, M. 2007. Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2007 (1) 15 – 22.
- Serinoğlu, Y. N. 2011. Normal ve süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının taze beton ve sertleşmiş beton üzerindeki etkileri. Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 44s.
- Sevim, U.K. ve Okumuş, N. 2011. Zeolit ve silika dumanı katkılı betonların mekanik ve geçirimsizlik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2):57-63.
- Shafigha, P., Chaic, L. C. , Mahmudc, H. B. , Nomelid, M. A. 2018. A comparison study of the fresh and hardened properties of normal weight and lightweight aggregate concretes. *Journal of Building and Engineering*, 15: 252-260.
- Suraneni, P., Fu, T. , Azad, V. J. , Isgor, O. B. , Weiss, J. 2018. Pozzolanicity of finely ground lightweight aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 88 (2018):115-120.
- Şahin, M.B. 2017, Zeolitler. [http:// www.mta.gov.tr/v3.0/ sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2014_17/17_53-74.pdf](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2014_17/17_53-74.pdf). [Son erişim tarihi: 17.09.2017].
- Şapçı, N., Gündüz, L. , Ulusoy, M. 2004. Karaman ve civarı pomza oluşumlarının hafif beton sektöründe agrega olarak yeri ve önemi. 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, ss. 138-148, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.
- Şimşek, O. 2004. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık San. Ve Tic. A.Ş., Ankara, 16 s. , 104s.
- Şişman, C. B., Kocaman, İ., Gezer, E. 2008. Doğal zeolitten üretilecek hafif betonun tarımsal yapılarda kullanılabilirliği üzerine bir araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 5(2):187-195.
- Tapan, M., Özvan, A. , Erik, O. 2012. Van Gölü kuzeyindeki asidik pomza ve skoryanın Betonda katkı olarak kullanılabilirliği. *Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, 17 (2):108-117, 2012.

- Tasci, E., Coşkun, N.D. , Pekkan, K. , Uz, V. 2013. Doğal zeolitlerin seramik pigment olarak kullanılabilirliği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14:213-218.
- Tatlıldil, H. Ve Sancak, E. 2013. Pomza agregalı hafif betonların panel duvar üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *SDU International Technologic Science*, 5(2):87-94, December 2013.
- Taylor, G.D. , Materials in Construction. 2000. Pearson Education Limited, Printed in Malesia, LSP, 80s.
- Topçu, İ. B., Demir, A. , Boğa, A. R. 2004. Akışkanlaştırıcı ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımının taze beton özelliklerine etkisi. *Türkiye mühendislik haberleri*434(6): 38-40.
- Turgut, P., <http://eng.harran.edu.tr/~pturgut/betcuring1.pdf>. [Son erişim tarihi: 29.11.2015].
- Turgutalp, E. Ü. , Örüng, İ.1992. Doğal hafif agregalı betonların donma-çözülme etkisi altındaki bazı özellikleri üzerine bir araştırma. *Atatürk Ü.Zir.Fak.Der.* 23 (2):72-88.
- Türkel, S., Alabaş, V. 2002. İki farklı çimento ile üretilen betonların basınç dayanımına değişik buhar kürü uygulama sürelerinin etkileri. ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 14 Ekim, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Türkmenoğlu, Z.F., Kılıç, M. , Depci, T. 2015. Van pomzası ve mermer tozu atıkları ile üretilmiş kendiliğinden yerleşen hafif betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1):105-116.
- Uygunoğlu, T. ve Ünal, O. 2007. Buhar kürü uygulanmış pomzalı hafif betonun özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 10(1): 111-116.
- Widodo, S., Ma'arif, F., Gan, B.S. 2017. Thermal conductivity and compressive strength of lightweight mortar utilizing pumice breccia as fine aggregate. *Procedia Engineering*, 471: 768-773.
- Yalçın, H., Gürü, M. 2006. Çimento ve Beton. Palme Yayıncılık: 414, Ankara, 15s. , 107s.
- Yaman, N., Öktem, T. , Seventekin, N. 2007. Karbon liflerin özellikleri ve kullanım olanakları. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/218008>.
- Yaşar, D. 2011. Naylon lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 7s.

- Yazıcı, H., <http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/OZEL%20BETON/ozelbeton-ders4-LIFLI.pdf> [Son erişim tarihi: 11.12.2016].
- Yazıcı, H. 2014. http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/YM2/YM_II%2312_SERTLESİMIS_BETONUN_DİĞER_OZELLİKLERİ.pdf. [Son erişim tarihi: 30.11.2014].
- Yesilata, B., Isiker, Y., Turgut, P. 2009. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Construction and Building Materials*, 23: 1878–1882.
- Yıldız, K., Dorum, A. , Koçak, Y. 2010. Pomza zeolit ve cem ı çimentosunun minerolojik moleküler elektrokinetik ve termal uyumunun yüksek dayanımlı betona etkisinin araştırılması. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(4):867-879.
- Zhang, B. ve Poon, C.S. 2015. Use of Furnace Bottom Ash for producing lightweight aggregate concrete with thermal insulation properties. *Journal of Cleaner Production*, 99: 94-100.
- Zhang, B. ve Poon, C.S. 2018. Sound insulation properties of rubberized lightweight aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 172 (2018): 3176-3185.
- Zhang, J., Wang, Q. , Zhang, J. Shrinkage of internal cured high strength engineered cementitious composite with pre-wetted sand-like zeolite. *Construction and Building Materials*, 134 (2017) 664–672.

ÖZGEÇMİŞ

ÖZGE BEYCAN TATANOĞLU

beycan.ozge@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2014-2018	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2008-2013	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretim Görevlisi 2016- Halen	Antalya Akev Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü
Kontrol Mühendisi 2013-2014	Berkan Yapı Denetim LTD ŞTİ
2014-2015	Alaca Yapı Denetim LTD ŞTİ
2015-Halen	İlkas Yapı Denetim LTD ŞTİ

ESERLER:

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

Sadhana, “Effect of Binder type and Content on Physical and Mechanical Properties of Geopolymers.” N. U. Kockal, O. Beycan, N.Gulmez. (2018) 43:49.

Acta Physica Polonica A, “Physical and Mechanical Properties of Silica Fume and Calcium Hydroxide Based Geopolymers” N. U. Kockal, O. Beycan, N.Gulmez. (2017) 131:3.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceeding) basılan bildiriler

Special Issue of the 6th International Congress & Exhibition (APMAS International Advances in Applied Physics and Material Science Congress and Exhibition) “Physical and Mechanical Properties of Silica Fume and Calcium Hydroxide Based Geopolymers” (Only abstract was published.)N. U. Kockal, O. Beycan. Maslak, Istanbul, Turkey, June 1–3, 2016.

International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, “Properties of mortars with ultrafine aggregates exposed to different curing regimes”, O.Beycan, N.U. Kockal ISSN: 2394-2827 Volume-4, Issue-4, Aug.-2017.

The IRES International Conference, “Stress strain behaviour of cement based mixtures with natural aggregates”, N.U.Kockal, O.Beycan. Prague, Czech Republic, 21 July, 2017.

Isemg 2018, 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, “Volcanic originated inclusions used in construction materials”, O. Beycan Tatanoglu, N.U. Kockal. Kundu, Antalya, Turkey, May 7-11, 2018.

Projeler

Akdeniz Üniversitesi BAP, “Konvansiyonel çimentolu karışımların özelliklerinin farklı bileşen ve yöntemlerle iyileştirilmesi”, Tez projesi, araştırmacı.