



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MANYETİK SUYUN, İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARINDAN SERAMİK
KARO ATIKLARINI İÇEREN CÜRUF BAZLI GEOPOLİMER
KOMPOZİTİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

KHALED MAHDI MAHDI MUSLEH AL-QUDAIH
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. ÖZER SEVİM

KIRIKKALE-2023



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

**MANYETİK SUYUN, İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARINDAN SERAMİK
KARO ATIKLARINI İÇEREN CÜRUF BAZLI GEOPOLİMER
KOMPOZİTİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

**KHALED MAHDI MAHDI MUSLEH AL-QUDAIH
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Doç. Dr. ÖZER SEVİM**

KIRIKKALE-2023

KABUL VE ONAY SAYFASI

Khaled Mahdi Mahdi Musleh AL-Qudaih tarafından hazırlanan “MANYETİK SUYUN, İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARINDAN SERAMİK KARO ATIKLARINI İÇEREN CÜRUF BAZLI GEOPOLİMER KOMPOZİTİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Özer SEVİM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
Kırıkkale Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. İlhami DEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
Kırıkkale Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
Gazi Üniversitesi

İmza

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 17/05/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

(İmza)

Khaled Mahdi Mahdi Musleh AL-Qudaih

17.05.2023

ÖZET

MANYETİK SUYUN, İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARINDAN SERAMİK KARO ATIKLARINI İÇEREN CÜRUF BAZLI GEOPOLİMER KOMPOZİTİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Khaled Mahdi Mahdi Musleh AL-Qudaih

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Özer Sevim

Mayıs 2023, 60 Sayfa

Bu çalışma, manyetik suyun (MS) inşaat ve yıkıntı atıklarından (İYA) seramik karo atıkları (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitlerin (CBGK) özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Bu bağlamda, ilk olarak, CBGK'ler için optimum molarite, kürlenme süresi ve kürlenme sıcaklığı parametrelerini belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Farklı alkali aktivatör (NaOH) konsantrasyonları (12, 14 ve 16 M) ile üretilen CBGK'ler, ön deneyler için 24 ve 48 saat boyunca 60°C, 80°C, 100°C ve 110°C'de kürlenmiştir. Ön deneyler sonucunda, CBGK'ler için 16 M aktivatör konsantrasyonunda, 24 saatlik kürlenme süresinde ve 100°C'lik bir kürlenme sıcaklığında optimum değerler elde edilmiştir. Optimum değerler kullanılarak, SKA, CBGK'ler için cürufun ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40'ında YFC'nin yerine kullanılmıştır. Çeşme suyu (ÇS) ve manyetik su (MS), optimum değerlerle hazırlanan SKA'yi içeren CBGK'lerde karıştırma suyu olarak kullanılmıştır, daha sonra işlenebilirlik, ultrasonik darbe hızı (U_{pv}), eğilme mukavemeti (f_{fs}) ve basınç dayanımı (f_{cs}) testleri ve mikroyapı analizleri yapılmıştır. Mikroyapı analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Sonuç olarak, SKA'nin cüruf ile %10 yer değiştirilmesiyle U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} sonuçlarının referans CBGK'lere göre arttığı görülmüştür. Ayrıca karıştırma suyu olarak MS kullanıldığında işlenebilirlik, U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} sonuçlarının arttığı belirlenmiştir. SEM analizine göre, MS'nin SKA'yi içeren CBGK'lerin polimerizasyon sürecini hızlandırdığı ve CBGK'lerin gözenek boyutunu azalttığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, MS'nin SKA'yi içeren CBGK'lerin taze ve sertleşmiş durum özelliklerini ve mikro yapılarını geliştirebileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Manyetik su; seramik karo atıkları; geopolimer kompozit harç; işlenebilirlik; alkali aktif cüruf.

ABSTRACT

EFFECT OF MAGNETIC WATER ON PROPERTIES OF SLAG-BASED GEOPOLYMER COMPOSITE INCORPORATING CERAMIC TILE WASTE FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

Khaled Mahdi Mahdi Musleh AL-Qudaih

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M.S. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özer Sevim

May 2023, 60 Pages

This study investigates the effect of magnetic water (MW) on the properties of slag-based geopolymer composites (SGCs) incorporating ceramic tile waste (CTW) from construction and demolition waste (CDW). In this regard, at first, preliminary experiments were conducted to determine the optimum molarity, curing time, and curing temperature parameters for SGCs. SGCs produced with different alkali activator (NaOH) concentrations (12, 14, and 16 M) were cured at 60°C, 80°C, 100°C, and 110°C for 24, and 48 hours for preliminary experiments. As a result of the preliminary experiments, optimum values for slag-based geopolymer composites (SGCs) were obtained at 16 M of activator concentration, a curing time of 24 hours, and a curing temperature of 100°C. Using optimum values, CTW was substituted for BFS at 10%, 20%, 30%, and 40% by weight of slag for SGCs. Tap water (TW) and magnetic water (MW) were used as mixing water in SGCs incorporating CTW prepared with optimum values, then workability, ultrasonic pulse velocity (U_{pv}), flexural strength (f_{fs}), and compressive strength (f_{cs}) tests were conducted as well as microstructure analyses. Microstructure analyses were performed with scanning electron microscopy (SEM). As a result, it was seen that U_{pv} , f_{fs} , and f_{cs} results increased compared to reference SGCs when CTW was replaced by 10%. In addition, it was determined that the workability, U_{pv} , f_{fs} , and f_{cs} results increased when MW was used as the mixing water. According to the SEM analysis, it was determined that MW accelerated the polymerization process of SGCs incorporating CTW and reduced the pore size of SGCs. As a result of the study, it was seen that MW could improve the fresh and hardened state properties and microstructures of SGCs incorporating CTW.

Keywords: Magnetic water; ceramic tile waste; geopolymer composite mortar; workability; alkali-activated slag.

TEŞEKKÜR

Danışmanım sayın Doç. Dr. Özer Sevim'e bu tez çalışması boyunca rehberliği, düzenli teşviği ve yardımı için içten şükranlarımı sunuyorum.

Tez çalışmasının izin verilen sürede tamamlanması için gerekli kolaylık ve gereklilikleri sağladıkları için Prof. Dr. İlhami Demir'e, jüri üyesi Doç. Dr. Osman Şimşek'e ve İnşaat Mühendisliği Bölümü personeline içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisansımın boyunca sürekli destek ve teşvikleri için Erdinç Halis Alakara ve Selahattin Güzelküçük hocalarıma teşekkür ediyorum. Ayrıca, babama ve anneme da teşekkür etmek istiyorum onları desteği, teşviki ve iş birliği olmasaydı, asla bu kadar ileri gidemezdim. Kardeşlerimede bu hedefe yönelik çalışmalarım sırasında verdikleri destek için minnettarım.

Son olarak, yüksek lisans yolculuğumun başarıyla tamamlanmasında yardımcı olan aileme, kardeşlerime, akrabalarım, arkadaşlarıma ve destek olan herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	2
1.1.1. Normal Portland Çimentosu	2
1.1.2. Yüksek Fırın Cüruf.....	3
1.1.3. Geopolimer kompozitler.....	4
1.1.3.1. Cüruf Bazlı Geopolimer kompozitler	6
1.1.4. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları	7
1.1.4.1. Seramik Karo Atıkları.....	8
1.1.5. Alkali Aktivatörler	9
1.1.5.1. Alkali Aktivatör Molaritesi.....	9
1.1.6. Kürlenme Sıcaklığı.....	10
1.1.7. Kürlenme Süresi	10
1.1.8. Çeşme Suyu	11
1.1.9. Manyetik Su	11
1.2. Literatür Taraması.....	13
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	16
2. MATERYAL VE METOT.....	17
2.1. Materyal	17
2.2. Metot	20
2.2.1. Karışım ve Test Parametreleri	20
2.2.2. Ultrasonik Darbe Hızı.....	22
2.2.3. Eğilme Dayanımı.....	23
2.2.4. Basınç Dayanımı	24
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	26

3.1. Optimum Molarite, Kürlenme Süresi ve Sıcaklık Parametrelerinin Belirlenmesi	26
3.1.1. Ultrasonik Darbe Hızı.....	26
3.1.2. Eğilme Dayanımı.....	30
3.1.3. Basınç Dayanımı	34
3.2. Seramik Kiremit Atıkları (SKA) ve Magentik Suların (MS) Geopolimer Harçlara Etkisi	38
3.2.1. İşlenebilirlik.....	38
3.2.2. Ultrasonik Darbe Hızı.....	40
3.2.3. Eğilme Dayanımı.....	41
3.2.4. Basınç Dayanımı	42
3.3. Eğilme Dayanımı (f_s) ve Ultrasonik Darbe Hızı (U_{pv}) Arasındaki İlişki.....	44
3.4. Basınç Dayanımı (f_{cs}) ve Ultrasonik Darbe Hızı (U_{pv}) Arasındaki İlişki.....	45
3.5. Eğilme Dayanımı (f_s) ve Basınç Dayanımı (f_{cs}) Arasındaki İlişki.....	46
3.6. Mikroyapı Analizi	46
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. YFC ve SKA'nin Kimyasal Bileşimi ve Fiziksel Özellikleri.....	18
2.2. Birinci Aşamadaki Geopolimer Harçlarının Karışım Oranları.....	20
2.3. İkinci Aşamadaki Geopolimer Harçlarının Karışım Oranları.....	20



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
1.1. Geopolimer Beton.....	6
1.2. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları (İYA).....	8
1.3. Manyetik Su ve Çeşme Suyu Molekül Dağılımı	13
2.1. Üretim Aşaması (SKA).....	18
2.2. Partikül boyutu SKA ve YFC'nin dağılımı	19
2.3. Manyetik Su Üretim Mekanizmasının Şematik Görünümü	19
2.4. Sıralı Karışım Tasarım Prosedürü ve Deneysel Akış Şeması.....	21
2.5. Ultrases Geçiş Hızı Deney Cihazı	23
2.6. Eğilme Dayanımı Deney Cihazı	24
2.7. Basınç Dayanımı Deney Cihazı.....	25
3.1. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları	27
3.2. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları (12 Molar)	27
3.3. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları (14 Molar)	28
3.4. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları (16 Molar).....	29
3.5. Eğilme Dayanımı Testinin Sonuçları.....	31
3.6. Eğilme Dayanımı Testinin Sonuçları (12 Molar)	31
3.7. Eğilme Dayanımı Testinin Sonuçları (14 Molar)	32
3.8. Eğilme Dayanımı Testinin Sonuçları (16 Molar)	33
3.9. Basınç dayanımı testinin sonuçları	34
3.10. Basınç dayanımı testinin sonuçları (12 Molar).....	35
3.11. Basınç dayanımı testinin sonuçları (14 Molar).....	36
3.12. Basınç dayanımı testinin sonuçları (16 Molar).....	37
3.13. SKA İçeren CBGK'lerin Yayılma Sonuçları	39
3.14. SKA İçeren CBGK'lerin Ultrasonik Darbe Hızının Sonuçları	40
3.15. SKA İçeren CBGK'lerin Eğilme Dayanım Sonuçları.....	41
3.16. SKA İçeren CBGK'lerin Basınç Dayanımının Sonuçları	43
3.17. Eğilme Dayanımı ve Ultrasonik Darbe Hızı Arasındaki İlişki	44
3.18. Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Darbe Hızı Arasındaki İlişki.....	45
3.19. Eğilme Dayanımı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki	46
3.20. ÇS ile Üretilen SGC'lerin SEM Görüntüleri: a) Ref ve b) SKA20.....	47
3.21. MS ile Üretilen CBGK'lerin SEM Görüntüleri: a) Ref ve b) SKA20	48

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

CBGK	Cüruf Bazlı Geopolimer Kompozitler
SKA	Seramik Karo Atıkları
İYA	İnşaat ve Yıkıntı Atıkları
MS	Manyetik Su
ÇS	Çeşme Suyu
DS	Deniz Suyu
ZS	Zemzem Suyu
NaOH	Sodyum Hidroksit
M	Molarite
°C	Sıcaklık Derecesi
YFC	Yüksek Fırın Cüruf
U_{pv}	Ultrasonik Darbe Hızı
f_s	Eğilme Dayanımı
f_{cs}	Basınç Dayanımı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
NPÇ	Normal Portland Çimentosu
CO ₂	Karbondioksit
TÇM	Tamamlayıcı Çimentolu Malzemeler
UK	Uçucu Kül
SD	Silika dumanı
SKA	Seramik Karo Atıklar
SiO ₂	Silika/Silisyum Dioksit
Al ₂ O ₃	Alümina/Alüminyum Oksit
AST	Atık Seramik Tozu
KSA	Kırmızı Seramik Atığı
MK	Metakaolin
Na ₂ SiO ₃	Sodyum Metasilikat
MPa	Megapaskal
Na ₂ O	Sodyum Oksit
BA	Beton Atığı
AST	Atık Seramik Tozu
T	Tesla
KSB	Kendiliğinden Sıkıştırılmış Beton

μm	Mikrometre
C-A-S-H	Kalsiyum Alüminyum Silikat Hidrat Jel
N-A-S-H	Sodyum Alüminyum Silikat Hidrat Jel



1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe en çok kullanılan bağlayıcı normal Portland çimentosudur (NPÇ). NPÇ'nin üretimi, yılda yaklaşık 1,5 milyar ton CO₂ yaydığı ve küresel enerji tüketiminin %36'sından sorumlu olduğu için yıllardır tartışılmaktadır [1,2]. NPÇ üretiminin 1950'li yıllardan bu yana 34 kat arttığı ve 2050 yılına kadar %200 artacağı belirtilmektedir [3,4]. Tüm bu çevresel kaygılar, araştırmacıları çimento yerine tamamlayıcı çimentolu malzemeler (TÇM'ler) ikame ederek NPÇ'lerin kullanımını azaltmaya teşvik etmiştir [5–10]. Son yıllarda atık malzemelerle üretilen geopolimer kompozitler adı verilen çimentosuz kompozitler geliştirilmiştir [11,12]. "Geopolimer" terimi ilk olarak 1970'lerde Fransız kimyager Joseph Davidovits tarafından alkali aktive kil bazlı bağlayıcılar için kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu yeni bağlayıcı ile ilgili araştırmalar 2000 yılından bu yana yoğunlaşmıştır [13]. Geopolimerler, alüminosilikat bazlı malzemelerin çeşitli alkali aktivatörlerle aktive edilmesiyle üretilmektedir [14].

Geopolimer harçların yüksek erken dayanım, yangın ve asit direnci gibi bazı avantajları vardır [15,16]. Bu harçların üretiminde uçucu kül (UK), silika dumanı (SD) ve yüksek fırın cürufu (YFC) gibi endüstriyel yan ürünler kullanıldığından, ekonomik ve sürdürülebilir bir çevreye de önemli katkılarda bulunmaktadır [17]. Geopolimer ve çimento esaslı kompozitlerin yaşam döngüsü analizleri üzerine yapılan çalışmada, geopolimer kompozitlerin karbon ayak izinin %100 NPÇ ile hazırlanan kompozitlere göre %9 daha düşük olduğu belirtilmiştir [18]. Buna ek olarak, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, çimentolu kompozitlerin geopolimer kompozitlerle değiştirilmesini, küresel CO₂ emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip bir seçenek olarak tanımlamıştır [13].

İnşaat sektöründe gelişen teknoloji, konut ihtiyacının artması, inşaat faaliyetlerinin artması, yüksek miktarlarda inşaat ve Yıkıntı atığının (İYA) üretilmesine neden olmaktadır. İnşaat sektörü her yıl 10 milyar tondan fazla İYA üretmektedir [19]. Bu miktar toplam kentsel atık üretiminin %30–40'ını oluşturmaktadır. Üretilen İYA'nın

sadece %20'sinin geri dönüştürüldüğü ve çoğunun çöp sahalarına atıldığı bildirilmiştir. Bu durum küresel ekonomiyi, su kirliliğini, hammadde tüketimini ve canlıların sağlığını olumsuz etkilemektedir [20,21]. Toplam İYA'lerin yaklaşık %45'inin seramik atıklardan oluştuğu belirtilmiştir. İYA'nin önemli bir bölümünü oluşturan seramik karo atıkları (SKA), seramiklerin sinterlenmesi, taşınması, yapımı ve yıkıntı aşamalarında oluşmaktadır [22]. SKA'lerde yüksek miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 varlığı, bu atıkların geopolymerizasyon reaksiyonu için potansiyel bir atık olduğunu göstermektedir [23–25]. Görüldüğü gibi geopolimer malzemelerde bu tür atıkların değerlendirilmesi ile hem sürdürülebilirlik artırılabilir, hem de bu atıkların zararlı etkileri azaltılabilmektedir.

Tamamlayıcı çimento bağlayıcı malzemelerin geopolimer harçlarda kullanımı oldukça yaygındır [26–30]. Geopolimer kompozitlerin üretiminde SKA gibi alternatif malzemelerin kullanımı halen araştırılmaktadır.

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Normal Portland Çimentosu

Normal Portland çimentosu (NPC) olarak da bilinen normal Portland çimentosu, inşaatla yaygın olarak kullanılan bir hidrolik bağlayıcı türüdür. Kalker ve kil karışımının yüksek sıcaklık ile pişirilmesi, daha sonra elde edilen malzemenin ince bir toz haline getirilmesiyle üretilir. NPC, güçlü bağlayıcı özellikleri ile bilinir ve yollar, köprüler, binalar ve hatta heykeller de dahil olmak üzere çok çeşitli inşaat projelerinde kullanılır. NPC'nin temel özelliklerinden biri, zamanla sertleşme ve güç kazanma yeteneğidir. Su ile karıştırıldığında, çimento parçacıkları katı, güçlü bir malzeme oluşturmak için kimyasal olarak reaksiyona girer. Bu işlem hidrasyon olarak bilinir ve NPC'ye dayanımını ve dayanıklılığını verir. NPC ayrıca çok yönlülüğü ile de bilinir. Çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir ve farklı özelliklere sahip farklı beton türleri oluşturmak için diğer malzemelerle karıştırılabilir. Örneğin, kum ve çakıl ile birleştirildiğinde, NPC, inşaatla yaygın olarak kullanılan standart beton oluşturmak için kullanılabilir [31].

Normal Portland çimentosunun (NPC) bir diğer avantajı, yaygın olarak bulunabilmesidir. Üretimi oldukça fazladır ve tüm dünyada inşaat projelerinde kullanılır. Bu, hem büyük hem de küçük inşaat projeleri için popüler bir seçimdir.

Ayrıca, normal Portland (NPC) çimentosunun mevcudiyeti, onu çok pahalı ve düşük bir maliyetle kullanılabilir hale getirmiştir [32].

İnşaat sektöründe normal Portland çimentosunun (NPC) kullanılması, beton teknolojisinin gelişimi ve ilerlemesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. NPC, dünyada en yaygın kullanılan çimento türüdür ve yaygın kullanılabilirliği ve düşük maliyeti, birçok inşaat projesi için iyi bir seçim olmasını sağlamıştır. NPC'nin inşaat sektöründeki etkilerinden bazıları şunlardır [32];

- Çok yönlülük: NPC, yapısal betondan prekast ürünlere, asfaltlamadan sıvaya kadar çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.
- Dayanıklılık: NPC, yüksek basınç dayanımı ve hava koşullarına ve kimyasal saldırılara karşı iyi direnci ile bilinir, bu da onu inşaat için dayanıklı bir malzeme yapar.
- Maliyet etkinliği: NPC nispeten ucuz ve yaygın olarak bulunur, bu da onu birçok inşaat projesi için uygun maliyetli bir seçenek haline getirir.
- Standardizasyon: NPC, kalite ve performans için belirlenmiş gerekliliklere uymasını sağlayan çeşitli uluslararası standartlar kapsamı altındadır.

Genel olarak, NPC, dünya çapında birçok yapının ve altyapının inşasını sağlayan güvenilir ve uygun maliyetli bir yapı malzemesi sağlayarak inşaat endüstrisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. Bununla birlikte, çevresel etkileri hakkında bazı endişeler de vardır ve daha sürdürülebilir alternatifler geliştirmek için araştırmalar devam etmektedir. Bu, hem büyük hem de küçük inşaat projeleri için popüler bir seçimdir. Bu nedenle, tüm bunlar müteahhitlerin binalar, barajlar, köprüler ve birçok farklı yapı türü inşa etmelerini ilk seçenek haline getirmiştir [33].

Genel olarak, NPC, inşaatta yaygın olarak kullanılan bir hidrolik çimento türüdür. Güçlü bağlayıcı özellikleri, zamanla sertleşme ve dayanım kazanma kabiliyeti ve çok yönlülüğü ile bilinir. Çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir ve yaygın olarak bulunur ve nispeten ucuzdur [34].

1.1.2. Yüksek Fırın Cüruf

Yüksek fırın cüruf (YFC), yüksek fırında meydana gelen demir yapım sürecinin bir yan ürünüdür. Demir cevheri, kok kömürü (kömürden yapılmış bir yakıt) ve kireçtaşı bir yüksek fırında birlikte ısıtıldığında, demiri diğer bileşenlerden ayıran kimyasal bir

reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyonun metalik olmayan yan ürününe, esas olarak kalsiyum, silikon ve alüminyum silikatlardan oluşan cüruf denir [35].

Yüksek fırın cürufun en önemli avantajlarından biri, inşaat malzemesi olarak kullanılabilmesidir. Hızlı bir şekilde soğutulduğunda, ince bir toz haline getirilebilen kaya benzeri bir madde oluşturur. Bu toz, dünyada en yaygın kullanılan çimento türü olan Portland çimentosunun yerine kullanılabilir. Bu şekilde kullanıldığında, yüksek fırın cürufu betonu daha güçlü, daha dayanıklı ve sülfatlara ve asitlere karşı daha dirençli hale getirebilir [36]. Yüksek fırın cürufun bir diğer avantajı, toprağı iyileştirmek için kullanılabilmesidir. Ayrıca, madencilik veya endüstriyel faaliyetlerden zarar gören araziye geri kazanmak için de kullanılabilir. Cüruf, asit toprakları nötralize etmeye yardımcı olabilir ve bitkilere gerekli besinleri sağlayabilir. YFC, cam, seramik ve diğer malzemelerin üretiminde de kullanılabilir. Bununla birlikte, işlenmemiş cürufun çevre ve insan sağlığı için tehlikeli olabileceği belirtilmelidir. İşlenmemiş cüruf ağır metaller ve diğer toksinler içerebilir. Bu nedenle, herhangi bir uygulamada kullanılmadan önce işlenmeli ve test edilmelidir [37].

Genel olarak, YFC birçok potansiyel kullanıma sahip demir yapım sürecinin bir yan ürünüdür. Bir inşaat malzemesi olarak, betonu daha güçlü ve daha dayanıklı hale getirebilir. Bir toprak değişikliği olarak, hasarlı arazinin geri kazanılmasına ve mahsul büyümesinin iyileştirilmesine yardımcı olabilir [37].

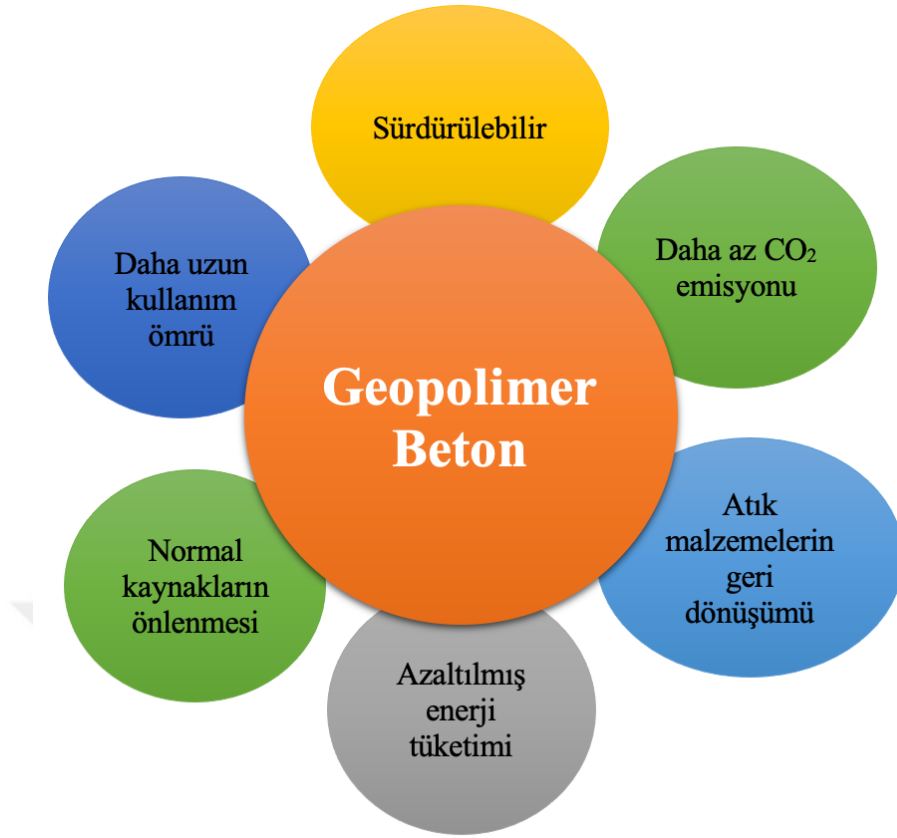
1.1.3. Geopolimer kompozitler

Geopolimer kompozitler, son yıllarda dikkat çeken yeni bir malzeme sınıfıdır. Bu malzemeler, uçucu kül veya cüruf gibi alüminasilikatlardan ve alkali çözeltisi gibi bir bağlayıcıdan üretilir [38]. Geopolimer kompozitlerin temel avantajlarından biride, çöp sahalarında bertaraf edilecek atık malzemelerden üretilebilir olmalarıdır. Bu durum çöplük sahalarında atık miktarını azaltabilir ve ayrıca doğal malzemelere olan ihtiyacı azaltabilir. Ayrıca, geopolimer kompozitlerin üretimi, geleneksel çimento bazlı malzemelere kıyasla daha az sera gazı emisyonu üretir [39].

Geopolimer kompozitlerin bir diğer avantajı, geleneksel çimento bazlı malzemelerden daha yüksek basınç dayanımına ve dayanıklılığa sahip olmalarıdır. Bu, bina temelleri, köprüler ve yollar gibi çeşitli inşaat uygulamalarında kullanılabileceği anlamına gelir. Ayrıca yangına dayanıklılık özelliklerine ve kimyasal saldırılara karşı yüksek dayanıklılık gösterirler [40].

Geopolimer kompozitlerin birçok avantajına rağmen, ele alınması gereken bazı zorluklar da vardır. Ana zorluklardan biri, üretim sürecinde standardizasyon eksikliğidir. Ek olarak, geopolimer kompozitlerin uzun vadeli performansı ve zaman içinde nasıl performans gösterecekleri konusunda sınırlı araştırma vardır. Geopolimer kompozitlerin beton üzerinde çeşitli potansiyel etkileri vardır. Başlıca avantajlarından biri, Portland çimentosu yerine uçucu kül, cüruf gibi endüstriyel atık malzemelerden yapıldığı için beton üretiminin karbon ayak izini önemli ölçüde azaltabilmeleridir. Bu aynı zamanda betonu daha sürdürülebilir hale getirebilir. Ek olarak, geopolimer kompozitler betonun mukavemetini ve dayanıklılığını artırabilir, bu da onu zorlu çevre koşullarına karşı daha dayanıklı ve daha uzun ömürlü hale getirir. Ayrıca betonun yangına dayanıklılığını artırabilirler. Bununla birlikte, geopolimer kompozitlerin beton üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak ve inşaatta optimal kullanımlarını belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır [41].

Genel olarak, geopolimer kompozitler, inşaat endüstrisinde önemli bir etki yaratma potansiyeline sahip umut verici yeni bir malzeme sınıfıdır. Geleneksel çimento bazlı malzemelere göre, atık ve karbon ayak izi azaltılması ve daha fazla mukavemet ve dayanıklılık gibi birçok avantaj sunarlar. Bununla birlikte, yaygın olarak benimsenmeden önce üstesinden gelinmesi gereken zorlukları ele almak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır [41].



Şekil 1.1. Geopolimer Beton

1.1.3.1. Cüruf Bazlı Geopolimer kompozitler

Geopolimer kompozitler, çeşitli tipte alüminasilikatlar ve alkali çözeltiler ile üretilen bir malzeme türüdür. Geopolimer kompozitlerin üretiminde kullanılan alüminasilikatlardan biriside, çelik yapım sürecinin bir yan ürünü olan cüruftur [42].

Cüruf, demir ve çelik üretimi sırasında üretilen bir yan üründür. Esas olarak silika, alümina ve kireçten oluşur ve ayrıca az miktarda demir, kalsiyum ve magnezyum gibi diğer elementleri içerir. Kimyasal bileşimi nedeniyle, cüruf oldukça alkalidir ve geopolimer kompozitlerin üretimi için bir hammadde kaynağı olarak kullanılabilir. Cürufun geopolimer kompozitlerde kullanılmasının birçok avantajı vardır. İlk olarak, cüruf bol miktarda bulunur ve kolayca temin edilebilir, bu da onu geleneksel malzemelere göre ucuz ve sürdürülebilir bir alternatiftir. İkincisi, cüruf yüksek bir özgül ağırlığa ve nispeten düşük bir su emme oranına sahiptir, bu da kompozitin daha yüksek bir yoğunluk ve gelişmiş mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar [43].

Cüruf bazlı geopolimer kompozitler (CBGK), inşaat, nakliye ve enerji üretimi de dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalar için araştırılmıştır. İnşaat sektöründe, cüruf bazlı

geopolimer kompozitler, gelişmiş mekanik özellikleri ve dayanıklılıkları nedeniyle geleneksel betonun yerine kullanılabilir. Taşımacılıkta, CBGKler alüminyum ve çelik gibi geleneksel malzemelere hafif bir alternatif olarak kullanılabilir. Enerji üretiminde, cüruf bazlı geopolimer kompozitler, kimyasal saldırılara ve yüksek sıcaklıklara karşı dirençleri nedeniyle kömür külü havuzları için bir astar malzemesi olarak kullanılabilir [44].

Sonuç olarak, cüruf bazlı geopolimer kompozitler, çok çeşitli uygulamalarda kullanılma potansiyeline sahip umut verici yeni bir malzeme türüdür. Bu kompozitlerde cürufun dolgu malzemesi olarak kullanılması, daha düşük maliyet ve gelişmiş mekanik özellikler de dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sağlar. Bu alandaki araştırmalar ilerlemeye devam ettikçe, cüruf bazlı geopolimer kompozitlerin çeşitli endüstrilerde giderek daha önemli hale gelmesi muhtemeldir [45].

1.1.4. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları

İnşaat ve yıkıntı atıkları (İYA), binaların, yolların ve diğer altyapıların inşası, yenilenmesi ve yıkılması sırasında meydana gelen atıkları ifade eder. Bu tür atıklar, beton, ahşap, metal, plastik ve benzeri çok çeşitli malzemeleri içerir. Küresel olarak üretilen İYA miktarı önemlidir ve bertarafı önemli bir çevresel etkiye sahip olabilir [46].

İYA ile ilişkili en büyük zorluklardan biri, üretilen yüksek hacimdir. Birçok ülkede, İYA toplam atık akışının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde, İYA toplam katı atık akışının yaklaşık %29'unu oluşturmaktadır. Bu yüksek atık hacmi, çöp sahaları ve diğer bertaraf tesislerinin yanı sıra çevre üzerinde de bir baskı oluşturabilir [46]. İYA ile ilişkili bir diğer zorluk, geri dönüşüm ve yeniden kullanım eksikliğidir. Beton ve ahşap gibi birçok İYA malzemesinin geri dönüştürülebilmesine veya yeniden kullanılabilmesine rağmen, bu atıkların çoğu çöplüklerde sona ermektedir. Bu, kısmen inşaat endüstrisi ve tüketiciler arasında mevcut geri dönüşüm ve yeniden kullanım seçenekleri hakkında farkındalık eksikliğinden kaynaklanmaktadır [47]. Ancak, İYA'yi yönetmenin ve azaltmanın yolları vardır. Bir yaklaşım, geri dönüşümü ve yeniden kullanımı arttırmaktır. Bu, eğitim ve farkındalık kampanyalarının yanı sıra İYA materyallerinin geri dönüştürülmesini ve yeniden kullanılmasını kolaylaştıran yeni teknolojilerin ve süreçlerin geliştirilmesi yoluyla da sağlanabilir. Diğer bir yaklaşım, daha verimli inşaat

yöntemleri ve malzemeleri kullanarak ilk etapta üretilen atık miktarını azaltmaktır [48].

Genel olarak, İYA ele alınması gereken önemli bir çevre sorunudur. Bununla birlikte, İYA'yi artan geri dönüşüm ve yeniden kullanımın yanı sıra daha verimli inşaat yöntemleri ve malzemeleri yoluyla yönetmenin ve azaltmanın yolları vardır. İnşaat sektörünün ve tüketicilerin bu seçeneklerin farkında olması ve İYA'nin çevresel etkisini en aza indirmek için adımlar atması önemlidir [48].



Şekil 1.2. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları (İYA) [48]

1.1.4.1. Seramik Karo Atıkları

İYA atıklarından birisi olan seramik karo atıkları (SKA), betondaki geleneksel agregalar ve bağlayıcı malzeme için ikame malzeme olarak kullanılabilir. Bu sadece çöp sahalarında ortaya çıkan atık miktarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda beton üretiminin sürdürülebilirliğini ve çevresel etkisini de geliştirir. Seramik karo atıkları, beton için uygun bir agrega oluşturmak veya çimento yerine ikame edilmek için ezilmiş ve elenmiş atık fayanslardan oluşur. Seramik karo atıklarının betonda kullanılmasının çeşitli faydaları vardır. İlk olarak, çöp sahalarında bulunan atık miktarını azaltır. Ek olarak, seramik karo atıkları nispeten ucuz ve kolayca temin edilebilen bir malzemedir ve bu da onu uygun maliyetli bir alternatif haline getirir [49].

SKA, betonda seramik parçacıkların varlığından dolayı daha yüksek basınç dayanımına ve elastikiyet modülüne sahiptir [50].

Genel olarak, seramik karo atıklarının betonda kullanılması, atıkların azaltılması ve beton üretiminin çevresel etkisinin iyileştirilmesi için sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir çözümdür. SKA ayrıca betonun mekanik ve estetik özelliklerini geliştirerek geleneksel betona mükemmel bir alternatif haline getirir [51,52].

1.1.5. Alkali Aktivatörler

Alkali aktivatörler, çimentodaki alkalileri nötralize ederek ve agrega ile reaksiyona girmelerini önlerler. Bu aktivatörler dökülmeden önce beton karışımına eklenebilir veya mevcut betona yüzey işlemi olarak uygulanabilir [53]. Sodyum silikat veya potasyum silikat gibi kimyasal bir bileşiktir, bu da alkalileri nötralize edebilir ve alkali-agrega reaksiyonlarını önleyebilir. Betonda alkali aktivatörlerin kullanılması, betonun dayanıklılığını ve ömrünü önemli ölçüde artırabilir. Ayrıca, gelecekte maliyetli onarım ve bakım ihtiyacını azaltmaya da yardımcı olabilir. Bununla birlikte, tüm agrega türlerinin alkalilerle reaksiyona girmeyeceğine ve bu nedenle her türlü somut ihtiyaç aktivatörüne ihtiyaç duymayacağına dikkat etmek önemlidir [53]. Ayrıca alkali aktivatörler geopolimer kompozit oluşumunda alimünosilikatları bağlamak için kullanılır.

Genel olarak, alkali aktivatörleri, betondaki alkali-agrega reaksiyonlarının neden olduğu genleşme ve çatlamayı önlemede ve geopolimer kompozitlerin üretilmesinde kullanılır [54-57].

1.1.5.1. Alkali Aktivatör Molaritesi

Molarite veya bir çözeltinin konsantrasyonu, betonun mukavemetini ve kalitesini test ederken dikkate alınması gereken önemli bir özelliktir [57]. Bir beton karışımının molaritesi, nihai ürünün mukavemetini ve dayanıklılığını belirlemede önemli bir faktördür. Düşük molariteye veya yüksek su/bağlayıcı oranına sahip bir karışım daha düşük bir mukavemete sahip olacak ve çatlama ve büzölmeye karşı daha duyarlı olacaktır. Öte yandan, yüksek molariteye veya düşük su/bağlayıcı oranına sahip bir karışım, daha yüksek bir mukavemete sahip olacak ve çatlama ve büzölmeye karşı daha dirençli olacaktır. Bir beton karışımının molaritesinin de işlenebilirliğini etkileyebileceğine dikkat etmek önemlidir. Düşük molariteye sahip bir karışım daha uygulanabilir olacak ve yerleştirilmesini ve bitirilmesini kolaylaştıracaktır. Bununla

birlikte, yüksek molariteye sahip bir karışım daha az işlenebilir ve yerleştirilmesi ve bitirilmesi daha zor olacaktır [57]. Genel olarak, molarite testi, betonun mukavemetini ve kalitesini değerlendirmek için değerli bir araçtır. Geopolimer betonlar için alkali aktivatör molaritesi çok önemli bir parametredir.

1.1.6. Kürleme Sıcaklığı

Betonun kürlenme sıcaklığı, betonu dökerken ve ayarlarken dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Kürleme, betonun uygun şekilde sertleşmesini ve istenen mukavemete ulaşmasını sağlamak için belirli bir süre boyunca belirli bir sıcaklık ve nem seviyesini koruma işlemidir. Kürleme sıcaklığı çok düşükse, beton uygun şekilde ayarlanmayacak ve düşük bir mukavemete sahip olacaktır. Öte yandan, kürleme sıcaklığı çok yüksekse, beton çok hızlı kuruyabilir ve çatlaklar veya diğer kusurlar gelişebilir [58].

Genel olarak, betonun kürlenme sıcaklığı, nihai ürünün mukavemetini ve dayanıklılığını belirlemede kritik bir faktördür. Kürleme sıcaklığı ile beton istenen mukavemete ulaşacak ve zamanında kullanıma hazır hale gelecektir. Geopolimer betonlar için kür sıcaklığı çok önemli bir parametredir.

1.1.7. Kürlenme Süresi

Kürlenme süresi, betonun maksimum mukavemetine ulaşması ve tamamen sertleşmesi için geçen süredir. Kürleme işlemi, betonun dayanıklılık ve mukavemet gibi istenen özelliklere ulaşması için gereklidir. Karışım tasarımı, ortam sıcaklığı ve nem dahil olmak üzere betonun kürlenme süresini etkileyebilecek çeşitli faktörler vardır. Bu, bağlayıcı ve su arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon olan hidrasyon oranını etkileyebilir ve betonun mukavemetine katkıda bulunan yeni bileşiklerin oluşumuna neden olabilir [58].

Nem de kürleme işleminde önemli bir faktördür. Nem çok düşükse, beton çok çabuk kuruyabilir, bu da çatlamaya ve diğer kusurlara neden olabilir. Öte yandan, nem çok yüksekse, kürleme işlemini yavaşlatabilir. İdeal olarak, bağıl nem % 50 ila 60 arasında olmalıdır. Genel olarak, betonun kürlenme süresi, karışım tasarımına, sıcaklığa ve neme bağlı olarak birkaç günden birkaç haftaya kadar değişebilir. Betonun ilk setine ulaştıktan sonra bile zamanla güç kazanmaya devam edeceğini akılda tutmak

önemlidir. Bu nedenle, beton yüzeye ağır yükler gelmeden önce kürleme işleminin gerçekleşmesi için yeterli zamana izin vermek önemlidir [58].

Genel olarak, kürleme süresi beton konstrüksiyonun önemli bir yönüdür. Betonun maksimum mukavemetine ulaşması ve tamamen sertleşmesi için gereken süredir. Kürleme işlemi, karışım tasarımı, ortam sıcaklığı ve nem gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Betonun mukavemet ve dayanıklılık gibi istenen özellikleri elde etmesi için uygun kürleme şarttır. Ayrıca, kürleme süresi uygun bir şekilde düzenlenmeli ve hesaplanmalıdır, böylece betonun basınç dayanımı ve dayanıklılığı için bize iyi bir sonuç sağlayabilir. Geopolimer betonlar için kür süresi çok önemli bir parametredir.

1.1.8. Çeşme Suyu

Şehir şebeke suyu olarak da bilinen çeşme suyu (ÇS), bir boru ağı aracılığıyla evlere ve işyerlerine sağlanan sudur. ÇS, dünyadaki birçok insan için yaygın olarak bulunan ve uygun fiyatlı bir içme suyu kaynağıdır. Çeşme suyunun temel faydalarından biri, güvenlik ve kalite için belirli standartları karşıladığından emin olmak için devlet kurumları tarafından düzenlenmesidir. Bu standartlar, suda bulunabilecek bakteri ve kimyasallar gibi zararlı kirleticilerin seviyelerine ilişkin sınırlamaları içerir. Çeşme suyunun bir diğer yararı, çevre dostu bir seçim olmasıdır. Üretmek, taşımak ve bertaraf etmek için büyük miktarda enerji ve kaynak gerektiren şişelenmiş suyun aksine, çeşme suyu yerel bir altyapı aracılığıyla doğrudan evlere ve işletmelere iletilir. Bu, şişelenmiş suya kıyasla ÇS ilişkili daha az enerji ve kaynak tüketimi olduğu anlamına gelir [58].

Genel olarak, ÇS dünyadaki birçok insan için güvenli, uygun fiyatlı ve çevre dostu bir içme suyu kaynağıdır. Ayrıca, ÇS, bir belediye su şebekesi tarafından bir boru ve pompa ağı aracılığıyla evlere ve işyerlerine sağlandığı için tüketicilere dağıtılmadan önce içme suyu standartlarını karşılamak için arıtılır [58].

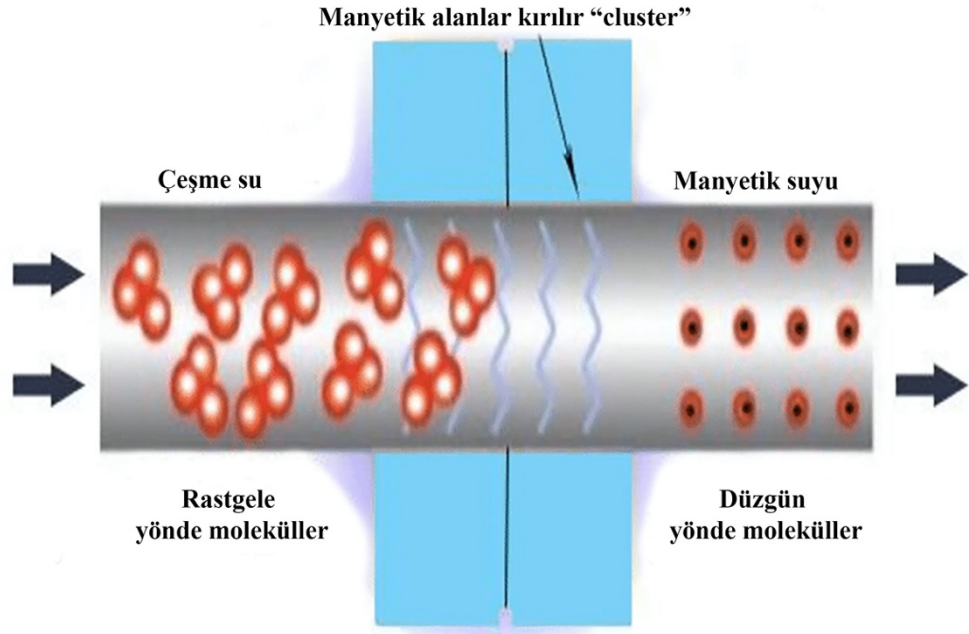
1.1.9. Manyetik Su

Manyetik su (MS), manyetik alana maruz kalmış sudur. Manyetik suyun arkasındaki fikir, manyetik alanın suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirebilmesi ve çeşitli kullanımlar için daha faydalı hale getirebilmesidir. MS'nin temel faydalarından biri, borularda ve cihazlarda kireç birikmesi oluşumunu önleyebilmesi veya azaltabilmesidir. Kireç birikmesi, azalan su akışı, artan enerji tüketimi ve cihazların zarar görmesi gibi bir dizi soruna neden olabilir. Suyun manyetik alanla arıtılmasıyla,

sudaki kireç oluşturan minerallerin yüzeylere yapışmayacak şekilde değiştirileceği ve böylece birikmenin önleneceği iddia edilmektedir [59]. MS'nin bir diğer yararı, bitkilerin büyümesini ve verimini artırabilmesidir. Bunun nedeni, manyetik alanın suyun yapısını değiştirebilmesi ve bitkilerin ihtiyaç duydukları besinleri emmesini kolaylaştırmasıdır. Ek olarak, MS suyun tadını iyileştirebilir ve daha alkali hale getirebilir [59]. MS arıtma cihazları, su kaynağını arıtmak için evlere ve işyerlerine monte edilebilir. Bununla birlikte, MS arıtımının etkinliği bilimsel toplulukta hala tartışılmaktadır. Bazı çalışmalar, MS arıtmanın kireç birikimini önlemede etkili olabileceğini gösterirken, diğerleri arıtılmış ve arıtılmamış su arasında anlamlı bir fark bulamamıştır. MS arıtmanın etkinliğinin, arıtılan suyun türüne ve kullanılan manyetik alanın gücüne bağlı olarak değişebileceğini belirtmek önemlidir [60].

Manyetik suyun betonun özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu iddialarını destekleyen bazı bilimsel kanıtlar vardır. MSnin bazı savunucuları, betonun dayanımını, dayanıklılığını ve işlenebilirliğini artırabileceğini iddia ediyor, ancak bu sonuçların daha fazla bilimsel araştırmalarla desteklenmesi gerekmektedir [61].

Su, çimento bazlı karışımlarda toplam hacmin %14–21'ini kapladığı için en önemli malzemelerden biridir [62]. Çimento esaslı kompozitlerin işlenebilirlik, basınç dayanımı, eğilme mukavemeti, su emilimi ve dayanıklılık gibi fiziksel ve mekanik özellikleri, karıştırma suyunun fizikokimyasal yapısından önemli ölçüde etkilenmektedir [62–66]. Kutupsal bir malzeme olan su molekülleri arasındaki hidrojen bağları toplanmaya neden olur. 1900'lerin başında, Danimarkalı fizikçi Hendricks Anton Lorenz tarafından, suyun manyetik bir alandan geçtiğinde, moleküler yapısının değiştiği, su kümelerinin parçalanmasına ve daha küçük kümelere ayrılmasına neden olduğu keşfedildi [67,68]. Manyetik alandan geçen suya manyetik su (MS) denir. MS endüstriyel, tarımsal ve tıbbi alanlar gibi birçok farklı uygulama alanına sahiptir [69,70]. Bağlayıcı malzemelerin hidrasyon işlemi, suyun yüzey geriliminden önemli ölçüde etkilenir. Manyetik alandan geçen suyun yüzey gerilimi azalır ve aktivitesi artar. Bu şekilde, su molekülleri bağlayıcı malzemenin parçacıklarına daha kolay nüfuz ederek hidrasyon işleminin daha da geliştirilmesini sağlar [64]. Sonuç olarak, çimento bazlı kompozitlerin mekanik ve dayanıklılık özellikleri, MS [71–73] kullanımı ile önemli ölçüde artar. Ek olarak, MS kullanımı, taze harç özelliklerini etkileyerek işlenebilirliği artırır [74].



Şekil 1.3. Manyetik Su ve Çeşme Suyu Molekül Dağılımı [74]

1.2. Literatür Taraması

Bu kısımda saygın dergilerde yayınlanan akademik makaleler gözden geçirilmiş ve tez konusuna benzer çalışmalar özetlenerek aşağıda sunulmuştur.

Shoaei, vd. [12] çalışmalarında atık seramik tozu (AST) esaslı geopolimer harçlar için optimum kürlenme sıcaklığı ve alkali çözelti/bağlayıcı (S/B) oranı araştırmıştır. Bu amaçla farklı S/B oranlarında (0,4; 0,5; 0,6 ve 0,7) hazırlanan karışımlar 60, 75, 90 ve 105°C'de kürlenmiştir. 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca yapılan yoğunluk, eğilme ve basınç dayanımı testleri sonucunda optimum S/B oranının 0,6 ve kürlenme sıcaklığının 90°C olduğu belirlenmiştir. Ayrıca optimum sonuç veren harçların SEM analizi sonuçları incelendiğinde minimum gözenekliliğe sahip yoğun bir matris elde edildiği belirtilmiştir. Çalışmadan, optimum oranın 90°C'lik bir kürlenme sıcaklığı ile 0,6'da elde edildiği sonucuna varılabilir. Böylece düşük gözenekliliğe sahip yoğun matris de elde edildiği bildirilmiştir.

Sarkar ve Dana [75] çalışmalarında NaOH ve Na₂SiO₃ alkali aktivatörleri kullanılarak kırmızı seramik atıkların (KSA) ve metakaolin (MK) karıştırılarak 1:2 kütle oranına sahip geopolimerharçlar üretmişlerdir. %67 KSA + %33 MK kombinasyonu ile hazırlanan harçların maksimum basınç dayanımının yaklaşık 60 MPa olduğu belirlenmiştir. Yukarıdaki çalışmadan, kırmızı seramik atıkların ve metakaolinin

kariştırılmasıyla üretilen geopolimer harçlar için elde edilen en yüksek ve maksimum basınç dayanımının yaklaşık 60 MPa olduğunu belirtmişlerdir.

Reig, vd. [22] çalışmalarında çeşitli kökenlerden seramik atıklarla üretilen geopolimer harçların özelliklerini araştırmıştır. Hazırlanan harçların basınç dayanımının, çözelti içindeki sodyum konsantrasyonuna ve su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 7 gün boyunca 65°C'de kürlendikten sonra 22 ila 41 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmadan, basınç dayanımının, çözeltideki sodyum konsantrasyonuna ve su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 65 °C'lik bir sıcaklıkta 7 günlük kürlenme süresi için 22 ila 41 MPa arasında olduğu sonucuna varmışlardır.

Mahmoodi, vd. [23] çalışmalarında geopolimer harçlarda optimum seramik karo atığı (SKA) ve beton atık (BA) kombinasyonları ile SiO₂/Al₂O₃ ve Na₂O/SiO₂ oranlarının belirlenmesi için çalışmıştır. Çalışmadan, %40 SKA + %60 BA kombinasyonlarından optimum sonuçlar elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca SKA ve BA kombinasyonlarının YFC ile l kombinasyonu da incelenmiş ve SKA, BA ve YFC oranlarının sırasıyla %20, %35 ve %45 olması durumunda basınç dayanımının 100 MPa'yı geçebileceği belirlenmiştir.

Huseien, vd. [76] çalışmalarında atık seramik tozunun (AST) YFC ve UK içeren geopolimer harçların mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada bağlayıcı malzemeler l kombinasyonlarda kullanılmış ve alkali çözelti konsantrasyonu 4 M olarak seçilmiştir. AST, bağlayıcının ağırlığına göre %50, %60 ve %70 oranlarında kullanılmıştır. Numuneler ortam sıcaklığında krlenmiş ve 1, 3, 7, 28, 56, 90, 180 ve 360 gün boyunca test edilmiştir. Bu çalışmanın test sonuçlarına göre AST ile eklenen 28 günlük geopolimer harçların basınç dayanımının 70 MPa'yı aştığı belirlenmiştir. Ayrıca AST ikame oranının artmasıyla harçların işlenebilirliğinin ve ayar süresinin arttığı gözlenmiştir.

Su ve Wu [67] farklı manyetik alanlardan geçen MS, uçucu kül (UK) içeren beton ve harç numuneleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde basınç dayanımında %15-20 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımındaki en yüksek artış, 0,8 ve 1,2 Tesla (T) manyetik alanlarına maruz kalan su ile elde edilmiştir. Ayrıca beton numuneler üzerindeki basınç dayanımındaki artışın özellikle erken yaşlarda daha belirgin olduğu belirlenmiştir. Çalışmadan,

manyetik suyun (MS), uçucu kül içeren beton harcı üzerinde, 0,8 ve 1,2 Tesla'ya maruz kaldığında betonun basınç dayanımında %15-20 artış görülmüştür.

Barham, vd. [77] manyetik suyun (MS) silika dumanı (SD) bazlı beton numunelerinin basınç dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, silika dumanı (SD) MS kullanımı ile 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımında anlamlı bir artış göstermiştir. MS çelik donatı ve beton numuneler arasındaki bağ mukavemetini artırabileceği de belirlenmiştir. Çalışmadan, MS kullanımı ile beton ve çelik çubuklar arasındaki bağın güçlendirebildiği sonucuna varılabilir.

Ghorbani, vd. [63] manyetik suyun (MS) beton blok finişerlerin mekanik ve dayanıklılık davranışı üzerindeki etkisini araştırdı. Çeşme suyu (ÇS) ve MS ile hazırlanan numunelerin basınç dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımı karşılaştırılmıştır. Çalışmadan, MS kullanımı ile basınç dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımında sırasıyla %12,5; %13 ve %9'luk bir artış olduğu sonucuna varılmıştır. MS kullanımının sülfürik asit saldırılarına karşı direnci arttırdığı ve su emilimini azalttığı da gözlemlenmiştir.

Esfahani, vd. [78] kendiliğinden yerleşen betonda süper akışkanlaştırıcıların ve suyun basınç dayanımı ve dozajı üzerinde MS etkisi başlıklı bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmadan, MS kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) için gerekli su miktarında %10'luk bir azalma ile basınç dayanımında %12'lik bir artış sağlanabileceğini göstermişlerdir.

Ghorbani ve Arabshahi [79] manyetik suyun betonun mukavemet parametreleri üzerindeki etkisi başlıklı bir çalışma yürütmüştür. Çalışmalarında ÇS ve MS ile hazırlanan beton numunelerin çökme değerlerinin sırasıyla 4 cm ve 11 cm olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmadan, MS ile hazırlanan betonların basınç dayanımının ÇS ile hazırlananlara göre %23 daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Rashad ve Ezzat [62] cüruf bazlı geopolimer harçlara karışım suyu olarak manyetik, zemzem suyu (ZS) ve deniz suyunun (DS) kullanımı üzerine bir çalışma yürütmüştür. Elde edilen sonuçlar, MS, ZS ve DS kullanan geopolimer harçların işlenebilirliğinin, pH değerlerinin ve basınç dayanımlarının ÇS ile üretilenlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. MS ile hazırlanan harçların, kullanılan su türleri arasında performans olarak en yüksek artışları gösterdiği belirlenmiştir.

Kapsamlı bir literatür taraması yapıldıktan sonra, manyetik suyun (MS) inşaat ve yıkıntı atıklarından (İYA) seramik karo atıkları (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitlerin (CBGK'ler) özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu bağlamda, bu çalışma, MS, İYA, SKA içeren CBGK'ler özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktadır. İlk olarak, CBGK'ler için optimum molarite, kürlenme süresi ve kürlenme sıcaklığı parametrelerini belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Farklı alkali aktivatör (NaOH) konsantrasyonları (12, 14 ve 16 M) ile üretilen CBGK'ler, 60°C, 80°C, 100°C ve 110°C'de 24 ve ön deneyler için 48 saat kürlenmiştir. Ön deneyler sonucunda, CBGK'ler için 16M aktivatör konsantrasyonunda, 24 saatlik bir kürlenme süresinde ve 100°C'lik bir kürlenme sıcaklığında optimum değerler elde edilmiştir. Optimum değerler kullanılarak, SKA, CBGK'ler için cüruf ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranında YFC'nin yerine ikame edilmiştir. Optimum değerlerle hazırlanan seramik karo atıklarını (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitlerde (CBGK) karışım suyu olarak ÇS ve manyetik su kullanılmış, daha sonra işlenebilirlik, ultrasonik darbe hızı (U_{pv}), eğilme dayanımı (f_{fs}) ve basınç dayanımı (f_{cs}) testleri ile mikroyapı analizleri yapılmıştır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Manyetik suyun (MS) seramik karo atığı (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitlerin (CBGK'ler) özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak ve incelemek bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak, CBGK'ler için optimum molarite, kürlenme süresi ve kürlenme sıcaklığı parametrelerini belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. CBGK'ler farklı konsantrasyonlarda (12, 14 ve 16 M) NaOH ile üretildi ve ön deneyler için 24 ve 48 saat boyunca 60°C, 80°C, 100°C ve 110°C sıcaklıklarda kürlendi. Ön deneyler sonucunda, CBGK'ler için 16 M aktivatör konsantrasyonunda, 24 saatlik bir kürlenme süresinde ve 100°C'lik bir kürlenme sıcaklığında optimum değerler elde edilmiştir. Optimum değerler kullanılarak, SKA, CBGK'ler için cürufun ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40'ında YFC ile değiştirildi. Optimum değerlerle hazırlanan SKA içeren CBGK karışım suyu olarak ÇS ve MS kullanıldı, daha sonra işlenebilirlik, U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} testleri ile mikroyapı analizleri yapılmıştır.

2. MATERİYAL VE METOT

2.1. Materyal

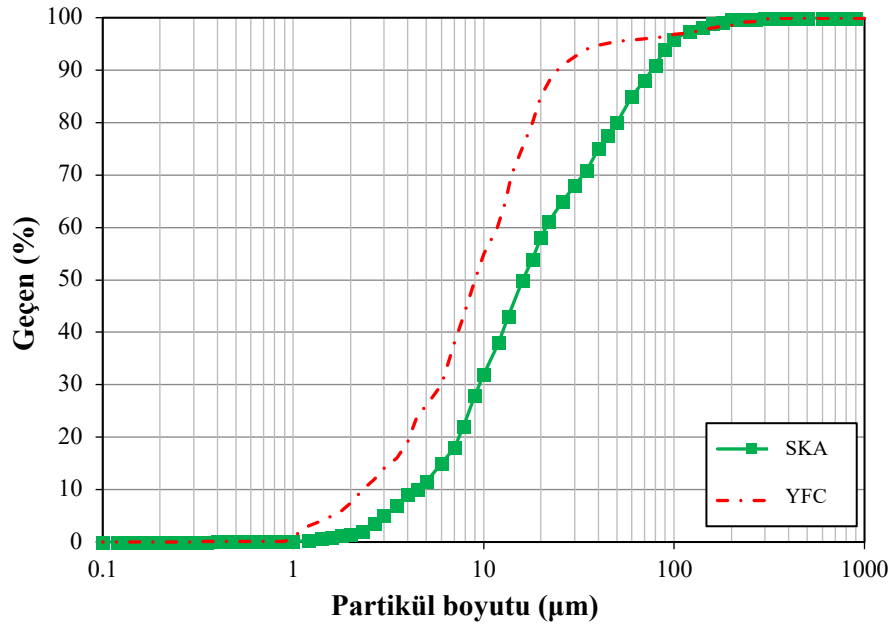
EN 196-1 [80]'da tanımlanan standart kum, geopolimer kompozitlerin hazırlanmasında kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu (YFC) ASTM C989'a göre seçilmiştir [81]. Seramik karo atığı (SKA) tozu, inşaat ve Yıkıntı atıkları (İYA) sahasından toplanan seramiklerin öğütülmesiyle elde edilmiştir. Toplanan SKA önce çeneli kırıcı tarafından ezildi ve daha sonra bir bilyalı değirmende öğütüldü. Son olarak, SKA tozu elde etmek için #200 (75 µm) bir elek ile elendi. **Şekil 2.1** SKA'nin üretim aşamasını göstermektedir. YFC ve SKA'nin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri **Çizelge 2.1**'de verilmiştir. YFC ve SKA'nin partikül boyutu dağılımı Mastersizer 3000 cihazı ile elde edilmiş ve ortalama partikül boyutu sırasıyla 18,6 ve 30,1 µm olarak belirlenmiştir. YFC ve SKA'nin parçacık boyutu dağılımları **Şekil 2.2**'de gösterilmiştir. Karışımlarda alkali aktivatör olarak yaklaşık %99 saflıkta beyaz pelet formunda NaOH kullanılmıştır. Alkali aktivatör çözeltisi hazırlanırken, karıştırma suyu olarak Çeşme suyu (ÇS) ve manyetik su (MS) olmak üzere iki farklı su türü kullanılmıştır. MS, **Şekil 2.3**'te şematik olarak gösterilen özel bir mekanizma ile elde edilmiştir. Bu mekanizmada, ÇS bir elektrik motoru vasıtasıyla sirküle edilir. Montajdaki mıknatısın manyetik alan gücü 0,6 Tesla'dır. MS'yi elde etmek için mekanizma 20 dakika boyunca çalıştırılmıştır.



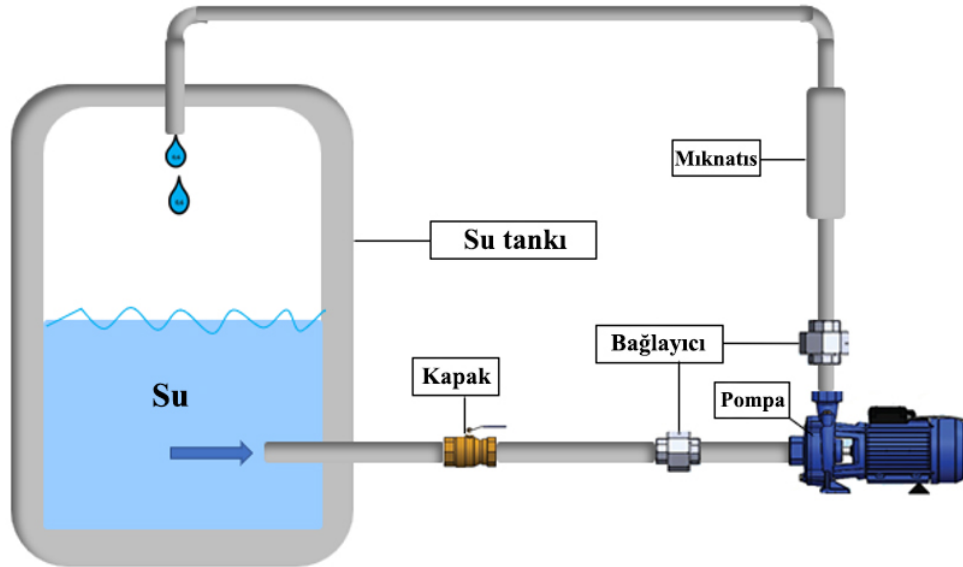
Şekil 2.1. Üretim Aşaması (SKA)

Çizelge 2.1. YFC ve SKA'nın Kimyasal Bileşimi ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal bileşim (%)	YFC	SKA
SiO ₂	36,35	58,69
Al ₂ O ₃	15,39	19,98
Fe ₂ O ₃	0,75	5,38
MgO	5,78	8,21
CaO	37,1	1,94
Na ₂ O	0,46	2,32
K ₂ O	0,92	1,54
TiO ₂	0,55	0,32
Fiziksel özellikler		
Özgül ağırlık (birimsiz)	2,91	2,56
Blaine inceliği (cm ² /g)	3985	2945
Kızdırma kaybı (%)	1,09	0,32



Şekil 2.2. Partikül boyutu SKA ve YFC'nin dağılımı



Şekil 2.3. Manyetik Su Üretim Mekanizmasının Şematik Görünümü

2.2. Metot

2.2.1. Karışım ve Test Parametreleri

Deneyisel çalışmada, cüruf bazlı geopolimer kompozitler (CBGK'ler) iki aşamada üretilmiştir. İlk aşamada CBGK'nin optimum molaritesi, kürlenme süresi ve kürlenme sıcaklığı belirlenmiştir. Bu aşamada karıştırma suyu olarak ÇS, bağlayıcı olarak %100 YFC kullanılmıştır. Karışımlardaki NaOH'nin molar konsantrasyonu 12, 14 ve 16 M olarak alınmıştır. **Çizelge 2.2'**de verilen karışım oranları ile hazırlanan numuneler 60, 80, 100 ve 110 °C'de bir fırında 24 ve 48 saat boyunca kürlendi. Daha sonra ultrasonik darbe hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı testlerine tabi tutulan CBGK'lerden optimum sonuç veren karışım belirlenmiştir. İkinci aşamada optimum değerler sabit tutularak bağlayıcı olarak SKA ve YFC kullanılmıştır. SKA, YFC'nin yerine cüruf ağırlığına göre %10, %20, %30 ve %40 oranında değiştirildi. Karıştırma suyu olarak ÇS ve MS kullanıldı. İkinci aşama için karışım oranları **Çizelge 2.3'**te verilmiştir.

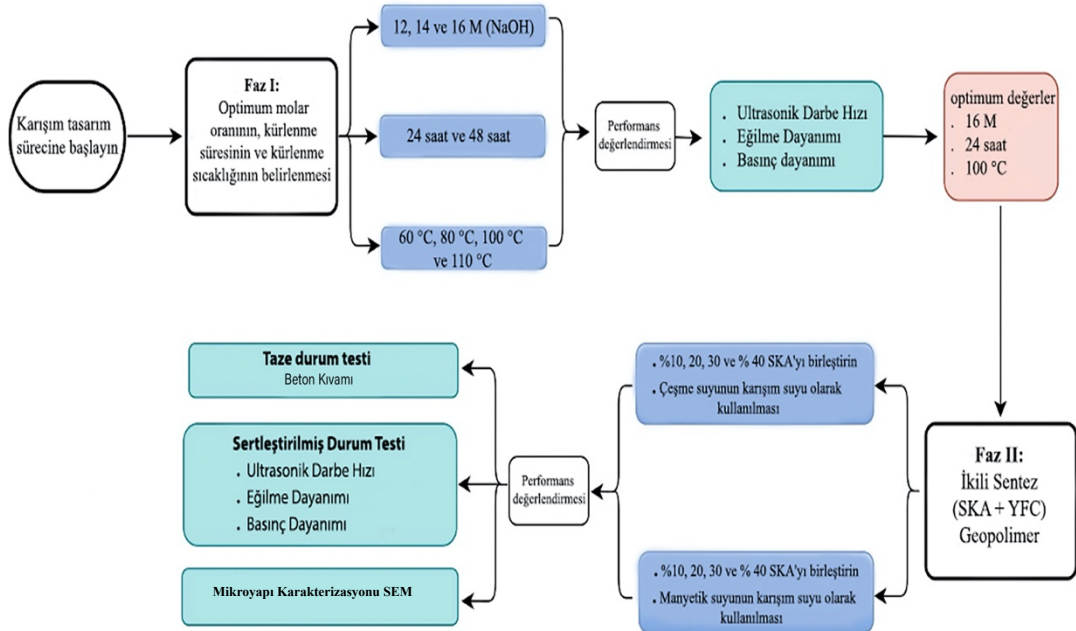
Çizelge 2.2. Birinci Aşamadaki Geopolimer Harçlarının Karışım Oranları

YFC (g)	ÇS (g)	Kum (g)	NaOH (g)	Molarite (M)	Kürlenme Süresi (saat)	Kürlenme Sıcaklığı (°C)
450	200,70	1350	144	12	24	60
	196,70			14		80
	192,60			16		100
						110

Çizelge 2.3. İkinci Aşamadaki Geopolimer Harçlarının Karışım Oranları

Karışım Kodu	YFC (g)	SKA (g)	SKA Oran (%)	ÇS/MS (g)	Kum (g)	NaOH (g)	Molarite (M)	Kürlenme Süresi (saat)	Kürlenme Sıcaklığı (°C)
Ref	450	0	0	192,60	1350	144	16	24	100
SKA10	405	45	10						
SKA20	360	90	20						
SKA30	315	135	30						
SKA40	270	180	40						

CBGK'ler karıştırılırken, ilk olarak, bağlayıcı malzemeler düşük hızda karıştırıldı ve karışıma kademeli olarak alkali çözeltisi eklendi. Son olarak karışıma kum ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karıştırma sırasında, hız kademeli olarak arttırıldı ve karıştırma işlemi 4 dakika içinde tamamlandı. CBGK'lerin işlenebilirliğini değerlendirmek için, taze harçların akış çapları EN 12350-5'e [82] göre belirlenmiştir. Taze CBGK'ler iki parçalı 40×40×160 mm'lik prizmatik kalıplara dolduruldu ve bir titreşim tablasına sıkıştırıldı. Kalıplanan numuneler fırında kürlendi. Kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra, numuneler ortam koşullarında soğutuldu ve ASTM C597 [83] uyarınca ultrasonik darbe hızı testi gerçekleştirildi. Daha sonra, CBGK'lerin eğilme dayanımları, EN 196-1 [80] uyarınca 50 N/s yükleme oranı ile 3 noktalı yükleme koşulları altında belirlenmiştir. Basınç dayanımı testi için, eğilme dayanım testinden 40×40 mm² kesit alanına sahip prizmatik numune parçası, 2400 N/s yükleme hızı ile yüklenmiştir. Son olarak, MS ve SKA'nın CBGK'lerin mikroyapı özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için SEM analizi yapılmıştır. Sıralı karışım tasarım prosedürü ve deneysel akış şeması Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sıralı Karışım Tasarım Prosedürü ve Deneysel Akış Şeması

2.2.2. Ultrasonik Darbe Hızı

Ultrasonik Darbe Hızı (U_{pv}) testi, betonun kalitesini ve homojenliğini değerlendirmek için kullanılan tahribatsız bir yöntemdir. Test, betondan ultrasonik bir darbe ile darbenin malzemeden geçmesi için gereken süre ölçülür. Daha sonra darbenin hızı hesaplanır ve darbe hızına göre betonun dayanım durumu belirlenir. U_{pv} testi, inşaat sektöründe beton yapılarıdaki kusurları veya tutarsızlıkları tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sahada yapılabilen ve betonun delinmesini veya kırılmasını gerektirmeyen hızlı ve verimli bir yöntemdir [82].

Test, ultrasonik darbeyi üreten ve alan bir dönüştürücünün betonun yüzeyine takılmasıyla gerçekleştirilir. Transdüser daha sonra betonun yüzeyi boyunca hareket ettirilirken, darbe düzenli aralıklarla malzemeden gönderilir. Darbenin betondan geçmesi için gereken süre ölçülür ve darbenin hızı hesaplanır. U_{pv} testi, boşluklar, çatlaklar ve petek dahil olmak üzere betondaki çeşitli kusurları tespit edebilir. Daha düşük bir U_{pv} değeri, betonun daha düşük kalitede olduğunu ve kusurları olabileceğini gösterir. Daha yüksek bir U_{pv} değeri, betonun daha kaliteli olduğunu ve daha düzgün olduğunu gösterir. U_{pv} testi (Şekil 2.5), betonun durumunun tam bir resmini sağlamak için diğer test yöntemleriyle birlikte kullanılmalıdır [82]. Bu çalışmada numuneler üzerinde ASTM C597 [83] uyarınca ultrasonik darbe hızı testi gerçekleştirilmiştir. Nihai U_{pv} elde etmek için her gruptan 3'er adet örneğinin U_{pv} sonucunun ortalaması alınmıştır.



Şekil 2.5. Ultrases Geçiş Hızı Deney Cihazı

2.2.3. Eğilme Dayanımı

Bu test çimento bağlayıcılı kompozitlerin eğilme dayanımını (f_s) belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Test, bir çimento bağlayıcılı kompozit kirişine kırılana kadar bir yük uygulanarak ve kirişin dayanabileceği maksimum yükün ölçülmesiyle gerçekleştirilir. Testin sonuçları, malzemenin genel performansını ve dayanıklılığını etkileyen önemli bir özellik olan kompozit eğilme mukavemetini hesaplamak için kullanılır. Kiriş, kırılana kadar orta noktada yüklenir (**Şekil 2.6**) ve maksimum yük kaydedilir. Çimento bağlayıcılı kompozitlerin eğilme dayanımı daha sonra maksimum yükün kirişin kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır [82]. Üretilen CBGK'lerin eğilme dayanımları, EN196-1 [80] uyarınca 50 N/s yükleme oranı ile 3 noktalı yükleme koşulları altında belirlenmiştir. Eğilme dayanımı için her gruptan 3'er adet örneğin eğilme dayanım sonucunun ortalaması alınmıştır.



Şekil 2.6. Eğilme Dayanımı Deney Cihazı

2.2.4. Basınç Dayanımı

Çimento bağlayıcılı kompozitlerin basınç dayanımı testi (f_{cs}), bir numunenin kırılmadan önce dayanabileceği maksimum basınç kuvvetini ölçer. Çimento bağlayıcılı kompozitlerin basınç dayanımı, kübik örnekler kullanılarak belirlenir. Bu örnekler kontrollü bir ortamda dökülür ve belirli koşullar altında kürlenir. Kürlendikten sonra, numuneler bir sıkıştırma test cihazına yerleştirilir (Şekil 2.7) ve artan basınç yüklerine maruz bırakılır. Numunenin kırıldığı yük, çimento bağlayıcılı kompozitlerin basınç dayanımı olarak kaydedilir [82]. Çimento bağlayıcılı kompozitlerin basınç dayanımı, dayanıklılığının ve yüklere dayanma kabiliyetinin önemli bir göstergesidir [82]. Genel olarak, basınç dayanımı testi, çimento bağlayıcılı kompozitlerin kalitesi ve performansı hakkında değerli bilgiler sağlayan güvenilir ve temel bir testtir.

Genel olarak, basınç dayanımı testi, betonun yapısal bütünlüğünü ve genel kalitesini belirlemede hayati bir testtir. Beton yapıların üzerlerine yerleştirilecek yükleri desteklemek için gerekli mukavemete sahip olmalarını sağlamak ve betonun kalitesini belirlemek için kullanılır. Betonun basınç dayanımı, su/çimento oranı, kullanılan

agrega tipi ve kürlenme koşulları gibi birçok faktörden etkilenir. Bu nedenle, beton yapıların güvenliğini ve dayanıklılığını sağlamak için betonun basınç dayanımının düzenli olarak test edilmesini ve değerlendirilmesini sağlamak önemlidir [82]. CBGK'lerin basınç dayanımları, EN 196-1 [80] uyarınca eğilme dayanım testinden 40×40 mm² kesit alanına sahip iki kırık prizmatik numune parçası, 2400 N/s yükleme hızı ile yüklenerek elde edilmiştir. Nihai basınç dayanım değeri için her gruptan 6 şar adet örneğin basınç dayanım sonucunun ortalaması alınmıştır.



şekil 2.7. Basınç Dayanımı Deney Cihazı

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

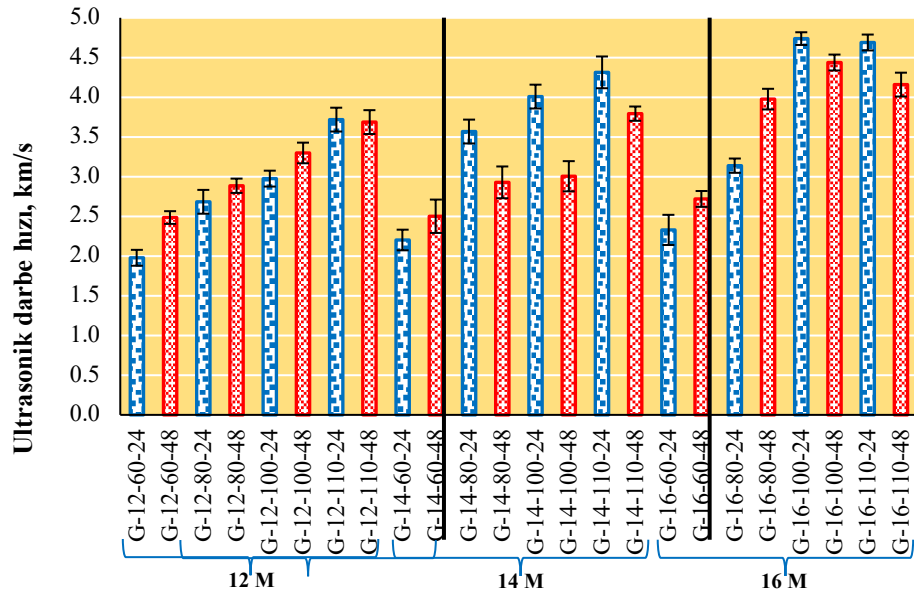
Bu bölüm iki aşamada sunulmaktadır. İlk aşama optimum molarite, kürlenme süresi ve sıcaklık parametrelerini belirlenmiştir. İkinci aşamada ise optimum parametreler ile üretilen manyetik su (MS) ile hazırlanmış ve farklı oranlarda seramik karo atıkları (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitlerin (CBGK'ler) özellikleri araştırılmıştır.

3.1. Optimum Molarite, Kürlenme Süresi ve Sıcaklık Parametrelerinin Belirlenmesi

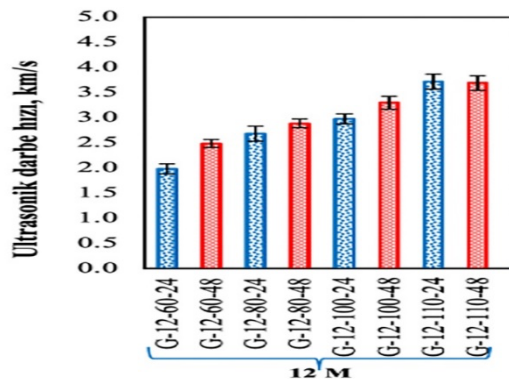
Bu bölümde 12, 14 ve 16 molar oranlarda hazırlanan CBGK'ler 60, 80, 100 ve 110°C fırın sıcaklıklarında 24 ve 48 saat kürlenmiştir. Bu şekilde üretilen örneklere farklı kodlar verilmiştir. Örneğin, Şekil 3.1'de görülen "G-12-60-24" kodu. 12 molar oranla üretilen CBGK'nin 60°C'de 24 saat fırında kürlendiğini gösterir. Buradaki "G" harfi, YFC ile üretilen geopolimer kompozitleri ifade eder. Sonuçların kolay yorumlanabilmesi için veriler molar oranlarına göre üç grupta sunuldu (12M, 14M ve 16M). Sıcaklıkların verileri sırasıyla 60, 80, 100 ve 110°C olarak verilmiştir. Ayrıca kürlenme süresinin etkisini daha net görebilmek için her kürleme sıcaklığı için uygulanan 24 ve 48 saatlik kürlenme süresi sonucunda elde edilen veriler ardışık olarak verilmiştir.

3.1.1. Ultrasonik Darbe Hızı

ASTM C597 [83] uyarınca gerçekleştirilen ultrasonik darbe hızı (U_{pv}) testinin sonuçları, standart sapmayı gösteren hata çubuğu ile birlikte Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Her kod ile karışım için 3 numune üretilmiş ve bu numunelerin ölçümlerinin ortalaması nihai U_{pv} sonucu olarak alınmıştır.



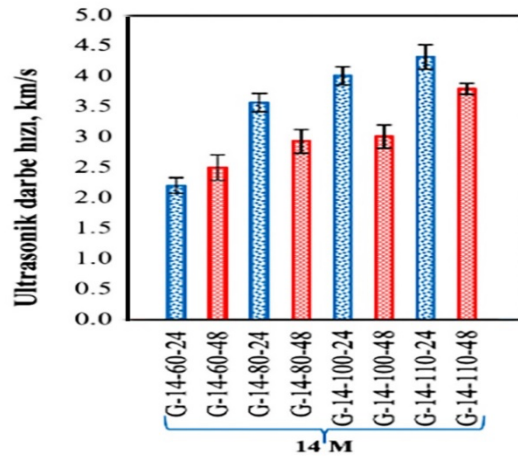
Şekil 3.1. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları



Şekil 3.2. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları (12 Molar)

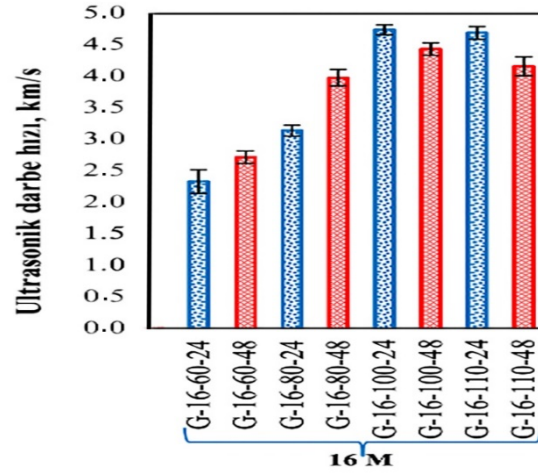
12 molar oranla üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları incelendiğinde sonuçların 1,98 ile 3,72 km/s arasında değiştiği görülmüştür. En düşük U_{pv} sonucu, 24 saat boyunca 60°C'de kürlenen "G-12-60-24" kodlu harçlardan 1,98 km/s, en yüksek U_{pv} sonucu ise 24 saat boyunca 110°C'de kürlenen "G-12-110-24" kodlu harçlardan 3,72 km/s olarak elde edilmiştir. Molar oran ve kürlenme süresi sabit olmasına rağmen, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte U_{pv} sonuçları %87,97 oranında artmıştır. 12 molar oranla üretilen SGC'lerin U_{pv} sonuçları değerlendirildiğinde, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte U_{pv} sonuçlarının arttığı gözlenmiştir. Kürlenme süreleri karşılaştırıldığında, 60, 80 ve 100°C sıcaklıklarda 48 saat boyunca kürlenen SGC'lerin U_{pv} sonuçları, 24 saat boyunca kürlenenlerden daha yüksekti. Bununla birlikte, 110°C'de kürlenen

CBGK'lerde, 24 saatlik kürlenme süresi boyunca elde edilen U_{pv} sonuçları, 48 saat boyunca kürlenenden daha yüksektir.



Şekil 3.3. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları (14 Molar)

14 molar oranla üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları incelendiğinde sonuçların 2,20–4,31 km/s arasında değiştiği görülmüştür. En düşük U_{pv} sonucu 24 saat boyunca 60°C'de kürlenен "G-14-60-24" kodlu harçlardan 2,20 km/s, en yüksek U_{pv} sonucu ise 24 saat boyunca 110°C'de kürlenен "G-14-110-24" kodlu harçlardan 4,31 km/s olarak elde edilmiştir. Molar oran ve kürlenme süresi sabit olmasına rağmen, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte U_{pv} sonuçları %95,87 oranında artmıştır. 14 molar oranla üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları değerlendirildiğinde, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte U_{pv} sonuçlarının arttığı gözlenmiştir. Kürlenme süreleri karşılaştırıldığında, 60°C'de 48 saat boyunca kürlenен CBGK'lerin U_{pv} sonuçları, 24 saat boyunca kürlenенlerden daha yüksekti. Bununla birlikte, 80, 100 ve 110°C'de kürlenен CBGK'lerde, 24 saatlik kürlenme sırasında elde edilen U_{pv} sonuçları, 48 saat boyunca kürlenенlerden daha yüksektir.



Şekil 3.4. Ultrasonik Darbe Hızı Testinin Sonuçları (16 Molar)

16 molar oranla üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları incelendiğinde sonuçların 2,33–4,74 km/s arasında değiştiği görülmüştür. En düşük U_{pv} sonucu 24 saat boyunca 60°C'de kürlenen "G-16-60-24" kodlu harçlardan 2,33 km/s, en yüksek U_{pv} sonucu ise 24 saat boyunca 100°C'de kürlenen "G-16-100-24" kodlu harçlardan 4,74 km/s olarak elde edilmiştir. Molar oran ve kürlenme süresi sabit olmasına rağmen, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte U_{pv} sonuçları %103,43 oranında artmıştır. 16 molar oranla üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları değerlendirildiğinde, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte U_{pv} sonuçlarının 100°C'ye kadar yükseldiği ve daha sonra azaldığı gözlenmiştir. Kürlenme süreleri karşılaştırıldığında, 60 ve 80 °C'de 48 saat boyunca kürlenen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları, 24 saat boyunca kürlenenlerden daha yüksekti. Bununla birlikte, 100 ve 110 °C'de kürlenen SGC'lerde, 24 saatlik kürlemede elde edilen U_{pv} sonuçları, 48 saat boyunca kürlenenlerden daha yüksektir.

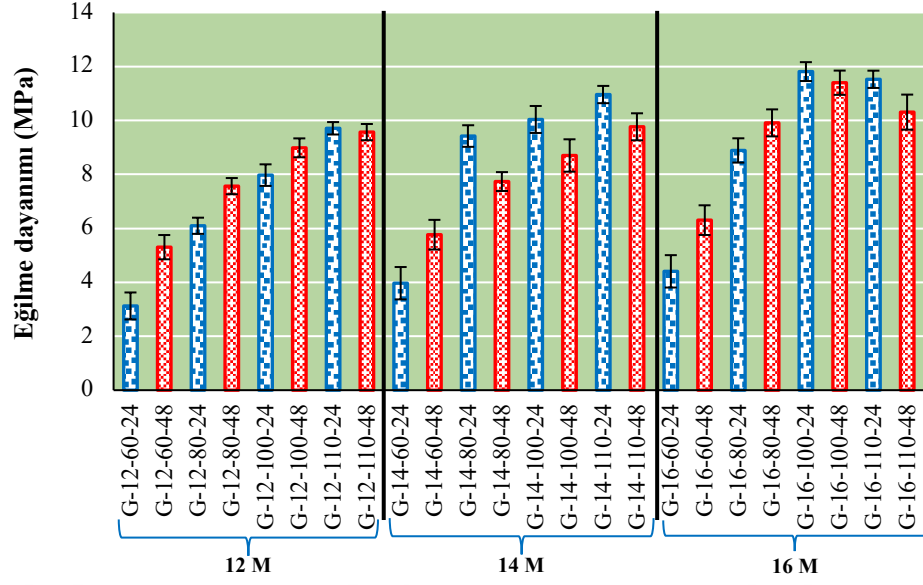
12, 14 ve 16 molar oranlarında üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları birbirleri ile karşılaştırıldığında, molar orandaki artışla birlikte U_{pv} sonuçlarının da arttığı gözlenmiştir. Örneğin, "G-12-60-24" kodlu harcın U_{pv} sonucu, "G-14-60-24" ve "G-16-60-24" kodlu harçlara kıyasla sırasıyla %11,32 ve % 17,75 oranında artmıştır. Bu, molar oran ne kadar yüksek olursa, bağlayıcıyı çözme kapasitesi o kadar iyi olur ve daha iyi alkali reaksiyonla sonuçlanır [84,85]. Bağlayıcının daha iyi çözünmesi, geopolimer harçların boşluk miktarını azaltır ve U_{pv} sonuçlarını artırır. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, kürleme sıcaklığının artmasıyla geopolimer harçların gözenekliliğinin azaldığı ve buna bağlı olarak U_{pv} sonuçlarının arttığı sonucuna varılmıştır. Bu, bağlayıcı malzemelerin düşük sıcaklıklarda daha yavaş geopolimerizasyon reaksiyon hızlarına bağlanabilir. Geopolimer harçlarda

kullanılan silika ve alümina bazlı bağlayıcıların parçacıklarının amorf fazlarında öncüllerin (öncelikle Al ve Si) çözünme derecesi, kürlenme sıcaklığının artmasıyla artar.

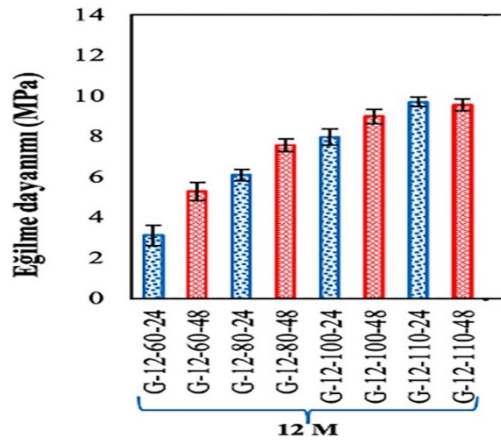
Bu durum özellikle geopolimerizasyon reaksiyonunun erken evresinde sert yapıların oluşumunu hızlandırır. Kürlenme döneminde, geopolimerizasyon reaksiyonu ilerler ve jel büyümeye devam eder. Bu işlemin bir sonucu olarak, gözenekler yavaş yavaş reaksiyon ürünleri ile doldurulur [86]. Ek olarak, Mahmoodi ve ark. [4] kalsiyum, alüminat ve silikat tiplerinin, uygun yük dengeleme "Na+" katyonları varlığında, yüksek sıcaklıklarda geopolimersistemine daha etkili bir şekilde nüfuz edebileceğini bildirmiştir. Bu durumun reaksiyona girmemiş partiküller ile geopolimerik jeller arasındaki bağ oluşumunu artırarak gözenekleri doldurabileceği, böylece geopolimer harçların mekanik özelliklerinin artırılabilmesi belirtilmiştir. Bu çalışmalar ve elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kürlenme sıcaklığının geopolimerharçlar üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca kürlenme süresinin uzaması ile birlikte genel olarak U_{pv} sonuçlarında azalma olmuştur. Guo ve ark [87] çalışmalarında uzun kürlenme sürelerinin geopolimeryapısını tahrip ettiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, U_{pv} sonuçlarındaki azalma bu duruma bağlanmaktadır.

3.1.2. Eğilme Dayanımı

EN 196-1 [80] uyarınca gerçekleştirilen eğilme dayanımı (f_{fs}) testinin sonuçları, standart sapmayı gösteren hata çubuğu ile birlikte **Şekil 3.5'**de gösterilmiştir. Her kodlu karışım için 3 numune üretilmiş ve bu numunelerin ölçümlerinin ortalaması nihai f_{fs} sonucu olarak alınmıştır.



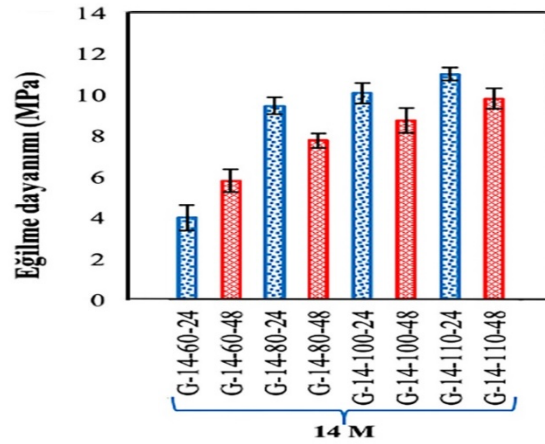
Şekil 3.5. Eğilme Dayanımı Testinin Sonuçları



Şekil 3.6. Eğilme Dayanımı Testinin Sonuçları (12 Molar)

12 molar oranla üretilen CBGK'lerin f_s sonuçları incelendiğinde sonuçların 3,12 ile 9,71 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En düşük f_s sonucu, 24 saat boyunca 60°C'de kürlenlen "G-12-60-24" kodlu harçlardan 3,12 MPa, en yüksek f_s sonucu ise 24 saat boyunca 110°C'de kürlenlen "G-12-110-24" kodlu harçlardan 9,71 MPa olarak elde edilmiştir. Molar oran ve kürlenme süresi sabit olmasına rağmen, f_s sonuçları kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte %210,92 oranında artmıştır. 12 molar oranla üretilen CBGK'lerin f_s sonuçları değerlendirildiğinde, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte f_s sonuçlarının arttığı gözlenmiştir. CBGK'lerin kürlenme süreleri karşılaştırıldığında, 60, 80 ve 100°C'de 48 saat kürlenlen CBGK'lerin f_s sonuçları, 24 saat boyunca kürlenlenlerden daha yüksekti. Bununla birlikte, 24 saatlik kürlenme

süresinde elde edilen f_{fs} sonuçlarının, 110°C'de kürlenene CBGK'lerde 48 saat boyunca kürlenene göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



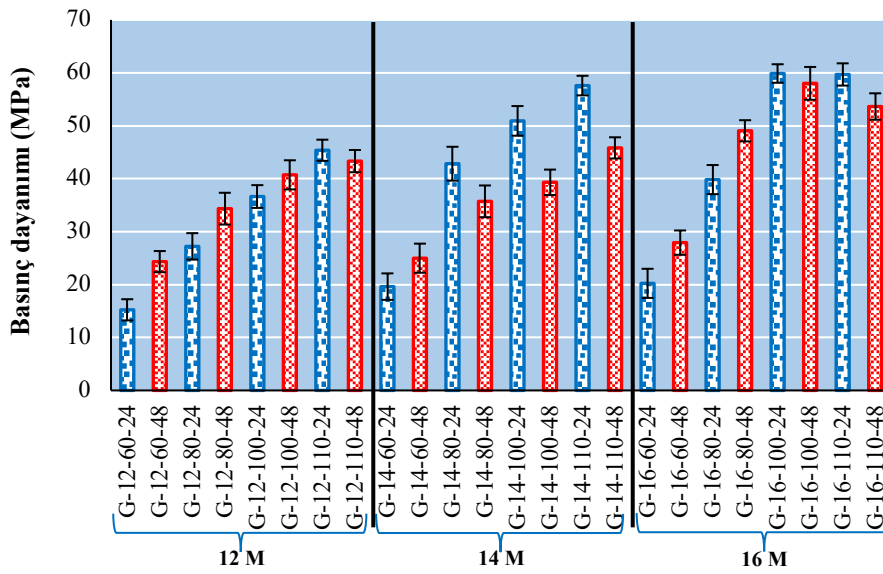
Şekil 3.7. Eğilme Dayanımı Testinin Sonuçları (14 Molar)

14 molar oranla üretilen CBGK'lerin f_{fs} sonuçları incelendiğinde sonuçların 3,97 ile 10,96 MPa arasında değiştiği görülmektedir. En düşük f_{fs} sonucu, 24 saat boyunca 60°C'de kürlenene "G-14-60-24" kodlu harçlardan 3,97 MPa, en yüksek f_{fs} sonucu ise 24 saat boyunca 110°C'de kürlenene "G-14-110-24" kodlu harçlardan 10,96 MPa olarak elde edilmiştir. Molar oran ve kürlenme süresi sabit olmasına rağmen, kürlenme sıcaklığı arttıkça f_{fs} sonuçları %176,38 oranında artmıştır. 14 molar oranla üretilen CBGK'lerin f_{fs} sonuçları değerlendirildiğinde, kürlenme sıcaklığındaki artışla birlikte f_{fs} sonuçlarının arttığı gözlenmiştir. Kürlenme süreleri karşılaştırıldığında, 60°C'de 48 saat boyunca kürlenene CBGK'lerin f_{fs} sonuçları, 24 saat boyunca külenenlerden daha yüksekti. Bununla birlikte, 24 saatlik kürlenme döneminde elde edilen f_{fs} sonuçlarının, 80, 100 ve 110°C'de kürlenene CBGK'ler için 48 saat boyunca külenenlerden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

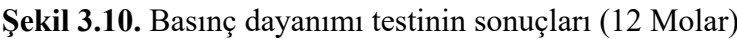
bir artış olmuştur. Bu durumun nedeni, U_{pv} sonuçlarında açıklandığı gibi, bağlayıcı malzemelerin düşük sıcaklıklarda yavaş geopolimerizasyon reaksiyon hızlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kürlenme sıcaklığının artması ve kürlenme süresinin uzaması durumunda geopolimerin yapılarının tahrip olduğu belirtilmiştir [87]. Bu nedenle, uzun kürlenme süresi ile f_{fs} sonuçlarındaki azalma bu duruma bağlanabilir.

3.1.3. Basınç Dayanımı

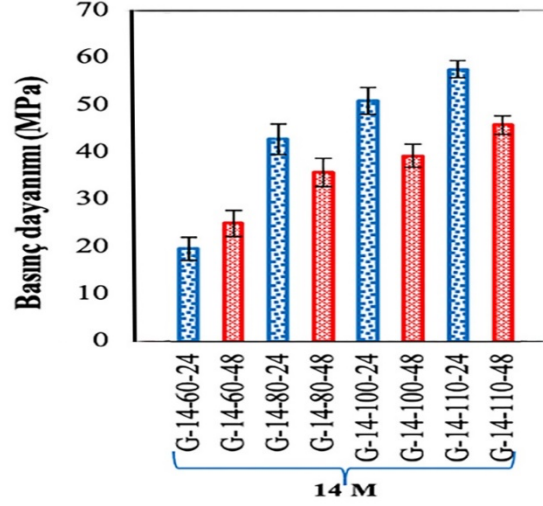
EN 196-1 [80] uyarınca gerçekleştirilen basınç dayanımı (f_{cs}) testinin sonuçları, standart sapmayı gösteren hata çubuğu ile birlikte Şekil 3.9'te gösterilmiştir. f_{cs} testi için, f_{fs} testinden 40×40 mm² kesit alanına sahip iki kırık prizmatik numune parçası, 2400 N/s EN 196-1 [80] yükleme hızı ile yüklenmiştir. Her kodlu karışım için kesit alanı 40×40 mm² olan 6 prizmatik numune yüklenmiş ve bu numunelerin ölçümlerinin ortalaması nihai f_{cs} sonucu olarak alınmıştır.



Şekil 3.9. Basınç dayanımı testinin sonuçları



35



Şekil 3.11. Basınç dayanımı testinin sonuçları (14 Molar)

14 molar oranla üretilen CBGK'lerin f_{cs} sonuçları incelendiğinde sonuçların 19,61–57,59 MPa arasında değiştiği görülmektedir. En düşük f_{cs} sonucu 24 saat boyunca 60°C'de kürlenen "G-14-60-24" kodlu harçlardan 19,61 MPa, en yüksek f_{cs} sonucu ise 24 saat boyunca 110°C'de kürlenen "G-14-110-24" kodlu harçlardan 57,59 MPa olarak elde edilmiştir. Molarite ve kürlenme süresi sabit olmasına rağmen, f_{cs} sonuçları kürlenme sıcaklığının artmasıyla birlikte % 193,68 oranında artmıştır. Genel olarak 14 molar oranla üretilen CBGK'lerden elde edilen f_{cs} sonuçları değerlendirildiğinde, f_{fs} sonuçları gibi kürlenme sıcaklığının artmasıyla f_{cs} sonuçlarının da arttığı görülmüştür. Kürlenme süreleri karşılaştırıldığında, 48 saat boyunca 60 °C'de kürlenen CBGK'lerin f_{cs} sonuçları, 24 saat boyunca kürlenenlerden daha yüksekti. Bununla birlikte, 80, 100 ve 110°C'de kürlenen CBGK'lerde, 24 saatlik kürlenme sırasında elde edilen f_{cs} sonuçları, 48 saat boyunca kürlenenlerden daha yüksektir.

genel olarak f_{fs} sonuçlarında bir artış olmuştur. Bu durumun nedeni, bağlayıcı malzemelerin düşük sıcaklıklardaki yavaş geopolimerizasyon reaksiyon hızlarına bağlanmıştır. Kürlenme sıcaklığı arttırıldığında ve kürlenme süresi uzadığında geopolimerin yapısının tahrip olduğu belirtilmiştir [83]. Bu nedenle, kürlenme süresinin uzamasından kaynaklanan f_{cs} 'deki azalma bu duruma bağlanabilir. Ek olarak, 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda nem kaybı, basınç dayanımlarında bir azalmaya neden olmuştur [89].

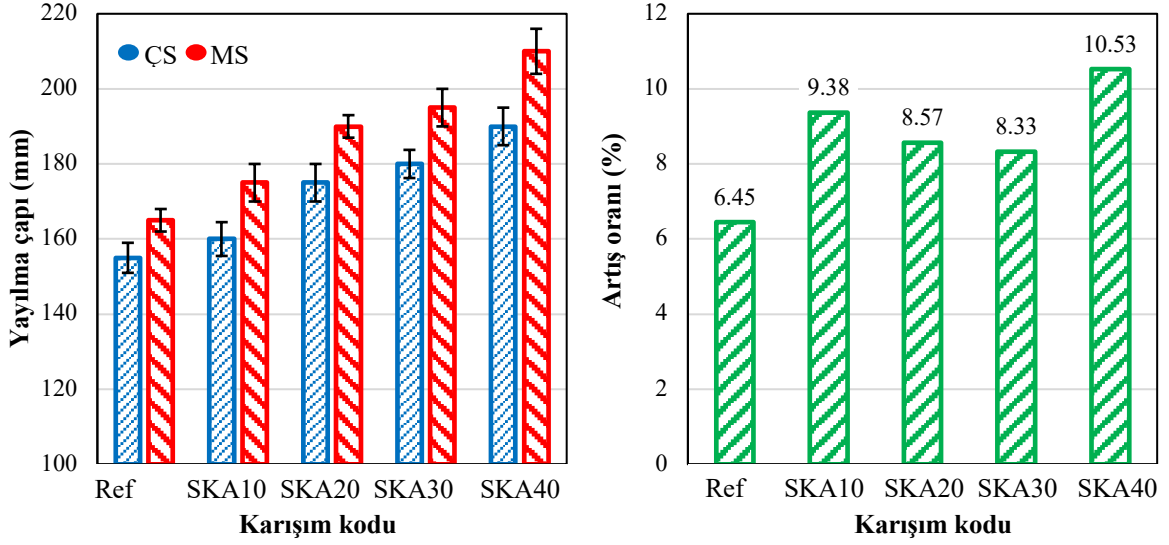
Çalışmanın bu aşamasında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, optimum molarite, kürlenme sıcaklığı ve kürlenme süresinin sırasıyla 16 M, 100°C ve 24 saat olduğu belirlenmiştir. Bu değerler sabit tutulacak ve SKA, YFC yerine %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilecektir. Ek olarak, çalışmanın ikinci aşamasında hem ÇS hem de MS karıştırma suyu olarak kullanılacaktır.

3.2. Seramik Kiremit Atıkları (SKA) ve Magentik Suların (MS) Geopolimer Harçlara Etkisi

Bu bölümde 16 molar oranında hazırlanan CBGK'ler 100°C fırın sıcaklığında 24 saat kürlenmiştir. CBGK'ler **Çizelge 2.3**'te verilen karışım oranları dikkate alınarak hazırlanmıştır. İşlenebilirlik testi, taze durum özelliklerini belirlemek için hazırlanan harçlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş hal özelliklerini belirlemek için U_{pv} , ffs ve f_{cs} deneyleri yapılmıştır.

3.2.1. İşlenebilirlik

MS ve ÇS ile karışım suyu olarak hazırlanan SKA'yi içeren CBGK'lerin yayılma çapının sonuçları ve yayılma çaplarındaki yüzde değişim **Şekil 3.13**'te gösterilmiştir. ÇS ile hazırlanan karışımların yayılma çaplarının 155 ile 190 mm, MS ile hazırlanan harçların yayılma çaplarının ise 165 ile 210 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu, işlenebilirliğin arttığını gösterir.



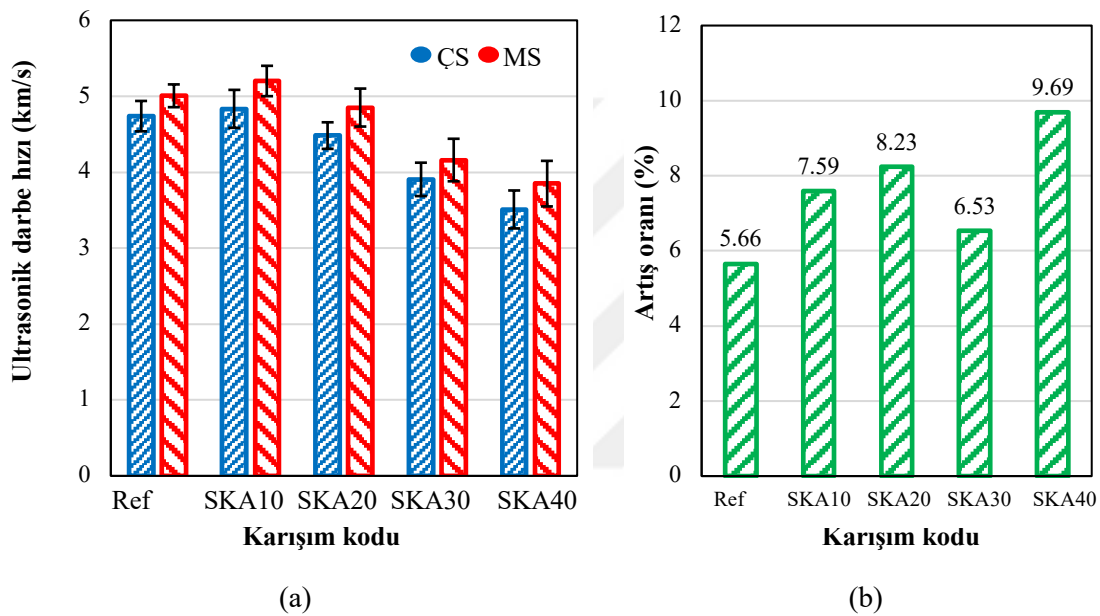
Şekil 3.13. SKA İçeren CBGK'lerin Yayılma Sonuçları

ÇS ile üretilen CBGK'lerin yayılma yayıçapları değerlendirildiğinde, SKA10, SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların yayılma çapları Ref kodlu harçlara göre sırasıyla %3,23; %12,90; %16,13 ve %22,58 oranında artmıştır. MS ile üretilen CBGK'lerin yayılma çapları değerlendirildiğinde, SKA10, SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların yayılma çapları sırasıyla %6,06; %15,15; %18,18 ve %27,27 oranında artmıştır. YFC ile karşılaştırıldığında, SKA'nin daha düşük spesifik yüzey alanı ve daha yüksek partikül boyutu dağılımı, CBGK'lerin işlenebilirliğini arttırdı. Elde edilen sonuçlar Huseien ve ark. [76] tarafından yapılan çalışmaya benzerdi. **Şekil 3.13.a** incelendiğinde MS'nin işlenebilirliği arttırdığı görülmektedir. **Şekil 3.13.b** MS ile üretilen CBGK'lerin yayılma çapındaki artışı, ÇS ile üretilenlere kıyasla göstermektedir. Buna göre, karıştırma suyu olarak ÇS yerine MS kullanılırsa, işlenebilirlik % 6,45 ile % 10,53 arasında artırılabilir. Elde edilen sonuçlar Rashad ve Ezzat çalışmalarına benzerdi [62]. MS'nin karıştırma suyu olarak kullanılması, sadece geopolimer harçların değil, aynı zamanda çimentolu harçların da işlenebilirliğini önemli ölçüde arttırmaktadır [72,75,78]. Su manyetik bir alandan geçtiğinde, hidrojen bağları arasındaki kuvvetler zayıflar. Su moleküllerinin kümeleri, manyetik alandan geçtikten sonra daha küçük kümelere ayrılır [68,69]. Bu sayede manyetik alandan geçen suyun yüzey gerilimi azalır ve aktivitesi artar [65]. Bu, MS'ın CBGK'lerin işlenebilirliğini artırmasını sağladı. MS'nin işlenebilirliğindeki artış göz önüne alındığında, gelecekteki çalışmalarda aynı işlenebilirlik için karıştırma suyu miktarı

azaltılabilir. Bu hem su tasarrufu sağlayacak hem de kompozitlerin mekanik özelliklerini artıracaktır.

3.2.2. Ultrasonik Darbe Hızı

MS ve ÇS ile karışım suyu olarak hazırlanan SKA'leri içeren CBGK'lerin ultrasonik darbe hızının (U_{pv}) sonuçları ve U_{pv} daki yüzde değişimi Şekil 3.14'te gösterilmiştir. ÇS ile hazırlanan CBGK'lerin U_{pv} sonuçlarının 4,83 ile 3,51 km/s arasında, MS ile hazırlanan CBGK'lerin U_{pv} sonuçlarının ise 5,20 ile 3,85 km/s arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek U_{pv} sonucu SKA10 kodlu harçlardan elde edilmiştir.



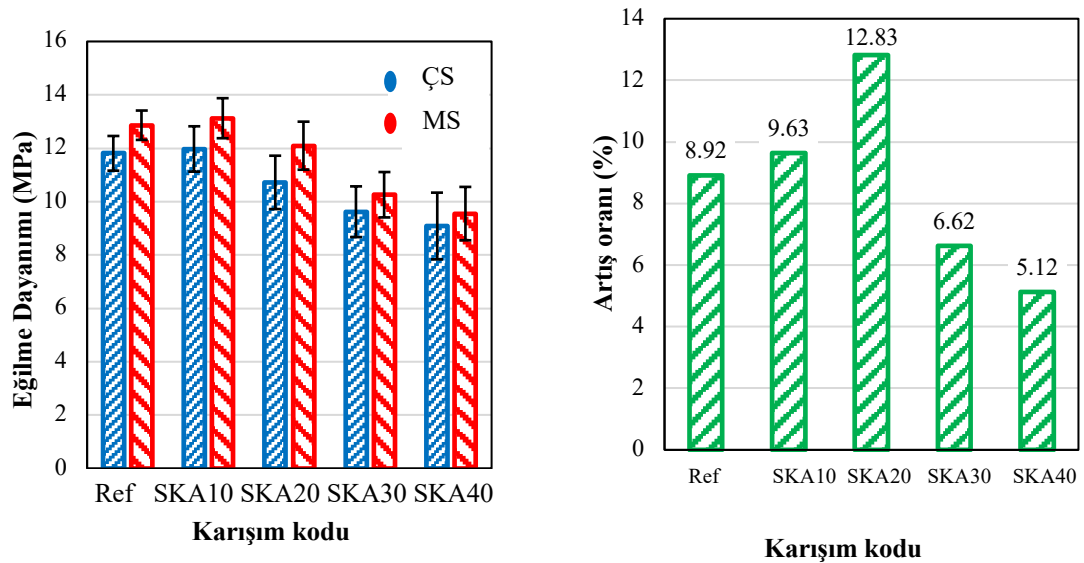
Şekil 3.14. SKA İçeren CBGK'lerin Ultrasonik Darbe Hızının Sonuçları

ÇS ile üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları değerlendirildiğinde, SKA10 kodlu harçların U_{pv} sonuçları, Ref kodlu harçlara göre %2,03 oranında artış göstermiştir. SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların U_{pv} sonuçları, Ref kodlu harçlara kıyasla sırasıyla %5,40, %17,58 ve %25,94 oranında azalmıştır. MS ile üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçları değerlendirildiğinde, SKA10 kodlu harçların U_{pv} sonuçları, Ref kodlu harçlara göre %3,90 oranında artış göstermiştir. SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların U_{pv} sonuçları, Ref kodlu harçlara kıyasla sırasıyla %3,10; %16,90 ve %23,11 oranında azalmıştır. MS ile üretilen CBGK'lerde artış-azalma oranı ile karşılaştırıldığında, ÇS ile üretilenlere göre artış oranının daha yüksek, azalma oranının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 3.14.a incelendiğinde MS'ın U_{pv} sonuçlarını arttırdığı görülmektedir. Şekil 3.14.b MS ile üretilen CBGK'lerin U_{pv} sonuçlarında ÇS ile

üretilenlere kıyasla artışı göstermektedir. Karıştırma suyu olarak ÇS yerine MS kullanılması durumunda U_{pv} sonuçları %5,66 ile %9,69 arasında artırılabilir. SKA replasman oranı %10'u aşan U_{pv} sonuçlarındaki azalma, YFC'ye kıyasla SKA'nin düşük kalsiyum içeriğine ve yüksek silika içeriğine bağlanabilir. Bu, daha az miktarda C-(A)-S-H jel üretimi ile sonuçlanır. Bu nedenle SKA replasman oranındaki artışla birlikte geopolimer harçların gözenekliliği artmakta ve buna bağlı olarak U_{pv} sonuçları azalmaktadır [16,90]. U_{pv} sonuçlarındaki azalma Husein ve ark.'nın çalışmasına benzerdi [91]. Bu çalışmada, U_{pv} sonuçlarındaki azalma, YFC yerine geçen malzeme (palmiye yağı akaryakıt külü) geopolimerağının gözenekliliğindeki artışa bağlanmıştır. MS kullanılması durumunda, MS'nin aktivitesi ÇS'ninkinden daha yüksektir ve buna bağlı olarak, daha fazla jel ve daha gözeneksiz bir kompozit yapı oluşturur. Düşük gözenekli yapılar U_{pv} sonuçlarını artırdı.

3.2.3. Eğilme Dayanımı

MS ve ÇS ile karışım suyu olarak hazırlanan SKA'yi içeren CBGK'lerin eğilme dayanımının (f_{fs}) sonuçları ve f_{fs} daki yüzde değişim sonuçları Şekil 3.15'te gösterilmiştir. ÇS ile hazırlanan CBGK'lerin f_{fs} sonuçlarının 11,97 ile 9,09 MPa, MS ile hazırlanan CBGK'lerin f_{fs} sonuçlarının ise 9,55 ile 13,13 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek f_{fs} sonucu SKA10 kodlu harçlardan elde edilmiştir.

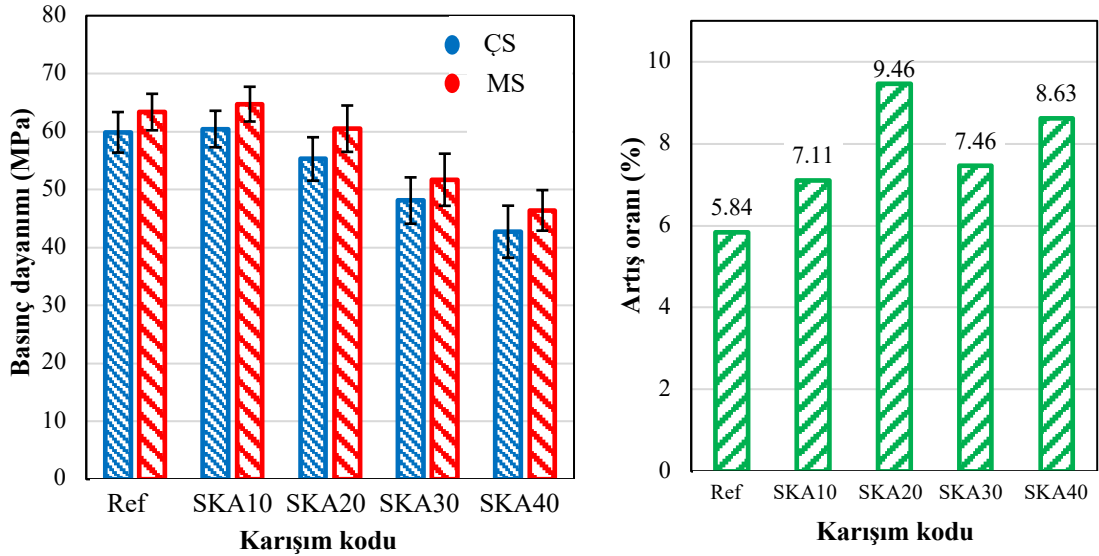


Şekil 3.15. SKA İçeren CBGK'lerin Eğilme Dayanım Sonuçları

ÇS ile üretilen CBGK'lerin f_{fs} sonuçları değerlendirildiğinde, SKA10 kodlu harçların f_{fs} sonuçları Ref kodlu harçlara göre %1,38 oranında artmıştır. SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların f_{fs} sonuçları, Ref kodlu harçlara kıyasla sırasıyla %9,22; %18,53 ve %23,06 oranında azalmıştır. MS ile üretilen CBGK'lerin f_{fs} sonuçları değerlendirildiğinde, SKA10 kodlu harçların f_{fs} sonuçları Ref kodlu harçlara göre %2,04 oranında artmıştır. SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların f_{fs} değerleri, Ref kodlu harçlara kıyasla sırasıyla %5,96; %20,24 ve %25,74 oranında azalmıştır. **Şekil 3.15a** incelendiğinde MS'in f_{fs} sonuçlarını arttırdığı görülmektedir. **Şekil 3.15b** MS ile üretilen CBGK'lerin f_{fs} sonuçlarında ÇS ile üretilenlere kıyasla artışı göstermektedir. Karıştırma suyu olarak ÇS yerine MS kullanılırsa, f_{fs} sonuçları %5,12 ile %12,83 arasında artırılabilir. f_{fs} 'deki azalma, SKA replasman oranının %10'u aşmasıyla sonuçlanır, YFC'ye kıyasla SKA'nin düşük kalsiyum içeriğine ve yüksek silika içeriğine bağlanabilir. Bu daha az miktarda C-(A)-S-H jelinin üretilmesiyle sonuçlanır [16]. Bu nedenle SKA replasman oranının artması ile CBGK'lerin gözenekliliği artar ve f_{fs} sonuçları da buna bağlı olarak azalır. MS kullanımı durumunda f_{fs} daki artış, MS'nin ÇS'ye kıyasla daha yüksek aktivitesine ve daha fazla jel oluşturarak daha gözeneksiz bir kompozit yapının oluşmasına bağlanabilir. Bu f_{fs} sonuçlarında bir artışa neden oldu. Yapılan çalışmalarda karıştırma suyu olarak ÇS yerine MS kullanılarak sadece geopolimer harçların değil, çimento esaslı harçların da f_{fs} sonuçlarının arttırıldığı gözlenmiştir [92–94].

3.2.4. Basınç Dayanımı

MS ve ÇS ile karışım suyu olarak hazırlanan SKA'yi içeren CBGK'lerin basınç dayanımının (f_{cs}) sonuçları ve f_{cs} daki yüzde değişim sonuçları **Şekil 3.16**'de gösterilmiştir. ÇS ile hazırlanan CBGK'lerin f_{cs} sonuçlarının 42,71 ile 60,44 MPa, MS ile hazırlanan CBGK'lerin f_{cs} sonuçlarının ise 46,34 ile 64,73 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek f_{cs} sonucu SKA10 kodlu harçlardan elde edilmiştir.



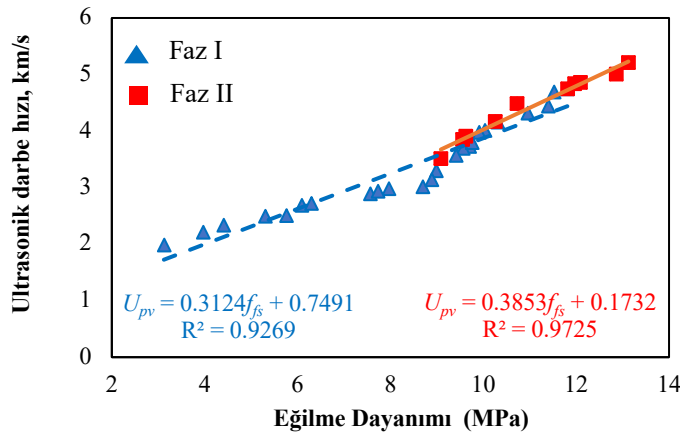
Şekil 3.16. SKA İçeren CBGK'lerin Basınç Dayanımının Sonuçları

ÇS ile üretilen CBGK'lerin f_{cs} sonuçları değerlendirildiğinde, SKA10 kodlu harçların f_{cs} sonuçları Ref kodlu harçlara göre %0,95 oranında artmıştır. SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların f_{cs} sonuçları, Ref kodlu harçlara kıyasla sırasıyla %7,68; %19,66 ve %28,66 oranında azalmıştır. MS ile üretilen CBGK'lerin f_{cs} sonuçları değerlendirildiğinde, SKA10 kodlu harçların f_{cs} sonuçları Ref kodlu harçlara göre %2,16 oranında artmıştır. SKA20, SKA30 ve SKA40 kodlu harçların f_{cs} sonuçları, Ref kodlu harçlara kıyasla sırasıyla %4,53; %18,44 ve %26,78 oranında azalmıştır. MS ile üretilen CBGK'lerde artış-azalma oranı ile karşılaştırıldığında, ÇS ile üretilenlere göre artış oranının daha yüksek, azalma oranının ise daha düşük olduğu görülmektedir. **Şekil 3.16.a** incelendiğinde MS'in f_{cs} sonuçlarını arttırdığı görülmektedir. **Şekil 3.16.b** MS ile üretilen CBGK'lerin f_{cs} sonuçlarında ÇS ile üretilenlere kıyasla artışı göstermektedir. Karıştırma suyu olarak ÇS yerine MS kullanılırsa, f_{cs} sonuçları %5,84 ile %9,46 arasında artırılabilir. f_{cs} sonuçlarında artan-azalan eğilim genellikle f_{fs} ve U_{pv} sonuçlarındaki ile aynıdır. f_{cs} 'teki azalma, SKA replasman oranının %10'u aşmasıyla sonuçlanır, YFC'ye kıyasla SKA'nin düşük kalsiyum içeriğine ve yüksek silika içeriğine bağlanabilir. SKA replasman oranının artması ile CBGK'lerin gözenekliliği artar ve f_{cs} sonuçları buna bağlı olarak azalır. Ek olarak, SKA'nin YFC'den daha büyük bir parçacık boyutuna sahip olmasının, f_{cs} sonuçlarındaki azalmanın bir başka nedeni olduğu düşünülmektedir. MS kullanımı durumunda f_{cs} 'teki artış, MS'nin ÇS'ye kıyasla daha yüksek aktivitesine bağlanabilir. Yapılan çalışmalarda, karıştırma suyu olarak ÇS yerine MS kullanılarak sadece geopolimer

harçların değil, çimento esaslı harçların da f_{cs} sonuçlarının arttırıldığı gözlenmiştir [72,93,95]. CBGK'lerin basınç dayanımının MS ile artması göz önüne alındığında, molaritenin 16'dan düşük olması ve karıştırma suyu olarak MS'nin kullanılması durumunda, ÇS ile üretilen harçların basınç dayanımına yakın sonuçlar elde edilebileceği ve 16 molaritenin elde edilebileceği görülmektedir. Bu geopolimer harçlarda daha az aktivatör (NaOH) kullanılarak daha ekonomik harçların üretilmesini sağlayacaktır.

3.3. Eğilme Dayanımı (f_s) ve Ultrasonik Darbe Hızı (U_{pv}) Arasındaki İlişki

Şekil 3.17. eğilme dayanımı ve ultrasonik darbe hızı sonuçları arasındaki korelasyonu göstermektedir. Faz I, **Bölüm 3.10**'de elde edilen f_s ve U_{pv} arasındaki ilişkiyi gösterirken, Faz II, **Bölüm 3.11**'de elde edilen f_s ve U_{pv} arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.17. Eğilme Dayanımı ve Ultrasonik Darbe Hızı Arasındaki İlişki

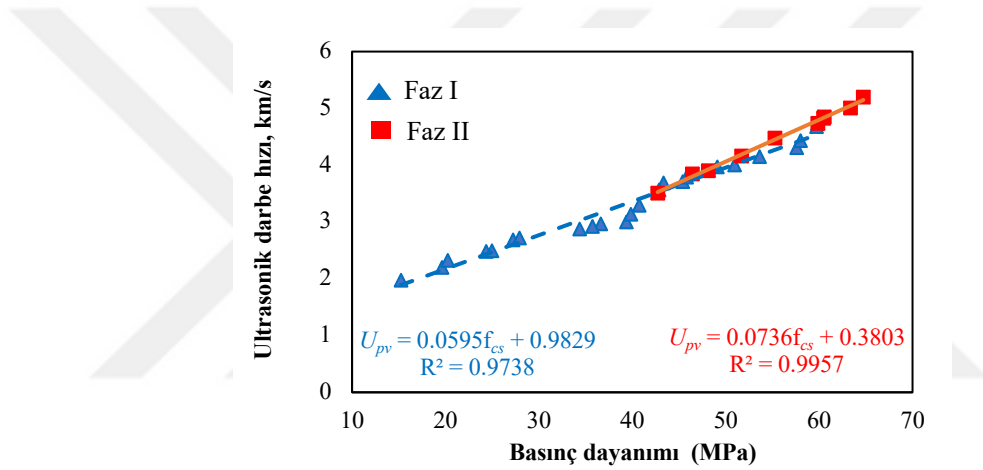
Eğilme dayanımı ve ultrasonik darbe hızı sonuçları arasındaki ilişki, **Şekil 3.17**'de gösterildiği gibi doğrusal bir eğri kullanılarak kurulmuştur. Faz I ve Faz II için Denklemden olduğu gibi R^2 belirleme katsayıları elde edilmiştir. **Denklem (1)** ve **(2)** sırasıyla, elde edilen giriş ve çıkış sonuçları arasındaki denklemleri vermektedir. Ayrıca R^2 değerleri iyi bir korelasyon elde edildiğini göstermektedir.

$$U_{pv} = 0.3124f_{fs} + 0.7491 \quad (R^2 = 0.9269) \quad (1)$$

$$U_{pv} = 0.3853f_{fs} + 0.1732 \quad (R^2 = 0.9725) \quad (2)$$

3.4. Basınç Dayanımı (f_{cs}) ve Ultrasonik Darbe Hızı (U_{pv}) Arasındaki İlişki

Şekil 3.18. basınç dayanımı ve ultrasonik darbe hızı sonuçları arasındaki korelasyonu göstermektedir. Faz I, **Bölüm 3.1'**de elde edilen f_{cs} ve U_{pv} arasındaki ilişkiyi gösterirken, Faz II, **Bölüm 3.2'**de elde edilen f_{cs} ve U_{pv} arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.18. Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Darbe Hızı Arasındaki İlişki

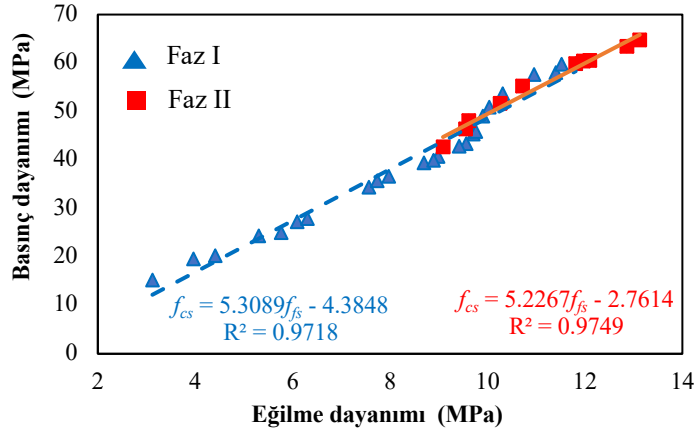
Basınç dayanımı ve ultrasonik darbe hızı sonuçları arasındaki ilişki, **Şekil 3.18'**da gösterildiği gibi doğrusal bir eğri kullanılarak kurulmuştur. Faz I ve Faz II için Denklemlerde olduğu gibi R^2 belirleme katsayıları elde edilmiştir. **Denklem (3)** ve **(4)** sırasıyla, elde edilen giriş ve çıkış sonuçları arasındaki denklemleri vermektedir. Ayrıca R^2 değerleri iyi bir korelasyon elde edildiğini göstermektedir.

$$U_{pv} = 0.0595f_{cs} + 0.9829 \quad (R^2 = 0.9738) \quad (3)$$

$$U_{pv} = 0.0736f_{cs} + 0.3803 \quad (R^2 = 0.9957) \quad (4)$$

3.5. Eğilme Dayanımı (f_{fs}) ve Basınç Dayanımı (f_{cs}) Arasındaki İlişki

Şekil 3.19. eğilme dayanımı ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki korelasyonu göstermektedir. Faz I, **Bölüm 3.1**'de elde edilen f_{fs} ve f_{cs} arasındaki ilişkiyi gösterirken, Faz II, **Bölüm 3.2**'de elde edilen f_{fs} ve f_{cs} arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.19. Eğilme Dayanımı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Eğilme dayanımı ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki, **Şekil 3.19**'da gösterildiği gibi doğrusal bir eğri kullanılarak kurulmuştur. Faz I ve Faz II için Denklemden olduğu gibi R^2 belirleme katsayıları elde edilmiştir. **Denklem (5)** ve **(6)** sırasıyla, elde edilen giriş ve çıkış sonuçları arasındaki denklemleri vermektedir. Ayrıca R^2 değerleri iyi bir korelasyon elde edildiğini göstermektedir.

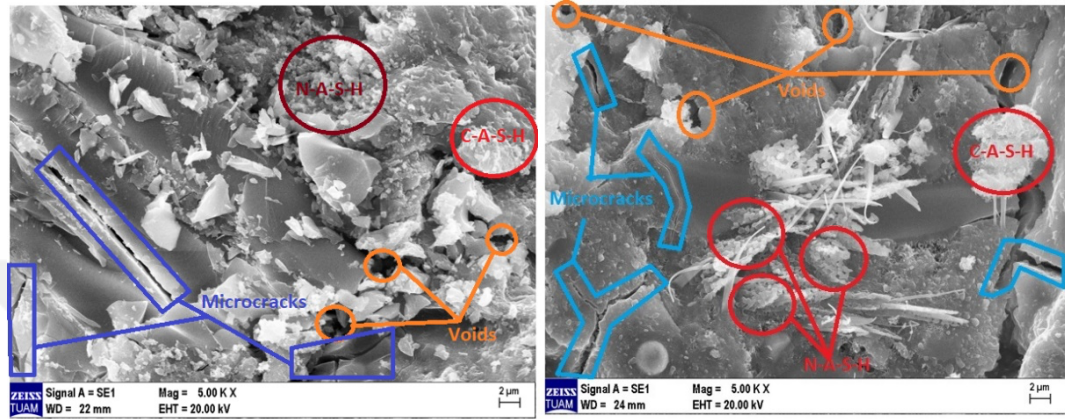
$$f_{cs} = 5.3089f_{fs} - 4.3848 \quad (R^2 = 0.9718) \quad (5)$$

$$f_{cs} = 5.2267f_{fs} - 2.7614 \quad (R^2 = 0.9749) \quad (6)$$

3.6. Mikroyapı Analizi

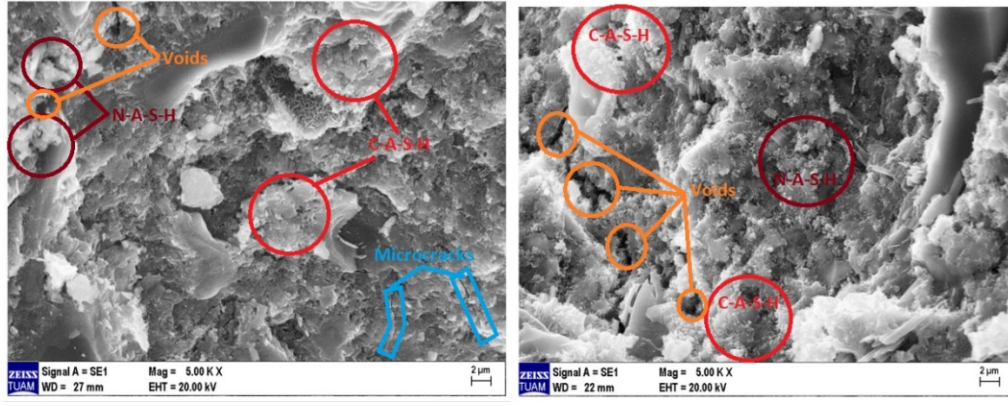
ÇS ile üretilen Ref ve SKA20 CBGK'lerin SEM görüntüleri **Şekil 3.20**'de gösterilmiştir. Ref numunesinde C-A-S-H jelinin daha yoğun olduğu gözlemlendi. Ref'in basınç dayanımı SKA20'den daha yüksektir. Bunun nedeni, karışımdaki CaO miktarının YFC yerine SKA ikame edilerek azaltılmasıdır. C-A-S-H jeli, CaO miktarının azalması nedeniyle azalmıştır. SKA replasmanı ile N-A-S-H jel oluşumunda artışlar görüldü. SKA kimyasal bileşimindeki Na_2O miktarı, yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşiminden yaklaşık 5 kat daha yüksektir. Bu nedenle, YFC yerine SKA kullanıldığında N-A-S-H jel yapısında bir artış gözlemlenmiştir. Her iki

malzeme de (YFC ve SKA) birlikte kullanılırsa, silika ve CaO kombinasyonu ile pozolanik bir reaksiyon oluşturur. Bu şekilde, daha fazla atık geri dönüştürülme potansiyeline sahiptir [96]. Ref ve SKA örneklerinin SEM görüntüleri karşılaştırıldığında, SKA replasmanı yapılan CBGK'lerde mikro çatlak yapılarında azalma olmadığı belirlenmiştir. Bunun nedeni, SKA'nın inceliğinin YFC'ninkinden daha büyük olmasıdır. Buna göre, SKA, YFC'den daha az jel ürünü oluşturdu.



Şekil 3.20. ÇS ile Üretilen SGC'lerin SEM Görüntüleri: a) Ref ve b) SKA20

MS ile hazırlanan Ref ve SKA20 CBGK'lerin SEM görüntüleri **Şekil 3.21'**de gösterilmiştir. ÇS ve MS ile hazırlanan Ref serilerinde SKA yerine geçen CBGK'lere göre daha yoğun bir C-A-S-H jel yapısı gözlenmiştir. MS ile hazırlanan CBGK'lerde ÇS ile hazırlanan CBGK'lere göre daha az mikroçatlak yapısı gözlenmiştir. Bu durum CBGK'lerin basınç dayanımları üzerinde de olumlu bir etki yarattı. MS ile hazırlanan CBGK'lerin basınç dayanımları ÇS ile hazırlanan CBGK'lerden daha yüksekti. MS kullanımı, YFC ve SKA içeren geopolimer kompozitlerin basınç dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahipti [66,97,98]. Ek olarak, YFC ve SKA'deki yüksek silika nedeniyle, geopolimerdeki CH ile reaksiyona girebilir ve CH içeriğini azaltabilir [99,100]. Mikroyapısal analizler, C-A-S-H ve N-A-S-H jel yapılarının artmasıyla geopolimerlerin gözenekliliğinin azaldığını göstermiştir.



Şekil 3.21. MS ile Üretilen CBGK'lerin SEM Görüntüleri: a) Ref ve b) SKA20

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, manyetik suyun (MS) inşaat ve Yıkıntı atıklarından (İYA) seramik karo atıklarını (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitlerin (CBGK'ler) özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktadır. İlk başta, CBGK'ler için optimum molarite, kürlenme süresi ve kürleme sıcaklığı parametrelerini belirlemek için ön deneyler yapıldı. Farklı alkali aktivatör (NaOH) konsantrasyonları (12, 14 ve 16 M) ile üretilen CBGK'ler, 60°C, 80°C, 100°C ve 110°C'de 24 ve ön deneyler için 48 saat boyunca kürlendi. Ön deneyler sonucunda, CBGK'ler için 16 M aktivatör konsantrasyonunda, 24 saatlik kürlenme süresinde ve 100°C 'lik bir kürleme sıcaklığında optimum değerler elde edilmiştir. Optimum değerler kullanılarak, SKA, CBGK'ler için cürufun ağırlıkça %10, %20, % 30 ve% 40'ında YFC'nin yerine kullanılmıştır. Çeşme suyu (ÇS) ve manyetik su (MS), optimum değerlerle hazırlanan SKA'yi içeren CBGK'lerde karıştırma suyu olarak kullanılmıştır, daha sonra işlenebilirlik, ultrasonik darbe hızı (U_{pv}), eğilme mukavemeti (f_{fs}) ve basınç dayanımı (f_{cs}) testler ve mikroyapı analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın bulgularına dayanarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Çalışmanın ilk aşamasında optimum parametreler belirlenirken, molarite, kürlenme sıcaklığı ve kürlenme süresindeki artışla birlikte U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} sonuçlarında artış olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, sıcaklık 80°C'nin üzerine çıktığında ve kürlenme süresi uzadığında U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} sonuçlarında düşüşler gözlenmiştir. Bu, yüksek sıcaklıkların geopolimeryapısını tahrip edebileceği şeklinde atfedilebilir.
2. Tüm U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} 'lerde en yüksek sonuçları veren "G-16-100-24" kodlu numunenin molarite, kürlenme sıcaklığı ve kürlenme süresi parametreleri optimum parametreler olarak belirlenmiştir. Buna göre, optimum molarite, kürlenme sıcaklığı ve kürlenme süresi sırasıyla 16 M, 100°C ve 24 saat olarak belirlenmiştir.
3. Seramik karo atığı (SKA) değiştirme oranı arttıkça, ÇS ve MS ile üretilen CBGK'ler işlenebilirliği artmıştır. MS ile üretilen CBGK'lerin işlenebilirliği,

ÇS ile üretilenlere göre %6,45 ve %10,53 oranında artmıştır. Bu, suyun manyetik bir alandan geçtiği, hidrojen bağları arasındaki kuvvetlerin zayıfladığı ve manyetik alandan geçen suyun yüzey geriliminin azaldığı ve aktivitesinin arttığı atfedilebilir. Bu, MS'nin CBGK'lerin çalışabilirliğini artırmasını sağladı.

4. U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} sonuçları incelendiğinde, %10 SKA ikame edilmiş harçların Ref harçlarına göre daha yüksek U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} sonuçlarına sahip olduğu görülmüştür. Değiştirme oranları %20, %30 ve %40 iken Ref harçlarına göre daha düşük U_{pv} , f_{fs} ve f_{cs} sonuçları elde edildiği belirlenmiştir. MS kullanımı durumunda, f_{fs} sonuçlarında ÇS ile üretilenlere göre %5,12–%12,83 artış saptanırken, f_{cs} sonuçlarında ÇS ile üretilenlere göre %5,84 ve %9,46 artış saptanmıştır. MS kullanımı durumunda U_{pv} sonuçlarında ÇS ile üretilenlere göre %5,66–9,69 artış olduğu belirlenmiştir. Bu, MS'nin aktivitesinin ÇS'ninkinden daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak daha fazla jel ve daha gözeneksiz bir kompozit yapı oluşturduğu şeklinde atfedilebilir.
5. f_{fs} & U_{pv} sonuçları, f_{cs} & U_{pv} sonuçları ve f_{fs} & f_{cs} sonuçları arasındaki ilişkiler çok yüksek bir belirleme katsayısı (R^2) sergilemiştir. Bu, elde edilen girdi ve çıkış sonuçları arasında iyi bir korelasyon olduğunu gösterir.
6. Mikroyapı analizine göre ÇS ve MS ile hazırlanan Ref serisinde SKA yerine geçen CBGK'lere göre daha yoğun bir C-A-S-H jel yapısı gözlenmektedir. Bunun nedeni, karışımdaki CaO miktarının, YFC yerine SKA'nin ikame edilmesiyle azaltılmasına bağlanabilir. C-A-S-H jeli, CaO miktarının azalması nedeniyle azalmıştır.

Cüruf bazlı Geopolimer kompozitler (CBGK'ler), yapı malzemeleri için yüksek mukavemet ve işlenebilirlik üretebildikleri için inşaat malzemelerinde iyi bir seçenektir. İnşaat ve Yıkıntı atıklarından (İYA) kaynaklanan seramik karo atıkları (SKA), yapı malzemelerinin diğer normal malzemelere kıyasla mukavemetini ve işlenebilirliğini artırabileceğinden inşaat malzemelerinde kullanılmak üzere tercih edilen bir seçenektir. Seramik karo atıklarının (SKA) kullanılması, İYA çevre üzerindeki olumsuz etkisini azaltmaya yardımcı olabilir. Çok yüksek bir sıcaklık yapıya zarar verebilir ve işlenebilirliğini ve mukavemetini azaltabilir. MS, ÇS kıyasla karışım malzemesi olarak kullanılmak için iyi bir seçenektir, çünkü MS yapı malzemeleri üzerinde çok iyi bir etki gösterir ve yapı malzemelerinin işlenebilirliğini

ve mukavemetini artırabilir. MS daha fazla jel ve daha gözeneksiz kompozit yapılar oluşturabilir. Yüksek bir molarite oranı, beton üzerinde iyi bir etkiye veya etkiye neden olabilir, çünkü yüksek bir molarite oranı, beton yapının mukavemetini ve işlenebilirliğini artırabilir. İnşaat ve Yıkıntı atıklarından (İYA) seramik karo atıklarını (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitler (CBGK'ler), inşaat endüstrisinin geleceğine bir hediye olarak kabul edilir. İnşaat ve Yıkıntı atıklarından (İYA) seramik karo atıklarını (SKA) manyetik su ile birleştiren cüruf bazlı geopolimer kompozitler (CBGK'ler), yapı malzemelerine yüksek basınç dayanımı ve eğilme mukavemeti sağlar. İnşaat ve Yıkıntı atıklarından (İYA) seramik karo atıklarını (SKA) içeren cüruf bazlı geopolimer kompozitler (CBGK'ler) birçok gelişmiş ülkede popüler bir seçimdir. İYA ve SKA içeren CBGK'ler, inşaat ve Yıkıntıdan kaynaklanan atık miktarını azaltmamıza yardımcı olur. Bu nedenle, inşaat ve Yıkıntı atıklarının toprağa ve çevreye verdiği olumsuz etki ve zararlardan çevreyi korumamıza da yardımcı olur. Bu çalışma MS, İYA, SKA ve CBGK'ler üzerindeki etkisi için daha fazla referansa yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] S. Çelikten, M. Sarıdemir, 'I.O. Deneme, Mechanical and microstructural properties of alkali-activated slag and slag + fly ash mortars exposed to high temperature, *Construct. Build. Mater.* 217 (2019) 50–61.
- [2] K. Kermeli, O.Y. Edelenbosch, W. Crijns-Graus, B.J. van Ruijven, S. Mima, D.P. van Vuuren, E. Worrell, The scope for better industry representation in longterm energy models: modeling the cement industry, *Appl. Energy* 240 (2019) 964–985.
- [3] T. Xie, T. Ozbakkaloglu, Behavior of low-calcium fly and bottom ash-based geopolymer concrete cured at ambient temperature, *Ceram. Int.* 41 (2015) 5945-5958.
- [4] O. Mahmoodi, H. Siad, M. Lachemi, S. Dadsetan, M. Sahmaran, Development and characterization of binary recycled ceramic tile and brick wastes-based geopolymers at ambient and high temperatures, *Construct. Build. Mater.* 301 (2021) 124138.
- [5] I. Demir, S. Güzelkücük, Ö. Sevim, Effects of sulfate on cement mortar with hybrid pozzolan substitution, *Engineering Science and Technology, an International Journal* 21(3) (2018), 275-283.
- [6] Ö. Sevim, İ. Demir, Optimization of fly ash particle size distribution for cementitious systems with high compactness, *Construct. Build. Mater.* 195 (2019) 104-114.
- [7] O. Sevim, C.G. Sengul, Comparison of the Influence of Silica-rich Supplementary Cementitious Materials on Cement Mortar Composites: Mechanical and Microstructural Assessment. *Silicon*, 13(5) (2021) 1675-1690.
- [8] K. Toklu, Investigation of mechanical and durability behaviour of high strength cementitious composites containing natural zeolite and blast-furnace slag. *Silicon*, 13(8) (2021) 2821-2833.
- [9] Y. Baran, H.S. Gökçe, M. Durmaz, Physical and mechanical properties of cement containing regional hazelnut shell ash wastes. *J. Cleaner Prod.* 259 (2020) 120965.
- [10] R. Kou, M.Z. Guo, L. Han, J.S. Li, B. Li, H. Chu, L. Jiang, L. Wang, W. Jin, C.S. Poon, Recycling sediment, calcium carbide slag and ground granulated blast-furnace slag into novel and sustainable cementitious binder for production of eco-friendly mortar, *Construct. Build. Mater.* 305 (2021) 124772.

- [11] J. Davidovits, Geopolymers: inorganic polymeric new materials, *J. Therm. Anal. Calorim.* 37 (8) (1991) 1633–1656.
- [12] P. Shoaee, H.R. Musaei, F. Mirlohi, S.N. Zamanabadi, F. Ameri, N. Bahrami, Waste ceramic powder-based geopolymer mortars: Effect of curing temperature and alkaline solution-to-binder ratio. *Construct. Build. Mater.* 227 (2019) 116686.
- [13] A. Heath, K. Paine, M. McManus, Minimising the global warming potential of clay based geopolymers. *J. Cleaner Prod.* 78 (2014) 75–83.
- [14] G.F. Huseien, J. Mirza, M. Ismail, S. Ghoshal, A.A. Hussein, Geopolymer mortars as sustainable repair material: A comprehensive review, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 80 (2017) 54–74.
- [15] G.F. Huseien, A.R.M. Sam, J. Mirza, M.M. Tahir, M.A. Asaad, M. Ismail, K.W. Shah, Waste ceramic powder incorporated alkali-activated mortars exposed to elevated temperatures: performance evaluation, *Construct. Build. Mater.* 187 (2018) 307–317.
- [16] G.F. Huseien, J. Mirza, M. Ismail, S. Ghoshal, M.A.M. Ariffin, Effect of metakaolin replaced granulated blast furnace slag on fresh and early strength properties of geopolymer mortar, *Ain Shams Eng. J.* 9 (4) (2018) 1557–1566.
- [17] M.M. Hossain, M.R. Karim, M.K. Hossain, M.N. Islam, M.F.M. Zain, Durability of mortar and concrete containing alkaliactivated binder with pozzolans: a review, *Constr. Build. Mater.* 93 (2015) 95–109.
- [18] L.K. Turner, F.G. Collins, Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: a comparison between geopolymer and OPC cement concrete, *Constr. Build. Mater.* 43 (2013) 125–130.
- [19] H. Wu, J. Zuo, G. Zillante, J. Wang, H. Yuan, Construction and demolition waste research: a bibliometric analysis, *Archit. Sci. Rev.* 62 (4) (2019) 354–365.
- [20] H. Wu, J. Zuo, H. Yuan, G. Zillante, J. Wang, A review of performance assessment methods for construction and demolition waste management, *Resour. Conserv. Recycl.* 150 (2019) 104407.
- [21] O. Mahmoodi, H. Siad, M. Lachemi, S. Dadsetan, M. Sahmaran, Development of ceramic tile waste geopolymer binders based on pre-targeted chemical ratios and ambient curing, *Constr. Build. Mater.* 258 (2020) 120297.
- [22] L. Reig, M.M. Tashima, L. Soriano, M. V. Borrachero, J. Monzó, J. Payá, Alkaline activation of ceramic waste materials, *Waste Biomass Valorization*, 4(4) (2013) 729–736.
- [23] O. Mahmoodi, H. Siad, M. Lachemi, S. Dadsetan, M. Sahmaran, M. Development of optimized binary ceramic tile and concrete wastes geopolymer binders for in-situ applications, *J. Build. Eng.* 43 (2021) 102906.

- [24] A.M. Tahwia, M. Abd Ellatief, A. M. Heneigel, M. Abd Elrahman, Characteristics of eco-friendly ultra-high-performance geopolymer concrete incorporating waste materials, *Ceram. Int.* 48 (14) (2022).
- [25] J. P. Mendes, F. Elyseu, L. J. J. Nieves, A. Zaccaron, A. M. Bernardin, E. Angioletto, Synthesis and characterization of geopolymers using clay ceramic waste as source of aluminosilicate, *Sustainable Mater.Technol.* 28(2021) e00264.
- [26] M. Lahoti, P. Narang, K.H. Tan, E.H. Yang, Mix design factors and strength prediction of metakaolin-based geopolymer, *Ceram. Int.* 43(14) (2017) 11433–11441.
- [27] W.C. Wang, H.Y. Wang, M.H. Lo, The engineering properties of alkali-activated slag pastes exposed to high temperatures, *Construct. Build. Mater.* 68 (2014) 409–41.
- [28] M. Kaur, J. Singh, M. Kaur, Synthesis of fly ash based geopolymer mortar considering different concentrations and combinations of alkaline activator solution, *Ceram. Int.* 44 (2) (2018) 1534-1537.
- [29] A.N. Hashim, K. Hussin, N. Begum, M.M.A.B. Abdullah, K.A. Razak, J.J. Ekaputri, Effect of sodium hydroxide (NaOH) concentration on compressive strength of alkali-activated slag (AAS) mortars, In *Appl. Mech. Mater.* 754 (2015) 300-304.
- [30] R. Xiao, Y. Ma, X. Jiang, M. Zhang, Y. Zhang, Y. Wang, B. Huang, Q. He, Strength, microstructure, efflorescence behavior and environmental impacts of waste glass geopolymers cured at ambient temperature, *J. Cleaner Prod.* 252 (2020) 119610.
- [31] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials.* McGraw-Hill Education. (2013).
- [32] Neville, A. M, *Properties of Concrete.* Pearson Education. (2011).
- [33] Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D, *Concrete.* Prentice Hall. (2003).
- [34] Malhotra, V. M., & Mehta, P. K, High-performance, high-volume fly ash concrete: A solution for sustainable development. *ACI Materials Journal*, 103(6) (2006) 397-404.
- [35] Garg, M., et al, Blast Furnace Slag in Cement and Concrete: A Review. *Construction and Building Materials*, 275, (2021) 122176.
- [36] Huang, L., et al, Utilization of Blast Furnace Slag as Cement Replacement Material: A Comprehensive Review. *Journal of Cleaner Production*, 244, (2020) 118673.
- [37] Kosmatka, S. H., et al, *Design and Control of Concrete Mixtures.* (2020).

- [38] Davidovits, J, Properties of geopolymer cements. First international conference on alkaline cements and concretes. (1994) 131-149.
- [39] Hardjito, D., & Rangan, B. V, Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete. Research report GC 1, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology. (2005).
- [40] Provis, J. L., & van Deventer, J. S, Geopolymers: Structures, processing, properties and industrial applications. Woodhead Publishing. (2014).
- [41] Temuujin, J., van Riessen, A., & Williams, R, Effect of mechanical activation of fly ash on the properties of geopolymer cured at ambient temperature. Journal of hazardous materials, 166(2-3), (2009) 561-566.
- [42] Provis, J. L., & van Deventer, J. S, Geopolymers: Structures, processing, properties and industrial applications. Woodhead Publishing. (2009).
- [43] Davidovits, J, Geopolymer chemistry and applications (4th ed.). Geopolymer Institute. (2008).
- [44] Al Bakri, A. M., Tawfik, M., & Sunar, N. M, A review of alkaline activation: new binder for sustainable cementitious materials. Journal of Cleaner Production, 197, (2018) 1596-1615.
- [45] Bernal, S. A., Provis, J. L., Brice, D. G., Kilcullen, A. R., & Duxson, P. (2012).
- [46] Tam, V. W. Y., et al, A Review on the Viable Technology for Construction Waste Recycling. Resources, Conservation and Recycling, 153, (2020) 104550.
- [47] Huang, J., & Lu, W, Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management in China. Journal of Cleaner Production, 244, (2020) 118736.
- [48] El-Moghazy, A. Y., et al, Greening Construction Industry through Construction and Demolition Waste Recycling: A Review. Journal of Cleaner Production, 254, (2020) 120161.
- [49] Chen, J., et al, Environmental and Economic Evaluation of Ceramic Tiles Produced with Mixed Recycled Ceramic Aggregates. Sustainability, 11(6) (2019) 1514.
- [50] Kocabaş, F., & Erdogmus, E, Utilization of waste ceramic tiles as aggregates in concrete. International Journal of Civil Engineering, 17(2) (2019).153-160.
- [51] Lo, T. Y., et al, Application of Ceramic Tile Waste for the Development of Sustainable Lightweight Concrete. Journal of Cleaner Production, 171, (2018) 695-702.
- [52] Mohajerani, A., & Dehghani-Sanij, A Ceramic Tile Wastes in Construction: A Review of Current Research and Development. Construction and Building Materials, 208, (2019) 99-114.

- [53] Provis, J. L., & Bernal, S. A, Geopolymers and Related Alkali-Activated Materials. *Annual Review of Materials Research*, 44, (2014) 299-327.
- [54] Palomo, A., et al, Alkali-Activated Cementitious Materials: Alternative Matrices. (2014).
- [55] Mindess, S., et al, Concrete Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill. (2003).
- [56] Goldstein, J. I., et al, Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Springer. (2017).
- [57] Reimer, L., & Kohl, H, Transmission Electron Micro. (2008).
- [58] Zhang, J., et al, Water, Hydration, and Health. *Nutrients*, 12(4) (2020)1059.
- [59] Ghaly, A. E., & Ramakrishnan, V. V, Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 107, (2012) 153-160.
- [60] Kundu, D., & Dalai, R. C, Magnetic water treatment: A critical review of recent advances, challenges, and applications. *Journal of Environmental Management*, 166, (2016) 527-544.
- [61] Vashisth, A., & Nagarajan, S, Effect on plant growth and grain yield of wheat (*Triticum aestivum*) and mung (*Vigna radiata*) using magnetic treated water. *Australian Journal of Crop Science*, 4(3), (2010) 222-227.
- [62] A.M. Rashad, M. Ezzat, A Preliminary study on the use of magnetic, Zamzam, and sea water as mixing water for alkali-activated slag pastes, *Construct. Build. Mater.* 207 (2019) 672-678.
- [63] S. Ghorbani, M. Gholizadeh, J. Brito, Effect of magnetized water on the mechanical and durability properties of concrete block pavers, *Materials*, 11(9) (2018).
- [64] N. Su, Y.H. Wu, C.Y.Mar, Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag, *Cem. Concr. Res.* 30(4) (2000) 599-605.
- [65] H. Wei, Y. Wang, J. Luo, Influence of magnetic water on early-age shrinkage cracking of concrete, *Construct. Build. Mater.* 147 (2017) 91-100.
- [66] O. Şimşek, H.Y.Aruntaş, İ. Demir, H. Yaprak, S. Yazıcıoğlu, Investigation of the effect of seawater and sulfate on the properties of cementitious composites containing silica fume. *Silicon*, 14(2) 663-675.
- [67] N. Su, C.F. Wu, Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash, *Cem. Concr. Compos.* 25 (7) (2003) 681–688.

- [68] S. Ghorbani, S. Ghorbani, Z. Tao, J. De Brito, M. Tavakkolizadeh, Effect of magnetized water on foam stability and compressive strength of foam concrete, *Constr. Build. Mater.* 197 (2019) 280–290.
- [69] P. Xiao-Feng, D. Bo, The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. *Physica B: Condensed Matter*, 403 (19-20) (2008) 3571-3577.
- [70] E. Esmailnezhad, H.J. Choi, M. Schaffie, M. Gholizadeh, M. Ranjbar, Characteristics and applications of magnetized water as a green technology, *J. Cleaner Prod.* 161 (2017) 908–912.
- [71] S. Ghorbani, M. Mohammadi-Khatami, S. Ghorbani, A. Elmi, M. Farzan, V. Soleimani, M. Negahban, V.W.Y. Tam, M. Tavakkolizadeh, Effect of magnetized water on the fresh, hardened and durability properties of mortar mixes with marble waste dust as partial replacement of cement, *Constr. Build. Mater.* 267 (2021) 121049.
- [72] M. Gökçe, K. Toklu, Ultra-low density foam concrete production using electrolyzed water, *J. Test. Eval.* 50(2) (2022).
- [73] H. Afshin, M. Gholizadeh, N. Khorshidi, Improving mechanical properties of high strength concrete by magnetic water technology, *Sci. Iran.* 17(1) (2010) 74-79.
- [74] M. Gholhaki, A. Kheyroddin, M. Hajforoush, M. Kazemi, An investigation on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete incorporating magnetic water with various pozzolanic materials, *Constr. Build. Mater.* 158 (2018) 173-180.
- [75] M. Sarkar, K. Dana, Partial replacement of metakaolin with red ceramic waste in geopolymer. *Ceram. Int.* 47(3) (2021) 3473–3483.
- [76] G.F. Huseien, A. R. M. Sam, K.W. Shah, M.A. Asaad, M.M. Tahir, J. Mirza, Properties of ceramic tile waste based alkali-activated mortars incorporating GBFS and fly ash, *Construct. Build. Mater.* 214 (2019) 355-368.
- [77] W.S. Barham, B. Albiss, O. Latayfeh, Influence of magnetic field treated water on the compressive strength and bond strength of concrete containing silica fume, *J. Build. Eng.* 33 (2021), 101544.
- [78] A.R. Esfahani, M. Reisi, B. Mohr, Magnetized water effect on compressive strength and dosage of superplasticizers and water in self-compacting concrete, *J. Mater. Civ. Eng.* 30(3) (2018) 04018008.
- [79] M. Gholizadeh, H. Arabshahi, The effect of magnetic water on strength parameters of concrete, *J. Eng. Technol. Res.* 3(3) (2011) 77-81.
- [80] TS EN 196-1, Methods of testing cement–Part 1: Determination of strength. Turkish Standard Institution, Ankara, 2016.

- [81] ASTM C989/C989M-18a, Standard specification for slag cement for use in concrete and mortars. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [82] TS EN 12350-5, Testing fresh concrete - Part 5: Flow table test. Turkish Standard Institution, Ankara, 2019.
- [83] ASTM C597-16, Standard test method for pulse velocity through concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- [84] İ.İ Atabey, O. Karahan, C. Bilim, C.D. Atis,, The influence of activator type and quantity on the transport properties of class F fly ash geopolymer, *Construct. Build. Mater.* 264 (2020) 120268.
- [85] S. Çelikten, B. Işıkdag, Properties of geopolymer mortars derived from ground calcined perlite and NaOH solution, *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* (2021) 1–15.
- [86] M. Bing-hui, H. Zhu, C. Xue-min, H. Yan, G. Si-yu, Effect of curing temperature on geopolymerization of metakaolin-based geopolymers, *Appl. Clay Sci.* 99 (2014) 144-148.
- [87] X. Guo, H. Shi, W.A. Dick, Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer, *Cem. Concr. Compos.* 32(2) (2010) 142–147.
- [88] Z.B. Öztürk, İ.İ. Atabey, Mechanical and microstructural characteristics of geopolymer mortars at high temperatures produced with ceramic sanitaryware waste, *Ceram. Int.* 48(9) (2022) 12932-12944.
- [89] M.M.C. Nasvi, R.P. Gamage, S. Jay, Geopolymer as well cement and the variation of its mechanical behavior with curing temperature, *Greenhouse Gases: Sci. Technol.* 2(1) (2012) 46–58.
- [90] R. Saxena, T. Gupta, Assessment of mechanical, durability and microstructural properties of geopolymer concrete containing ceramic tile waste, *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 24 (2022) 725–742.
- [91] G.F. Huseien, M. Ismail, M.M. Tahir, J. Mirza, N.H.A. Khalid, M.A. Asaad, A.A. Husein, N.N. Sarbini, Synergism between palm oil fuel ash and slag: Production of environmental-friendly alkali activated mortars with enhanced properties, *Constr. Build. Mater.* 170 (2018), 235-244.
- [92] A. Karimipour, M. Edalati, J. de Brito, Influence of magnetized water and water/cement ratio on the properties of untreated coal fine aggregates concrete, *Cem. Concr. Compos.* 122 (2021) 104121.
- [93] B.E. Jouzdani, M. Reisi, Effect of magnetized water characteristics on fresh and hardened properties of self-compacting concrete, *Constr. Build. Mater.* 242 (2020) 118196.
- [94] B.S.K. Reddy, V.G. Ghorpade, H.S. Rao, Influence of magnetic water on strength properties of concrete, *Indian J. Sci. Technol.* 7(1) (2014) 14-18.

- [95] T.I.M. Abdel-Magid, R.M. Hamdan, A.A.B. Abdelgader, M.E.A. Omer, N.M.R.A. Ahmed, Effect of magnetized water on workability and compressive strength of concrete, *Procedia Eng.* 193(2017) 494-500.
- [96] S.A. Mangi, M.S. Raza, S.H. Khahro, A.S. Qureshi, R. Kumar, Recycling of ceramic tiles waste and marble waste in sustainable production of concrete: a review, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 (2022), 1-22.
- [97] M. Narmatha, P. Arulraj, J.A. Bari, Effect of magnetic water treatment for mixing and curing on structural concrete, *Mater. Today: Proc.* 37,(2) (2021) 671-676.
- [98] H. Salehi, M. Mazloom, An experimental investigation on fracture parameters and brittleness of self-compacting lightweight concrete containing magnetic field treated water, *Arch. Civ. Mech. Eng.* 19(3) (2019) 803-819.
- [99] K. Xu, W. Huang, L. Zhang, S. Fu, M. Chen, S. Ding, B. Han, Mechanical properties of low-carbon ultrahigh-performance concrete with ceramic tile waste powder, *Constr. Build. Mater.* 287 (2021) 123036.
- [100] A. Heidari, D. Tavakoli, A study of the mechanical properties of ground ceramic powder concrete incorporating nano-SiO₂ particles, *Constr. Build. Mater.* 38 (2013) 255-264.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Khaled Mahdi Mahdi Musleh AL-Qudaih
Doğum Tarihi :
Diller : İngilizce, Türkçe, Arapça ve Hintçe
Eğitim Durumu : Visvesvaraya Teknik Üniversitesi 2019, Hindistan
Lisans : Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

2018-2019 Visakh Homes Limited Stajyer, Hindistan

2018 Tarihinden Beri Smart Business şirketi, Yönetim Kurulu Üyesi (Yapı Mühendisi), Yemen.

2019 Tarihinden Beri Rendat şirketi, Yönetim Kurulu Üyesi, Çin.

Yayınları :

1) Khaled Mahdi AL-Qudaih, Prathibha Reddy T, Vinutha S., “Seismic and Wind Analysis of RCC Building with and without Shear Wall”, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT), Volume 9, Issue 12, (2021).

2) Khaled Mahdi AL-QUDAIH, Özer SEVİM., “CONSTRUCTION TECHNOLOGY BY ROBOTICS and 3D PRINTING”, TURAN-CSR International Scientific, Peer-Reviewed & Refereed Journal, Volume 14, Issue 55, Pages 77-86, (2022).

3) Khaled Mahdi AL-Qudaih, Özer Sevim., “Mechanical properties of slag-based geopolymers”, 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Issue 1, Pages 1255-1259, (2022).

Araştırma Alanları : Yapı Mühendisliği, Yapı Malzemeleri, İnşaat Teknolojisi.