

**FARKLI TİPTE AGREGA KULLANIMININ GEOPOLİMER HARÇLARIN
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

Ahmet İNAL

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Malzemesi Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Evren ARIÖZ)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Eylül 2022

Bu tez çalışması BAP Komisyonu tarafından kabul edilen 22ADP073 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ahmet İNAL'ın FARKLI TİPTE AGREGA KULLANIMININ GEOPOLİMER HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ başlıklı çalışması 05/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER

Üye : Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

Üye : Doç. Dr. Burak IŞIKDAĞ

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Ahmet İNAL, FARKLI TİPTE AGREGA KULLANIMININ GEOPOLİMER HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER

ÖZET

FARKLI TİPTE AGREGA KULLANIMININ GEOPOLİMER HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Ahmet İNAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Malzemesi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eylül 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Evren ARIÖZ)

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip agregaların kullanımının geopolimer harç üzerindeki basınç ve eğilme dayanımına etkisi ortaya konulmuştur. CEN standart kum, sinter manyezit, kiremit tozu agregası ve genleştirilmiş perlit kullanılarak elde edilen karışımlar 40 ve 70°C kür sıcaklığına maruz bırakılmıştır. Aynı zamanda iki farklı yayılma çapıyla (15 ve 21 cm) elde edilen karışımlar, içerisindeki su miktarının dayanıma etkisini de belirleme imkânı tanımıştır. Bu çap, yayılma tablası deneyiyle her numune için ölçülmüştür. Agregaların karışım içerisindeki su ihtiyaçları birbirinden farklı olduğundan dolayı karışımlara eklenen su miktarları değişkenlik göstermiştir. 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanım değerleri, bu değerler üzerindeki su miktarının ve kür sıcaklık derecesinin etkisi araştırılmıştır. SEM görüntüleriyle mikro yapıdaki değişimler dayanım sonuçlarıyla ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, su miktarının artışının her iki dayanım testi sonuçlarını da düşürdüğü ortaya konulmuştur. 7 ve 28 günlük en yüksek eğilme ve basınç dayanım testi sonucunu ise 15 cm yayılma çapına sahip ve 70°C’de kürlenmiş kum agregası ile hazırlanmış geopolimer harç karışımından elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Geopolimer Harç, Uçucu Kül, Sodyum Silikat, Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı

ABSTRACT

THE EFFECT OF USING DIFFERENT TYPES OF AGGREGATES ON THE PROPERTIES OF GEOPOLYMER MORTARS

Ahmet İNAL

Department of Civil Engineering

Programme in Construction Materials

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, September 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Derya ÖVER

(Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Evren ARIÖZ)

In this study, the effect of the use of aggregates with different properties on the compressive and flexural strength of the geopolymer mortar was revealed. Mixtures obtained by using CEN standard sand, sinter magnesite aggregate, bricks powder aggregate and expanded perlite aggregate were exposed to curing temperatures of 40 and 70°C. At the same time, the mixtures obtained with two different flow diameters (15 and 21 cm) allowed for determining the effect of the amount of water on the strength. This diameter was measured for each sample by the flow table test. Since the water needs of the aggregates in the mixture are different from each other, the amount of water added to the mixtures varied. The flexural and compressive strength values of 7 and 28 days, the effect of water amount, and curing temperature on these values were investigated. The changes in the microstructure with SEM images were tried to be correlated with the strength results. The research has shown that the increase in the amount of water reduces the results of both (compressive and flexural strengths) strength tests. The highest flexural and compressive strength test results of 7 and 28 days were obtained from the geopolymer mortar mixture prepared with sand aggregate with a flow diameter of 15 cm and cured at 70°C.

Keywords: Geopolymer Mortar, Fly Ash, Sodium Silicate, Compressive Strength, Flexural Strength

TEŞEKKÜR

Yol arkadaşım Umut için...

Hayatım boyunca sonsuz sevgisi, merhameti ve benim için elinden gelenin en iyisini yapma çabası asla azalmadığı için, her koşulda beni değerli hissettirdiği ve maddi, manevi yanımda olduğu için annem Meral İNAL'a sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunmak isterim.

Yüksek lisans eğitimim süresince duruşuyla, bakış açısıyla, verdiği ilhamla yolumu aydınlatan, elinden gelen desteği benden esirgemeyen sayın danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Derya ÖVER'e tüm kalbimle ve samimiyetimle teşekkür ederim.

Uzun zamandır hayatıma olan katkılarından, sabrından ve desteğinden dolayı Metalurji ve Malzeme Mühendisi Şeymanur BOZ'a, dostluğu, anlayışı ve hayatımı kolaylaştırma gayreti için Mimar Sevdenur YETİŞEN'e, dostlukları ve koşulsuz destekleri için Emine İCİ ve Tuba ÖZCAN GÜLEN'e, cesaretin ve değişme gücünün tüm olumlu yanlarını sıklıkla bana hatırlatan ve şefkatini benden esirgemeyen İnşaat Mühendisi Nujiyan DOĞAN'a çok teşekkür ederim.

Zor zamanlarımda yanımda oldukları, samimiyetleri ve dostlukları için Fatima HAFİZOVIĆ, Kristina DORDEVİĆ, Jovan PROJEVIĆ ve Aleyna KÜTÜK'e çok teşekkür ederim.

Bilgi birikimini benimle paylaşmaktan çekinmeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Evren ARIÖZ'e ve mikroyapı görüntülerinin alınmasındaki desteklerinden dolayı Doç. Dr. Erhan AYAS'a çok teşekkür ederim.

Deneylerim süresince benimle laboratuvar sürecini geçiren Ahmet Kaan KÖKSAL'a, Mert COŞKUN'a ve Ömer Emre ÇİL'e emekleri için teşekkür ederim.

Ahmet İNAL

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ahmet İNAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Geopolimerin Gelişimi.....	1
1.2. Literatür İncelemesi.....	2
1.2.1. Uçucu kül.....	2
1.2.2. Alkali solüsyonlar	3
1.2.3. Geopolimerizasyon	4
1.2.4. Geopolimer harç içerisinde farklı agregaların kullanımları.....	6
2. MATERYAL VE METOT.....	10
2.1. Kullanılan Malzemeler	10
2.1.1. Kullanılan uçucu külün özellikleri.....	10
2.1.2. Kullanılan kumun özellikleri.....	10
2.1.3. Kullanılan sodyum silikatın özellikleri.....	11
2.1.4. Kullanılan sinter manyezitin özellikleri	11
2.1.5. Kullanılan kiremit tozunun özellikleri	13
2.1.6. Kullanılan genleştirilmiş perlitin özellikleri	13
2.2. DeneySEL Prosedür	14

2.2.1. Numunelerin hazırlanması	14
2.2.2. Eğilme dayanımı deneyi.....	22
2.2.3. Basınç dayanımı deneyi.....	23
2.2.4. Mikro yapı (SEM) analizleri	24
3. SONUÇLAR.....	25
3.1. Eğilme Dayanımı Testi Sonuçları	25
3.1.1. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	25
3.1.2. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	25
3.1.3. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	25
3.1.4. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	26
3.1.5. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	27
3.1.6. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	27
3.1.7. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	28
3.1.8. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28	
günlük eğilme dayanımı testi sonuçları	29
3.2. Basınç Dayanımı Testi Sonuçları.....	30
3.2.1. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7	
günlük basınç dayanımı testi sonuçları	30
3.2.2. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28	
günlük basınç dayanımı testi sonuçları	30
3.2.3. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7	
günlük basınç dayanımı testi sonuçları	31
3.2.4. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28	
günlük basınç dayanımı testi sonuçları	32

3.2.5. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük basınç dayanımı testi sonuçları	32
3.2.6. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları	32
3.2.7. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük basınç dayanımı testi sonuçları	33
3.2.8. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları	34
3.3. Sıcaklık Etkisi	35
3.3.1. 21cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi.....	35
3.3.2. 21cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi.....	37
3.3.3. 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi.....	39
3.3.4. 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi.....	42
3.4. Beton Yaşı Etkisi	45
3.4.1. 21 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi.....	45
3.4.2. 21 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi.....	47
3.4.3. 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi.....	50
3.4.4. 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi.....	52
3.5. Yayılma �apı (İşlenebilirlik) Etkisi.....	54
3.5.1. 70°C’de kürlenmiş numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi	54
3.5.2. 70°C’de kürlenmiş numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi	57
3.5.3. 40°C’de kürlenmiş numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi	59

3.5.4. 40°C’de kürlenmiş numunelerin 28 günlük eēilme ve basınē dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi	61
3.6. Eēilme Dayanımı zerinden Kr Sıcaklıēı ve Su Miktarı Etkisi	63
3.7. Basınē Dayanımı zerinden Kr Sıcaklıēı ve Su Miktarı Etkisi.....	66
3.8. Mikro Yapı (SEM) Analizi Sonuēları (SEM Görüntüleri).....	69
3.8.1. 21 cm yayılma ēapına sahip numunelerin mikro yapı görüntüleri.....	69
3.8.2. 15 cm yayılma ēapına sahip numunelerin mikro yapı görüntüleri.....	73
4. TARTIşMA/ÖNERİLER	77
KAYNAKēA.....	79
ZGEēMİř	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Bazı uçucu kül bileşenlerinin yoğunlukları	2
Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan sinter manyezitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	12
Tablo 2.2. Numuneler için gerekli karışım miktarları.....	15
Tablo 2.3. Her bir agrega tipi için gerekli su miktarları.....	15
Tablo 2.4. Hazırlanan tüm karışımların agrega tipi, su miktarı ve kür derecesi bilgileri.....	22
Tablo 3.1. Numunelerin kodları	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Davidovits Geopolimer Yapı Modeli	4
Şekil 1.2. Geopolimerleşme Modeli (Zhang, Zhu, Zhou, & Wang, 2016).....	5



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Deneylerde kullanılan uçucu kül	10
Görsel 2.2. Deneylerde kullanılan uçucu külün XRD analizi sonuçları	10
Görsel 2.3. Deneylerde kullanılan CEN standart kumu	11
Görsel 2.4. Deneylerde kullanılan sodyum silikat	11
Görsel 2.5. Deneylerde kullanılan sinter manyezit	12
Görsel 2.6. Deneylerde kullanılan kiremit tozu	13
Görsel 2.7. Deneylerde kullanılan genişletilmiş perlit	13
Görsel 2.8. Deneylerde kullanılan genişletilmiş perlitin XRD analizi sonuçları.....	14
Görsel 2.9. Deneylerde kullanılan prizma kalıp.....	15
Görsel 2.10. UTEST marka 5 litre kapasiteli otomatik karıştırıcı	16
Görsel 2.11. Yayılma tablası deney seti.....	17
Görsel 2.12. Araştırma için kullanılan sıkıştırma cihazı.....	17
Görsel 2.13. 90 gram su ile hazırlanmış kum agregası içeren geopolimer harç numuneleri	18
Görsel 2.14. 41,25 gram su ile hazırlanmış kum agregası içeren geopolimer harç numuneleri	18
Görsel 2.15. 90 gram su ile hazırlanmış sinter manyezit agregası içeren geopolimer harç numuneleri.....	19
Görsel 2.16. 41,25 gram su ile hazırlanmış sinter manyezit agregası içeren geopolimer harç numuneleri.....	19
Görsel 2.17. 185 gram su ile hazırlanmış kiremit tozu agregası içeren geopolimer harç numuneleri	20
Görsel 2.18. 130 gram su ile hazırlanmış kiremit tozu agregası içeren geopolimer harç numuneleri	20
Görsel 2.19. 175 gram su ile hazırlanmış genişletilmiş perit agregası içeren geopolimer harç numuneleri.....	21
Görsel 2.20. 100 gram su ile hazırlanmış genişletilmiş perit agregası içeren geopolimer harç numuneleri.....	21

Görsel 2.21. Eğilme dayanım deneyi yapılması.....	23
Görsel 2.22. Basınç dayanım deneyi yapılması	24
Görsel 3.1. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	25
Görsel 3.2. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	26
Görsel 3.3. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	26
Görsel 3.4. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	27
Görsel 3.5. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	28
Görsel 3.6. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	28
Görsel 3.7. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	29
Görsel 3.8. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	29
Görsel 3.9. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	30
Görsel 3.10. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	31
Görsel 3.11. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	31
Görsel 3.12. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	32
Görsel 3.13. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	33
Görsel 3.14. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	33
Görsel 3.15. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	34
Görsel 3.16. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	34

Görsel 3.17. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	35
Görsel 3.18. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	36
Görsel 3.19. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	37
Görsel 3.20. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	37
Görsel 3.21. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	38
Görsel 3.22. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	38
Görsel 3.23. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	39
Görsel 3.24. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	40
Görsel 3.25. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	41
Görsel 3.26. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	41
Görsel 3.27. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	42
Görsel 3.28. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	42
Görsel 3.29. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	43
Görsel 3.30. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	44
Görsel 3.31. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	44
Görsel 3.32. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	45
Görsel 3.33. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	46

Görsel 3.34. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	46
Görsel 3.35. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	47
Görsel 3.36. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	47
Görsel 3.37. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	48
Görsel 3.38. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	48
Görsel 3.39. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	49
Görsel 3.40. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	49
Görsel 3.41. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	50
Görsel 3.42. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	51
Görsel 3.43. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	51
Görsel 3.44. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	52
Görsel 3.45. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	52
Görsel 3.46. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	53
Görsel 3.47. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	53
Görsel 3.48. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri	54
Görsel 3.49. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	55
Görsel 3.50. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	55

Görsel 3.51. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	56
Görsel 3.52. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	56
Görsel 3.53. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	57
Görsel 3.54. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	57
Görsel 3.55. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	58
Görsel 3.56. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	58
Görsel 3.57. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	59
Görsel 3.58. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	60
Görsel 3.59. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	60
Görsel 3.60. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	61
Görsel 3.61. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	61
Görsel 3.62. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri	62
Görsel 3.63. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	62
Görsel 3.64. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	63
Görsel 3.65. Numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları.....	65
Görsel 3.66. Numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları	66
Görsel 3.67. Numunelerin 7 günlük basınç dayanımları.....	67
Görsel 3.68. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....	68

- Görsel 3.69.** 21 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş, kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)200x büyütme altında 69
- Görsel 3.70.** 21 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş, kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)3000x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında 70
- Görsel 3.71.** 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C’de kürlenmiş, sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)100x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında 70
- Görsel 3.72.** 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 70°C’de kürlenmiş, sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)1000x büyütme altında c)5000x büyütme altında d)1500x büyütme altında 71
- Görsel 3.73.** 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)5000x büyütme altında 71
- Görsel 3.74.** 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 70°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)3000x büyütme altında b)200x büyütme altında c) 1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında 72
- Görsel 3.75.** 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C’de kürlenmiş, genişleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında 72
- Görsel 3.76.** 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 70°C’de kürlenmiş, genişleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)1000x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında 73
- Görsel 3.77.** 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş, kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında 73
- Görsel 3.78.** 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında 74
- Görsel 3.79.** 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında 74

- Görsel 3.80.** 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında 74
- Görsel 3.81.** 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında 75
- Görsel 3.82.** 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında 75
- Görsel 3.83.** 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş, genişleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)100x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında 75
- Görsel 3.84.** 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş, genişleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında 76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
g	: Gram
°C	: Derece Celsius
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
XRD	: X-Ray Diffraction Analysis (X-Işınları Difraktometresi)
EDS	: Energy Dispersive Spectrometry (Enerji Dispersiv Spektrum)
FT-IR	: Fourier-Transform İnfrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
RS	: River Sand (Nehir Kumu)
RGFA	: Recycled Geopolymer Fine Aggregate (Geri Dönüştürülmüş Geopolimer İnce Agregası)
MPa	: Megapaskal
NRS	: Natural River Sand (Doğal Nehir Kumu)
GFS	: Geopolymer Fly Ash Sand (Geopolimer Uçucu Kül Kumu)
CEN	: European Committee for Standardization (Avrupa Standartlar Komitesi)
Lt	: Litre
S	: Deneylerde Kullanılan Kum Agregası Kodu
SM	: Deneylerde Kullanılan Sinter Manyezit Agregası Kodu
BP	: Deneylerde Kullanılan Kiremit Tozu Agregası Kodu
EP	: Deneylerde Kullanılan Genleştirilmiş Perlit Agregası Kodu
W1	: 15 cm Yayılma Çapı Veren Su Miktarı W1
W2	: 21 cm Yayılma Çapı Veren Su Miktarı W2

1. GİRİŞ

1.1. Geopolimerin Gelişimi

İnşaat sektöründeki en popüler malzeme hiç şüphesiz çimentodur. Çimento ve çimentolu yapılar, yapı ve inşaat dünyasında önemli bir yer kaplamaktadır. Çimento, kil ve kalkerin yüksek sıcaklıklarda pişirilme ve öğütülme işlemleri sonrasında çimento tipine göre gereken katkı maddelerinin eklenmesiyle oluşan, inorganik, hidrolik bir bağlayıcı malzemedir. Şu an Türk Çimento Sanayicileri Birliği'ne (TÜRKÇİMENTO) üye olarak bağlı 73 fabrika mevcuttur (Türk Çimento Sanayicileri Birliği(TÜRKÇİMENTO), 2022). Yine TÜRKÇİMENTO 2020 verilerine göre ülkemizde yaklaşık olarak 145 bin ton çimento üretim kapasitesi ve 94 bin ton klinker üretim kapasitesi mevcuttur (Türk Çimento Sanayicileri Birliği(TÜRKÇİMENTO), 2022).

Çimentonun bu kadar popüler olmasının yanı sıra çevreyi tehdit eden önemli dezavantajları da vardır. Çimento, üretim aşamaları itibariyle maliyetli ve yüksek enerji tüketimi içermektedir. Ayrıca CO₂ yayılımı açısından dünyadaki toplam miktarın yaklaşık %7'sinin çimentonun üretiminden kaynaklandığı bilinmektedir (Binici, Eken, & Aksoğan, 2012). Bu etkilerin azaltılması ve daha çevreci bir yaklaşımın benimsenmesi için yeni malzeme arayışları devam etmektedir.

Geopolimerin ortaya çıkması çimentolu sistemlerin yerine arayışı süren yeni malzeme çalışmaları için umut verici olmuştur. Geopolimer kavramı ilk olarak 1978 yılında Joseph Davidovits tarafından ortaya konulmuştur. Uçucu kül, pirinç kabuğu külü gibi alümina ve silika kaynaklı yan ürünlerin sodyum silikat, sodyum hidroksit ya da her ikisinin karışımı gibi alkali sıvılarla beraber polimerik bir reaksiyon üretebileceğini öne sürmüştür (Davidovits, Chemistry of geopolymeric systems, terminology., 1999).

Geopolimerlerin, yüksek basınç dayanımı, düşük büzülme, iyi asit dayanımı, uzun süre işlenebilir oluşu gibi avantajları yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Hardjito & Rangan, 2005).

Geopolimer harç şeklinde çalışılması planlandığında bu durum için alternatif agregaların geopolimerizasyon içerisinde nasıl çalışacağı üzerinde durulmuştur. Bu çalışma temel olarak alternatif agrega olarak değerlendirilen kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlit ile hazırlanmış karışımların 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerinde durulmuştur. Ayrıca işlenebilirliğin etkisini ve etüv sıcaklığı etkisinin ortaya konulması için her karışım için iki ayrı yayılma çapı ve iki ayrı etüv

sıcaklığı belirlenmiştir. Sonuç olarak dört farklı harç karışımı üzerine üç temel etki incelenmiştir. Bunlar etüv sıcaklığı etkisi, yayılma çapı etkisi ve harç karışım yaşı etkisidir.

1.2. Literatür İncelemesi

1.2.1. Uçucu kül

Kömürün termik santrallerde 1100 – 1600 °C’lerde yanmasından sonra bazı atıklar oluşur. Bu atıkların %80 – 90’ı baca gazları ile taşınır. Bu atıkların bir kısmı bacadan salınır bir kısmı ise elektrostatik çöktürücü veya mekanik filtre gibi cihazlar yardımıyla tutulur. Tutulan bu atıklar uçucu kül olarak tanımlanmaktadır. (Şengül, 2007)

Koyu gri renge sahip, oldukça ince formda olan uçucu külün rengi elde edildiği kömüre ve kömürün yanma özelliklerine bağlıdır. İyi bir yanma sonucu elde edilen uçucu küller açık renktedir ve uçucu küle siyah rengini veren yanmamış karbondur. İnceliğinin bağlı olduğu koşullardan biri yanmak üzere seçilen kömürün öğütülme derecesi olup diğer etken ise bacalarda tutulan uçucu kül miktarıdır. Bacalardan kaçmasına izin verilmeyen kül miktarı arttıkça incelikte artar. Çoğunlukla küresel ve camsı formda karşılaşılan uçucu külün boyutları 0.5 ile 200 mikron arasındadır (Güler, Güler, İpekoğlu, & Mordoğan, 2005).

Uçucu külün yoğunluğu kimyasal bileşenlerin oranına ve porozitesine bağlıdır. Uçucu külün yoğunluğu 1.3 g/cm³ ile 4.8 g/cm³ arasındadır. Uçucu külün bazı bileşenlerinin yoğunlukları Tablo 1.1.’de verilmiştir (Gikunoo, 2004).

Tablo 1.1. Bazı uçucu kül bileşenlerinin yoğunlukları

Bileşenler	Yoğunluk g/cm ³
SiO ₂	2.65
Al ₂ O ₃	3.4-3.6
CaO	3.3-3.4
Fe ₂ O ₃	5.3-5.4
Al ₆ Si ₂ O ₁₃	2.8-3.0
Fe ₃ O ₄	5.1-5.2
Kömür	0.64-0.93

Puzolan, kendi başına bağlayıcılık özelliği olmayan ya da çok az olan, uygun içeriğe sahip su ve normal ortam sıcaklığında kireç ile kimyasal reaksiyona girip bağlayıcılık özelliğine sahip ürünler meydana getiren, ince ve toz halindeki alüminli ve/veya silisli maddelere denilmektedir. Uçucu kül bu tanım doğrultusunda yapay puzolanik bir malzeme sayılmaktadır. (Alkaya, 2002)

ASTM C618'e göre uçucu küller C sınıfı ve F sınıfı olarak ikiye ayrılmaktadır. F sınıfı uçucu küller puzolanik uçucu küller olarak tanımlanıp içerisindeki CaO oranı yüzdesi 18'in altındadır. C sınıfı uçucu küllerde ise CaO oranı yüzdesi 18'in üstünde olup yüksek kireçli uçucu kül olarak tanımlanırlar. Her iki tip uçucu kül içinde toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'nin üzerindedir. (Suraneni, Shearer, Hooton, & Burris, 2021)

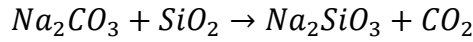
Taze beton içerisinde uçucu kül kullanımının etkileri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Uçucu külün taze beton içerisindeki etkisi taze betonun özelliklerine, çimentonun türü ve miktarına, su içeriğine, agrega dağılımına, kimyasal katkıların türü ve miktarı gibi birçok parametreye bağlıdır. Yüksek inceliğe ve düşük karbon içeriğine sahip kaliteli uçucu kül kullanımı betonun su ihtiyacını azaltır. Bu etki aynı zamanda uçucu külün kullanım oranına da bağlıdır. Genel olarak uçucu külün su ihtiyacını azaltma etkisi olduğundan betonda terlemeyi neredeyse tamamen ortadan kaldırabilir. Bu şekilde kullanıldığında rötre çatlamlarının meydana gelme olasılığı olduğundan dikkatli olunmalıdır. Portland çimentosu ile F sınıfı uçucu külün ikamesi ve su/çimento oranının sabit tutulması sonucunda, ikame oranı arttıkça erken yaş mukavemetinin azaldığı ancak uçucu kül ile ikamenin uzun süreçte iyileşme sağlayacağı ortaya konulmuştur (Thomas, 2007).

1.2.2. Alkali solüsyonlar

Geopolimerizasyon reaksiyonu için gerekli olan diğer malzeme alkali solüsyonlardır. Toz haldeki puzolanik malzemeler alkali solüsyonlarla (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, sodyum silikat gibi) beraber geopolimer karışımları oluştururlar.

Yüksek fırın cürufunun portland çimentosu karşısındaki performansını ve aynı zamanda farklı alkaliler ile etkileşiminin mukavemete olan gelişimini incelemek için bazı araştırmalar yapılmıştır. Portland çimentosu ile hazırlanan karışımın yanında, yüksek fırın cürufunu sodyum silikat, potasyum hidroksit ve sodyum karbonat ile ayrı ayrı aktive ederek basınç mukavemetleri değerlendirilmiştir. Sodyum silikat ile hazırlanmış karışım portland çimentosuyla hazırlanan karışımdan fazla dayanım sergileyerek en yüksek mukavemet değerini vermiştir. Sodyum karbonat ile hazırlanmış karışım erken yaşlarda portland çimentosu karışımı kadar yüksek bir dayanım gösteremez fakat sonraki yaşlarda portland çimentosuyla hazırlanmış karışıma eşdeğer bir dayanım kazanmıştır. Sodyum hidroksit ile hazırlanmış karışım ise en düşük dayanımı sergilemiştir. (Shi & Qian, 2000)

Sodyum silikat, $Na_2(SiO_2)_nO$ genel formülüne sahip kimyasal bileşiklerin ortak adıdır. Takımın en bilinen üyesi Na_2SiO_3 formülüne sahip olan sodyum metasilikat'tır. Su camı, sıvı cam gibi farklı adlandırmalara da sahip bu malzemeler sulu çözelti veya bir katı içerisinde kullanılabilir. Beyaz renge veya renksiz olan saf bileşimler ancak ticari örnekleri demir-ihativa eden yabancı maddelerin varlığı nedeniyle genellikle yeşilimsi veya mavidir. Sodyum karbonat ve silikon dioksit'in eriyip tepkimeye girmesiyle sodyum silikat ve karbon dioksit oluşur.



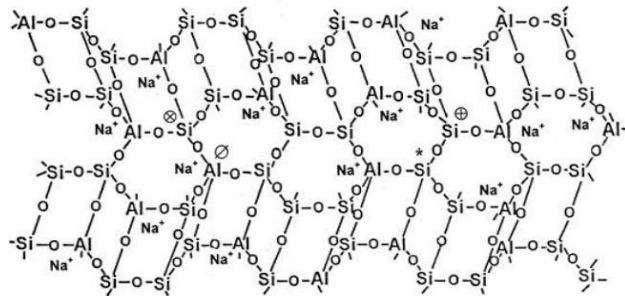
Bu bileşikler çimentolarda, pasif yangın korumada, tekstilde, kereste işlemede, refrakter malzemelerde, otomobillerde ve diğer çeşitli alanlarda kullanılır (Wikipedia, 2022).

1.2.3. Geopolimerizasyon

Geopolimerler, $100^\circ C$ 'nin altı gibi düşük sıcaklıklarda üretilen, kovalent bağlarla bağlı moleküllerin zincirlerinden oluşan, seramik benzeri inorganik polimerlerdir. Geopolimerleşme süreci içerisinde aşağıdaki molekül gruplarını içerirler (Davidovits, Polymers and Geopolymers, 2008).

- Si-O-Si-O- siloxo, poly(siloxo),
- Si-O-Al-O- sialate, poly(sialate),
- Si-O-Al-O-Si-O- sialate-siloxo, poly(sialate-siloxo),
- Si-O-Al-O-Si-O-Si-O- sialate-disiloxo, poly(sialate-disiloxo),
- (R)-Si-O-Si-O-(R) organo-siloxo, poly-silicone,
- Al-O-P-O- alumino-phospho, poly(alumino-phospho),
- Fe-O-Si-O-Al-O-Si-O- ferro-sialate, poly(ferro-sialate).

Davidovits geopolimer tepkimesi (metakaolinin alkali aktivasyonu) sonucu oluşan zincir yapısını Şekil 1.1.'de gösterildiği şekilde modellemiştir (OLAWALE , 2013).



Şekil 1.1. Davidovits Geopolimer Yapı Modeli

Geopolimerleşme sürecinin detaylarıyla alakalı her şey henüz anlaşılır olmadığından dolayı çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Alkali aktivatör tipi (NaOH, KOH, Na_2SiO_3 , K_2SiO_3) ve konsantrasyonunun etkileri incelenmiş ve geopolimerizasyon sürecinin şematik bir modeli oluşturulmuştur. Şekil 1.2’de geopolimerleşme modeli gösterilmiştir. Metakaolin partiküllerinin çözünmesi, çözünmüş alümina silikat türlerinin (çoğunlukla Al-O-Si oligomerlerine) ilk polimerizasyonu, ve daha sonra ya büyük amorf jellere polimerize olması ya da doğrudan kristal yapıya dönüşmesini içerir. (Zhang, Zhu, Zhou, & Wang, 2016) (Yao, Zhang, Zhu, & Chen, 2009)



Şekil 1.2. Geopolimerleşme Modeli (Zhang, Zhu, Zhou, & Wang, 2016)

Geopolimerleşme aşamaları basitleştirilmiş olarak üç aşama ile açıklanabilir. Bu aşamalar hammaddelerin aktivasyonunu değiştirmek için uygulanan öğütme, ısıtma işlemi gibi adımları, aşamaları basitleştirmek adına göstermediğine dikkat edilmelidir.

1. Alüminosilikat katısının çözünmesi: Yüksek pH derecesine sahip alkali çözeltiler içerisinde, puzolanik katılar içerisindeki alüminosilikatlar çözünür. Silikat, alüminat ve alüminosilikat yapıları oluşur.
2. Jel oluşumu: Sulu faz tarafında, çözünme ile salınmış türler tutulur. Bu aşırı doymuş alüminosilikat çözeltisi, oligomerleri uzun zincirler ve büyük ağlar meydana getirdiğinden jel yapısı oluşur. (Yoğunlaştırma yoluyla.) Bu aşamada gözeneklerdeki su serbest bırakılır.

3. Polikondensasyon: Üç boyutlu alüminosilikat ağı, jel parçalarının yeniden düzenlenmeye devam etmesiyle meydana gelen büyük zincir yapı sonucu oluşur (Duxson, ve diğerleri, 2006) (Soutsos, Boyle, Vinai, Hadjierakleous, & Barnett, 2016).

Ryu ve arkadaşlarının (2013) yapmış olduğu bir çalışma alkali aktivatörlerin kimyasal değişimlerinin geopolimer harç üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. SEM, EDS, XRD, FT-IR ve porozite değerlendirmeleri kullanılarak alkali aktivatörlerin daha yüksek molaritesinin erken dayanım üzerinde daha etkili sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. SEM ve EDS analizleri harç yapısı için önemli bileşenlerin Al ve Si bileşenleri olduğunu göstermiştir. Ayrıca literatürdeki birçok araştırmaya paralel olarak geopolimer betonun basınç dayanımının 60°C'yi aşan sıcaklıklarda elde edileceğini desteklemişlerdir. (Ryu, Lee, Koh, & Chung, 2013)

Araştırmalar, geopolimer bağlayıcıları için kür sıcaklığı ve süresinin mekanik gelişimi önemli derecede etkilediğini göstermiştir. 50-80°C arasındaki sıcaklıklar başarılı geopolimer hidrasyonu için yaygın olarak kabul edilen bir aralıktır. Hem kürleme sıcaklığı hem de kürleme süresi geopolimer numunelerin nihai dayanımını doğrudan etkiler. Sıcaklığın ve reaksiyon süresinin artmasının geopolimerizasyonu olumlu yönde etkilediği belirtilse de benzer bazı araştırmalar bu faktörlerin sadece erken dayanım için iyileştirme olduğunu göstermiştir. İlerleyen yaşlarda kürleme sıcaklığı artışı olumsuz etki yaparak nihai dayanımda azalmaya sebep olur. Açıklamanın temeli reaksiyon ürününün başlangıçtaki ağır oluşumunda ve ardından alkali eklenmesiyle malzemenin yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ürünü zamanla azalır ve artan sıcaklıklar yalnızca matris içinde önceden oluşturulmuş alüminosilikat jellerin bozulmasına hizmet eder ve böylece genel yapı zayıflar (Petermann, Saeed, & Hammons, 2010).

1.2.4. Geopolimer harç içerisinde farklı agregaların kullanımları

Agrega beton, harç ve benzeri yapımında kullanılan, kum, çakıl, kırma taş gibi taneli, farklı mineralojik yapılara sahip inorganik yapılara verilen isimdir (Çimsa, 2022).

Agregalar betonun hacim olarak yaklaşık %80'inin kaplar. Agregaların tane boyutu sınıflandırması betonun işlenebilirliğini, ayrışmasını, içerisindeki hava miktarı gibi özelliklerini etkiler. Ayrıca sertleşmiş beton özellikleri olarak, basınç ve eğilme dayanımları, büzülme, yoğunluk, geçirgenlik, dayanıklılık üzerinde de önemli etkileri vardır (Mermertaş, Manguri, Nassani, & Oleiwi, 2017)

2017 yılında yapılan bir araştırmada uçucu kül ile oluşturulmuş geopolimer harç içerisinde doğal nehir kumu, kırma kireçtaşı ve kum-kireçtaşı karışımı olmak üzere üç tip agrega kullanılarak agregaların etkinliği, işlenebilirliği, taze birim hacim ağırlığı ve mukavemeti değerlendirilmiştir. Sodyum silikat ve sodyum hidroksit ise alkali çözeltiler olarak kullanılmıştır. Numunelerin kürleme derecesi 90°C olup süresi ise 24 saat olarak belirlenmiştir. En iyi akışkanlığı kum ile hazırlanan numuneden elde edildiği, en yüksek basınç ve çekme dayanımının kırılmış kireçtaşından sağlandığı ve son olarak kum-kireçtaşı karışımı ile hazırlanan numunenin en düşük su emme değerini verdiği ortaya konulmuştur. Kumun derecelendirilmesinden dolayı en yüksek akışkanlık değerini verdiği düşünülmüştür (Mermertaş, Manguri, Nassani, & Oleiwi, 2017).

Nehir kumu yerine atık geopolimerden üretilen geri dönüştürülmüş geopolimer ince agregası kullanımının araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Nehir kumu (RS) için alternatif olarak atık geopolimerden üretilen geri dönüştürülmüş geopolimer ince agrega (RGFA) kullanmanın fizibilitesi ve ara yüzey durumlarının incelenmesi amacıyla bu çalışma ortaya çıkmıştır. Metakaolin, sodyum hidroksit, sodyum silikat kullanılarak ve RGFA için beş farklı ikame oranı kullanılarak (%0, %20, %50, %80, %100) hazırlanan numunelere basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve su emme testleri yapılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda ikame oranı %50'den az olduğunda RGFA harcının RS ile karşılaştırılabilir sonuçlar verdiği görülmüştür. RGFA harcında meydana gelen ikincil geopolimerizasyon ve dolgu etkileri, RGFA'nın düşük ikame oranlarında daha iyi mekanik özelliklere sahip olma nedenlerinden biri olduğu düşünülmüştür. Düşüren etki olarak ise RGFA'nın RS'den daha zayıf özelliklere sahip olmasına bağlanmıştır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde RGFA'yı ince agrega olarak RS ile ikame ederek kullanımının inşaat sektörü için umut verici olduğuna karar verilmiştir (Zhu, Hua, Liu, Wang, & Chen, 2020).

Kil tuğla ve pomza agregaları içeren uçucu kül geopolimer betonun özelliklerini inceleyen araştırmada basınç dayanımının yanı sıra yüksek sıcaklığa dayanımı da test edilmiştir. Numunelerin yangına dayanıklılığını test etmek için 400°C, 600°C ve 800°C'ye karşılık gelen sıcaklıklar kullanılmıştır. Çözelti olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit kullanılmıştır. Referans numunesi olarak kırılmış kireçtaşı ve nehir kumu agregası ile numuneler hazırlanmıştır. Her agrega tipi ile sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı 0.5, 1.0 ve 1.5 olacak şekilde üç ayrı karışım hazırlanmıştır. Numuneler 60°C'de 48 saat kürlenmeye maruz bırakılmıştır. Basınç dayanım sonuçlarına

bakıldığında sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Sodyum silikat/sodyum hidroksit oranının artmasıyla birlikte arayüzeyde iyileşmeler olduğu ve daha iyi tutunduğunu belirlenmiştir. 400°C sıcaklığa maruz bırakıldığında kil tuğla agregası numunesi ve pomza agregası numunesinin basınç dayanımında bir miktar artış görülmüştür. Bu durumun sistem içerisindeki su kaybından kaynaklandığı düşünülmüştür. Sıcaklık 600°C ve 800°C'ye çıkarıldığında dayanımlarda çok ciddi azalmalar gözlenmiştir. Bu durumun yüksek sıcaklık altında termal genişlemenin agregalar ve geopolimer matrisi farklı olmasına dayandırılmıştır (Wongsa, Sata, Nuaklong, & Chindaprasirt, 2018).

Agrawal, Wanjarı ve Naresh'in yaptığı bir çalışmada doğal nehir kumuna (NRS) alternatif olarak uçucu kül ve alkali aktivatör çözeltisi kullanılarak geopolimer uçucu kül kumu (GFS) üretilmiştir. Üretilen yeni karışımdan elde edilen sonuçlar doğal nehir kumu ile karşılaştırılmıştır. Numunelerin 1, 3, 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanım sonuçları elde edilmiştir. 28 günde, nehir kumu betonu ile basınç dayanımı 34.22 MPa'da elde edilirken, GFS beton karışımı ile 28.94 MPa olarak elde edilmiştir, bu da nehir kumu beton karışımına kıyasla dayanımın %18,25 azaldığını göstermiştir. 56 ve 90 günlük sonuçlar, GFS betonunun mukavemetinde sürekli ve önemli bir gelişme olduğunu göstermiştir. GFS beton karışımı, kürlenmenin 56. gününde ve 90. gününde sırasıyla 38.78 MPa ve 42.96 MPa basınç dayanımına ulaşmıştır. Benzer şekilde, nehir kumu beton karışımı, kürlenmenin 56. gününde ve 90. günde sırasıyla 40.51 MPa ve 44.14 MPa'lık bir basınç dayanımı elde etmiştir. Uçucu küldeki Si ve Al bileşenlerinin reaksiyonu sebebiyle 56. günde bir artışın meydana geldiği düşünülmüştür. Uçucu külün maksimum pozolanik aktivasyonunun 56 ile 90 gün arasında meydana geldiği bundan dolayı GFS betonun dayanımındaki sürekli artışın uçucu külün geç dayanım kazanmasından olduğu düşünülmüştür. Ayrıca GFS betonunun 28. gündeki SEM görüntülerinde reaksiyona girmemiş uçucu kül parçacıkları ve gözenekler tespit edilmiştir. 90 günde reaksiyona girmemiş uçucu kül parçacıkları CSH jeli ile reaksiyona girerek hidratlı ürün oluşturmuştur. Ayrıca, GFS betonunun mukavemetini ve dayanıklılığını iyileştirmeye katkıda bulunan hidratasyon ürünlerinin oluşumu nedeniyle betonun gözenekliliği de doldurulmuştur. Bütün sonuçlar değerlendirildiğinde GFS'nin, betonun mukavemetini ve dayanıklılığını geliştirmeye yardımcı olduğu için betondaki nehir kumunun tam bir ikamesi olarak kullanılabilir sonucuna ulaşılmıştır (Agrawal, Wanjarı, & Naresh, 2019).

Öğütölmüş perlit, sodyum hidroksit, su ve CEN standart kum kullanılarak geopolimer harçlar oluşturulan ve bu harçların mukavemeti ve mikro yapısını incelemeyi amaçlayan bu çalışmada numuneler dökömden 24 saat sonra fırınlara yerleştirilerek farklı kür sıcaklığına ve süresine maruz bırakılmıştır. Ayrıca geopolimer harçlar 4, 8, 12, 16 molar(M) NaOH çözeltileri kullanılarak üretilmiştir. Numune gruplarından ilki 24 saat boyunca 80°C’de, ikinci grup 48 saat boyunca 80°C’de, üçüncü grup 24 saat boyunca 120°C’de ve son grup 48 saat boyunca 120°C’de kürlenmeye maruz bırakılmıştır. Basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında istisnalar dışında NaOH molaritesinin artmasıyla basınç dayanımlarının arttığı ortaya konulmuştur. Başka çalışmalarda da alkali aktivatörün molaritesinin geopolimerizasyon için önemli rol oynadığı vurgulanmıştır. Ayrıca etüvde kürlenme derecesinin ve kürlenme süresinin artmasıyla da basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir. Kürlenme derecesinin 80°C’den 120°C’ye yükselmesiyle numunelerin basınç dayanımlarındaki artış %6 ile %49 arasında olmuştur. Kürlenme süresinin 24 saatten 48 saate yükselmesiyle de geopolimer numunelerin basınç dayanım değerlerinde %25 ile %82 arasında artış gözlenmiştir. Bu artış silisyum ve alüminyumun yapı içerisindeki çözünme derecesine bağlanmıştır (Çelikten & Işıkdag, 2020).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Malzemeler

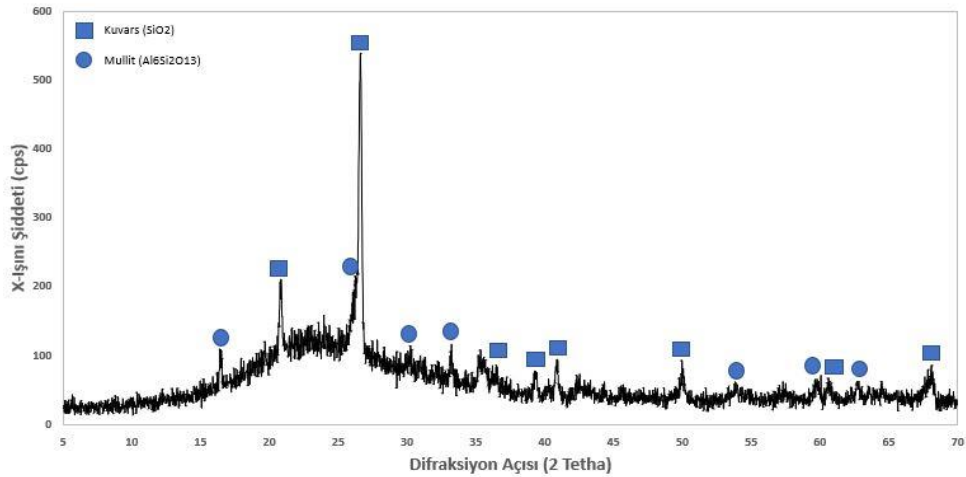
Bu çalışma içerisinde F sınıfı uçucu kül, sodyum silikat, şebeke suyu, CEN standart kumu, sinter manyezit, kiremit tozu, genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Kullanılan farklı tip agregaların tane boyutları 0.5-2 mm aralığında olduğu belirlenmiştir.

2.1.1. Kullanılan uçucu külün özellikleri

Bu çalışma içerisinde kullanılan uçucu kül F sınıfı uçucu kül olup, Görsel 2.1’de gösterilmiştir. Uçucu külün XRD sonuçları Görsel 2.2’de gösterilmiştir.



Görsel 2.1. Deneylerde kullanılan uçucu kül



Görsel 2.2. Deneylerde kullanılan uçucu külün XRD analizi sonuçları

2.1.2. Kullanılan kumun özellikleri

Deneylerde kullanılan CEN standart kumu Görsel 2.3’te gösterilmiştir. Deneysel

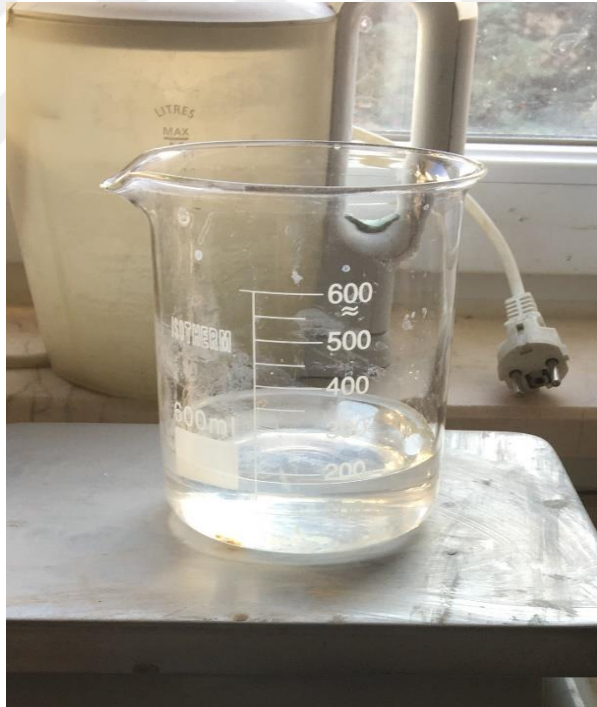
Çalışmalarda kullanılan CEN standart kumu Limak Batı imento'dan tedarik edilmiştir.



Görsel 2.3. Deneylerde kullanılan CEN standart kumu

2.1.3. Kullanılan sodyum silikatın özellikleri

Deneylerde kullanılan sodyum silikat Görsel 2.4'te gösterilmiştir.



Görsel 2.4. Deneylerde kullanılan sodyum silikat

2.1.4. Kullanılan sinter manyezitin özellikleri

Deneylerde kullanılan sinter manyezit Görsel 2.5'te gösterilmiştir. Kütahya'da

bulunan Kümaş Manyezit Sanayi A.Ş. firmasından temin edilen sinter manyezit, konsantre manyezit cevherinin 1750-2100 °C’de tek adımda pişirilmesi ile elde edilmiştir.



Görsel 2.5. Deneylerde kullanılan sinter manyezit

Çalışmada kullanılan sinter manyezite ait özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan sinter manyezitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	İçerik Miktarı (%)
SiO ₂	0.97
CaO	1.58
Fe ₂ O ₃	0.45
Al ₂ O ₃	0.02
MgO	96.87
LOI	0.08
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık	3.35 gr/cm ³
Tane Boyutu	D _{maks} 1 ve D _{maks} 2 mm
Erime Sıcaklığı	2800 °C

2.1.5. Kullanılan kiremit tozunun özellikleri

Deneylerde kullanılan kiremit tozu Görsel 2.6’da gösterilmiştir.



Görsel 2.6. Deneylerde kullanılan kiremit tozu

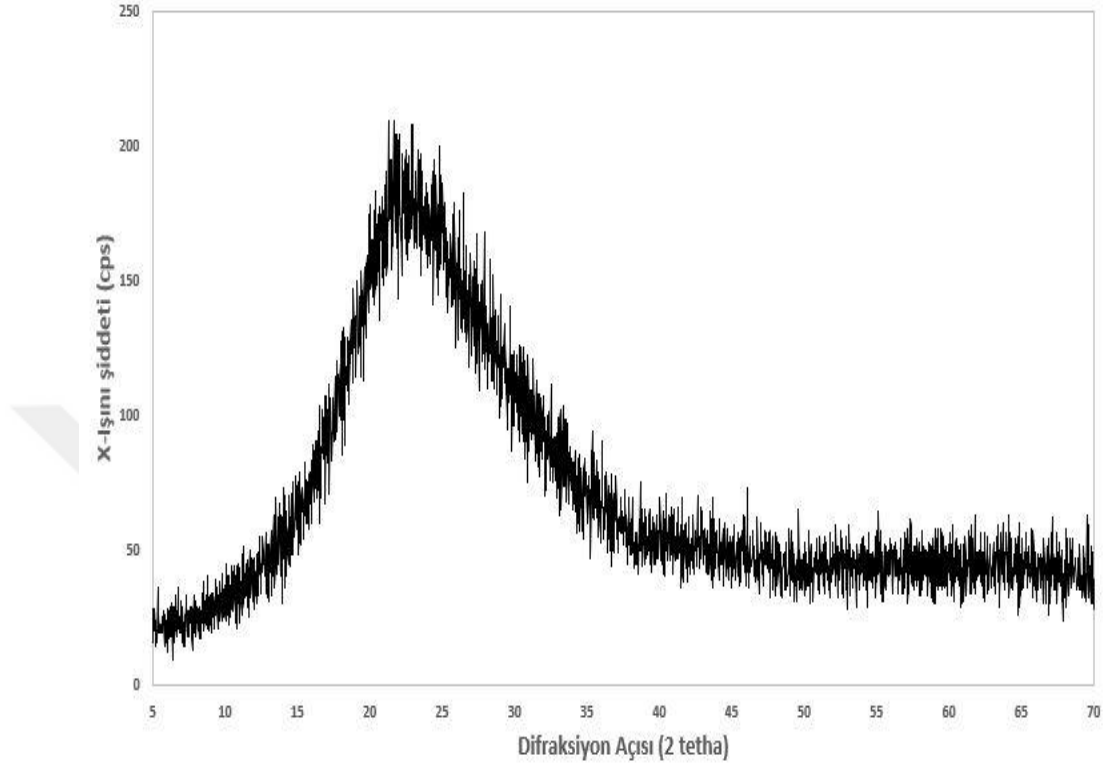
2.1.6. Kullanılan genleştirilmiş perlitin özellikleri

Deneylerde kullanılan genleştirilmiş perlit Görsel 2.7’de gösterilmiştir.



Görsel 2.7. Deneylerde kullanılan genleştirilmiş perlit

Genleştirilmiş perlitin XRD sonuçları Görsel 2.8’de verilmiştir. Sonuçlarda herhangi bir kristalin faz görülmemiştir çünkü üretim yöntemine bağlı olarak amorf (kristalin olmayan yapı) yapıya sahip olduğu için X-ışınlarını direkt geçirmiştir.



Görsel 2.8. Deneylerde kullanılan genleştirilmiş perlitin XRD analizi sonuçları

2.2. Deneysel Prosedür

Hedeflenen araştırma kapsamında geopolimer harç içerisinde kum ile hazırlanan referans numunesi dışında üç farklı agrega tipi kullanılmıştır. Her agrega tipi için iki farklı kür koşulları oluşturulup, uygulanmıştır. Ayrıca suyun sadece işlenebilirliği artırmak veya azaltmak için kullanıldığı bilgisıyla iki farklı yayılma tablası çapı belirlenmiş ve bu sayede her numune için iki farklı işlenebilirlik oranı ve iki farklı kür koşulları elde edilmiştir. Bu sayede geopolimer harç için işlenebilirliğin ve kür koşullarının değişiminin sertleşmiş harç numunelerinin fiziksel özellikleri üzerine etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sertleşmiş numunelere eğilme ve basınç dayanım testleri uygulanmıştır. Son olarak mikroyapı incelemeleri için her numune setinin SEM görüntüleri alınmıştır.

2.2.1. Numunelerin hazırlanması

Yapılacak araştırma için 40x40x160 mm boyutlarına sahip prizma kalıplar kullanılmasına karar verilmiştir. Prizma kalıp Görsel 2.9’da gösterilmiştir. Her bir kalıpta üçer numune olacak şekilde her bir agrega tipi için 24 adet numune hazırlanmıştır.

Toplamda 96 adet numune elde edilmiştir. Numuneler için gerekli karışım miktarları Tablo 2.2’de verilmiştir.



Görsel 2.9. Deneylerde kullanılan prizma kalıp

Tablo 2.2. Numuneler için gerekli karışım miktarları

Malzemeler	Bir Kalıp (3 Numune) İçin
Uçucu Kül (g)	900
Sodyum Silikat (g)	360
Kum (g)	600
Sinter Manyezit (g)	600
Kiremit Tozu (g)	600
Genleştirilmiş Perlit (g)	60 (%10 ikame oranı)

Bu çalışma için hazırlanan numunelerde su miktarı her agrega tipi için değişkenlik göstermiştir. Bunun sebebi aynı yayılma çapını elde etmek ve bu sayede ortak bir işlenebilirlik oranı sağlamaktır. Bu çerçevede her bir numune için gerekli su miktarları Tablo 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Her bir agrega tipi için gerekli su miktarları

Agrega Tipi	15 cm Çap İçin Gerekli Su Miktarı (g)	21 cm Çap İçin Gerekli Su Miktarı (g)
Kum	41.25	90
Sinter Manyezit	41.25	90
Kiremit Tozu	130	185
Genleştirilmiş Perlit	100	175

Numunelerin dökümü için ilk olarak tartılıp gerekli miktarlar ayarlanmıştır. Kuru malzemeler karıştırma kabına alınmıştır ve son olarak sodyum silikat eklenmiştir. Malzemelerin karıştırılması elle değil UTEST marka 5 lt. kapasiteli otomatik karıştırıcı ile yapılmıştır. Karıştırıcı Görsel 2.10’da verilmiştir.



Görsel 2.10. UTEST marka 5 litre kapasiteli otomatik karıştırıcı

TS-EN 196-1 Türk Standardına göre karışım prosesi yapılmıştır. Karıştırıcıya alınan karışım 60 saniye boyunca düşük hızda daha sonrasında ara vermeden 30 saniye yüksek hızda karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından 15 saniye boyunca karışım hızlıca elle karıştırılmış daha homojen bir karışım elde edilmesi için topaklanmalar engellenmeye çalışılmıştır. 15 saniyelik işlemten sonra 60 saniye boyunca yüksek hızda karıştırılıp, karıştırma işlemi sonlandırılmıştır (TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım, 2002).

Yayılma tablası deneyi için önceden hafifçe nemlendirilmiş deney setine karışım hızlıca alınmıştır. Yayılma tablası deney seti Görsel 2.11’de gösterilmiştir. Üst plakayı tablanın merkezine yerleştirip içerisi harç karışımı iki tabaka halinde doldurulmuştur. Tokmak yardımıyla 10 kez sıkıştırılan harç karışımına daha sonra ikinci tabaka ilave edilmiştir ve yeniden 10 kez tokmak yardımıyla sıkıştırılmıştır. Üst plakanın yüzeyi spatula ile düzeltildikten sonra üst plaka, harç karışımından üste doğru çekilerek ayrılmıştır. Son olarak düşürme kolu kullanılarak 15 kez harç karışımı düşürülmüştür ve çap ölçülmüştür.



Görsel 2.11. *Yayılma tablası deney seti*

Karışım ve yayılma tablası deney işleminden sonra yağlanmış kalıplara harç karışımı iki kademeli olarak dökülmüştür. İlk kademe döküldükten sonra sıkıştırma cihazında 60 düşüm yaptırılmıştır. Sıkıştırma cihazı Görsel 2.12’de gösterilmiştir. Ardından ikinci kademe dökülüp sıkıştırma cihazında 60 düşüm daha yaptırılıp sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır.



Görsel 2.12. *Araştırma için kullanılan sıkıştırma cihazı*

İlk olarak kum ile hazırlanan harç karışımı dökülmüştür. Referans olarak adlandırılan bu döküm serisinde 15 cm çap için 41,25 gram su ve 21 cm çap için 90 gram su kullanılmıştır. Görsel 2.13 ve Görsel 2.14’te 41,25 gram su ve 90 gram su ile hazırlanmış kum agregalı geopolimer harç numuneleri gösterilmiştir.



Görsel 2.13. 90 gram su ile hazırlanmış kum agregası içeren geopolimer harç numuneleri



Görsel 2.14. 41,25 gram su ile hazırlanmış kum agregası içeren geopolimer harç numuneleri

İkinci olarak sinter manyezit ile hazırlanan harç karışımı dökülmüştür. Yine aynı su oranları ile aynı sonuçlar elde edildiğinden 15 cm çap için 41,25 gram su ve 21 cm çap için 90 gram su kullanılmıştır. Görsel 2.15 ve Görsel 2.16’da sinter manyezit numuneleri gösterilmiştir.



Görsel 2.15. 90 gram su ile hazırlanmış sinter manyezit agregası içeren geopolimer harç numuneleri



Görsel 2.16. 41,25 gram su ile hazırlanmış sinter manyezit agregası içeren geopolimer harç numuneleri

Üçüncü olarak kiremit tozu kullanılarak harç karışımı hazırlanmıştır. Bu aşamada daha önceki işlenebilirlik değerlerini elde etmek için daha fazla su kullanılmıştır. Bundan ötürü 15 cm çap için 130 gram ve 21 cm çap için 185 gram su kullanılmıştır. Görsel 2.17 ve Görsel 2.18’de kiremit numuneleri gösterilmiştir.



Görsel 2.17. 185 gram su ile hazırlanmış kiremit tozu agregası içeren geopolimer harç numuneleri



Görsel 2.18. 130 gram su ile hazırlanmış kiremit tozu agregası içeren geopolimer harç numuneleri

Son olarak genişleştirilmiş perlit ile hazırlanan numunede, genişleştirilmiş perlitin çok hafif bir malzeme olmasından dolayı kütle ve hacim oranı daha önceki dökümler gibi olmamıştır. Bu durumun önüne geçmek için toplam agrega miktarının %10'u kadar genişleştirilmiş perlit kullanılarak karışım hazırlanmasına karar verilmiştir. Aynı şekilde

genleştirilmiş perlitin boşluklu yapısından dolayı 15 cm çap için 100 gram su ve 21 cm çap için 175 gram su kullanılmıştır. Görsel 2.19 ve Görsel 2.20’de genleştirilmiş perlit numuneleri gösterilmiştir.



Görsel 2.19. 175 gram su ile hazırlanmış genleştirilmiş perit agregası içeren geopolimer harç numuneleri



Görsel 2.20. 100 gram su ile hazırlanmış genleştirilmiş perit agregası içeren geopolimer harç numuneleri

Kalıplara dökülen harç karışımı ıslak bir bez ile örtülmüştür ve kalıptan çıkarılmak için 24 saat beklenilmiştir. Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra 40°C’de ve 70°C’de hazır bulunan etüvlerde 48 saat boyunca kürlenmiştir. Her numune tek bir sıcaklıkta kürlenmiştir. Numunelerdeki agrega tipi, su miktarları ve kür koşulları Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.4. Hazırlanan tüm karışımların agrega tipi, su miktarı ve kür derecesi bilgileri

Agrega Tipi	Su Miktarı (gram)	Kür Derecesi (°C)
Kum	41.25	40
Kum	41.25	70
Kum	90	40
Kum	90	70
Sinter Manyezit	41.25	40
Sinter Manyezit	41.25	70
Sinter Manyezit	90	40
Sinter Manyezit	90	70
Kiremit Tozu	130	40
Kiremit Tozu	130	70
Kiremit Tozu	185	40
Kiremit Tozu	185	70
Genleştirilmiş Perlit (%10)	100	40
Genleştirilmiş Perlit (%10)	100	70
Genleştirilmiş Perlit (%10)	175	40
Genleştirilmiş Perlit (%10)	175	70

2.2.2. Eğilme dayanımı deneyi

Bu araştırma içerisinde kullanılacak tüm numuneler için öncelikle eğilme dayanımı testi yapılmıştır. Yapılan deney TS-EN 196-1 referansı ile gerçekleştirilmiştir (TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım, 2002). 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler UTEST UTCM-6710 model eğilme ve basınç dayanım cihazı kullanılarak öncelikle eğilme dayanımına ardından basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Numunelere döküldükten 7 ve 28 gün sonra eğilme testi uygulanmıştır. Deneyin sonuçları bilgisayar sistemine ve laboratuvar defterine kaydedilip, kırılmış numuneler sınıflandırılarak saklanmıştır. Görsel 2.21’de eğilme dayanımı deneyi gösterilmiştir.



Görsel 2.21. Eğilme dayanım deneyi yapılması

2.2.3. Basınç dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı uygulandıktan sonra iki parçaya ayrılmış prizma numunelerin her bir parçası numaralandırılarak UTEST UTCM-6710 model pres aracılığıyla basınç dayanım testine tabii tutulmuştur. Yapılan deney TS-EN 196-1 referansı ile gerçekleştirilmiştir (TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım, 2002). Deneylerin sonuçları dikkatlice takip edilip bilgisayar sistemine ve laboratuvar defterine kaydedilmiştir. Deney uygulamaları tamamlanmış numuneler sınıflandırılarak

saklanmıştır. Görsel 2.22’de yarım prizma numune üzerinde basınç dayanım deneyi gösterilmiştir.



Görsel 2.22. *Basınç dayanım deneyi yapılması*

2.2.4. Mikro yapı (SEM) analizleri

Basınç dayanımı testi sonrası belirlenen numunelerden alınan parçalar, oluşan fazların dağılımı, tane boyutlarının tespiti, topografi özelliklerinin belirlenmesi ve referans numune ile olan mikro yapı farklılıklarını ortaya koymak adına Zeiss marka Supra 50 VP model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile detaylı olarak incelenmiştir.

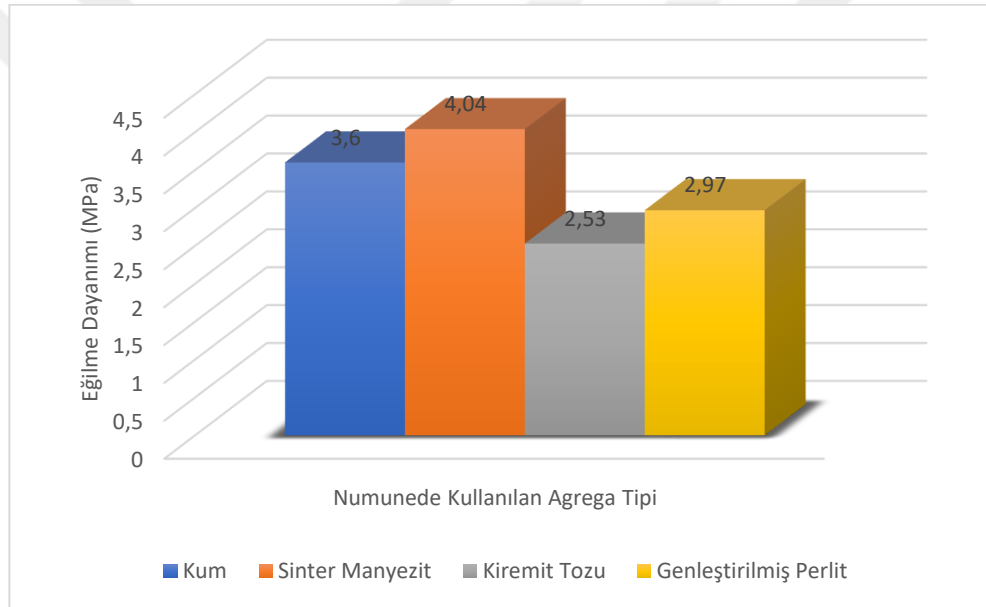
3. SONUÇLAR

3.1. Eğilme Dayanımı Testi Sonuçları

Farklı tip agregalar ile oluşturulmuş geopolimer harç numuneleri kalıplardan çıkarılıp 48 saat boyunca etüv içerisinde 40 veya 70°C’de kürlendikten sonra 7. ve 28. günlerinde eğilme dayanımı deneyine tabii tutulmuştur.

3.1.1. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.1’de verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.1. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

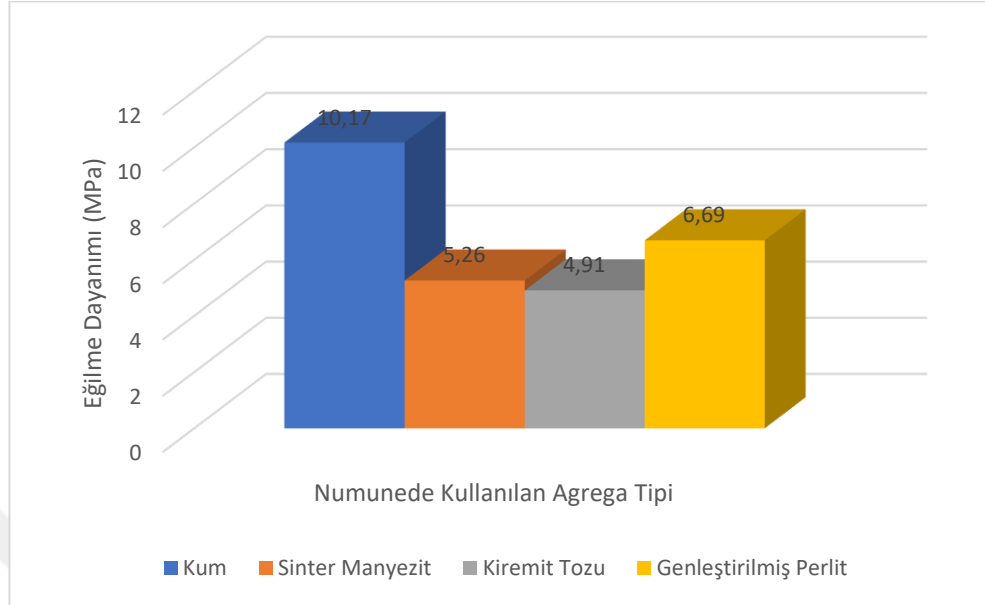
3.1.2. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.2’de verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.

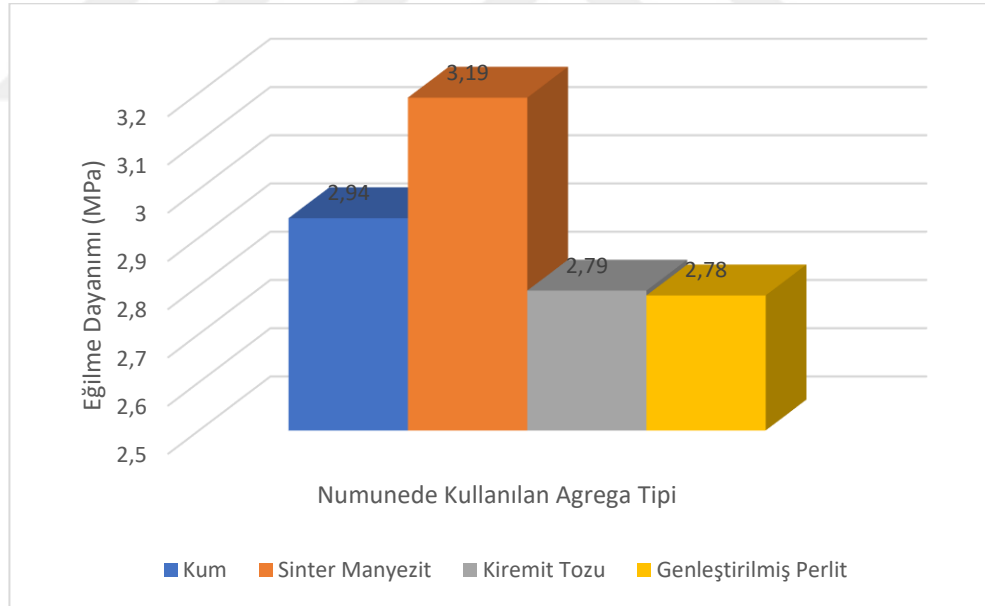
3.1.3. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.3’te verilmiştir.

Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.2. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

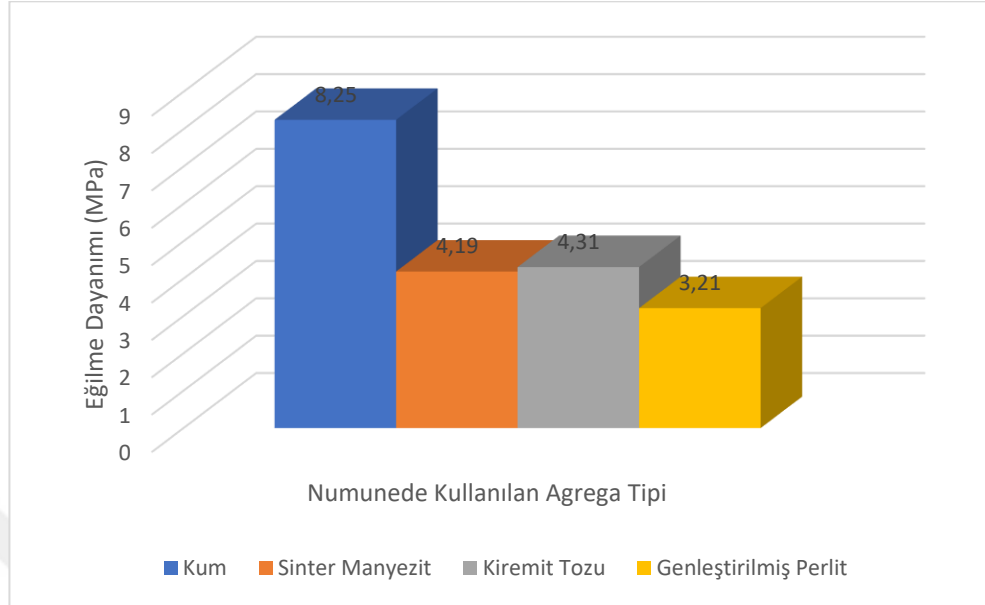


Görsel 3.3. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

3.1.4. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.4’te verilmiştir.

Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



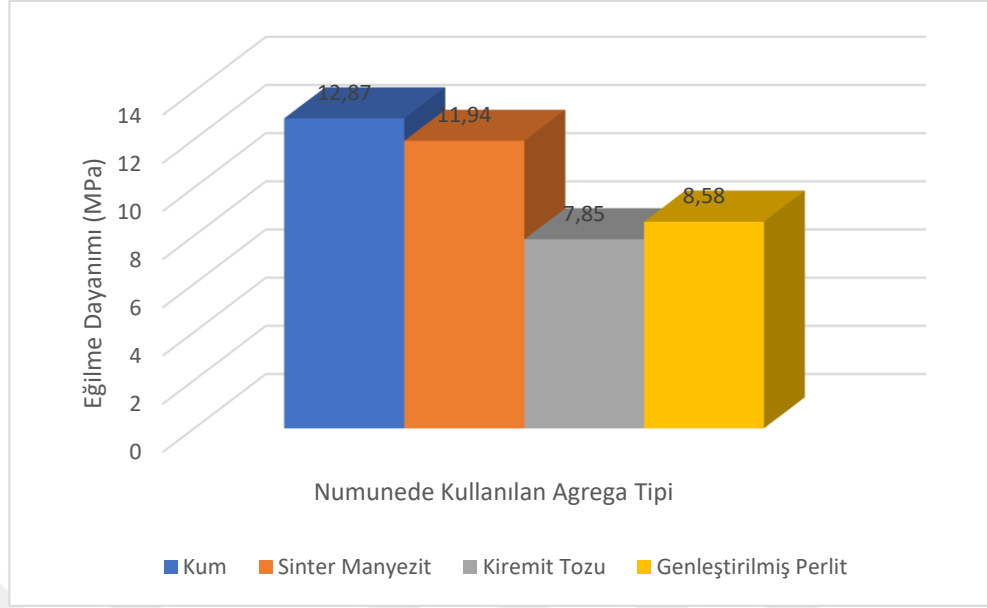
Görsel 3.4. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

3.1.5. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

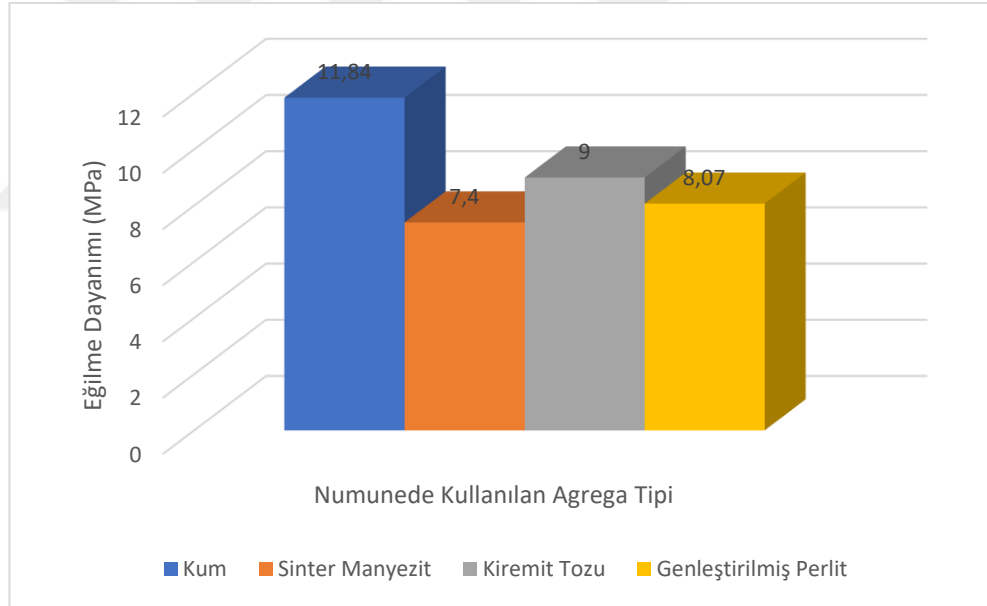
Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.5’te verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.

3.1.6. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.6’da verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



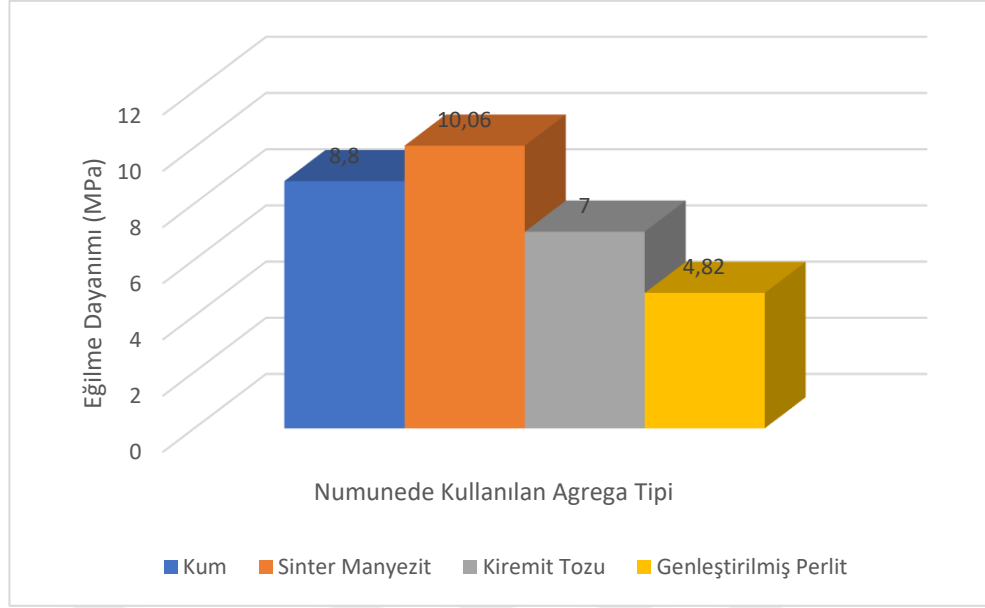
Görsel 3.5. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



Görsel 3.6. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

3.1.7. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

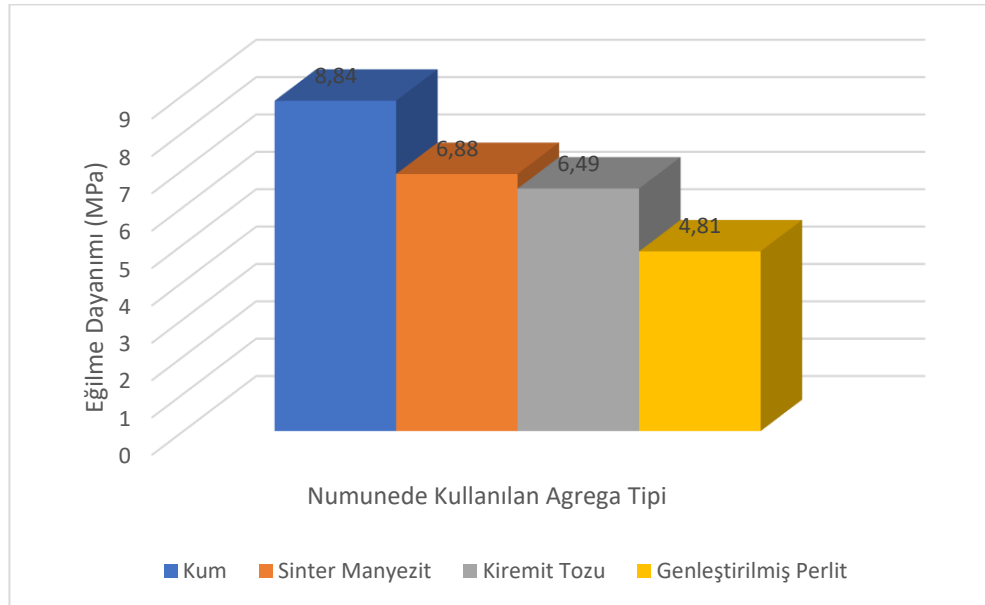
Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.7’de verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.7. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

3.1.8. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.8’de verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



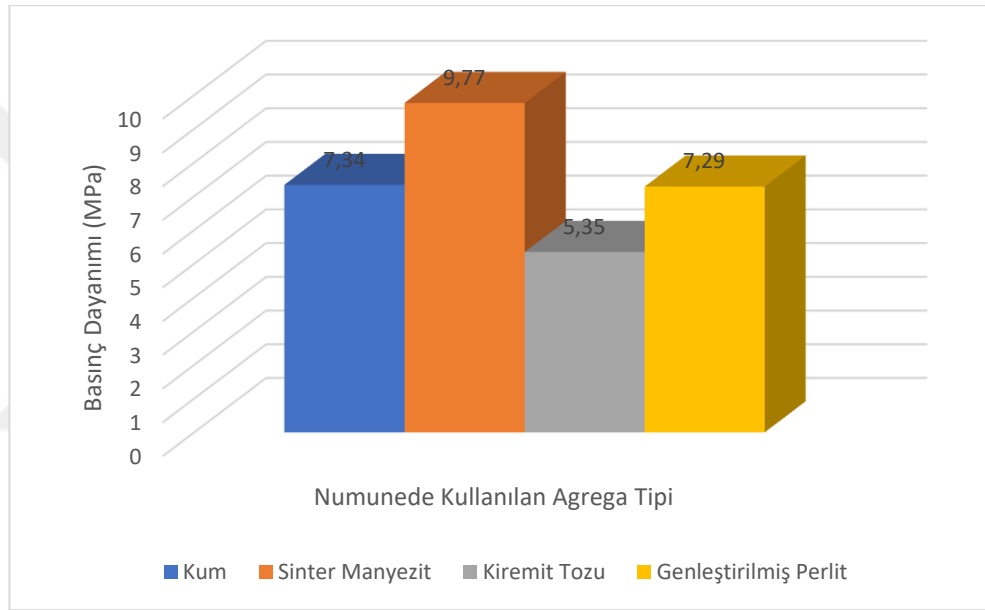
Görsel 3.8. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

3.2. Basınç Dayanımı Testi Sonuçları

40x40x160 mm boyutlarındaki farklı tip agregalar ile hazırlanmış geopolimer harç numuneleri 48 saat boyunca 40 veya 70 derecelerde kürlendikten sonra 7 ve 28. günlerinde basınç dayanımı testine tabii tutulmuşlardır.

3.2.1. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

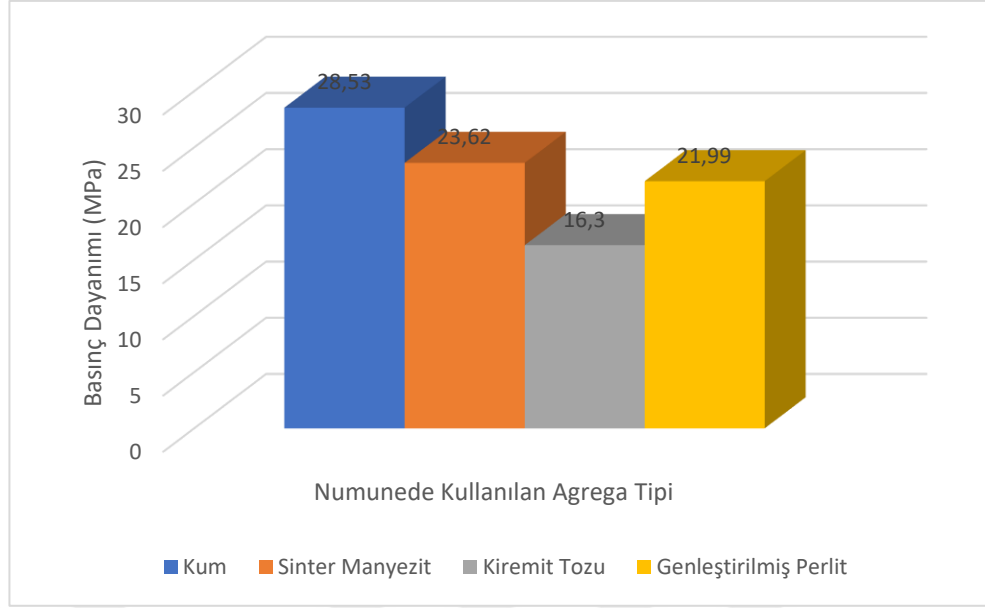
Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.9’da verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.9. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.2.2. 40°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

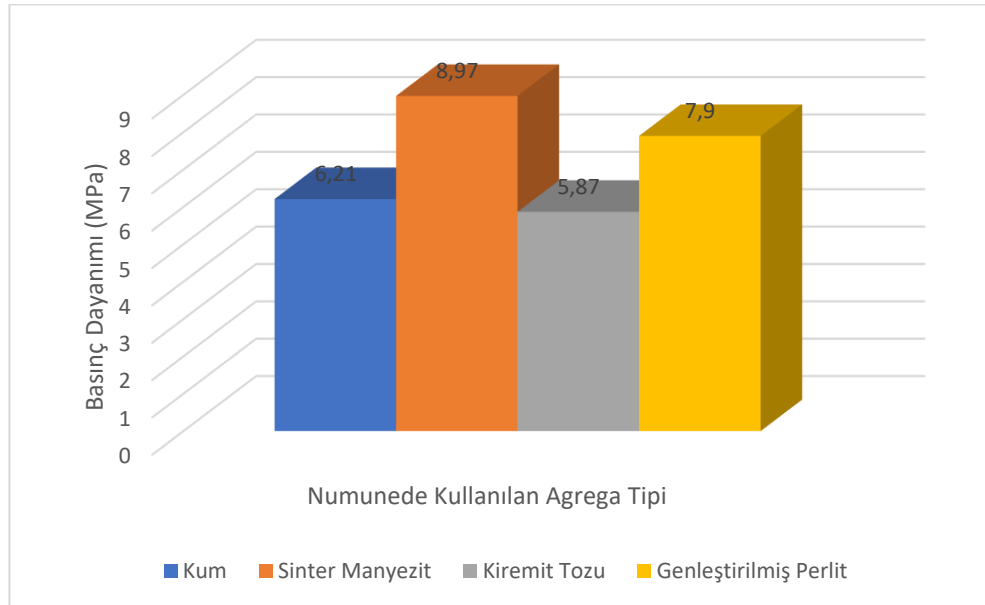
Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.10’da verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.10. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.2.3. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

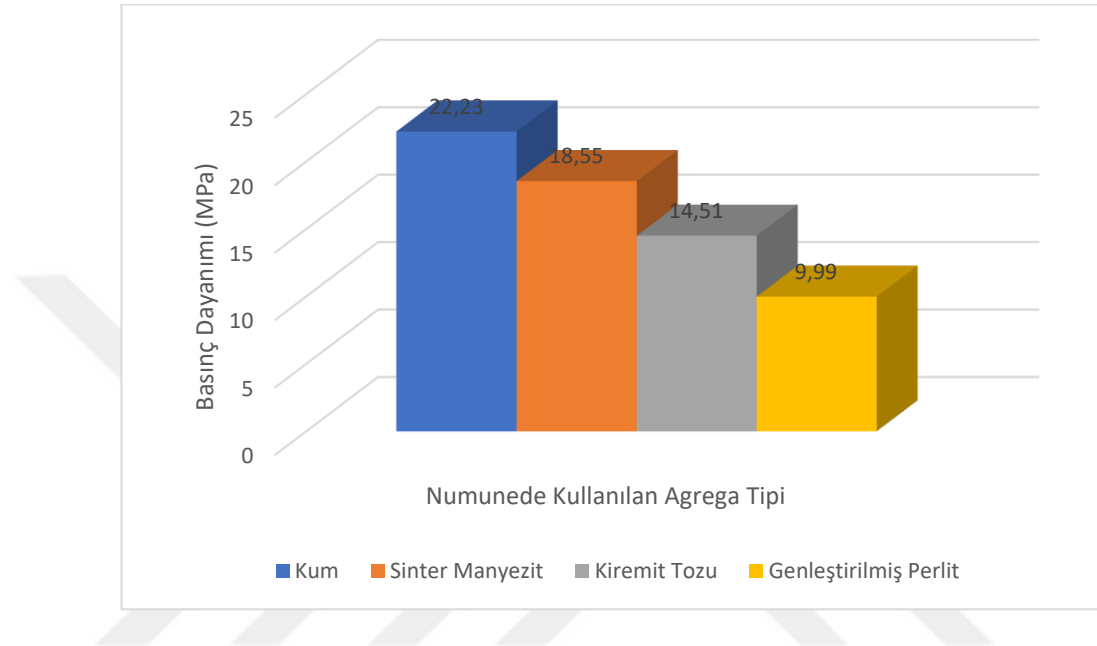
Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.11’de verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.11. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.2.4. 40°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve geliştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.12’de verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 40°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



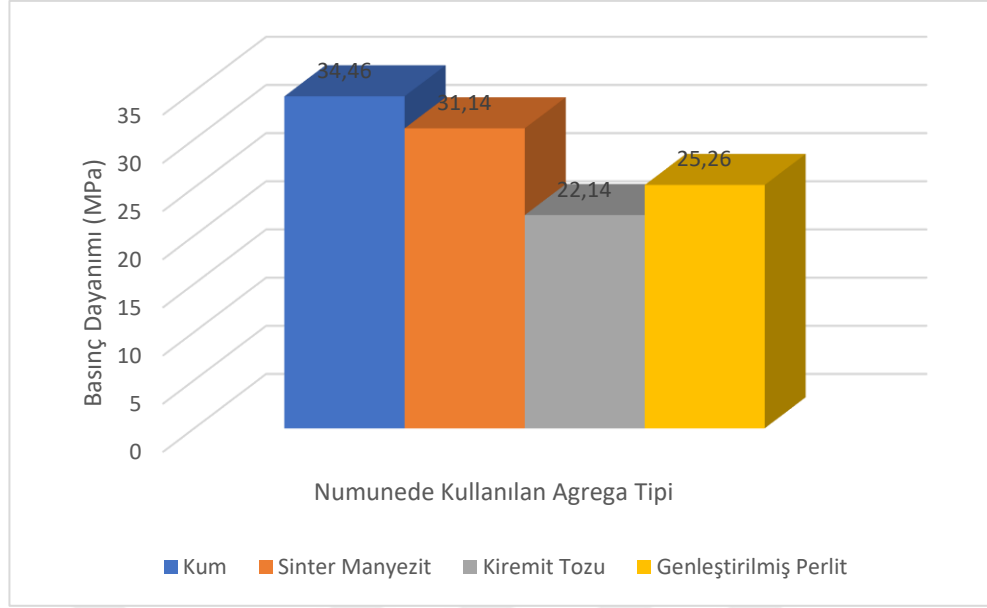
Görsel 3.12. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.2.5. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

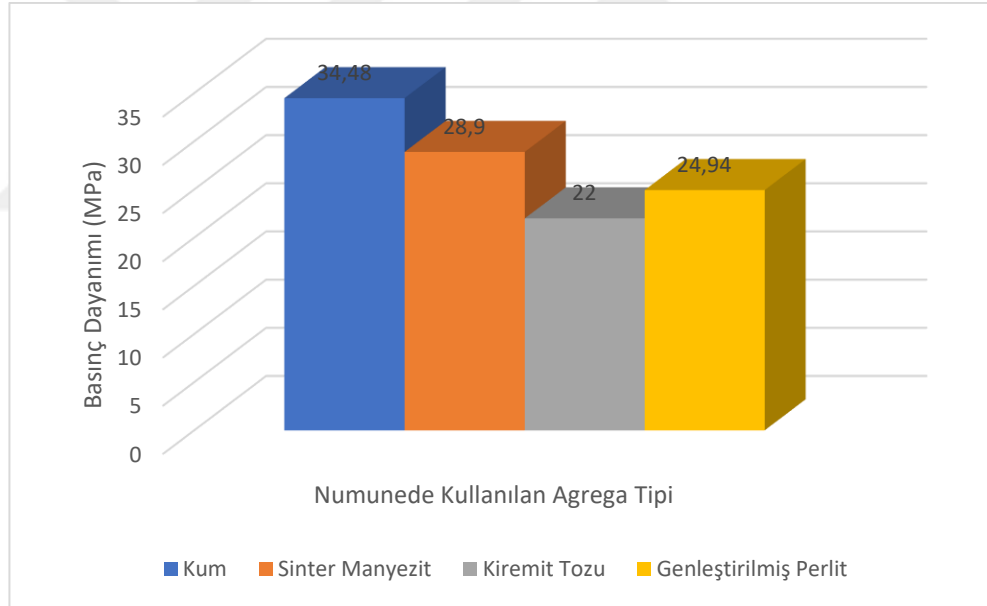
Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve geliştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.13’te verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.

3.2.6. 70°C’de kürlenmiş, 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve geliştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.14’te verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 15 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



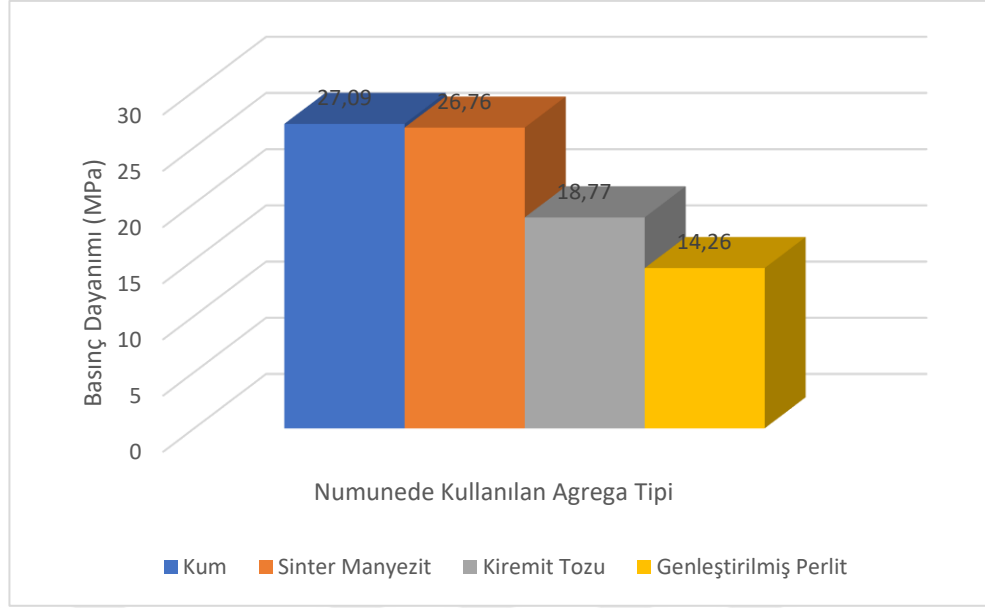
Görsel 3.13. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



Görsel 3.14. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.2.7. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

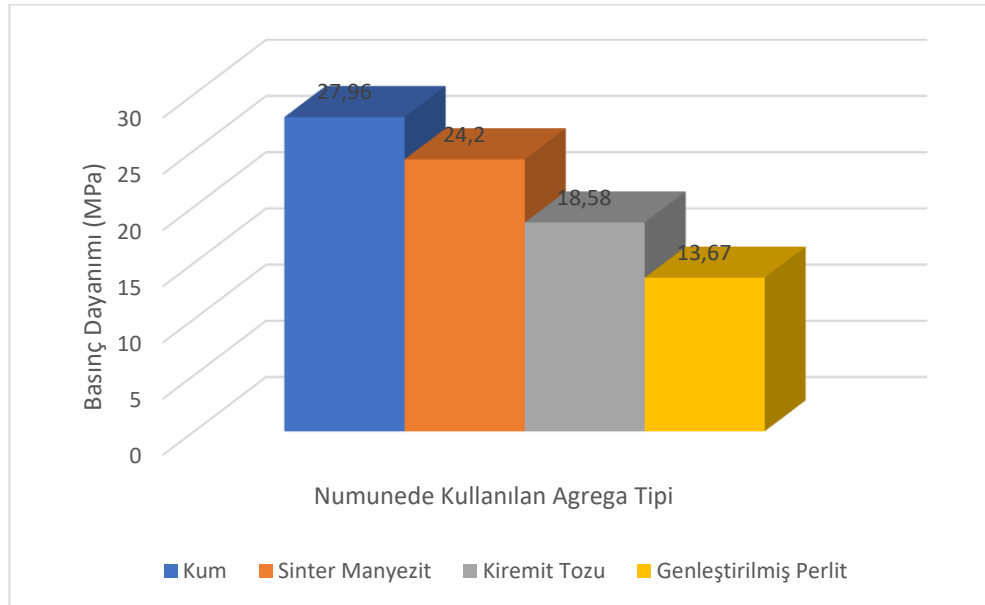
Döküldükten 7 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.15’te verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.15. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.2.8. 70°C’de kürlenmiş, 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları

Döküldükten 28 gün sonra deney uygulanmış kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerin deney sonuçları Görsel 3.16’da verilmiştir. Numuneler yayılma tablası deneyinde 21 cm yayılma çapına ulaşmış ve etüvde 48 saat boyunca 70°C’de kür işlemi uygulanmış numunelerdir.



Görsel 3.16. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

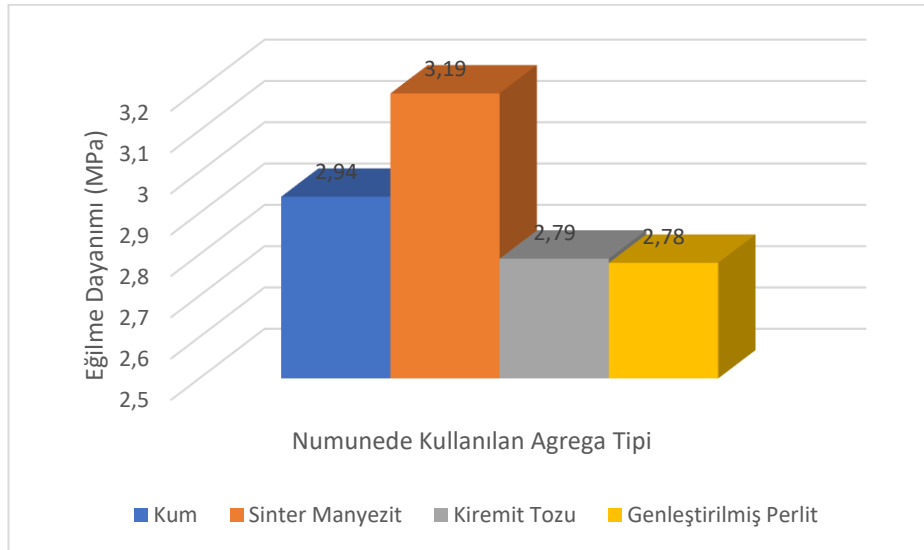
3.3. Sıcaklık Etkisi

Numuneler döküldükten ve kalıplardan çıkarıldıktan sonra farklı etüv sıcaklıklarında kürlenmeye maruz bırakılmıştır. 40°C ve 70°C etüv sıcaklığında kür işlemi uygulanan numuneler ikili kategoriler halinde dayanım değişimleri değerlendirilmiştir. Yayılma çapları ve harçların yaşları sabit tutulmuş olup yalnızca etüvde maruz kaldıkları sıcaklık derecesi değişkendir. Bu sayede sıcaklığın numunelerin dayanımları üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

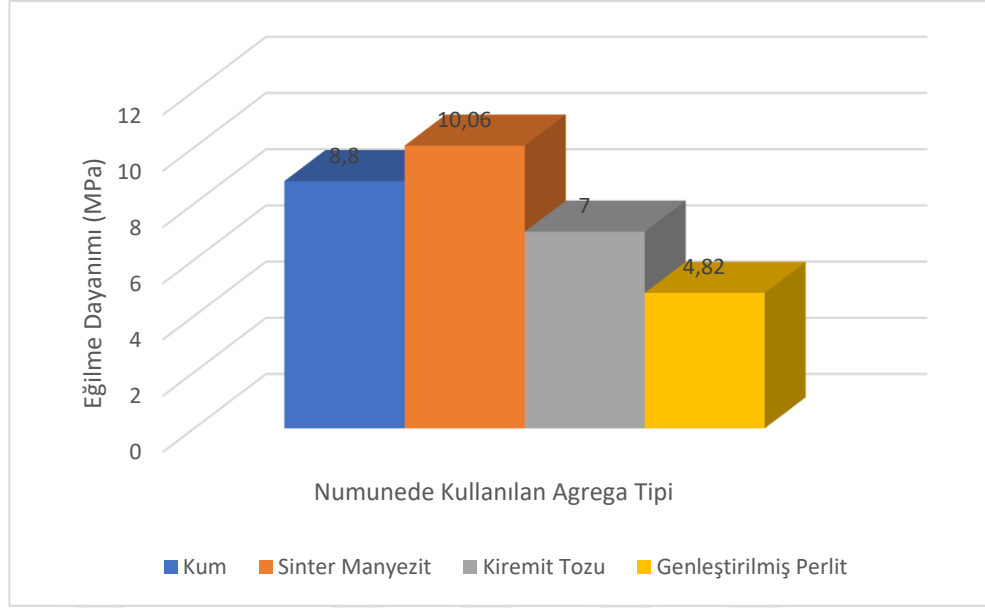
- 21CM/70°C/7GÜN
- 21CM/40°C/7GÜN
- 21CM/70°C/28GÜN
- 21CM/40°C/28GÜN
- 15CM/70°C/7GÜN
- 15CM/40°C/7GÜN
- 15CM/70°C/28GÜN
- 15CM/40°C/28GÜN

3.3.1. 21cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi

21 cm yayılma çapına sahip kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişleştirilmiş perlit içeren numunelerin sırasıyla 40°C ve 70°C'deki eğilme dayanım sonuçları Görsel 3.17 ve Görsel 3.18'de verilmiştir.



Görsel 3.17. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

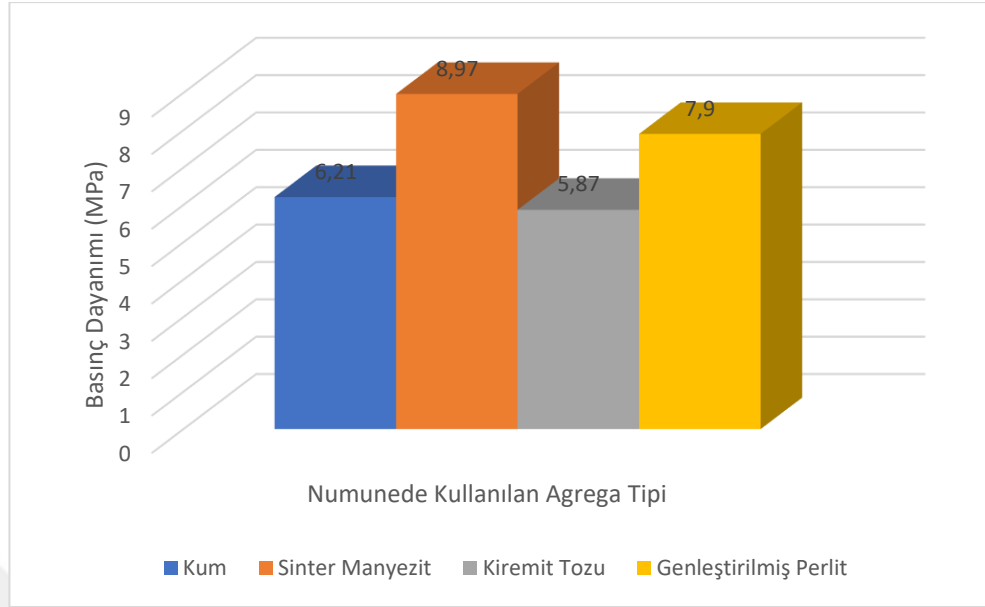


Görsel 3.18. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

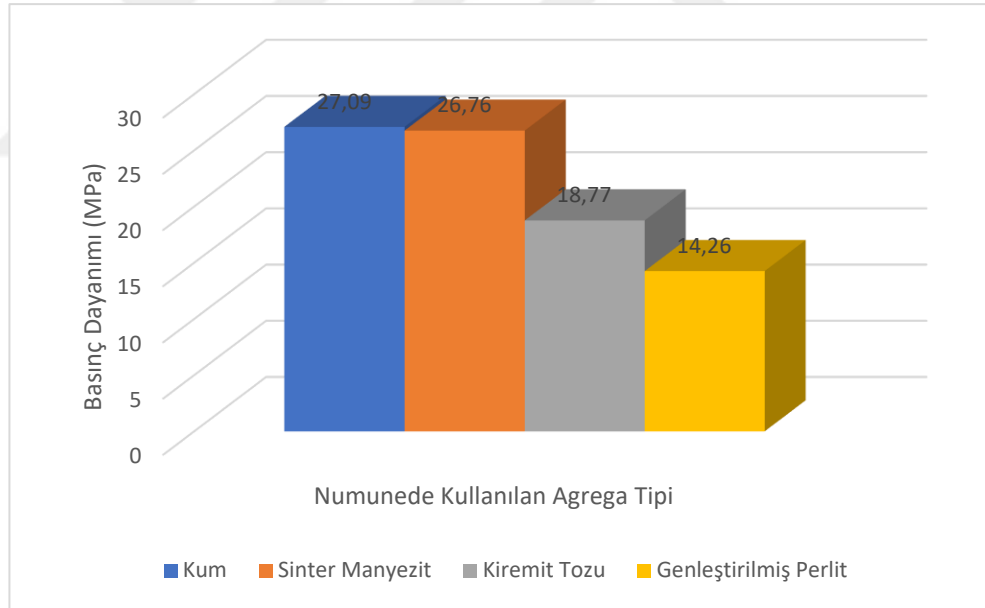
Aynı karışım tasarımına sahip numunelerin farklı etüv sıcaklıklarında 48 saat kürlenmesi durumunda ortaya çıkan eğilme dayanımı farkı oldukça belirgindir. Kum ile hazırlanmış numune karışımı 40°C’de 2,94 MPa değerini verirken 70°C’de 8,8 MPa değerine ulaşmıştır. Aynı şekilde sinter manyezit ile hazırlanan karışım 40°C’de 3,19 MPa değerini bize gösterirken 70°C’de bu durum 10,06 MPa olarak karşımıza çıkmaktadır. Kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile hazırlanan karışımlar 40°C’de sırasıyla 2,79 MPa ve 2,78 MPa değerlerini, 70°C’de ise 7 MPa ve 4,82 MPa değerlerini vermiştir. Sıcaklık değişiminin eğilme dayanımı üzerindeki etkisinin 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme dayanımlarını ortalama üç kat artırdığı söylenebilir.

Basınç dayanımı üzerindeki sıcaklık etkisini belirlemek için yayılma çapı ve numune yaşı parametreleri sabit tutulmuş olup etüv sıcaklığı parametresi değişken olarak seçilmiştir. Görsel 3.19 ve Görsel 3.20 21 cm yayılma çapına sahip 7 günlük numunelerin basınç dayanım değerlerini göstermektedir.

40°C’de kürlenmiş kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit numunelerinin 7 günlük basınç değerleri sırasıyla 6,21 MPa, 8,97 MPa, 5,87 MPa ve 7,9 MPa olmuştur. Aynı karışım tasarımına sahip numunelerin 70°C’de kür sıcaklığına maruz kaldıktan sonraki 7 günlük basınç dayanımı değerleri kum için 27,09 MPa, sinter manyezit için 26,76 MPa, kiremit tozu için 18,77 MPa ve genleştirilmiş perlit için 14,26 MPa olmuştur. Sıcaklık 7 günlük basınç dayanımı üzerinde olumlu bir etki sağlamıştır.



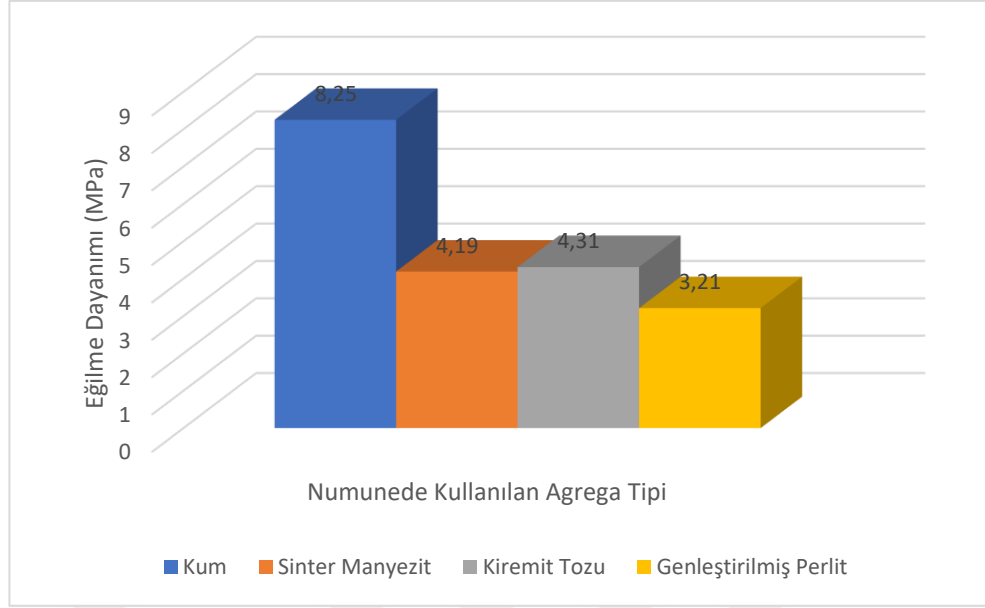
Görsel 3.19. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



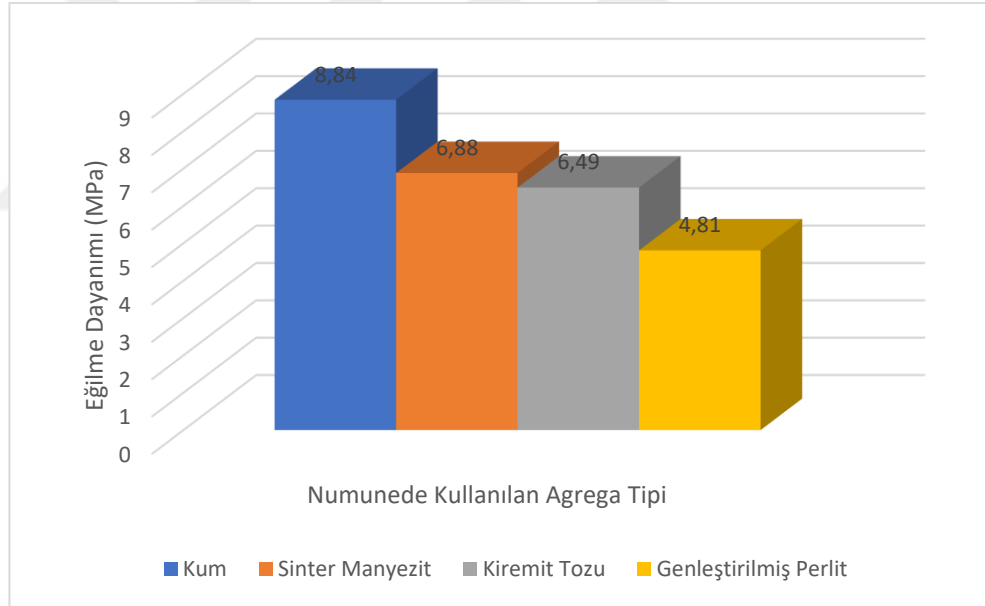
Görsel 3.20. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.3.2. 21cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi

21 cm yayılma çapına sahip kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit içeren harç numunelerinin 40°C veya 70°C etüv sıcaklıklarında kürlenmiş 28 günlük eğilme dayanım değerleri Görsel 3.21 ve Görsel 3.22’de gösterilmiştir.



Görsel 3.21. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

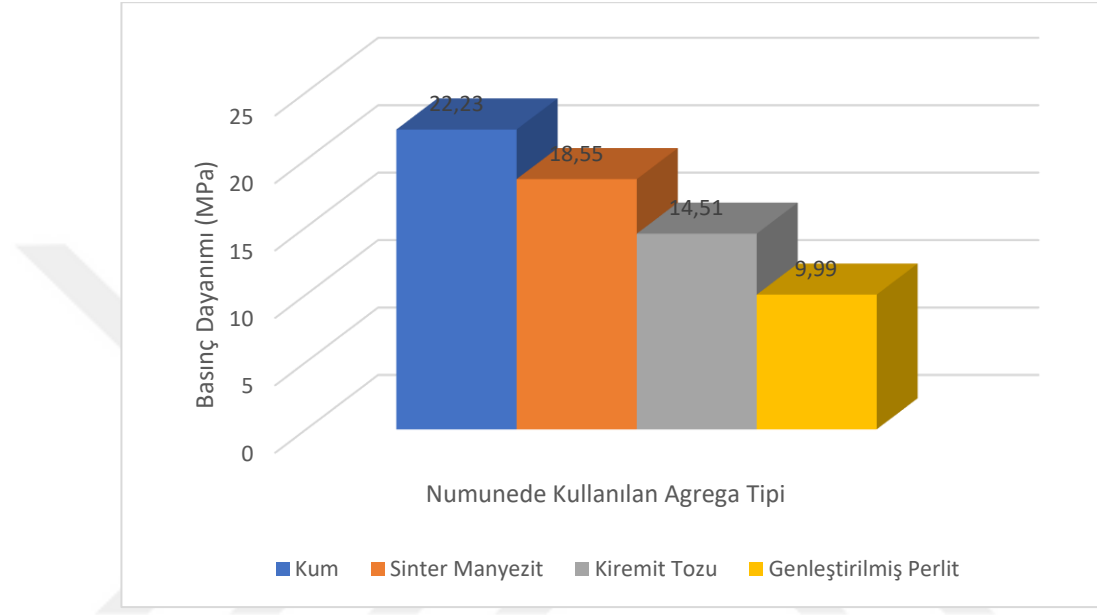


Görsel 3.22. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

28 günlük eğilme dayanım değerlerine bakıldığında kum ile hazırlanan numunenin 40°C’de 8,25 MPa 70°C’de 8,84 MPa değerlerine sahip olduğu, sinter manyezitle hazırlanan numunenin 40°C’de 4,19 MPa, 70°C’de 6,88 MPa değerlerine sahip olduğu, kiremit tozu ile hazırlanan numunenin 40°C’de 4,31 MPa, 70°C’de ise 6,49 MPa değerine sahip olduğu ve son olarak genleştirilmiş perlit ile hazırlanan numunelerin 40°C’de 3,21 MPa ve 70°C’de 4,81 MPa değerine sahip olduğu ortaya konulmuştur. Etüv sıcaklığının

yarattığı farkın 28 günlük eğilme dayanımları üzerine etkisinin çok ciddi olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Basınç dayanımı üzerindeki sıcaklık etkisini belirlemek için yayılma çapı ve numune yaşı parametreleri sabit tutulmuş olup etüv sıcaklığı parametresi değişken olarak seçilmiştir. Görsel 3.23 ve Görsel 3.24 21 cm yayılma çapına sahip 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerlerini göstermektedir.

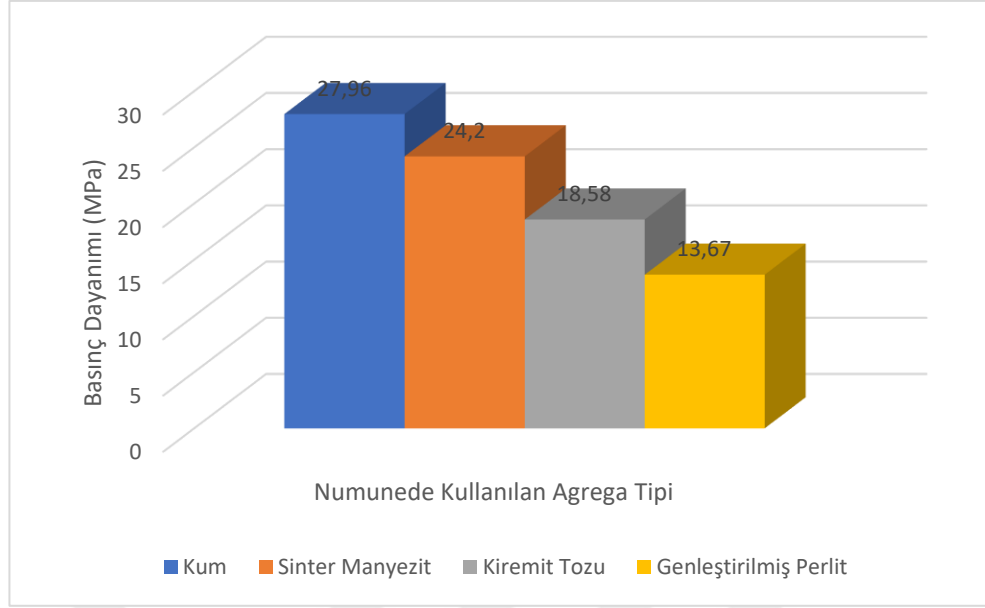


Görsel 3.23. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

40°C’de kürlenmiş kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit numunelerinin 28 günlük basınç değerleri sırasıyla 22,23 MPa, 18,55 MPa, 14,51 MPa ve 9,99 MPa olmuştur. Aynı karışım tasarımına sahip numunelerin 70°C’de kür sıcaklığına maruz kaldıktan sonraki 28 günlük basınç dayanımı değerleri kum için 27,96 MPa, sinter manyezit için 24,2 MPa, kiremit tozu için 18,58 MPa ve genleştirilmiş perlit için 13,67 MPa olmuştur. Sıcaklık 28 günlük basınç dayanımı üzerinde ortalama %30 olumlu bir etki sağlamıştır.

3.3.3. 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi

Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlitin agregat olarak değerlendirildiği harç numunelerinin 15 cm yayılma çapı elde edilecek şekilde hazırlanmış 70°C veya 40°C’de etüv kürü uygulanmış 7 günlük eğilme dayanımı değerleri Görsel 3.25 ve Görsel 3.26’da verilmiştir.

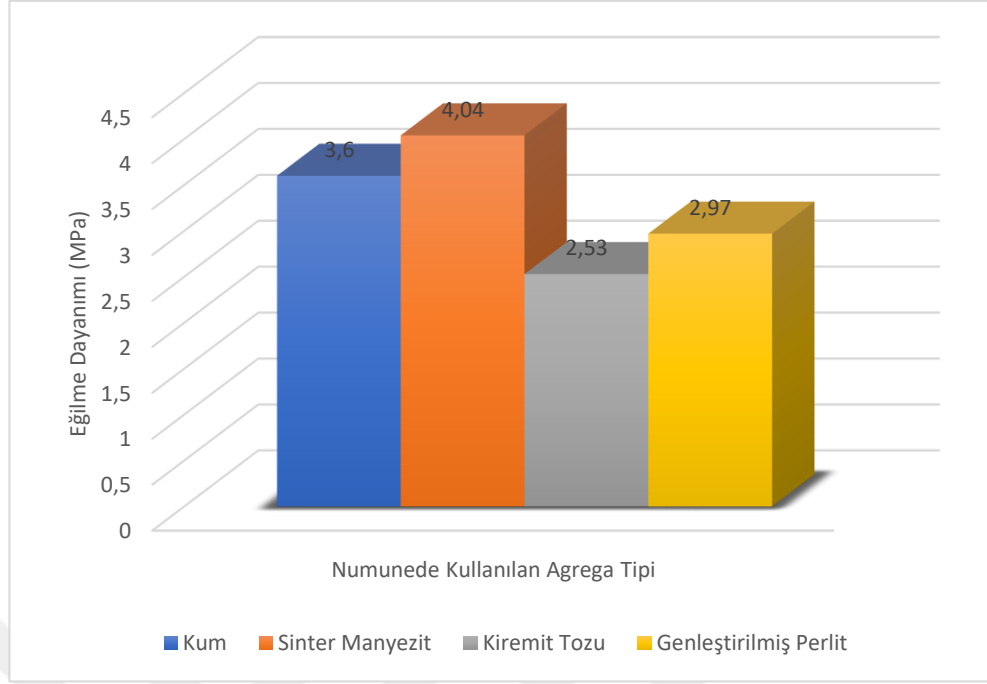


Görsel 3.24. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

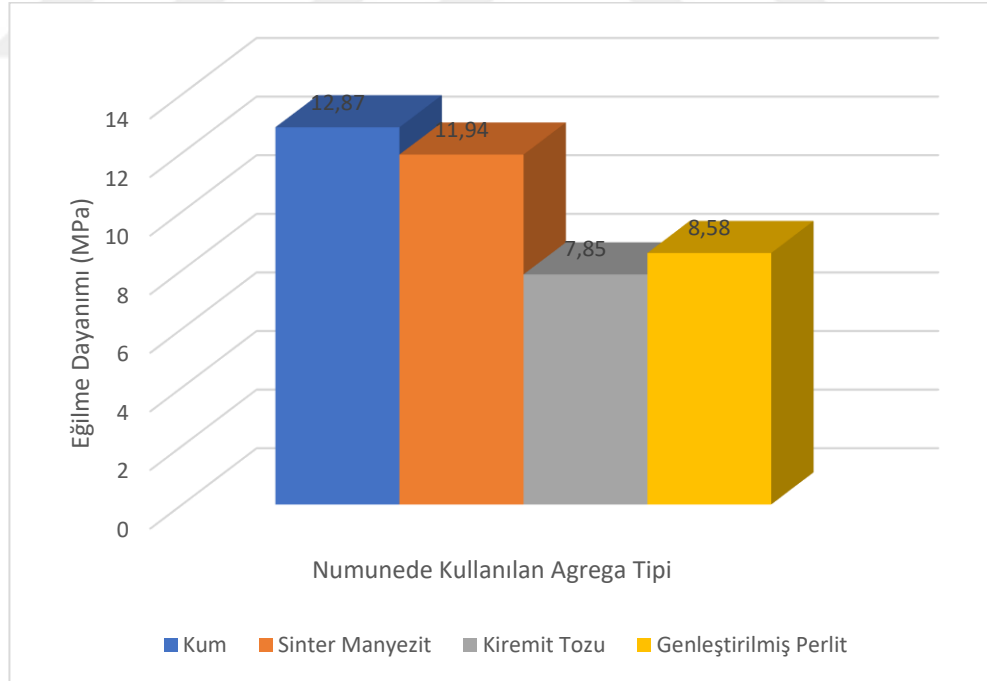
7 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde kum ile hazırlanan karışımın 40°C ve 70°C’deki 7 günlük eğilme dayanım değerleri sırasıyla 3,6 MPa ve 12,87 MPa olmuştur. Aynı şekilde sinter manyezit ile hazırlanmış numunenin eğilme dayanım değerleri 4,04 MPa ve 11,94 MPa, kiremit tozu numunesinin değerleri 2,53 MPa ve 7,85 MPa ve son olarak genleştirilmiş perlit ile hazırlanan numunelerin değerleri 2,97 MPa ve 8,58 MPa olmuştur. Etüv sıcaklığının 70°C’ye çıkarılması 7 günlük eğilme dayanımı üzerinde mukavemeti ortalama 3 kat arttıracak şekilde etkili olmuştur.

7 günlük basınç dayanımı üzerindeki sıcaklık etkisini belirlemek için yayılma çapı ve harçların yaşı sabit tutulup etüv sıcaklığı değişken olarak seçilmiştir. Görsel 3.27 ve Görsel 3.28 15 cm yayılma çapına sahip 40°C ve 70°C’de kürlenmiş numunelerin 7 günlük basınç dayanımlarını göstermektedir.

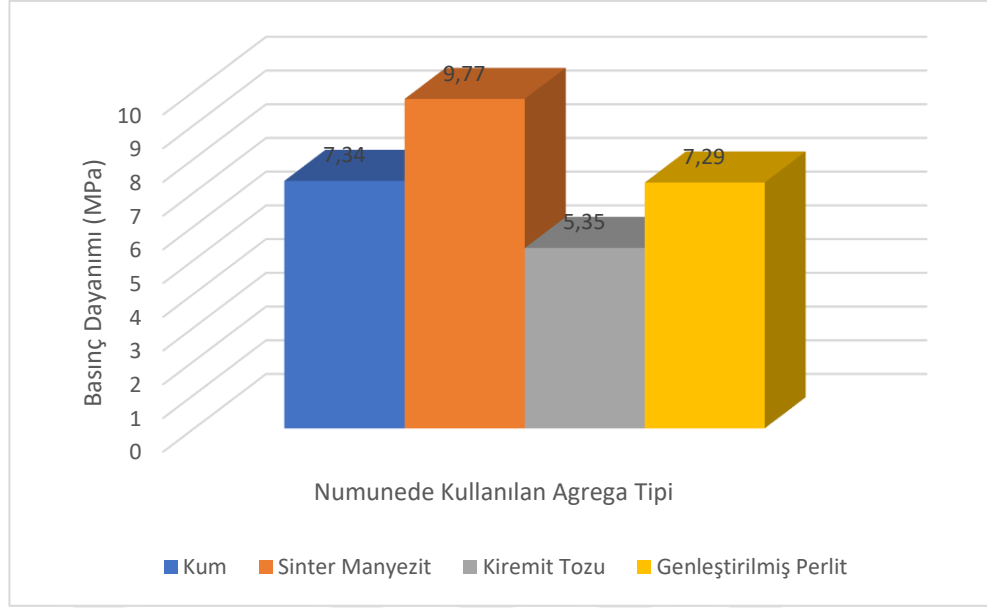
7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde kum için 40°C ve 70°C’deki 7 günlük basınç dayanım değerleri 7,34 MPa ve 34,46 MPa, sinter manyezit için 9,77 MPa ve 31,14 MPa, kiremit tozu için 5,35 MPa ve 22,14 MPa ve son olarak genleştirilmiş perlit için 7,29 MPa ve 25,26 MPa değerlerine ulaşılmıştır. 70°C etüv sıcaklığında 7 günlük basınç dayanımları oldukça iyi şekilde etkilenmiş ve mukavemet değerleri ortalama 5 kat artmıştır.



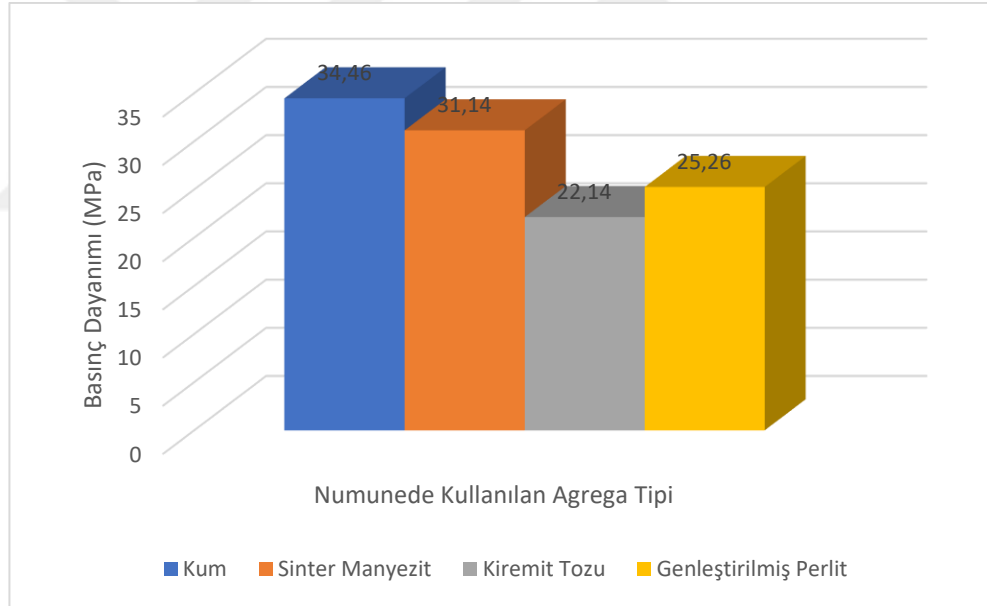
Görsel 3.25. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



Görsel 3.26. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



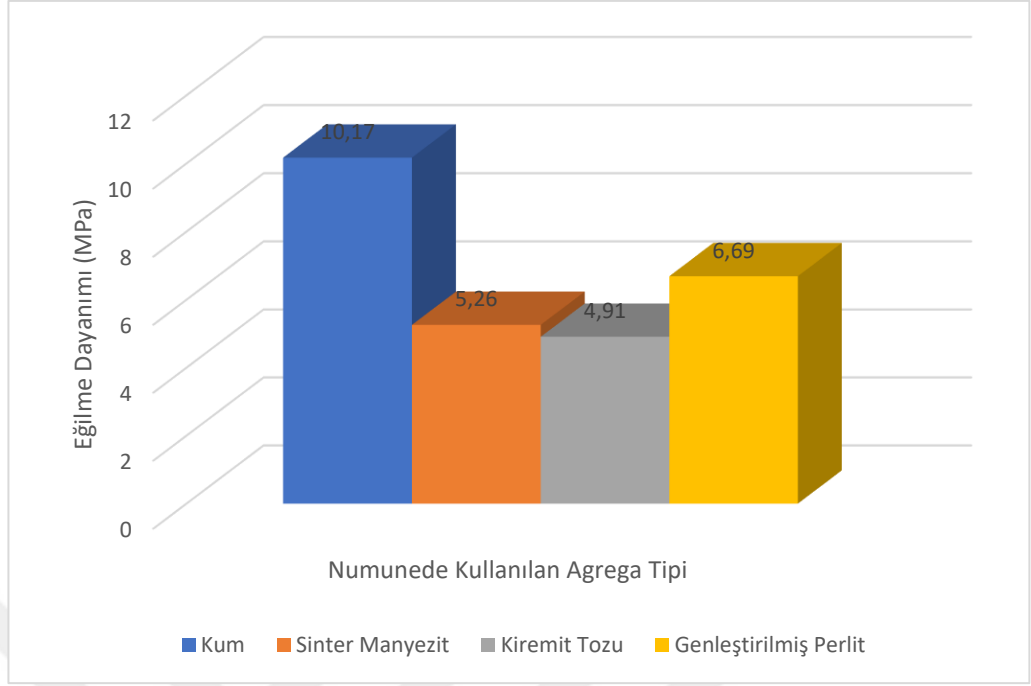
Görsel 3.27. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



Görsel 3.28. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.3.4. 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki sıcaklık etkisi

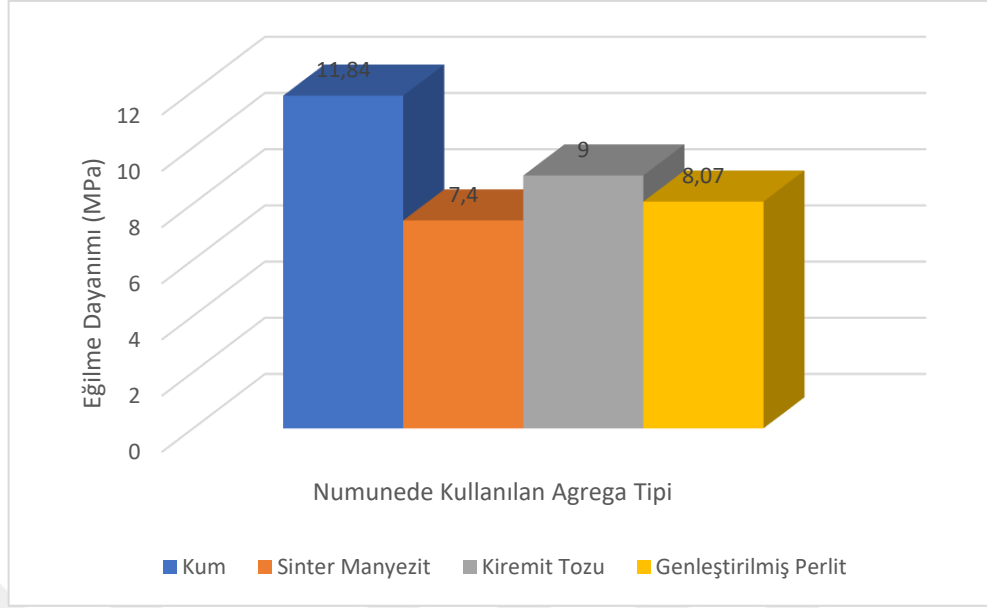
Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlitin agregası olarak değerlendirildiği harç numunelerinin 15 cm yayılma çapı elde edilecek şekilde hazırlanmış 70°C veya 40°C’de etüv kürü uygulanmış 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Görsel 3.29 ve Görsel 3.30’da verilmiştir.



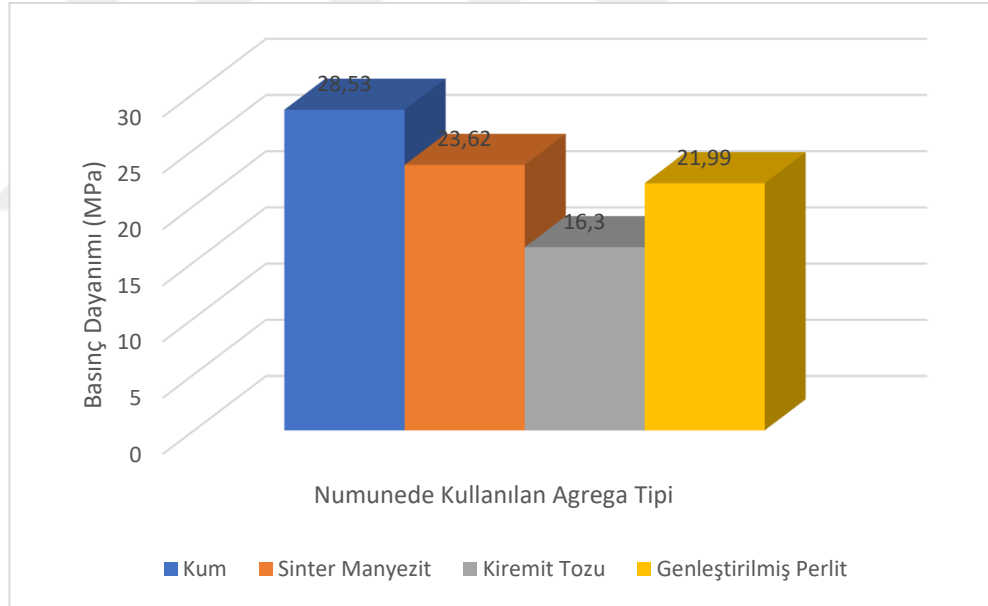
Görsel 3.29. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde kum ile hazırlanan karışımın 40°C ve 70°C’deki 28 günlük eğilme dayanım değerleri sırasıyla 10,17 MPa ve 11,84 MPa olmuştur. Aynı şekilde sinter manyezit ile hazırlanmış numunenin eğilme dayanım değerleri 5,26 MPa ve 7,4 MPa, kiremit tozu numunesinin değerleri 4,91 MPa ve 9 MPa ve son olarak genleştirilmiş perlit ile hazırlanan numunelerin değerleri 6,69 MPa ve 8,07 MPa olmuştur. Sıcaklık artışının 15 cm yayılma çapına sahip 28 günlük numuneler üzerinde dayanım artırıcı bir etkisi olduğu düşünülebilir.

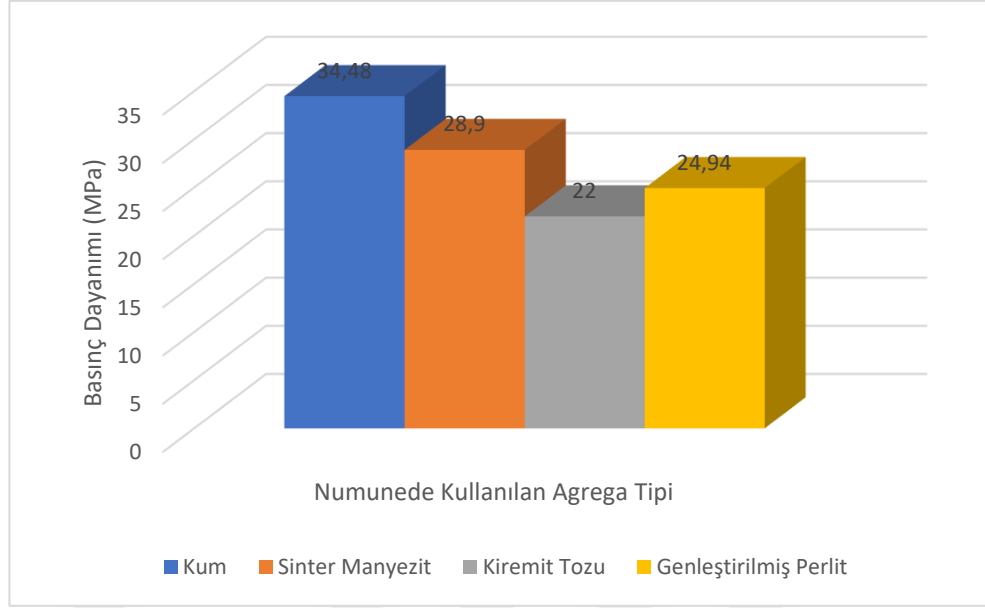
28 günlük basınç dayanımı üzerindeki sıcaklık etkisini belirlemek için yayılma çapı ve harçların yaşı sabit tutulup etüv sıcaklığı değişken olarak seçilmiştir. Görsel 3.31 ve Görsel 3.32 15 cm yayılma çapına sahip 40°C ve 70°C’de kürlenmiş numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarını göstermektedir.



Görsel 3.30. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



Görsel 3.31. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C'de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



Görsel 3.32. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

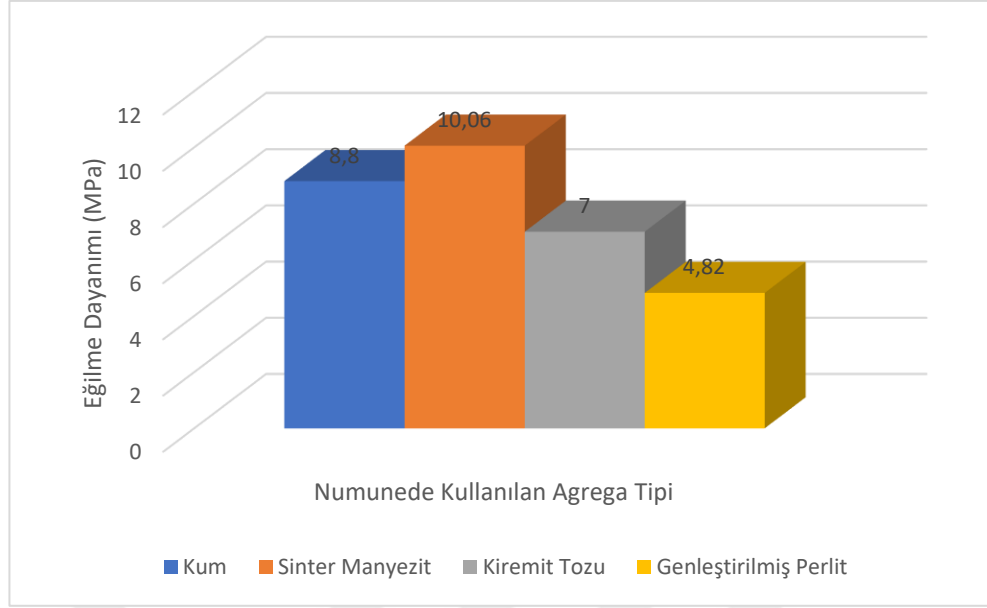
28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde kum için 40°C ve 70°C’deki 28 günlük basınç dayanım değerleri 28,53 MPa ve 34,48 MPa, sinter manyezit için 23,62 MPa ve 28,9 MPa, kiremit tozu için 16,3 MPa ve 22 MPa ve son olarak genleştirilmiş perlit için 21,99 MPa ve 24,94 MPa değerlerine ulaşılmıştır. 70°C etüv sıcaklığında 28 günlük basınç dayanımları olumlu şekilde etkilenmiş, dayanımlar artmıştır.

3.4. Beton Yaşı Etkisi

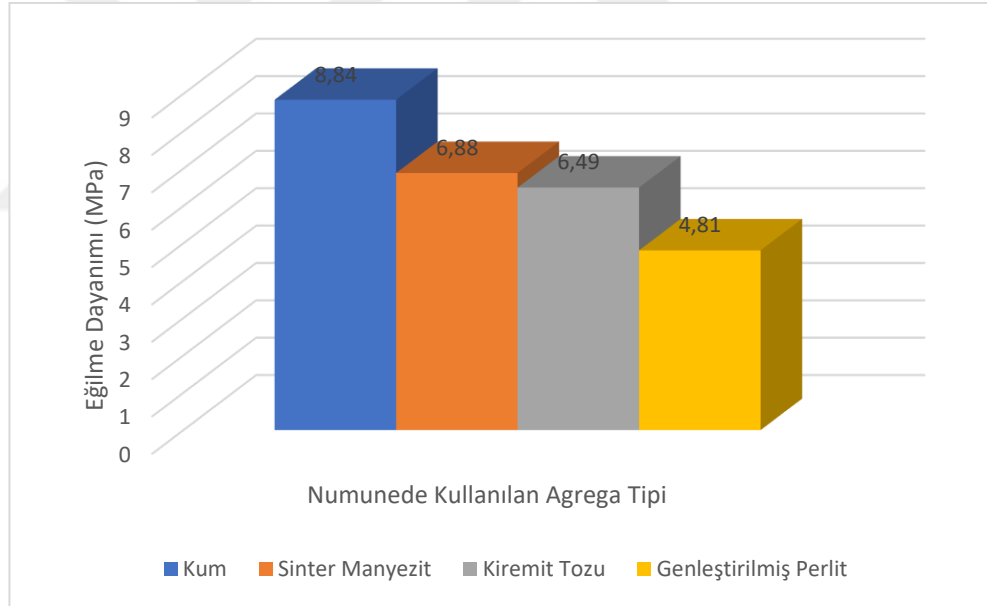
3.4.1. 21 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi

Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile oluşturulmuş numunelerin eğilme ve basınç dayanım sonuçları üzerindeki beton yaşı etkisini anlamak için yayılma çapı değeri ve kür sıcaklık değeri sabit parametreler olarak seçildi. 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanım sonuçları karşılaştırılarak beton yaşı etkisi ortaya konulmaya çalışıldı.

Yukarıda bahsedilen agregat tipleriyle oluşturulan 21 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş geopolimer harç numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri Görsel 3.33 ve Görsel 3.34’te gösterilmiştir.



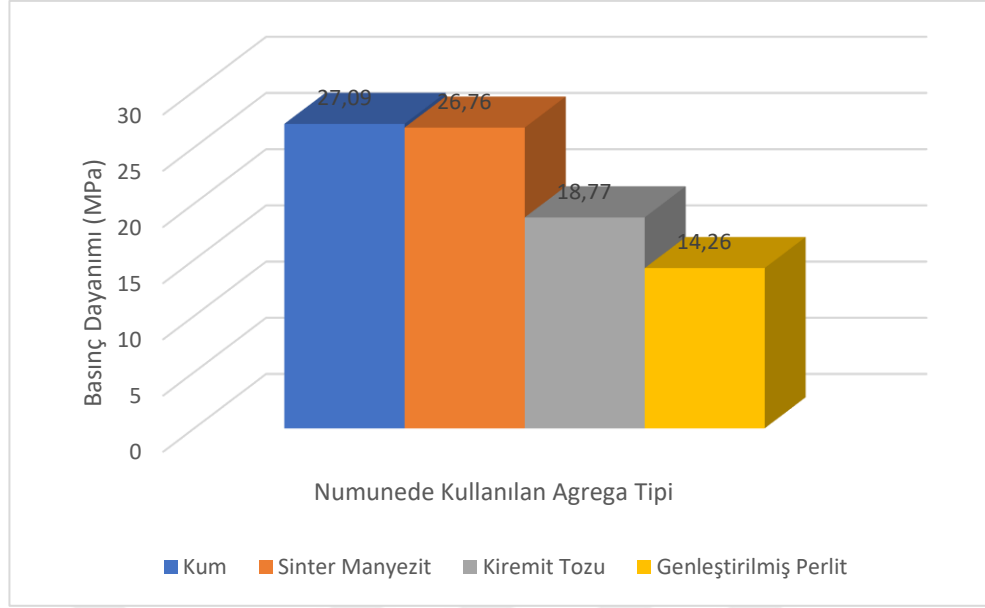
Görsel 3.33. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



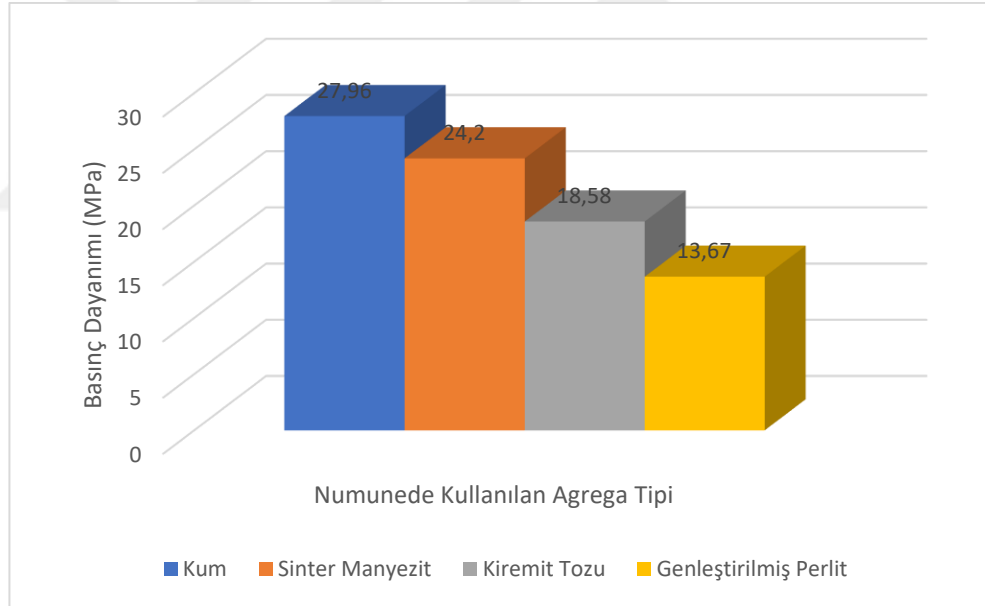
Görsel 3.34. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

21 cm yayılma çapına sahip 70°C'de kürlenmiş numunelerin 28. günlerinde 7 günlük dayanımlarından daha az eğilme dayanım değerine sahip olduğu görülmüştür.

Aynı şekilde Görsel 3.35 ve Görsel 3.36'da 21 cm yayılma çapına sahip 70°C'de kürlenmiş geopolimer harç numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri gösterilmiştir.



Görsel 3.35. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



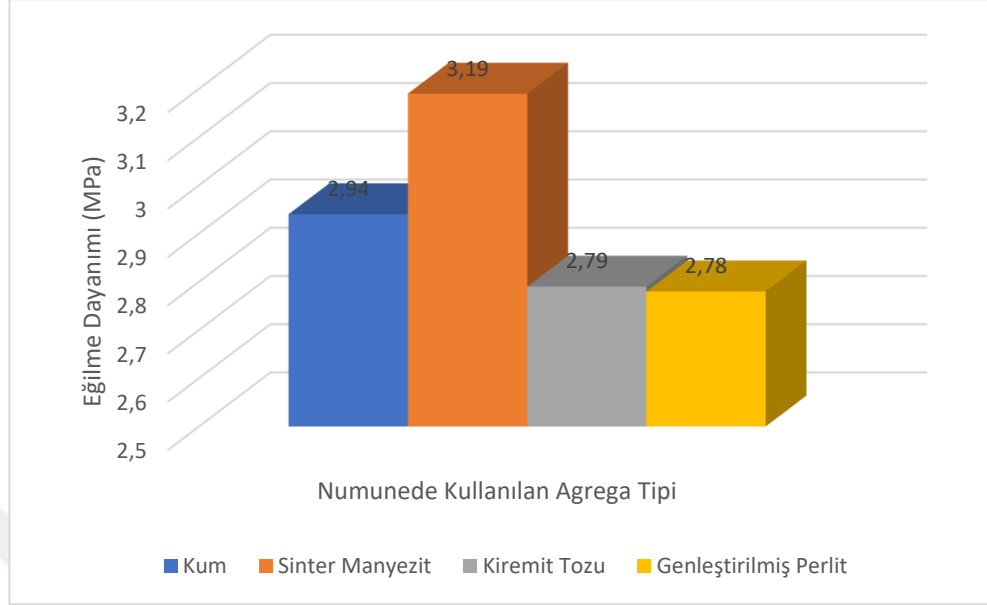
Görsel 3.36. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri, 21 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş numuneler için incelendiğinde 28 günlük dayanımın önemli bir kısmının 7 günlükken kazanıldığı görülmektedir.

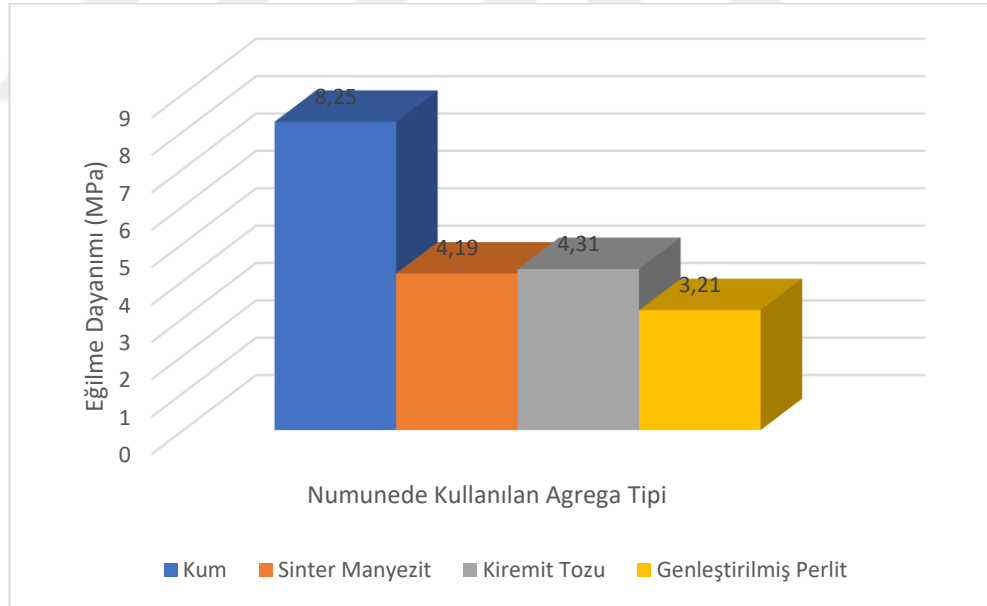
3.4.2. 21 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi

Sabit değer olarak belirlenen yayılma çapı ve kür sıcaklığı değerleri 21 cm ve 40°C olarak belirlenmiştir. Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlitten oluşan

geopolimer harç numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri Görsel 3.37 ve Görsel 3.38’de gösterilmiştir.



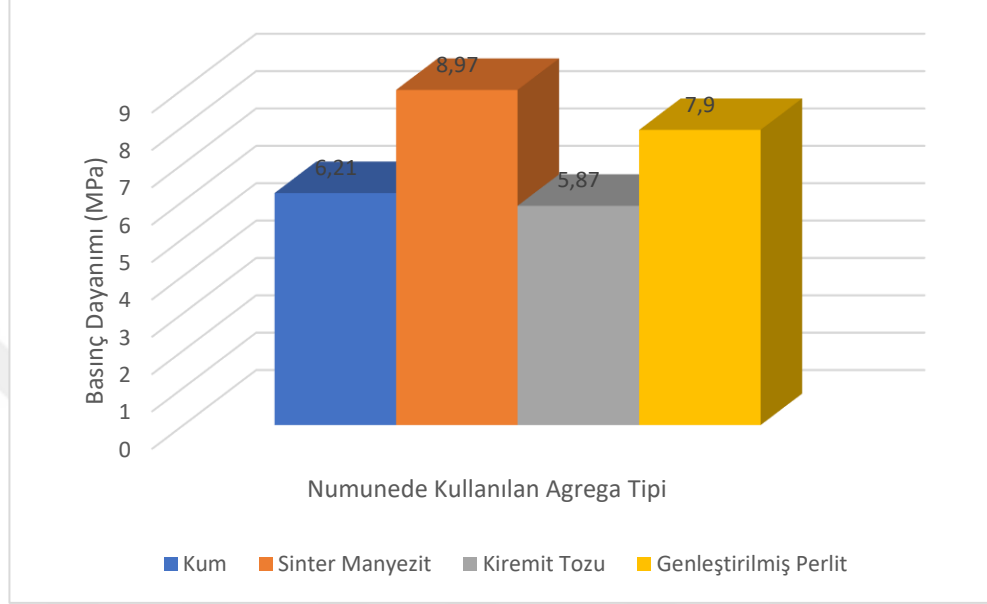
Görsel 3.37. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



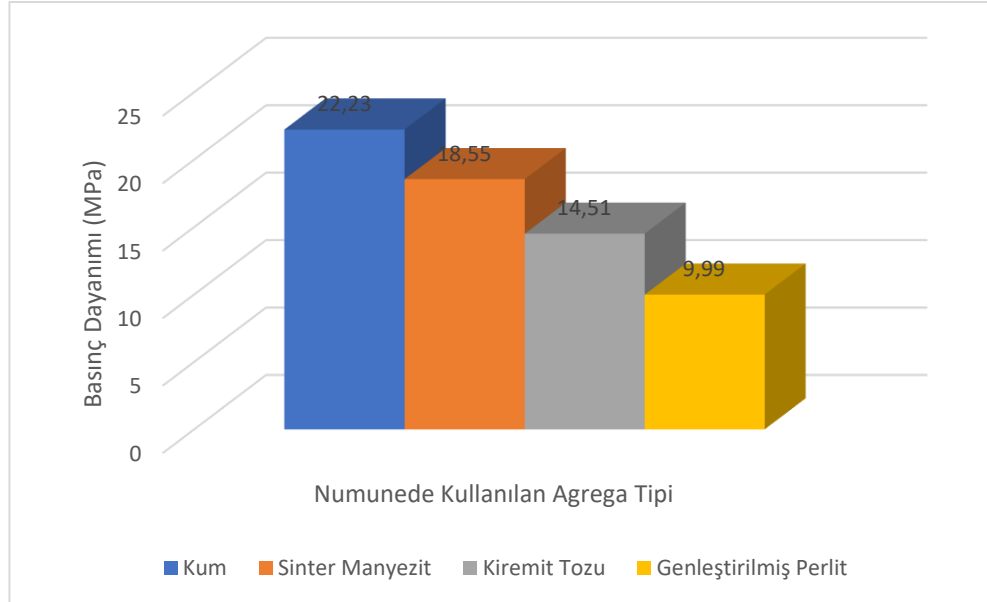
Görsel 3.38. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Eğilme dayanım değerinin değişimi kum ile hazırlanan numune hariç çok az arttığını görebiliriz fakat kum ile hazırlanmış numune yaklaşık 4 kat artış göstermiştir.

Görsel 3.39 ve Görsel 3.40 21 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş geopolimer harç numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerini göstermektedir.



Görsel 3.39. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

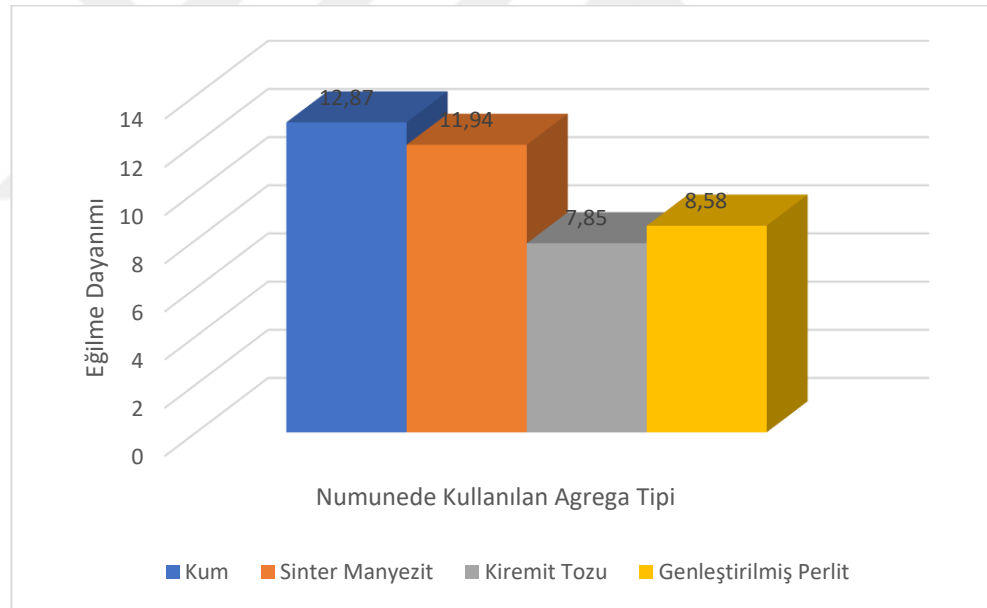


Görsel 3.40. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

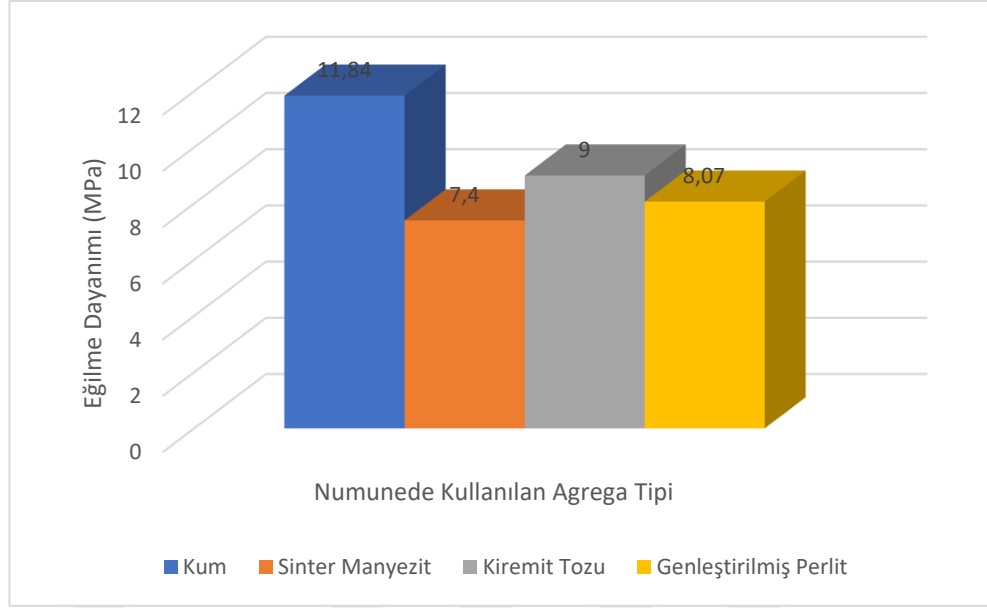
Numune yaşı etkisinin ciddi olarak artış sağladığı Görsel 3.39 ve Görsel 3.40'tan anlaşılabilir. 7 günlükken 6,21 MPa olan kum numunesi 28. günde 22,23 MPa değerine ulaşmış olup sırasıyla sinter manyezit numunesi 8,97 MPa'dan 18,55 MPa'a, kiremit tozu numunesi 5,87 MPa'dan 14,51 MPa'a, genişletilmiş perlit numunesi 7,9 MPa'dan 9,99 MPa'a yükselmiştir.

3.4.3. 15 cm yayılma çapına sahip 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi

Sabit değer olarak belirlenen yayılma çapı ve kür sıcaklığı değerleri 15 cm ve 70°C olarak belirlenmiştir. Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlitten oluşan geopolimer harç numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri Görsel 3.41 ve Görsel 3.42'de gösterilmiştir. Görsel 3.43 ve Görsel 3.44 15 cm yayılma çapına sahip ve kürleme sıcaklığı 70°C olan kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genişletilmiş perlitin agrega olarak kullanılmasıyla oluşturulmuş geopolimer harç numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerini göstermektedir.

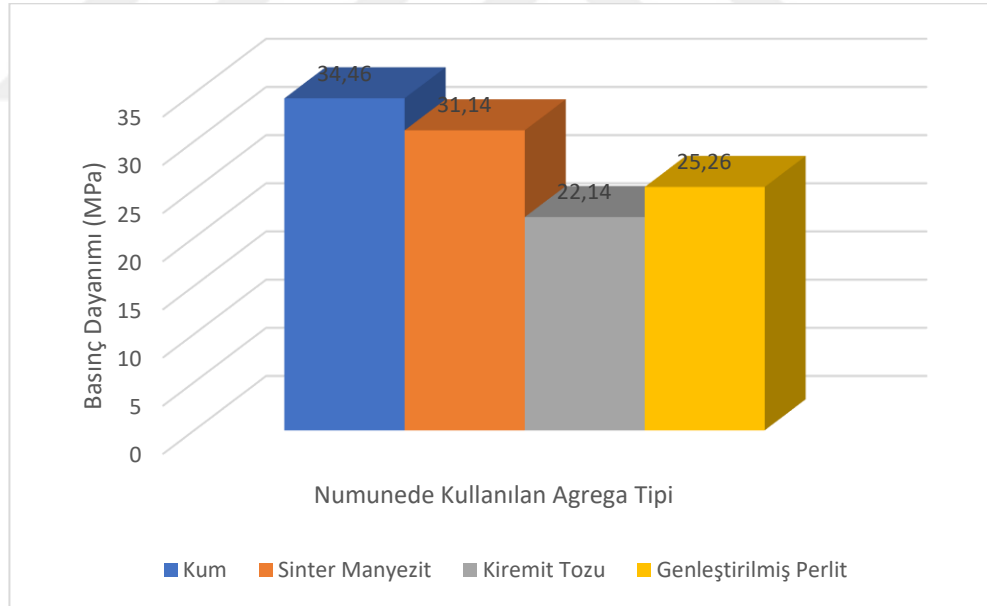


Görsel 3.41. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

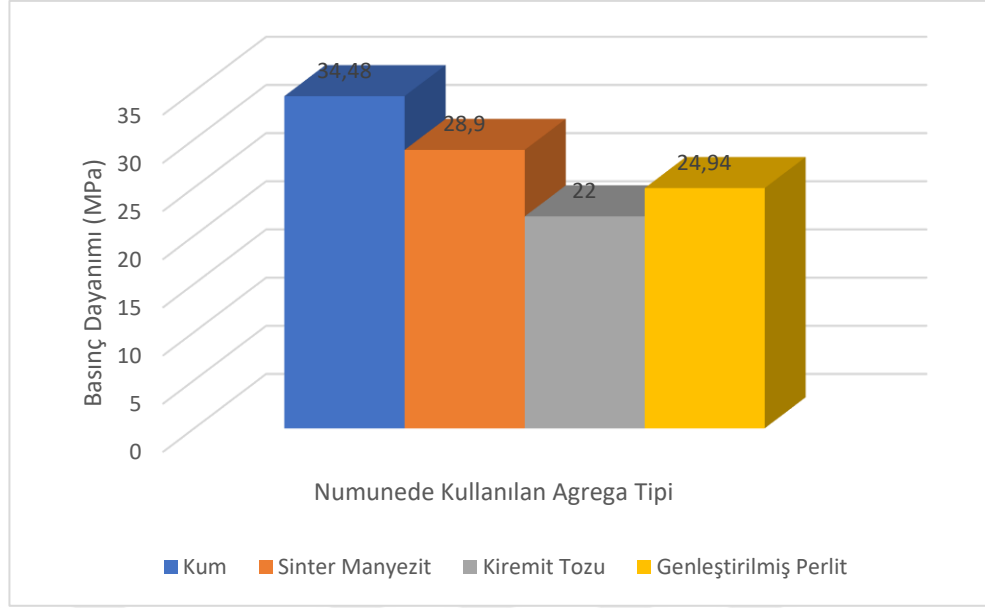


Görsel 3.42. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Numunelerin 7 ve 28. günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde 28. günde çok az düşüş yaşandığı görülmektedir.



Görsel 3.43. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

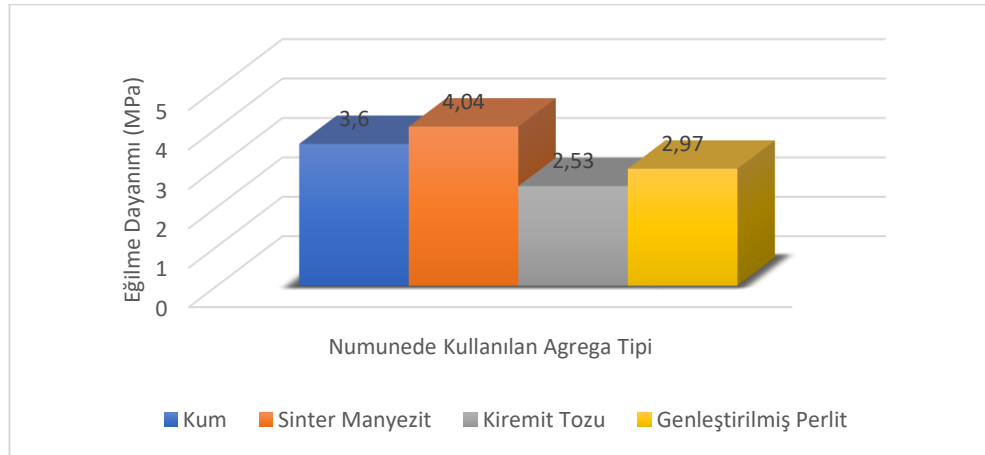


Görsel 3.44. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

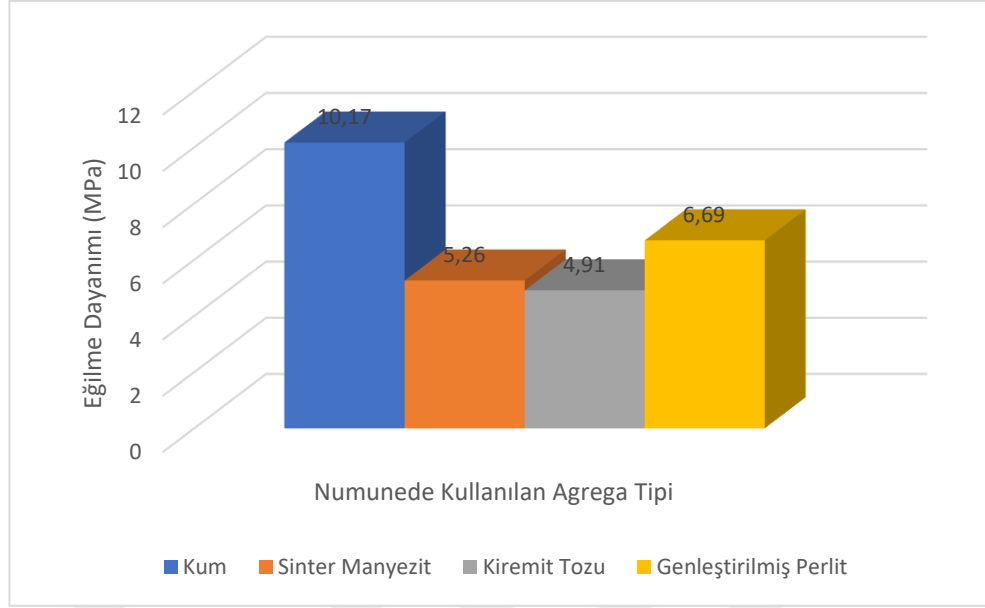
Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, 28 günlük basınç dayanım değerlerinin önemli bir kısmının ilk 7 gün içerisinde sağlandığı görülmektedir.

3.4.4. 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki beton yaşı etkisi

Sabit değer olarak belirlenen yayılma çapı ve kür sıcaklığı değerleri 15 cm ve 40°C olarak belirlenmiştir. Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlitten oluşan geopolimer harç numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri Görsel 3.45 ve Görsel 3.46’da gösterilmiştir.



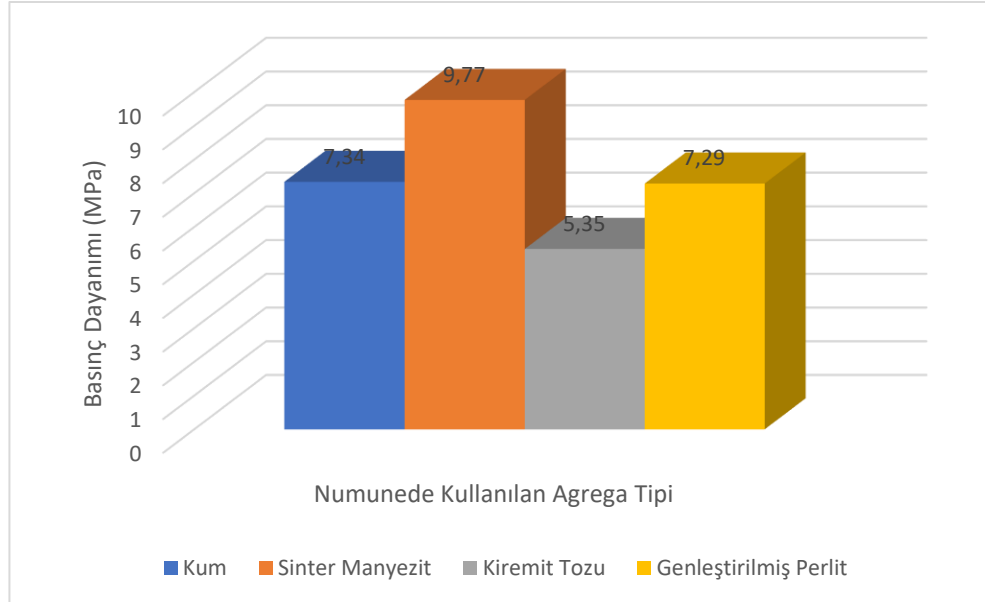
Görsel 3.45. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



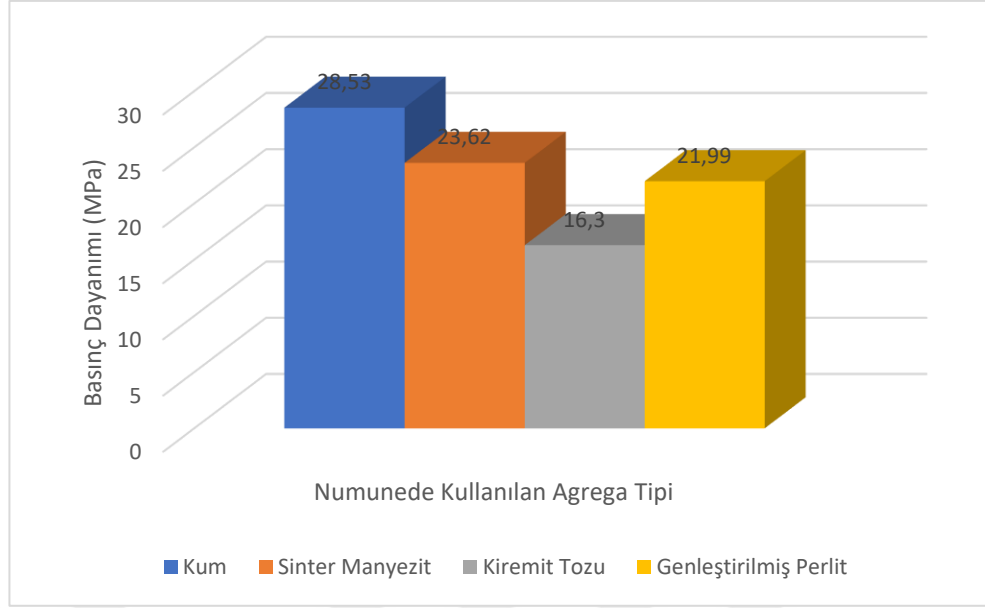
Görsel 3.46. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Eğilme dayanımı 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş numuneler için 28 günlük dayanımda 7 günlük dayanıma göre oldukça ciddi bir artış gözlenmiştir.

Görsel 3.47 ve Görsel 3.48 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş geopolimer harç numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerini göstermektedir.



Görsel 3.47. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



Görsel 3.48. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

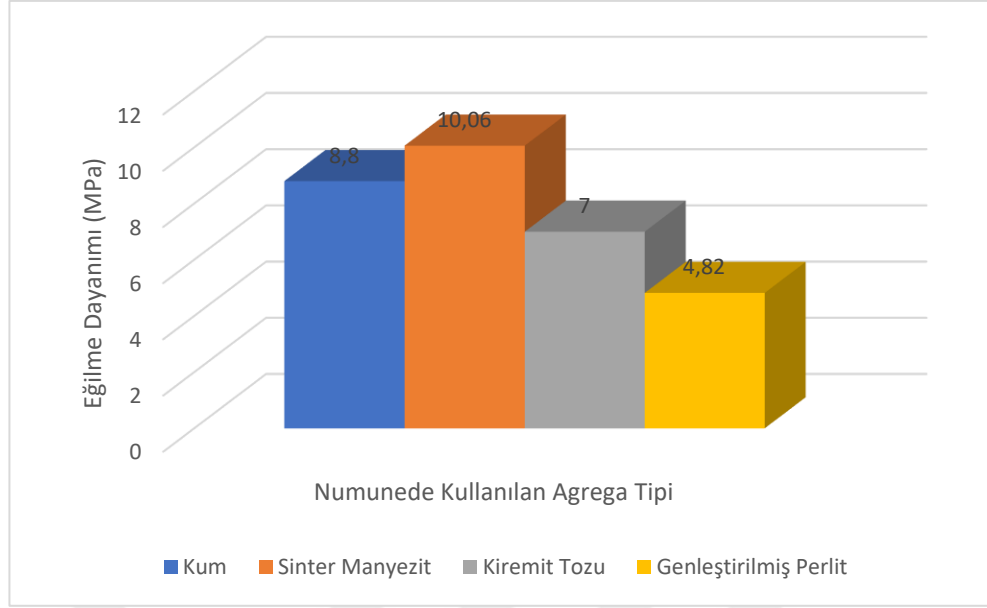
Eğilme dayanımı değişimiyle paralel olarak basınç dayanımında da 28 günlük dayanım değerleri 7 günlük dayanım değerlerine göre oldukça yüksektir. Bu durum 70°C’deki değerlerle kıyaslandığında geopolimer harç içerisindeki aktivasyonun 70°C’de daha yoğun gerçekleştiği ve bu sebeple 7 günlük dayanım değerleri ile 28 günlük dayanım değerlerinin 70°C’de kürlenmiş numuneler için hemen hemen aynı olduğu durumu ortaya çıkarmıştır.

3.5. Yayılma Çapı (İşlenebilirlik) Etkisi

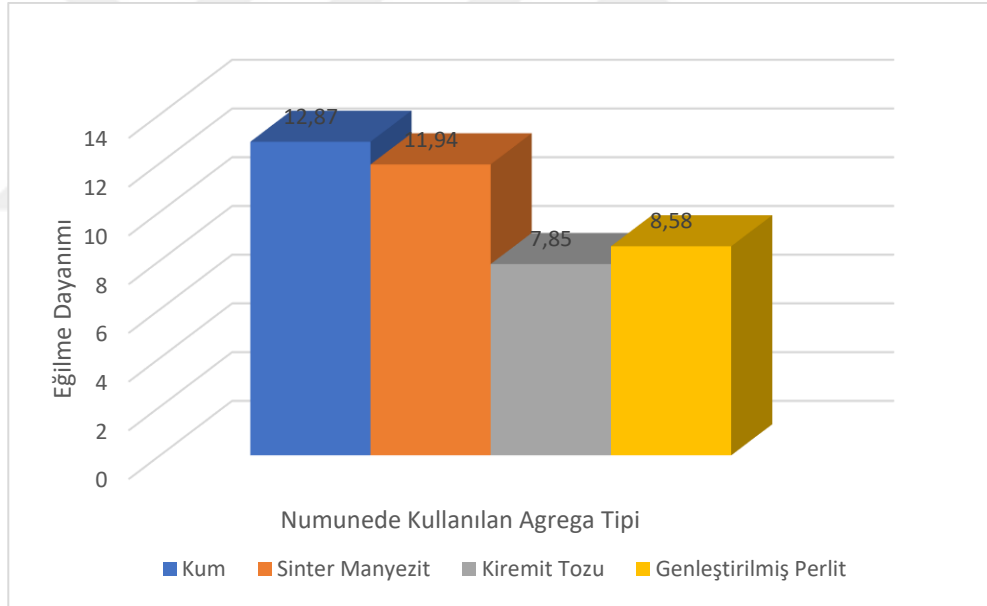
Numunelerin kalıplara yerleşmesi için gerekli olan işlenebilirliği sağlamak için çeşitli miktarlarda su kullanılmıştır. Kullanılan su miktarı agregat tipi değişikçe değişkenlik göstermiş olup bu değişimi yayılma çapı değerinin sabit tutulmasıyla açıklamak izlenecek en makul yol olmuştur. Tüm agregat tipleri için 15cm ve 21cm yayılma çapı değeri sabit tutulmuştur. Bu değişen yayılma çapının yani işlenebilirlik değerinin etkisi ortaya koyabilmek için numunelerin eğilme ve basınç değerleri aşağıda tek tek kıyaslanmıştır.

3.5.1. 70°C’de kürlenmiş numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi

Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile oluşturulan 70°C’de kürlenmiş numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları Görsel 3.49 ve Görsel 3.50’de gösterilmiştir.



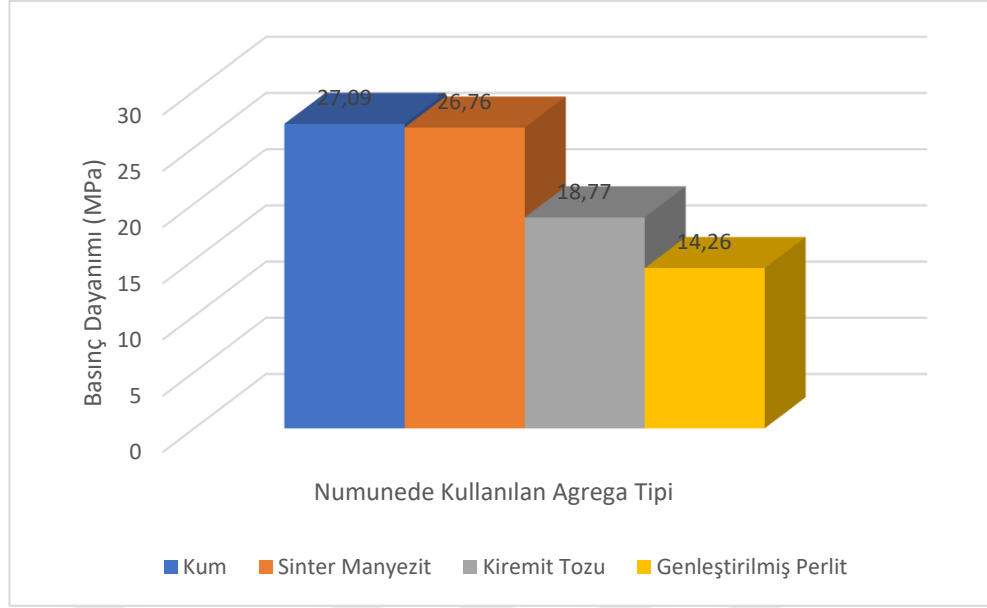
Görsel 3.49. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



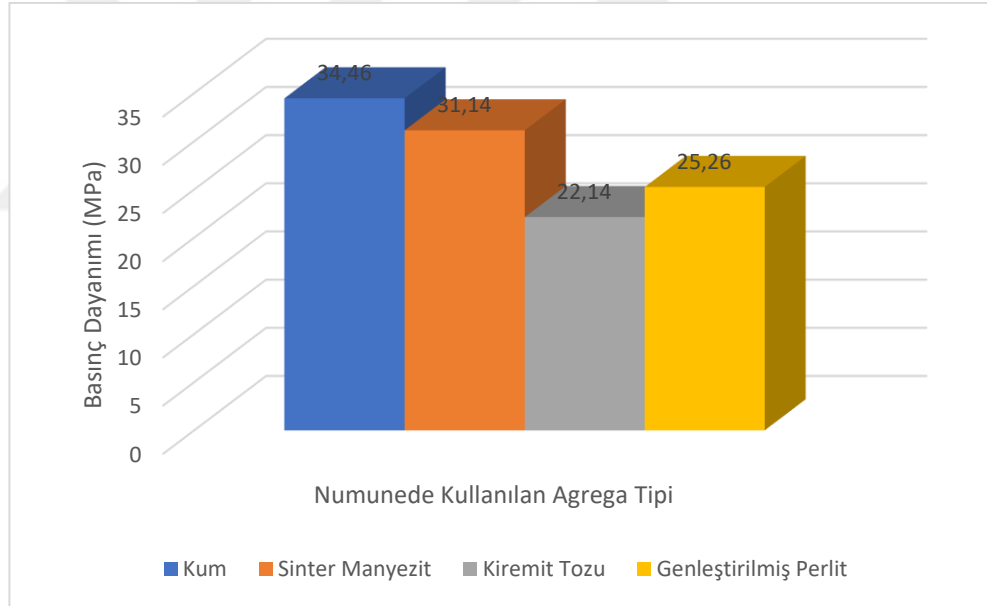
Görsel 3.50. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Su miktarının artmasıyla yani yayılma çapı değerinin 15cm'den 21cm'e ulaşmasıyla 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Özellikle genleştirilmiş perlit üzerin yarı yarıya bir düşüş gözlenmektedir. Bu durum genleştirilmiş perlitin su ihtiyacının diğer agregalara göre daha fazla olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Görsel 3.51 ve Görsel 3.52 aynı numuneler için 7 günlük basınç dayanımını göstermektedir.



Görsel 3.51. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

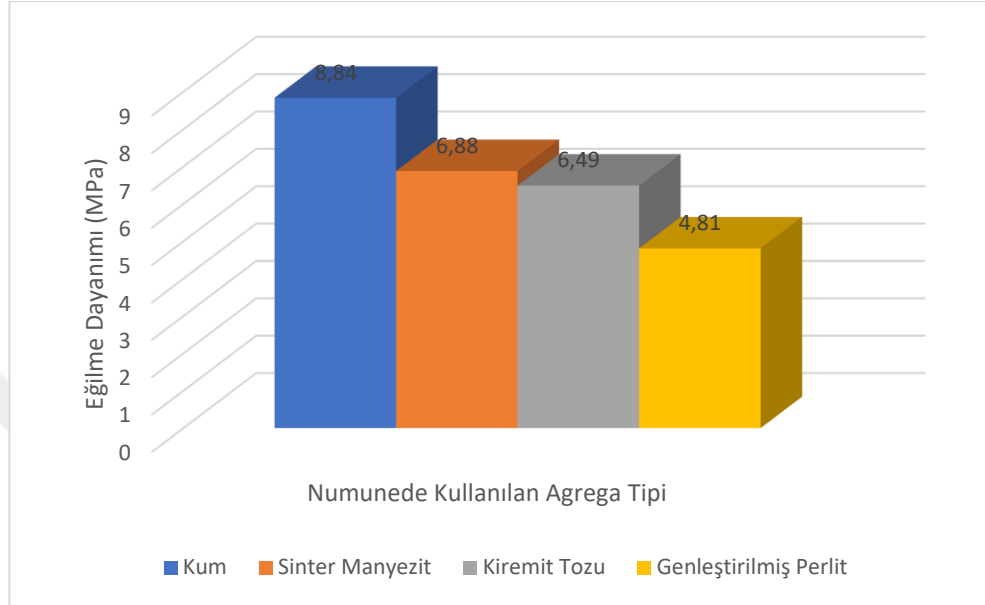


Görsel 3.52. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C'de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

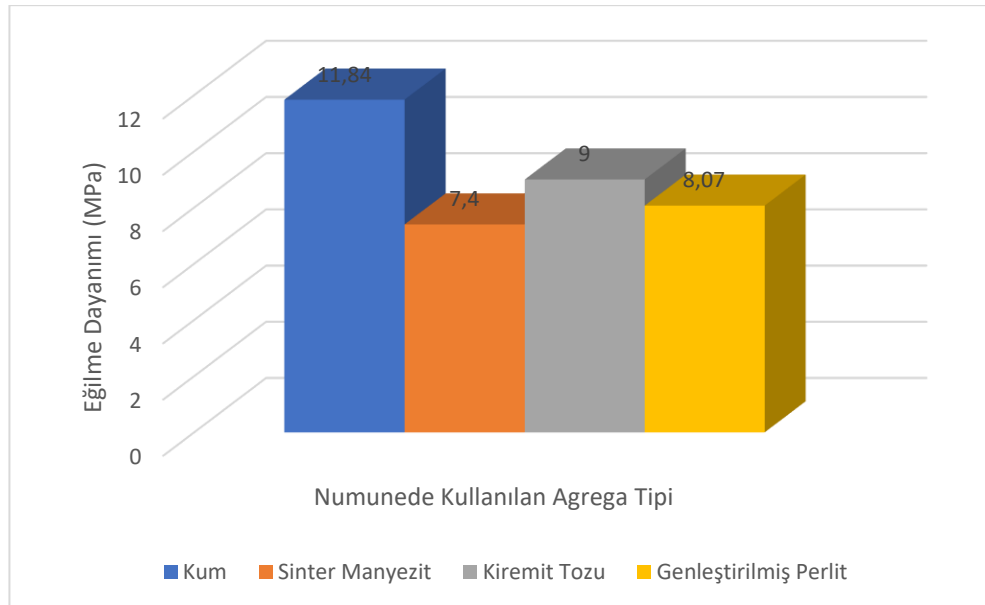
Su miktarının artmasıyla tüm numuneler için basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. En dramatik düşüşün genleştirilmiş perlit ile hazırlanan numunede olduğu gözlenmiştir. Bu durum genleştirilmiş perlitin diğer agregalara kıyasla suya en fazla ihtiyaç duyan agregat olmasından kaynaklanıyor olabilir.

3.5.2. 70°C’de kürlenmiş numunelerin 28 günlük eğilme ve basınc dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi

Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile oluşturulan 70°C’de kürlenmiş numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları Görsel 3.53 ve Görsel 3.54’te gösterilmiştir.



Görsel 3.53. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

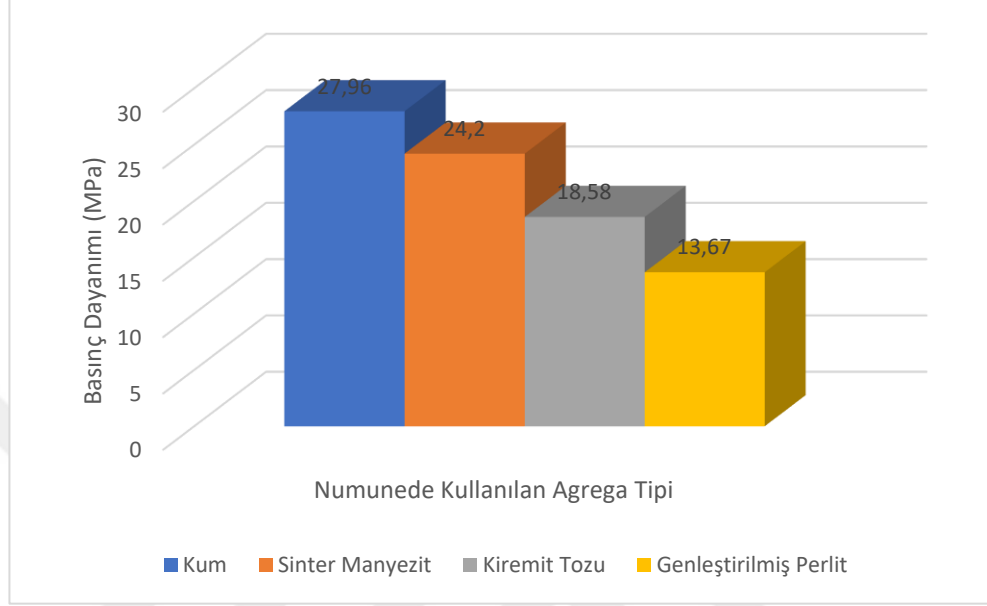


Görsel 3.54. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

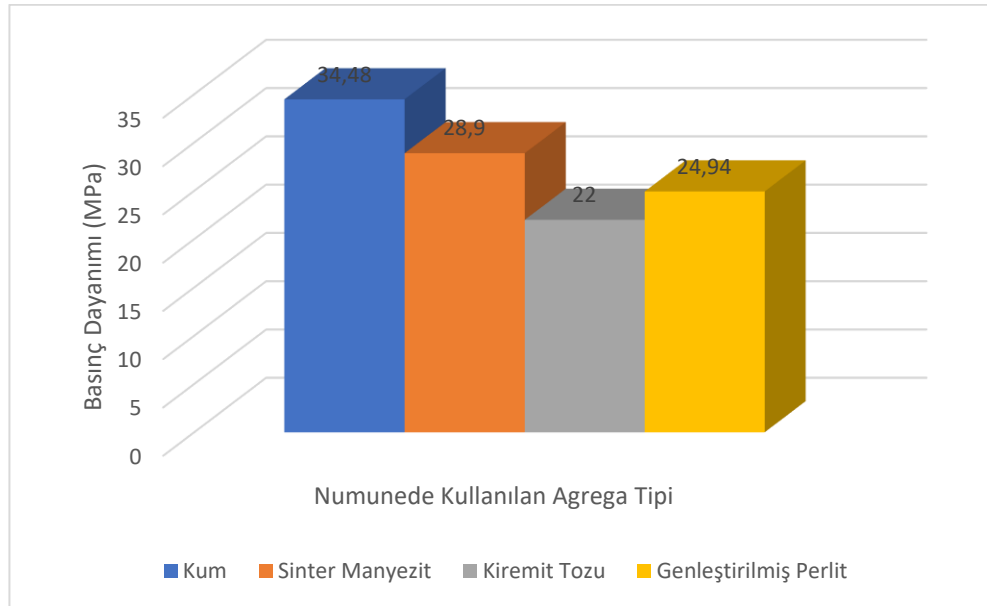
70°C’de kürlenmiş kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile oluşturulmuş numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları üzerine su miktarının etkisi

gösterilmiştir. Su miktarı arttırıldıkça işlenebilirliğin arttığı ve 28 günlük eğilme dayanımlarının azaldığı görülmektedir.

Görsel 3.55 ve Görsel 3.56 aynı numunelerin 28 günlük basınç dayanımları üzerine işlenebilirlik etkisi ortaya koymuştur.



Görsel 3.55. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

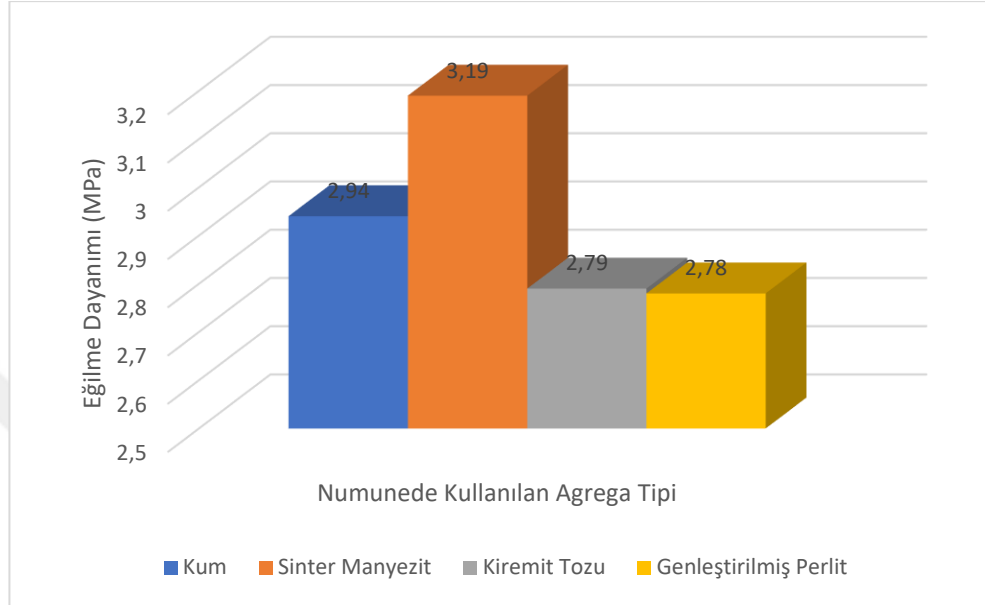


Görsel 3.56. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 70°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

Su miktarının dolayısıyla işlenebilirliğin artması tüm numuneler için 28 günlük basınç dayanımının düşmesine sebep olmuştur.

3.5.3. 40°C’de kürlenmiş numunelerin 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi

Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile oluşturulan 40°C’de kürlenmiş numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları Görsel 3.57 ve Görsel 3.58’de gösterilmiştir.

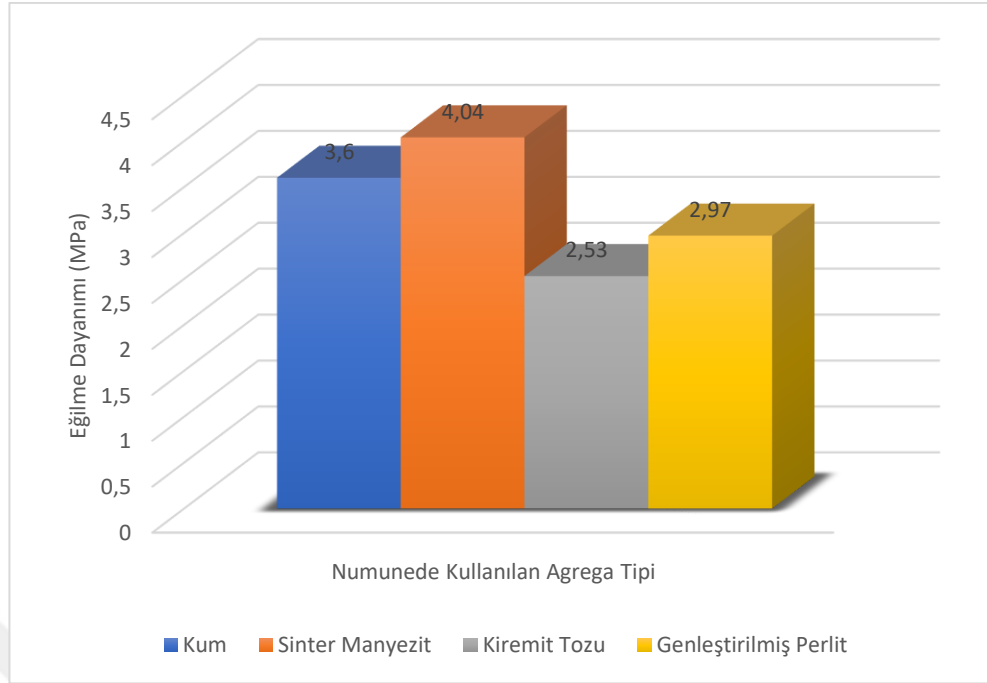


Görsel 3.57. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

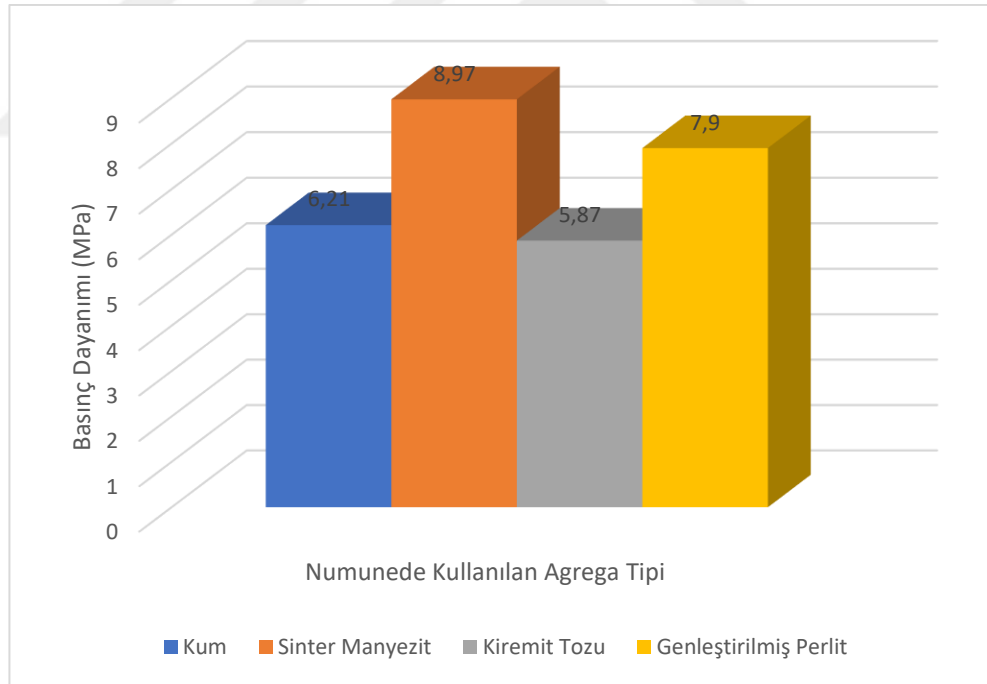
15 cm ve 21 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlitten oluşmuş geopolimer harç numunelerinin 7 günlük basınç dayanımları su miktarının artmasıyla azalmıştır.

Görsel 3.59 ve Görsel 3.60 aynı numunelerin 7 günlük basınç dayanım değerlerini göstermektedir.

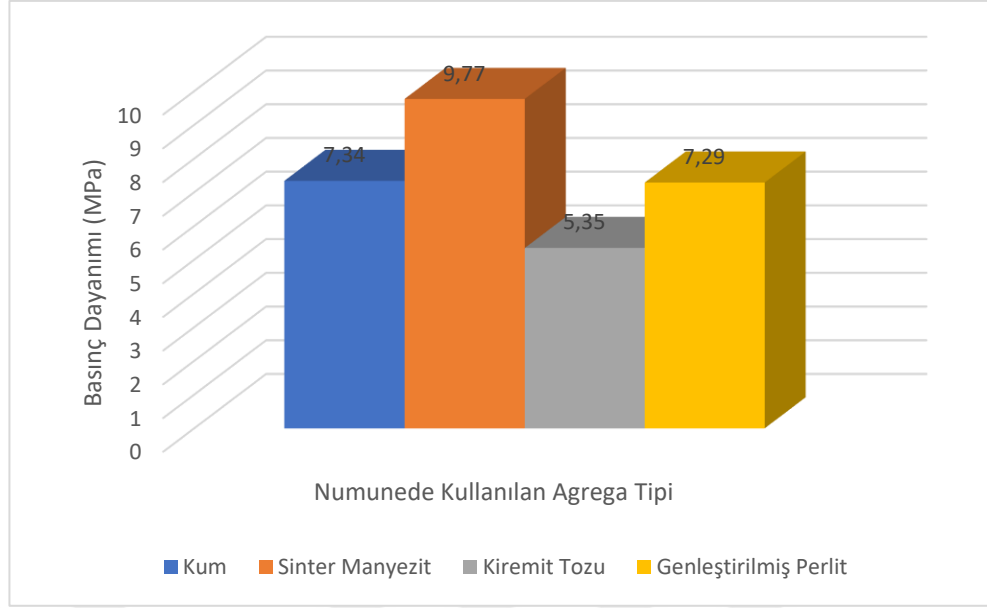
Su miktarının artması numunelerin 7 günlük basınç dayanımı değerlerini çok az miktarda etkilemiştir. Diğer durumlarda olduğu gibi su miktarının ve dolayısıyla işlenebilirliğin artışı 7 günlük basınç dayanımını çok az d ş rm ştir.



Görsel 3.58. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C'de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



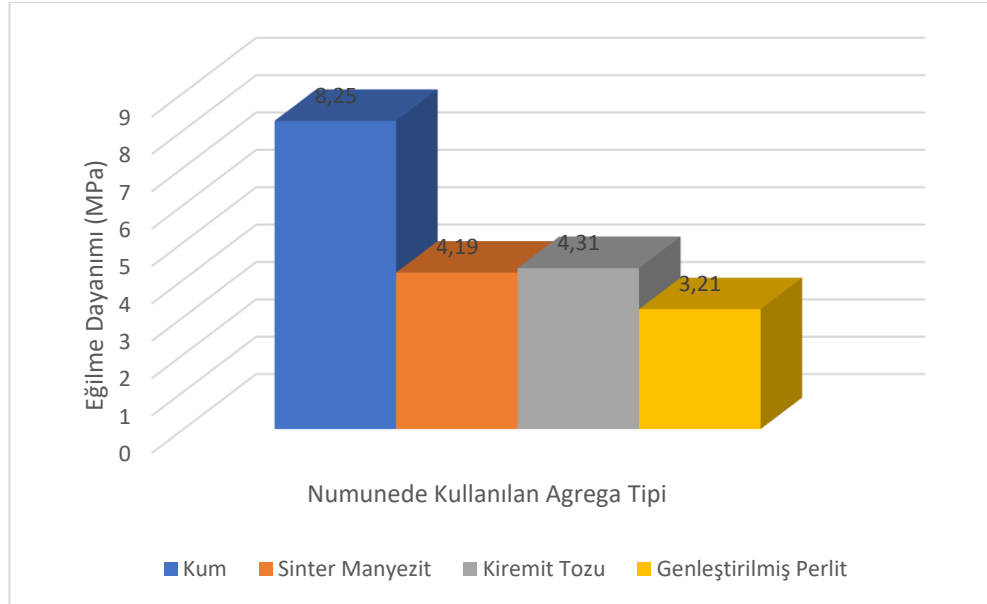
Görsel 3.59. 7 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C'de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



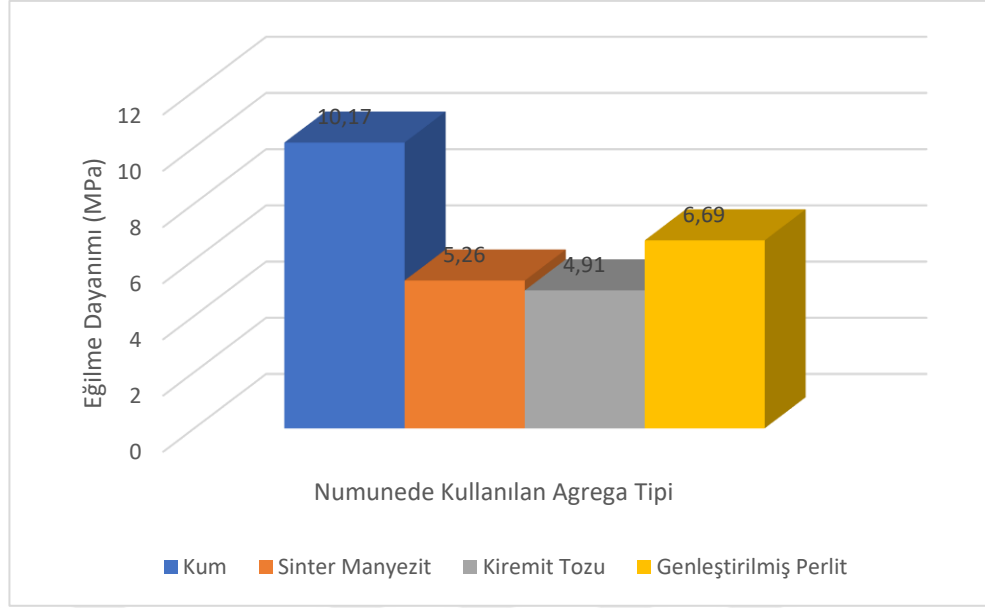
Görsel 3.60. 7 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

3.5.4. 40°C’de kürlenmiş numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki işlenebilirlik etkisi

Kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile oluşturulan 40°C’de kürlenmiş numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları Görsel 3.61 ve Görsel 3.62’de gösterilmiştir.



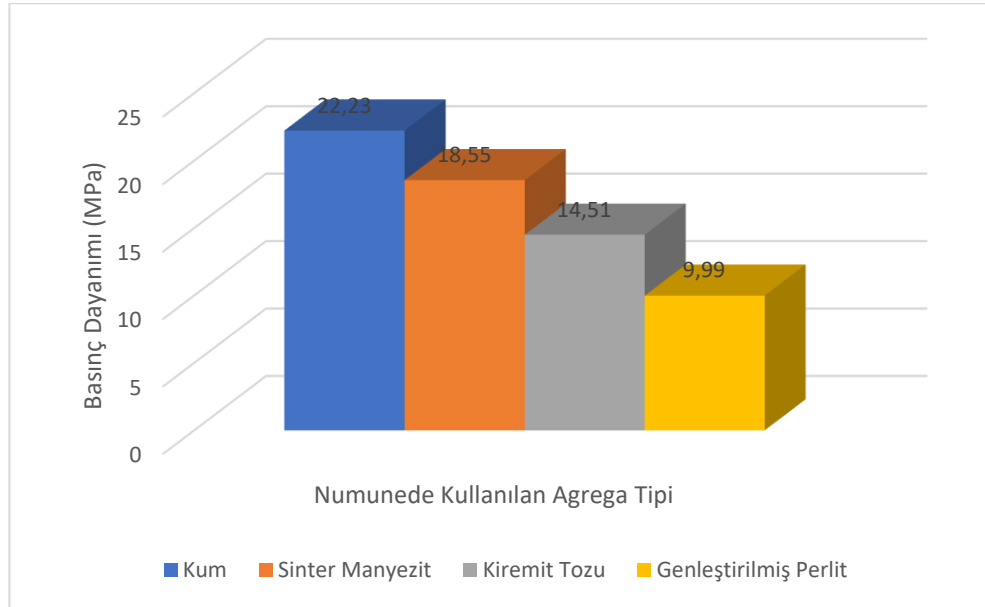
Görsel 3.61. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri



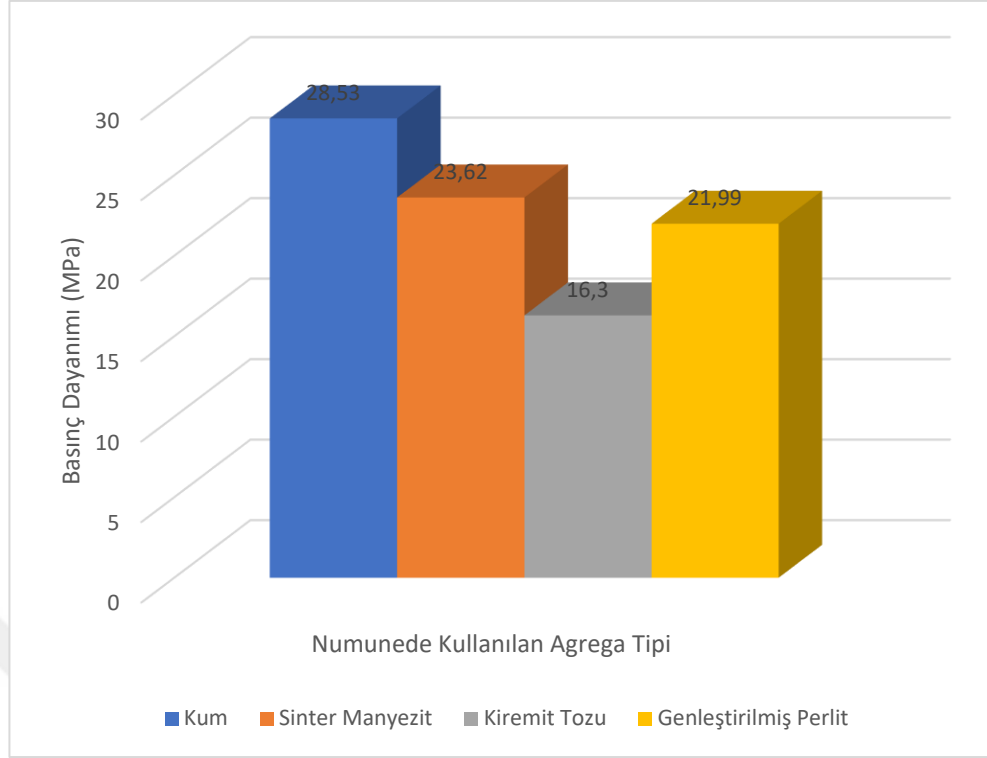
Görsel 3.62. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin eğilme dayanımı değerleri

40°C’de kürlenmiş kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlitin agrega olarak değerlendirilmesiyle oluşturulmuş numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları, su miktarı arttıkça yani yayılma çapı değeri arttıkça azalmıştır.

Görsel 3.63 ve Görsel 3.64 40°C’de kürlenmiş kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlitin agrega olarak değerlendirilmesiyle oluşturulmuş numunelerin 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir.



Görsel 3.63. 28 günlük, 21 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri



Görsel 3.64. 28 günlük, 15 cm yayılma çapına sahip, 40°C’de kürlenmiş numunelerin basınç dayanımı değerleri

Geopolimer harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde su miktarının dayanımı direkt olarak etkilediği görülmektedir.

Su miktarının artmasıyla 40°C’de kürlenmiş kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile oluşturulan geopolimer harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımında ciddi bir azalma görülmektedir.

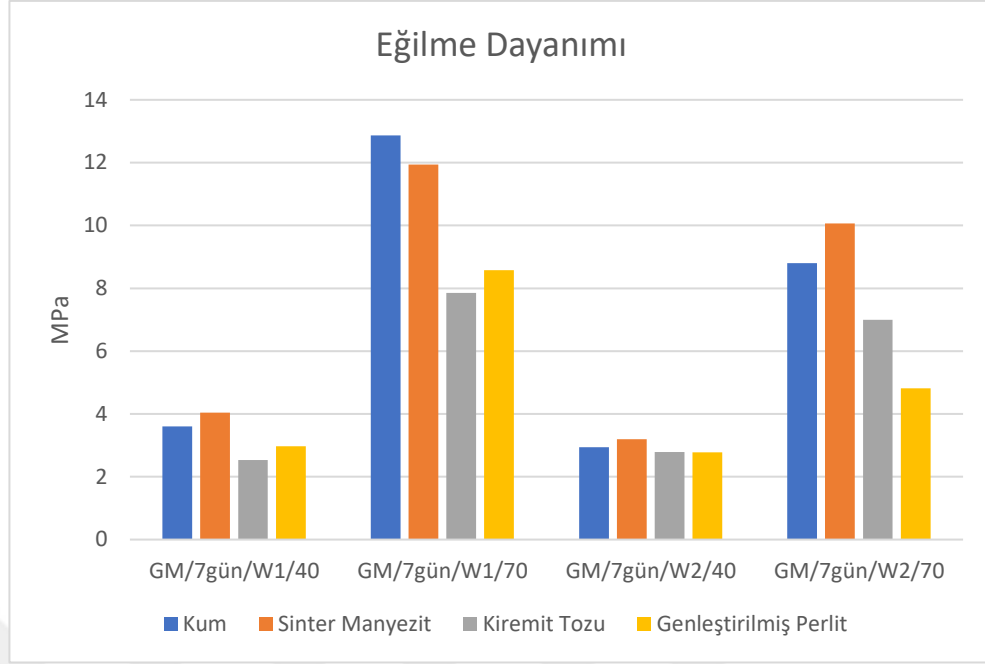
3.6. Eğilme Dayanımı Üzerinden Kür Sıcaklığı ve Su Miktarı Etkisi

Bu bölümde sonuçların daha kolay yorumlanabilmesi için genelleştirilmiş grafikler verilmiştir. Bu grafiklerin anlaşılabilmesi için numuneler kodlanmıştır. Kod bilgileri, kullanılan agreganın tipi, karışım içindeki su miktarı, kür sıcaklığı gibi parametreler aracılığıyla oluşturulmuştur. Kod bilgileri Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu durum için kum numuneleri S, sinter manyezit numuneleri SM, kiremit tozu numuneleri BP ve genleştirilmiş perlit numuneleri EP olarak kodlanmış olup, 15 cm yayılma çapı veren su miktarı W1 ve 21 cm yayılma çapı veren su miktarıyla hazırlanmış numuneler W2 olarak kodlanmıştır. Numune isimlerinin sonundaki 40 ve 70 sayıları ise kür derecelerini göstermektedir.

Tablo 3.1. *Numunelerin kodları*

GM/S/W1/40	Kum ile hazırlanmış, 41.25g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/S/W1/70	Kum ile hazırlanmış, 41.25g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/S/W2/40	Kum ile hazırlanmış, 90g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/S/W2/70	Kum ile hazırlanmış, 90g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/SM/W1/40	Sinter manyezit ile hazırlanmış, 41.25g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/SM/W1/70	Sinter manyezit ile hazırlanmış, 41.25g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/SM/W2/40	Sinter manyezit ile hazırlanmış, 90g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/SM/W2/70	Sinter manyezit ile hazırlanmış, 90g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/BP/W1/40	Kiremit tozu ile hazırlanmış, 130g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/BP/W1/70	Kiremit tozu ile hazırlanmış, 130g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/BP/W2/40	Kiremit tozu ile hazırlanmış, 185g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/BP/W2/70	Kiremit tozu ile hazırlanmış, 185g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/EP/W1/40	Genleştirilmiş perlit ile hazırlanmış, 100g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/EP/W1/70	Genleştirilmiş perlit ile hazırlanmış, 100g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/EP/W2/40	Genleştirilmiş perlit ile hazırlanmış, 175g su içeren, 40 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi
GM/EP/W2/70	Genleştirilmiş perlit ile hazırlanmış, 175g su içeren, 70 derecede kürlenmiş geopolimer harç numunesi

Görsel 3.65'te tüm numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları gösterilmiştir.



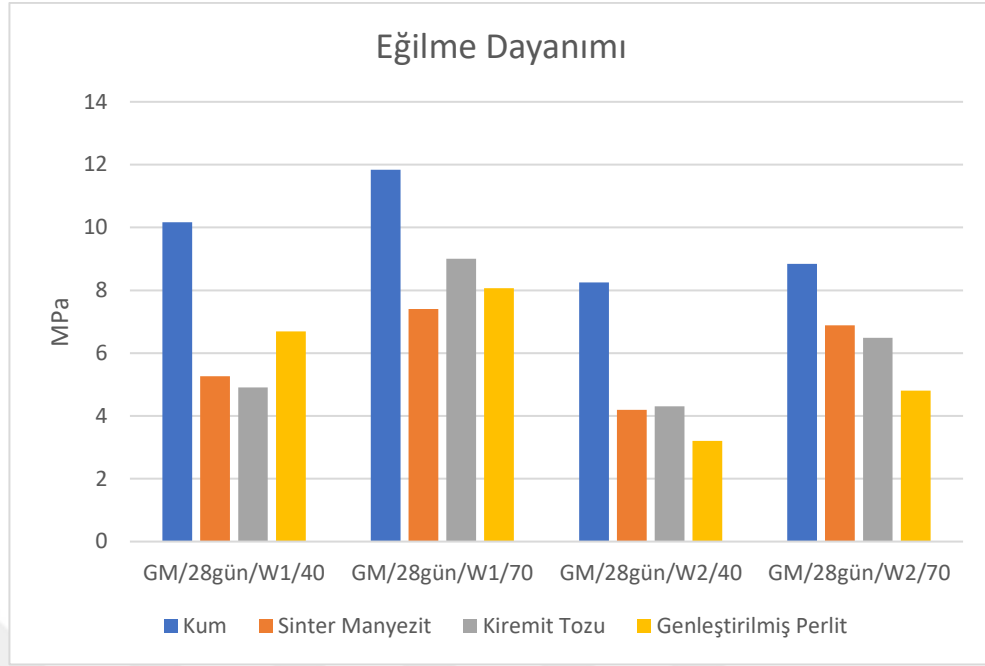
Görsel 3.65. Numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları

Su miktarı, W1 ve W2 olarak sırasıyla 15cm ve 21 cm yayılma çapını verecek şekilde kodlanmıştır. 7 günlük eğilme dayanımı üzerinde kür sıcaklığı sabit tutularak incelendiğinde su miktarının artmasıyla 7 günlük eğilme dayanımının azaldığını söylemek mümkündür. Hem 40°C’de hem 70°C’de kürlenmiş numuneler için su miktarının artması dayanımı azaltıcı yönde etkilemiştir.

Kür sıcaklığı, aynı karışım tasarımına sahip numuneler içerisinde 7 günlük eğilme dayanımını neredeyse 3 kat arttıracak etkiye sahiptir. Her iki karışım tasarımı (GM/7days/W1/40 ve GM/7days/W2/40) da incelendiğinde kür sıcaklığının artmasıyla 7 günlük eğilme dayanımlarının önemli ölçüde arttığı söylenebilir.

Agregaların performansı incelendiğinde en yüksek 7 günlük eğilme dayanımını 70°C’de sağladığı söylenebilir. Kum ve sinter manyezit kullanılarak oluşturulmuş karışımların 7 günlük eğilme değerleri kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ikamesi ile oluşturulmuş numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu duruma agregaların fiziksel özelliklerinin sebep olduğu düşünülebilir.

Şekil 3.66’da tüm numunelerin 28 günlük eğilme dayanım değerleri gösterilmiştir.



Görsel 3.66. Numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları

Su miktarının artması tüm numunelerin 28 günlük eğilme dayanımları üzerinde azaltıcı bir rol oynamıştır. Su miktarının artmasıyla birlikte 40 ve 70°C’de kürlenmiş numunelerin her ikisinde de dayanım azalması olduğunu söylemek mümkündür.

Kür sıcaklığının 40°C’den 70°C’ye çıkması, tüm numuneler için dayanım artırıcı bir etki yaratmıştır. Aynı su miktarına sahip numuneler için incelendiğinde sıcaklık artışıyla beraber 28 günlük eğilme dayanımlarının da arttığı söylenebilir.

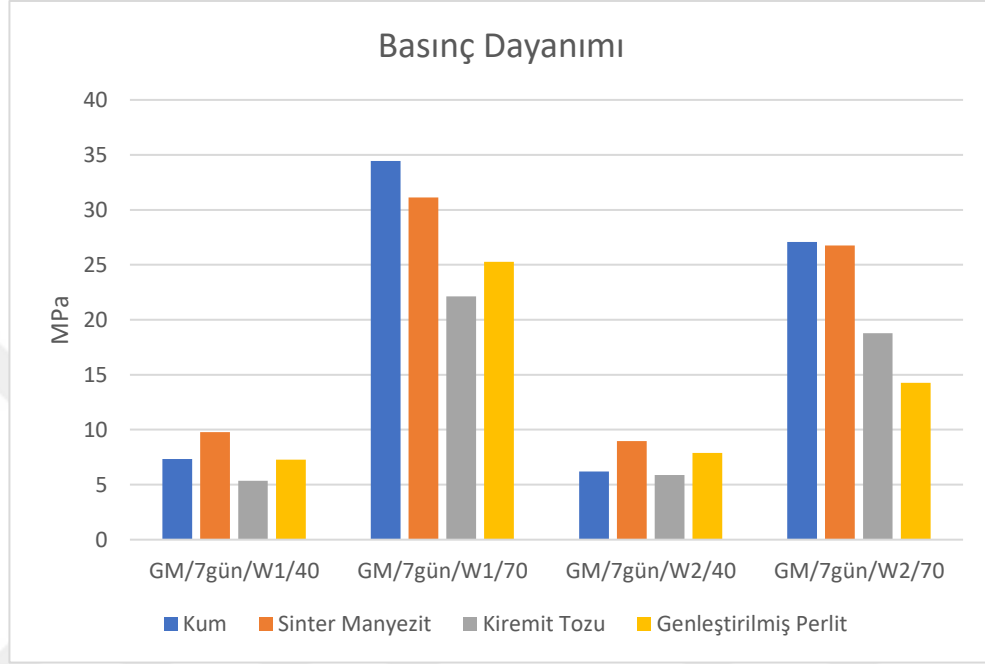
En yüksek 28 günlük eğilme dayanım değerine baktığımızda bunun 70°C’de kürlenmiş 15 cm yayılma çapına sahip numuneler tarafından karşılandığını söyleyebiliriz. Bu durum 7 günlük eğilme dayanım değerleriyle paralellik göstermiştir. Daha sonraki en yüksek eğilme dayanımı değerine 15cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş kum ile hazırlanmış numune sahiptir. Erken dayanım açısından bakıldığında 7 günlük eğilme dayanım değerinde çoğunlukla sinter manyezitin daha yüksek dayanım değeri verdiğini söyleyebiliriz. Bu durumun, 28 günlük eğilme değerlerine bakıldığında referans kum numunesinin en yüksek dayanım değerine sahip olmasıyla değiştiği söylenebilir.

3.7. Basınç Dayanımı Üzerinden Kür Sıcaklığı ve Su Miktarı Etkisi

Bu bölümde sonuçların daha kolay yorumlanabilmesi için genelleştirilmiş grafikler verilmiştir. Bu grafiklerin anlaşılabilmesi için numuneler kodlanmıştır. Bu durum için kum numuneleri S, sinter manyezit numuneleri SM, kiremit tozu numuneleri BP ve genleştirilmiş perlit numuneleri EP olarak kodlanmış olup, 15 cm yayılma çapı veren su

miktarı W1 ve 21 cm yayılma çapı veren su miktarıyla hazırlanmış numuneler W2 olarak kodlanmıştır. Numune isimlerinin sonundaki 40 ve 70 sayıları ise kür derecelerini göstermektedir.

Dört farklı agrega kullanılarak hazırlanmış olan numunelerin 7 günlük basınç dayanım değerleri Görsel 3.67’de gösterilmiştir.



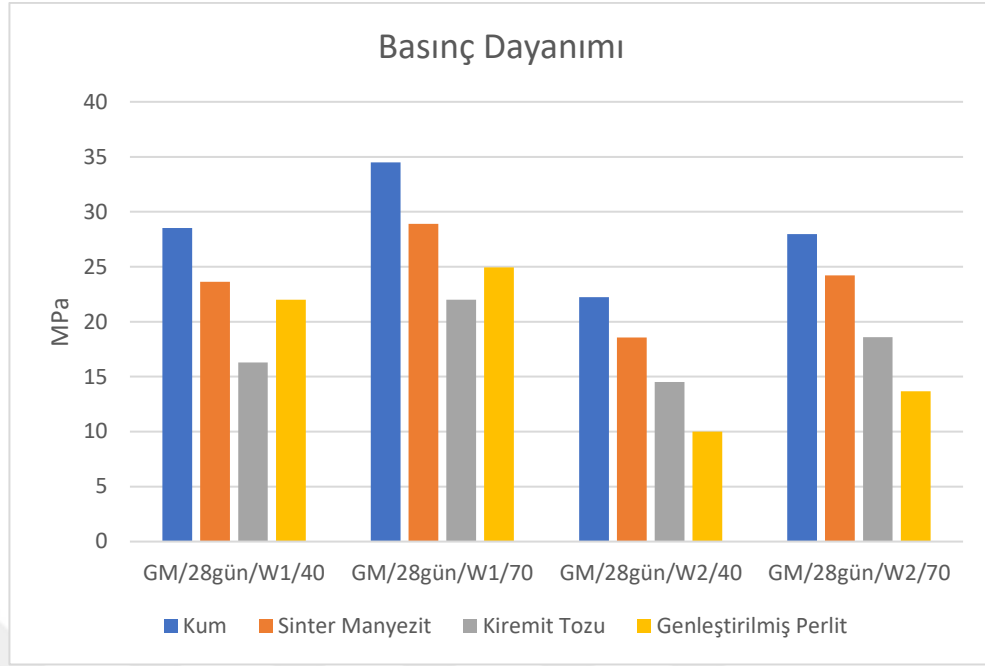
Görsel 3.67. Numunelerin 7 günlük basınç dayanımları

Su miktarının artması eğilme dayanımlarında olduğu gibi 7 günlük basınç dayanımı içinde dayanım azaltıcı bir faktör olmuştur. 40°C’de kürlenen numuneler için su miktarının artması çok ciddi dayanım farklarına yol açmazken 70°C’de kürlenmiş numuneler için daha da belirgin azalmalara yol açmıştır.

Kür sıcaklığının 40°C’den 70°C’ye çıkmasıyla 7 günlük basınç dayanımı üzerinde dayanım arttırıcı yönde bir iyileşme olmuştur. Bazı numuneler için 3 kattan daha fazla basınç dayanım artışı gözlenmiştir. Sıcaklık etkisinin özellikle erken dayanım üzerinde ciddi bir etkisi olduğu söylenebilir.

Agregalar açısından bakıldığında en yüksek 7 günlük basınç dayanımının 70°C’de 15cm çap verecek derecede hazırlanmış kum numunesinde olduğu görülmektedir. Sinter manyezit ve kum numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı açısından birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

Görsel 3.68, dört farklı agrega ile hazırlanmış, farklı değişkenlere sahip numunelerin 28 günlük basınç dayanım değerlerini göstermektedir.



Görsel 3.68. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

Su miktarının artması diğer tüm dayanım değerlerinde olduğu gibi 28 günlük basınç dayanımı üzerinde de azaltıcı rol oynamıştır.

Kür sıcaklığının artması 28 günlük basınç dayanımlarını arttırmıştır. Bu artış 7 günlük eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki artış kadar keskin olmamakla beraber azaltıcı yönde bir etki yarattığını söylemek mümkün değildir.

Agregaların davranışları incelendiğinde en yüksek 28 günlük basınç dayanımı değerine 70°C’de 15cm çap verecek derecede kum ile hazırlanmış numunenin sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak 7 günlük dayanım değerleri arasındaki fark oldukça belirgin iken 28 günlük dayanımlarda bu kadar belirgin değildir. En düşük dayanım değerini genel olarak ağırlıkça %10 genleştirilmiş perlit eklenmiş karışım ile hazırlanan numunenin sağladığı görülmektedir.

Tüm numunelerin sonuçları değerlendirildiğinde, su miktarının artışının 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımlarını azaltıcı bir etki yarattığı anlaşılmıştır.

Aliabdo, Elmoaty ve Salem’in 2016 yılında yapmış olduğu araştırmada benzer sonuçlar elde edilmiştir. Uçucu kül, sodyum silikat, sodyum hidroksit, kum ve kireçtaşı agregaları ve farklı miktarlarda su kullanarak hazırlanan karışım 48 saat boyunca 50°C’de kürlenmiştir. 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı testi, 28. günde ise çekme testi uygulanmıştır. Karışım içerisindeki su miktarının artmasıyla azalan basınç ve çekme dayanımları gözeneklilik ile artan boşluklardan dolayı olduğu düşünülmüştür. Kimyasal

reaksiyonda hiçbir rolü olmayan suyun, alkali sıvıyı seyrelttiği ve böylece geopolimerizasyonun reaksiyonunu yavaşlattığı düşünülmüştür (Aliabdo, Abd Elmoaty , & Salem, 2016).

Kaur, Singh ve Kaur'un 2018 yılında yaptığı araştırmada uçucu kül esaslı geopolimer harç karışımının 28 günlük basınç dayanımının %70-80'i kadarının erken dayanım sayesinde 3 günde kazandığı ortaya koyulmuştur (Kaur, Singh, & Kaur, 2018).

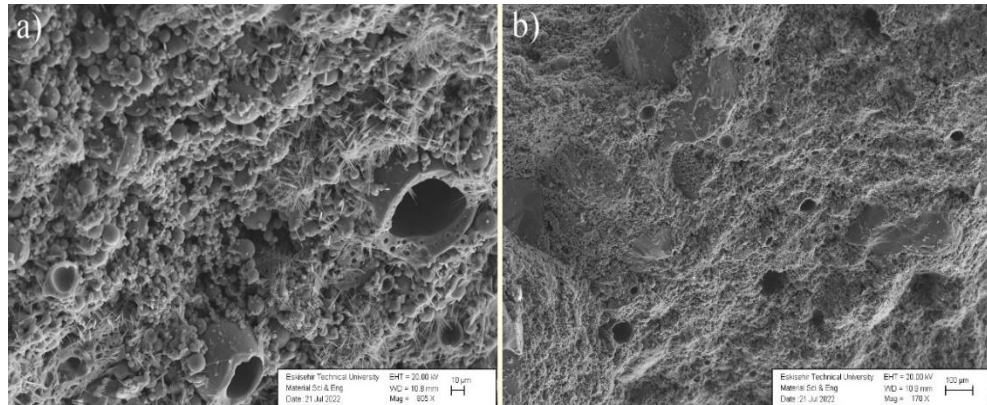
Geopolimer harçların kür sıcaklığı etkisinde erken dayanım kazanmasına yönelik yapılan başka bir araştırmada ise uçucu kül, sodyum silikat, sodyum hidroksit, ince agrega olarak kum ve su kullanılarak geopolimer harç numuneleri hazırlanmıştır. 80, 100 ve 120°C'lerde farklı kür sürelerine maruz bırakılmış olup bulunan sonuçlarda numunelerin 28 günlük dayanımlarının %70'ini ilk üç günde kazandığı ortaya çıkmıştır. Bu araştırma içerisinde görülen bu etki, daha öncesinde yapılan araştırmalarla paralellik göstermektedir. (Adam, 2014)

3.8. Mikro Yapı (SEM) Analizi Sonuçları (SEM Görüntüleri)

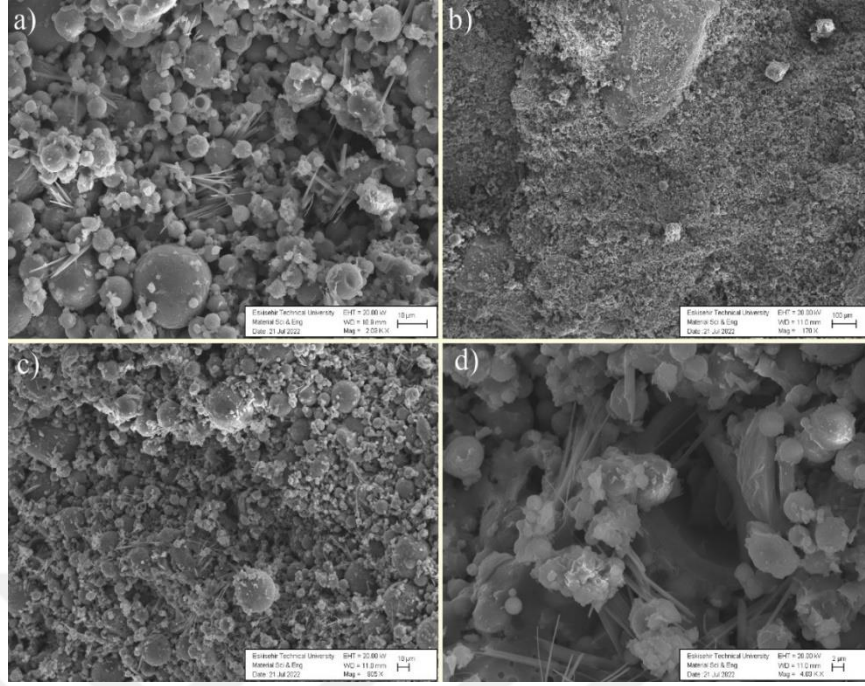
21 cm yayılma çapına sahip 40 veya 70°C'de 48 saat kürlenmiş olan kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile edilmiş olan numunelerin mikro yapı incelemeleri SEM analizi ile görüntülenmiştir. Görüntüler 200x, 1000x ve 5000x büyütme ile elde edilmiştir.

3.8.1. 21 cm yayılma çapına sahip numunelerin mikro yapı görüntüleri

Görsel 3.69 ve 3.70'te 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C'de kürlenmiş, kum agregası kullanılarak hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.

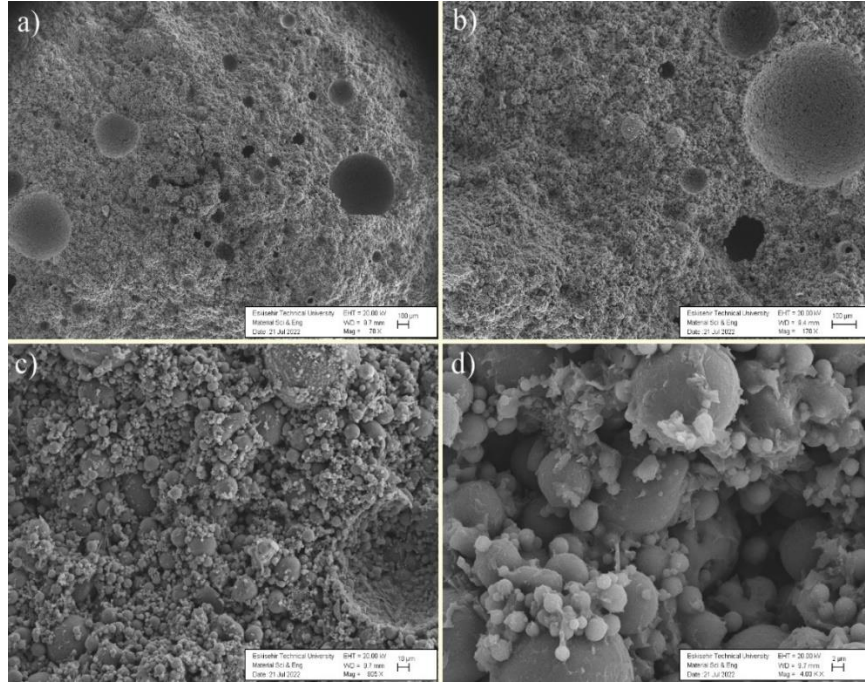


Görsel 3.69. 21 cm yayılma çapına sahip 40°C'de kürlenmiş, kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)200x büyütme altında

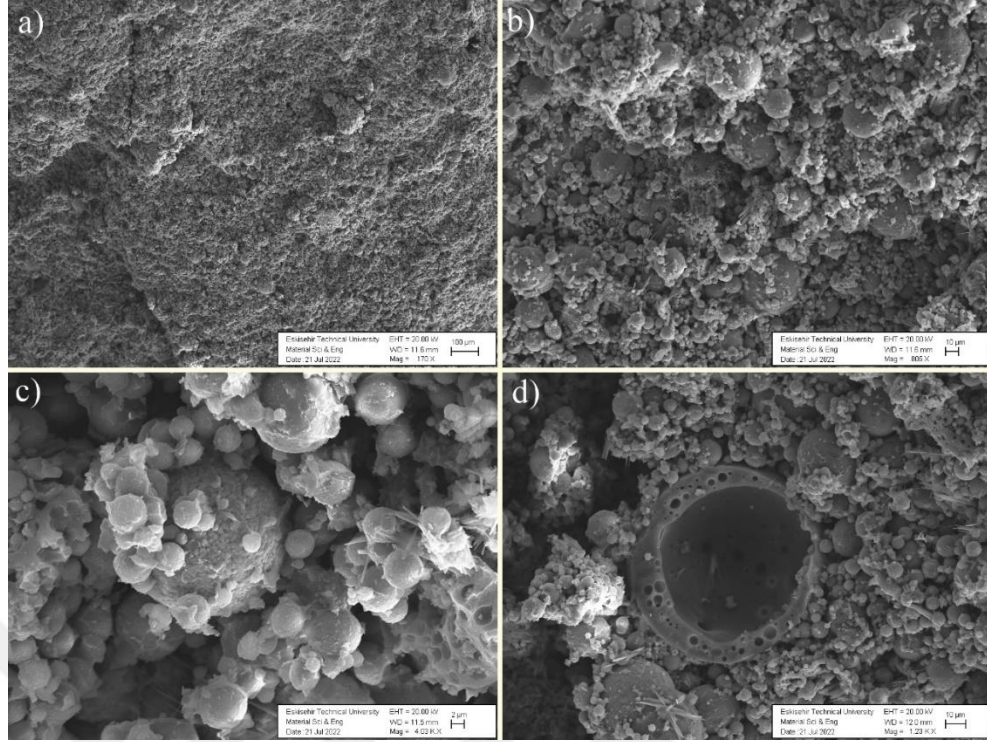


Görsel 3.70. 21 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş, kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)3000x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında

Görsel 3.71 ve 3.72’de 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C’de kürlenmiş, sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.

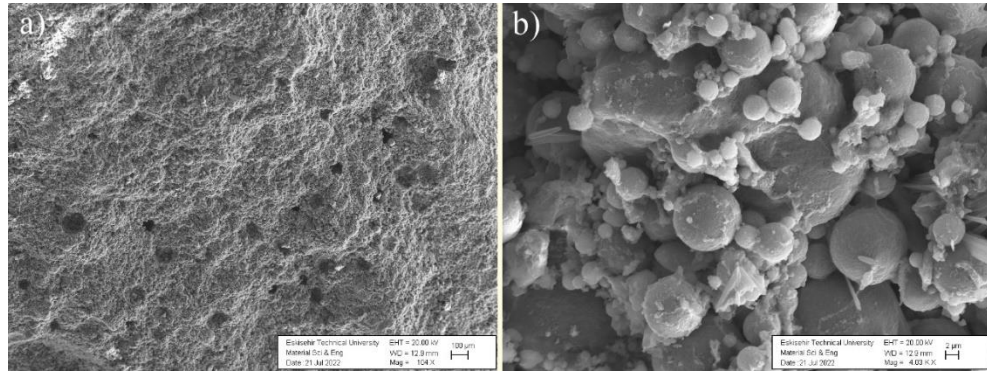


Görsel 3.71. 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C’de kürlenmiş, sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)100x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında



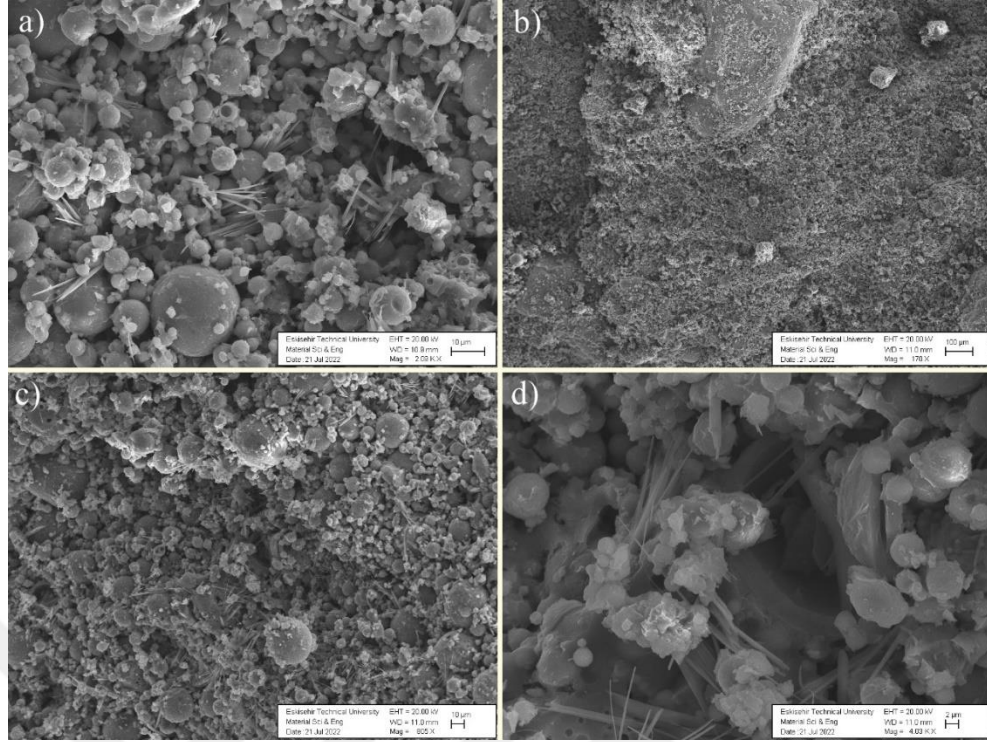
Görsel 3.72. 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 70°C’de kürlenmiş, sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)1000x büyütme altında c)5000x büyütme altında d)1500x büyütme altında

Görsel 3.72 ve 3.73’te 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.

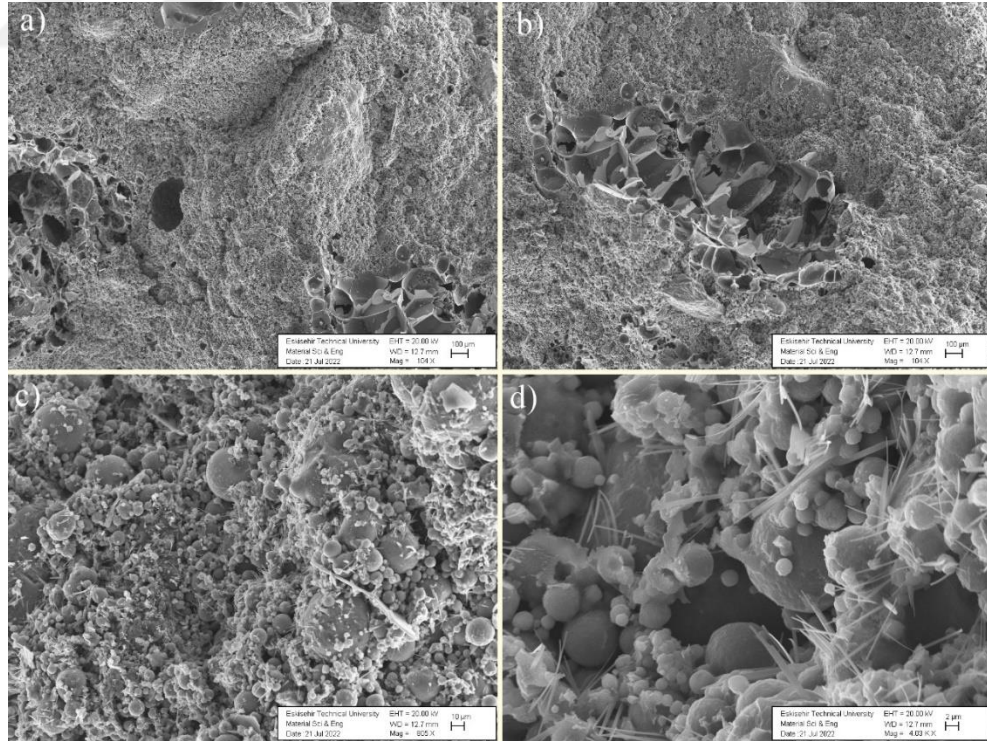


Görsel 3.73. 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)5000x büyütme altında

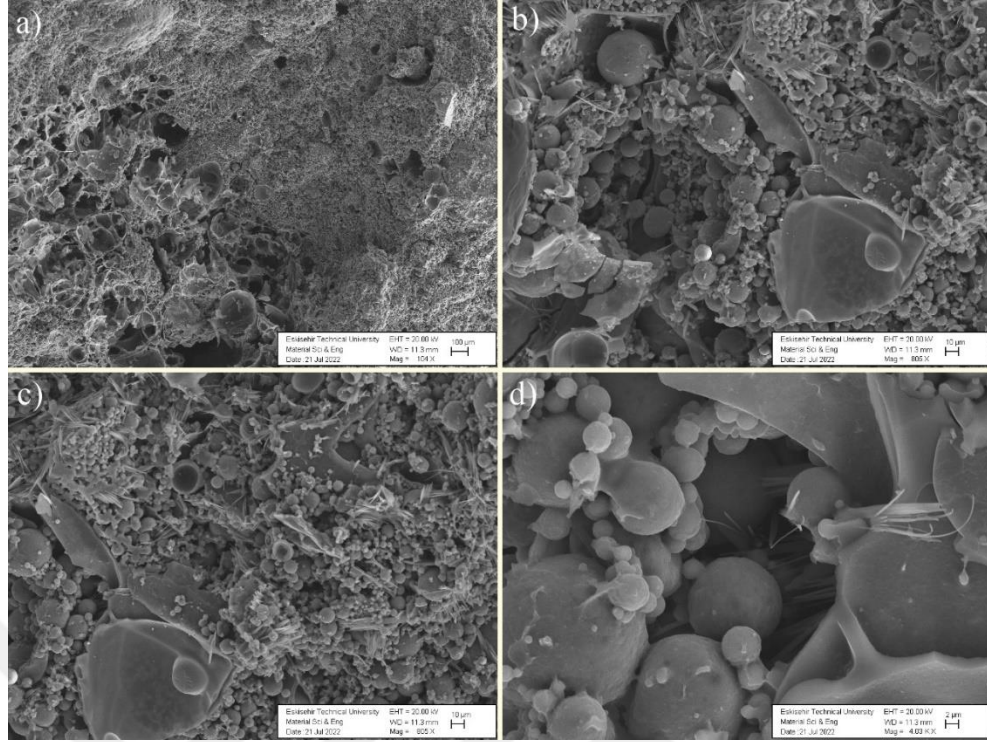
Görsel 3.75 ve 3.76’da 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C’de kürlenmiş toplam agrega oranının ağırlıkça %10’u genleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.



Görsel 3.74. 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 70°C'de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)3000x büyütme altında b)200x büyütme altında c) 1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında



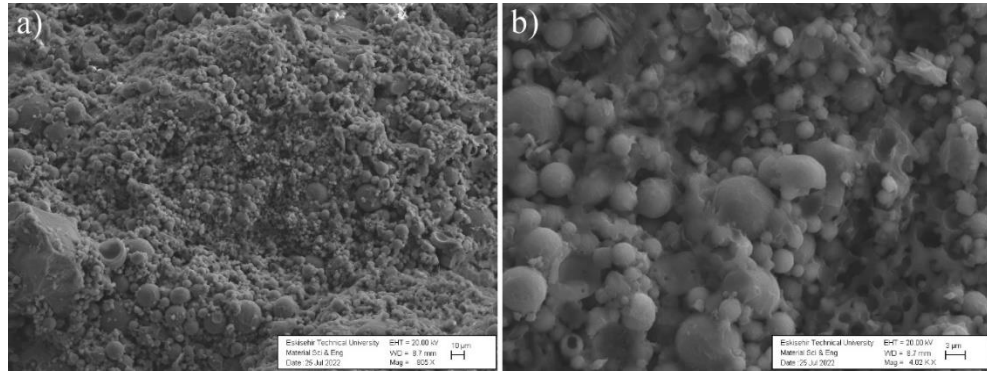
Görsel 3.75. 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C'de kürlenmiş, genleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında



Görsel 3.76. 21 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 70°C'de kürlenmiş, genleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)200x büyütme altında b)1000x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında

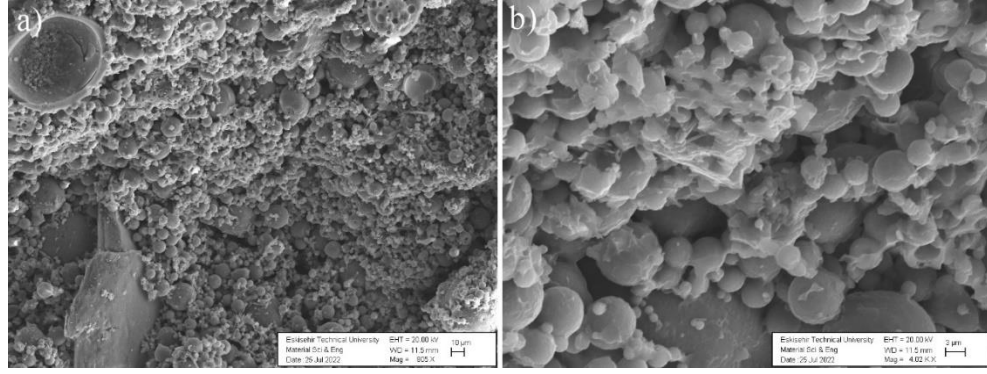
3.8.2. 15 cm yayılma çapına sahip numunelerin mikro yapı görüntüleri

Görsel 3.77 ve 3.78'te 15 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C'de kürlenmiş, kum agregası kullanılarak hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.

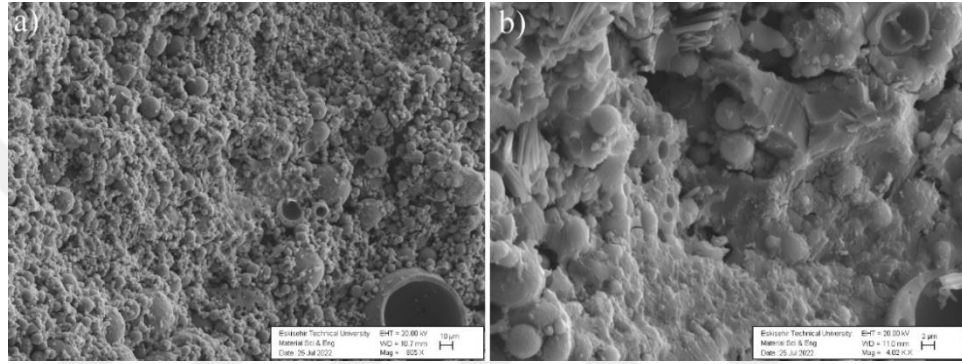


Görsel 3.77. 15 cm yayılma çapına sahip 40°C'de kürlenmiş, kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında

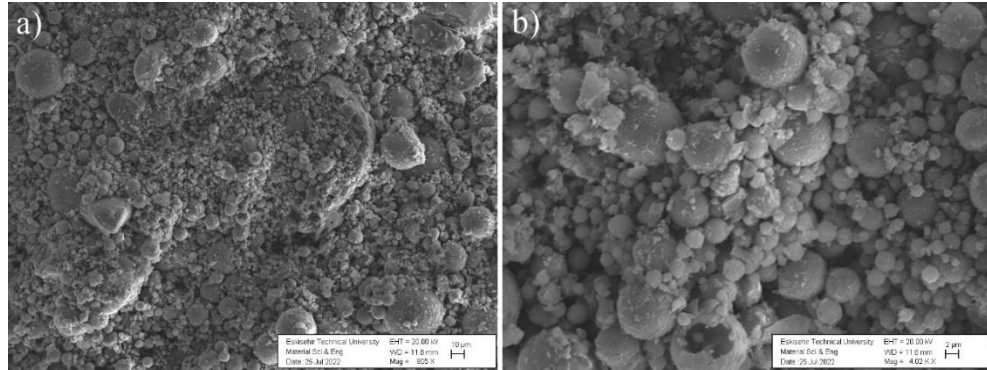
Görsel 3.79 ve 3.80'de 15 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C'de kürlenmiş, sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.



Görsel 3.78. 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş kum agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında



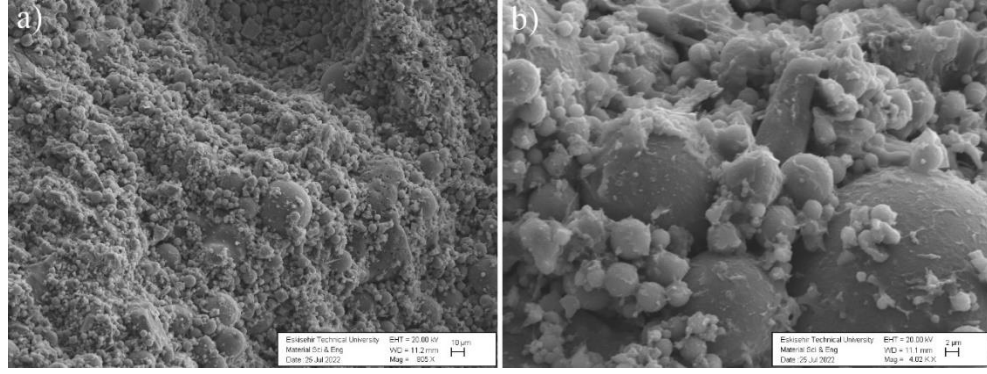
Görsel 3.79. 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında



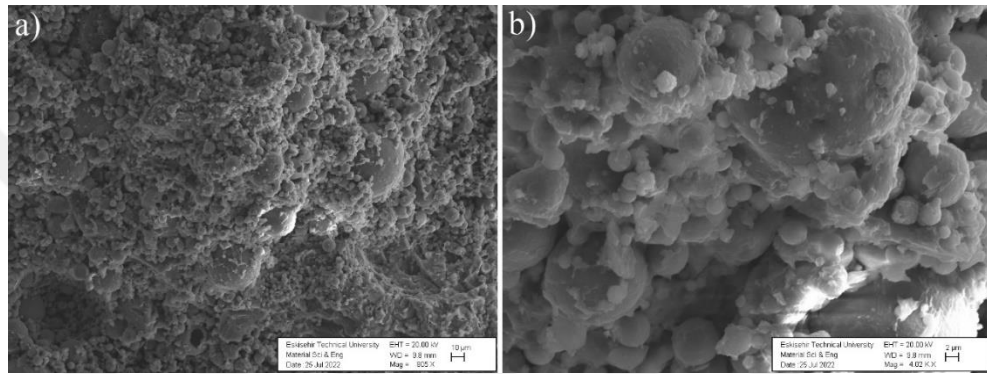
Görsel 3.80. 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş sinter manyezit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında

Görsel 3.81 ve 3.82’de 15 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.

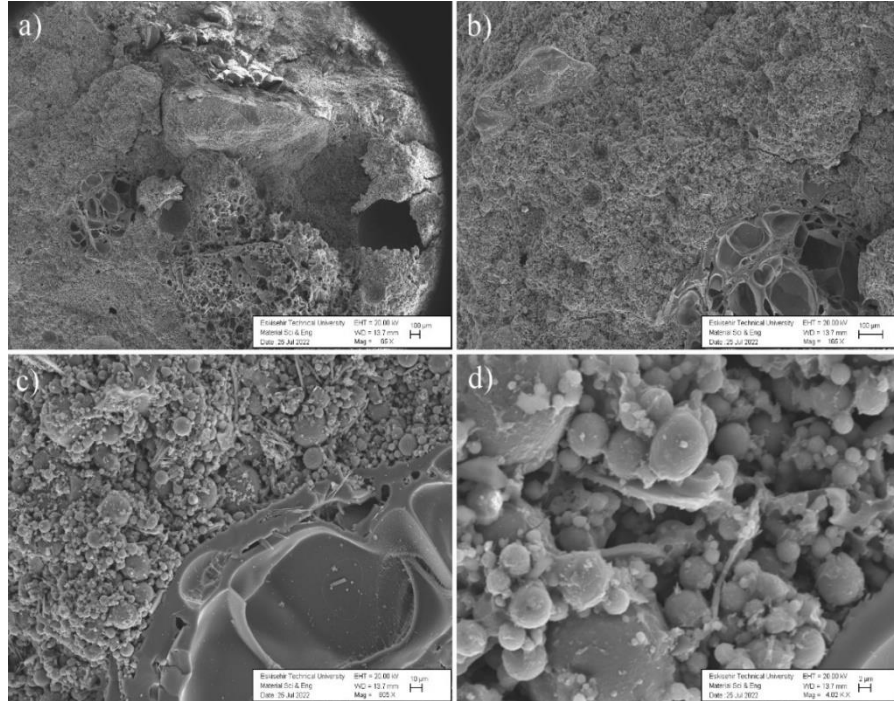
Görsel 3.83 ve 3.84’te 15 cm yayılma çapına sahip sırasıyla 40°C ve 70°C’de kürlenmiş toplam agregası oranınin ağırlıkça %10’u genleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.



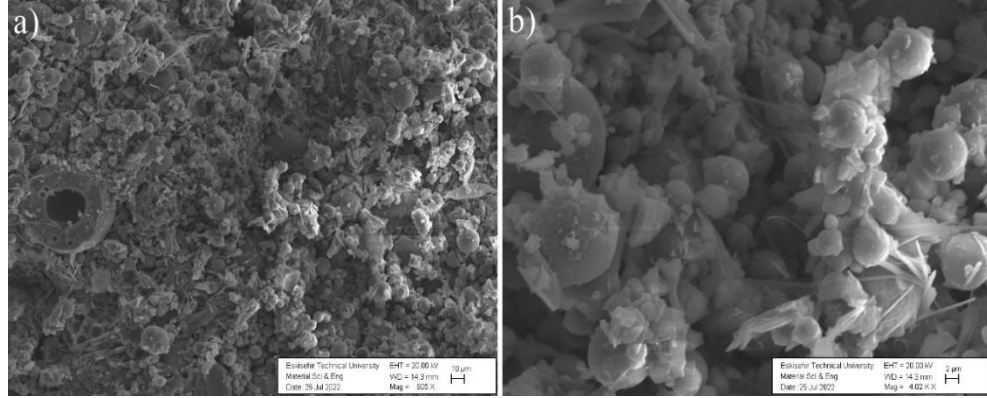
Görsel 3.81. 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında



Görsel 3.82. 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş, kiremit tozu agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında



Görsel 3.83. 15 cm yayılma çapına sahip 40°C’de kürlenmiş, genleştirilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)100x büyütme altında b)200x büyütme altında c)1000x büyütme altında d)5000x büyütme altında



Görsel 3.84. 15 cm yayılma çapına sahip 70°C’de kürlenmiş, genişletilmiş perlit agregası ile hazırlanmış numunelerin mikro yapı görüntüleri a)1000x büyütme altında b)5000x büyütme altında

Genel olarak farklı tip agregalarla farklı sıcaklıklarda kürlenmiş numuneler incelendiğinde düşük sıcaklıkta kürlenmiş numunelerin daha boşluklu dolayısıyla daha düşük dayanımı verdiği görülmüştür. Bu durum geopolimerizasyonun yüksek sıcaklıklarda daha iyi çalışmasını düşündürülebilir. Su miktarının yüksek olmasından dolayı da boşlukların artması dayanımı azaltan ayrıca bir etken olarak görülebilir.

4. TARTIŞMA/ÖNERİLER

Deneysel çalışmalar ve araştırmalar sonucunda farklı tip agregaların geopolimer harç içerisindeki davranışı farklı koşullar altında incelenmiş ve bazı sonuçlara ulaşılmıştır. CEN standart kum, sinter manyezit, kiremit tozu ve genleştirilmiş perlit ile ayrı ayrı oluşturulan, farklı su miktarlarıyla sabit iki işlenebilirlik çapına ulaşmış ve farklı sıcaklık derecelerinde kürlenmiş numunelerin eğilme ve basınç dayanım değerleri, mikro yapı görüntüleriyle ortaya konulmuştur. Eğilme ve basınç deneyleri 7 ve 28 günlük olmak üzere iki farklı numune yaşında yapılmıştır. Genel olarak dayanım sonuçları ve görüntüler değerlendirildiğinde bazı sonuçlara ulaşılmıştır.

- Tüm numuneler için geçerli olacak şekilde, işlenebilirliği arttırmak için eklenen su miktarı 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımlarını azaltmıştır. Bu duruma çimentolu sistemlerle paralel olacak şekilde fazla suyun boşluk yaratmasının sebep olduğu düşünülebilir. Bundan ötürü dayanımların azaldığı düşünülmüştür.
- Kür sıcaklığının 40°C'den 70°C'ye artırılmasıyla tüm numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanım değerlerinde artış gözlenmiştir.
- 70°C'de kürlenmiş numunelerin, 7 günlük eğilme dayanımı testi sonuçları 28 günlük eğilme dayanımı testi sonuçlarından daha düşük çıkmıştır. Bu durum, yüksek sıcaklıktaki kürlenmenin iyi bir erken dayanım sağladığını fakat yaş ilerledikçe aynı dayanım artışını sağlayamadığını göstermiştir.
- En yüksek 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımını sağlayan şartların 15 cm çapı verecek su miktarıyla hazırlanmış ve 70°C'de kürlenmiş numunelerden sağlandığı ortaya konulmuştur.
- SEM görüntüleri incelendiğinde 40°C'de kürlenmiş numunelerin boşluklu olduğu görülmüştür.

Basınç ve eğilme dayanımı testi sonuçları için kürleme sıcaklığının önemli bir parametre olduğu bilindiğinden, ilerdeki araştırmalarda kür sıcaklığının artırılması ve kür süresinin değiştirilip geopolimer harçların eğilme ve basınç dayanımı testi sonuçları üzerindeki değişimler incelenebilir. Uzun süreli kullanımlarda geopolimer harçların dayanım değişimini anlamak için hazırlanmış karışım tasarımı 3, 7, 28, 90 gün şeklinde daha da uzun sürelerde basınç ve eğilme dayanımı deneylerine maruz bırakılıp karışımın davranış çeşidi daha iyi anlaşılabilir. Üretim aşamasında enerji kullanımı az olan agregalar seçilip ekonomik alternatifler tasarlanıp bu tasarımların performansları

incelenebilir. Alkali bağlayıcı olarak sodyum silikat, sodyum hidroksit ile desteklenip veya molar derecesi artırılıp bu parametrelerin değişimlerinin geopolimer harç üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkileri araştırılabilir. Bu sayede geopolimer harç konusu hakkında daha fazla bilgi elde edileceğinden kullanım alanının genişletilmesi açısından önemli adımlar atılmış olur.



KAYNAKÇA

- Adam, A. A. (2014). The Effect of Temperature and Duration of Curing on the Strength of Fly Ash Based Geopolymer Mortar. *SCESCM 2014* (s. 410-414). Procedia Engineering .
- Agrawal, U. S., Wanjari, S. P., & Naresh, D. N. (2019). Impact of replacement of natural river sand with geopolymer fly ash sand on hardened properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 499-507.
- Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty , A. M., & Salem, H. A. (2016). Effect of water addition, plasticizer and alkaline solution constitution on fly ash based geopolymer concrete performance. *Construction and Building Materials*, 694-703.
- Alkaya, D. (2002). Uçucu Kül Katkısının Dolgu Zeminlerin Stabilitesine Etkisi. Denizli, Türkiye: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Binici, H., Eken, M., & Aksoğan, O. (2012). Cüruf, Uçucu Kül, Silis Kumu ve Pomza Esaslı Geopolimerlerin Fiziksel, Mekanik ve Radyasyon Geçirgenlik Özellikleri. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12-25.
- Çelikten, S., & Işıkdag, B. (2020). Strength development of ground perlite-based geopolymer mortars. *Advances in Concrete Construction*, 227-234.
- Çimsa. (2022, Haziran 21). Çimsa. Çimsa Formülhane Web Sitesi: <https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz-cimento/agrega-nedir-agrega-ozellikleri-nelerdir> adresinden alındı
- Davidovits, J. (1999). Chemistry of geopolymeric systems, terminology. *Geopolymer Vol.99 No.292* , 9-39.
- Davidovits, J. (2008). *Polymers and Geopolymers*. Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & van Deventer, J. J. (2006). Geopolymer technology: the current state of the art. *Advances in Geopolymer Science & Technology*, 2917-2933.
- Gikunoo, E. (2004). Effect of Fly Ash Particles on the Mechanical Properties and Microstructure of Aluminium Casting Alloy A535. Saskatchewan, Kanada: The College of Graduate Studies and Research.

- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., & Mordoğan, H. (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları. *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*. İzmir.
- Hardjito, D., & Rangan, B. (2005). *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Perth: Curtin University of Technology.
- Kaur, M., Singh, J., & Kaur, M. (2018). Microstructure and Strength Development of Fly Ash-Based Geopolymer Mortar: Role of Nano-Metakaolin. *Construction and Building Materials*, 672-679.
- Mermertaş, K., Manguri, S., Nassani, D. E., & Oleiwi, S. M. (2017). Effect of aggregate properties on the mechanical and absorption characteristics of geopolymer mortar. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 1642-1652.
- OLAWALE , M. D. (2013). Syntheses, characterization and binding strength of geopolymers: A review . *International Journal of Materials Science and Applications* , 185-193.
- Petermann, J. C., Saeed, A., & Hammons, M. I. (2010). *Alkali-Activated Geopolymers: A Literature Review*. Air Force Research Laboratory Materials and Manufacturing Directorate Airbase Technologies Division.
- Ryu, G. S., Lee, Y. B., Koh, K. T., & Chung, Y. S. (2013). The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. *Construction and Building Materials*, 409-418.
- Shi, C., & Qian, J. (2000). High Performance Cementing Materials From Industrial Slags. *Resources, Conservation and Recycling* , 195 - 207.
- Soutsos, M., Boyle, A. P., Vinai, R., Hadjierakleous, A., & Barnett, S. J. (2016). Factors influencing the compressive strength of fly ash based. *Construction and Building Materials*, 355-368.
- Suraneni, P., Shearer, C., Hooton, D., & Burris, L. (2021). *ASTM C618 Fly Ash Specification: Comparison with Other Specifications, Shortcomings, and Solutions*. *Aci Materials Journal*.

- Şengül, Ü. (2007). Uçucu Kül ve Çevresel Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 89-104.
- Thomas, M. (2007). *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. Fredericton.
- TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım. (2002, Mart). *Türk Standardı*. Ankara, Türkiye.
- Türk Çimento Sanayicileri Birliği(TÜRKÇİMENTO). (2022, Nisan 4). *İstatistikler: Kapasite*. Türk Çimento Sanayicileri Birliği Web Sitesi: <https://www.turkcimento.org.tr/tr/istatistikler/kapasite> adresinden alındı
- Türk Çimento Sanayicileri Birliği(TÜRKÇİMENTO). (2022, Nisan 4). *Kurumsal: Üye Fabrikalar*. Türk Çimento Sanayicileri Birliği Web Sitesi: https://www.turkcimento.org.tr/tr/uye_fabrikalar adresinden alındı
- Wikipedia. (2022, 06 02). Wikipedia: https://tr.wikipedia.org/wiki/Sodyum_silikat adresinden alındı
- Wongsa, A., Sata, V., Nuaklong, P., & Chindaprasirt, P. (2018). Use of crushed clay brick and pumice aggregates in lightweight geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 1025-1034.
- Yao, X., Zhang, Z., Zhu, H., & Chen, Y. (2009). Geopolymerization process of alkali–metakaolinite characterized by isothermal calorimetry. *Thermochimica Acta*, 49-54.
- Yürekli, A. (2019). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, 1-12.
- Zhang, Z. H., Zhu, H. J., Zhou, C. H., & Wang, H. (2016). Geopolymer from kaolin in China: An overview. *Applied Clay Science*, 31-41.
- Zhu, P., Hua, M., Liu, H., Wang, X., & Chen, C. (2020). Interfacial evaluation of geopolymer mortar prepared with recycled geopolymer fine aggregates. *Construction and Building Materials*.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-0932-8657

Kişisel Bilgiler

Adı: Ahmet

Soyadı: İNAL

Eğitim Bilgileri

- 08.2019-07.2022: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Bilim Dalı **(Yüksek Lisans)**
- 02.2021-07.2021: Brno Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi **(Yüksek Lisans-Erasmus Öğrenci Değişim Programı)**
- 08.2015-06.2019: Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü **(Lisans)**

Deneyimler

2018: Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü, Stajyer İnşaat Mühendisi, Ankara

2017: Biskon Yapı A.Ş., Stajyer İnşaat Mühendisi, İstanbul

Çalışmalar

2022: Farklı Tipte Agrega Kullanımının Geopolimer Harçların Özelliklerine Etkileri (Eskişehir Teknik Üniversitesi 22ADP073 proje numaralı BAP Araştırmacısı)

2019: Tek Açıklıklı ve Çaprazlı Çelik Endüstriyel Bir Yapının Rüzgâr ve Kar Yüğü Altında İncelenmesi ve YDKT Kombinasyonlarının Belirlenmesi (Lisans Bitirme Çalışması)

2018: Sarsma Tablası için Ölçeklendirilmiş Köprü Ayağının Deprem Davranışı Altında İncelenmesi (Lisans Tasarım Çalışması)

Yeterlilikler

Yabancı Dil: İngilizce

Gönüllülük Çalışmaları

- **2018-2019:** TedxIstanbul: Gidilmeyen Yol TedxIstanbul: Yeni Başlangıçlar
TedxIstanbul: Kutlama (Etkinlik Gönüllüsü)
- **2016-2018:** Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Topluluğu (Yönetici
Kurul Üyesi)

