



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGALARI İLE
HAZIRLANAN KOMPOZİT
MALZEMELERİN GEOTEKNİK
UYGULAMALARDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Remziye CAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Remziye CAN tarafından hazırlanan “Genleştirilmiş Kil Agregaları ile Hazırlanan Kompozit Malzemelerin Geoteknik Uygulamalarda Kullanılabilirliği” adlı tez çalışması 31/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU

.....

Danışman

Prof. Dr. Murat OLGUN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Atila DEMİRÖZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 201004029 No’lu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Remziye CAN

31.08.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GENLEŞTİRİLMİŞ KİL AGREGALARI İLE HAZIRLANAN KOMPOZİT MALZEMELERİN GEOTEKNİK UYGULAMALARDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Remziye CAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Murat OLGUN

2020, 69 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Murat OLGUN
Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Atilla DEMİRÖZ**

Kil mineralleri 400 °C ve üzerindeki sıcaklıklara maruz kaldıklarında kimyasal yapılarında değişimler meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda sertleşen kil minerallerinin bu özelliği hafif agrega sınıfına giren genleştirilmiş kil agregası (GKA) üretiminde de kullanılabilir. Ülkemizde genellikle düşük maliyetli olmasından dolayı doğal halde bulunan agregalar kullanılmaktadır. Ancak hafif agregalar arasında basınç dayanımı bakımından yüksek agregalardan biri olması dolayısıyla kullanılan agregalardan birisi de GKA'larıdır. Bu tez çalışmasında laboratuvar ortamında 50×100 mm ve 50×30mm boyutlarında ki kalıplarda farklı Su/Çimento (S/Ç), Çimento/Agrega (Ç/A), Genleştirilmiş kil agregası/Toplam Agregası (GKA/TA) oranlarında ve değişik boyutlardaki GKA'ların kullanımıyla numuneler hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında CEM I 42.5R çimento ve Bilecik'te özel bir firma tarafından üretilmiş olan GKA kullanılmıştır. Numuneler 7 ve 28 günlük kürlere maruz bırakılarak serbest basınç mukavemeti deneyi ve geçirimsizlik deneylerine tabii tutulmuştur. GKA/TA oranı arttıkça serbest basınç mukavemeti dayanımında %12-60, donma-çözülme çevrimine maruz kalmış numunelerde ise dayanımında %1-61 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Donma-çözülme çevrimine maruz kalmış numunelerde GKA oranı arttıkça dayanım kaybı daha fazla olmuştur. GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlik katsayısında genel olarak azalmalar olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bazı karışımlar da ise geçirimsizlik katsayısında artışlar meydana gelmiştir. Sonuçta; GKA ile üretilen kompozit malzemelerin yapı temellerinde, istinat duvarlarında, boşluklu kaya ve mağaraların stabilitesinin sağlanmasında ve beton yol yapımında kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Donma-çözülme çevrimi, Genleştirilmiş kil agregası, Hafif agrega, Geçirimsizlik, Kompozit malzemeler, Serbest basınç mukavemeti

ABSTRACT

MS THESIS

USABILITY OF COMPOSITE MATERIALS PREPARED WITH EXPANDED CLAY AGGREGATES IN GEOTECHNICAL APPLICATIONS

Remziye CAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Murat OLGUN

2020, 69 Pages

**Jury
Prof. Dr. Murat OLGUN
Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU
Asst. Prof. Dr. Atila DEMİRÖZ**

When clay minerals are exposed to temperatures of 400 oC and above, Their chemical structure changes. This feature of clay minerals that harden at high temperatures can be used for the production of expanded clay aggregate (ECA), which is classified as light aggregate. In our country, natural aggregates are generally used due to their low cost. However, since it is one of the aggregates with high compressive strength among light aggregates, one of the aggregates used is ECAs. In this thesis study, in the laboratory environment in molds of 50×100 mm and 50×30 mm in size, different Water / Cement (W / S), Cement / Aggregate (C / A), Expanded clay aggregate / Total aggregate (ECA / TA) ratios and different sizes of ECAs. samples were prepared. Within the scope of the study, CEM I 42,5R cement and ECA produced by a private company in Bilecik were used. The samples were subjected to 7 and 28 day cures and subjected to unconfined compressive strength (UCS) test and permeability tests. As the ECA / TA ratio increased, 12-60% decrease in unconfined compressive strength and 1-61% decrease occurred in samples exposed to freeze-thaw cycles. In samples exposed to freeze-thaw cycles, strength loss was greater as the ratio of ECA increased. It was concluded that the permeability parameter generally decreases as the ECA / TA ratio increased. However, in some mixtures, the permeability parameter increased. After all; It has been determined that composite materials produced with ECA can be used in building foundations, retaining walls, stabilizing hollow rocks and caves, and building concrete roads.

Keywords: Composite materials, Expanded clay aggregate (ECA), Freeze-thaw cycles, Light aggregate, Unconfined compressive strength, Permeability.

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması ve sonuçlanması süresi boyunca her aşamasında yardımcı olan, değerli zamanını ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat OLGUN'a teşekkür eder, saygı ve minnetlerimi sunarım. Gerek lisans gerek yüksek lisans eğitimim boyunca aldığım derslerle, kendimi geliştirmem konusunda bana yardımcı olan ve emekleri olan başta önceki danışmanım rahmetli Sayın Prof. Dr. Özcan TAN ve tüm hocalarıma teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tezimin deneysel çalışma bölümünde deneylerin uygulanışında yardımları ve hoşgörülerinden dolayı Öğr. Gör. Alican ŞENKAYA'ya ve Arş. Gör. Ekrem Burak TOKA'ya, deneysel ve teorik çalışmalarındaki katkılarıyla tez çalışmamın ortaya çıkmasındaki yardımlarından dolayı başta eşim İnş Müh. Metin CAN'a, İnş. Müh. Fatma Nur SÖZÜER'e ve İnş. Müh. Zeynep Kübra GÜVEN'e teşekkürü borç bilirim.

Remziye CAN
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Killerin Mineralojik Yapısı	3
2.2. Mineralojik Bileşenlerine Göre Genleşen Killer	4
2.3. Isıl İşleme Kilin Mühendislik Özelliklerine Etkisi	5
2.4. Genleşen Killerin Dünya'da, Türkiye'de Gelişimi ve Rezervleri	5
2.5. Genleştirilmiş Kil Agregası Üretimi	8
2.6. Genleştirilmiş Kil Agregası Kullanım Alanları	10
2.7. Literatür Araştırması	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Kum	21
3.1.2. Genleştirilmiş kil agregası (GKA)	22
3.1.3. Çimento	24
3.1.4. Karışım suyu	25
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Numunelerin hazırlanması	25
3.2.2. Serbest basınç mukavemeti deneylerinin yapılması	28
3.2.3. Geçirimlilik deneylerinin yapılması	29
3.2.3. Donma çözülme deneylerinin yapılması	31
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	33
4.1. Araştırma Sonuçları	33
4.1.1 Yoğunluk değişim oranları	33
4.1.2. Serbest basınç mukavemeti deney sonuçları	35
4.1.3. Geçirimlilik deneyi sonuçları	45
4.1.4. Donma-çözülme deneyi sonuçları	53
4.2. Deney Sonuçlarının Yorumlanması ve Tartışma	62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67

5.1. Sonuçlar	67
5.2. neriler	69
6. KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Fe	: Demir
Na	: Sodyum
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
N ₂	: Azot gazı
H ₂	: Hidrojen gazı
O ₂	: Oksijen gazı
CO ₂	: Karbondioksit
CO	: Karbonmonoksit
OH	: Hidroksit
SO ₂	: Kükürtdioksit
Fe ₂ O ₃	: Demir(III) oksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
SiO ₂	: Silisyum oksit
H ₂ O	: Hirojendioksit, Su
BrSO ₄	: Baryum sülfat
TiO ₂	: Titanyum oksit
kg	: Kilogram
MPa	: Mega Pascal
kPa	: Kilo Pascal
kN	: Kilo Newton
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
s	: Saniye
qu, σ	: Serbest basınç mukavemeti
P _{max}	: Kırılma yükü
A _f	: Kırılma anındaki en kesit alanı
A ₀	: Numunenin ilk enkesit alanı
ϵ	: Birim deformasyon
k	: geçirimlilik katsayısı
Q	: Numuneden çıkan su miktarı
L	: Numunenin boyu
A	: Numunenin en kesit alanı
t	: Su çıkışının kaydedildiği süre,
σ_2	: Geri basınç
Δh	: Numuneye etkiyen basınç yüksekliği

Kısaltmalar

MTA	: Maden Tetkik ve Arama
GK	: Genleşen kil
GKA	: Genleştirilmiş kil agregası

S/Ç : Su/Çimento
Ç/TA : Çimento/Toplam Agregası
GKA/TA : Genleştirilmiş Kil Agregası / Toplam Agregası
ASTM : Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu



1. GİRİŞ

Kil zeminler, ısı ile sertleşirler ve yeterli derecede ısı verilirse kil tanecikleri ısı ile kimyasal tepkimeye girerek kalıcı sertliğe sahip olmaktadır. Bu durum kil mineralinin 400 C° 'nin üzerindeki sıcaklıklara maruz kalması ile oluşmaktadır.

Yüksek ısılarda sertleşen kil zeminler hafif agregada üretiminde kullanılmaktadırlar. Doğada doğal halde bulunan hafif agregalar da mevcuttur. Pomza, diatomit, puzzolanlar, tüf ve volkanik cürüflar bu kapsamda sayılabilmektedir. Bunların yanında ısı ile genişleştirilmiş kil gibi yapay hafif agregalarda mevcuttur.

Depremlerde yapılara gelen yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Binanın ana yükünün statik değerlere bağlı kalınarak hafifletilmesi deprem esnasında oluşacak hasarları azaltmaktadır. Bilindiği gibi statik yükleri fazla olan bir yapı deprem sırasında daha fazla salınım yapmaktadır.

Hafif yapı malzemelerinin diğer bir faydası ise enerji tasarrufudur. Avrupa'da birim konut ısıtmasında, Türkiye'dekinden 2-3 kat daha az yakıt kullanılmasının sebebi hafif yapı malzemelerinin yaygın olarak kullanılmasıdır. ABD'de perlit enstitüsü 1949, genişleyen kil enstitüsü ise 1952 yılında kurulmuştur. Almanya'da pomza enstitüsü uzun yıllardan beri faaliyettedir. Genleştirilmiş kil, hafif yapı malzemelerinin basınç mukavemeti en yüksek olanlarından biridir. Sinterleşme süreci çabuk olan ve 1100-1300°C dereceler arasında belirli bir hacim artışına uğrayan kil, killi şist ve şeyllere genel olarak genişleyen killer adı verilmektedir.

Genleştirilmiş kil için kullanılan yaygın hammaddeler; erken sinterleşen kil, kumlu kil (Lem, mil), killi şist ve şifertondur. Bunlar mineralojik olarak illit, serizit ve montmorillonit gibi tabakalı silikatlardan meydana gelir. Bazı hallerde bir miktar kaolinit ve klorit ile değişen miktarlarda kuvars, feldspat, kalsit, dolomit ve limonit ihtiva ederler (DPT, 2005). Bu malzemelerin pişirilmesi neticesinde oluşan gözenekli yapıya sahip küçük seramik ürünlerin (granüller) dış yüzeyinde iyi sinterleşmiş sert ve piropplastik yapı gösteren bir kabuk oluşmaktadır (Şekil 1.1). İç kısımda ise, malzeme bünyesinde bulunan ve pişme esnasında açığa çıkan tüm gazların bünyeyi terk etmesi nedeniyle kapalı ve küçük boşluklar halinde hücreler ihtiva eden homojen bir yapı meydana gelmektedir (Anonim, 2000).

Genleştirilmiş kil agregaları Geoteknik Mühendisliği'nde de bir çok alanda kullanılabilir. GKA; temel altı ısı yalıtımı, çimento ile karıştırılıp grobeton olarak kullanıldığında su yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. GKA, istinat duvarı beton

gövdesinde ve granüler filtre malzemesi olarak istinat duvarı arkasında kullanılabilir. Dere yataklarının ıslah edilmesinde, yol temellerinde kullanımı değerlendirilebilir. Bahsedilen bu alanlarda inşaat çalışmasının özelliğine göre kullanılan GKA'nın kompozit malzeme olarak özelliklerini belirlemek amacıyla bu çalışma yürütülmüştür.



Şekil 1.1. Genleştirilmiş kil agregasının genel görünümü

Araştırmacıların yaptığı çalışmalarda, GKA ile üretilen numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Çalışmalarda ağırlıklı olarak numuneler mekanik deneylere tabi tutulmuştur. Geoteknik alanında yapılan incelemeler ise çok az miktardadır. Yapılan çalışmalarda GKA ile üretilen numuneler üzerinde daha çok mukavemet deneyleri yapılmış olup, geçirimsilik deneyleri daha az sayıda yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında GKA ile oluşturulan kompozit malzemelerin geoteknik özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Çalışmada farklı boyutlarda ve farklı oranlarda GKA'ların değişen Su/Çimento (S/Ç) ve Çimento/Agrega (Ç/A) oranlarında hazırlanan numuneleri için; ısıl dayanımı (donma-çözülme), basınç dayanımı ve geçirimsilik özellikleri araştırılmış, farklı açıdan değerlendirmeler yapılmıştır. Projeye konu olan GKA kullanımı ile oluşturulan kompozit malzemelerin performans özelliklerinin belirlenmesi sürecinde S/Ç, Ç/A oranları ve ortam özelliklerine de bağlı olarak GKA içerisindeki boşluklu yapı ile ilgili değerlendirmeler yapılarak literatüre katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Killerin Mineralojik Yapısı

Kil minerallerinin kesin bir sınıflandırılması yapılmamakla beraber aşağıda yapılan sınıflandırma, uygulamalarda geçerli olan bir sınıflandırmadır. (Grim,1953)

- ✓ Amorf
 - Allofan grubu
- ✓ Kristalin
 - İki tabakalı
 - Kaolinit grubu (Kaolinit, nakrit, dikit)
 - Halloysit grubu
 - Üç Tabakalı
 - Montmorillonit grubu : Montmorillonit, sausonit ve vermikülit
 - Nontronit, saponit, hektorit
 - İllit grubu
 - Düzenli karışık tabakalı
 - Klorit grubu
 - Zincir yapılı
 - Atapuljit
 - Sepiyolit
 - Paligorskit

Kil minerallerinin çoğu laboratuvar koşullarında sentez edilmiştir. Bu deneylerden, minerallerin oluşum ortamları ve çevresel koşullarla ilgili pek çok sonuç ortaya çıkarılmıştır. Düşük sıcaklıklarda asidik ortamlarda kaolinit, alkali ortamda montmorillonit oluşabilmektedir. Pek çok kil minerali hidrotermal kökenlidir. Bazı hidrotermal kökenli yataklar monominerali olmasına karşın çoğu kil minerallerinin karışımından oluşmaktadır. Farklı tipteki kayaçların bozunması da kil minerallerinin oluşumunda etkilidir. Kil minerallerinin oluşumlarında ana kayaç tipi, iklim, topografya, bitki örtüsü ve zaman gibi faktörler etkilidir.

2.2. Mineralojik Bileşenlerine Göre Genleşen Killer

Mineralojik bileşimlerini göre genleşen kil yatakları 3 gruba ayrılır. Bunlar;

- Klorit, illit, kuvars ve feldspat içeren yataklar,
- Montmorillonit, illit, kuvars içeren yataklar,
- Kaolinit, montmorillonit, kuvars içeren yataklar.

Bu yatakların dışında, Almanya'da genleşme özelliğine sahip 6 adet kil olduğu yapılan araştırmalarla ortaya çıkmıştır. Bu killer; denizsel killer, rüzgar kökenli lösler, Triyas Keuper kili, jura kili, Deviniyen killi sişler ve Şifertonlar'dır. (Schmidt, 1984; Kromer, 1977)

Genel olarak yapılan araştırmalarda genleşen killerin kimyasal yapılarının GKA üretiminde tam olarak belirleyici olmadığı ortaya çıkmıştır. Japonya'da GKA üretiminde kullanılan Kretase-Miyosen arası yaşlı masif çamurtaşı, sleyt ve şeyl gibi 6 değişik genleşen kil çeşitlerinde de kimyasal bileşimin tam belirleyici bir faktör olmadığı ortaya konulmuştur. Araştırmacılara göre; genleşen killerin genel olarak şu özellikleri gösterdiği belirtilmektedir (Anonim, 2000):

- ✓ Yüksek plastisite ve 2 mikrondan küçük tane oranının en az %35 olması.
- ✓ Özellikle başta illit, serizit, demirli klorit ve mika grubu yapraksı silikatlar ile montmorillonit ve montmorillonit-illit karışımlarının fazla olması, kaolinitin çok az olması veya olmaması.
- ✓ Kalsit-dolomitin %12'den tercihen %5'ten az olması (Taneli karbonat patlamaya yol açar, olumsuzdur).
- ✓ Fe_2O_3 miktarının %5–10 arasında olması (hematit, götit veya limonit biçiminde)

Kimyasal bileşiminde;

- ✓ Al_2O_3 miktarının %12-%25 arasında olması,
- ✓ SiO_2 miktarının %50-%78 arasında olması,
- ✓ (Fe, Na, K, Mg toplamı) miktarının %8-25 arasında olması,
- ✓ Organik karbon miktarının %0.6–2.5 arasında olması,
- ✓ Ancak çok ince dağılmış olması durumunda pirit varlığı.

Bu kimyasal bileşenler yanında, sinter ve erime noktalarının 1200°C civarında ve birbirine yakın olması da genleşen killerin özelliklerindendir.

Genleşme esnasında çeşitli minerallerin dönüşümü sonucu ortaya çıkan gazlar O_2 , CO_2 , CO, OH, SO_2 , N_2 ve H_2 ' dir. Genleşme özelliğine sahip killerin hepsi aynı süre

içinde genleşmeyebilir. Bazı killerin genleşmesi daha uzun süre alabilir (Seyhan, 2001; Kırıl, 2002).

Genleşmenin geciktiği bazı durumlarda karışıma dizel yağı, kömür alçı, bitüm, kireç, pencere camı, demir oksitleri, pirit ve markasit gibi katkı maddelerinin katılması genleşmeyi kolaylaştırmaktadır (DPT, 2005).

2.3. Isıl İşleme Kilin Mühendislik Özelliklerine Etkisi

Termal işlem, killerin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirir. Killi zeminler ısıtılma işlemiyle dengelendiğinde önemli kalıcı özelliklere sahip olabilirler. Termal olarak işlenmiş killer, eski zamanlardan beri, inşaat yapıları için zemin stabilizasyonu ve tuğla yapımında kullanılmıştır. Isıl işlem killi zeminlerin mukavemet, kohezyon, kıvam limitleri, optimum su içeriği, maksimum kuru yoğunluk, içsel sürtünme açısı, parçacık boyutu, geçirgenlik ve özgül ağırlık gibi çeşitli malzeme özelliklerini değiştirmektedir (Tan ve ark., 2004)

Tan ve ark. (2004), Erzurum İli, Oltu ve Narman ilçelerinden alınan iki farklı kilde 100 ile 1000 °C arasında değişen sıcaklıklarda mühendislik özelliklerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, optimum su muhtevası 100 ve 400 °C arasında hızla azalırken, 400 ile 1000 °C arasında az bir değişim gözlemlenmiştir. Maksimum kuru yoğunluk 100 ve 400 °C arasında artmıştır, ancak bu artış 400 ile 1000 °C arasında optimum değere ulaşmıştır. Likit limit, 100 ila 300 °C arasında değişen sıcaklıklarda hızla azalırken, 300 ve 1000 °C aralığındaki fark gözlenmemiştir. Plastik limit 100 ve 400 °C arasında hızla azalmıştır. 400°C'den yüksek sıcaklıklar için zemin numuneleri plastik olmayan davranış göstermiştir. Özgül ağırlık, 100 ve 600 °C arasında hızla azalırken, 600 ve 1000 °C aralığında kademeli olarak azalmıştır.

2.4. Genleşen Killerin Dünya'da, Türkiye'de Gelişimi ve Rezervleri

Genleşen killerin varlığının bilinmesi 1850'lere dayanmaktadır. Bu alanda ilk ürünler 1918 yılında Missouri'de S.J. Hayde tarafından elde edilerek Amerikan standartlarına "Haydite" adı ile girmiştir. Döner fırınlarda elde edilen bu ürünler o sıralar konut inşaatlarından ziyade, gemilerin iç konstrüksiyonunda kullanılmıştır. GKA, 1950'lerden sonra inşaat sektöründe başta gökdelen ve köprü yapımı olmak üzere bugünkü konumunu tam olarak kazanmıştır. GKA'ların üstünlüklerinin

keşfedilmesinden sonra ABD’de şu an 26 eyalette genleşen kil üretilmektedir. Bu GKA’lardan “Haydite” başta olmak üzere daha birçok kil agregası ticari olarak piyasaya sürülmüştür. Bu killer; Solite, Basalite, Buildex, Lite-Wate, Rocklite v.b. yaklaşık 15 çeşit piyasa ürünü olarak mevcuttur. ABD’de halen yılda hafif yapı agregası üretiminin 2/3’si genleşen kil veya şeyldir. 2019-2020 yılları arasında ~8-9 milyon m³ üretim yapılmıştır. Ayrıca Dünya üzerinde üretim yapan büyük firmalar, Kanada, Belçika, Avustralya, İsviçre ve Japon kuruluşlarla birlikte “Expanded, Shale Clay ve Slate Intitute” (ESCSI) adlı bir teşkilat kurmuşlardır (Argex, 1994).

Avrupa’da GKA üretimi doğal pomza veya fırın cürufuna sahip olmayan ancak zengin bir kil potansiyeline sahip Danimarka’dan başlamıştır ve “LECA” adı verilen döner fırın yöntemi burada geliştirilmiştir. Basta Sovyetler Birliği, Polonya ve Çekoslovakya olmak üzere Doğu Bloğu ülkelerinde genleşen killer “Keramsite” adı ile anılmakta ve yıllık üretim 9 milyon m³ olarak tahmin edilmektedir. Genleştirilmiş kil ve şistler hafif yapı malzemeleri içerisinde basınç mukavemeti en yüksek olan ürünlerdir. İngilizce ’de “Expanded Clay” Almanca ’da ise “Blahton” adı altında bilinmektedirler.

Özellikle Orta Avrupa’da ticari öneme haiz kil ve killi şist örnekleri 1100–1200 °C arasındaki sıcaklıklarda 1,5–6 faktörleri arasında genleşen 500–1000 kg/m³ arasında birim hacim ağırlığına sahip ürünlerdir. Killi şistlerden bugüne kadar 500 kg/m³’ün altında ürün elde edilememiştir. Bu sınırın altında ancak plastik killerden izolasyon veya hafif beton amaçlı agrega elde edilebilmektedir.

Almanya da 1936’ da başlayan çalışmalardan sonra ilk tesis 1955’ te Itzehoe’de kurulmuştur. Halen Oberfranken’de kurulu olan ve “Liapor” üreten firma ülkenin bu alanda en büyük kuruluşudur.

Diğer ülkelerde ise 2. Dünya Savaşı’nın ardından hızlı gelişen inşaat sektöründe yeni yapı malzemeleri ve beton katkı maddeleri giderek artan bir talep oluşturmuştur. Hafif betonun önem kazanmasıyla pomza, diatomit, yüksek fırın cürufu, lav cürufu, vermikülit ve perlit giderek daha fazla aranmaya başlamıştır. Ancak gerek kaynakların daha sınırlı oluşu gerekse basınç dayanımlarının olumsuzluğu nedeniyle kil, killi şist, şiferton ve şeyllerin yapay olarak genleştirilmesi ile elde edilen beton agregaları bu sektörün temel taşına dönüşmüştür.

Japonya’da genleşen kil sektörlerinde Kretase-Miyosen arası yaşlı çamurtası, sleyt ve şeyl kullanılmaktadır. Killerin genleşme özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak X-RD, DTA analizi veya doğrudan kimyasal analiz kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler genleşmeyi doğrudan değil dolaylı olarak işaretleyebilmektedir. Bu nedenle

çalışmalarda genleşmeyi doğrudan bildiren şoklu fırınlama tercih edilmiştir (Fujii ve Sudo, 1977; Fujii, 1978).

MTA Genel Müdürlüğü Genleşen Kil etütlerine ilk defa 20- 13A1 proje numarasıyla 2000 yılında başlanmıştır. Genleşen kil etütleri sonucu 2000 yılında derlenen örneklerden GK-4 (Ankara- Kalecik), GK-16 (Bolu-Abant), GK-34 (Kastamonu-Devrekani) örnekleri sırasıyla 2.76, 2.43 ve 2.14 oranında genleşmişlerdir. 2001 yılı çalışmalarında derlenen örneklerden ise AN-22 (Bartın-Ulus), AN-24 (Bartın-Karayolları şantiyesi), AN-25 (Bartın-Kızıllar), AN-28 (Bartın-Kumluca), AN-33 (Zonguldak-Namuriyen yaşlı killer) örnekleri sırasıyla 3.0, 2.7, 3.7, 3.2, 1.9 oranında genleşme göstermişlerdir.

Değişik oranlarda genleşme gösteren bu örneklerin hemen hepsi (Kastamonu-Devrekani ve Bolu-Abant örnekleri hariç) 1150°C'de genleşmişlerdir. Türkiye zengin genleşen kil yataklarına sahip olmasına rağmen bu sektörde hiçbir gelişme olmadığı yapılan araştırmalar sonucu görülmüştür. Genleşen kil ve diğer bütün doğal hammaddeler Taşocakları Nizamnamesi kapsamında işlem görmektedir. Türkiye'de genleşen kil yataklarının bulunmasında 3213 sayılı yasanın 18. ve 47. Maddelerine göre çalışılmıştır. Genleşen kil etütlerinde başarılı olmanın yolunun çok iyi bir literatür çalışması olduğu belirtilmektedir (Kıral, 2002).

MTA tarafından Genleşen Killer 2000-2001 arasında 13A1 projesi ile araştırılmıştır. Genleşen kil hammaddesi olarak;

- ✓ Tersiyer yaşlı, ekonomik kömür yataklanması ihtiva etmeyen killi seriler ve killer ile kömürlü serilerin altındaki ve üstündeki killer,
- ✓ Tersiyer yaşlı kumtaşı - şeyl ardalanmaları ile çamurtaşları,
- ✓ Mesozoyik yaşlı flis serileri (özellikle şeyl'in baskın olduğu) şeyl, metaseyl, yayılımının egemen olduğu formasyon, birim ve üyeler,
- ✓ Paleozoyik yaşlı killi şistler,
- ✓ Kayrak, fillit, sleyt litolojik tanımlanması yapıp geniş yayılım sunan mevkiler değerlendirmeye alınmıştır.

Buna göre MTA tarafından yapılan çalışmalar aşağıdaki bölgelerde yoğunlaştırılmıştır:

- ✓ Ankara-Çankırı Yöresi (Kalecik, Beypazarı, Nallıhan, Gölbaşı, Çayırhan-Orta, Sakarcaören)
- ✓ İzmir-Manisa Yöresi (Bornova, Cumaovası, Karaburun, Mordoğan-Muradiye)
- ✓ Aydın-Muğla Yöresi (Kavaklıdere-Yatağan-Bafa Gölü)
- ✓ Afyon-Kütahya Yöresi (Kızıldağ, Efeköy, Isıklar, Üyücek, Ovacık)

- ✓ Konya Yöresi (Kızılören, Hatunsaray, Kadınhanı, Ilgın)
- ✓ Bolu-Düzce-Sakarya Yöresi (Kaynaşlı, Yığılca, Ferizli)
- ✓ Zonguldak-Bartın-Karabük-Kastamonu (Ereğli, Çaycuma, Ulus, Kumluca Ömerli, Tekesin-Büyükköy, Devrakani)
- ✓ Sivas Yöresi (Çetinkaya-Divriği-Mursal).

Gökçe (2007), Ankara-Kalecik-Tekebeli mevkiinde Jura yaşlı kireçtaşlarının altındaki siyah şistlerin önce grafit sonra refrakter kil şiferton açısından incelendiğini, bunların refrakterlik ölçümü sırasında genleşen kil olduğunun anlaşıldığından bahsetmiştir.

Genleşen killer konusunda bugüne kadar yapılan çalışmalar genellikle kısa jeolojik etütler ve laboratuvarlarda yapılan birkaç denemeden ibaret kalmıştır. Konuyla ilgili olarak yapılan detaylı bir çalışma; GEOSAN (Doğal kaynaklar ve Hammaddeler Sanayi ve Ticaret A.S.) şirketinin, GÖK İnşaat ve Ticaret A.S.'nin talebi üzerine İstanbul-Kocaeli-Sakarya-Bolu illeri kuşağında yer alan genleşen kil zuhurlarının saptanması için yaptığı çalışma olmuştur. Bu çalışmada adı geçen illerin civarında yer alan genleşen kil olabilecek formasyon ve birimlerden numune derlenerek genleşme testleri yapılmış olup, gerek genleşme faktörleri gerekse mevsim faktörleri nedeniyle istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır (Gökçe, 2007).

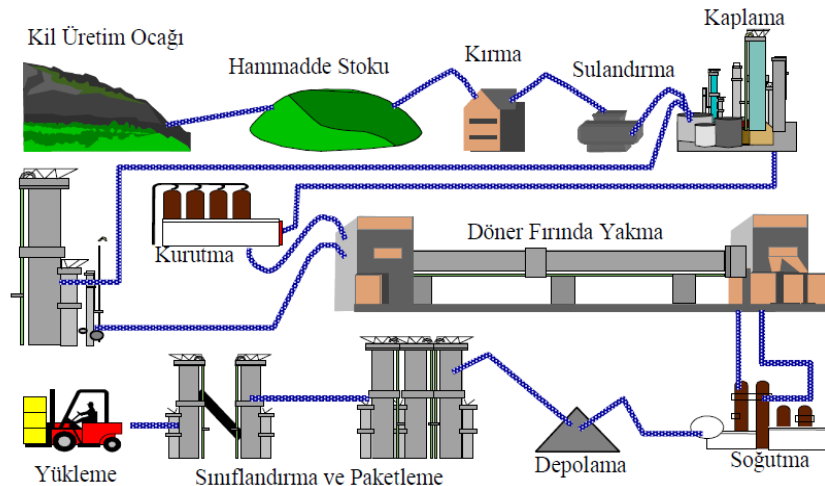
MTA tarafından yapılan araştırmaların sonucunda genleşen killer bir çalışmalara bir altlık oluşturmuştur (Kıral, 2002; Seyhan 2001).

2.5. Genleştirilmiş Kil Agregası Üretimi

GKA dünyada hafif agrega amaçlı olarak yaygın şekilde kullanılan bir agregadır. Üretim prensibi 1918'den beri bilinmekle birlikte, endüstriyel üretimi 1928 yılında başlamıştır. Üretim prosesi, tesisin özelliğine göre değişim göstermektedir (Anonim, 2000; Şener, 1999; DPT, 2005). Yanma (ısıtma) işleminden önce, hammaddenin hazırlanmasında kuru proses ve sulu proses olmak üzere 2 temel yöntem kullanılmaktadır (Anonim, 2000).

Kuru proseste; kil öncelikle çok ince toz boyutuna indirgenerek kuru bir şekilde elde edilir. Bu çok ince boyutlu toz, 2-4 metre çapında sabit hızda dönen düz tabanlı bir kap içerisinde su ilavesi ile pelletlenir. Elde edilen pelletler, merkezkaç kuvvetin etkisiyle yüksek derecede sıkışmış ve kompaktlaşmış durumdadır (Anonim, 2000).

Sulu proseste ise; ocaktan gelen kil, homojen bir dağılıma getirilerek kırılır ve öğütülmek üzere değirmenlere aktarılır. Daha sonra su ve genleştirici katkılar ilave edilerek elde edilen ince ve plastik malzeme, sızdırma prosesi için, delikli levhalar içerisinden geçirilir. Kullanılan deliklerin çapı, elde edilmek istenen agrega çapına göre belirlenir. Daha sonra deliklerden geçirilerek sızdırılmış macun durumundaki kil, istenilen uzunluklarda kesilir. Elde edilen silindirik pelletler, ilk önce döner fırınlarda kurutularak yuvarlak sekil kazandırılır (Anonim, 2000). Daha sonra, yine aynı fırınlar içerisinde yakma işlemi uygulanır (Şekil 2.1). Yakma sıcaklığı, 1100°C ile 1300°C arasında gerçekleştirilir. Fakat burada önemli olan faktör, gazların, pelletlerin içerisinden kaçmasına fırsat verilmeden 700-1150°C arasında ani bir ısı yükselişinin sağlanması gerekliliğidir. Döner fırın çıkışından genellikle saatte 10-50 ton arasında malzeme elde edilir. Daha sonra agregalar kodlanarak elenir ve farklı tane boyutlarında elde edilen agregalar, kahverengiden kırmızı renge doğru bir renk aralığına sahiptirler (Şekil 2.2). Bazı üreticiler, yapısal olarak güçlendirilmiş beton ve öngerilmeli beton üretiminde kullanılmak üzere, bazı özel hafif agrega türleri de imal etmektedirler. Ancak hafif agregaların dayanımı, yoğunluk arttırılmak suretiyle iyileştirilebilmektedir (Şener, 1999; Anonim, 2000). Uygun hammadde ve teknoloji seçimiyle istenilen miktarda, istenilen tane büyüklüğünde ve özelliğinde malzeme üretimine imkân verecek, farklı tüketim alanlarının değişik taleplerini karşılayabilmesi geliştirilmiş killerin en önemli üstünlüğüdür. Aynı zamanda yüksek basınç direncine sahip olan bu malzemeler, beton yapılarda çok rağbet gören hafif bir katkı maddesi haline gelmiştir (DPT, 2005). Bilhassa köprü ve gökdelen inşaatlarında bu hafif malzemeler büyük gelişmeleri mümkün hale getirmişlerdir.



Şekil 2.1. Genleştirilmiş kil agregası üretimi



Şekil 2.2. Farklı boyutlarda genişletilmiş kil agregası

2.6. Genleştirilmiş Kil Agregası Kullanım Alanları

Agregaları birçok şekilde sınıflandırabilmek mümkündür. Kaynağına göre doğal ve yapay olarak ikiye, özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre ise normal ağırlıklı, hafif ve ağır olmak üzere üçe ayrılırlar. Kırmataş, çakıl, kum gibi agregalar doğal, genişletilmiş kil veya perlit agregası ve yüksek fırın cürufu agregası ise yapay kaynaklıdır (Erdoğan, 2003). Hafif agregalar hafif taşıyıcı betonların üretilmesinde veya yalıtım özelliği yüksek panellerin yapımında kullanılabilirler. Yol alt yapılarında dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler, gelen yüklerin daha eşit şekilde dağılmasını sağlarlar. Betonarme yapılarda betonun birim ağırlığının yüksek olması, yapıların ağırlığını artırmakta bu da kesitlerin büyümesine yol açmaktadır. Dolayısıyla, yapının ağırlığı bir miktar daha artmakta ve zeminde önemli kuvvetler oluşmaktadır (Sönmez ve ark., 2004).

Hafif taşıyıcı beton üretimi son zamanlarda popüler hale gelmiştir. Hafif agrega ile üretilen hafif betonlar günümüzde taşıyıcı olmayan fakat yüksek yalıtım gerektiren yerlerde de tercih edilmektedir. Bunların başında fabrika inşaatlarının yalıtım özellikli duvar panelleri, tuğla gibi bloklar, çatı ve taban betonları gelmektedir. Böylesi betonların kalınlığı 10-15 cm civarında olup yüksek yalıtım sağlanmaktadır. Hafif betonlar aynı zamanda ses yalıtımını da sağlamaktadır.

GKA su geçirgenlik özelliği ile fosseptik drenajında, istinat duvarı drenajında, yol banketlerindeki dip drenajında, temel drenajı benzeri yerlerde filtre malzemesi olarak kullanılmaktadır. Otoyol inşalarında kullanımı ile dikey basıncı azaltmakta, kılcal su sızmalarını drene etmekte ve dona karşı yalıtımı sağlamaktadır (Şekil 2.3). GKA kullanımı ile yumuşak zeminler stabilize edilmekte ve zemindeki boşluklar doldurularak oluşabilecek olası çökmeler engellenmektedir. GKA, ısı, nem ve ses yalıtımı için mükemmel bir dolgu malzemesidir. Yanmaz bir ürün olduğu için olası yangınlarda koruyucu bir katman görevi görür, hafif olduğu için binaya ek bir yalıtım

ağırlığı binmemektedir. Yapısal özelliklerinden dolayı bünyesinde hiçbir haşere barındırmamaktadır. Uygulaması kolay ve hızlıdır (Anonim, 2020).



Şekil 2.3. Farklı drenaj uygulamaları

Hafifliği, düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemeti ile yapıyı etkileyen düşey toprak basıncını, doğal kaya dolgusuna göre %75 daha azaltır. İstinat duvarları, tabaka kazık duvarları, köprülerin arka dolgusu, bodrum duvarları ve temelleri gibi inşaalarda yapı ile toprak arasında kullanılan GKA basıncı dengeleyerek azaltır, daha uzun ömürlü ve sağlam yapıların oluşmasını sağlar. GKA, kanal ve tünel dolgu malzemesi olarak en etkili çözümdür (Şekil 2.4). Dayanıklı stabilite ve yeterli taşıma kabiliyetine ek olarak, hiçbir boruya ve yer altı yapısına zarar vermeyecek bir dış yüzeye sahiptir. Yer altında bulunan tüneller, otoparklar ve boru hatları etrafında dolgu malzemesi olarak kullanıldığında, sismik olaylar ve toprak kayması gibi durumlarda titreşim ve itmelere karşı koruma sağlamaktadır (Anonim, 2020).



Şekil 2.4. GKA'nın hafif dolgu malzemesi olarak kullanımı

Sessiz asfaltın hammaddesi olan GKA; Şehir gürültüsünün azaltılmasında, tünellerde, otobanlarda ve metro hatlarında ses emici olarak kullanılan dayanıklı ve uzun ömürlü bir çözümdür. Havada yayılan seslerin yalıtımı, duvara çakılan bir çivinin sesi gibi seslerin yalıtımı, özellikle kapalı yerlerde ses yayılması günlük yaşamı

etkileyen nedenlerden biridir. GKA ile yapılan asfaltların ses emici özelliği sayesinde araç gürültüsü büyük oranda azalacaktır. Her türlü yol kaplaması üzerine uygulanabilen GKA; Okul, hastane, huzurevi gibi sessizliğin önemli olduğu mekânların civarında kullanılmaktadır (Anonim, 2020).

Isı yalıtımında yapının tüm cepheleriyle birlikte zemin ve çatı yalıtımı da önemlidir (Şekil 2.5). Isı kayıp ve kazançlarında zemin ve çatıdan iletilen ısıнын önemi büyüktür. GKA ve GKA'dan oluşturulan bloklar ile kapalı mekanlarda sıcaklığın daha az enerji tüketilerek tutulması ve mükemmel bir ısı yalıtımı yapılması mümkündür (Anonim, 2020).

GKA kullanımı yapılarda ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşürür. Yapıda bozulma ve yıpranma yaşamaz, ısı yalıtımında kalıcı bir çözüm sunar. Duvarlarda nem ve küflenme sorunu ortadan kalkarken, yapı iç sıcaklığı korunur ve yapı dış termal etkenlerden etkilenmez. GKA taneleri makro ve mikro ölçekte sayısız gözeneği ve homojen dağılımı ile yapıların nefes almasını sağlarken mükemmel bir ısı yalıtımı sağlamaktadır (Anonim, 2020).



Şekil 2.5. GKA ile çatı yalıtım uygulamaları

GKA kullanımı istinat duvarına gelen yük basıncını azaltır. Yağmur sularının süzülerek toprakta emilimini sağlar. Yeraltı sularının yüksek olduğu yerlerdeki binaların temel inşaatlarında drenaj dolgu malzemesi olarak kullanılır. Yeraltı yapıları ve yumuşak zemin üzerine inşa edilen yer üstü yapıları için GKA kullanımı mükemmel bir çözümdür (Şekil 2.6) (Anonim, 2020).



Şekil 2.6. GKA'nın dolgu malzemesi olarak kullanımı

GKA, toprak istinat duvarları oluştururken son derece değerli bir yapı malzemesidir. GKA, ağırlık duvarlarından konsol kazık duvarlara ve bağlantı duvarlarına kadar her türlü istinat duvarı için kullanılabilir. Herhangi bir istinat duvarı tesisatında kullanılacak beton bloklar için hafif ve mükemmel bir katkı maddesidir. Ayrıca, soğuk havaya maruz kalabilecek ve çatlayıp bozulabilecek duvarların stabilitesini sağlamak için donmaya karşı da dayanıklıdır (Why is expanded clay, 2020).

Laterlite (2006) yeraltı boşluklarının granüler agregalarla doldurulmasının çoğunlukla düşeyde ve yatayda basınç artışına ve oturmalara sebep olduğunu belirtmiştir. Sıkışmaya karşı yüksek direnci sayesinde GKA'nın (çimento ile karıştırılmış) kullanılması çekme ve basınç gerilmelerinin karşılanmasına yardımcı olmaktadır. GKA'nın etkili bir drenaj özelliğine sahip olması önemli olup GKA ve çimento boşluklara ayrı ayrı pompalanabilmekte veya karıştırılabilmektedir. GKA'nın granülasyon ve beton dozajı kontrol edilerek, doğada bulunan boşluklu malzemelerin özelliklerine uyarlanabilmektedir.

GKA'lar ayrıca park, bahçe vb. düzenlemelerde peyzaj elemanı olarak kullanılabilir. Son zamanlarda seralarda topraksız tarım zemininde de kullanılmaya başlanmıştır.

2.7. Literatür Araştırması

Şimşek ve Gökçe (2017) tarafından yapılan çalışmada Ankara, Kalecik-Tekebeli mevkiinden temin edilen kil genleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Kil,

laboratuvar tipi konkasörle 1mm boyutunda elekten geçecek şekilde öğütülmüştür. Öğütme işlemini gerçekleştirdikten sonra elek altında kalan kil araştırmada kullanılmıştır. Elek altında kalan kil, rahatça şekil verilebilecek seviyeye (macun kıvamı) gelinceye kadar su ile karıştırılmıştır. Şekil verilebilir kıvama gelen kil hamuru kıyma makinesinden 1, 4, 8 ve 16 mm çapında silindir prizmalar haline getirilmiştir. Prizma haline getirilen kil hamuru bıçakla boyu ve çapı eşit olacak şekilde kesilmiştir. Kesilen silindirik prizmalar hafifçe elle küreselleştirilmiştir. Küreselleştirilen taneler 105° C’de etüvde 24 saat kurutulmuştur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Kil agregalarının etüvden çıktıktan sonraki görünümü (Şimşek ve Gökçe, 2017)

Ortam sıcaklığında soğuyan taneler daha sonra sırasıyla 900°-950°-1000°-1050°- 1100°C ve 1150°C de şok yöntemiyle ısıtılmalara (etüve aniden sokularak) tabi tutulmuştur.

Genleşmesi tespit edilen agregalar ile 900-1150°C de ısıtılmalara tabi tutularak ince ve iri agregalar üretilmiştir (Şekil 2.8). Numuneler üzerinde uygulanan ısıtılma işlemi ve fırında kalma süreleri, su da yüzme durumuna göre test edilmiştir.

Numunelerde 1100°C’ ye kadar genleşme çok az miktarda olup gözle fark edilemez durumdayken, 1150°C de ki kil numunesinde 15 dakika sonrasında ki ısıtılma işlemi sonrası genleşme katsayısı 3.2 olarak ölçülmüştür. Bu genleşme sonunda kullanılan kilin hammaddesinin, genleşen kil olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.9). Genleşen kil olduğu tespit edilen numunelerden, dış kabuktaki sinterleşme en iyi 1100°C de 10 dakikada ısıtılma işlemi sonrası elde edildiğinden, bu sıcaklıkta ki pişirme sonrası agregalar üretilmiştir.

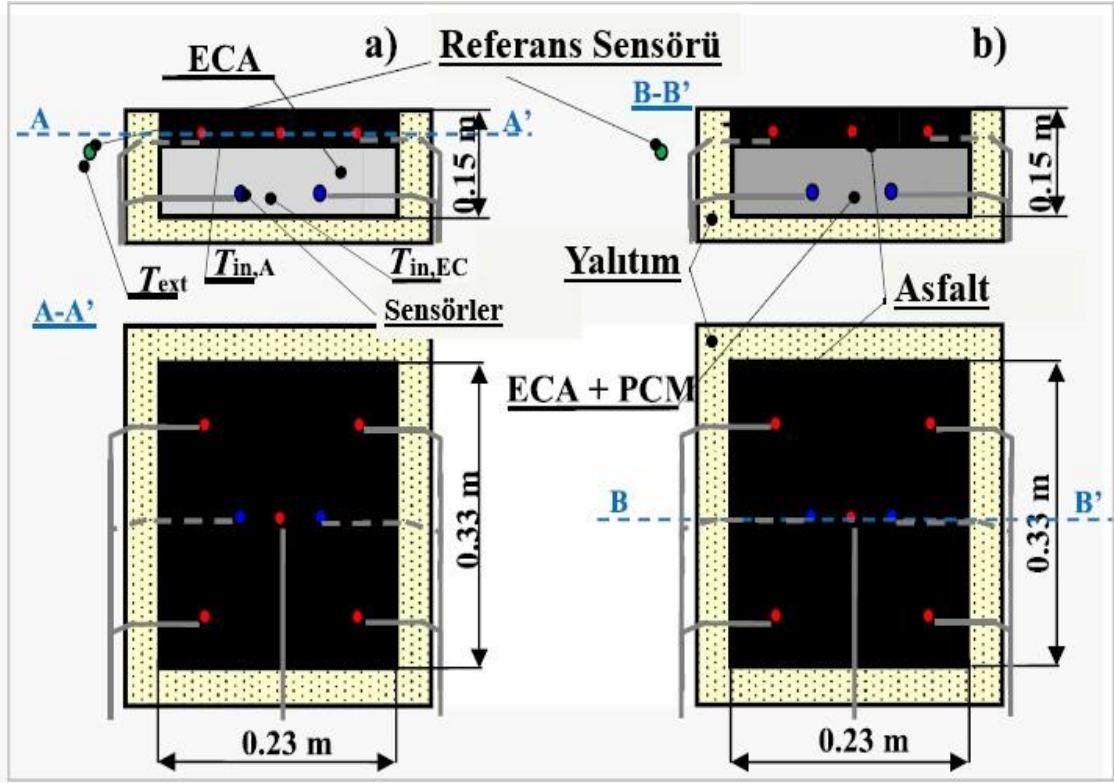


Şekil 2.8. Kür havuzu fırını (max. sıcaklık 1100°C) görünümü (Şimşek ve Gökçe, 2017)



Şekil 2.9. Genleşmiş kil agregalarının 1100°C de 10 dakika pişirilmesinden sonraki görünümü

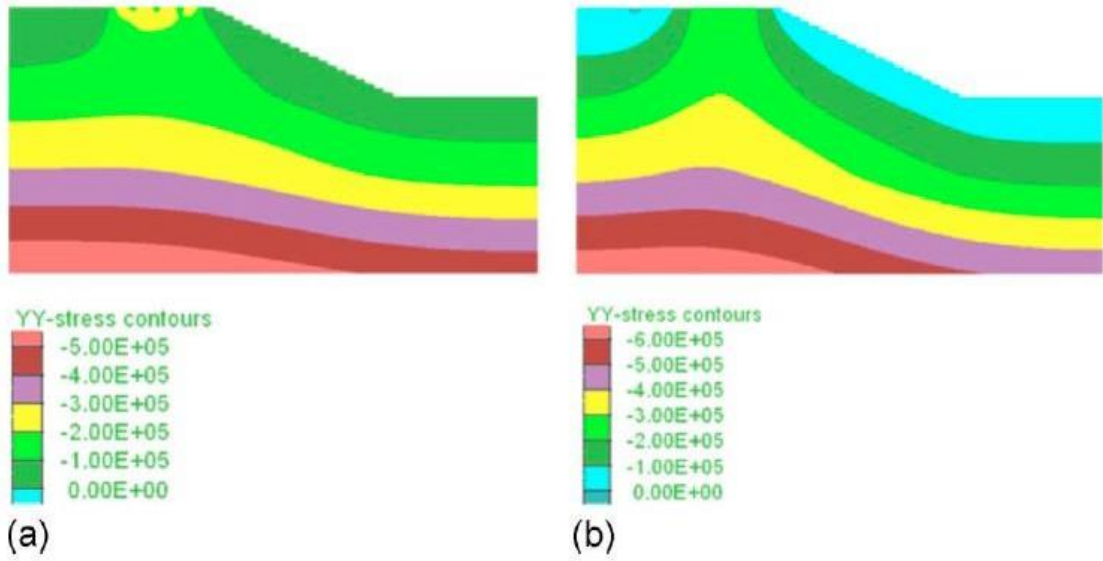
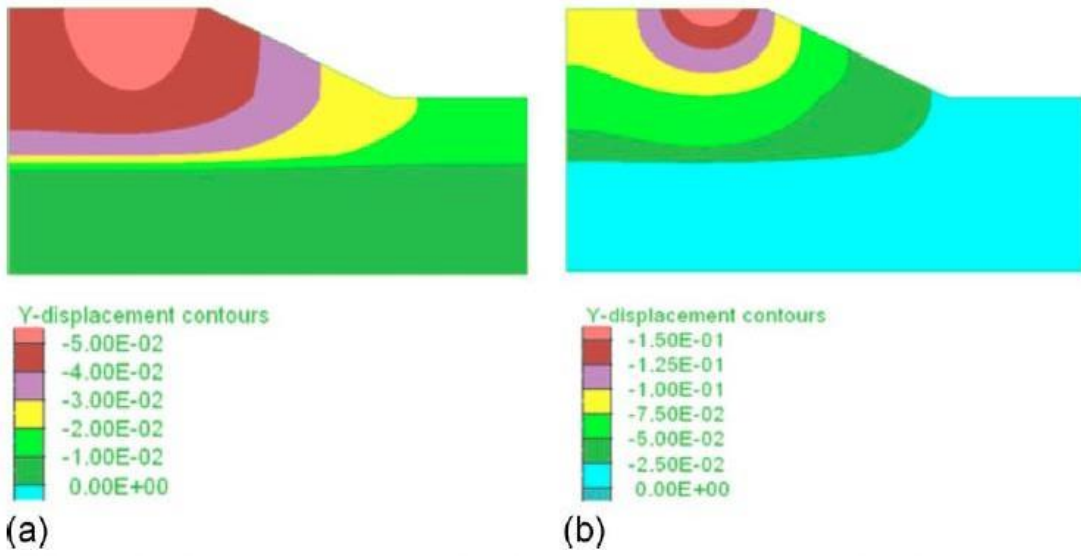
Ryms ve ark. (2015) yapı ve yol malzemelerinde ısı yalıtımını sağlamak ve stabiliteyi arttırmak için GKA kullanmışlardır. Yoğun güneş ışınları, özellikle yaz aylarında, yol yüzeylerinde, köprülerde ve otoparklarda asfaltın erimesine ve böylece bu yapıların daha fazla zarar gördüğünü belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında iki asfalt yüzeyinde Şekil 2.10'daki düzenekte, gerçek şartlar altında yürütülen simülasyon testlerinde az miktarda PMC bile (% 3 zeminin kütle ağırlığına göre) yüzey sıcaklığında bir azalmaya neden olmuştur.



Şekil 2.10. Simülasyon deneyleri için oluşturulan test standının şeması: a) GKA alt tabakası (referans) ile asfalt yüzeyi, b) GKA + PCM alt tabakası ile asfalt yüzeyi. (Ryms ve ark., 2015)

Saride ve ark. (2010) tarafından genişlen kil ve killi şist (ECS) üretiminden elde edilen hafif agrega (GKA) malzemenin, yol yaklaşım dolgu malzemesi olarak potansiyel kullanımını değerlendirmek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Arlington, Teksas'taki State Highway 360'da yeni bir köprü üst geçidinin güney ucu GKA kullanılarak inşa edilmiş ve aynı köprü'nün kuzey ucunda bir kontrol bölümü inşa edilmiştir (Şekil 2.11.). Kontrol bölümünde, bir dolgu maddesi olarak düşük plastisiteli bir dolgu zemin (normal dolgu) kullanılmıştır. GKA dolgu bölümüne 12 mm uzunluğunda 70 mm çapında iki dikey eğimölçer ile yerleştirilip, ölçümler yapılmıştır.

GKA'ların ve klasik dolgu malzemelerin bir set olarak nasıl davrandığını ve dolgudaki deformasyonları ve gerilmeleri nasıl etkilediğini anlamak için, FLAC programı kullanılarak çalışmalar yapılmıştır (Şekil 2.12.). GKA malzemesinin ve normal toprak dolgunun davranışını incelemek için Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır.



Eğimölçer okumaları, GKA' nın geri dolgusunun tatmin edici bir performans sergilediğini göstermektedir. Genel olarak, laboratuvar test sonuçları ve saha izleme verileri GKA materyalinin, yaklaşım dolgu yerleşimlerini hafifletmek için dolgu malzemesi olarak başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Hem GKA' nın hem de kontrol setlerinin sayısal modellenmesi, GKA malzemesinin yumuşak temel zemini üzerindeki dolgu yüklenme basıncını azaltma potansiyeline sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Melo ve ark. (2016) normal agregaya yerine GKA (size 0.4–20 mm) ve normal agregaya içerisinde % 30 GKA (size 0.06– 10 mm) kullanılmasının termal iletkenliği % 60 oranında azaltabildiğini ve % 3.62 oranında özgül ısı artışı sağladığını belirtmişlerdir.

Alireza ve ark. (2013) normal ağırlıktaki betonu ve GKA (2–4 mm ve 4-12 mm) içeren betonları 3 hafta boyunca % 15 hidroklorik asit (HCl), 6 hafta % 5 sülfürik asit (H_2SO_4) ve 3 ay boyunca % 5 laktik asit ($CH_3CHOHCOOH$) ile kür etmişlerdir. Sonuç olarak, GKA içeren numunelerin, hidroklorik asit ve laktik asite karşı normal agregalardan daha yüksek direnç sergilediklerini belirtmişlerdir. Ancak, GKA içeren betonlar sülfürik asite karşı daha az direnç sergilemişlerdir.

Real ve arkadaşları (2015), GKA ile üretilen betonların daha az yoğunluğunu bulmuşlardır. Karışımdaki GKA hacminin artmasıyla yoğunluk azalmıştır. 250, 300 ve 400 L/m³ oranlarında GKA ile üretilen betonların % 12.7,% 16.58 ve% 19.72 oranında yoğunlukta azalmalar görülmüştür.

Maciulaitis ve ark. (2009), normal ağırlıktaki kum ve çakılın GKA ile değiştirilmesiyle (0–4 mm ve 4–10 mm boyutlarında) 1526 kg / m³ yoğunluğunda beton elde etmiştir.

Campione ve ark. (2001), referans ile karşılaştırıldığında GKA'nın (3–17 mm boyutu) kaba agregaya olarak katılmasıyla % 34.92 daha az 28 günlük yoğunluğu bulmuşlardır.

Bocca ve Rossetti (1978), normal ağırlıktaki kaba agreganın yerine GKA (8–15 mm ölçülerinde) yerleştirilerek betonun % 42 daha az yoğunluğa sahip olduğunu bulmuşlardır.

Shankar (2016), normal ağırlıktaki kumun sırasıyla% 5,% 10,% 15 ve% 20 GKA ile yer değiştirmesiyle elde edilen betonlarda, 7 günlük sertleştirilmiş yoğunluk sırasıyla % 2,% 3.2,% 3.6 ve% 4.8 oranında azalmıştır.

Shafigh ve ark. (2014), kaba agreganın bir parçası olarak 180 kg / m³ GKA (maksimum boyut 8 mm) içeren betonun, numuneler sırasıyla nemli ve kuru sertleştirmede kürlendiğinde 30.8 ve 26.6 MPa'lık 28 günlük basınç mukavemeti elde edilmiştir.

Anis ve Lazim (2016), kaba agregaya olarak GKA (4–10 mm ölçülerinde) içeren betonun 28 gün içinde 17.9 MPa basınç dayanımı gösterdiğini belirtmiştir. GKA, hacimce % 15,% 20 ve% 25 seviyelerinde normal ağırlıktaki kaba agregaya ile kısmen değiştirildiğinde % 36.9 artmıştır.

Wegian (2012), çimento miktarı 250 kg / m³.normal ağırlıktaki kum ve çakıl

yerine GKA (boyut 2–4, 4–8, 8–20 mm) kullanıldığında, sırasıyla% 60.42 ve % 61.79 daha az 14 ve 28 günlük beton mukavemeti sağlamıştır. Bu azalma, normal ağırlıktaki kum ve dolomitin sırasıyla GKA ile değiştirildiği zaman % 69.45 ve% 68.1 olarak bulunmuştur. Çimento miktarı 300 kg/m³ olduğunda, normal ağırlıkta kum ve çakıl yerine GKA ile basınç dayanımı sırasıyla % 45.36 ve% 61.31 azalmıştır, normal kum ve dolomitin GKA ile değiştirilmesi sırasında sırasıyla% 65.11 ve% 67.2 oranında azalma görülmüştür. Çimento miktarı 350 kg / m³ iken, normal ağırlık kumunun ve çakılın GKA ile değiştirilmesi, sırasıyla 14 ve 28 günlük basınç dayanımında % 37.59 ve% 52.55 oranında azalma meydana getirmiştir, normal ağırlıktaki kum ve dolomitin GKA ile değiştirilmesi, sırasıyla% 59.8 ve% 61.5 oranında azalmaya neden olmuştur.

Bogas ve arkadaşları (2012), farklı tipte GKA içeren harçların emiliminin daha fazla gözenekli agregası ve daha yüksek kırık parçacık yüzdesi için daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Doğal hafif agregası içeren hafif betonda da benzer yüksek su geçirgenliği gözlenmiştir (Al-Khaiat ve ark., 1999). Bununla birlikte, GKA' nın daha düşük gözenekliliğe sahip olması, ancak daha yoğun dış kabuğu ile bu, ara yüzey geçiş bölgesinin kalitesine ve iç matriks kısıtlayıcı su erişimine yol açmıştır.

Youm ve arkadaşları (2016), kaba agregası olarak LECA (maksimum boyut 8 mm) içeren beton örneklerinin referanstan daha az donma / çözülme direnci gösterdiğini belirtmiştir.

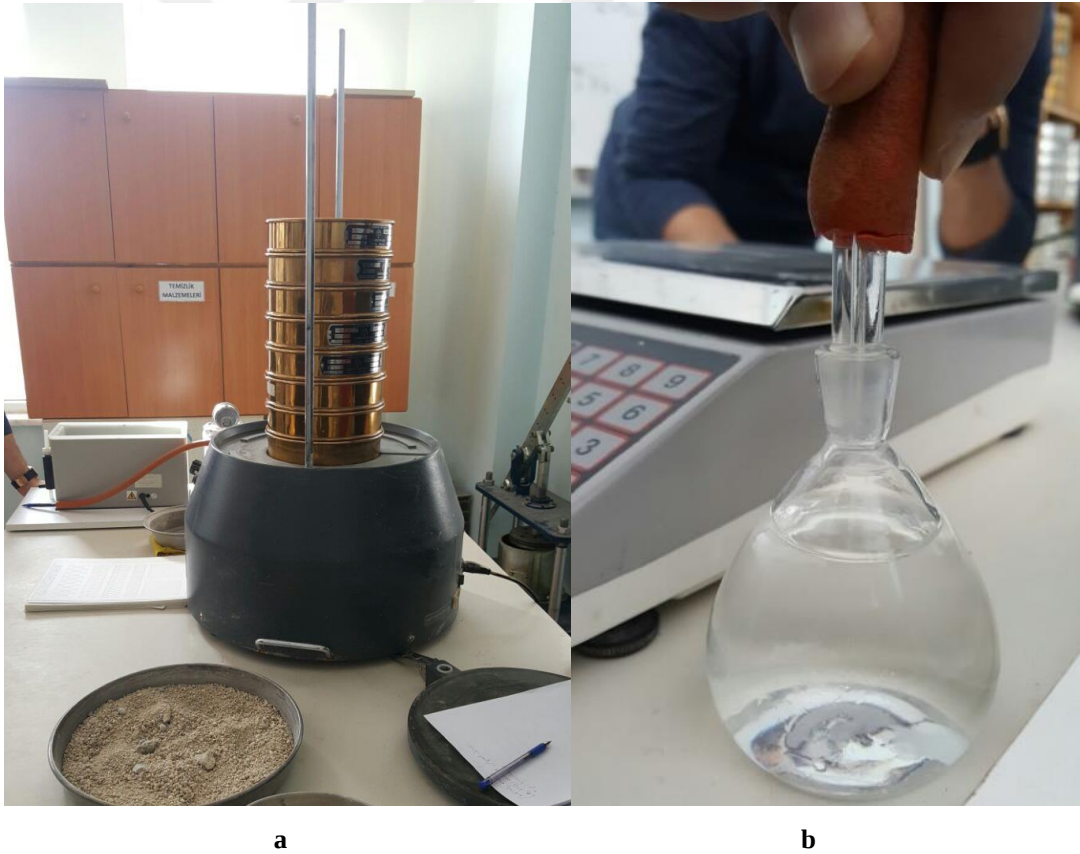
Józwiak-Niedzwiedzka (2005), normal ağırlıktaki kumun önceden ıslatılmış LECA (boyut 0–2 mm) ile hacimce% 33.33 ve% 50 oranında kısmen değiştirilmesiyle daha az donma / çözülme direnci bulmuştur. Kaba agregası olarak kullanılan bazalt (boyut 2–4 ve 8–16 mm),% 50 ve% 100'lük yüzdelerde, önceden ıslatılmış LECA (boyut 2–4 mm) ile değiştirilmiştir. Sonuçlar, önceden ıslatılmış LECA'nın dahil edilmesiyle daha az donma / çözülme direncini göstermektedir. LECA içeriği arttıkça donma / çözülme direncindeki azalma artmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

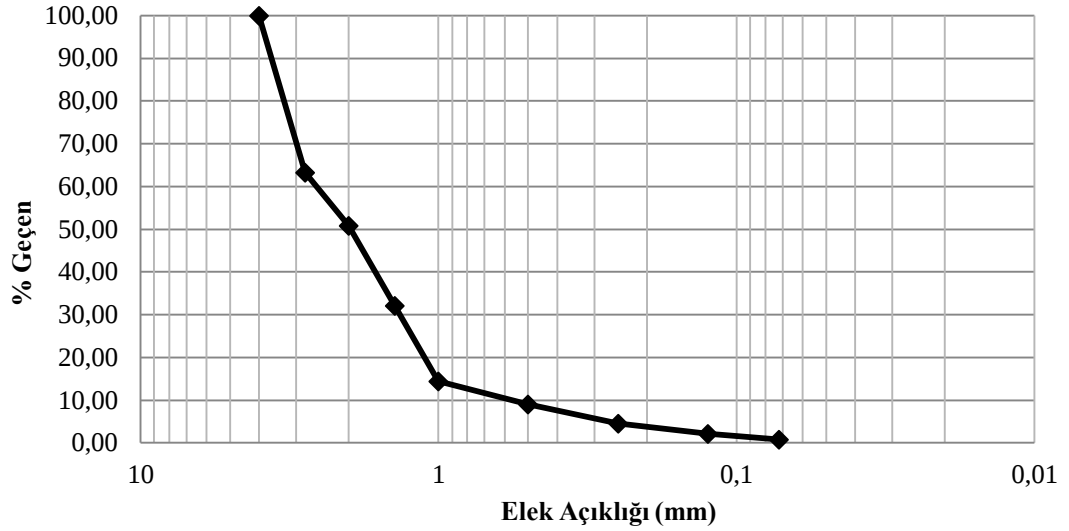
3.1. Materyal

3.1.1. Kum

Çalışma kapsamında kompozit malzeme üretiminde kullanılacak olan kum öncelikle elek analizine tabii tutulup granülometri eğrisi çizilmiştir. Kum etüvde 100 °C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kullanılan kumun bazı özellikleri Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir (Şekil 3.1). Deneyler TS EN 1097-6 ve ASTM D6913-04 standartlarına göre yapılmıştır (Tablo 3.1). Kum numunelerine ait granülometri eğrisi Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.1. a)Eleğ analizi deney aleti b)Piknometre(özgül ağırlık) deney aleti



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan kuma ait granülometri eğrisi

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan kuma ait fiziksel özellikler

Su emme (%)	4
Su muhtevası (%)	0
Özgül ağırlık	2.63
D ₁₀ (mm)	0.54
Cu	4.81
Cc	1.4
Sınıfı (ASTM D-2487)	SW

3.1.2. Genleştirilmiş kil agregası (GKA)

Kullanılan GKA, Söğüt Toprak Madencilik Sanayi A.Ş. tarafından Bilecik İlının Söğüt ilçesinde üretilmiştir. Çalışmada, 0-3mm, 3-8mm, 8-16mm elek aralıklarında GKA'lar kullanılmıştır. GKA'lara ait gevşek yığın ağırlıkları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. GKA'ların gevşek yığın ağırlıkları

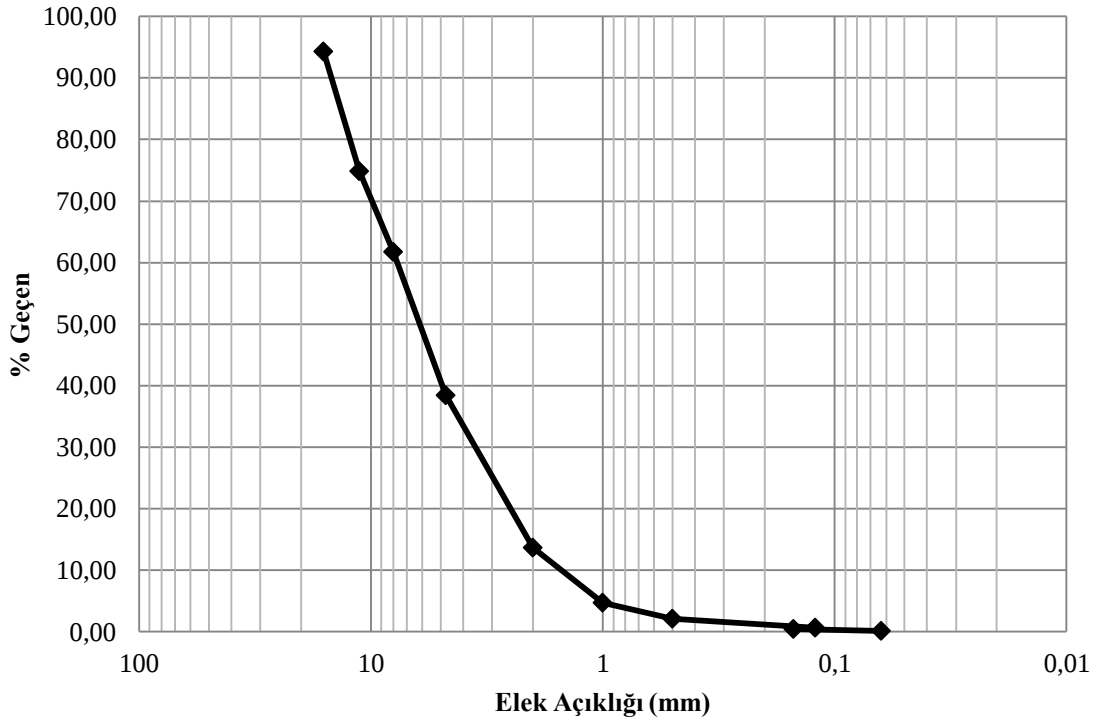
Elek Çapı (mm)	Gevşek Yığın Ağırlığı (kg/m ³)
0-3	650-850
3-8	550-650
8-16	400-550

GKA üretiminde kullanılan kil içeriği;

- ✓ %45-55 Alüminyum oksit (Al₂O₃)
- ✓ %25-35 Silisyum oksit (SiO₂)
- ✓ %5 Alkali

- ✓ %3 Kuvars
- ✓ %1-3 Demir oksit (Fe_2O_3)
- ✓ %1-3 Titanyum oksit (TiO_2)
- ✓ %1-3 Montmorillonit
- ✓ Kalsiyum Karbonat
- ✓ Baryum sülfat (BrSO_4)
- ✓ Fuel oil
- ✓ Kömür
- ✓ Mazot
- ✓ Talaş
- ✓ PVC atığı
- ✓ Evsel atık şeklindedir.

Deneylerde kullanılan GKA, TS EN 1097-6 ve ASTM D6913-04 standartlarına göre elek analizi (Şekil 3.3.), özgül ağırlık, su muhtevası ve su emme deneylerine tabi tutulmuştur. 3-8, 8-16 mm boyutlarındaki GKA'ların özgül ağırlık deneyi için Arşimet terazisi kullanılmıştır (Şekil 3.4). GKA'nın genel özellikleri Tablo 3.3'te, fiziksel özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. GKA'ya ait granülometri eğrisi



Şekil 3.4. GKA'ların özgül ağırlık deneyi için kullanılan Arşimet terazisi

Tablo 3.3. GKA genel özellikleri

Isı İletkenliği (W/mK)	$0.09 < \lambda < 0.121$
Yangına Karşı Direnç	A1 Yanmaz
pH	$6.5 < \text{pH} < 8.5$
Zaman İçinde Tane Boyu Değişikliği	Değişmez
Drenaj Kapasitesi	Yüksek
Kimyasal Çözeltide Çözünmeye Karşı Direnç	Dirençlidir

Tablo 3.4. GKA'ya ait fiziksel özellikler

GKA boyutu (mm)	Özgül Ağırlık	Su Muhtevası (%)	Su Emme (%)
0-3	1.77	0	7.63
3-8	1.30	0	17.67
8-16	1.05	0	35.89

3.1.3. Çimento

Çalışmalarımızın tamamında, Konya Çimento'dan temin edilen CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır. İlgili çimentonun fiziksel özellikleri aşağıda (Tablo 3.5) gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Üretici firmadan alınan verilere göre Portland çimentosunun (CEM I 42.5R) fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	CEM I 42.5R
Blaine değeri (ölgül yüzey alanı) (m ² /kg)	398
Su ihtiyacı (%H ₂ O)	27.6
Priz süresi (dk)	
Priz başı	145
Priz sonu	195
Basınç dayanımı (MPa)	
2 günlük	28.6
28 günlük	53
Su ihtiyacı (%H ₂ O)	27.6

3.1.4. Karışım suyu

Deney numuneleri hazırlanırken, Konya Teknik Üniversitesi'nin şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Numunelerin hazırlanması

Bu çalışmada uygulanacak bir deney tasarım tablosunda 4 farklı parametre (Su/Çimento (S/Ç), Çimento/ToplamAgrega (Ç/TA), genleştirilmiş kil agregası (GKA), GKA/TA) için 48 farklı tasarım oluşturulmuştur (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. Deney düzeneği parametreleri

S/Ç	0.3	0.4	0.5	0.6
Ç/TA	1.25	1.6	2	
GKA (mm)	0-3	3-8	8-16	
GKA (%)	35	40	25	
GKA/TA (%)	20	40	60	100

Farklı oranlarda genleştirilmiş kil agregasının yine farklı oranlarda çimento, kum ve suyun (Şekil 3.5) karıştırılması ile hazırlanan kompozit malzemelerin serbest basınç mukavemetinin ve geçirimsizlik performanslarının kontrollü koşullarda kıyaslaması yapılmıştır.

Kompozit malzemeler yapılmadan önce GKA'lar suya doygun hale getirilmiştir (Şekil 3.6). Suya doygun hale getirilen GKA'ların içerisindeki su miktarı, karışımda

kullanılacak S/Ç içeriğinden düşürülmemiştir. Doygun hale getirilen GKA'lar, Tablo 3.6.'da verilen oranlarda karıştırılarak (Şekil 3.7) 50×100 mm boyutlarında silindir kalıplara 3 tabaka halinde dökülmüştür. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılıp (Şekil 3.8) kür işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.9). Kür işlemi için numuneler 2 adet olarak poşetlere yerleştirilip, altına nemi koruması için bir miktar su koyduğumuz kilitli plastik kaplara yerleştirilmiştir. Numuneler 7 ve 28 gün kür işlemine tabi tutulmuştur.



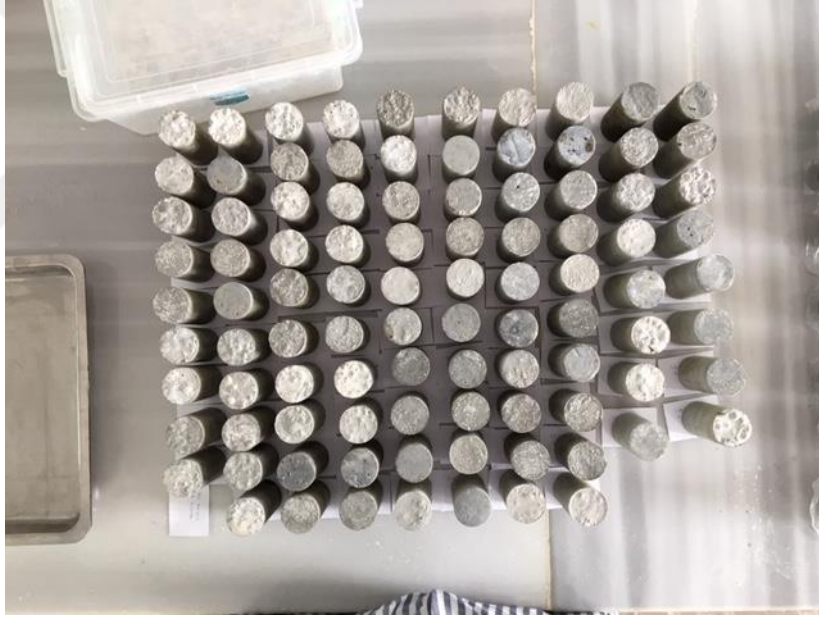
Şekil 3.5. Beton karışımı için kullanılan materyaller



Şekil 3.6. Genleştirilmiş kil agregalarının doygun hale getirilmesi



Şekil 3.7. Numunelerin hazırlanması



Şekil 3.8. 7 ve 28 günlük kalıptan çıkarılan numuneler



Şekil 3.9. Numunelerin kür edilmesi

3.2.2. Serbest basınç mukavemeti deneylerinin yapılması

Deneyin amacı oluşturduğumuz kompozit malzemelerin basınç dayanımlarını hesaplamaktır. Serbest basınç mukavemeti deneyi ASTM C-4219-02 standartlarına göre yapılmıştır (Şekil 3.10). Deney yükleme hızı 0.4 mm/dk seçilmiştir. Her tasarım için 2 adet numune serbest basınç dayanımına tabii tutulmuştur. Deneylerde numuneler yük almayacağı seviyeye kadar yüklenmiş (Şekil 3.11) ve okunan en yüksek eksenel kuvvet değeri numunenin o anki kesit alanına bölünerek gerilmeye dönüştürülmüştür. Numunelere ait grafikler çizilerek, numunelerin serbest basınç dayanımları hesaplanmıştır. Serbest basınç dayanımı Denklem 3.1 ve 3.2 'de verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A_f} \quad (3.1)$$

$$A_f = \frac{A_o}{1-\varepsilon} \quad (3.2)$$

σ : Serbest basınç mukavemeti (MPa)

P_{max} : Kırılma yükü (kN)

A_f : Kırılma anındaki en kesit alanı (mm²)

A_o : Numunenin ilk enkesit alanı (mm²)

ε : Birim deformasyon (%)



Şekil 3.10. Serbest basınç deneyi aleti

7 günlük ve 28 günlük kür süreleri için serbest basınç mukavemeti deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler için 192 numune kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Serbest basınç deneyinde kırılan numuneler

3.2.3. Geçirimlilik deneylerinin yapılması

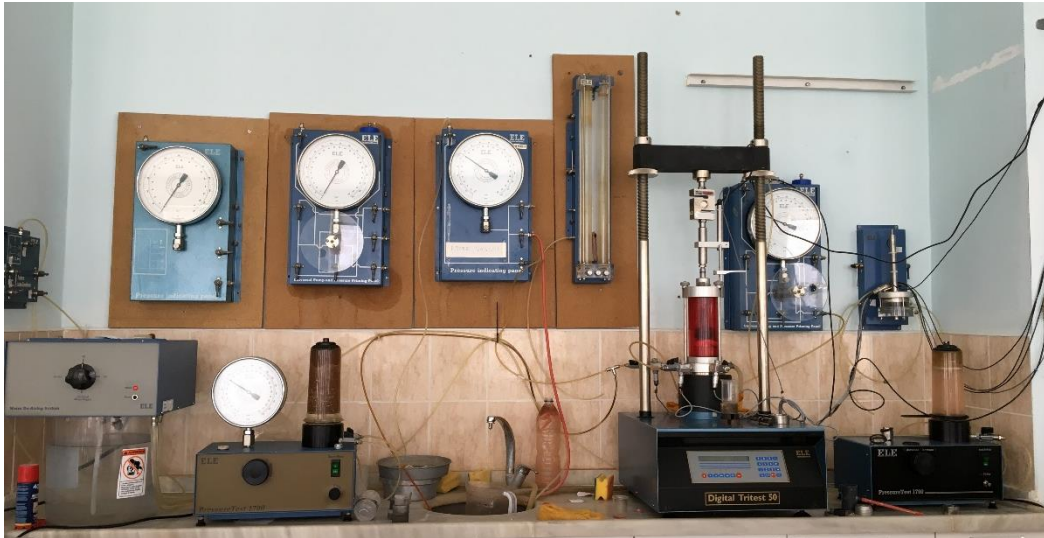
Yol üst yapılarında ki asfalttan ve istinat duvarı arkalarından yağmur suyunun geçmesi istenirken, temellerde ve tünellerde düşük geçirimlilik istenmektedir. Hazırlanan numunelerin dayanım parametreleri önemli olduğu gibi geçirimlilik katsayıları da önemlidir. Bu nedenle hazırlanan silindir numuneler geçirimlilik deneyine tabii tutulmuştur. Hazırlanan numunelerin geçirimliliği S/Ç, Ç/TA, GKA/TA gibi birçok parametreye bağlıdır. Deneyler ASTM D5084-10 standardına göre üç eksenli deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12). Deneyler için akış uzunluğu 2.5-3 cm, çapı 5 cm olan silindir numuneler hazırlanmıştır. Numuneler oda sıcaklığında (22-25°C) 24 saat boyunca suda bekletilerek doymun hale getirilmiştir (Şekil 3.13). Suya doymun hale gelen numuneler membranın içerisine yerleştirilip, 3 eksenli deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney düzeneği içerisine renkli su ile çevre basıncı verilmiştir. Bunun sebebi membranın yırtılması durumunda numunenin içinden geçen suyun, çevre basıncı suyu ile karışıp-karışmadığından emin olmaktır. Numunenin deney esnasında sabitlenebilmesi için üzerine belli bir miktar yük uygulanmıştır. Çevre basıncı, geri basınçtan yüksek tutularak deneyler yapılmıştır. Deney yapılan numunenin

geçirimlilik durumuna göre 400 ~ 600 kPa geri basınç; 500 ~700 kPa çevre basıncı uygulanmıştır. Her tasarım için 1 numune üzerinde geçirimlilik deneyi yapılmıştır. Numunelerden su çıkışı sabitleninceye kadar ölçüm alınmamıştır. Sabit su çıkışı olduktan sonra kronometre yardımı ile süre tutulmuş, bir kap yardımı ile de numuneden geçen su miktarı belirlenmiştir. Her numune üzerinde 2’şer defa okuma değeri alınmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak geçirimlilik katsayısı Denklem 3.3. ve 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k = \frac{Q * L}{t * A * \Delta h} \quad (3.3)$$

$$\Delta h = \frac{\sigma_2 * 1000}{p * g} \quad (3.4)$$

- k : geçirimlilik katsayısı (cm/s)
 Q : Numuneden çıkan su miktarı (cm³)
 L : Numunenin boyu (suyun kat ettiği mesafe) (cm)
 A : Numunenin en kesit alanı (suyun ilerleme yönüne dik kesit alanı) (cm²)
 t : Su çıkışının kaydedildiği süre, (s)
 σ_2 : Geri basınç (kPa)
 Δh : Numuneye etkiyen basınç yüksekliği (cm)



Şekil 3.12. Geçirimlilik deneyinin yapıldığı üç eksenli deney aleti



Şekil 3.13. Geçirimlilik deney numunelerinin suya doymun hale getirilmesi

7 ve 28 günlük kür süreleri için geçirimlilik deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler için 96 numune kullanılmıştır.

3.2.3. Donma çözölme deneylerinin yapılması

Belli oranlarla elde ettiğimiz numuneler, istinat duvarları, yol yapımı gibi mahallerde kullanıldığında donma etkisine karşı dayanım sağlamalıdır. Bu nedenle donma-çözölme deneyi yapılmıştır. Deney ASTM C-672-84 standardına göre yapılmıştır. Numuneler önce suya doymun hale getirilmiştir (Şekil 3.14). Suya doymun hale gelmiş numuneler dondurucu içerisine yerleştirilerek -20°C sıcaklıkta 12 saat süreyle dondurucuda bekletildikten sonra numuneler 20°C oda sıcaklığında 12 saat süreyle çözölmeye bırakılmıştır (Şekil 3.15). Donma-çözölme işlemi 25 defa tekrarlanmıştır. Donma-çözölme çevrimlerinin sonunda kompozit malzemeler üzerinde serbest basınç mukavemeti deneyleri uygulanmıştır.

7 günlük ve 28 günlük kür süreleri için donma çözölme sonrası serbest basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler için 192 numune kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Donma çözülme işlemi öncesi numuneleri suya doygun hale getirme işlemi



Şekil 3.15. Donma çözülme deneyinin yapıldığı dondurucu

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Sonuçları

4.1.1 Yoğunluk değişim oranları

Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan kompozit malzemelerin GKA/TA=%20, 40, 60 ve 100 oranları için, diğer parametrelerin değişimine göre her tasarımın yoğunluk oranı değişimi Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloda aynı S/Ç ve Ç/TA oranlarına sahip karışımlarda, kum oranı azaltılıp, GKA/TA oranı arttıkça yoğunlukların %13-32 arasında azaldığı görülmüştür. Genleştirilmiş kil agregasının yapısında boşluklar bulunmaktadır. Bu sayede hacim olarak büyük olmasına rağmen normal agregaya oranla daha hafiftir. Bundan dolayı da GKA kullanımıyla yoğunluklar azalmaktadır.

Üretilen kompozit malzemeler, hafif beton statüsünde değerlendirilmiştir. Hafif betonlarda yoğunluklara göre sınıflandırmalar yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından taşıyıcı betonlara kadar farklı tipteki betonlarda özellikle yoğunluk bakımından sınıflandırmada değişik kabuller vardır. Taşıyıcı hafif betonların yoğunluğu 1.45-1.8 g/cm³ arasında kalmaktadır (Neville, 1975). Genel olarak hafif betonların yoğunluklarının pratik değişim aralığı 0.3-1.8 g/cm³ aralığındadır. Bazı ülkelerin standartlarında hafif betonun yoğunluğunun 1.9 g/cm³’e kadar çıkmasına izin verilmektedir (Postacıoğlu ve Taşdemir, 1986).

Yoğunluklarına göre betonlar 3 gruba ayrılırlar: (Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2005):

- ✓ Yalıtım betonların yoğunlukları; 0.25-0.75 g/cm³
- ✓ Orta mukavemetli hafif betonların yoğunlukları; 1-1.4 g/cm³
- ✓ Taşıyıcı hafif betonların yoğunlukları; 1.5-2.0 g/cm³

Tablo 4.1’e bakıldığında S/Ç=0.3, Ç/TA=1.25 ve GKA/TA=0.20 olan numune 2.09 g/cm³ yoğunluğu ile hafif beton sınıfına girmemiştir. Bu numune dışındaki diğer numuneler hafif beton sınıfına girmektedir.

Tablo 4.1. S/Ç, Ç/TA, GKA/TA oranlarının değişim aralıkları için yoğunluk değişimleri

Deney No	S/Ç	Ç/TA	GKA/TA (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
1	0.3	1.25	20	2.09
2	0.3	1.25	40	1.94
3	0.3	1.25	60	1.86
4	0.3	1.25	100	1.65
5	0.3	1.6	20	1.98
6	0.3	1.6	40	1.83
7	0.3	1.6	60	1.79
8	0.3	1.6	100	1.71
9	0.3	2	20	1.96
10	0.3	2	40	1.85
11	0.3	2	60	1.75
12	0.3	2	100	1.59
13	0.4	1.25	20	1.95
14	0.4	1.25	40	1.82
15	0.4	1.25	60	1.62
16	0.4	1.25	100	1.48
17	0.4	1.6	20	1.92
18	0.4	1.6	40	1.83
19	0.4	1.6	60	1.73
20	0.4	1.6	100	1.57
21	0.4	2	20	1.93
22	0.4	2	40	1.82
23	0.4	2	60	1.77
24	0.4	2	100	1.61
25	0.5	1.25	20	1.94
26	0.5	1.25	40	1.85
27	0.5	1.25	60	1.64
28	0.5	1.25	100	1.41
29	0.5	1.6	20	1.89
30	0.5	1.6	40	1.83
31	0.5	1.6	60	1.72
32	0.5	1.6	100	1.52
33	0.5	2	20	1.86
34	0.5	2	40	1.78
35	0.5	2	60	1.67
36	0.5	2	100	1.57
37	0.6	1.25	20	1.86
38	0.6	1.25	40	1.71
39	0.6	1.25	60	1.63
40	0.6	1.25	100	1.45
41	0.6	1.6	20	1.83
42	0.6	1.6	40	1.73
43	0.6	1.6	60	1.69
44	0.6	1.6	100	1.55
45	0.6	2	20	1.87
46	0.6	2	40	1.82
47	0.6	2	60	1.72
48	0.6	2	100	1.58

4.1.2. Serbest basınç mukavemeti deney sonuçları

50×100 mm boyutlarındaki kompozit malzemeler 7 ve 28 gün kür işlemine tabi tutulmuştur. Her karışımdan 2'şer adet numune üzerinde serbest basınç deneyi yapılmıştır. Tablo 4.2' de farklı tasarımlar için 7 ve 28 günlük kür sürelerine ait serbest basınç dayanımı ortalamaları verilmiştir.

Hafif beton basınç dayanımlarına göre sınıflandırmada farklı kabuller mevcuttur. Mindess ve Young (1981) sınıflandırma için Şekil 4.1'deki çizelgeyi oluşturmuşlardır. Sarı ve Paşamehmetoğlu (2005), Şişman ve ark. (2008) doğal veya yapay agregalardan üretilen hafif betonları dayanım bakımından üç sınıfa ayırmaktadırlar:

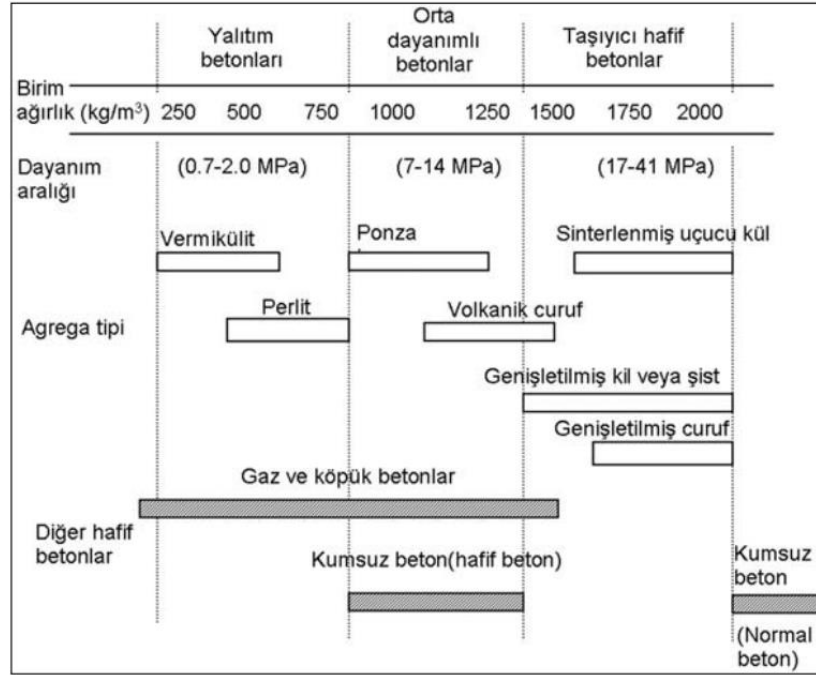
- ✓ Yalıtım betonlarının basınç dayanımları; 0,7-2 MPa
- ✓ Orta mukavemetli hafif betonların basınç dayanımları; 2-14 MPa
- ✓ Taşıyıcı hafif betonların basınç dayanımları; 17-41 MPa

Tablo 4.2, Şekil 4.1'e göre yorumlandığında oluşturduğumuz numunelerde yalıtım betonu mevcut değildir. Şekil 4.1 göz önüne alındığında S/Ç oranı 0.3, GKA/TA oranı 1 olan numuneler, S/Ç oranı 0.6 olan numuneler, S/Ç oranı 0.5 ve 0.6'da GKA/TA oranı 0,6 ve 1 olan numuneler, orta dayanımlı beton sınıfına girmektedir. S/Ç oranı 0.3, GKA/TA oranı 0.2, 0.4, 0.6 olan numuneler, S/Ç oranı 0.5'te GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numuneler, S/Ç oranı 0.6 ve Ç/TA oranı 1.25 olan numunelerin GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numuneler taşıyıcı hafif beton sınıfına girmektedir.

Tablo 4.2'nin geneline bakıldığında S/Ç oranı 0.3 ve 0.5 olan numunelerin basınç dayanımı diğerlerine oranlara yüksek sonuçlar vermiştir. GKA/TA =1 olan numuneler diğerlerine göre düşük dayanım göstermiştir. GKA/TA=0.2 olan numuneler en yüksek basınç dayanımına sahip numunelerdir. GKA oranı arttıkça dayanımda %12-60 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

S/Ç oranı 0.3 olan numunelerde herhangi bir katkı maddesi kullanılmamış ve S/Ç oranı düşük olduğu için işlenebilirlik özelliği iyi değildir. Bu sebeple S/Ç=0.3 olan numuneler hazırlanırken 3 tabaka halinde sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Böylelikle daha az su kullanılarak sert bir beton elde edilmiştir. S/Ç oranı 0.4 ve üzerinde olan karışımlar işlenebilirlik özelliğine sahiptir. Numuneler 3 tabaka halinde şişlenerek oluşturulmuştur. S/Ç oranı 0.3, 0.4 ve 0.5 olan karışımlarda, GKA/TA oranı %20 olan karışımlar yüksek serbest basınç dayanımına sahiptir. S/Ç = 0.5 olan karışımlar yüksek

basınç dayanımına sahip olmasının yanı sıra işlenebilirlik özelliğine sahiptir. $S/\bar{C} = 0.6$ olan karışımlarda basınç dayanımı genel olarak düşüktür.



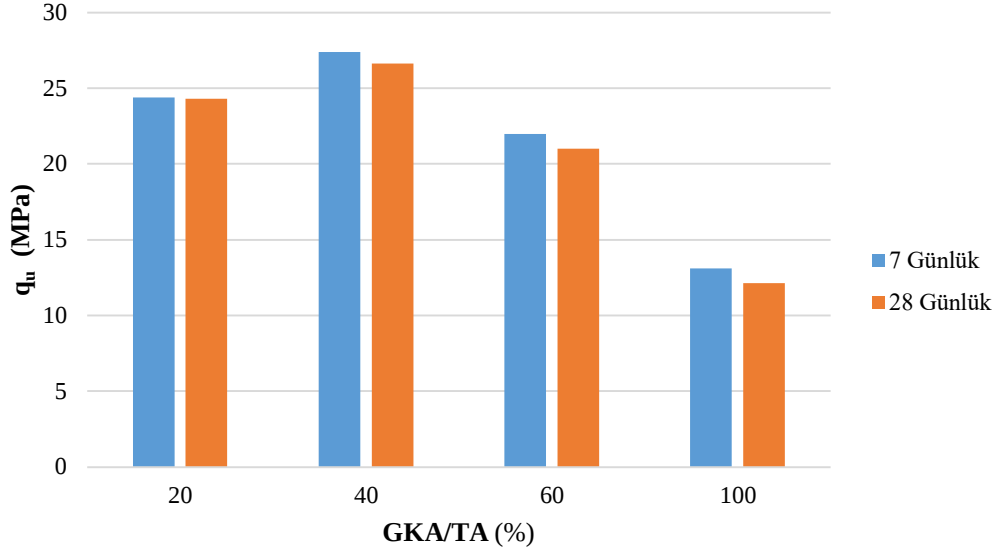
Şekil 4.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Mindess ve Young, 1981)

$S/\bar{C}=0.3$, $\bar{C}/TA=1.25$ olan numunelerde GKA/TA oranı 0.4 olan numuneler diğerlerine göre daha yüksek dayanım gösterirken GKA/TA oranı 1 olan numuneler düşük dayanım göstermiştir (Şekil 4.2). GKA/TA oranı 0.2, 0.4, 0.6 olan numunelerin basınç dayanımı 20 MPa ve üzeri değerlerde iken GKA/TA oranı 1 olan numunede 15 MPa'nın altında değerlere sahiptir. Şekil 4.2'nin geneline bakıldığında $S/\bar{C}=0.3$ ve $\bar{C}/TA=1.25$ olan numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

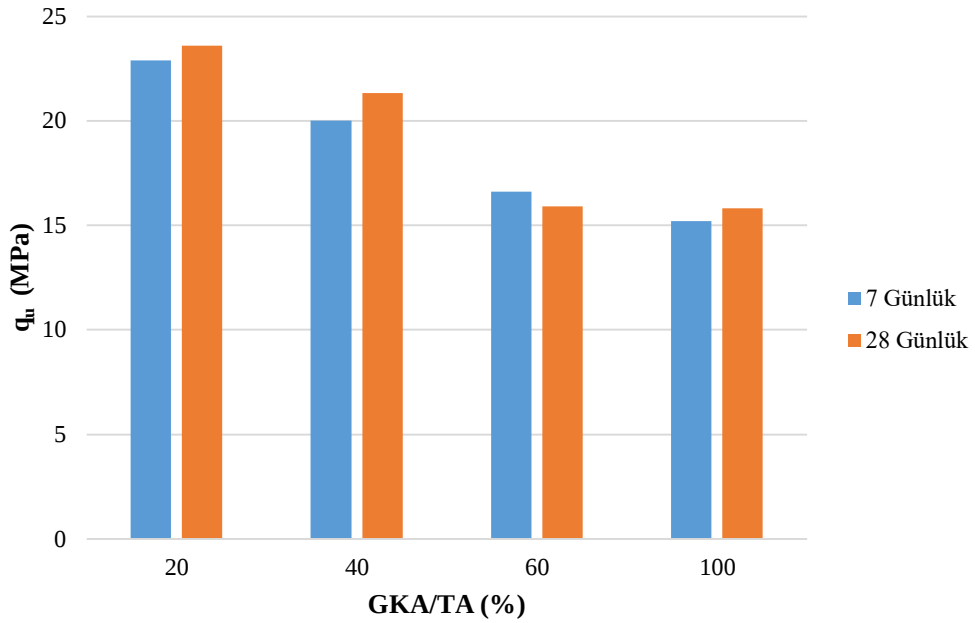
$S/\bar{C}=0.3$, $\bar{C}/TA=1.6$ olan numunelerde Şekil 4.3'ün geneline bakıldığında GKA/TA oranı 0.6 olan dışında diğer numunelerde 28 günlük basınç dayanımlarının 7 günlük basınç dayanımlarından yüksek olduğu görülmüştür. GKA/TA oranı 0.6 ve 1 olan numuneler yaklaşık 15 MPa dayanıma sahip iken GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numuneler 20 MPa üzerinde dayanımlara sahiptir. Aynı karışım oranlarına sahip numunelerde 7 ve 28 günlük basınç dayanımları arasında belirgin farklılıklar görülmemiştir (Şekil 4.3).

Tablo 4.2. Serbest basınç mukavemeti deneylerinde elde edilen dayanım değerleri

Deney No	S/Ç	Ç/TA	GKA/TA (%)	7 Günlük Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Serbest Basınç Dayanımı (MPa)
1	0.3	1.25	20	24.4	24.3
2	0.3	1.25	40	27.4	26.6
3	0.3	1.25	60	22	21.0
4	0.3	1.25	100	13.1	12.1
5	0.3	1.6	20	22.9	23.6
6	0.3	1.6	40	20	21.3
7	0.3	1.6	60	16.6	15.9
8	0.3	1.6	100	15.2	15.8
9	0.3	2	20	16.1	20.1
10	0.3	2	40	16.5	16.0
11	0.3	2	60	16.4	17.0
12	0.3	2	100	9.8	12.7
13	0.4	1.25	20	14.9	15.6
14	0.4	1.25	40	12.3	17.1
15	0.4	1.25	60	5.5	13.1
16	0.4	1.25	100	10.7	9.4
17	0.4	1.6	20	17.7	22.1
18	0.4	1.6	40	11.5	19.9
19	0.4	1.6	60	9.4	10.8
20	0.4	1.6	100	9.9	9.1
21	0.4	2	20	15.7	17.2
22	0.4	2	40	6	7.9
23	0.4	2	60	9.3	12.7
24	0.4	2	100	9.8	15.1
25	0.5	1.25	20	23.6	24.0
26	0.5	1.25	40	11.1	17.0
27	0.5	1.25	60	10.2	10.3
28	0.5	1.25	100	7.1	11.7
29	0.5	1.6	20	19.5	28.1
30	0.5	1.6	40	17	17.4
31	0.5	1.6	60	14	15.2
32	0.5	1.6	100	11	9.3
33	0.5	2	20	15.4	20.6
34	0.5	2	40	11.5	16.4
35	0.5	2	60	10.1	22.3
36	0.5	2	100	11.2	11.4
37	0.6	1.25	20	11	16.0
38	0.6	1.25	40	9.3	14.5
39	0.6	1.25	60	9.5	10.0
40	0.6	1.25	100	6	6.0
41	0.6	1.6	20	7.6	10.8
42	0.6	1.6	40	6.1	8.9
43	0.6	1.6	60	7.9	7.6
44	0.6	1.6	100	5.8	5.4
45	0.6	2	20	11.5	11.6
46	0.6	2	40	9.9	12.1
47	0.6	2	60	12.7	11.8
48	0.6	2	100	8.5	8.9

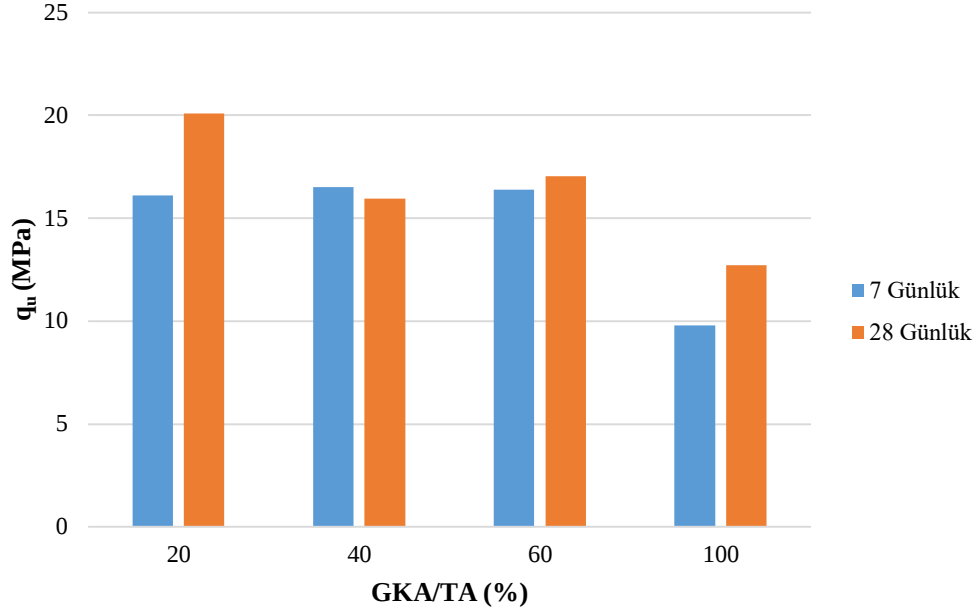


Şekil 4.2. S/C=0.3, C/TA=1.25 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri

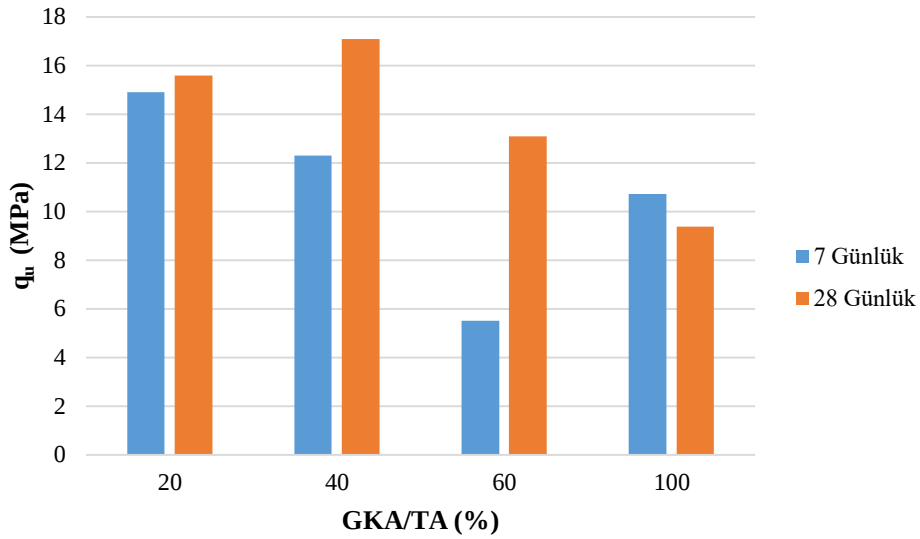


Şekil 4.3. S/C=0.3, C/TA=1.6 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri

S/C=0,3, C/TA=2 olan numunelerde GKA/TA oranı 1 olan numuneler diğerlerine göre daha düşük dayanım göstermiştir. GKA/TA oranı 0.4 ve 0.6 olan numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları birbirine yakın değerlerde iken GKA/TA oranı 0,2 ve 1 olan numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında 3-4 MPa fark mevcuttur. Şekil 4.4'ün geneline bakıldığında numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının 7 günlük dayanımlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.



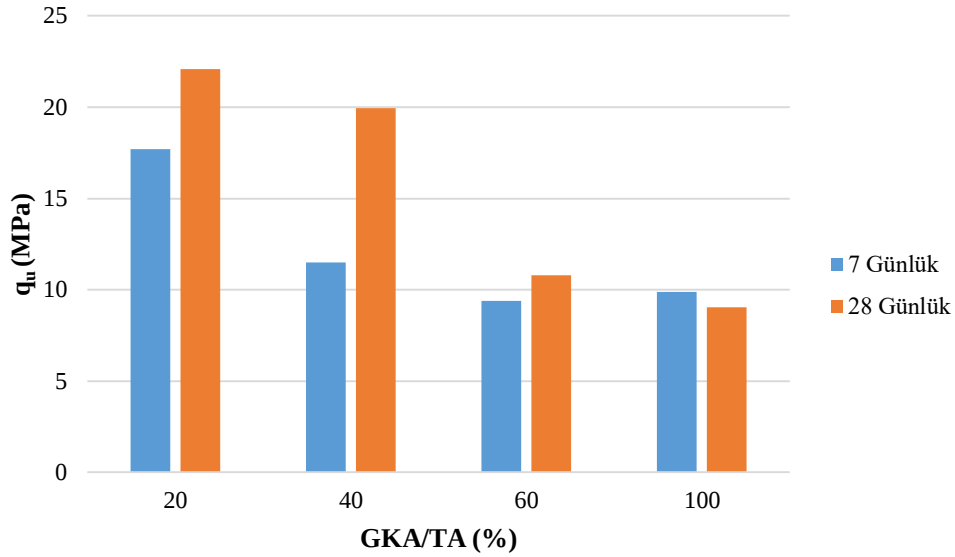
Şekil 4.4. $S/\Ç=0.3$, $\Ç/TA=2$ olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri



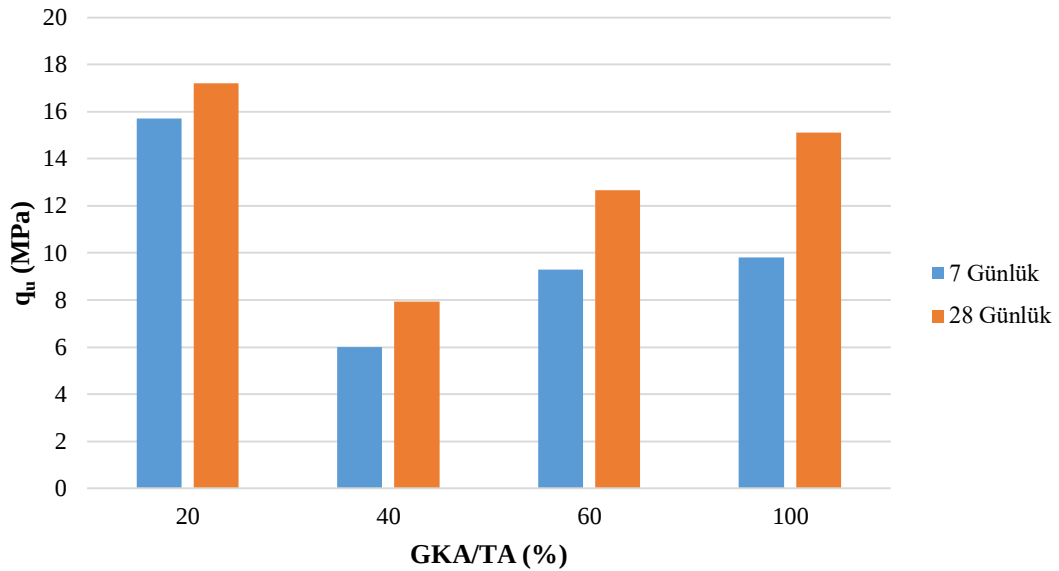
Şekil 4.5. $S/\Ç=0.4$, $\Ç/TA=1.25$ olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri

$S/\Ç=0.4$, $\Ç/TA=1.25$ olan numunelerde 7 günlükler için en yüksek basınç dayanımı GKA/TA oranı 0.2 olan numunelerde, 28 günlükler için ise en yüksek basınç dayanımı GKA/TA oranı 0.4 olan numunelerde elde edilmiştir. GKA/TA oranı 0.2 ve 1 olan numunelerin dayanımları 7 ve 28 günlükler için birbirine yakınken; GKA/TA oranı 0.4 ve 0.6 olan numunelerde 7 ve 28 günlük numunelerin dayanımları arasında 4-8 MPa arasında farklar mevcuttur (Şekil 4.5).

S/Ç=0.4, Ç/TA=1.6 olan numunelerde GKA/TA oranı 1 olan numuneler hariç diğer numunelerde 28 günlük basınç dayanımları yüksek çıkmıştır. GKA/TA oranı 0.6 ve 1 olan numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları yakın değerlerde iken GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numunelerde 4-8 MPa arasında farklar mevcuttur. Tablo geneline bakıldığında GKA/TA oranı arttıkça basınç dayanımında azalmalar görülmüştür (Şekil 4.6).



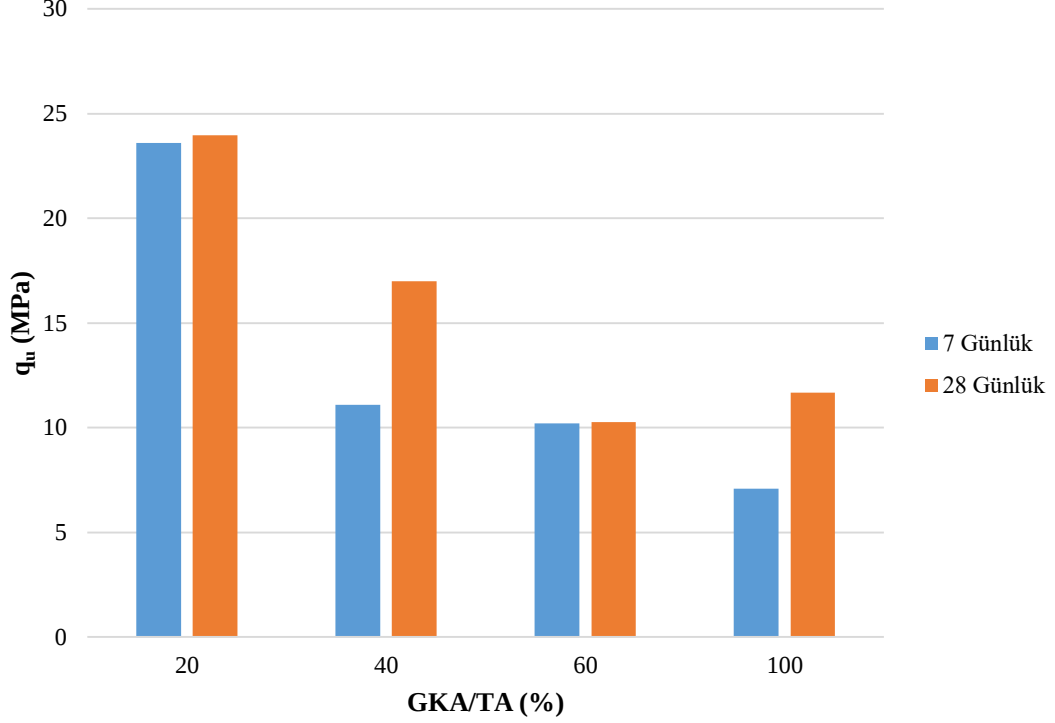
Şekil 4.6. S/Ç=0.4, Ç/TA=1.6 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri



Şekil 4.7. S/Ç=0.4, Ç/TA=2 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri

S/Ç=0.4, Ç/TA=2 olan numunelerde 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında en yüksek değerler GKA/TA oranı 0.2 olan numunelerden, en düşük basınç dayanımları ise GKA/TA oranı 0.4 olan numunelerden elde edilmiştir. GKA/TA oranı 0.4'den sonra

GKA/TA oranı arttıkça basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.7'nin geneline bakıldığında 28 günlük basınç dayanımlarının 7 günlük basınç dayanımlarına oranla 2-5 MPa daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. S/Ç=0.5, Ç/TA=1.25 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri

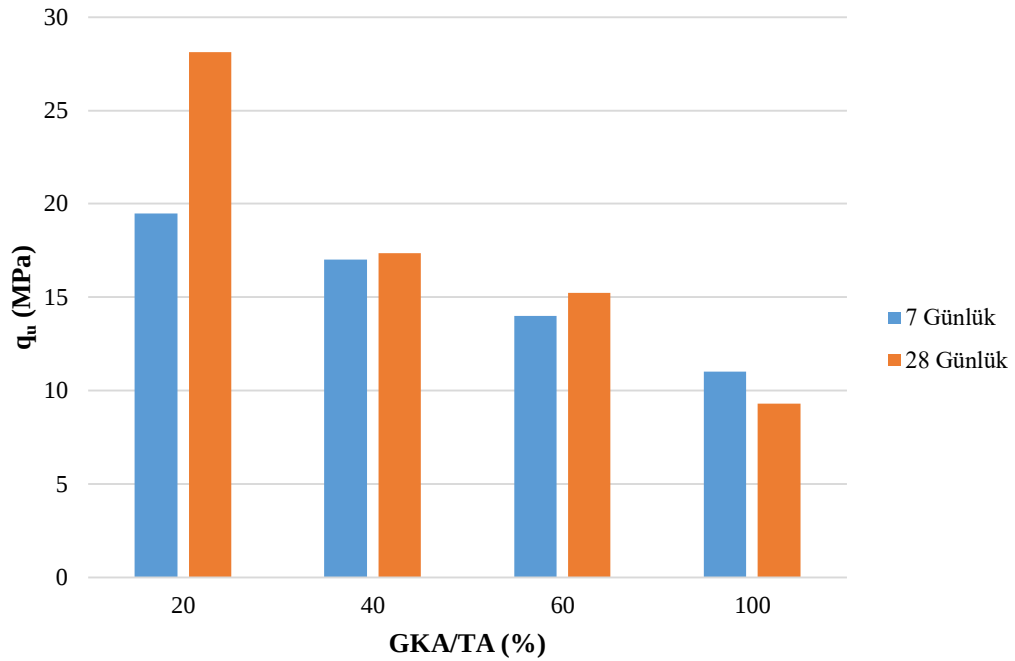
S/Ç=0.5, Ç/TA=1.25 olan numunelerde 28 günlük basınç dayanımlarının 7 günlük basınç dayanımlarına kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. GKA/TA oranı 0.2 ve 0.6 olan numunelerde 7 ve 28 günlük basınç dayanımları birbirine yakın değerlerdedir. GKA/TA oranı 0.4 ve 1 olan numunelerde 5-6 MPa arasında farklar gözlemlenmiştir. 7 günlük kür işlemine tabi tutulmuş numunelerde GKA/TA oranı arttıkça basınç dayanımında azalmalar olmuştur. 28 günlük numunelerde ise GKA/TA oranı 1 olan numune GKA/TA oranı 0.6 olan numuneden daha yüksek dayanım göstermiştir (Şekil 4.8).

S/Ç=0.5, Ç/TA=1.6 olan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. En yüksek basınç dayanım değeri 28 MPa ile GKA/TA oranı 0.2 olan numunelerden elde edilmiştir. GKA/TA oranı 0.2 olan numunelerde 7 ve 28 günlük dayanımlar arasında belirgin farklar görülürken. GKA/TA oranı 0.4, 0.6 ve 1 olan numunelerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir (Şekil 4.9).

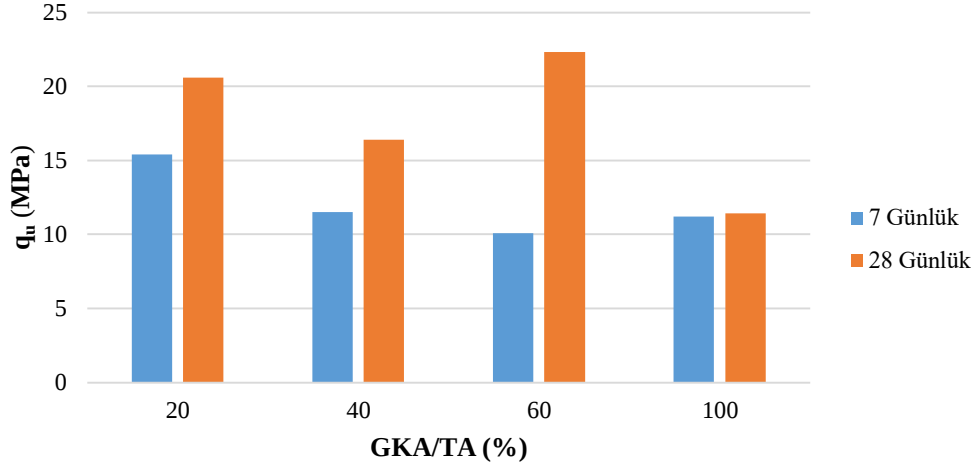
$S/\bar{C}=0.5$, $\bar{C}/TA=2$ olan numunelerde 28 günlük basınç dayanımlarında 7 günlük basınç dayanımlarına göre 4-10 MPa değerleri arasında yüksek değerler elde edilmiştir. 7 günlük numunelerde en yüksek basınç dayanımı, GKA/TA oranı 0.2 olan numunelerden, 28 günlük basınç dayanımında ise GKA/TA oranı 0.6 olan numunelerden elde edilmiştir (Şekil 4.10).

Şekil 4.11'deki grafiğe bakıldığında $S/\bar{C}=0.6$, $\bar{C}/TA=1.25$ olan numunelerde genel olarak GKA/TA oranı arttıkça basınç dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. En yüksek basınç dayanımı GKA/TA oranı 0.2 olan numunelerden elde edilirken, en düşük basınç dayanımı GKA/TA oranı 1 olan numunelerden elde edilmiştir. GKA/TA oranı 0.6 ve 1 olan numunelerde 7 ve 28 günlük basınç dayanımları birbirine yakın değerlerde iken GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numunelerde 7 ve 28 günlük dayanımlar arasında 5-6 MPa arasında farklar mevcuttur.

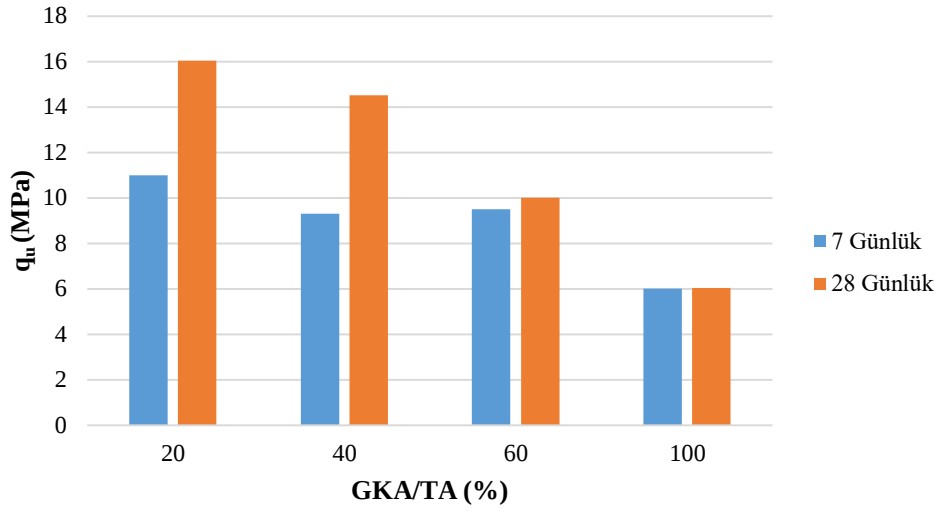
Şekil 4.12'de görüldüğü gibi $S/\bar{C}=0.6$, $\bar{C}/TA=1.6$ olan numunelerde genel olarak serbest basınç mukavemetleri 11 MPa'nın altındadır. GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numunelerde 28 günlük basınç dayanımları 7 günlüğe göre yaklaşık 3 MPa fazla iken, GKA/TA oranı 0.6 ve 1 olan numunelerde birbirine yakın değerlerdedir.



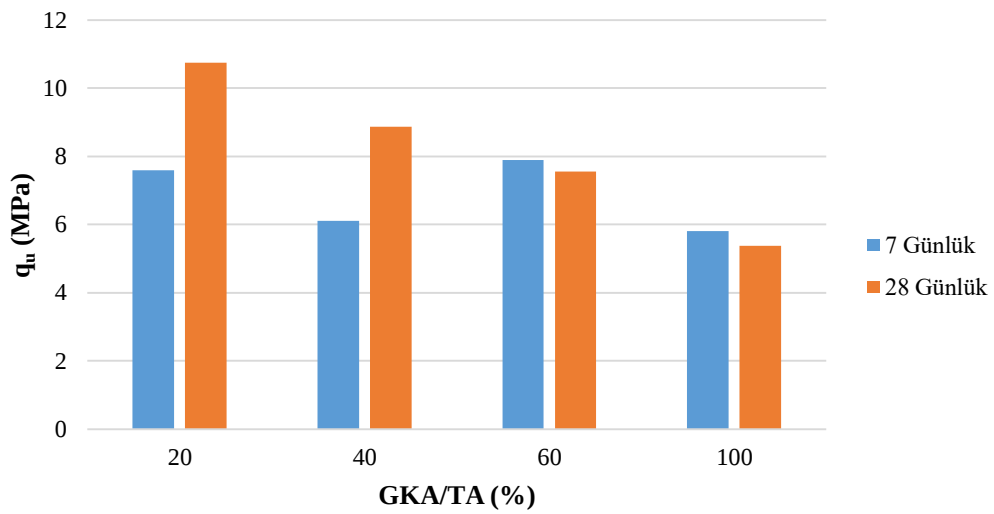
Şekil 4.9. $S/\bar{C}=0.5$, $\bar{C}/TA=1.6$ olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri



Şekil 4.10. S/Ç=0.5, Ç/TA=2 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri



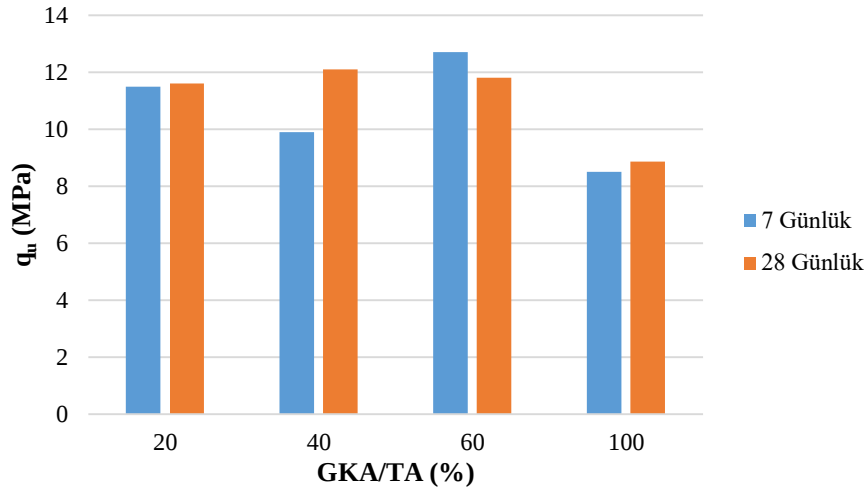
Şekil 4.11. S/Ç=0.6, Ç/TA=1.25 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri



Şekil 4.12. S/Ç=0.6, Ç/TA=1.6 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri

S/Ç=0.6, Ç/TA=2 olan numunelerde, tüm GKA/TA oranları için 13 MPa'ın altında basınç dayanımları elde edilmiştir (Şekil 4.13.). En yüksek dayanım GKA/TA oranının 0.6 olduğu numunelerden, en düşük dayanım ise GKA/TA oranının 1 olduğu numunelerden elde edilmiştir. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları birbirine yakın değerlerdedir.

Numune içerisinde bulunan genişletilmiş kil agregalarının boyutları ve genişletilmiş kil agregasının numune içerisindeki dağılımı dayanımı etkilemektedir. GKA/TA oranı yüksek olan numunelerin daha düşük dayanım sergileyeceği beklenirken grafiklerde farklı durumlar da gözlemlenmiştir. Bunun sebebi taze beton homojen bir karışım olmadığı için numuneler hazırlanırken de kalıplara homojen bir şekilde dağılım yapılamamıştır (Şekil 4.14). Genel olarak GKA boyutunun büyük olduğu numunelerde, dayanımın diğer numunelere oranla düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13. S/Ç=0.6, Ç/TA=2 olan numunelerin 7 ve 28 günlük serbest basınç mukavemetleri



Şekil 4.14. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonrası numuneler

4.1.3. Geçirimsizlik deneyi sonuçları

Laboratuvar ortamında hazırlanan geçirimsizlik numuneleri 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda geçirimsizlik deneyine tabi tutulmuştur. Geçirimsizlik deney sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

Geçirimsizlik deneyleri sonunda belirlenen geçirimsizlik katsayısı değerleri (k) incelendiğinde 7 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte artma meydana gelirken, 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar meydana gelmiştir. Tablo 4.3'ün geneline bakıldığında S/Ç oranı arttıkça geçirimsizlikte değişimler görülmüştür. S/Ç oranı 0.3 ve 0.6 olan numunelerin geçirimsizlik katsayısı diğer oranlara göre daha yüksektir. Bu duruma istisna olarak S/Ç oranı 0.6 olan numunelerin 28 günlük kür sonrası geçirimsizliklerinin düşük olduğu görülmüştür. Ç/TA ve S/Ç oranlarının yüksek olmasından dolayı GKA'ların, akışkanlığı yüksek çimento şerbetini emmesi sonucu olduğu düşünülmektedir.

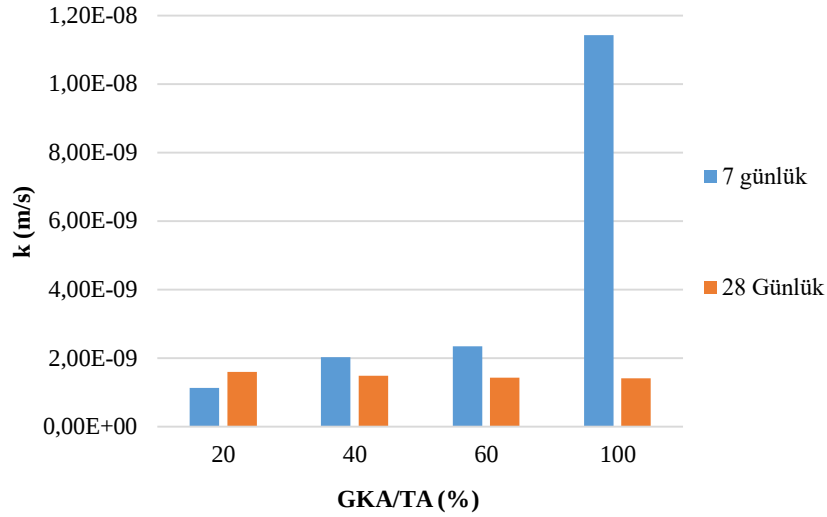
S/Ç oranı 0.3 olan numunelerde Ç/TA oranındaki değişimlerin geçirimsizlik katsayısına diğer S/Ç oranlarına kıyasla etkisi az olmuştur. S/Ç oranı 0.4 ve 0.5 olan numunelerde Ç/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte artmalar meydana gelmiştir. S/Ç oranı 0.6 olan numunelerde ise Ç/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar olduğu görülmüştür. Geçirimsizlik katsayısının en düşük değerleri S/Ç oranı 0.4 olan numunelerde elde edilmiştir.

S/Ç oranı 0.3, Ç/TA oranı 1.25 olan numunelerin kür süresine göre elde edilen k katsayısı değerleri Şekil 4.15' te verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlik artmıştır. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar görülmüştür. 28 günlük geçirimsizlik katsayısı genel olarak 7 günlük geçirimsizlik katsayısına göre daha düşüktür.

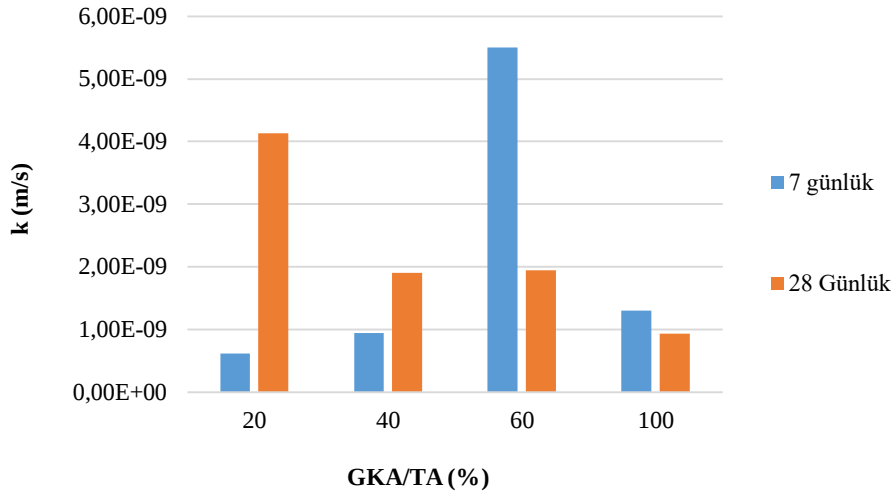
S/Ç oranı 0.3, Ç/TA oranı 1,6 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.16' te verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde geçirimsizliğin en yüksek olduğu numune GKA/TA=0.6, en düşük olan numune ise GKA/TA=0.2 olan numunedir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar görülmüştür. GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numunelerin 7 günlük geçirimsizlik katsayıları 28 günlük geçirimsizlik katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.3. Geçirimlilik deneyleri sonucu elde edilen geçirimlilik katsayısı (k) değerleri

Deney No	S/Ç	Ç/TA	GKA/TA (%)	7 günlük Geçirimlilik katsayısı (m/s)	28 günlük Geçirimlilik katsayısı (m/s)
1	0.3	1.25	20	1.13E-09	1.60E-09
2	0.3	1.25	40	2.03E-09	1.48E-09
3	0.3	1.25	60	2.34E-09	1.43E-09
4	0.3	1.25	100	1.14E-08	1.42E-09
5	0.3	1.6	20	6.13E-10	4.13E-09
6	0.3	1.6	40	9.42E-10	1.90E-09
7	0.3	1.6	60	5.50E-09	1.94E-09
8	0.3	1.6	100	1.30E-09	9.30E-10
9	0.3	2	20	4.96E-10	2.59E-09
10	0.3	2	40	1.01E-09	2.17E-09
11	0.3	2	60	1.30E-09	1.78E-09
12	0.3	2	100	4.42E-09	7.04E-10
13	0.4	1.25	20	2.45E-10	1.05E-09
14	0.4	1.25	40	3.98E-10	7.49E-10
15	0.4	1.25	60	2.81E-09	5.84E-10
16	0.4	1.25	100	4.19E-09	5.69E-10
17	0.4	1.6	20	9.32E-10	1.00E-10
18	0.4	1.6	40	8.79E-10	9.39E-11
19	0.4	1.6	60	2.47E-10	8.72E-11
20	0.4	1.6	100	9.22E-11	1.06E-10
21	0.4	2	20	3.79E-11	4.38E-09
22	0.4	2	40	9.81E-11	2.71E-09
23	0.4	2	60	1.24E-10	1.89E-09
24	0.4	2	100	4.36E-10	7.09E-10
25	0.5	1.25	20	3.40E-09	2.74E-10
26	0.5	1.25	40	3.78E-09	2.65E-10
27	0.5	1.25	60	4.03E-09	2.33E-10
28	0.5	1.25	100	4.90E-09	2.02E-10
29	0.5	1.6	20	2.52E-09	1.41E-09
30	0.5	1.6	40	3.26E-09	1.40E-09
31	0.5	1.6	60	3.96E-09	1.23E-09
32	0.5	1.6	100	4.90E-09	7.95E-10
33	0.5	2	20	1.55E-10	5.28E-09
34	0.5	2	40	3.02E-10	4.95E-09
35	0.5	2	60	3.10E-10	4.73E-09
36	0.5	2	100	6.34E-10	4.12E-09
37	0.6	1.25	20	1.01E-09	2.93E-09
38	0.6	1.25	40	1.10E-09	2.69E-09
39	0.6	1.25	60	2.00E-09	2.10E-09
40	0.6	1.25	100	2.57E-09	1.83E-09
41	0.6	1.6	20	4.97E-09	1.38E-09
42	0.6	1.6	40	9.13E-09	1.77E-09
43	0.6	1.6	60	1.20E-08	2.88E-09
44	0.6	1.6	100	1.46E-08	6.28E-09
45	0.6	2	20	4.13E-09	1.81E-10
46	0.6	2	40	6.71E-09	1.69E-10
47	0.6	2	60	9.81E-09	2.16E-10
48	0.6	2	100	1.58E-08	1.93E-10

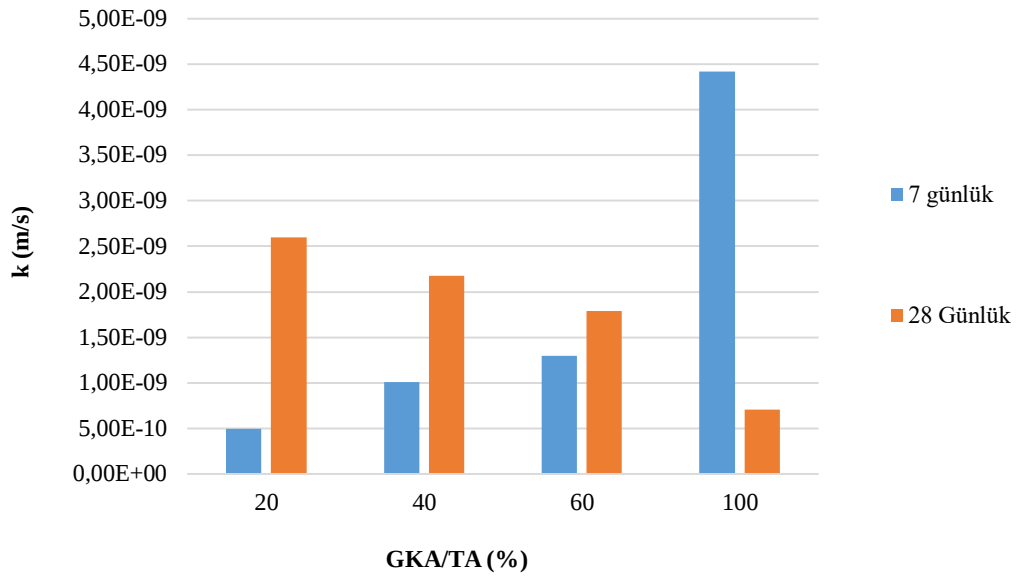


Şekil 4.15. S/Ç=0.3, Ç/TA=1.25 olan numunelerin geçirimsizlik katsayıları



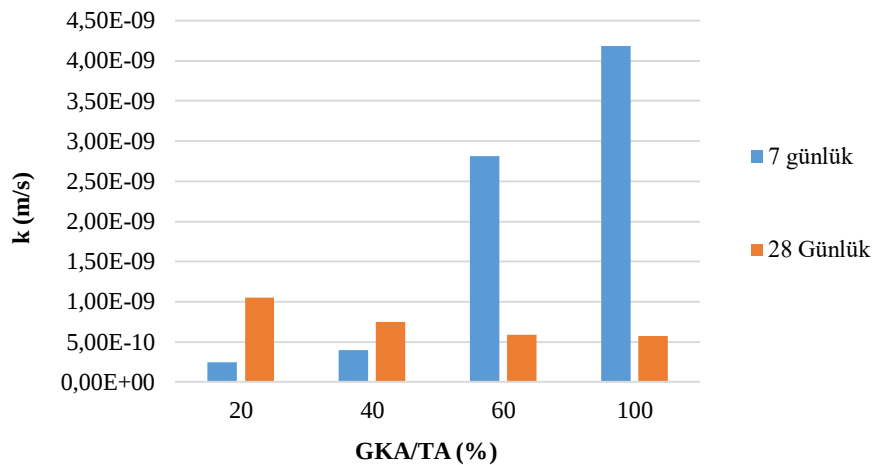
Şekil 4.16. S/Ç=0.3 - Ç/TA=1.6 olan numunelerin geçirimsizlik katsayıları

S/Ç oranı 0.3, Ç/TA oranı 2 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.17' te verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde geçirimsizliğin en yüksek olduğu numune GKA/TA=1, en düşük olan numune ise GKA/TA=0.2 olan numunedir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar görülmüştür. GKA/TA oranı 0.2, 0.4 ve 0.6 olan numunelerin 7 günlük geçirimsizlik katsayılarının 28 günlük geçirimsizlik katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17. S/Ç=0.3, Ç/TA=2 olan numunelerin geçirimsizlik katsayıları

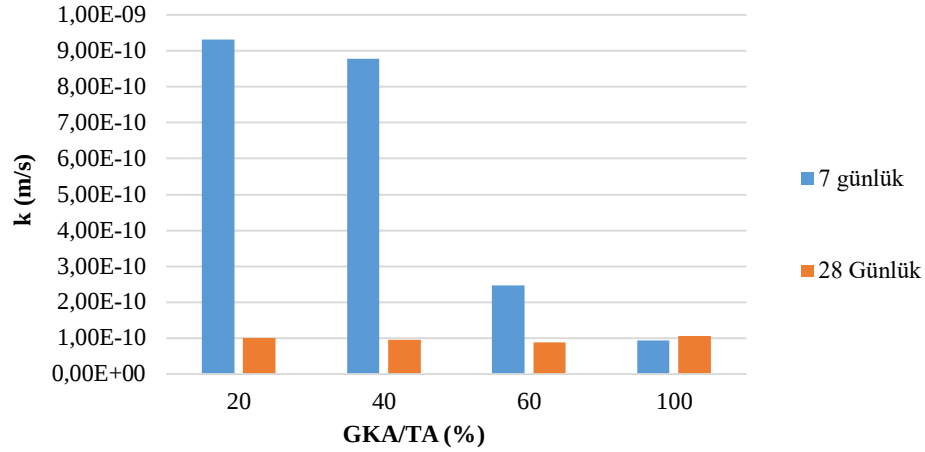
S/Ç oranı 0.4, Ç/TA oranı 1.25 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.18’de verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde geçirimsizliğin en yüksek olduğu numune GKA/TA=1, en düşük olan numune ise GKA/TA=0.2 olan numunedir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar görülmüştür. GKA/TA oranı 0.2 ve 0.4 olan numunelerin 7 günlük geçirimsizlik katsayıları 28 günlük geçirimsizlik katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.18. S/Ç=0.4, Ç/TA=1.25 olan numunelerin geçirimsizlik katsayıları

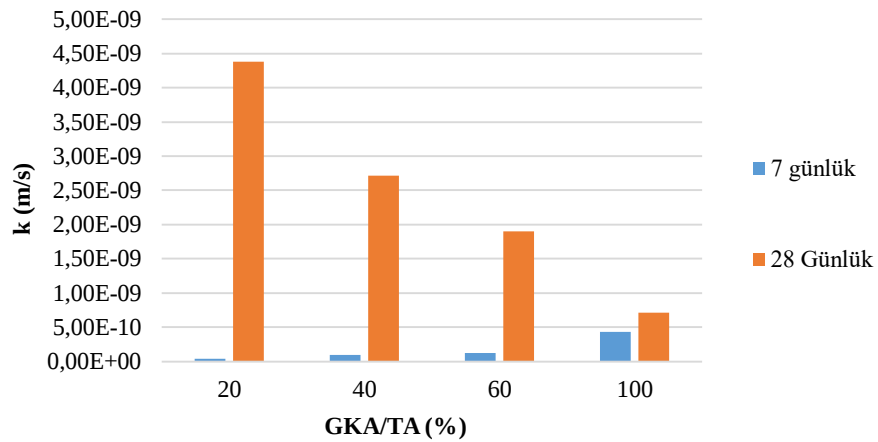
S/Ç oranı 0.4, Ç/TA oranı 1.6 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.19’da verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde

geçirimliliğin en yüksek olduğu numune $GKA/TA=0.2$, en düşük olan numune ise $GKA/TA=1$ olan numunedir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde geçirimlilik katsayıları birbirine yakın ve 7 günlük kür edilen numunelere oranla daha düşüktür.



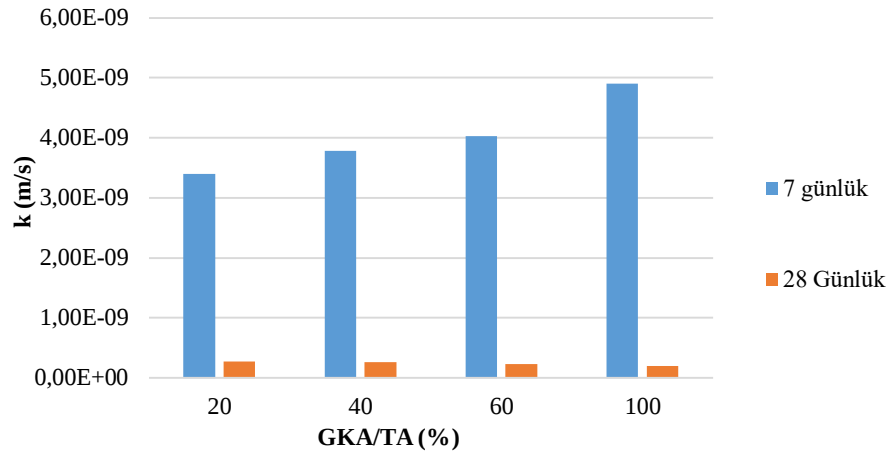
Şekil 4.19. S/Ç=0.4, Ç/TA=1.6 olan numunelerin geçirimlilik katsayıları

S/Ç oranı 0.4, Ç/TA oranı 2 olan numunelerin kür süresine göre geçirimlilik katsayısı Şekil 4.20’ de verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimlilik katsayısında artmalar meydana gelmiştir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimlilikte azalmalar görülmüştür. 7 günlük geçirimlilik katsayılarının 28 günlük geçirimlilik katsayılarına göre çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



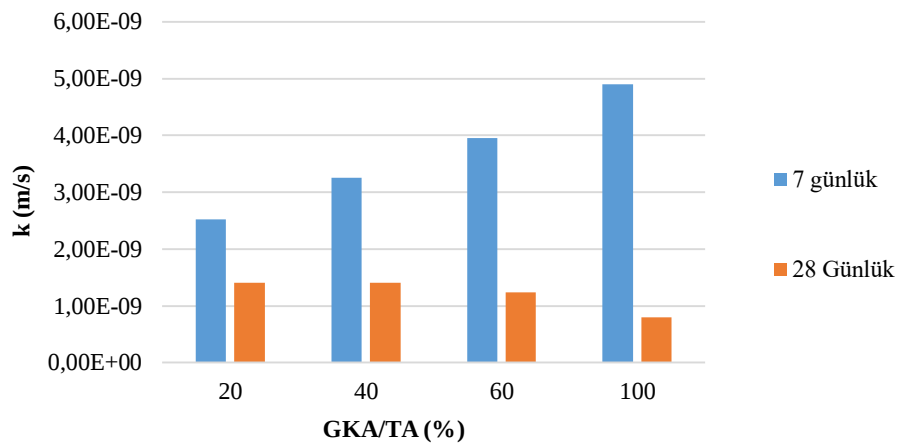
Şekil 4.20. S/Ç=0.4, Ç/TA=2 olan numunelerin geçirimlilik katsayıları

S/Ç oranı 0.5, Ç/TA oranı 1.25 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsilik katsayısı Şekil 4.21’de verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsilik katsayısında artmalar meydana gelmiştir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsilikte azalmalar görülmüştür. 28 günlük geçirimsilik katsayılarının 7 günlük geçirimsilik katsayılarına göre çok düşük olduğu gözlemlenmiştir.



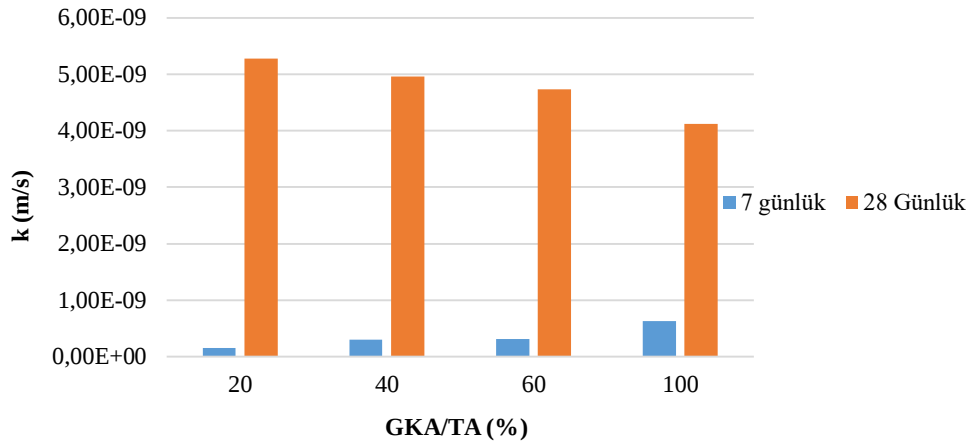
Şekil 4.21. S/Ç=0,5, Ç/TA=1,25 olan numunelerin geçirimsilik katsayıları

S/Ç oranı 0.5, Ç/TA oranı 1.6 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsilik katsayısı Şekil 4.22’ de verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsilik katsayısında artmalar meydana gelmiştir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsilikte azalmalar görülmüştür. 28 günlük geçirimsilik katsayılarının 7 günlük geçirimsilik katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22. S/Ç=0,5, Ç/TA=1,6 olan numunelerin geçirimsilik katsayıları

S/Ç oranı 0.5, Ç/TA oranı 2 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.23’de verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlik katsayısında artmalar meydana gelmiştir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar görülmüştür. 7 günlük geçirimsizlik katsayılarının 28 günlük geçirimsizlik katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



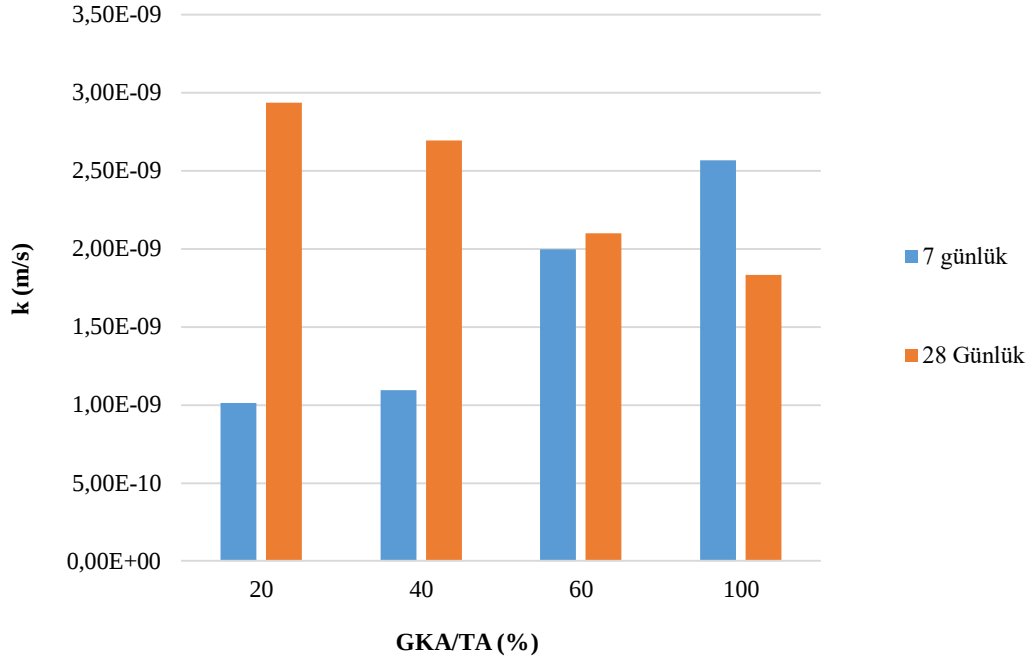
Şekil 4.23. S/Ç=0.5, Ç/TA=2 olan numunelerin geçirimsizlik katsayıları

S/Ç oranı 0.5, Ç/TA oranı 2 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.24’ de verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde geçirimsizliğin en yüksek olduğu numune GKA/TA=1, en düşük olan numune ise GKA/TA=0.2 olan numunedir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar görülmüştür. GKA/TA oranı 0.2, 0.4 ve 0.6 olan numunelerin 7 günlük geçirimsizlik katsayılarının 28 günlük geçirimsizlik katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. GKA/TA=1 olan numunelerde 28 günlük geçirimsizlik katsayısı daha düşük çıkmıştır.

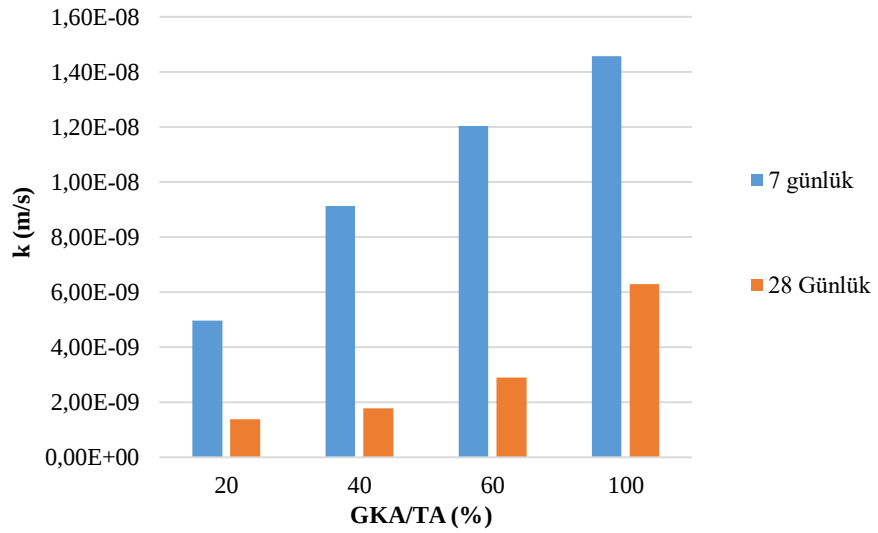
S/Ç oranı 0.6, Ç/TA oranı 1.6 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.25’ te verilmiştir. Grafiğe göre 7 gün kür edilen numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlik katsayısında artmalar meydana gelmiştir. Fakat 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar görülmüştür. 28 günlük geçirimsizlik katsayılarının 7 günlük geçirimsizlik katsayılarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

S/Ç oranı 0.6, Ç/TA oranı 2 olan numunelerin kür süresine göre geçirimsizlik katsayısı Şekil 4.26’ te verilmiştir. 7 gün kür edilen numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlik katsayısında artmalar meydana gelmiştir. Fakat 28 gün kür

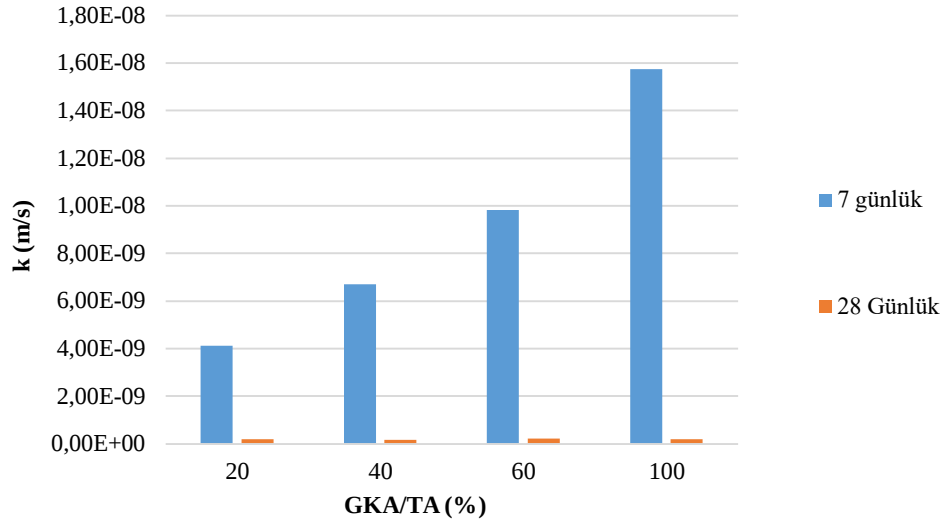
işlemine tabi tutulan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsilikte azalmalar görülmüştür. 28 günlük geçirimsilik katsayıları 7 günlük geçirimsilik katsayılarına göre çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.24. S/Ç=0.6, Ç/TA=1.25 olan numunelerin geçirimsilik katsayıları



Şekil 4.25. S/Ç=0.6, Ç/TA=1.6 olan numunelerin geçirimsilik katsayıları



Şekil 4.26. S/Ç=0.6, Ç/TA=2 olan numunelerin geçirimsizlik katsayıları

Deneysel çalışmalar kapsamında geçirimsizlik katsayısı değerlerinin GKA/TA oranı arttıkça artması beklenirken; 28 günlük kür sonrası geçirimsizlik deneyinde geçirimsizlik katsayısında azalmalar görülmüştür. GKA/TA oranı arttıkça, kompozit malzemelerin yoğunluğu azalmaktadır ve hacim olarak GKA oranı artmaktadır. Geçirimsizliğin minimum olmasını sağlayacak olan S/Ç oranında hazırlanan numunelerde GKA'nın yüzeyi çimento şerbeti ile kaplanarak ve genişletilmiş kil agregaların çimento şerbetini tam olarak absorbe etmesi sonucunda daha geçirimsiz bir yüzey oluşturulduğu düşünülmektedir. Böylece üretilen numuneler daha geçirimsiz hale gelmiştir.

4.1.4. Donma-çözülme deneyi sonuçları

Laboratuvar ortamında hazırlanan kompozit malzemeler 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda donma-çözülme çevrimlerine tabi tutulmuşlardır. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda serbest basınç mukavemeti deneyleri yapılmıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.4'teki sonuçlar incelendiğinde; donma-çözülme işlemi sonrasında dayanımların düştüğü belirlenmiştir. 7 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelere kıyasla dayanımda daha fazla azalma mevcuttur. S/Ç oranı 0.3 olan numunelerde 7 günlük kür sonrası donma-çözülme çevrimi sonucunda numunelerin dayanımında %17 – 52 arasında azalma görülürken, 28

günlük kür sonrası donma-çözülme çevrimine maruz kalan numunelerin dayanımında %1 - 61 arasında dayanım kaybı olduğu belirlenmiştir.

S/Ç oranı 0.4 olan numunelerde 7 günlük kür işlemine tabi tutulan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonucundaki dayanımları %1 - 24 oranında azalırken, 28 günlük kür işlemine tabi tutulan numuneler için bu azalma oranı %3 - 25 arasında olmuştur.

S/Ç oranı 0.5 olan numunelerde 7 gün kür sonrası donma-çözülme çevrimine uğrayan numunelerdeki dayanım kaybı %2 – 30 arasındadır. 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde ise donma-çözülme çevrimi sonrası dayanım kaybı %2 - 46 arasındadır.

S/Ç oranı 0.6 olan numunelerde 7 ve 28 günlük kür sürelerinin ardından maruz kalınan donma-çözülme çevrimi sonundaki dayanım kayıpları sırasıyla % 4 – 21 ve % 0 - 8 oranlarında olmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre; S/Ç oranı yüksek olan numunelerde donma-çözülme çevrimlerine maruz kalan numunelerde dayanım kayıpları daha az olmuştur.

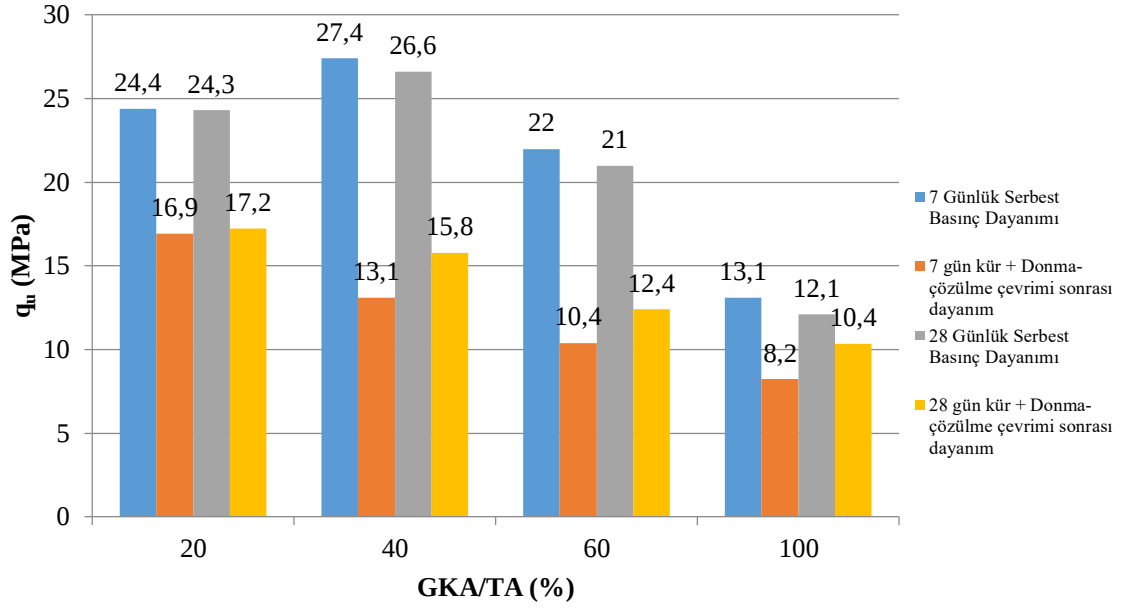
S/Ç oranı 0.3 ve 0.5 olan numunelerde Ç/TA oranı arttıkça, donma-çözülme çevrimi sonrasında dayanım kaybı oranı azalmaktadır. Ancak S/Ç oranı 0.4 olan numunelerde Ç/TA arttıkça, donma-çözülme çevrimleri sonrası dayanım kaybı oranında artış meydana gelmektedir. S/Ç oranı 0.6 olan numunelerde donma-çözülme sonrası en düşük dayanım azalma oranı $\text{Ç/TA} = 1.6$ olan karışımda görülmüştür.

Tablo 4.4'e görüldüğü gibi bazı karışımlarda dayanımda artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin; genleştirilmiş kil agregasının heterojen dağılımı ve numune içerisindeki genleştirilmiş kil agregası boyutlarının değişkenliği olduğu düşünülmektedir.

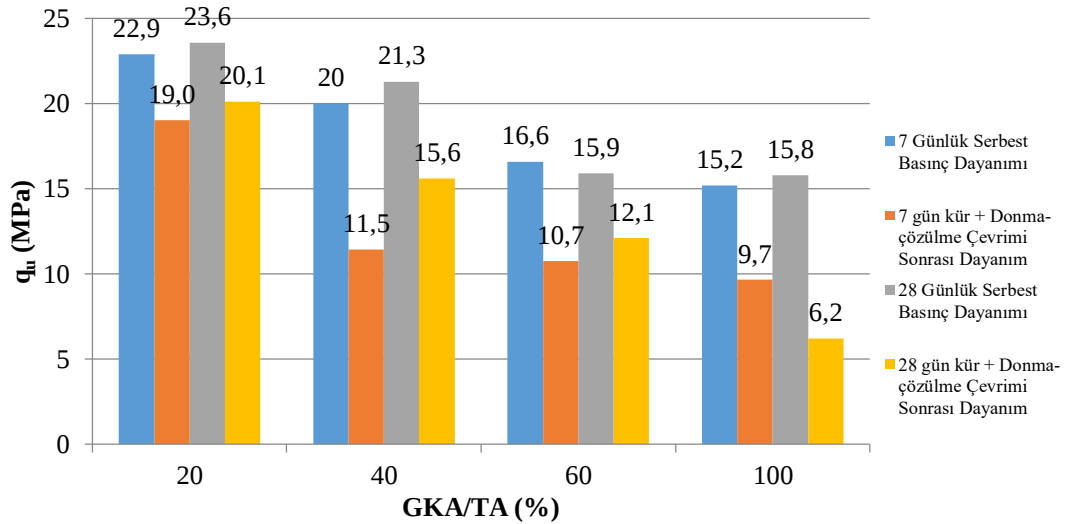
S/Ç oranı 0.3, Ç/TA oranı 1.25 olan numunelerin donma-çözülme çevrimi sonrası basınç dayanımları Şekil 4.27'de verilmiştir. Grafiğe göre donma-çözülme işlemi sonrasında basınç dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. GKA/TA oranı %20 olan numunelerde dayanım 7-8 MPa azalmıştır. GKA/TA oranı %40 ve %60 olan numunelerde 7 gün kür sonrasında donma çözülme dayanımı yaklaşık %50 oranında azalmıştır. 28 gün kür işlemi sonrası donma çözülme deneyine tabi tutulan numunelerde ise dayanımda daha az düşüşler gözlemlenmiştir. GKA/TA oranı %100 olan numunelerde 7 gün kür işlemi sonrasında donma-çözülme çevrimi sonrasında dayanımdaki azalma %37, 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde ise bu oran %14 olmuştur.

Tablo 4.4 Donma-Çözülme çevrimleri sonucunda elde edilen serbest basınç dayanım değerleri

Deney No	S/Ç	Ç/TA	GKA/TA (%)	7 Günlük Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	7 günlük kür + donma çözülme çevrimi sonrası serbest basınç dayanımı (MPa)	28 Günlük Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	28 günlük kür + donma çözülme çevrimi sonrası serbest basınç dayanım (MPa)	7 günlük kür + donma çözülme çevrimi sonrası serbest basınç dayanımı azalma oranı (%)	28 günlük kür + donma çözülme çevrimi sonrası serbest basınç dayanım azalma oranı (%)
1	0.3	1.25	20	24.4	16.9	24.3	17.2	31	29
2	0.3	1.25	40	27.4	13.1	26.6	15.8	52	41
3	0.3	1.25	60	22	10.4	21	12.4	53	41
4	0.3	1.25	100	13.1	8.2	12.1	10.4	37	14
5	0.3	1.6	20	22.9	19.0	23.6	20.1	17	15
6	0.3	1.6	40	20	11.5	21.3	15.6	43	27
7	0.3	1.6	60	16.6	10.7	15.9	12.1	35	24
8	0.3	1.6	100	15.2	9.7	15.8	6.2	36	61
9	0.3	2	20	16.1	14.5	20.1	19.9	10	01
10	0.3	2	40	16.5	12.2	16	15.8	26	01
11	0.3	2	60	16.4	11.3	17	14.4	31	15
12	0.3	2	100	9.8	7.9	12.7	10.8	20	15
13	0.4	1.25	20	14.9	17.1	15.6	14.7	-15	5
14	0.4	1.25	40	12.3	10.2	17.1	16.6	17	3
15	0.4	1.25	60	5.5	6.3	13.1	12.0	-15	9
16	0.4	1.25	100	10.7	10.3	9.4	8.8	4	6
17	0.4	1.6	20	17.7	14.4	22.1	20.1	19	9
18	0.4	1.6	40	11.5	10.9	19.9	15.7	6	21
19	0.4	1.6	60	9.4	9.3	10.8	9.5	1	12
20	0.4	1.6	100	9.9	8.6	9.1	8.1	13	11
21	0.4	2	20	15.7	15.1	17.2	15.3	4	11
22	0.4	2	40	6	8.5	7.9	6.9	-41	13
23	0.4	2	60	9.3	8.8	12.7	11.3	5	11
24	0.4	2	100	9.8	7.5	15.1	11.3	24	25
25	0.5	1.25	20	23.6	18.0	24	15.6	24	35
26	0.5	1.25	40	11.1	9.9	17	9.2	11	46
27	0.5	1.25	60	10.2	9.4	10.3	8.5	8	18
28	0.5	1.25	100	7.1	6.7	11.7	7.3	5	38
29	0.5	1.6	20	19.5	18.4	28.1	23.6	6	16
30	0.5	1.6	40	17	15.8	17.4	16.3	7	7
31	0.5	1.6	60	14	13.6	15.2	13.4	3	12
32	0.5	1.6	100	11	7.7	9.3	7.8	30	16
33	0.5	2	20	15.4	15.0	20.6	17.2	3	16
34	0.5	2	40	11.5	11.3	16.4	14.3	2	13
35	0.5	2	60	10.1	9.4	22.3	18.5	7	17
36	0.5	2	100	11.2	9.0	11.4	11.1	20	2
37	0.6	1.25	20	11	10.5	16	14.9	4	7
38	0.6	1.25	40	9.3	9.0	14.5	14.1	3	3
39	0.6	1.25	60	9.5	8.4	10	9.5	12	5
40	0.6	1.25	100	6	5.4	6	5.5	11	8
41	0.6	1.6	20	7.6	8.4	10.8	10.8	-10	0
42	0.6	1.6	40	6.1	7.7	8.9	8.8	-26	1
43	0.6	1.6	60	7.9	7.4	7.6	7.2	06	6
44	0.6	1.6	100	5.8	5.5	5.4	5.7	6	-6
45	0.6	2	20	11.5	10.6	11.6	11.7	8	-1
46	0.6	2	40	9.9	9.5	12.1	11.7	4	3
47	0.6	2	60	12.7	10.0	11.8	10.8	21	8
48	0.6	2	100	8.5	8.1	8.9	8.4	5	5



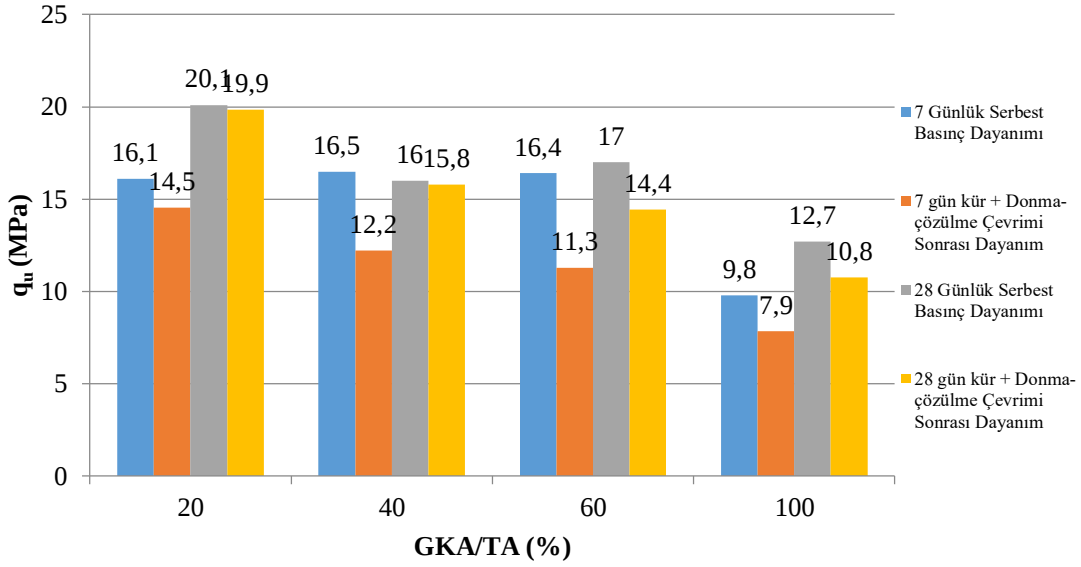
Şekil 4.27. S/Ç=0.3, Ç/TA=1.25 olan numunelerin donma-çözülme çevrimi sonrası serbest basınç dayanımları



Şekil 4.28. S/Ç=0.3, Ç/TA=1.6 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları

Şekil 4.28’de S/Ç=0.3, Ç/TA=1.6 olan numunelerin donma çözülme işlemi sonrası serbest basınç dayanımları verilmiştir. GKA/TA oranı %20 olan numunelerde 7 ve 28 gün kür işlemi sonrası donma-çözülme işlemi sonrası dayanımları %15-17 oranında azalmıştır. GKA/TA oranı %40 olan 7 günlük küre tabi tutulan numunelerde donma-çözülme çevrimi sonrası dayanım %43 azalırken, 28 gün kür ve donma-çözülme çevrimine maruz kalmış numunelerin dayanımı %27 azalmıştır. GKA/TA oranı %60 olan numunelerde bu azalma oranı 7 gün kürlü numunelerde %35 olurken, 28 gün kürlü

numunelerde %24 olmuştur. GKA/TA oranı %100 olan numunelerde ise bu oranlar sırasıyla %36 ve %61 olmuştur.



Şekil 4.29. S/Ç=0.3, Ç/TA=2 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları

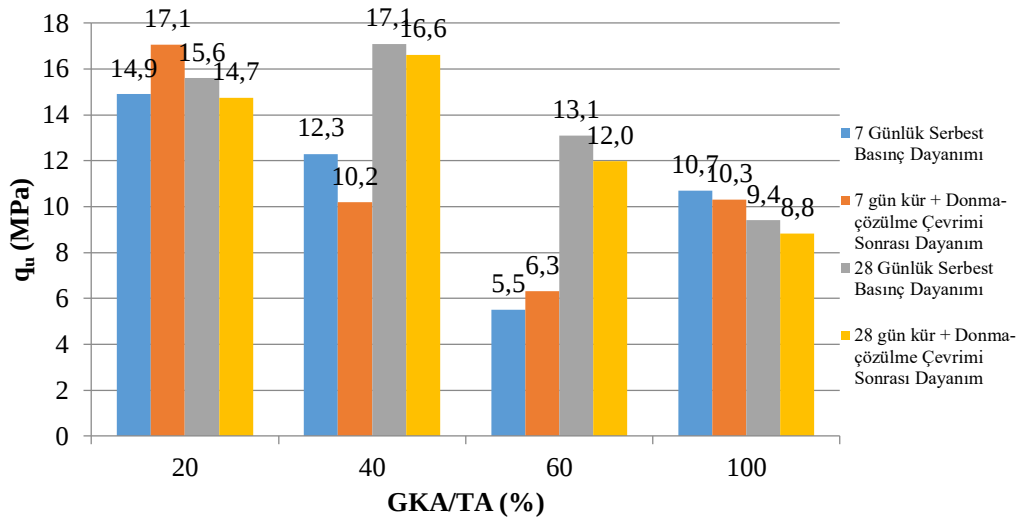
S/Ç=0.3, Ç/TA=2 olan numunelerde (Şekil 4.29.) GKA/TA oranı %20 için 7 ve 28 günlük kür sonrası donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan numunelerdeki dayanım kayıpları %10 ve %1 olmuştur. GKA/TA oranı %40 için bu değerler %26 ve %1; GKA/TA oranı %60 için %31 ve %15; GKA/TA oranı %100 için %20 ve %15 olmuştur. Bu değerlere göre; 7 gün kür işlemi sonrası donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan numunelerdeki dayanımı kaybı 28 günlük kürlü numunelerdekinden fazla olmuştur.

Şekil 4.30'da S/Ç=0.4, Ç/TA=1.25 olan numunelerin donma-çözülme işlemi sonrası serbest basınç dayanımları verilmiştir. 7 gün kür işlemi sonrası donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan numunelerde GKA/TA oranı %20 ve %60 olan numunelerde dayanım çevrimsiz numunelerinkine göre yüksek çıkmıştır. Ancak GKA/TA oranı %20 olan numunelerde 28 günlük kürlü ve donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan numunelerinde dayanım kaybı %5 olurken, GKA/TA oranı %60 olan numunelerde bu değer %9 olmuştur. GKA/TA oranı %40 olan numunelerde ise; 7 günlük kür işlemi ve donma-çözülme çevrimine maruz kalmış numunelerin dayanımı, 28 günlük kürlü numunelerinkinden daha fazla düşüş göstermiştir.

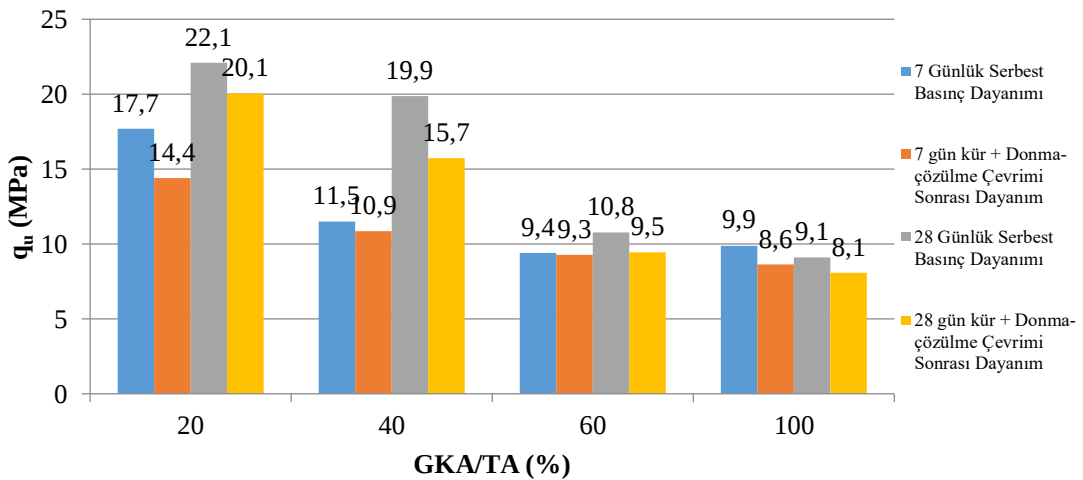
S/Ç=0.4, Ç/TA=1.6 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımlarında meydana gelen değişimler Şekil 4.31'de verilmiştir. GKA/TA oranı %20 ve %100 olan numunelerde 7 günlük kürlenme işlemi sonrası donma-çözülme

çevrimine maruz kalan numunelerin dayanımı, 28 günlük kürlü numunelerinkinden daha fazla düşüş göstermiştir. GKA/TA oranı %40 ve %60 olan numunelerde ise bu durumun tersi bir durum gözlenmiştir.

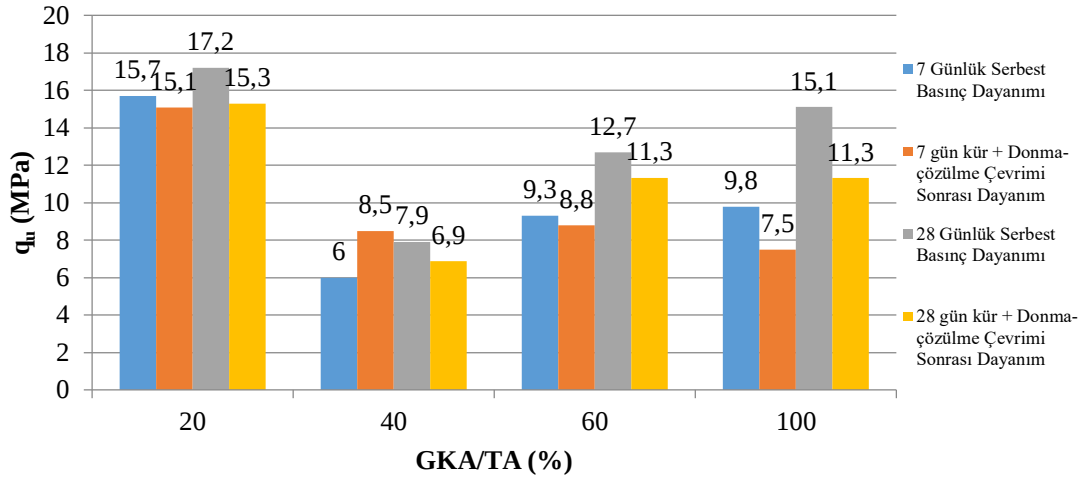
Şekil 4.32’de $S/\bar{C}=0.4$, $\bar{C}/TA=2$ olan numuneler için donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları verilmiştir. GKA/TA oranı %40 olan numunelerin 7 gün kür işlemi sonrası donma-çözülme çevrimine maruz kalmış numunelerin dayanımlarında %41 artış gözlenmiştir. $S/\bar{C}=0.4$, $\bar{C}/TA=2$ olan numunelerde genel olarak 28 gün kür işlemi sonrası donma-çözülme çevrimlerine maruz kalmış numunelerin basınç dayanımında meydana gelen azalma miktarının, 7 günlük kürlü numunelerdekinden daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.30. $S/\bar{C}=0.4$, $\bar{C}/TA=1.25$ olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları



Şekil 4.31. $S/\bar{C}=0.4$, $\bar{C}/TA=1.6$ olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları

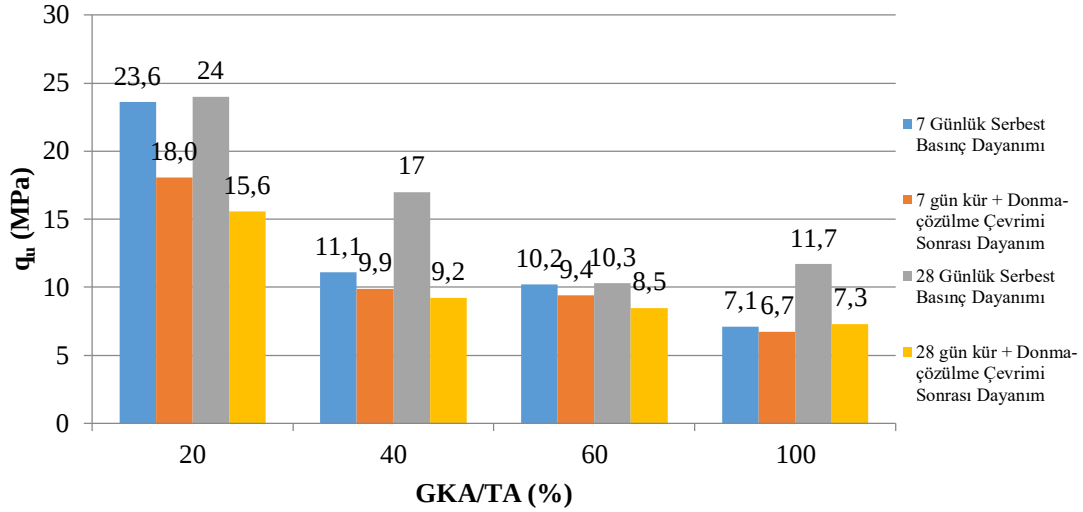


Şekil 4.32. $S/\zeta=0,4$, $\zeta/TA=2$ olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları

$S/\zeta=0,5$, $\zeta/TA=1,25$ olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları Şekil 4.33’de verilmiştir. Genel olarak tüm GKA/TA oranlarında; 7 gün kür süresi sonucunda donma-çözülme deneyine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları 28 günlük kürlü numunelerinkine göre daha yüksek bulunmuştur.

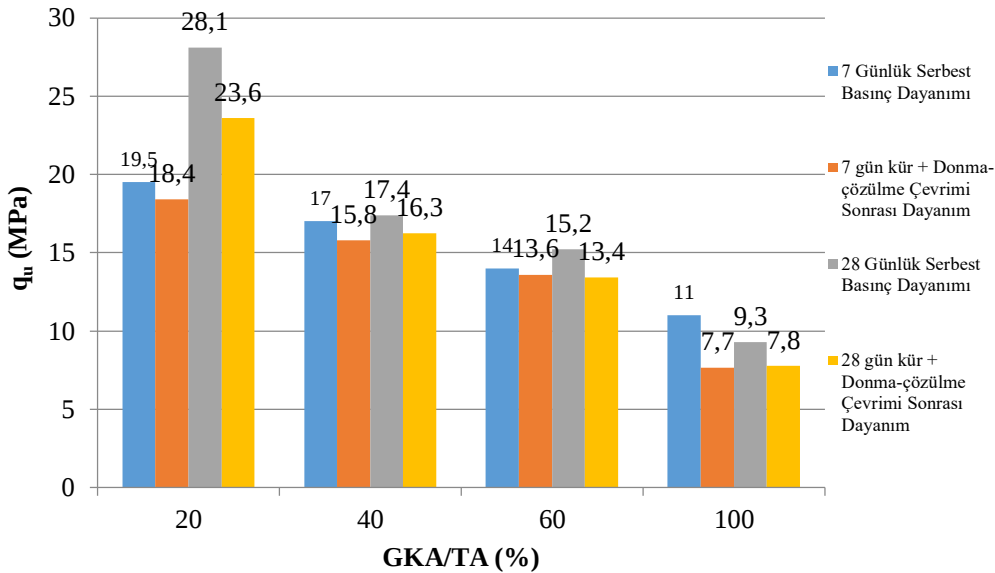
Şekil 4.34’de $S/\zeta=0,5$, $\zeta/TA=1,6$ olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları verilmiştir. Grafiğe göre; GKA/TA oranı %20 ve %60 olan numunelerde 7 günlük kürleme işlemi sonrası donma-çözülme çevrimlerine maruz kalan numunelerde dayanım kaybı daha az olurken, GKA/TA oranı %100 olan numunelerde 28 günlük kürlü numunelerde daha az dayanım kaybı olmuştur. GKA/TA oranı %40 olan numunelerde ise 7 ve 28 günler için dayanımlar eşit oranda azalmıştır.

Şekil 4.35’te $S/\zeta=0,5$, $\zeta/TA=2$ olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları karşılaştırmalı şekilde verilmiştir. Grafiğe göre GKA/TA oranları %20, %40 ve %60 olan numunelerin 7 günlük kür sonrası ve donma-çözülme çevrimleri sonrası dayanımları, 28 günlük kür işlemine tabi tutulan numunelerinkine göre daha az oranda düşüş göstermiştir. GKA/TA oranı %100 olan numunelerde ise 7 günlük kürlü numuneler için donma-çözülme çevrimleri sonrası dayanımda 28 günlük numuneler göre daha fazla düşüş gözlenmiştir.

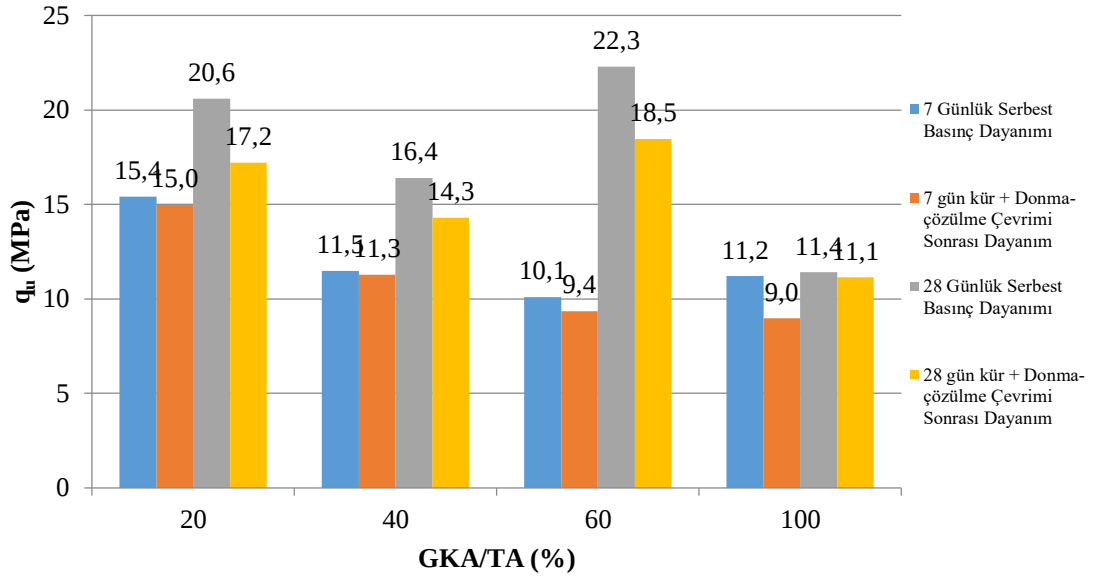


Şekil 4.33. S/Ç=0.5, Ç/TA=1.25 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları

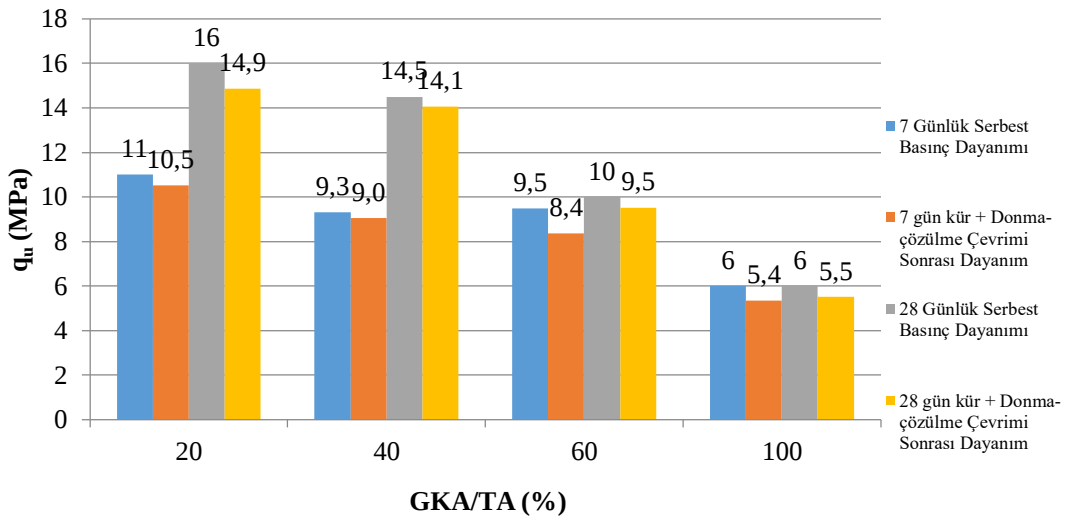
S/Ç=0.6, Ç/TA=1.25 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları Şekil 4.36'da verilmiştir. Grafiğe göre; GKA/TA oranı %20 olan numunelerde 7 gün kür işlemi sonrası donma-çözülme çevrimine maruz kalan numunelerin dayanımlarında daha az düşüş olurken, GKA/TA oranı %60 ve %100 olan numunelerde 28 günlük kürlü numunelerde daha az düşüşler gözlemlenmiştir. GKA/TA oranı %40 olan numunelerde ise 7 ve 28 günlük kürlü numunelerde donma-çözülme çevrimleri sonucunda dayanımlarda meydana gelen azalmalar yakındır.



Şekil 4.34. S/Ç=0.5, Ç/TA=1.6 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları



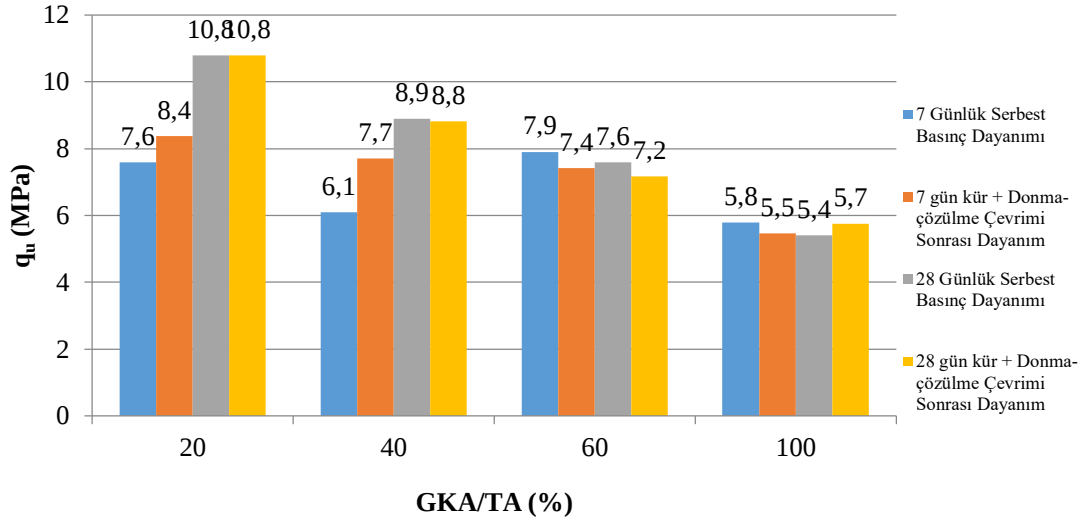
Şekil 4.35. S/Ç=0.5, Ç/TA=2 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları



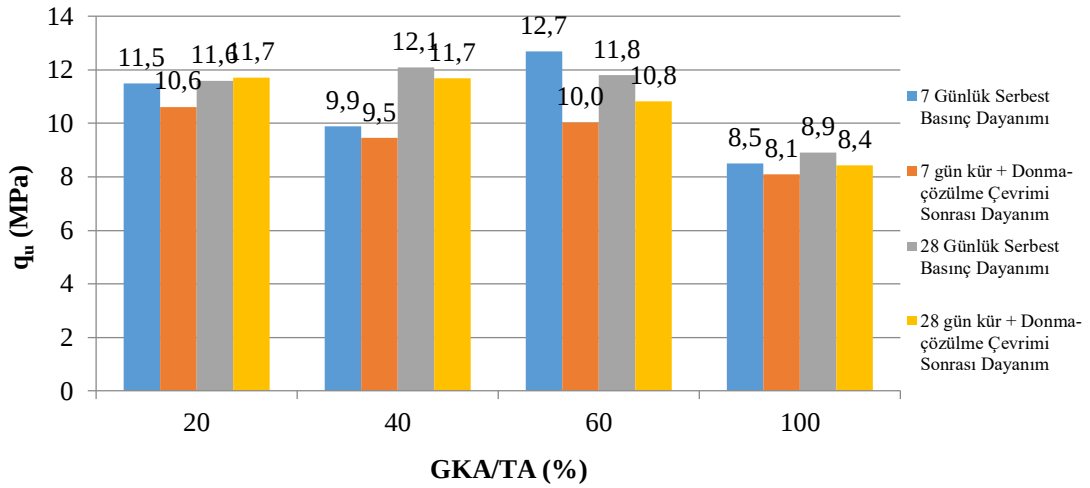
Şekil 4.36. S/Ç=0.6, Ç/TA=1.25 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları

S/Ç=0.6, Ç/TA=1.6 olan numunelerde (Şekil 4.37.); GKA/TA oranı %20 ve %40 olan numunelerde 7 günlük kürlü numuneler ve GKA/TA oranı %100 olan numunelerin 28 günlük kürlü numunelerinde donma-çözülme çevrimleri sonrasında dayanımlarında artışlar gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebinin, donma-çözölmeye maruz kalmayan aynı kodlu numunelerde GKA'ların heterojen olarak dağılması olduğu düşünülmektedir.

S/Ç=0.6, Ç/TA=2 olan numunelerde (Şekil 4.38.); GKA/TA oranı %20 için 7 gün küre tabii tutulan ve donma-çözülme çevrimine maruz kalmış numunelerin dayanımları %8 azalırken, 28 gün kür için basınç dayanımları %1 artmıştır.



Şekil 4.37. S/Ç=0.6, Ç/TA=1.6 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları



Şekil 4.38. S/Ç=0.6, Ç/TA=2 olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç dayanımları

4.2. Deney Sonuçlarının Yorumlanması ve Tartışma

Çimento, su, kum ve GKA kullanılarak, belirli oranlarda S/Ç, Ç/TA ve GKA/TA değişkenleri ile üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk karşılaştırması yapılarak, numunelere serbest basınç mukavemeti, geçirimsizlik ve donma çözülme deneyleri uygulanmıştır.

Belli oranlarda GKA ile üretilen kompozit malzemeler hafif beton sınıfına girmektedir. Araştırmacılar bu durumu değerlendirip çalışmalar yapmışlardır. Real ve arkadaşları (2015), GKA ile üretilen betonlarda 250, 300 ve 400 L/m³ oranlarında GKA kullanılması durumunda yoğunlukta % 12.7,% 16.58 ve% 19.72 oranında azalmalar olduğunu tespit etmiştir. Maciulaitis ve ark. (2009), beton içerisinde bulunan 0-4 mm ve 4- 10 mm normal ağırlıktaki agregaların, GKA ile değiştirilmesi sonucunda yoğunluğun 1.526 g/cm³ olduğu tespit etmiştir. Campione ve ark. (2001), % 34.92 daha az 28 günlük yoğunluğu bulmuşlardır. Bocca ve Rossetti (1978), 8-15 mm normal agrega yerine GKA yerleştirilerek betonun % 42 daha az yoğunluğa sahip olduğunu bulmuşlardır. Shankar (2016), normal ağırlıktaki kumun sırasıyla %5, %10 ,%15 ve %20 GKA ile yer değiştirmesiyle elde edilen betonlarda, 7 günlük sertleştirilmiş yoğunluk sırasıyla % 2, % 3.2, %3.6 ve %4.8 oranında azalmıştır. Bu tez çalışmasında üretilen kompozit malzemelerde GKA/TA oranı %20, %40, %60 ve %100 oranlarında 0-3, 3-8 ve 8-16 mm boyutlarında GKA, kalan yüzdelik oranlarda kum kullanılmıştır. GKA, kendi içerisinde %35 0-3 mm, %40 3-8 mm ve %25 8-16 mm oranlarında kullanılmıştır. Diğer araştırmacılar bir veya iki boyuttaki, normal ağırlıktaki agreganın yerine GKA kullanılarak araştırmalarını yapmışlardır. Bu tez çalışmasında üretilen numunelerin hepsinde, her boyutta GKA kullanılmıştır. GKA/TA oranı arttıkça yoğunlukta %13-32 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Bu da diğer araştırmacılar ile paralellik göstermektedir. GKA, yoğunluğu düşük olduğu için hafif agregalar sınıfına girmektedir. Betonlar, yoğunluğa göre sınıfa ayrıldıklarında 2 g/cm³ yoğunluğun altında olan betonlar hafif beton sınıfına girmektedir. S/Ç=0.3, Ç/TA=1.25 ve GKA/TA=0.20 olan kompozit malzeme 2.09 g/cm³ yoğunluğa sahip olup hafif beton sınıfına girmemektedir. Diğer numunelerin yoğunluğu 2 g/cm³'ün altında olduğu için hafif beton olarak değerlendirilmektedir.

Birçok araştırmacı GKA'ları kullanılarak üretilen betonlar üzerinde basınç mukavemeti deneyini uygulamıştır. Shafigh ve ark. (2014), normal agrega ile birlikte 8 mm'ye kadar GKA içeren beton üretmiştir. Numuneler sırasıyla nemli ve kuru sertleştirmede kürlendiğinde 30.8 ve 26.6 MPa'lık 28 günlük basınç mukavemeti elde edilmiştir. Anis ve Lazim (2016), kaba agrega olarak GKA kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanımının 17.9 MPa olduğu görülmüştür. GKA, hacimce % 15,% 20 ve % 25 seviyelerinde normal ağırlıktaki kaba agrega ile kısmen değiştirildiğinde % 36.9 artmıştır. Wegian (2012), normal ağırlıktaki kum ve çakıl yerine GKA kullanıldığında, sırasıyla % 60.42 ve % 61.79 daha az 14 ve 28 günlük beton

mukavemeti sağlamıştır. Bu azalma, normal ağırlıktaki kum ve dolomitin sırasıyla GKA ile değiştirildiği zaman % 69.45 ve % 68.1 olarak bulunmuştur.

Tez çalışmasında genel olarak 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda S/Ç oranı 0.3 ve 0.5 olan numunelerin basınç dayanımlarının yüksek olduğu görülmüştür. S/Ç=0.5, Ç/TA=1.6 ve GKA/TA=0.2 olan numunenin 28 günlük basınç dayanımı 28.1 MPa ile en yüksek basınç dayanımına sahiptir. Aynı S/Ç ve Ç/TA oranlarında numune içerisinde GKA oranı arttıkça serbest basınç mukavemetinde %12-60 oranında azalmalar olduğu görülmüştür. Diğer araştırmacılar GKA'nı bir veya iki boyuttaki normal agrega ile değiştirmişlerdir. Bu durumda karışımda, normal agrega yerine GKA kullanıldığında, numune içerisindeki keskin kenarlara sahip normal ağırlıktaki agregalar, uygulanan basıncında etkisiyle GKA'larını ezme eğiliminde olduğu düşünülmektedir. 3 farklı boyutta GKA kullanıldığında yuvarlak şekilde olan agregalar sadece uygulanan basıncın etkisi ile kırılma gerçekleştirilecektir. Bu sebeple araştırmacıların sonuçlarına kıyasla basınç dayanımında daha az oranda azalma olma sebebi numunelerde 3 farklı boyutta geliştirilmiş kil agregalarının olduğu ve bu düşünülmektedir.

S/Ç oranı 0.3 ve 0.5 olan numuneler daha yüksek basınç dayanımına sahiptirler. S/Ç=0.3 olan numuneler hazırlanırken akışkan bir kıvam elde edilmediği için 3 tabaka halinde şişlenerek numuneler hazırlanmıştır. Bu durumda çimento hidratasyonu için kullanılan su dışında işlenebilirlik için kullanılan su azdır. Bu durum dayanımı arttırmaktadır fakat işlenebilirlik özelliği olmadığı için kullanışlı bir kompozit malzeme değildir. S/Ç=0.5 olan karışımda, hem dayanımın yüksek olması, hem de kompozit malzemenin işlenebilirlik özelliğine sahip olması sebebiyle kullanılabilir bir karışımdır.

Geçirimlilik deneyi yapan araştırmalara bakıldığında, Bogas ve ark. (2012), farklı tipte GKA içeren harçların emiliminin daha fazla gözenekli agrega ve daha yüksek kırık parçacık yüzdesi için daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Doğal hafif agrega içeren hafif betonda da benzer yüksek su geçirgenliği gözlenmiştir (Al-Khaiat, 1999). Tez çalışmasında 7 ve 28 günlük kompozit malzeme numunelerine geçirimsizlik deneyi yapılmıştır. Beton 7 günlük numunelerde prizinin %60'ını almıştır. GKA numunelerinin içerisindeki boşluktan ve kompozit malzemenin prizini tam olarak almamasından dolayı 7 günlük numunelerde geçirimsizlik oranı 28 günlük numunelere oranlar daha yüksektir. Bu durum Bogas ve ark.'nın çalışmasıyla uyum sağlamaktadır.

GKA'nın çimento şerbetini bir miktar absorbe etmesi ve yoğun dış kabuğa sahip olması nedeniyle 28 günlük numunelerde, GKA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar meydana gelmiştir. Çimento şerbeti, GKA kabuğunun pürüzlülüğünden de yararlanarak

yüzeyi tamamen kaplayarak daha geçirimsiz kompozit malzemeler oluşturmuştur.

Geçirimsizlik katsayısı en düşük olan numuneler $S/C=0.4$ olan numunelerdir. Karışım içerisindeki çimento miktarı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar meydana gelmiştir. Bunun sebebi S/C oranı aynıyken içerisindeki çimento miktarını arttırmaktır.

GKA çimento şerbeti ile karıştırıldığında geçirimsiz numuneler oluşturulmuştur. Temel altında grobeton olarak kullanıldığında zemin-temel arasında geçirimsizliği sağladığı için su yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Hafif ve geçirimsizliği düşük bir malzeme olduğu için dere yataklarının ıslah edilmesinde, katı atık depolarında geçirimsizlik amacıyla ve rıhtımlarda kullanılan palplanş perdelerinin oluşturulmasında malzeme olarak değerlendirilebilir.

Geçirimsizlik perdesinde, geçirimsizlik katsayısının 10^{-9} m/s şartının sağlanması gerekmektedir. Bu durumda GKA ile üretilen kompozit malzemeler, geçirimsizlik perdesi olarak kullanılabilir.

Youm ve ark. (2016), kaba agrega olarak GKA içeren beton örneklerinin normla ağırlıktaki agregaya göre daha az donma / çözülme direnci gösterdiğini belirtmiştir. Józwia-Niedzwiedzka (2005), normal ağırlıktaki kumun önceden ısıtılmış GKA (boyut 0–2 mm) ile hacimce% 33.33 ve % 50 oranında kısmen değiştirilmesiyle daha az donma / çözülme direnci bulmuştur. GKA içeriği arttıkça donma / çözülme direncindeki azalma artmıştır. Tez çalışmasında numuneler 7 ve 28 gün kür işlemi sonrası donma çözülme işlemine tabi tutulmuştur. 7 günlük numuneler 28 günlüklere göre daha fazla donma çözülme direnci göstermiştir. GKA oranı fazla olan numunelerin donma çözülme direncinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. 7 günlük numunelerin donma çözülme çevrimi sonrası dayanımı %1-53, 28 günlük numunelerin donma çözülme çevrimi sonrasında %1-61 dayanım kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

GKA'nın donma çözülme direnci üzerindeki etkisine ilişkin araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalara göre, GKA'nın, donma / çözülme direncini azalttığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında da GKA oranı arttıkça aynı şekilde donma çözülme direncinin azaldığı görülmüştür. GKA, normal ağırlıktaki agregalar ile karşılaştırıldığında su emilimi daha yüksektir. Donma çözülme işlemi öncesi numuneler doymuş hale getirildiği için gözenekler su ile doymuş hale gelmiştir. Suyun donma işlemi sırasında içerisinde hava boşlukları olduğu için genişler. Bu durum nedeniyle GKA içerisinde bozunmalar meydana geldiği düşünülmektedir. Bu bozunmalar GKA'nın su emilim yüzdesine bağlıdır. Su emme oranı arttıkça GKA içerisindeki bozunmalar artacaktır. Bu nedenle donma çözülme dayanımı düşecektir.

Genel olarak donma-çözölme çevrimleri sonucunda beklendiği gibi numunelerin basınç dayanımları azalırken, bazı numunelerde beklenmeyen sonuçlara ulaşılmıştır. Bu şekilde beklenmeyen sonuçlar; GKA'ların karışım numuneleri oluşturulurken homojen dağılmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

Genleştirilmiş kil agregaları ile numuneler hazırlanırken homojen bir şekilde dağılım olmamıştır. Bazı numunelerin içerisinde 8-16 mm agregaya olmamasına karşın bazılarında 2-3 tane vardır. Bu durum donma çözölme çevrimi sonrası basınç dayanımlarının artışı şeklinde görölmektedir. Serbest basınç mukavemeti bulunurken beklenmeyen durumlar bu durumun sonuçlarındandır. Geçirimlilik deneyinde numuneler küçük olduğu için bir GKA bile geçirimliliği beklenenden fazla etkilemiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında 3 farklı boyutta genişleştirilmiş kil agregası ile kompozit malzemeler üretilmiştir. CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemeler üzerinde serbest basınç dayanımı ve geçirimsizlik deneyleri ile, donma-çözülme çevrimlerine maruz kalmış numuneler üzerinde serbest basınç dayanım deneyleri yapılmıştır:

- ✓ GKA'nın fiziksel özelliklerinin tayini için özgül ağırlık, su muhtevası ve su emme deneyleri yapılmıştır. Üretilen GKA'lar yüksek sıcaklıklarda (1100-1300 °C) üretildiği için ve üretim sonrasında nemsiz bir ortamda saklandığından dolayı su muhtevası değeri %0 çıkmıştır. 0-3, 3-8, 8-16 mm boyutlarındaki agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla 1.77, 1.3, 1.05, su emme oranları %7.63, 17.67, 35.89 olarak bulunmuştur.
- ✓ Kuma ait fiziksel özelliklerin tayini için özgül ağırlık, su muhtevası ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deney numuneleri hazırlama işlemi öncesinde kum etüvde kurutulduğu için su muhtevası %0'dır. Özgül ağırlığı 2.63, su emme oranı %4 olarak hesaplanmıştır.
- ✓ Hazırlanan numuneler 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda serbest basınç mukavemeti deneyine tabi tutulmuştur. S/Ç oranı 0.3 ve 0.5 olan numunelerin basınç dayanımı değerleri diğer oranlar için hazırlanan numunelerinkine göre yüksek sonuçlar vermiştir. GKA/TA=%100 olan numunelerde basınç dayanımı diğer oranlardaki değerlere göre düşük olmuştur. GKA/TA=%20 olan numuneler en yüksek basınç dayanımına sahip numuneler olmuştur. GKA oranı arttıkça dayanımda %12-60 oranında azalmalar meydana gelmiştir.
- ✓ Serbest basınç mukavemeti sonuçlarına göre; S/Ç oranı 0.3, GKA/TA oranı %100 olan numuneler; S/Ç oranı 0.5 ve 0.6'da GKA/TA oranı %60 ve %100 olan numuneler orta dayanımlı beton sınıfına girmektedir. S/Ç oranı 0.3, GKA/TA oranı %20, 40 ve 60 olan numuneler; S/Ç oranı 0.5 ve 0.6'da GKA/TA oranı %20 ve %40 olan numuneler taşıyıcı hafif beton sınıfına girmektedir.
- ✓ Hazırlanan numuneler 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda geçirimsizlik deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlarda geçirimsizlik katsayısı değerleri

incelendiğinde 7 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte artışlar meydana gelmiştir. 28 gün kür işlemine tabi tutulan numunelerde GKA/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar meydana gelmiştir. S/Ç oranı arttıkça geçirimsizlikte değişimler görülmüştür. S/Ç oranı 0.3 ve 0.6 olan numunelerde, geçirimsizlik katsayısı (k) diğer oranlara göre daha yüksektir. Bu duruma istisna olarak; S/Ç oranı 0.6 olan numunelerin 28 günlük kür sonrası geçirimsizliklerinin düşük olduğu görülmüştür.

- ✓ S/Ç oranı 0.3 olan numunelerde Ç/TA oranındaki değişimlerin geçirimsizlik katsayısına diğer S/Ç oranlarına kıyasla etkisi olmamıştır. S/Ç oranı 0.4 ve 0.5 olan numunelerde Ç/TA oranı arttıkça geçirimsizlik artmıştır. S/Ç oranı 0.6 olan numunelerde ise Ç/TA oranı arttıkça geçirimsizlikte azalmalar meydana gelmiştir. Geçirimsizlik katsayısının en düşük olduğu numuneler S/Ç oranı 0.4 olan numuneler olmuştur.
- ✓ GKA ile üretilen kompozit malzemelerin geçirimsizlik katsayılarının düşük olması sebebiyle temel altında grobeton şeklinde su yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirler. Hafif ve geçirimsizliği düşük bir malzeme olduğu için dere yataklarının ıslah edilmesinde, katı atık depolarında geçirimsizlik sağlanmasında, rıhtımlarda palplanş perdesi oluşturulmasında malzeme olarak kullanılabilir. Hazırlanan GKA kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin geçirimsizlik katsayısının 10^{-9} m/s ve daha küçük olması nedeniyle, bu kompozit malzemeler geçirimsizlik perdesi imalatında kullanılabilecektir.
- ✓ Donma-çözülme çevrimleri sonucunda serbest basınç mukavemeti deneyine tabi tutulan numunelerde en az dayanım kaybı S/Ç oranı 0.6 olan numunelerde görülmüştür. En yüksek dayanım kaybı ise S/Ç oranı 0.3 olan numunelerde görülmüştür.
- ✓ Serbest basınç dayanımı deneyi ve donma-çözülme çevrimleri sonrası serbest basınç deneylerine tabi tutulan numuneler için; GKA oranı yüksek numunelerde sünek kırılma davranışı gözlenirken, GKA oranı düşük numunelerde gevrek kırılma davranışı gözlemlenmiştir.
- ✓ Geoteknik mühendisliği uygulamalarında GKA kullanılarak istenilen geçirimsizlik düzeyinde ve istenilen basınç dayanımına sahip kompozit malzemelerin üretilmesi mümkündür.

5.2. Öneriler

GKA'nın belirli oranlarda su, çimento ve kum ile karıştırılıp karakteristik özelliklerinin incelenmesi önemlidir fakat ihtiyaca göre GKA oranları ve karışım içerikleri değiştirilebilir. İstenilen geçirimlilik ve dayanım özelliklerine göre tasarım yapılmalıdır.

- ✓ GKA'ların yapısında bulunan boşluklara suyu absorbe edebilmesi özelliği ile hidrasyon-işlenebilirlik özelliklerinin uzun süre devam edebilmesini sağlamak için numune hazırlama işlemi öncesinde GKA'lar suya doygun hale getirilmelidir.
- ✓ GKA ile üretilen kompozit malzemelerde işlenebilirlik özellikleri normal agregası ile üretilen betonlara göre düşüktür. Bu sebeple numune karışımları hazırlanırken akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici ve köpük kesici kullanılmalıdır.
- ✓ GKA, yoğunluğu düşük bir malzeme olduğu için S/Ç oranı yüksek karışımlarda GKA karışım yüzeyine çıkmaktadır. Bu sebeple taze beton için priz hızlandırıcı kullanıp, kalıplara dökme öncesinde iyice karıştırılmalıdır.
- ✓ Literatürde GKA ile üretilen betonlar üzerinde yapılan geçirimlilik deneyleri az sayıdadır. Literatüre katkıda bulunmak amacıyla GKA ile üretilen kompozit malzemelerin geçirimlilikleri hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akbulut A., 1996. Bentonit. *MTA Eğitim Serisi*, 32, 78s, Ankara.
- Alireza, M., Vahid, N., Rasoul, J., 2013, Laboratory Investigation Of The Durability Of Lightweight And Normal Concrete Against Acids (Hydrochloric, Sulfuric And Lactic Acid)‘, *Research Journal of Chemical & Environmental Sciences*, 1 (3), 20–25.
- Al-Khaiat H., Haque N., 1999, Strength and durability of lightweight and normal weight concrete, *J. Mater. Civ. Eng.* 11, 231–235.
- Anis A.A., Lazim H.R.M., Mohamad, 2016, Experimental study of the behavior of deep beams using light-weight structural leca concrete, *Int. J. Innovat. Res. Sci. Eng. Technol.* 5 (1), 428–436.
- Anonim, 2000, A Technical Report on The Lightweight Expanded Clay Aggregates (LECA), ESCSI, USA, s 125.
- Argex, 1994, Handbook for the use of loose argex, Belgium, 1-20.
- Bocca, P., Rossetti, U., 1978, Investigation on the cracking behavior of lightweight concrete, *Matériaux de Construct.* 11 (4), 261–268.
- Bogas J.A., Gomes A., Gomes M.G., 2012, Estimation of water absorbed by expanding clay aggregates during structural lightweight concrete production, *Mater. Struct.* 45, 1565–1576.
- Campione, G., Miraglia, N., Papia, M., 2001, Mechanical properties of steel fibre reinforced lightweight concrete with pumice stone or expanded clay aggregates, *Mater. Struct.* 34, 201–210.
- Anonim, Dayanıklı Altyapı, <http://lecatyapi.com.tr/altyapi> [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020].
- Anonim, Drenaj Uygulamaları, <http://lecatyapi.com.tr/yapi-drenaj>, [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020].
- DPT, 2005, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel Ghtisas Komisyonu Raporu, “Yapı malzemeleri - Genleşen Kiler”, s69-73.
- Erdoğan, T.Y., 2003, Beton, *ODTÜ Yayınevi*, Ankara.
- Fujii, N., 1978, An Outline of Expanded Shale Resourirces in Japan, *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, Japan, 29-30.
- Fujii, N., Sudo, S., 1977, An outline Of Expanded Shale Resources İn Japan, *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, Japan, 217–230.

- Gökçe, M. 2007, “Genleştirilmiş Kil Agregalarının Hafif Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması” , Yüksek Lisans Tezi , *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gazi Üniversitesi, 3-7.
- Anonim, Isı Farkına Ve Yangına Karşı Yalıtım, <http://lecatyapi.com.tr/izolasyon>, [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020].
- Józwia-Niedzwiedzka D., 2005, Scaling resistance of high performance concretes containing a small portion of pre-wetted lightweight fine aggregate, *Cem. Concr. Compos.* 27, 709–715.
- Karakaya Bentonit, 2013, Bentonit Nedir, http://www.karakaya.com.tr/?page_id=96 , [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].
- Kıral, N., 2002, Genleşen Kil Aramaları, *MTA Raporu*, 1-25.
- Kromer, H., Potshigmann, W., 1977, Handbuch Der, *Keramik Freiburg*, 5-15.
- Laterlite, 2006, Geotechnical Engineering Lightweight Solutions With Expanded Clay Laterlite, <https://www.laterlite.es/wp-content/uploads/2014/03/ManuGeo-Laterlite-EN.pdf> , [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020].
- Maciulaitis R., Vaiciene M., 2009, Zurauskiene Ramune, The effect of concrete composition and aggregates properties on performance of concrete, *J. Civ. Eng. Manage.* 15 (3), 317–324.
- Melo, G.T., Chagas, C.G., Toledo, F.R.D., 2016, Fresh and Hardened-State Properties of Self-Compacting Lightweight Concrete Reinforced With Steel Fibers, *Construction and Building Materials*, 104, 284–292.
- Mitchell, J.K., Soga, K., 2005, *Fundamentals of Soil Behavior Third Edition*. John Wiley & Sons,, New York, 577.
- Anonim, Mükemmel Dolgu Malzemesi, <http://lecatyapi.com.tr/dolgu> [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020].
- Neville, A. M., (1975), “Properties of Concrete”, Pitman Publishing, London.
- Önem, Y., 2000, *Sanayi Madenleri. Kozan Ofset*, 386s, Ankara.
- Postacıoğlu, B., Taşdemir, M. A., (1986), “Depreme Dayanıklı Yapılarda Doğal Hafif Agregalı Betonlardan Yararlanılması”, Yapı Endüstri Merkezi “Deprem” Semineri Bildiriler Kitabı.
- Real, S., Bogas, J.A., 2015, Pontes Jorge, Chloride migration in structural lightweight aggregate concrete produced with different binders, *Construct. Build. Mater.* 98, 425–436.

- Ryms, M., Lewandowski, W.M., Klugmann-Radziemska, E., Denda, H., Wcisło P., 2015, The use of lightweight aggregate saturated with PCM as a temperature Stabilizing material for road surfaces, *Applied Thermal Engineering*, 81, 313-324.
- Saride, S., Puppala, A . J., Williammee, R., Sirigiripet, S . K., 2010, Use of Lightweight ECS as a Fill Material to Control Approach Embankment Settlements, *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 607-617.
- Sarı, D., Pasamehmetoglu, A.G., 2005. The Effects of Gradation and Admixture on The Pumice Lightweight Aggregate Concrete. *Cement and Concrete Research*, Elsevier Ltd. 35: 936-943.
- Schmidt, H., 1984, Blahton-Stoffliche Voraussetzungen, Eignungs Untersuchungen Und Keramische Bindung: Handbuch Der., *Keramik Freiburg*, 5-10 .
- Anonim, Sessiz Asfalt, <http://lecatyapi.com.tr/sessiz-asfalt> [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020].
- Seyhan, İ., 2001, Genleşen Killer, *D.P.T.Ö.İ.K. Raporu Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, 1-15 .
- Shafigh P., Ghafari H., Bin Mahmud H., Jumaat M. Z., 2014, A comparison study of the mechanical properties and drying shrinkage of oil palm shell and expanded clay lightweight aggregate concretes, *Mater. Des.* 60, 320–327.
- Shankar, M., 2016, Experimental investigation on self compacting concrete using light weight aggregates, *Int. J. Adv. Sci. Eng. Res.* 1, 745–753.
- Sönmez, R., Demir, M., Ekim, H., 2004, *Stiropor Hafif Agregalı Beton*,.
- Şener, F., 1999, Yalıtımlı Hafif Yapı Hammaddeleri, *Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu*, MTA, Ankara, 31-47.
- Şimşek, O., Gökçe, M., 2017, Ankara-Kalecik Kilinin Genleşebilme Özelliğinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 20(3), 639-645.
- Şişman C B, Kocaman İ. ve Gezer E. (2008). Doğal Zeolitten Üretilcek Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (2): 20-25
- Tan, Ö., Yılmaz, L., Zaimoğlu, A.S., 2004, Variation Of Some Engineering Properties Of Clays With Heat Treatment, *Materials Letters*, 58, 1176– 1179.
- TS 5396, 1987, Seramik Sanayii, Kaolen Standardı, *Türk Standartları Enstitüsü*.
- Wegian, F.M., (2012), Strength properties of lightweight concrete made with LECA grading, *Aust. J. Civil Eng.* 10 (1), 11–22.

Why is expanded clay aggregate preferred for installation and drainage for earth retaining walls, 2020, <https://www.expandedclayaggregate.com/get-faq-details/installation-and-drainage-for-earth-retaining-walls.html>, [Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020].

Youm K.S., Moon J.H., Cho J.Y., Jung J.K., 2016, Experimental study on strength and durability of lightweight aggregate concrete containing silica fume, *Construct. Build. Mater.* 114, 517–527.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Remziye CAN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Konak/İZMİR - 01.02.1995
Telefon : 05466488999
E-Posta : remziye.kacti@saglik.gov.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cumhuriyet Anadolu Lisesi Merkez/AFYONKARAHİSAR	2013
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Selçuklu/KONYA	2017
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Geoteknik B.D. Selçuklu/KONYA	Devam Ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2019-2020	Ankara Beytepe Murat Erdi Eker Devlet Hastanesi	Hastane Mühendisi
2020-	Ankara Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı	İnşaat Mühendisi

YAYINLAR

- 1- Remziye CAN, Murat OLGUN, Genleştirilmiş kil agregası ile üretilen betonların geçirimsizlik ve basınç dayanımlarının araştırılması, Selçuk 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 7 Haziran 2020, Konya, Türkiye, Uygulamalı Bilimler Kongesi Tam Metin Kitabı, sy:90-101.