



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

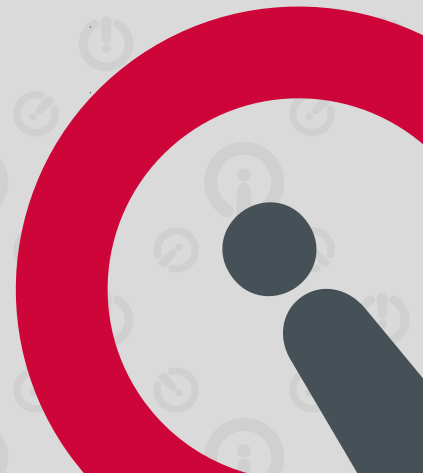
**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ASFALT
AGREGASI İLE ÜRETİLEN
BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ferhat AKKUM

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

TEMMUZ 2021





**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ASFALT AGREGASI İLE ÜRETİLEN
BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ferhat AKKUM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ASFALT AGREGASI İLE ÜRETİLEN BETONLARIN
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Ferhat AKKUM

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Beton günümüzde dünya üzerinde en çok tercih edilen ve yüksek miktarda sarf edilen bir yapı malzemesidir. Su, çimento, agrega ve katkı malzemelerinden oluşan beton hacminin yaklaşık %65-70' ini agregalar oluşturmaktadır. Betonun bu denli tercih edilmesi ile doğru orantılı olarak yüksek miktarda agregaya ihtiyaç olmaktadır. Yüksek oranda agrega kullanımı doğal kaynakların tükenmesine neden olmakta ve buna bağlı olarak doğaya büyük zararlar verilebilmektedir. Bu tez çalışmasında karayollarında servis ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kaldırılması sonucu ortaya çıkan bitümlü asfaltın beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Böylece atıl durumda olan bitümlü asfalt geri dönüştürülerek hem beton ekonomisine hem de çevre korumasına katkı sağlanmış olacaktır. Çalışma kapsamında su/çimento oranı 0,4 ve çimento dozajı 400 kg/m^3 olan 3 farklı set beton numunesi hazırlanmıştır. 1. sette geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası doğal kırma taş agregası ile %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında ikame edilmiştir. 2. sette geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası ve bazalt agregası doğal kırma taş agrega ile her biri %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında ikame edilmiştir. 3. sette bazalt agregası doğal kırma taş agrega ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında ikame edilmiştir. Bazalt agregası, bitümlü asfalt agregası kullanımı ile oluşabilecek muhtemel dayanım kayıplarını telafi edebilmek adına çalışmaya dâhil edilmiştir. Üretilen beton numuneler 28 günlük kür süresinin ardından oda sıcaklığında basınç dayanımı, eğilme dayanımı, test çekici, ultrasonik ses hızı, pull out, su emme, kapilarite, aşınma, hızlı klor geçirimsizlik ve asit direnci deneylerine tabii tutulmuştur. Ayrıca bitümlü asfalt agregası ve bazalt agregasının yüksek sıcaklık altındaki davranışını görebilmek amacı ile numuneler 2'şer saat boyunca $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $400 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklara ayrı ayrı maruz bırakılarak basınç dayanımı, ultrasonik ses hızı, pull out, su emme ve kapilarite ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları doğal kırma taş agrega ile hacimce %40 oranına kadar yer değiştirmesi ile bitümlü asfalt agregasının beton agregası olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Bitümlü asfalt, geri dönüşüm, yüksek sıcaklık, bazalt agregası

Sayfa Sayısı : 81

Danışman : Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF CONCRETES PRODUCED WITH
RECYCLED ASPHALT AGGREGATE

(M. Sc. Thesis)

Ferhat AKKUM

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

July 2021

ABSTRACT

Concrete is the most preferred and widely consumed building material in the world. Aggregates constitute approximately 65-70% of the concrete volume, which consists of water, cement, aggregate and additives. A high amount of aggregate is needed in direct proportion to the preference of concrete so much. The use of aggregates at a high rate causes the depletion of natural resources and accordingly, great harm can be given to nature. In this thesis, it is aimed to investigate the usability of bituminous asphalt, which is the result of removing asphalt pavements that have completed their service life, as concrete aggregate. Thus, by recycling the idle bituminous asphalt, it will contribute to both concrete economy and environmental protection. Within the scope of the study, 3 different sets of concrete samples were prepared with a water/cement ratio of 0.4 and a cement dosage of 400 kg/m³. In the first set, recycled bituminous asphalt aggregate was replaced with natural crushed stone aggregate at the rates of 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. In the 2nd set, recycled bituminous asphalt aggregate and basalt aggregate were replaced with natural crushed stone aggregate at the rates of 0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50% each. In the 3rd set, basalt aggregate was replaced by natural crushed stone aggregate at 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% by volume. Basalt aggregate was included in the study in order to compensate for the possible strength losses that may occur with the use of bituminous asphalt aggregate. After the 28-day curing period, the produced concrete samples were subjected to compressive strength, bending strength, test hammer, ultrasonic sound velocity, pull out, water absorption, capillarity, abrasion, rapid chlorine permeability and acid resistance tests at room temperature. In addition, in order to see the behavior of bituminous asphalt aggregate and basalt aggregate under high temperature, the samples were exposed separately to 200 °C and 400 °C temperatures for 2 hours, and pressure strength, ultrasonic sound velocity, pull out, water absorption and capillarity measurements were made. Experiment results showed that bituminous asphalt aggregate can be used as concrete aggregate with the displacement of natural crushed stone aggregate up to 40% by volume.

Key Words : Bituminous asphalt, recycling, high temperature, basalt aggregate

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen, bilgi birikimini benimle paylaşan, her türlü sorumu cevaplayan Dr. Arş. Gör. Müzeyyen BALÇIKANLI BANKİR'e, Arş. Gör. Nurullah KARACA'ya beton üretimi sırasında benimle birlikte çalışıp yardımını esirgemeyen Baran ÇEKİÇ'e teşekkürlerimi borç bilirim. Malzeme temini sırasında yardımlarını esirgemeyen Ömer Faruk CAN ve Mazlum POLAT'a teşekkürlerimi borç bilirim. Gerek tez yazımı gerekse laboratuvar deneylerinde benden maddi manevi hiçbir yardımını esirgemeyen sevgili Şeyda KAYA'ya teşekkürü borç bilirim. Ayrıca eğitim ve sosyal hayatımda benden maddi manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen canım aileme en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
Bitümlü Bağlayıcılar	2
Katran.....	3
Asfaltlar.....	3
Doğal asfaltlar	3
Rafineri asfaltlar.....	3
Bitümlü Karışımlar.....	3
Asfaltlar.....	4
Asfalt betonu	4
Sathi kaplamalar.....	4
Asfaltın Geri Dönüşüm Yöntemleri	4
Soğuk düzeltme.....	5
Sıcak geri dönüşüm.....	5
Sıcak yerinde geri dönüşüm	5
Soğuk geri dönüşüm.....	5
Tam derinlikten geri kazanma.....	6

	Sayfa
Bazalt.....	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Malzemeler ve Özellikleri.....	13
3.1.1. Çimento.....	13
3.1.2. Agrega.....	13
3.1.2.1. Doğal kırma taş agrega	13
3.1.2.2. Geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agrega	13
3.1.2.3. Bazalt agrega	13
3.1.3. Su	15
3.1.4. Süperakışkanlaştırıcı beton katkısı.....	15
3.2. Karışım Tasarımı.....	16
3.2.1. Beton numene üretimi	16
3.3. Deney Yöntemleri	17
3.3.1. Çökme (kıvam) deneyi.....	18
3.3.2. Birim hacim ağırlık deneyi	18
3.3.3. Basınç dayanımı	19
3.3.4. Eğilme dayanımı	20
3.3.5. Beton test çekici deneyi	21
3.3.6. Aşınma deneyi.....	22
3.3.7. Ultrasonik dalga (ses) hızı deneyi.....	23
3.3.8. Su emme deneyi	24
3.3.9. Kapilarite deneyi	25
3.3.10. Hızlı klor geçirimsizliği deneyi.....	27

	Sayfa
3.3.11. Asit direnci deneyi	29
3.3.12. Çekip çıkarma (pull out) deneyi.....	30
3.4. Yüksek Sıcaklık Etkisi	32
3.5. Asit Saldırısı.....	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Basınç Dayanımı	35
4.1.1. K serisi basınç dayanımı	36
4.1.2. L serisi basınç dayanımı.....	37
4.1.3. M serisi basınç dayanımı.....	38
4.2. Eğilme Dayanımı	40
4.2.1. K serisi eğilme dayanımı.....	41
4.2.2. L serisi eğilme dayanımı	42
4.2.3. M serisi eğilme dayanımı	43
4.3. Beton Test Çekici Deneyi	43
4.3.1. K serisi beton test çekici dayanımı.....	45
4.3.2. L serisi beton test çekici dayanımı	46
4.3.3. M serisi beton test çekici dayanımı	47
4.4. Aşınma Deneyi.....	47
4.4.1. K serisi aşınma miktarı.....	49
4.4.2. L serisi aşınma miktarı	50
4.4.3. M serisi aşınma miktarı	51
4.5. Ultrasonik Dalga (Ses) Hızı Deneyi.....	51
4.5.1. K serisi ultrasonik dalga (ses) hızı	53
4.5.2. L serisi ultrasonik dalga (ses) hızı.....	54

	Sayfa
4.5.3. M serisi ultrasonik dalga (ses) hızı.....	55
4.6. Su Emme Deneyi.....	56
4.6.1. K serisi su emme	57
4.6.2. L serisi su emme.....	58
4.6.3. M serisi su emme	58
4.7. Kapilarite Deneyi	59
4.7.1. K serisi kapilarite katsayısı	60
4.7.2. L serisi kapilarite katsayısı.....	60
4.7.3. M serisi kapilarite katsayısı.....	61
4.8. Hızlı Klor Geçirimsizliği Deneyi	61
4.8.1. K serisi hızlı klor geçirimsizliği	62
4.8.2. L serisi hızlı klor geçirimsizliği.....	63
4.8.3. M serisi hızlı klor geçirimsizliği	64
4.9. Asit Direnci Deneyi.....	64
4.9.1. K serisi asit direnci.....	66
4.9.2. L serisi asit direnci	67
4.9.3. M serisi asit direnci	68
4.10. Çekip Çıkarma (Pull Out) Deneyi.....	68
4.10.1. K serisi çekip çıkarma (pull out) deneyi	70
4.10.2. L serisi çekip çıkarma (pull out) deneyi.....	71
4.10.3. M serisi çekip çıkarma (pull out) deneyi.....	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	77

DİZİN..... 81



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çimento kimyasal analiz sonuçları.....	13
Çizelge 3.2. Agrega kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları.....	14
Çizelge 3.3. Süperakışkanlaştırıcı beton katkısı özellikleri.....	15
Çizelge 3.4. Beton numunelerin tasarım parametreleri.....	16
Çizelge 3.5. Beton numune boyutları ve yapılacak deneyler.....	17
Çizelge 3.6. Ultrasonik dalga hızı aralıkları ve beton kalitesi (Whitehurst, 1951).....	24
Çizelge 3.7. Klor iyonu geçişine karşı direnç sınıfları.....	28
Çizelge 3.8. Yüksek sıcaklık etkisinde beton bünyesindeki değişimler.....	33
Çizelge 3.9. Asit türlerinin beton üzerindeki etkisi.....	34
Çizelge 4.1. Basınç dayanımına ait sonuçlar.....	35
Çizelge 4.2. Eğilme dayanımına ait sonuçlar.....	40
Çizelge 4.3. Beton test çekici sonuçları.....	44
Çizelge 4.4. Aşınma deneyi sonuçları.....	48
Çizelge 4.5. Ultrasonik dalga hızı deney sonuçları.....	52
Çizelge 4.6. K serisi numunelerinin kalitesi.....	53
Çizelge 4.7. L serisi numunelerinin kalitesi.....	54
Çizelge 4.8. M serisi numunelerinin kalitesi.....	56
Çizelge 4.9. Su emme deneyi sonuçları.....	56
Çizelge 4.10. Kapilarite deneyi sonuçları.....	60
Çizelge 4.11. Hızlı klor geçirimliliği deneyi sonuçları.....	61
Çizelge 4.12. Klor iyon geçirimlilik değerlerinin sınıflandırılması.....	62
Çizelge 4.13. Asit direnci deneyi sonuçları.....	65
Çizelge 4.14. Çekip çıkarma (pull out) deneyi sonuçları.....	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bazalt agregası (a) ve geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası (b)	14
Şekil 3.2. Agrega karışımı granülometri eğrisi	15
Şekil 3.3. Betoniyer ve kalıptaki numuneler.....	17
Şekil 3.4. Beton basınç dayanım deney düzeneği.....	19
Şekil 3.5. 3 noktada eğilme deneyi düzeneği.....	20
Şekil 3.6. Test çekici deney düzeneği (a) test çekici değerlendirme grafiği (b).....	21
Şekil 3.7. Geniş diskli aşınma deney düzeneği.....	22
Şekil 3.8. Aşınmış beton numune örneği	23
Şekil 3.9. Ultrasonik dalga hızı deney düzeneği.....	23
Şekil 3.10. 24 saat suda bekletilen numuneler	25
Şekil 3.11. 24 saat etüvde bekletilen numuneler.....	25
Şekil 3.12. Parafinlenmiş numuneler	26
Şekil 3.13. Kapilarite deney düzeneği	27
Şekil 3.14. Vakum düzeneği	28
Şekil 3.15. Hızlı klor geçirimliliği deney düzeneği	28
Şekil 3.16. Aside maruz bırakılan numuneler.....	29
Şekil 3.17. Asitte 30 gün bekletilen numuneler	30
Şekil 3.18. Çekip çıkarma (pull out) deney düzeneği	31
Şekil 3.19. Çekip çıkarma sonrası parçalanmış numune	31
Şekil 4.1. K serisi (DKA-GBA) basınç dayanımı sonuçları	36
Şekil 4.2. L serisi (DKA-BA-GBA) basınç dayanımı sonuçları.....	37
Şekil 4.3. M serisi (DKA-BA) basınç dayanımı sonuçları	39
Şekil 4.4. K serisi (DKA-GBA) eğilme dayanımı sonuçları	41

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. L serisi (DKA-BA-GBA) eğilme dayanımı sonuçları.....	42
Şekil 4.6. M serisi (DKA-BA) eğilme dayanımı sonuçları.....	43
Şekil 4.7. K serisi (DKA-GBA) beton test çekici sonuçları	45
Şekil 4.8. L serisi (DKA-BA-GBA) beton test çekici sonuçları.....	46
Şekil 4.9. M serisi (DKA-BA) beton test çekici sonuçları	47
Şekil 4.10. K serisi (DKA-GBA) kütlece aşınma deneyi sonuçları.....	49
Şekil 4.11. L serisi (DKA-BA-GBA) kütlece aşınma deneyi sonuçları	50
Şekil 4.12. M serisi (DKA-BA) kütlece aşınma deneyi sonuçları.....	51
Şekil 4.13. K serisi (DKA-GBA) ultrasonik dalga hızı sonuçları	53
Şekil 4.14. L serisi (DKA-BA-GBA) ultrasonik dalga hızı sonuçları.....	54
Şekil 4.15. M serisi (DKA-BA) ultrasonik dalga hızı sonuçları.....	55
Şekil 4.16. K serisi (DKA-GBA) su emme deneyi sonuçları	57
Şekil 4.17. L serisi (DKA-BA-GBA) su emme deneyi sonuçları.....	58
Şekil 4.18. M serisi (DKA-BA) su emme deneyi sonuçları	59
Şekil 4.19. K serisi (DKA-GBA) hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları	62
Şekil 4.20. L serisi (DKA-BA-GBA) hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları.....	63
Şekil 4.21. M serisi (DKA-BA) hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları.....	64
Şekil 4.22. K serisi (DKA-GBA) asit direnci deney sonuçları	66
Şekil 4.23. L serisi (DKA-BA-GBA) asit direnci deney sonuçları.....	67
Şekil 4.24. M serisi (DKA-BA) asit direnci deney sonuçları	68
Şekil 4.25. K serisi (DKA-GBA) çekip çıkarma (pull out) deney sonuçları.....	70
Şekil 4.26. L serisi (DKA-BA-GBA) çekip çıkarma (pull out) deney sonuçları.....	71
Şekil 4.27. M serisi (DKA-BA) çekip çıkarma (pull out) deney sonuçları	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

°C	Santigrat derece
cm ³	Santimetre küp
Kg	Kilogram
MPa	Megapascal
mm	Milimetre
dm ³	Desimetreküp
lt	Litre
mm ²	Milimetre kare
Gr	Gram
N	Newton

Kısaltmalar

Açıklamalar

BA	Bazalt agregası
DKA	Doğal kırma taş agregası
GBA	Bitümlü asfalt agregası
UPV	Ultrasonik dalga hızı

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Betonun bu kadar çok tercih edilmesinin sebepleri arasında üretiminin kolay olması, istenilen özelliklerde üretilebilmesi ve yüksek dayanımının olması yanında sertleşmemiş betonun istenilen formda şekil alabilmesi vardır. Beton hacmi, yaklaşık %65-75 oranında agregadan, %10-18 sudan ve %8-16 çimentodan oluşan kompozit bir malzemedir. Beton içerisinde agrega kullanılmasının birçok sebebi vardır. Bunlardan bazıları; çimentoya göre daha ekonomik ve kolay bulunabilir olması, çimentonun daha kolay bağlanmasına yardımcı olması, uygun derecelendirilmiş ince ve kaba agrega kullanılmasıyla beton içerisindeki boşlukları azaltarak betonun dayanımının artırılması olarak sıralanabilir. Aynı zamanda sadece çimento ile üretilen betonun su ihtiyacının daha fazla olması sebebiyle mukavemet düşecek, beton daha fazla büzülecek ve çatlaklara yol açacaktır. Agreganın kullanılmasıyla hem betonun su ihtiyacı azaltılacak ve böylece betonun mukavemetinde artış sağlanacak hem de büzülme azalacağı için betonda çatlak oluşumu engellenecektir. Tüm bu belirtilen sebeplerden dolayı beton içeriğinde yüksek oranlarda agrega bulundurulur. Bu yüksek agrega kullanım oranına bağlı olarak kaliteli doğal agrega kaynaklarının azalması, agregaya bağlı olarak beton maliyetinde artış ve ayrıca yıkım ve inşaat atıklarının oluşması, atıkların düzenli depolama sahaları çevre kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır. Bu gibi sebepler, atık malzemelerin beton içerisinde doğal agregaların yerine kullanılmasını birçok araştırmancının konusu haline getirmiştir.

Servis ömrünü tamamlamış olan asfalt kaplama yollardan kazınan asfalt kaplama malzemeleri atık sahalarında depolanır. Asfalt çakıl, kaya vb. gibi granüle malzemeler ile bitümün karıştırılmasıyla üretilir. Asfalt kaplama içeriği %95 granüle agregalar ve agregaları bağlayan %5 bitümün karıştırılmasıyla oluşturulur (NAPA, EAPA, 2011). Kazınmış asfalt kaplama malzemelerin beton içerisinde agrega olarak kullanılmasıyla hem doğal agrega ihtiyacı azalacaktır hem de ortaya çıkan atık malzemelerin depolanması için gerekli saha ihtiyacı azalacağından ekonomiye katkı sağlanabilecektir (Işıkdağ, 2009). Literatürde yapılan çalışmalarda üretilecek olan betonların en uygun performans ve ekonomikliğini sağlamak amacıyla beton içerisindeki çimento miktarını azaltmak için puzolanik özelliğe sahip atık malzemeler olan uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu vb. ürünler kullanılmıştır (Öztürk, 2020). Agreganın yerine ise geri dönüştürülmüş beton agregası, atık döküm kumu, poliüretan vb. malzemeler kullanılarak hem ekonomiklik hem de çevre

sorununa çözüm aranmaktadır. Bu tez çalışmasında ortadan kaldırılması gereken bitümlü asfaltın atık malzeme olması yerine beton içerisinde kullanılacak bir agregaya haline getirilmesi üzerine çalışıldı. Literatürde yapılan çalışmalara göre beton içerisinde agregaya olarak bitümlü asfaltın kullanılmasının betonun bazı mekanik ve durabilite özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Bitümlü asfaltın olumsuz yönde etkilediği bu özellikleri iyileştirmek için doğal kırma taş agregası ve bitümlü asfalttan daha dayanıklı bir agregaya olarak bazalt agregası çalışmaya dahil edilmiştir. Bu tez çalışmasında Hatay büyükşehir belediyesi fen işleri müdürlüğünden temin edilen yol yenileme çalışması sonrası atık bitümlü geri dönüştürülmüş asfalt agregası (GBA), doğal kırma taş (DKA) ve bazalt agregasının (BA) belirli oranlarda birlikte kullanılması durumunda taze beton ve sertleşmiş beton özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmada 3 set beton üretilmiştir. 1. sette GBA DKA ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80, %100 oranlarında ikame edilmiştir. 2. sette GBA ve BA DKA ile hacimce her biri %0, %10, %20, %30, %40, %50 oranlarında ikame edilmiştir. 3. sette BA DKA ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80, %100 oranlarında ikame edilmiştir. Her 3 sette de su/çimento oranı 0,4 çimento dozajı 400 kg/m^3 sabit tutularak CEM I 42,5 normal Portland çimentosu kullanılarak toplamda 16 farklı beton karışımı üretilmiştir. Üretimi yapılan betonların taze haldeyken slump ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Kalıptan çıkarıldıktan sonra 28 gün kür havuzunda bekletilen numuneler üzerinde farklı sıcaklıklarda ($25 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $400 \text{ }^\circ\text{C}$ de) çekip çıkarma (pull-out), basınç dayanımı, ultrasonik ses hızı, su emme ve kapilarite deneyleri yapılmıştır. Yanı sıra 28 günlük sertleşmiş beton numuneleri üzerinde oda sıcaklığında eğilme dayanımı, beton test çekici, aşınma deneyi, hızlı klor geçirimsizliği ve asit dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Tüm deneyler 3'er numune üzerine uygulanmış ve değerlerin ortalaması alınarak sonuçlar belirlenmiştir.

Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm ham petrolün doğada çökmesiyle kendiliğinden oluşan veya petrol rafinerilerinde damıtma yoluyla elde edilen veya kömürün karbonizasyonu sonucunda ortaya çıkan renk olarak siyah ve koyu kahverengi arasında, yüksek viskoz, katı veya yarı katı formlarda olan hidrokarbon bir atık olan bir bağlayıcıdır (Annual Magazine, 2002). Katran ve asfaltlar olmak üzere iki gruba ayrılır.

Katran

Doğada bulunan kömür, odun ve bazı organik maddelerin kuru damıtılması yoluyla elde edilen siyah renkli bir yağ türüdür. Yapısındaki düşük bitüm oranı, sıcaklığa karşı hassas olması ve canlı sağlığına zararlı olması gibi nedenlerle esnek kaplamalarda direkt kullanılmaz. Katran bitüm ile karıştırılarak yüzeysel kaplamalarda kullanılır (Dhannoon, 2017). Katranın damıtılması veya buharlaşması sonucu oluşan sert haldeyken kolaylıkla kırılabilen düşük sıcaklıklarda eriyen siyah renkli ve parlak maddeye ise **zift** denir. Asfalt kaplama yol çalışmalarında kullanılır.

Asfaltlar

Asfalt doğada asfalt gölü şeklinde veya kaya yarıklarında doğal halde bulunabilen veya ham petrolün işlenmesi sonucu elde edilen yan bir üründür. Koyu renkli ve bağlayıcılık özelliği olan asfalt doğal ve rafineri asfalt olmak üzere ikiye ayrılır.

Doğal asfaltlar

Doğada çoğunlukla mineraller ile karışık halde bulunan ve buldukları yere göre kaya veya göl asfaltı olarak adlandırılırlar. Venezuela sınırları içinde Trinidad adasındaki göl asfaltı en çok kullanılan göl asfaltıdır. Kaya asfaltları ise kum taşı, kalker gibi mineral maddeler ile karışık halde içeriğinde maksimum %12 bitüm içerirler. En yaygın kullanılan kaya asfaltları Gilsonite ve Unitaitite asfaltlarıdır (Orhan, 2005).

Rafineri asfaltlar

Ham petrolün damıtılması sonucu ortaya çıkan rafineri asfaltlar genellikle asfalt çimentosu, sıvı petrol asfaltları, asfalt emülsiyonları olmak üzere 3 gruba ayrılırlar.

Bitümlü Karışımlar

İstenilen özellikte bir kaplama üretmek için içerisinde kaplamayı oluşturacak olan malzemelerin oranlandığı, karıştırıldığı ve gerek duyulması halinde ısıtıldığı bir karışım tesisinde bitüm ve agreganın karıştırılması ile elde edilen karışımlardır (Çubuk, 2007).

Asfaltlar kaplama

Asfalt karışım tesislerinde yaklaşık 230 °C sıcaklıklarda filler, mineral agrega ve bitümün karıştırılmasıyla elde edilen karışımlardır. En çok kullanılan asfalt türleri sıcak silindirenmiş asfalt ve mastik asfalt örnek olarak verilebilir. Sıcak silindirenmiş asfalt trafiğin yoğun olduğu (otoyollar, şehir içi caddeler vb.) yerlerde kullanılan yüksek kaliteli malzemedir. En önemli özelliği içerisinde orta boyutlu danelerin az olması daha çok ince agrega, filler ve iri agregadan oluşmasıdır. Mastik asfalt, bitüm, ince agrega ve iri agregadan oluşan pürüzsüz yüzey özelliği sağlayan bir malzemedir (Çubuk, 2007).

Asfalt betonu

Dayanıklılık ve kalıcılığını agregalarının kenetlenmesinden ve ince agregaların bitüm ile oluşturduğu harçtan alan, belirli bir gradasyonda, yüksek oranda ve daha sert bitüm ile daha fazla ince agrega ve fillerden ve daha az oranda iri agregadan oluşur (Çubuk, 2007).

Sathi kaplamalar

Sathi kaplama, temel tabakaları (plent-miks temel, granüler temel çimento bağlayıcı temel vb.) ile beton veya asfalt kaplamaların üzerine ince bir tabaka bitüm uygulandıktan hemen sonra üzerine agrega serilip silindirle sıkıştırılmasıyla oluşturulan yüzeysel kaplama türüdür (Arıkan, 1997). Sathi kaplamalar ilk başlarda, sadece yolu tozdan korumak amacıyla yapılmasına karşın sonradan sathi kaplamalardan, kullanılan agreganın ömrünü uzatmak, fren mesafesini kısaltmak, aşınan ve cilalanan sıcak karışım kaplamalarda trafiğin emniyetli bir şekilde devam etmesini sağlamak gibi özelliklerde istenmiştir (Arıkan, 1998).

Asfaltın Geri Dönüşüm Yöntemleri

Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği (ARRA), geri dönüşüm yöntemlerini 5 ana bölümde tanımlamıştır (Arpa, 2011).

1. Soğuk düzeltme (Cold planing)
2. Sıcak geri dönüşüm (hot recycling)
3. Sıcak yerinde geri dönüşüm (hot in-place recycling)

4. Soğuk geri dönüşüm (cold recycling)
5. Tam derinlikten geri kazanma (full depth reclamation)

Soğuk düzeltme

Bitümlü asfalt kaplamada bozulmanın oluştuğu kalınlık özel tasarlanmış ekipmanlar kullanılarak kaldırılmakta ve böylelikle oluşan sürtünmeli yüzey dokusu; yolun hemen trafiğe açılmasını sağladığı gibi kazınan malzemenin yerine hemen veya daha sonradan geri dönüştürülmüş malzemeler ile kaplama imkânı sağlamaktadır (Yılmaz ve diğerleri, 2011).

Sıcak geri dönüşüm

Dünyada kazınmış asfalt malzemenin en yaygın geri dönüşüm yöntemi sıcak geri dönüşümdür (Arpa, 2011). Servis ömrünü tamamlamış olan asfalt kaplamadan kazınan malzemenin bir karışım tesisinde ısıtılarak işlem uygulanarak yeni bitüm ve agrega ile karıştırılarak geri dönüştürülmesi işlemidir (Salta, 2010).

Sıcak yerinde geri dönüşüm

Sıcak yerinde geri dönüşüm uygulamasında asfalt kaplamanın geri dönüşümünün %100 ü sahada gerçekleştirilir. Sıcak yerinde geri dönüşüm uygulamasında genelde onarım derinliği 20-50 mm arasında değişmekte ama gerek duyulduğu takdirde bazı ekipmanlarla bu derinlik 75 mm ye kadar çıkarılabilmektedir. Mevcut kaplama ısıtılarak yumuşatılır ve gevşeyen kaplama onarılacak derinliğe kadar kazınır. Kazınmış asfalt daha sonra iyice karıştırıldıktan sonra geleneksel ekipmanlar ile yerleştirilir ve sıkıştırılır. Bu onarım işleminde geri dönüşüm malzemesi, yeni bitümlü bağlayıcı, işlenmemiş agrega ve yeni bitümlü sıcak karışım gerektiği şekilde eklenebilir (Arpa, 2011).

Soğuk geri dönüşüm

Soğuk geri dönüşüm ısıtılarak işlem yapılmadan hasar görmüş asfalt kaplamanın geri dönüşüm işlemidir. Soğuk yerinde geri dönüşüm ve soğuk merkezi plantte geri dönüşüm olmak üzere ikiye ayrılır. Soğuk yerinde geri dönüşüm metodunda kaplamanın tamamı geri dönüştürülür. Bu geri dönüşümde asfalt emülsiyon katkısı kullanılırsa 50-100 mm, portland çimentosu,

uçucu kül, kireç gibi kimyasal katkı maddeleri kullanılırsa 125-150 mm derinlikte geri dönüşüm yapılabilir. Soğuk merkezi plentte geri dönüşümde kazınan malzemelerin bir karışım tesisine götürülerek asfalt emülsiyon katkısı kullanılarak karıştırılmasıyla elde edilir (Arpa, 2011).

Tam derinlikten geri kazanma

Tam derinlikten geri kazanma, mevcut kaplamanın tamamının veya altındaki temel, alt temel veya alt zemin malzemelerinin önceden belirlenmiş bir kısmının hiçbir ısıl işlem uygulanmadan kazınarak stabilizasyon malzemesi ilave edilerek karıştırılıp sıkıştırılması ile temel tabakası elde edilmesi işlemidir. Stabilizasyon malzemesi olarak kireç, uçucu kül, portland çimentosu, köpük asfalt vb. katkı malzemelerinin biri veya bir kaçıyla kullanılır. Eğer hedeflenen gradasyona ulaşılmamış ise granüler agrega ilave edilebilir (Yılmaz ve diğerleri, 2011).

Bazalt

Türkiye’de Trakya bölgesi, Diyarbakır ve Afyon illerinde çeşitli özelliklerde bulunan volkanik kayaç sınıfında yer alan temel olarak feldspattan oluşan doğada yaygın bulunan bir kayaç türüdür (Yıldız ve diğerleri, 2008). Diyarbakır bazalt yatakları 80 m derinlikte ve 10000 km² bir alanda yayılma gösterirler. Rengi koyu gri ile siyah arasında değişen bazalt, lavların soğuma yüzeyine dik olarak katılaşması ile oluşmuştur. Bazalt agregası koyu gri-siyah renkleri arasında değişen bir görünüme sahip olup bazaltın özgül ağırlığı 2,3-3,3 g/cm³ arasında değişmektedir. Karacadağ volkanik dağının lavlarının püskürmesi sonucu oluşan bazalt kayaçlarının temel bileşenleri arasında Si, Fe, Mg, Al, Ca, Na, K ve Ti elementleri bulunur (Bağırsakçı ve diğerleri, 1995). Bazalt asitlere, sürtünmelere, darbelere, dona, karşı dayanıklı olduğu için yapılarda bolca kullanılmıştır (Erkan, 1995). Çok ağır ve sert oluşlarıyla beraber çok koyu gri renkte olmaları bazen kullanımlarını kısıtlamakta olsa da dayanıklı olmaları tercih edilme sebeplerindedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Abedalqader ve diğerleri (2020), çalışmalarında geri dönüştürülmüş asfalt agregası (RAP) ve geri dönüştürülmüş beton agregasının (RCA) doğal agrega ile sırasıyla % 10,% 20 ve% 30 ve % 20,% 40,% 60 ve %100 değiştirilmesi ile 20 C, 200 C, 400 C ve 500 C sıcaklıklarda betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Basınç, yarmada çekme, eğilme dayanımları, elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Aynı sıcaklık için RAP ve RCA ilaveleri arttıkça ve sabit ikame oranları için sıcaklık arttıkça mekanik özelliklerde azalma olduğunu saptamışlardır. Ama bu özelliklerdeki düşüşün, çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiyi azaltma çabasına kıyasla çok önemli olmadığı için RAP ve RCA' nın yüksek sıcaklıklarda betona dâhil edilme potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Elaty ve diğerleri (2020), çalışmalarında beton kaplama uygulamaları için, farklı çimento dozajlarında (250, 300 ve 350 kg / m³) doğal iri agrega yerine ağırlıkça % 0,% 15 ve % 30 geri dönüştürülmüş asfalt agregası (RAP) kullanarak beton numuneler üretmiş ve RAP'ın beton kaplamada kullanılmasını araştırmışlardır. Beton numunelerin basınç dayanımı, elastisite modülü ve 28 günlük possion oranı özelliklerini incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre, RAP içeriğinin artmasıyla şahit numuneye kıyasla betonun basınç dayanımı, elastisite modülü ve possion oranının azaldığını gözlemlemişlerdir. Beton içerisinde RAP kullanmanın beton kaplamanın performansını arttıracak olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca geri dönüştürülmüş asfaltın geleneksel yöntemlerle portland çimentosu betonunda da kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bittencourt ve diğerleri (2020), çalışmalarında atık olarak biriken asfalt kaplama agregasının (RAP) depolama sahalarının azlığı ve çevresel sorunlara yol açtığından RAP'ı geçirgen beton üretiminde agrega olarak kullanarak bu sorunların çözümlerine katkıda bulunmayı amaçlamışlardır. RAP doğal agrega ile %10 ile %100 arasında yer değiştirilmiş ve üretilen numunelerin %0 RAP içerikli kontrol numunesi ile fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri karşılaştırılmıştır. Mekanik davranışlarda bir azalma görülmesine karşın geçirgen beton için sızma performansının yükseldiğini gözlemlemişlerdir. RAP kullanılarak üretilen betonun yüksek mukavemet gerektirmeyen yapısal olmayan geçirgen beton olarak kullanılabileceği veya bisiklet yolu, kaldırımlar için standartlardaki minimum değeri elde ettiği belirtilmiştir.

Rezaei ve diğerleri (2020), çalışmalarında mikro silika ve geri dönüştürülmüş asfalt agreganın (RAP), silindirle sıkıştırılmış betonların (SSB) özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. RAP ile doğal agregaya kısmi olarak değiştirilerek 4 farklı karışım üretmişlerdir. En iyi performansı veren %50 RAP ikamesi ile üretilen SSB'yi mekanik özelliklerini arttırmak için çimento yerine %3, %6, %9 ve %12 oranlarında mikro silika (MS) kullanarak yeniden üretmişlerdir. MS oranı arttıkça mekanik özellikleri artmıştır. MS ilavesinin %50 RAP içerikli SSB karışımının mukavemetini arttırmasına rağmen basınç dayanımının min mukavemet ölçütüne (27.6 MPa) ulaşamadığını tespit etmişlerdir. En iyi sonucu veren %50 RAP ve %9 MS katkılı SSB'nin yüksek mukavemet gerektirmeyen uygulamalarda kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda SSB üretiminde %100 RAP kullanımının çekme, yarıma ve eğilme mukavemetlerini azaltmasından dolayı doğal agreganın tamamının RAP ile değiştirilmemesini önermişlerdir.

Li-Ping ve diğerleri (2020), çalışmalarında yüksek süneklikli çimento esaslı kompozitlerin (HDCC) üretiminde nehir kumu (RS) yerine geri dönüştürülmüş asfalt agreganın (RAP) potansiyel kullanımını araştırmışlardır. Nehir kumu ile RAP'ı %0 %20 %40 %60 %80 %100 oranlarında değiştirmişlerdir. Karışımlardaki RAP içeriğinin, HDCC'nin akışkanlık ve makro mekanik özelliklerini nasıl etkilediğini değerlendirmek için deneyler yapmışlardır. Kontrol numunesine göre RAP ikamesi ile HDCC'nin akışkanlığının azaldığını gözlemlemişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu gözlemleri sonucu maksimum dane boyutu 600 μ m olan ince RAP kullanılması durumunda RAP ile matris arasında daha iyi bağlanma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumun da HDCC'nin basınç dayanımını (55 MPa) koruduğunun açıklaması olduğunu belirtmişlerdir. RAP'ın HDCC'nin çekme gerilme dayanımını önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Bu sonuçlara bağlı olarak HDCC'nin özelliklerinden ödün vermeden nehir kumu yerine RAP kullanılabileceğini gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlar ışığında RAP'ın HDCC üretimi için yeni agregaya kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir.

Shatarat ve diğerleri (2019), çalışmalarında geri dönüştürülmüş asfalt agregası (RAP) ve geri dönüştürülmüş kaba agreganın (RCA) beton kolonların teorik ve deneysel aksel basınç davranışını nasıl etkileyeceğini incelemişlerdir. Kolonların üretiminde doğal agregaya yerine RAP ve RCA'yı ağırlıkça %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında kullanmışlardır. Bu karışımların dışında sadece RAP ve RCA ile oluşan 4 farklı karışım daha yapmışlardır. Sonuçlara göre beton bünyesindeki RAP ve RCA miktarı arttıkça kolonların aksel

kapasitesinde azalma olduğunu görmüşlerdir. Deneysel sonuçların teorik sonuçlara göre daha yüksek çıktığını gözlemlemişlerdir. Bu durumda RAP, RCA ve RAP-RCA kombinasyonları ile üretilen kolonların yapılarda güvenle kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Abraham ve Ransinchung R.N (2019), çalışmalarında geri dönüştürülmüş asfalt agregasının (RAP) çimentolu karışımlarda kullanımının fizibilitesini araştırmışlardır. İnce geri dönüştürülmüş asfalt agregasının etkisini anlamak için beton karışımlar yerine çimento karışımları hazırlamışlardır. İnce RAP agregalarını doğal ince agregalar ile hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında değiştirmişlerdir. Ek olarak silis dumanı ve aktif şeker kamışı küspe külü gibi mineral katkıları ile çimentoyu kısmen değiştirmişlerdir. RAP agregalı çimento harçlarının, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı açısından iyi performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca RAP harçlarındaki sürüklenen havanın çimento harcını don ve tuz hasarından koruduğunu gözlemlemişlerdir.

Shadmani ve diğerleri (2018), çalışmalarında geri dönüştürülmüş asfalt agregası (RAP), silika dumanı (SD) ve stiren bütadien kauçuk (SBR) lateksin betonun mekanik, geçirgenlik performansını ve mikro yapı özelliklerini nasıl etkileyeceğini incelemişlerdir. Deney çalışmasında RAP ile iri agregayı ağırlıkça %33 %66 ve %100 oranında değiştirmişlerdir. RAP içeriğinin mekanik ve geçirgenlik özelliklerinde azalmaya yol açtığını ama SD ve SBR ilavesi ile azalan mekanik ve geçirgenlik özelliklerinde önemli bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir. SD ve SBR kullanımının ara yüzey geçiş bölgesi kalınlığını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Al-Mufti, Fried (2017), çalışmalarında geri dönüştürülmüş asfalt agregası (RAP) betonlarının mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesini araştırmışlardır. RAP'ın yüzey özelliklerini değiştirerek üretilen betonun mukavemetinin artırılmasının orta seviyede mukavemetin gerekli olduğu koşullarda bu agreganın normal agregaya alternatif olabilmesi potansiyelini arttıracaklarını belirtmişlerdir. Agreganın yüzey özelliklerini değiştirmek için mekanik pürüzlendirme ve kimyasal çözücüyle aşındırma tekniklerini kullanmışlardır. Mekanik pürüzlendirme yöntemiyle yüzey özelliği değiştirilen agrega ile üretilen betonun dayanımını normal çakıl ile üretilen betonun dayanımına çıkarabilmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Kimyasal çözücüyle aşındırma tekniğinin betonun mukavemetini arttıramaya bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Singh ve diğeri (2017), çalışmalarında farklı öğütme yöntemlerinin ince geri dönüştürülmüş asfalt agregasının (RAP) betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Buna ek olarak ince geri dönüştürülmüş asfalt agregası ile üretilen betonun özelliklerini incelemişlerdir. Doğal ince agrega ve ince geri dönüştürülmüş asfalt agregası % 0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında değiştirilmiştir ve RAP oranı arttıkça betonun mekanik özelliklerinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Kontrollü yıkım tekniği kullanılarak üretilen %50 ince RAP'ın otoyollarda, daha az yoğun yollarda ise %100 ince RAP kullanılabileceğini önermişlerdir.

Shi ve diğeri (2017), çalışmalarında stoklarda biriken geri dönüştürülmüş asfalt agrega (RAP) miktarını azaltmak için portland çimentosu betonunda (PCC) RAP'ın iri agrega ile değiştirilmesini ve bu değişimin portland çimentosu beton kaplama karışımlarını formüle etmek için pratik bir yol olup olmadığını araştırmışlardır. RAP ile üretilen betonun portland çimentosu betonuna kıyasla mekanik özelliklerinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Eğilme dayanımındaki azalmanın basınç dayanımına göre daha az olduğunu ve eğilme dayanımının kaplama uygulamaları için daha kabul edilebilir olduğunu ve bu bulgunun ümit verici olduğunu belirtmişlerdir. Uygun hale getirilmiş karışım tasarımından elde edilen sonuçların daha fazla RAP ikamesine izin verebileceğini belirtmişlerdir.

Brand ve Roesler (2017), çalışmalarında geri saçılmış elektron mikrograflarının görüntü analizi yöntemiyle geri dönüştürülmüş asfalt agregası ile dolomit agregasının harç ile ara yüzey geçiş bölgesini ölçüp karşılaştırmışlardır. RAP agregalı ara yüzey geçiş bölgesinin, dolomit ara yüzey geçiş bölgesine göre daha az C-S-H jeli ve CH olduğunu ve daha gözenekli olduğunu gözlemlemişlerdir. Silis dumanı ilavesinin, RAP agregalı ara yüzey geçiş bölgesinde parçacıkların boyutunu ve gözenekliliğini küçültmesine rağmen dolomit agregasına yeterince benzetemediğini gözlemlemişlerdir. RAP agregasının varlığının yarattığı betonun mikro yapısındaki değişimlerin, betonun mukavemet ve elastisite modülündeki azalmanın kanıtı olduğunu belirtmişlerdir.

Coppola ve diğeri (2016), çalışmalarında beton üretiminde geri dönüştürülmüş asfalt agregasının (GA) doğal agregalar ile kısmi olarak (max. %20) yer değiştirilmesi ile yeniden kullanımını araştırmışlardır. GA ile üretilen çimento harcının ara yüzey zayıflığından dolayı basınç dayanımında %50' ye kadar düşüş yaşadığını gözlemlemişlerdir. Bu azalmayı telafi etmek için su/çimento oranının düşürülmesi gerektiğini gözlemlemişlerdir. Su/çimento

oranını düşürdükten sonra üretilen betonun kontrol numunesine benzer kuruma büzülme değeri gösterdiğini belirtmişlerdir. Beton üretmek için GA'nın doğal agregalar ile %15'e kadar kısmi ikame edilebileceğini belirtmişlerdir.

Settari ve diğerleri (2015), çalışmalarında çeşitli boyutlarda geri dönüştürülmüş asfalt agregası (RAP) ile doğal agregayı yer değiştirip silindirle sıkıştırılmış (SSB) beton üretmişlerdir. Geri dönüştürülmüş asfalt agregasının SSB'nin mekanik özellikleri ve dayanıklılığını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. RAP miktarı arttıkça betonun yoğunluğunun azaldığını ve SSB'nin maksimum % 50 RAP ilavesi ile üretilebileceğini belirtmişlerdir.

Okafor (2010), çalışmasında kaba agrega olarak geri dönüştürülmüş asfalt agregası içeren portland çimentosu betonu üretmiştir. Farklı su / çimento ve karışım oranlarına sahip 6 farklı beton üretmiş olup bu betonların mekanik özelliklerini araştırmıştır. Deney sonuçlarına bağlı olarak geri dönüştürülmüş asfalt agregası ile üretilmiş betonun dayanımının asfalt bağlayıcı-kum-dolgu matrisi arasındaki bağlanma dayanımına bağlı olduğunu ayrıca geri dönüştürülmüş asfalt agrega kullanılarak üretilen betonun dayanımının 25 MPa'ın üzerine çıkamayacağını belirtmiştir. Orta ve düşük dayanımlı betonlar için geri dönüştürülmüş asfalt agregasının doğal agrega yerine kullanılabilirliğini belirlemiştir.

Huang ve diğerleri (2005), çalışmalarında geri dönüştürülmüş asfalt agregası (RAP) içeren portland çimentosu betonunun mekanik özelliklerini laboratuvar deneyleri ile incelemişlerdir. Kaba ve ince RAP olmak üzere iki tür malzeme kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre hiçbir değişiklik yapmadan geleneksel yöntemler ile RAP'ın portland çimentosu betonuna dâhil edilebileceğini belirtmişlerdir.

Oraimi ve diğerleri (2009), çalışmalarında geri dönüştürülmüş asfalt agregasının (RAP) iri agrega olarak beton içerisinde kullanımının betonun özelliklerini nasıl etkileyeceğini araştırmışlardır. RAP ile doğal iri agregayı %25, %50, %75, %100 oranlarında değiştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre RAP içeriği arttıkça çökmede azalma olduğunu ve basınç, eğilme dayanımlarında düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. RAP'ın yapısal olmayan betonlarda kullanılabilir olduğunu ama uygulamaya göre sınırlandırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Kishore ve diğerkleri (2015), çalışmalarında beton karışımlarında bazalt agrega kullanımının betonun basınç dayanımı ve işlenebilirlik özelliklerini nasıl etkileyeceğini araştırmışlardır. Bazalt agrega ve kalker farklı oranlarda ((%0,100),(%25,75),(%50,50),(%75,%25),(100%,0%)) birleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre beton karışımlarına bazalt agrega ilavesi ile beton özelliklerinde iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir.

Orhan ve diğerkleri (2020), çalışmalarında beton karışımlarında bazalt agrega kullanımının betonun ısıl iletkenlik analizleri, dayanım analizleri ve mikroorganizmalara karşı davranışını incelemişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde ısıl iletkenlik katsayısını ortalama 0.2497 W/mK ve betonu normal mukavemetli olarak belirlemişlerdir. Ayrıca betonun Clostridium bakterilerine karşı dirençli ve bu bakterilerin hareketlerinde kısıtlayıcı bir özelliğe sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Boğa (2015), alışmasında Afyonkarahisar bölgesinden elde edilen bazalt agregasını geçirimli beton içerisinde kullanmıştır. Bazalt agregasını doğal kırma taş agregası ile hacimce %0, % 25, 50, 75 ve %100 oranlarında yer değiştirmiştir. Üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre bazalt agrega kullanılması ile geçirimli betonların birim ağırlık değerlerinde düşüşler olduğunu gözlemlemiştir. Bu düşüşe bağlı olarak, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada-çekme dayanımı değerlerinde de düşüş olduğunu gözlemlemiştir.

Al-Baijat ve diğerkleri (2012), çalışmalarında bazalt agregası içeren kompozit kolonların aksenal basınç kapasitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Kontrol numunesi olarak geleneksel kalker kompozit kolon üretilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde kompozit kolon içeriğinde bazalt agregası oranı arttıça kolonların mukavemetinde ve kolonların yapısal davranışında önemli bir iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kozak (2020), çalışmasında bazalt agrega ve kalker agregasının travers üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında agrega türü ve maksimum dane çapı değiştirilerek 6 farklı beton üretilmiştir. Üretilen beton numuneler üzerinde eğilme dayanımı, upv, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, donma znme ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde tüm karışımların Dywidag normlarına göre gerekli dayanımı sağladığını belirlemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1. Çimento

Bu tez çalışmasında MEDCEM Çimento Fabrikası tarafından üretilen normal portland çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.12 gr/cm^3 olup kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimento kimyasal analiz sonuçları

Oksitler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Kızdırma kaybı	Çözünmez Kalıntı	Serbest Kireç
CEM I	19,35	4,86	3,65	2,4	63,94	1,55	0,08	0,54	3,01	0,54	1,21

3.1.2. Agregası

Tez çalışmasında 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22 mm boyutlarında olan doğal kırma taş agregası, 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-19 mm boyutlarında bazalt agregası ve maksimum dane çapı 31,5 olan bitümlü geri dönüştürülmüş asfalt agregası kullanılmıştır. Agregaların kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları Çizelge 3.2' de agregalara ait elek analizi sonuçları Şekil 3.2' de verilmiştir.

3.1.2.1. Doğal kırma taş agregası

Çalışmada doğal kırma taş agregası olarak İskenderun bölgesi dolomitik kireç taşı esaslı doğal kırma taş agregası kullanılmıştır.

3.1.2.2. Geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası

İskenderun bölgesi kazınmış asfalt kaplama sonucu oluşan atık malzemeler geri dönüştürülerek geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası olarak kullanılmıştır.

3.1.2.3. Bazalt agregası

Diyarbakır bölgesi bazalt taşı öğütülmüş bazalt agregası olarak kullanılmıştır.

Şekil 3.1' de bazalt agregası ve geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası gösterilmiştir.

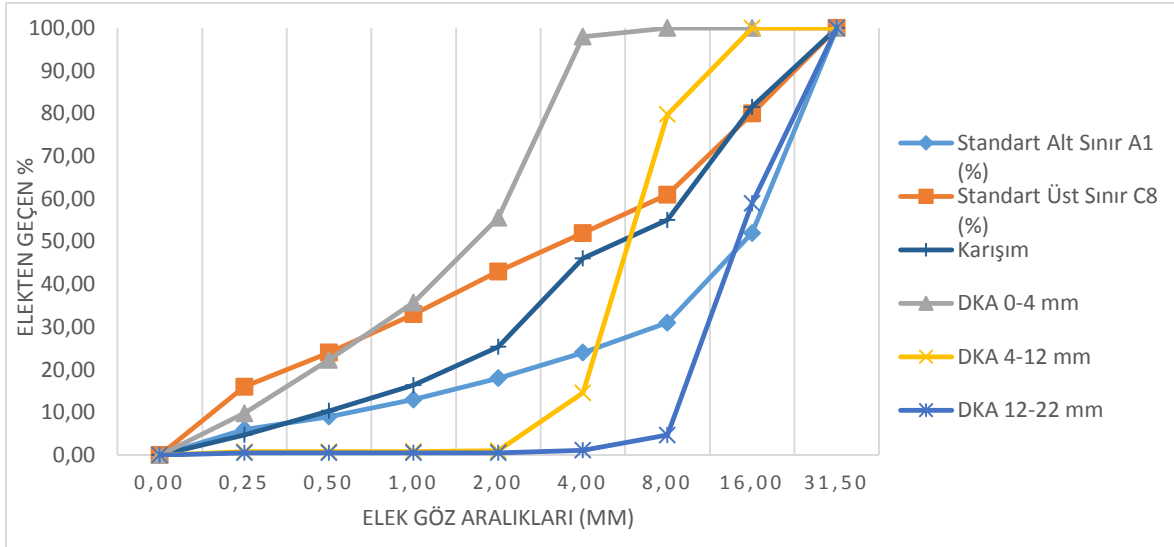


Şekil 3.1. Bazalt agregası (a) ve geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası (b)

Tez çalışmasında 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22 mm boyutlarında olan doğal kırma taş agregası, sırasıyla %45, %10 ve %45 oranlarında katılarak karışık agrega oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2. Agrega kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları

Agrega	Özgül Ağırlık (gr/cm³)
Doğal kırma taş 0-4 mm	2,67
Doğal kırma taş 4-12 mm	2,72
Doğal kırma taş 12-22 mm	2,73
Bazalt agregası 0-4 mm	2,87
Bazalt agregası 4-12 mm	2,91
Bazalt agregası 12-19 mm	2,87
Bitümlü geri dönüştürülmüş asfalt agregası	2,30



Şekil 3.2. Agrega karışımı granülometri eğrisi

3.1.3. Su

Tez çalışmasında beton karışım suyu ve kür suyu olarak İskenderun şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Süperakışkanlaştırıcı beton katkısı

Üretilen beton karışımlarının slump değerlerini (15 ± 2 cm) aynı seviyelerde tutmak için Master Glenium Sky 608 süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı beton katkısının özellikleri Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Süperakışkanlaştırıcı beton katkısı özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Opak
Özgül ağırlık	1.069 – 1.109 kg/lt
pH değeri	5-7
Alkali içeriği	≤ 3.00
Klor içeriği	≤ 0.10

3.2. Karışım Tasarımı

Bu tez çalışmasında normal portland çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılarak su/çimento oranı 0,4 olan 400 kg/m³ çimento dozajına sahip 3 farklı sette toplam 16 karışım üretilmiştir. 1. sette bitümlü geri dönüştürülmüş asfalt agregası (GBA) doğal kırma taş agregası (DKA) ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80, %100 oranlarında değiştirildi. 2. Sette GBA ve bazalt agregası (BA) eşit yüzdelerde DKA ile hacimce %0, %10, %20, %30, %40, %50 oranlarında yer değiştirildi. 3. sette BA DKA ile hacimce %0, %20, %40, %60, %80, %100 oranlarında yer değiştirildi. Üretilen beton numuneler üzerinde laboratuvar ortamında deneysel çalışma gerçekleştirildi. Üretilen beton numunelerine ait karışım parametreleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. 1 m³ beton için karışım dizaynı

KARIŞIM	SU (kg)	ÇİMENTO (kg)	DKA			BA			GBA TEK TİP (kg)
			0-4 mm (kg)	4-11 mm (kg)	12-22 mm (kg)	0-7 mm (kg)	5-12 mm (kg)	12-19 mm (kg)	
Kontrol	160	400	820,64	185,78	839,08	--	--	--	--
K1	160	400	656,51	148,62	671,26	--	--	--	314,18
K2	160	400	492,38	111,46	503,45	--	--	--	628,37
K3	160	400	328,25	74,31	335,63	--	--	--	942,56
K4	160	400	164,12	37,15	167,81	--	--	--	1256,74
K5	160	400	--	--	--	--	--	--	1570,93
L1	160	400	656,51	148,62	671,26	88,21	19,87	88,21	157,09
L2	160	400	492,38	111,46	503,45	176,42	39,75	176,42	314,18
L3	160	400	328,25	74,31	335,6	264,63	59,62	264,63	471,28
L4	160	400	164,12	37,15	167,817	352,84	79,50	352,84	628,37
L5	160	400	--	--	--	441,05	99,37	441,05	785,46
M1	160	400	656,51	148,62	671,26	176,42	39,75	176,42	--
M2	160	400	492,38	111,46	503,45	352,84	79,50	352,84	--
M3	160	400	328,25	74,31	335,63	529,26	119,25	529,26	--
M4	160	400	164,12	37,15	167,81	705,69	159,00	705,69	--
M5	160	400	--	--	--	882,11	198,75	882,11	--

3.2.1. Beton numune üretimi

Bu tez çalışmasında beton üretiminde 56 litrelik hazne hacmine sahip betoniyer kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. Her bir karışım için 40 dm³ hacminde beton üretimi yapılmıştır. Beton içeriğini oluşturun agregalar betoniyer haznesine, hassas terazide tartıldıktan sonra teker teker ilave edilip kuru olarak karıştırılmıştır. Portland çimentosu eklenerek tekrar kuru karışım yapılmıştır. Kuru karışım işlemi sonra erdikten sonra karışım suyu hazne içerisine

ilave edilip yeteri miktarda karıştırıldıktan sonra beton üretim işlemi sonra ermiştir. Üretilen beton 100x100x100 mm küp kalıplara, 100x100x400 mm prizma kalıplara, Ø100x200 mm ve Ø100x50 mm silindir kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen betonların tam olarak sıkışması ve kalıba iyi yerleşebilmesi için şişlendikten sonra bir süre sarsma tablasında sarsılarak kalıp içerisine iyi bir şekilde yerleşmesi sağlanmıştır. Üretilen beton numuneler 24 saat kalıpta kaldıktan sonra söküm işlemi gerçekleştirilmiş ve 28 günlük kür süresini tamamlamak için kür havuzlarında kürlenmiştir. Şekil 3.3'te betoniyer ve kalıptaki numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Betoniyer ve kalıptaki numuneler

3.3. Deney Yöntemleri

Tez çalışmasında üretilen beton numunelerinin mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi için çeşitli laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Üretilen numune boyutları ve yapılacak deneysel çalışma eşleşmeleri Çizelge 3.5' te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Beton numune boyutları ve yapılacak deneyler

Deneyler	Numune boyutları (mm)
Basınç Dayanımı	100x100x100 mm
Eğilme Dayanımı	100x100x400 mm
Çekip Çıkarma (pull-out)	Ø100x200 mm silindir

Çizelge 3.5. (Devam) Beton numune boyutları ve yapılacak deneyler

Test Çekici	100x100x100 mm
Aşınma Direnci	100x100x100 mm
Su Emme	100x100x100 mm
Kapilarite	100x100x100 mm
Hızlı Klor Geçirirliiliği	Ø100x50 mm silindir
Asit Direnci	100x100x100 mm
Ultrasonik Dalga Hızı	100x100x100 mm

3.3.1. Çökme (kıvam) deneyi

Taze betonun kıvamını (akıcılığını) belirlemek için yapılan deneydir. Deney düzeneğinde taban yarıçapı 100 mm, üst yarıçapı 50 mm ve yüksekliği 300 mm olan slump konisi ve şişleme çubuğu kullanılır. Slump konisi düz bir zemine yerleştirildikten sonra koninin 1/3'ü dolacak şekilde beton doldurulur. Daha sonra koninin ayak basma yerlerine sıkıca basılarak 25 defa şişlenerek bu işlem 3 defa tekrarlanır. Koninin üst yüzeyi düzeltildikten sonra koni yavaş bir biçimde kaldırılır ve betonun kendi ağırlığı ile çökmesi sağlanır. Koninin üst yüzeyine şişleme çubuğu tutularak betonun en yüksek noktasına olan uzunluk ölçülür ve bu değer betonun çökme (slump) değeri olarak belirlenir.

Bu tez çalışmasında üretilen tüm betonların slump değerleri 15 ± 2 cm aralığında tutulmuştur. Bu amaçla Glenium Sky 608 süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır.

3.3.2. Birim hacim ağırlık deneyi

Hacmi belirli bir kap boş olarak tartıldıktan sonra kap içerisine sıkıştırılarak beton doldurulup tekrar tartılır. Taze betonun net ağırlığı kabın hacmine bölünerek betonun birim hacim ağırlığı Eş. 3.1'e göre hesaplanır.

$$BHA = (W1 - W2)/V \quad (3.1)$$

Denklemden,

$$W1 = \text{Kap} + \text{taze beton ağırlığı (gr)}$$

$$W2 = \text{Kap ağırlığı (gr)}$$

$$V = \text{Kabın hacmi cm}^3 \text{ ü ifade etmektedir.}$$

3.3.3. Basınç dayanımı

Çalışmadaki beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmesinde 100x100x100 mm'lik küp numuneler kullanılmıştır. Numuneler ASTM C39 standartlarına uygun olarak beton pres makinesine yerleştirildikten sonra yükleme hızı 3 kN/s sabit yükleme hızı ile yüklenmiştir. Beton numunesi kırıldıktan sonra en yüksek değer okunarak Eş. 3.2'ye göre beton numunelerinin basınç dayanımları bulunmuştur. Şekil 3.4' te basınç dayanımı deney düzeneği verilmiştir.

$$\sigma = P/A \quad (3.2)$$

Denklemden,

σ : Beton basınç dayanımı (MPa),

P: Okunan en yüksek basınç kuvveti (N)

A: Numune en kesit alanı (mm²), ifade etmektedir.



Şekil 3.4. Beton basınç dayanım deney düzeneği

3.3.4. Eğilme dayanımı

Üretilen betonların eğilme dayanımını tayin etmek için 100x100x400 mm'lik kiriş numuneler üretilmiştir. 28 gün kür havuzunda kürlenmiş numuneler mesnet açıklığı 38 mm olan iki mesnet arasına yerleştirildikten sonra tam orta noktasından aksel yüküne maruz bırakılarak 3 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Kiriş numunesinin kırılma anındaki en yüksek yük değeri alınarak Eş. 3.3'e göre eğilme dayanımları bulunmuştur. Şekil 3.5' te 3 nokta eğilme deney düzeneği verilmiştir.

$$\sigma = (3 \times P \times L) / (2 \times b \times h^2) \quad (3.3)$$

Denklemden,

σ =Maksimum normal gerilme, N/mm²

P= Kuvvet, N

L=iki mesnet arası mesafe, mm

b=Kiriş genişliği, mm

h= Kiriş yüksekliği, mm'yi ifade etmektedir.



Şekil 3.5. 3 noktada eğilme deneyi düzeneği

3.3.5. Beton test çekici deneyi

Beton test çekici deneyi üretilmiş olan betonun dayanımını ve kalitesini tahribatsız olarak ölçmeye yarayan deney metodudur. Beton test çekici vasıtası ile betonun yüzey sertliği ölçülmektedir. 28 gün kür havuzunda kürlenmiş 100x100x100 mm'lik beton numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test çekicinin darbe ucu serbest bırakılarak beton numunesinin üst yüzeyi ile 90 derece açı oluşturacak şekilde yerleştirildikten sonra kuvvet uygulanarak 10 farklı noktadan 10 geri sıçrama değeri okunmuştur. Okunan 10 değerden en yüksek ve en düşük değer çıkarılarak kalan 8 değerın ortalaması alınarak test çekici üzerindeki basınç dayanımı grafiğine göre betonun basınç dayanımı belirlenmiştir. Test çekici ile betonun dayanımı Eş. 3.4'e göre belirlenmiştir. Şekil 3.6' da beton test çekici deney düzeneği ve beton test çekici değerlendirme grafiği verilmiştir.

$$F_1 = (a_1 + \dots + a_8) / 8 \quad (3.4)$$

Denklemde,

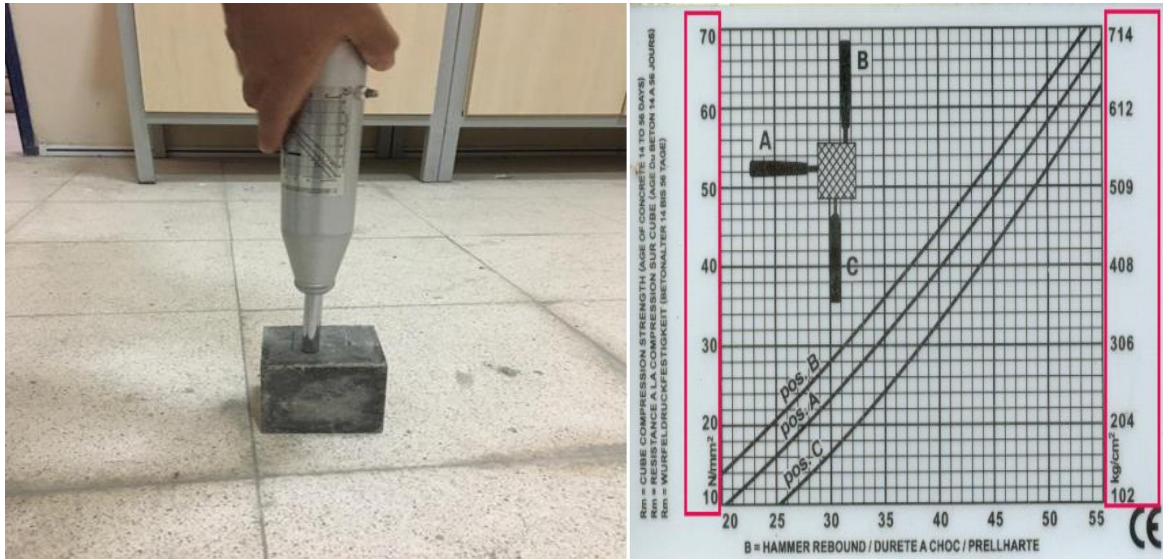
F_1 = Beton numunenin basınç dayanımı (MPa)

a_1 = 1. geri sıçrama değeri

a_8 = 8. geri sıçrama değerini ifade etmektedir.

(a)

(b)



Şekil 3.6. Test çekici deney düzeneği (a) test çekici değerlendirme grafiği (b)

3.3.6. Aşınma deneyi

Üretilen 100x100x100 mm boyutlarındaki beton numunelerin 28 gün kürlendikten sonra TS EN 2824-1338 standardına uygun bir şekilde geniş diskli aşınma testi yapılarak aşınma değerleri bulunmuştur. Öncelikle numune hassas terazide tartıldıktan sonra deney düzeneği içerisine yerleştirilmiştir. Numunenin sabit kalması için deney düzeneği içerisindeki kol yardımıyla sabitlendikten sonra deney düzeneğinin üst kısmında bulunan huni yardımıyla aşındırma tozu eklenmiştir. Disk ile temas eden numunenin aşınma miktarını bulmak için düzenek 75 devir döner şekilde çalıştırılmıştır. 75 devir bittikten sonra numune çıkarılıp üzerindeki aşındırma tozu temizlendikten sonra tekrar hassas terazide tartılarak Eş. 3.5'e göre aşınma yüzdesi hesaplanmıştır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8' de aşınma deney düzeneği ve aşınan numune örneği verilmiştir.

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

Denklemden,

$P =$ Aşınma miktarı (%)

$W_1 =$ Aşınmadan önceki ağırlık (gr)

$W_2 =$ Aşındıktan sonraki ağırlık (gr)



Şekil 3.7. Geniş diskli aşınma deney düzeneği



Şekil 3.8. Aşınmış beton numune örneği

3.3.7. Ultrasonik dalga (ses) hızı deneyi

Üretilen 100x100x100 mm'lik beton numuneler kür süresi tamamlandıktan sonra beton kalitesi hakkında bilgi veren, tahribatsız bir deney olan ultrasonik dalga hızı deneyine ASTM C 597-02 standartlarına uygun olarak tabi tutulmuşlardır. Bu deney betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine dalganın ulaşma hızını ölçerek betonun kalitesi hakkında bilgiler vermektedir. Ses dalgasının hızı ile betonun dayanımı ve içerisindeki çatlak veya boşluklar arasında bir bağlantı kurulabilir. Beton ne kadar dolu ise dayanımı daha yüksektir ve ses dalga hızının diğer yüzeye ulaşma hızı buna bağlı olarak daha kısadır (Erdoğan, 2003). Şekil 3.9' da ultrasonik dalga hızı deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.9. Ultrasonik dalga hızı deney düzeneği

Betonun dalga hızına göre kalitesinin sınıflandırılması Çizelge 3.6' da verilmiştir (Whitehurst, 1951).

Çizelge 3.6. Ultrasonik dalga hızı aralıkları ve beton kalitesi (Whitehurst, 1951)

Dalga Hızı (m/s)	Beton Kalitesi
>4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Orta
2000-3000	Kötü
< 2000	Çok Kötü

3.3.8. Su emme deneyi

Su emme, betonun bünyesindeki açık boşlukların su ile dolması olayıdır. Kür süresi tamamlanan 100x100x100 mm'lik beton numuneler ASTM C 642 standardına uygun şekilde su emme deneyine tabi tutulmuşlardır. Numuneler ilk olarak 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra çıkarılarak doygun yüzey kuru hale getirilmişlerdir. Doygun yüzey kuru hale getirilen beton numuneler hassas terazide tartılıp sonra etüvde 24 saat 80 derece sıcaklıkta kurutulduktan sonra çıkarılıp tekrar hassas terazide tartılarak su emme oranları Eş. 3.6'ya göre hesaplanmıştır. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11' de 24 saat suda bekletilen numuneler ve 24 saat etüvde bekletilen numuneler görülmektedir.

$$\text{Su Emme Oran(\%)} = [(W_{dyk} - W_k)/(W_k)] \times 100 \quad (3.6)$$

Denklemden,

W_{dyk} = Numunenin doygun yüzey kuru ağırlığı (gr)

W_k = Numunenin Etüv kurusu ağırlığı (gr) ifade etmektedir.



Şekil 3.10. 24 saat suda bekletilen numuneler



Şekil 3.11. 24 saat etüvde bekletilen numuneler

3.3.9. Kapilarite deneyi

Kapilarite beton içerisindeki kılcal boşluklardan beton içerisinde yukarı doğru suyun yükselmesi olayıdır. 28 günlük kür süresi tamamlanan 100x100x100 mm'lik numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmıştır. Etüvde 80 derece sıcaklıkta 24 saat bekletilen numuneler alınarak ortam sıcaklığına gelince kenarlarından su almasını engellemek için yan yüzeyleri parafinlenmiştir. Parafinlenen numuneler hassas terazide tartıldıktan sonra

numuneler deney düzeneğinin alt kısmında bulunan bilyelerin üzerine konularak deney düzeneği parafin seviyesini geçmeyecek kadar su ile doldurulmuştur. Düzenek içerisine bırakılan numuneler 1., 4., 9., 16., 25., 36., 49., 81.,..... 361. dakikalarda, tam sayıların kareleri olacak şekilde hesaplanan dakikalarda, çıkartılarak kenarları kurulandıktan sonra emilen su miktarları hassas terazide tartılarak belirlenip numunenin su ile temas eden yüzey alanına bölünerek bir grafik oluşturulmuştur. Bu grafikten bir doğru geçirilmiş ve doğrunun eğimi kapilarite katsayısı olarak alınmıştır. Eş. 3.7' de kapiler su emme bağıntısı verilmiştir. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13' te parafinlenmiş numuneler ve kapilarite deney düzeneği verilmiştir.

$$(Q/A)^2 = k \times t \quad (3.7)$$

Denklemden,

Q= Beton numunenin emdiği su miktarı (cm³)

A= Beton numunenin suya temas eden yüzey alanı (cm²)

t = Geçen süre (s)

k= Kapilarite kat sayısı (cm²/s)



Şekil 3.12. Parafinlenmiş numuneler



Şekil 3.13. Kapilarite deney düzeneği

3.3.10. Hızlı klor geçirimliliği deneyi

Hızlı klor geçirgenliği deneyinde betonun klor geçirimliliğine karşı direnci ölçülmektedir. Kür süresi tamamlanan $\text{Ø}100 \times 50$ mm silindir numuneler ASTM C1202-12 standartlarına uygun şekilde hızlı klor geçirimliliği deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler vakum makinesi içerisinde 3 saat kuru olarak vakumlandıktan sonra makine durdurularak numuneler su içinde kalacak şekilde saf su doldurulup çalıştırılmış ve numuneler 1 saat daha su içerisinde vakumlanmıştır. Vakum süresi dolduktan sonra makine kapatılmış ve numuneler saf su içerisinde 18 saat bekletildikten sonra hızlı klor geçirgenliği deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Numunelerin bağlandığı düzeneklerde 2 adet hazne bulunmaktadır. Bu haznelerin birine %3 oranında NaCl çözeltisi (30 gr NaCl + 970 gr saf su) diğer hazneye ise 0,3M NaOH çözeltisi (12 gr NaOH + 988 gr saf su) doldurulmuş ve düzenek çalıştırılmıştır. Geçen elektrik akımının miktarı Coulomb olarak düzenek tarafından her yarım saatte bir olmak üzere toplam 12 ölçümle 6 saatte tamamlanmıştır. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’ te vakum düzeneği ve hızlı klor geçirimliliği deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.14. Vakum düzeneği



Şekil 3.15. Hızlı klor geçirimliliği deney düzeneği

Hızlı klor geçirimliliği sınıfları ASTM C 1202-97 standardına göre belirlenmiş olup Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Klor iyonu geçişine karşı direnç sınıfları

Elektriksel Yük (Coulomb)	Sınıfı
>4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	Çok Düşük
<100	İhmal Edilebilir

3.3.11. Asit direnci deneyi

Çalışma kapsamında 28 günlük kür süresi tamamlanan 100x100x100 mm'lik numuneler hassas terazide tartılmıştır. %5 konsantrasyonda 40 lt sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti numunelerin içinde bulunduğu kapaklı plastik kap içerisine dökülüp kapağı kapatılarak numuneler 30 gün boyunca aside maruz bırakılmışlardır. 30 gün sonunda numuneler çıkarılarak hem kütle kaybı hem de basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney sonunda kütle kaybı ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17' de Aside maruz bırakılan numuneler ve asitte 30 gün bekletilmiş numuneler verilmiştir.



Şekil 3.16. Aside maruz bırakılan numuneler



Şekil 3.17. Asitte 30 gün bekletilen numuneler

3.3.12. Çekip çıkarma (pull out) deneyi

Çekip çıkarma (pull out) deneyi beton ile demir donatılar arasındaki aderansı belirlemek için yapılan deneydir. Üretilen $\text{Ø}100 \times 200$ mm silindir numunelerin merkezine $\text{Ø}14$ mm donatılar yerleştirilmiştir. Tüm numunelerde net beton örtüsü ve donatı kenetlenme boyları eşit olacak şekilde üretilmiştir. Şekil 3.18' deki deney düzeneği kullanılarak donatılar beton içerisinden çekip çıkarılmıştır. Deney düzeneğinde hidrolik sistem, pompa, yük hücresi ve donatıyı sıkıca tutacak çeneler ve numune üzerine uygulanan çekip çıkarma yükünü kayıt edebilecek uygun bilgisayar programı kullanılarak donatının beton içerisinden sıyrılması için gereken yük miktarı belirlenerek beton ile donatı arasındaki aderans özellikleri belirlenmiştir. Şekil 3.19' da çekip çıkarma sonrası patlamış beton numune örneği görülmektedir.



Şekil 3.18. Çekip çıkarma (pull out) deney düzeneği



Şekil 3.19. Çekip çıkarma sonrası parçalanmış numune

3.4. Yüksek Sıcaklık Etkisi

Beton yüksek sıcaklığa karşı birçok yapı malzemesinden daha yüksek dayanıma sahiptir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez ve zehirli duman veya gaz çıkarmaz. Beton, termik iletkenlik katsayısı nispeten düşük olduğu için bünyesindeki donatıyı yüksek sıcaklık etkisine karşı korur. Ancak betonun yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı süre ve sıcaklık derecesi ile sınırlıdır ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71).

Su beton içerisinde 3 farklı şekilde bulunur. Bunlar, kapiler boşluklar ve agregaların boşluklarında bulunan serbest su, hidrate çimento jelinin bünyesindeki hidrat suyu, jel boşluklarına tutunmuş jel sularıdır. Jellere tutunmuş jel suları ve hidrat suları buharlaşması zor olan sulardır. Kapiler boşluklardaki ve agregaların boşluklarında bulunan su ise 100 °C civarında buharlaşabilmektedir. Çimento türüne, betonun geçirimsizliğine ve ortam koşullarına göre beton içerisindeki serbest su yüksek mertebelere ulaşabilmektedir. Yüksek sıcaklığa bağlı olarak beton içerisindeki serbest suyun buharlaşması ile oluşacak büzülme ve beton içerisinde oluşacak buhar basıncı, pas payı tabakasının parçalanıp dökülmesine yol açmaktadır. Bu olayda sıcaklığın artış hızı önemli bir parametredir ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71).

Sıcaklık değeri 300 °C'yi aştıktan sonra beton içerisinde tutunmuş olan sularında buharlaşması beton hasarını artırır ve basınç dayanımında düşüşler görülür. Sıcaklık değeri 400 °C'yi aştıktan sonra CSH jelleri tahrip olmaya başlar ve beton dayanımının hızla düştüğü görülür. 900 °C civarında ise CSH jelleri tamamen dağılır ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71).

Çimento hamuru bünyesinde bulunan başka bir bileşen de kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2)'tir. 400 °C civarında (Ca(OH)_2) sönmemiş kirece (CaO) dönüşür. Beton bünyesindeki Ca(OH)_2 'in CaO 'ya dönüşmesi ile yaklaşık olarak %33 oranında büzülme meydana gelmesi anlamına gelir. Yangına müdahale etmek için sıkılan su, yangın esnasında oluşan CaO 'in tekrar Ca(OH)_2 'e dönüşmesine neden olur. CaO 'in tekrar Ca(OH)_2 'e dönüşmesi beton içerisinde yaklaşık %44 oranında hacim genişlemesine neden olur. Bu kısa süre içerisinde genişleyen ve büzülen beton içerisinde oluşan parazit gerilemeler daha büyük hasarların meydana gelmesine neden olur ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71).

Çizelge 3.8’de yüksek sıcaklık etkisinde beton bünyesindeki değişimler görülmektedir.

Çizelge 3.8. Yüksek sıcaklık etkisinde beton bünyesindeki değişimler ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71)

Sıcaklık	Beton üzerindeki etkisi
100-150 °C	Kılcal boşluklardaki suyun buharlaşması, jel boşluklarındaki suyun buharlaşması
150-250 °C	Büzülme, kılcal çatlakların oluşumu, çekme dayanımında düşüş, pembemsi renk
250-300 °C	Alüminli ve demir oksitli bileşenlerde bünye suyunun kaybı, basınç dayanımında düşüş
-400 °C	Ca(OH) ₂ ’den CaO’ye dönüşüm (%33 hacim azalması)
400-600 °C	CSH yapısının tahribi, gr, beyaz renk, dayanımda %80’lere varan azalma

Betonun maruz kaldığı sıcaklık değerine göre aldığı renk değişir. Sıcaklık etkisine bağlı olarak kalıcı olarak renk değiştiren betonun aldığı renge bakılarak maruz kaldığı sıcaklık değerini ve dayanımın tahmin etmek mümkündür. Betonun aldığı renk pembeyi aşan tonlarda ise beton dikkatle incelenmelidir. Beton gri veya kül renklerinde ise beton gözenekli bir yapıya sahip olmuştur ve ufalanabilir ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 67-71).

3.5. Asit Saldırısı

Asitler iyon değişimi ile çimento hamuru bünyesinde bulunan bileşenlerden çözünebilen ve çözünemeyen kalsiyum tuzlarını oluştururlar. Oluşan magnezyum tuzları çimento hamuru ile temas ederek beton içerisindeki CSH jelindeki kalsiyumun yerini alarak MSH jeli oluşturur ve jelin bağlayıcılık özelliği kaybolur. Asitler beton içerisindeki kalsiyum bileşenlerini kalsiyum tuzlarına dönüştürür. Oluşan tuzlar beton içerisinde çözünmeye başlayarak çimento harcının çözünmesine ve betonun zarar görmesine neden olurlar. Bazik bir yapıya sahip olan Portland Çimentoları asitlere karşı dayanıksızdırlar ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87).

Asit etkisi, asit buharlarının olduğu tesislerde, trenlerin geçtiği tünellerde, kanalizasyon sularında bataklık sularında arıtma tesislerinde vb. birçok yerde görülebilir. Asit etkisinin hızı ve şiddeti; asit çeşidine, maruz kalma süresine ve asidin yoğunluğuna göre değişir. Tüm bunların dışında en önemli faktör oluşan kalsiyum tuzlarının çözünürlüğüdür. Kalsiyum tuzlarının çözünürlüğü arttıkça su ile taşınan maddeler zararı arttırmaktadır. Reaksiyonların gelişimine bağlı olarak beton yüzeyinden başlayarak yumuşama ve gözenekler oluşur ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87).

Çizelge 3.9'da asit türlerinin beton üzerindeki etkisi verilmiştir.

Çizelge 3.9. Asit türlerinin beton üzerindeki etkisi ((Baradan, Yazıcı ve Ün), 2010: 84-87)

Saldırı Hızı	İnorganik	Organik
Hızlı	Hidroflorik, Hidroklorik, Nitrik, Sülfürik	Asetik, Formik, Laktik
Orta	Fosforik	Tannik
Yavaş	Karbonik	--
İhmal edilebilir	--	Oksalik, Tartarik

4. ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR

4.1. Basınç Dayanımı

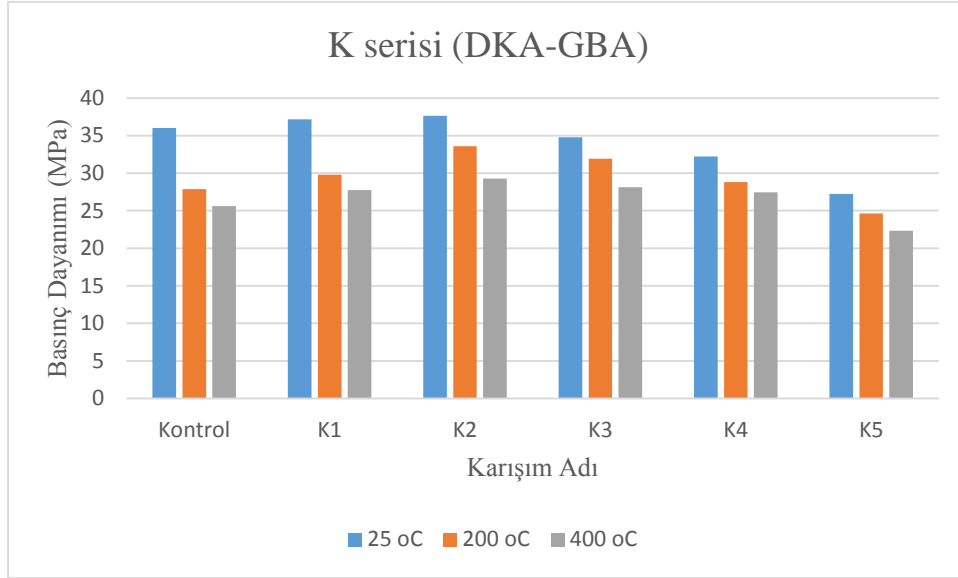
100x100x100 mm küp numunelere ait 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Basınç dayanımına ait sonuçlar

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Basınç Dayanımı (MPa)		
			DKA	GBA	BA	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	0,4	400	100	0	0	36,03	27,89	25,60
K1	0,4	400	80	20	0	37,15	29,79	27,74
K2	0,4	400	60	40	0	37,65	33,59	29,30
K3	0,4	400	40	60	0	34,8	31,92	28,14
K4	0,4	400	20	80	0	32,23	28,82	27,44
K5	0,4	400	0	100	0	27,25	24,64	22,33
L1	0,4	400	80	10	10	61,55	55,60	48,69
L2	0,4	400	60	20	20	59,74	51,70	46,67
L3	0,4	400	40	30	30	57,11	50,46	47,30
L4	0,4	400	20	40	40	54,11	48,90	44,20
L5	0,4	400	0	50	50	47,79	46,41	42,90
M1	0,4	400	80	0	20	66,03	58,10	54,20
M2	0,4	400	60	0	40	67,15	60,52	56,79
M3	0,4	400	40	0	60	68,00	61,98	58,75
M4	0,4	400	20	0	80	70,04	63,63	60,25
M5	0,4	400	0	0	100	77,71	69,27	65,43

4.1.1. K serisi basınç dayanımı

K serisine ait basınç dayanımları Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1. K serisi (DKA-GBA) basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde oda sıcaklığında teste tabii tutulan %20 ve %40 GBA ikamesine sahip K1 ve K2 karışımlarının kontrol numunesinden azda olsa yüksek basınç dayanımına ulaştıkları gözlemlenmiştir. GBA ikamesi %40 seviyesine kadar basınç dayanımında az da olsa artışa sebep olsa da GBA ikamesi artmaya devam ettikçe beton dayanımlarında kontrol numunesi değerine yakın olmakla beraber düşüşler gözlemlenmiştir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde sıcaklık arttıkça tüm karışımların basınç dayanımlarında düşüşler gözlemlenmiştir.

Literatürde (Coppola ve diğerleri, 2016 ve Brand ve Roesler, 2017) genellikle GBA ikamesinin dayanımda kayıplara sebep olduğu belirtilse de, tez çalışmamızda bu kayıplar %40 GBA ikamesinden daha yüksek GBA ikamelerinde (%60, %80, %100) görülmüştür. GBA ile üretilen çimento harcının ara yüzeyinin daha zayıf olması basınç dayanımında düşüşlere sebep olmuştur (Coppola ve diğerleri, 2016).

Yüksek sıcaklığın GBA içeren numunelerin basınç dayanımına olan etkisini görmek için numuneler 200 °C ve 400 °C sıcaklığa sahip fırında 2 saat bekletilmişlerdir. 200 °C sıcaklıkta oda sıcaklığına göre tüm karışımlarda basınç dayanımı değerlerinde düşüş olduğu

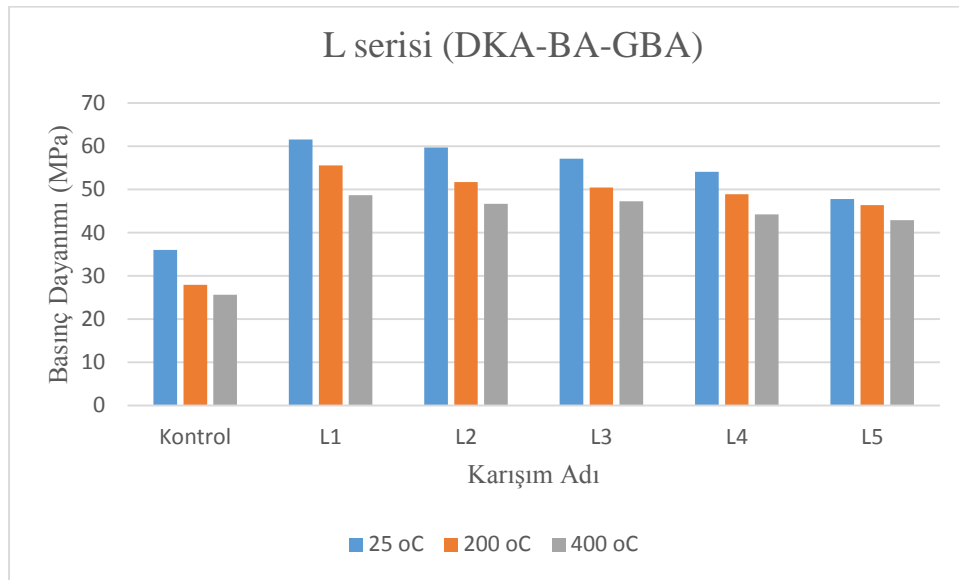
gözlemlenmiştir. 200 °C sıcaklıkta K5 numunesi hariç diğer tüm karışımlarda kontrol numunesine göre sırasıyla (K1,K2,K3,K4) yaklaşık olarak %7, %20, %14,5, %3 oranlarında daha yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaşmıştır.

400 °C sıcaklıkta 25 °C ve 200 °C sıcaklığa göre tüm karışımlarda basınç dayanımı değerlerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir. 400 °C sıcaklıkta da 200 °C sıcaklıkta olduğu gibi K5 numunesi hariç tüm karışımların basınç dayanımı değerlerinin kontrol numunesine kıyasla daha yüksek basınç değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

Yüksek sıcaklığa karşı GBA içeren numunelerin kontrol numunesine göre daha iyi bir direnç göstermelerinin sebebinin GBA içerisindeki bitümün eriyerek beton bünyesinde bulunan boşlukların bir kısmını doldurarak boşluk yapısında bir miktar iyileşme meydana getirmesinden ve eriyen bitümün bağlayıcılık özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.2. L serisi basınç dayanımı

L serisine ait basınç dayanımları Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. L serisi (DKA-BA-GBA) basınç dayanımı sonuçları

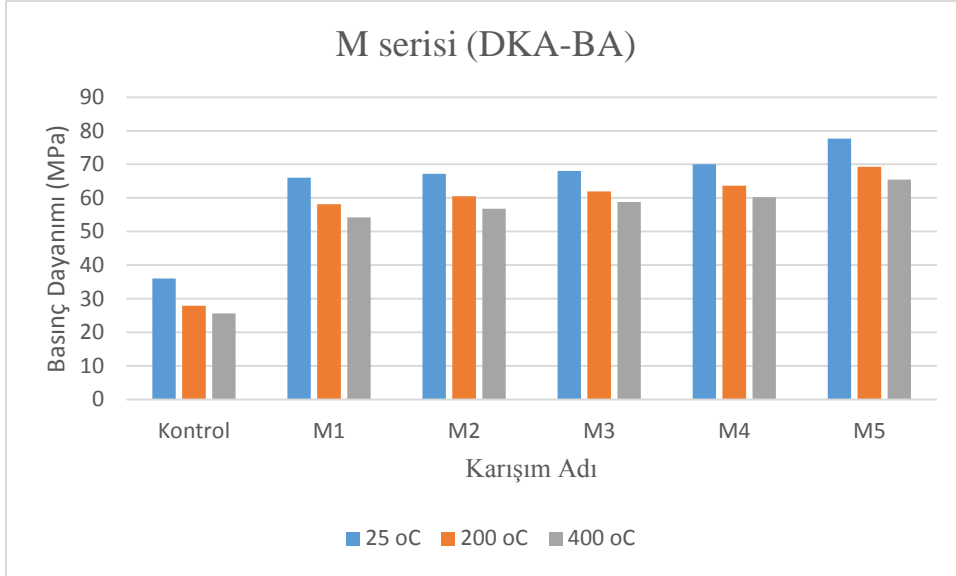
Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2' de verilen 28 günlük dayanım sonuçları incelendiğinde bazalt agregası ikamesi ile birlikte basınç dayanımı değerlerinde ciddi bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin bazalt agregasının doğal kırma taş agregaya göre daha

ağır ve dayanıklı bir agrega olmasıdır. Böylece K serisi sonuçlarında görülen GBA miktarının artması ile oluşan basınç dayanım kayıplarının bir miktar önüne geçilmiş olmaktadır. Örneğin %50 BA ve %50 GBA içeren L5 serisi 47,79 MPa'lık basınç dayanımı ile L serisindeki en düşük dayanıma sahip karışım olmasına rağmen kontrol numunesinden yaklaşık %32 daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. Tüm sıcaklık değerleri için karışımın hepsinin kontrol numunesinden daha yüksek bir basınç dayanımına ulaştığı gözlemlenmiştir. GBA ikame oranının artması ile karışımın dayanım değerlerinde düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise GBA'nın yoğunluğunun BA'ya göre daha düşük olması sebebiyle betonun yoğunluğunu düşürmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir.

200 °C sıcaklıkta kontrol, L1, L2 ve L3 numuneleri sırasıyla oda sıcaklığındaki basınç dayanımlarına göre yaklaşık %23, %10, %15 ve %12 oranlarında basınç dayanımı kaybı göstermişlerdir. Yüksek sıcaklıktaki dayanım kayıpları incelendiğinde numunelerin kontrol numunesine göre daha az basınç dayanımı kaybına uğradıkları görölmektedir. Yüksek sıcaklığa karşı GBA ikamesine sahip numunelerin kontrol numunesi göre daha düşük basınç dayanım kaybı göstermelerinin sebebi karışım içerisindeki bitümün eriyerek beton bünyesindeki boşlukları doldurarak boşluk yapısında bir miktar iyileşme meydana getirmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir.

4.1.3. M serisi basınç dayanımı

M serisine ait basınç dayanımları Şekil 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.3. M serisi (DKA-BA) basınç dayanımı sonuçları

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3 oda sıcaklığında teste tabi tutulan M serisi numunelerinin tüm ikame oranları için kontrol numunesinden daha yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaştığı görülmektedir. En yüksek basınç dayanım değeri %100 BA ikame oranının sahip M5 numunesinde, kontrol numunesinden yaklaşık olarak %115 daha fazla basınç dayanımı görülmüştür.

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3 incelendiğinde diğer iki seride olduğu gibi M serisinde de tüm karışımlar için sıcaklık yükseldikçe basınç dayanımlarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bazalt agregası ikame oranını arttıkça karışımların yüksek sıcaklıkta basınç dayanım değerlerinde düşüşlerin azaldığı gözlemlenmiştir.

M serisinde bazalt agregası ile doğal kırma taş agregasının yer değiştirmesinin betonun basınç dayanımı değerlerini tüm sıcaklıklar için kontrol numunesine oranla ciddi oranda yükselttiği gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebi olarak bazalt agregasının doğal kırma taş agregaya kıyasla daha dayanıklı ve yüksek basınç dayanımına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2. Eğilme Dayanımı

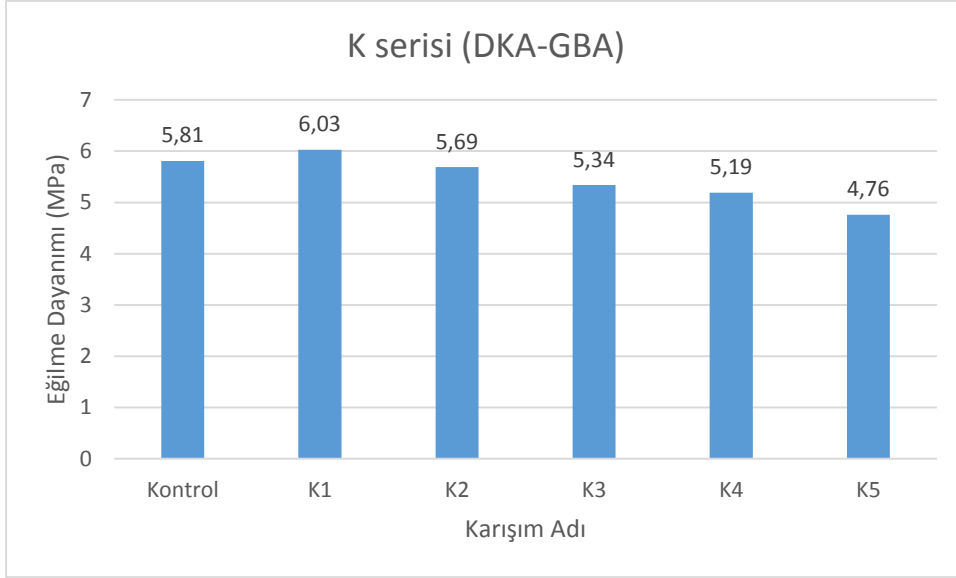
100x100x400 mm kiriş numunelere ait 3 nokta yükleme deneyi ile bulunan eğilme dayanımları Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Eğilme dayanımına ait sonuçlar

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Eğilme Dayanımı (MPa)
			DKA	GBA	BA	
Kontrol	0,4	400	100	0	0	5,81
K1	0,4	400	80	20	0	6,03
K2	0,4	400	60	40	0	5,69
K3	0,4	400	40	60	0	5,34
K4	0,4	400	20	80	0	5,19
K5	0,4	400	0	100	0	4,76
L1	0,4	400	80	10	10	6,00
L2	0,4	400	60	20	20	5,96
L3	0,4	400	40	30	30	5,94
L4	0,4	400	20	40	40	5,54
L5	0,4	400	0	50	50	5,26
M1	0,4	400	80	0	20	6,86
M2	0,4	400	60	0	40	6,99
M3	0,4	400	40	0	60	7,04
M4	0,4	400	20	0	80	7,14
M5	0,4	400	0	0	100	7,18

4.2.1. K serisi eğilme dayanımı

K serisine ait eğilme dayanımları Şekil 4.4' de verilmiştir.

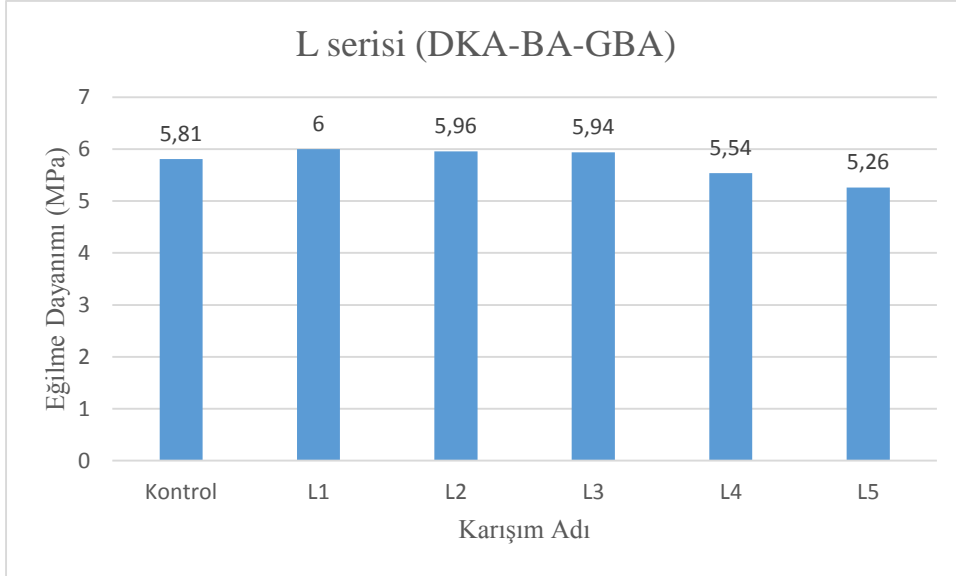


Şekil 4.4. K serisi (DKA-GBA) eğilme dayanımı sonuçları

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4 incelendiğinde %20 oranında GBA ikame oranına sahip K1 numunesi kontrol numunesine göre %4 daha yüksek eğilme dayanımına sahipken, %40 oranında GBA ikamesine sahip K2 karışımının da kontrol numunesinin yaklaşık %98'i gibi yüksek bir eğilme dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra K3, K4, K5 numuneleri de sırasıyla kontrol numunesinin yaklaşık %92, %89, %82'si kadar eğilme dayanımına sahiptirler. GBA'nın beton içerisinde %40 oranına kadar kullanılmasının betonun eğilme dayanımını olumsuz yönde etkilemediği gözlemlenmiştir. Daha yüksek oranlarda kullanılmasıyla birlikte eğilme dayanımında düşüşler gözlenmesine karşın bu düşüşlerin kabul edilebilir düzeyde kaldığı görülmektedir.

4.2.2. L serisi eğilme dayanımı

L serisine ait eğilme dayanımları Şekil 4.5' de verilmiştir.

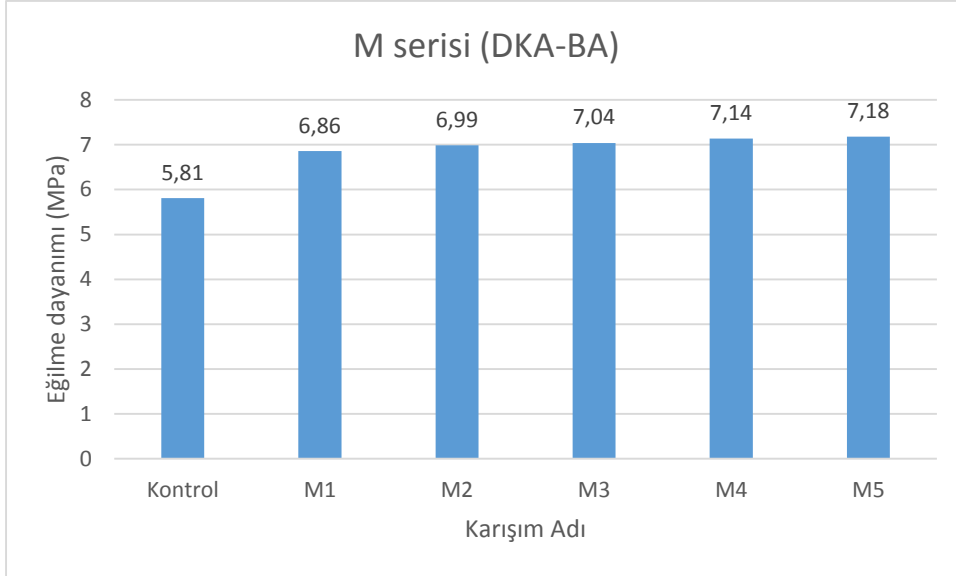


Şekil 4.5. L serisi (DKA-BA-GBA) eğilme dayanımı sonuçları

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.5 incelendiğinde %10, %20, %30 oranlarında BA ve GBA ikame oranlarına sahip L1, L2, L3 numuneleri kontrol numunesine göre sırasıyla yaklaşık olarak %3.5, %2.5, %2 oranlarında daha yüksek eğilme dayanımına sahip oldukları görülmektedir. %40 ve %50 ikame oranlarına sahip L4 ve L5 numuneleri de sırasıyla kontrol numunesinin %95'i ve %90'ı kadar eğilme dayanımı geliştirmişlerdir. Bazalt agregası ve GBA'nın beton içerisinde birlikte kullanılmasının eğilme dayanımı üzerinde olumsuz bir etki oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Daha yüksek oranlarda ikame edilmeleri durumunda çok düşük seviyelerde düşüşler olsa da değerlerin kontrol numunesine çok yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.3. M serisi eğilme dayanımı

M serisine ait eğilme dayanımları Şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. M serisi (DKA-BA) eğilme dayanımı sonuçları

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.6 incelendiğinde BA'nın DKA ile ikamesi sonucunda tüm karışımların eğilme dayanımı değerlerinin kontrol numunesine göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. M1, M2, M3, M4, M5 karışımlarının eğilme dayanımlarının kontrol numunesine göre sırasıyla yaklaşık olarak %18, %20, %21, %23, %24 daha yüksek olduğu görülmektedir. BA ikame oranı arttıkça eğilme dayanımının arttığı da görülmektedir. Bu sonuçlar basınç dayanımı ile de uyumludur. Bazalt agregasının doğal agrega ile yer değiştirmesinin betonun eğilme dayanımı özelliğini iyi yönde etkilediği görülmektedir.

4.3. Beton Test Çekici Deneyi

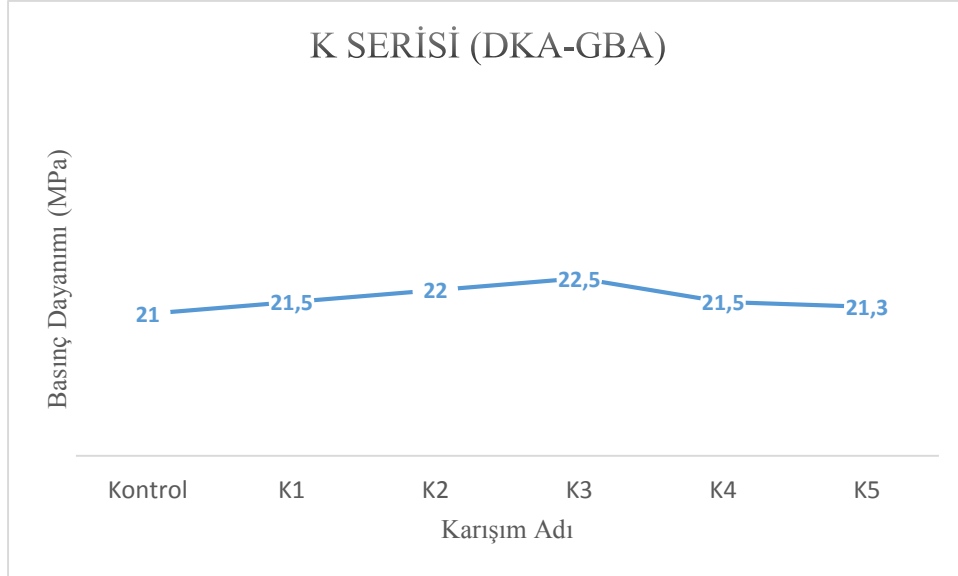
100x100x100 mm küp numunelere ait beton test çekici deneyi sonuçları Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Beton test çekici sonuçları

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Test Çekici Dayanımı (MPa)
			DKA	GBA	BA	
Kontrol	0,4	400	100	0	0	21
K1	0,4	400	80	20	0	21,5
K2	0,4	400	60	40	0	22
K3	0,4	400	40	60	0	22,5
K4	0,4	400	20	80	0	21,5
K5	0,4	400	0	100	0	21,3
L1	0,4	400	80	10	10	21,4
L2	0,4	400	60	20	20	23,7
L3	0,4	400	40	30	30	24
L4	0,4	400	20	40	40	27,5
L5	0,4	400	0	50	50	21,7
M1	0,4	400	80	0	20	28,5
M2	0,4	400	60	0	40	26
M3	0,4	400	40	0	60	30
M4	0,4	400	20	0	80	24,1
M5	0,4	400	0	0	100	28,4

4.3.1. K serisi test çekici dayanımı

K serisine ait beton test çekici sonuçları Şekil 4.7' de verilmiştir.

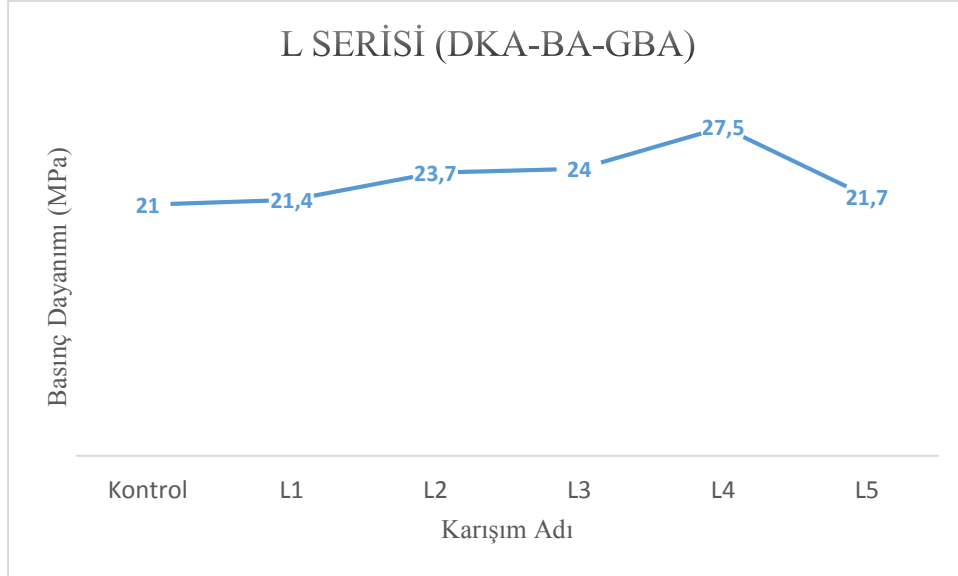


Şekil 4.7. K serisi (DKA-GBA) beton test çekici sonuçları

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.7 incelendiğinde GBA ikamesi beton test çekici sonuçlarının çok az bir miktar da arttırmıştır. Genel olarak tüm karışımlarda beton test çekici sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Bunun sebebi olarak beton test çekicinin yüzey sertliğini ölçmesi ve beton yüzeyinden itibaren 3 cm derinliğe kadar ölçüm yapıyor olması olduğu düşünülmektedir.

4.3.2. L serisi test çekici dayanımı

L serisine ait beton test çekici sonuçları Şekil 4.8’ de verilmiştir.

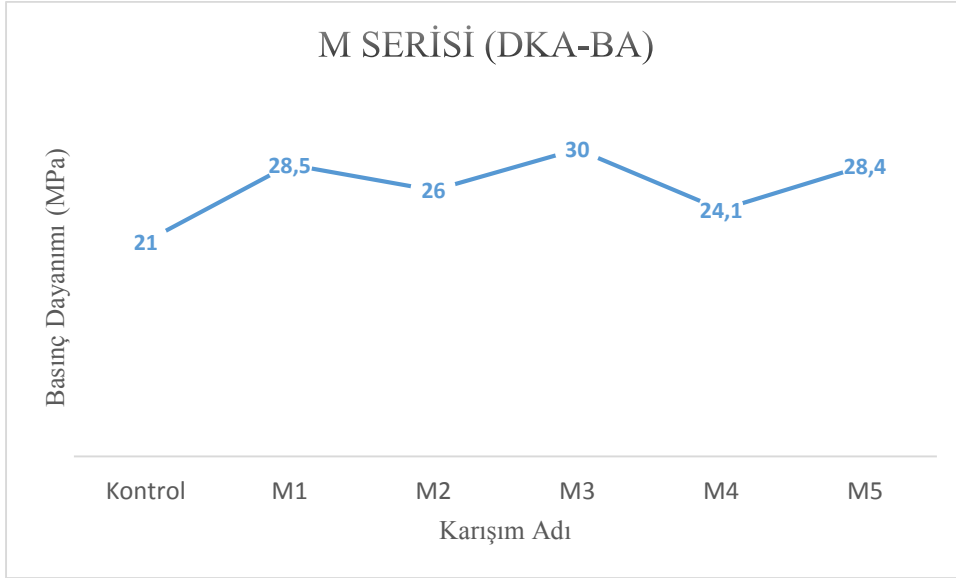


Şekil 4.8. L serisi (DKA-BA-GBA) beton test çekici sonuçları

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.8 incelendiğinde GBA ve BA ikamesinin birlikte kullanılması sadece GBA ikamesine göre beton test çekici değerlerini daha olumlu yönde etkilemiştir. L serisindeki değerler K serisine göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi BA'nın DKA ve GBA'ya oranla daha dayanıklı ve sert bir agrega olması ve yüzey sertliğini arttırmasıdır.

4.3.3. M serisi test çekici dayanımı

M serisine ait beton test çekici sonuçları Şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.9. M serisi (DKA-BA-GBA) beton test çekici sonuçları

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.9 incelendiğinde BA'nın beton içerisinde DKA ile yer değiştirmesinin betonun test çekici değerlerinde kayda değer artışlara yol açtığı görülmektedir. Tüm karışımların test çekici değerleri kontrol numunesinden daha yüksek çıkmıştır. DKA'ya göre daha sert ve yüksek dayanımlı olan BA oranının artması ile numunelerin yüzey sertliği artmıştır.

4.4. Aşınma Deneyi

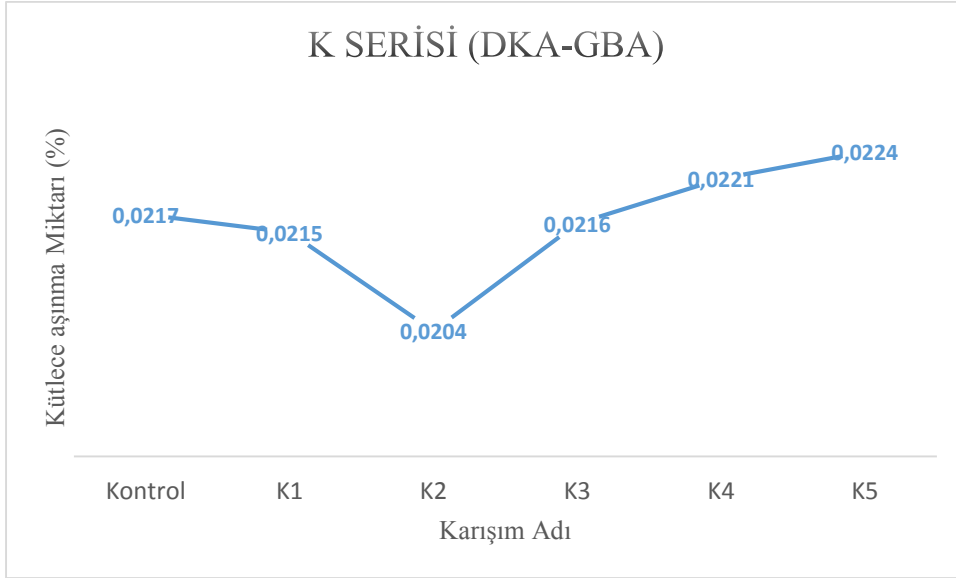
100x100x100 mm küp numunelere ait aşınma deneyi sonuçları Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Aşınma deneyi sonuçları

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Kütüce aşınma Miktarı (%)
			DKA	GBA	BA	
Kontrol	0,4	400	100	0	0	0,0217
K1	0,4	400	80	20	0	0,0218
K2	0,4	400	60	40	0	0,0204
K3	0,4	400	40	60	0	0,0216
K4	0,4	400	20	80	0	0,0221
K5	0,4	400	0	100	0	0,0224
L1	0,4	400	80	10	10	0,0202
L2	0,4	400	60	20	20	0,0198
L3	0,4	400	40	30	30	0,0204
L4	0,4	400	20	40	40	0,0203
L5	0,4	400	0	50	50	0,0203
M1	0,4	400	80	0	20	0,0134
M2	0,4	400	60	0	40	0,0132
M3	0,4	400	40	0	60	0,0129
M4	0,4	400	20	0	80	0,0127
M5	0,4	400	0	0	100	0,0128

4.4.1. K serisi aşınma miktarı

K serisine ait kütlece aşınma deneyi sonuçları Şekil 4.10' da verilmiştir.

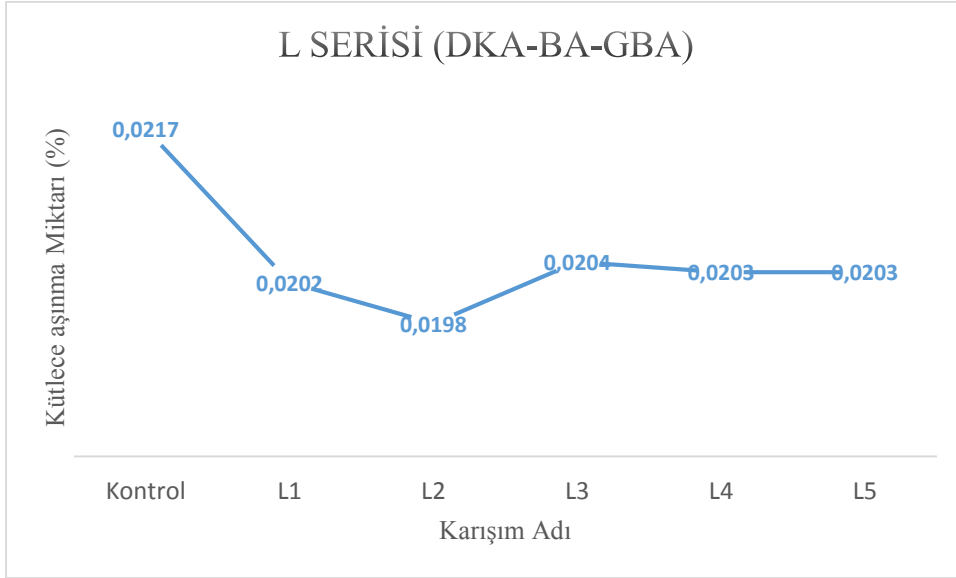


Şekil 4.10. K serisi (DKA-GBA) kütlece aşınma deneyi sonuçları

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.10 incelendiğinde GBA'nın beton içerisinde DKA ile %60 oranına kadar yer değiştirmesinin betonun kütlece aşınma miktarını azaltma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. En düşük aşınma değeri %40 GBA ikame oranına sahip K2 numunesinde görülmüştür. Daha yüksek oranlarda GBA kullanılması ile aşınma miktarlarında az da olsa artışlar olmasına karşın tüm sonuçlar kontrol numunesine yakın çıkmıştır. Bu sonuçların K serisi basınç dayanımı sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

4.4.2. L serisi aşınma miktarı

L serisine ait kütlece aşınma deneyi sonuçları Şekil 4.11' de verilmiştir.

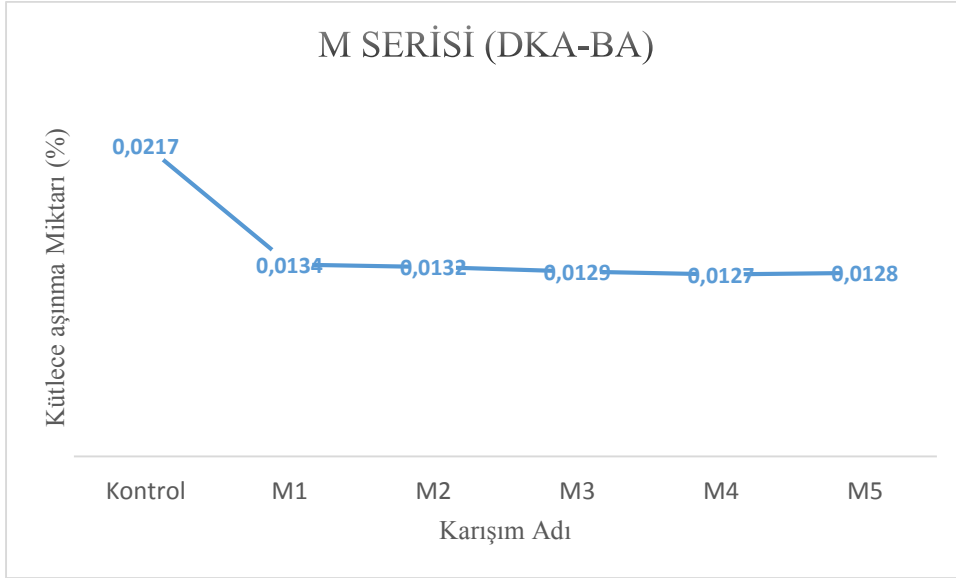


Şekil 4.11. L serisi (DKA-BA-GBA) kütlece aşınma deneyi sonuçları

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.11 incelendiğinde tüm karışımların aşınma miktarlarının kontrol numunesine göre daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. En düşük aşınma miktarı %20 BA ve %20 GBA ikamesine sahip L2 numunesinde görülmüştür. GBA ikamesinin artmasıyla aşınma miktarları yükselme eğilimi göstermesine karşın aynı oranda BA ikamesinin de artması bu artışları dengelemiş ve tüm karışımların aşınma miktarları kontrol numunesinden daha düşük seviyelerde kalmıştır. Bu düşüşün asıl sebebi olarak BA'nın aşınmaya karşı dirençli bir agrega olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4.3. M serisi aşınma miktarı

M serisine ait kütlece aşınma deneyi sonuçları Şekil 4.12' de verilmiştir.



Şekil 4.12. M serisi (DKA-BA) kütlece aşınma deneyi sonuçları

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.12 incelendiğinde tüm karışımların aşınma miktarlarının kontrol numunesinden daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. BA ikamesinin artmasıyla doğru orantılı bir şekilde aşınma miktarının da azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçların M serisine ait basınç dayanımı deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Burada ki düşüşün sebebi L serisinde olduğu gibi BA'nın daha dayanıklı ve aşınmaya karşı daha güçlü bir agrega olmasıdır. Aynı zamanda basınç dayanımının yükselmesi ile beraber aşınmaya karşı dirençte artmıştır.

4.5. Ultrasonik Dalga (Ses) Hızı Deneyi

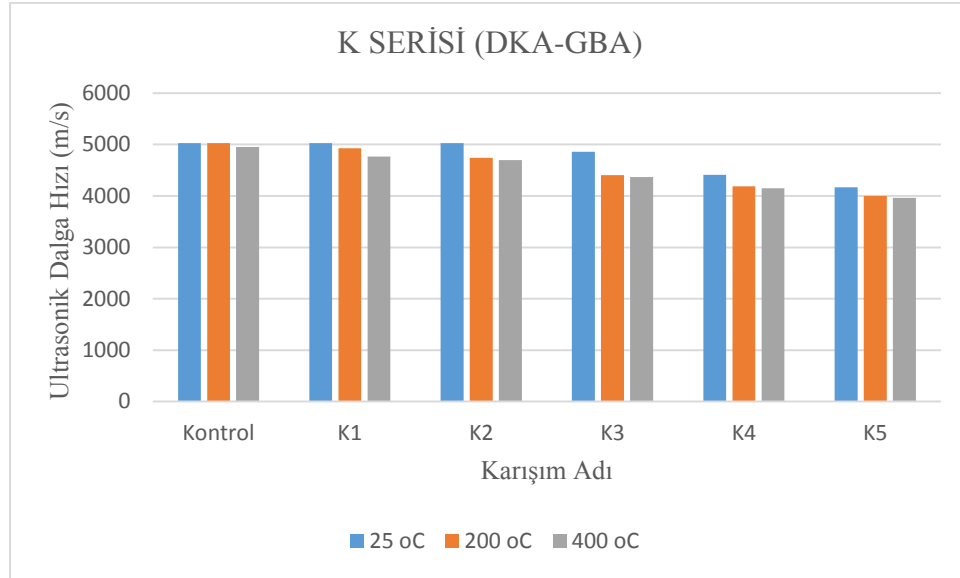
100x100x100 mm küp numunelere ait ultrasonik dalga hızı deney sonuçları Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Ultrasonik dalga hızı deney sonuçları

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Ultrasonik dalga hızı (m/s)		
			DKA	GBA	BA	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	0,4	400	100	0	0	5027,3	5025	4952,4
K1	0,4	400	80	20	0	5028,5	4927,8	4764,6
K2	0,4	400	60	40	0	5025	4742,2	4696,4
K3	0,4	400	40	60	0	4856,4	4407,6	4367
K4	0,4	400	20	80	0	4411,2	4186,2	4150,3
K5	0,4	400	0	100	0	4166,8	4000	3963
L1	0,4	400	80	10	10	5182,2	5077	4978,4
L2	0,4	400	60	20	20	5155	4908,6	4545,6
L3	0,4	400	40	30	30	5090	4547,6	4464
L4	0,4	400	20	40	40	4902	4567	4444,6
L5	0,4	400	0	50	50	4785	4504,8	4464
M1	0,4	400	80	0	20	5263,8	5111,67	5000,4
M2	0,4	400	60	0	40	5182,2	5155	4903,2
M3	0,4	400	40	0	60	5130,2	5103	4975,8
M4	0,4	400	20	0	80	5104,2	5001,8	4902
M5	0,4	400	0	0	100	5025	4878,6	4566

4.5.1. K serisi ultrasonik dalga (ses) hızı

K serisine ait ultrasonik dalga hızı sonuçları Şekil 4.13' te verilmiştir.



Şekil 4.13. K serisi (DKA-GBA) ultrasonik dalga hızı sonuçları

Çizelge 4.6. K serisi numunelerinin kalitesi

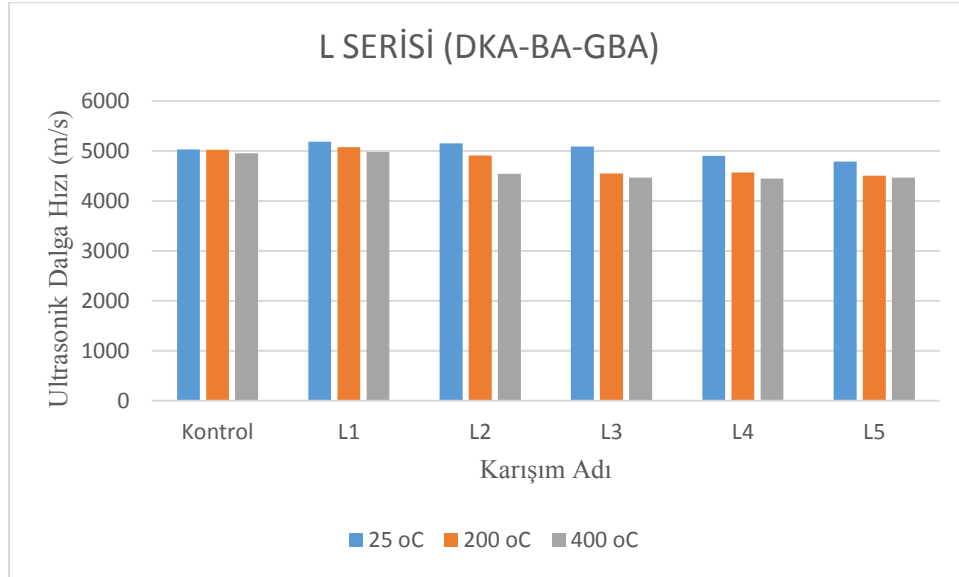
Karışım Adı	Beton Kalitesi		
	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
K1	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
K2	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
K3	Mükemmel	İyi	İyi
K4	İyi	İyi	İyi
K5	İyi	İyi	İyi

Tüm beton sınıflandırmaları Whitehurst (1951)'in oluşturduğu sınıflandırmaya göre yapılmıştır. Çizelge 4.5 Şekil 4.13 ve Çizelge 4.6 birlikte incelendiğinde 25 °C de K4 ve K5 numuneleri hariç diğer numunelerin ultrasonik dalga hızları (upv) mükemmel kategorisinde çıkmıştır. Bununla birlikte beton içerisindeki bitüm miktarı ve numunelerin maruz bırakıldığı sıcaklık arttıkça upv değerlerinde azalmalar görülmektedir. 200 °C ve 400 °C sıcaklıkta upv değerlerinde düşüşler olmasına rağmen Kontrol, K1, K2 numuneleri yine de

mükemmel kategorisinde çıkmıştır. Bu azalmaların sebebi olarak sıcaklığın artmasıyla bölüm 3.4’te açıklanan sebeplerden dolayı beton içerisindeki CaOH’in tahrip olmaya başlaması beton içerisindeki boşluk yapısını arttırmış olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte GBA oranının artmasına bağlı olarak betonun yoğunluğunu düşürmesinin de bu düşüşlere sebep olduğu düşünülmektedir.

4.5.2. L serisi ultrasonik dalga (ses) hızı

L serisine ait ultrasonik dalga hızı sonuçları Şekil 4.14’ te verilmiştir.



Şekil 4.14. L serisi (DKA-BA-GBA) ultrasonik dalga hızı sonuçları

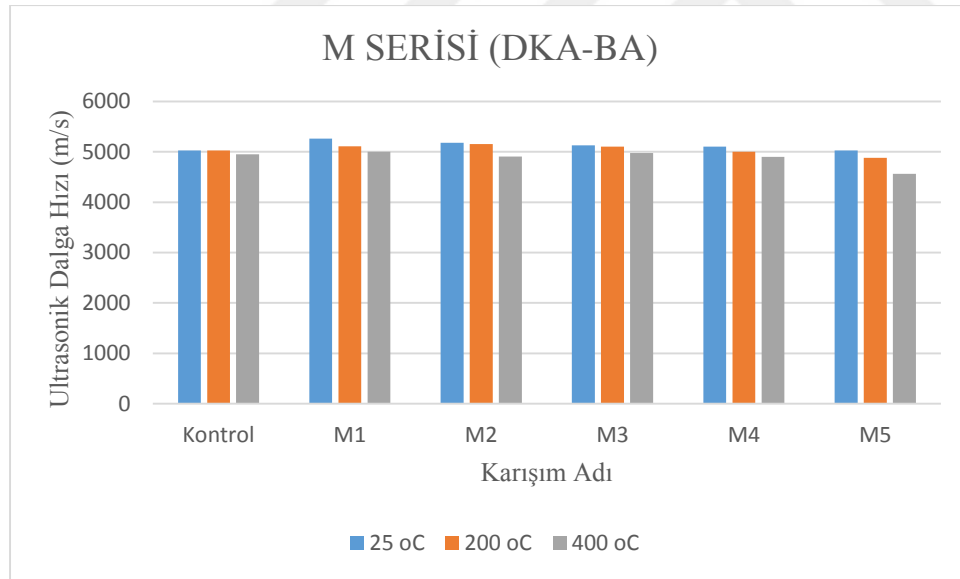
Çizelge 4.7. L serisi numunelerinin kalitesi

Karışım Adı	Beton Kalitesi		
	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
L1	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
L2	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
L3	Mükemmel	Mükemmel	İyi
L4	Mükemmel	Mükemmel	İyi
L5	Mükemmel	Mükemmel	İyi

Çizelge 4.5 Şekil 4.14 ve Çizelge 4.7 incelendiğinde 25 °C ve 200 °C derece tüm numunelerin upv değerleri mükemmel kategorisinde çıkmıştır. 400 °C sıcaklıkta ise L3, L4 ve L5 numunelerinin iyi kategorisinde çıktığı gözlemlenmiştir. K serisinde de olduğu gibi sıcaklık ve beton içerisindeki bitüm miktarının artmasının upv değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Buna karşın bazalt agregasının sıcaklığa karşı daha dirençli bir agregası olması ve karışımındaki bitüm miktarının azalmasıyla bu düşüşler K serisine göre daha az olmuştur. Bunlara bağlı olarak 200 °C de tüm numunelerin mükemmel kategorisinde çıktığı görülmektedir. 400 °C deki düşüşlerin, bölüm 3.4'te açıklandığı gibi betonun yapısının bozulmaya başlamasından dolayı boşluk yapısının artmasından ve bitüm miktarının artmasına bağlı olarak betonun yoğunluğunun düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.5.3. M serisi ultrasonik dalga (ses) hızı

M serisine ait ultrasonik dalga hızı sonuçları Şekil 4.15' te verilmiştir.



Şekil 4.15. M serisi (DKA-BA) ultrasonik dalga hızı sonuçları

Çizelge 4.8. M serisi numunelerinin kalitesi

Karışım Adı	Beton Kalitesi		
	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
M1	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
M2	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel

Çizelge 4.8. (Devam) M serisi numunelerinin kalitesi

M3	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
M4	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel
M5	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel

Çizelge 4.5 Şekil 4.15 ve Çizelge 4.8 incelendiğinde karışımların sıcaklık artışında upv değerlerinde düşüşler olmasına karşın tüm sıcaklıklarda beton kaliteleri mükemmel kategorisinde çıkmıştır. Bunun sebebi olarak numunelerin bitüm içermiyor olması ve aynı zamanda içeriğindeki bazalt agregasının artmış olması düşünülmektedir. Bu sonuçlar L serisi sonuçları ile uyumludur.

4.6. Su Emme Deneyi

100x100x100 mm küp numunelere ait su emme deneyi sonuçları Çizelge 4.9' da verilmiştir.

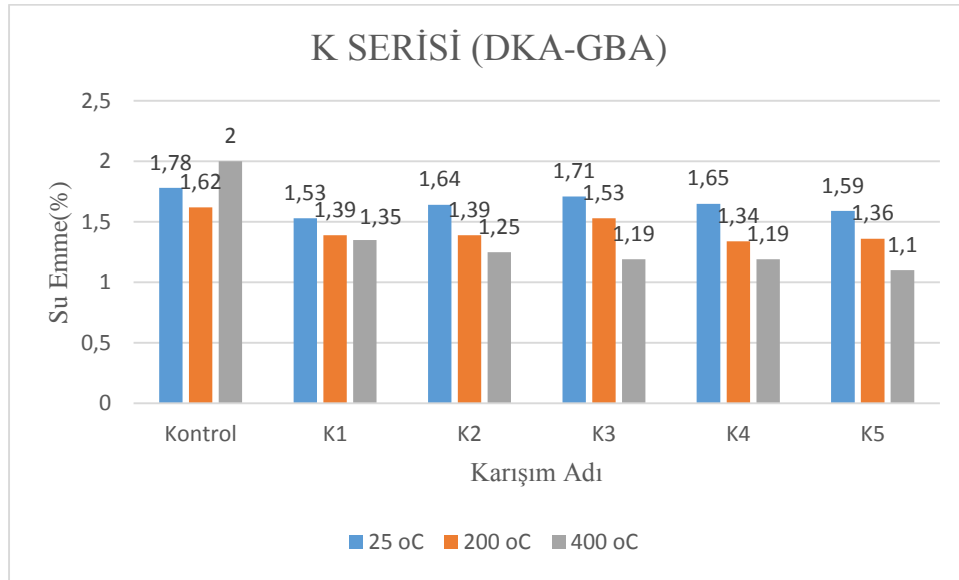
Çizelge 4.9. Su emme deneyi sonuçları

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Su Emme (%)		
			DKA	GBA	BA	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	0,4	400	100	0	0	1,78	1,62	2,00
K1	0,4	400	80	20	0	1,53	1,39	1,35
K2	0,4	400	60	40	0	1,64	1,39	1,25
K3	0,4	400	40	60	0	1,71	1,53	1,19
K4	0,4	400	20	80	0	1,65	1,34	1,19
K5	0,4	400	0	100	0	1,59	1,36	1,10
L1	0,4	400	80	10	10	1,63	1,49	1,59
L2	0,4	400	60	20	20	1,63	1,45	1,46
L3	0,4	400	40	30	30	1,73	1,49	1,50
L4	0,4	400	20	40	40	1,49	1,32	1,28
L5	0,4	400	0	50	50	1,60	1,35	1,13
M1	0,4	400	80	0	20	1,57	1,26	1,83
M2	0,4	400	60	0	40	1,59	1,52	1,84
M3	0,4	400	40	0	60	1,49	1,35	1,62
M4	0,4	400	20	0	80	1,63	1,40	1,73
M5	0,4	400	0	0	100	1,60	1,49	1,87

Çizelge 4.9 incelendiğinde çalışmada yer alan bütün karışımların hem oda sıcaklığında hem de 200 ve 400 °C sıcaklığa 2 saat maruz kaldıktan sonra yapılan su emme testlerinde kontrol numunesine göre daha düşük su emme değerine sahip oldukları görülmektedir.

4.6.1. K serisi su emme

K serisine ait su emme deneyi sonuçları Şekil 4.16' da verilmiştir.

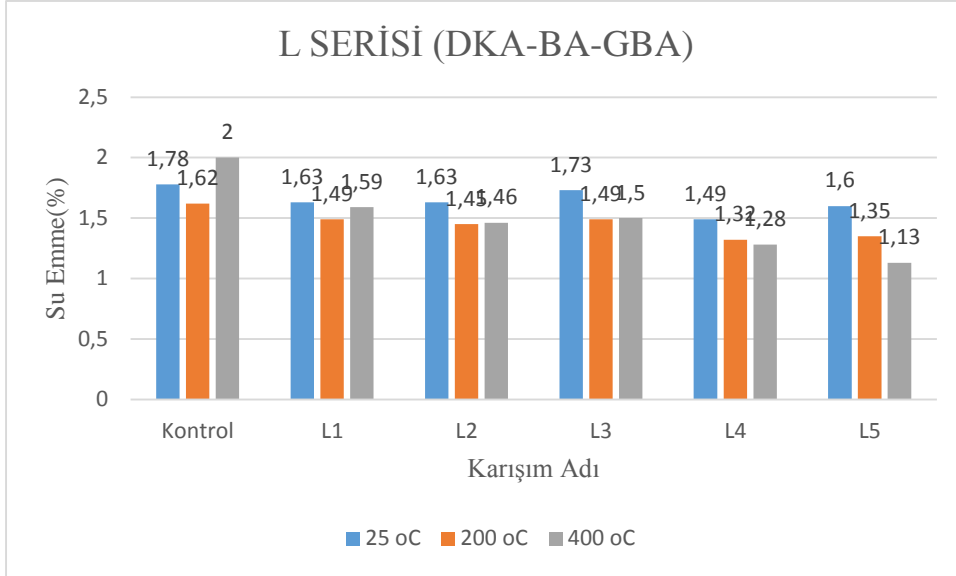


Şekil 4.16. K serisi (DKA-GBA) su emme deneyi sonuçları

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.16 incelendiğinde karışım içerisindeki bitümlü agrega oranı arttıkça su emme oranlarında düşüşler olduğu görülmektedir. Karışımların su emme oranları tüm sıcaklıklarda kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi olarak GBA'nın DKA'ya göre su emme oranının daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte sıcaklık arttıkça (200 °C ve 400 °C) karışım içerisindeki bitümün eriyip beton içerisindeki boşlukları doldurarak tıkadığı ve böylece beton su emme miktarını azaltmış olduğu düşünülmektedir.

4.6.2. L serisi su emme

L serisine ait su emme deneyi sonuçları Şekil 4.17' de verilmiştir.

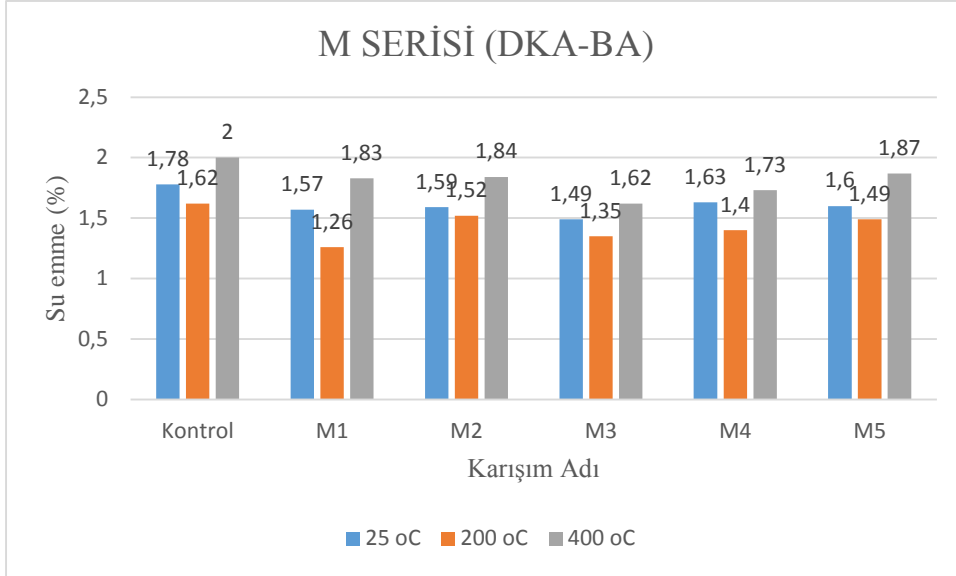


Şekil 4.17. L serisi (DKA-BA-GBA) su emme deneyi sonuçları

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.17 incelendiğinde K serisinde de olduğu 3 farklı sıcaklıkta da tüm karışımların su emme oranları kontrol numunesine göre daha düşük çıktığı görülmektedir. L serisinde de bitüm oranı arttıkça su emme oranlarının düştüğü görülmektedir. L serisinin su emme oranlarının K serisine göre daha yüksek çıkmasının nedeni olarak karışımlardaki bitüm oranının K serisine göre daha düşük olması aynı zamanda BA'nın GBA'dan daha yüksek su emme oranına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak azalan su emme oranlarının da K serisinde olduğu gibi beton bünyesindeki bitümün eriyerek boşlukları doldurmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.6.3. M serisi su emme

M serisine ait su emme deneyi sonuçları Şekil 4.18' de verilmiştir.



Şekil 4.18. M serisi (DKA-BA) su emme deneyi sonuçları

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.18 incelendiğinde 25 °C ve 200 °C de tüm karışımların su emme oranları kontrol numunesine göre daha düşük çıkmıştır. 400 °C de ise tüm karışımların su emme oranları kontrol numunesinden düşük olmasına rağmen 25 ve 200 °C sıcaklığa göre daha yüksek çıkmıştır. 400 °C deki su emme oranının diğer iki sıcaklığa kıyasla yüksek çıkmasının nedeni K ve L serisinde olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda bölüm 3.4'te açıklanan sebeplerden dolayı beton bünyesindeki CaOH'in tahrip olamaya başlamasından dolayı artacak olan boşluk yapısını dolduracak bitümlü agrega olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.7. Kapilarite Deneyi

100x100x100 mm küp numunelere ait kapilarite deneyi sonuçları Çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Kapilarite deneyi sonuçları

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Kapilarite katsayısı		
			DKA	GBA	BA	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	0,4	400	100	0	0	0,0031	0,0024	0,0038
K1	0,4	400	80	20	0	0,0027	0,0018	0,0027
K2	0,4	400	60	40	0	0,0024	0,0015	0,0023

Çizelge 4.10. (Devam) Kapilarite deneyi sonuçları

K3	0,4	400	40	60	0	0,0028	0,0018	0,0019
K4	0,4	400	20	80	0	0,0025	0,0014	0,0018
K5	0,4	400	0	100	0	0,0026	0,0014	0,0017
L1	0,4	400	80	10	10	0,0024	0,0027	0,0028
L2	0,4	400	60	20	20	0,0021	0,0020	0,0016
L3	0,4	400	40	30	30	0,0027	0,0028	0,0022
L4	0,4	400	20	40	40	0,0021	0,0025	0,0022
L5	0,4	400	0	50	50	0,0015	0,0020	0,0019
M1	0,4	400	80	0	20	0,0015	0,0028	0,0025
M2	0,4	400	60	0	40	0,0023	0,0036	0,0034
M3	0,4	400	40	0	60	0,0012	0,0031	0,0036
M4	0,4	400	20	0	80	0,0018	0,0032	0,0034
M5	0,4	400	0	0	100	0,0024	0,0031	0,0036

4.7.1. K serisi kapilarite katsayısı

Çizelge 4.10 incelendiğinde karışımların 3 farklı sıcaklıkta da kapilarite katsayısı kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır. Artan GBA miktarının kapilarite katsayısını düşürdüğü gözlemlenmiştir. 200 °C ve 400 °C ye maruz kalan numunelerin 25 °C deki numunelere göre daha düşük kapilarite katsayısına sahip olmasının, eriyen bitümün kapiler boşlukları tıkayarak su geçişini engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçların su emme deneyi sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmektedir.

4.7.2. L serisi kapilarite katsayısı

Çizelge 4.10 incelendiğinde 25 °C de kapilarite katsayısı değerleri K serisine göre daha düşük çıkmıştır. Yüksek sıcaklıklarda K serisine göre ise bitüm miktarının azalmasına bağlı olarak kapilarite katsayısı değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak oluşan kapiler boşlukları tıkayacak bitüm miktarının daha az olması olduğu düşünülmektedir.

4.7.3. M serisi kapilarite katsayısı

Çizelge 4.10 incelendiğinde oda sıcaklığında M serisi numunelerinin kapilarite katsayı değerlerinin kontrol numunesinden daha düşük çıktığı görülmektedir. 200 ve 400 °C sıcaklıklarda ise bölüm 3.4'te açıklanan değişimlerden sonra beton yapısı bozulmaya başlamış ve bünyesindeki boşluk oranı artmıştır. Yüksek sıcaklıklarda M serisi numuneleri kontrol numunesine çok yakın kapilarite kat sayısı değerine ulaşmışlardır.

4.8. Hızlı Klor Geçirimsizliği Deneyi

Ø100x50 mm silindir numunelere ait hızlı klor geçirimsizliği deneyi sonuçları Çizelge 4.11' de verilmiştir. ASTM C1202 standardına göre hızlı klor geçirimsizlik değerleri Çizelge 4.12' deki gibi sınıflara ayrılmıştır.

Çizelge 4.11. Hızlı klor geçirimsizliği deneyi sonuçları

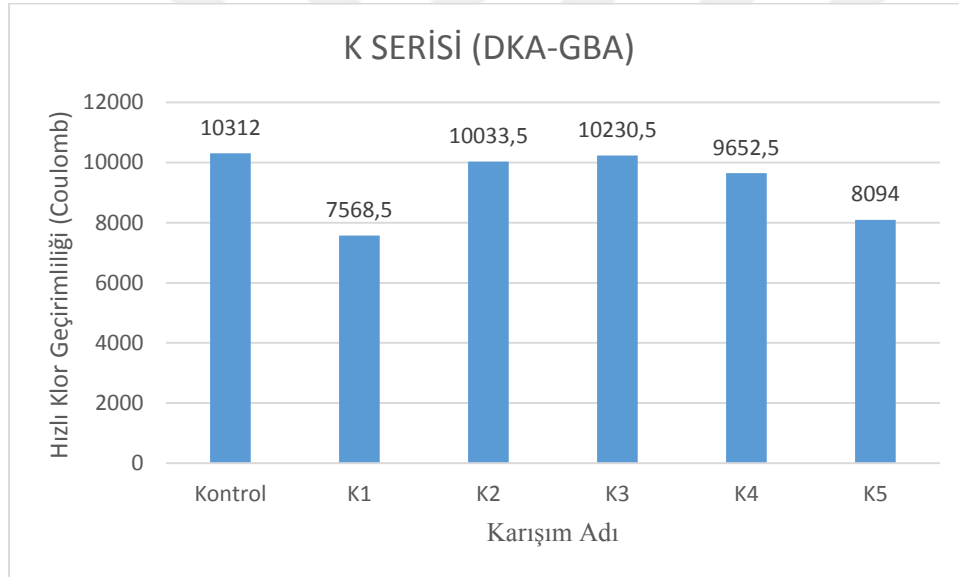
Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Hızlı Klor Geçirimsizliği (C)
			DKA	GBA	BA	
Kontrol	0,4	400	100	0	0	10312
K1	0,4	400	80	20	0	7568,5
K2	0,4	400	60	40	0	10033,5
K3	0,4	400	40	60	0	10230,5
K4	0,4	400	20	80	0	9652,5
K5	0,4	400	0	100	0	8094
L1	0,4	400	80	10	10	8886
L2	0,4	400	60	20	20	9319
L3	0,4	400	40	30	30	11195
L4	0,4	400	20	40	40	10002
L5	0,4	400	0	50	50	9665
M1	0,4	400	80	0	20	11038
M2	0,4	400	60	0	40	11599
M3	0,4	400	40	0	60	9008,5
M4	0,4	400	20	0	80	10798,5
M5	0,4	400	0	0	100	10480

Çizelge 4.12. Klor iyon geçirimlilik değerlerinin sınıflandırılması

Elektriksel Yük (coulomb)	Değerlendirildiği Sınıf
>4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	Çok Düşük
<100	İhmal Edilebilir

4.8.1. K serisi hızlı klor geçirimliliği

K serisine ait hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları Şekil 4.19' da verilmiştir.

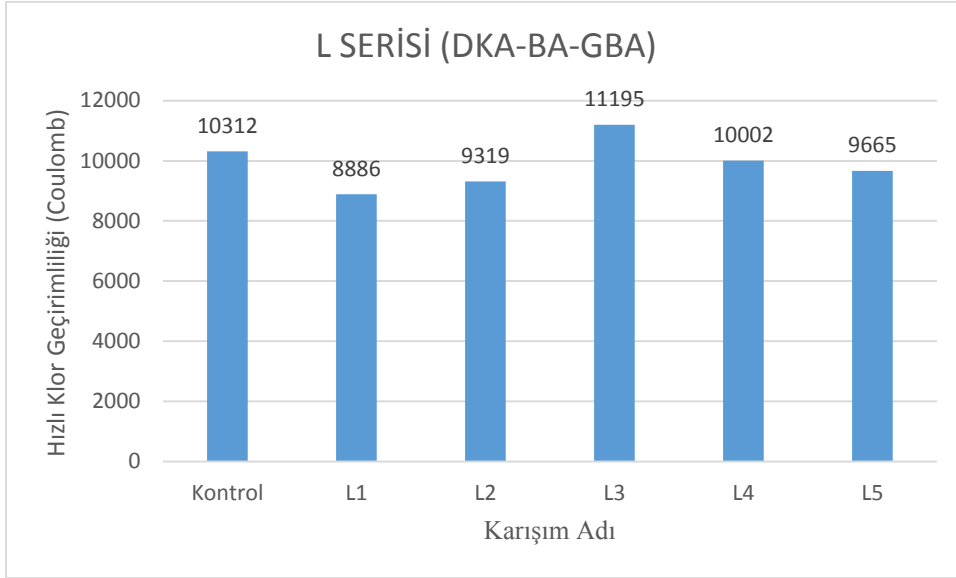


Şekil 4.19. K serisi (DKA-GBA) hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları

Çizelge 4.11 Çizelge 4.12 ve Şekil 4.19 birlikte incelendiğinde tüm karışımların hızlı klor geçirimliliği yüksek sınıflandırma grubunda olduğu görülmektedir. Tüm karışımların hızlı klor geçirimliliği değerleri kontrol numunesinden daha düşük çıktığı görülmektedir. GBA ikamesi ile hızlı klor geçirimliliğinde düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. En düşük hızlı klor geçirimliliği %20 GBA ikame oranına sahip K1 numunesinde görülmüştür. Bu sonuçların diğer geçirimlilik deneyleri sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmektedir.

4.8.2. L serisi hızlı klor geçirimliliği

L serisine ait hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları Şekil 4.20’ de verilmiştir.

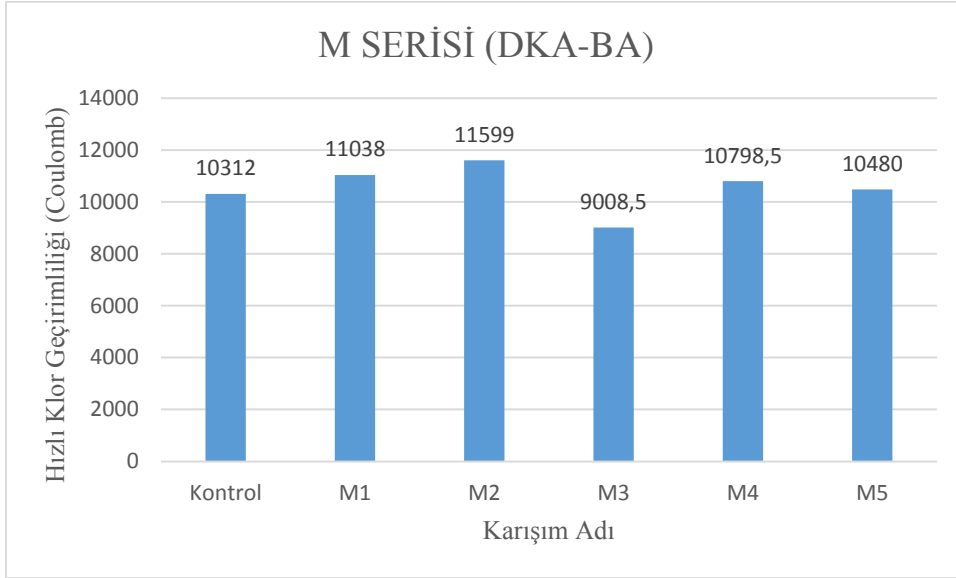


Şekil 4.20. L serisi (DKA-BA-GBA) hızlı klor geçirimliliği deney sonuçları

Çizelge 4.11 Çizelge 4.12 ve Şekil 4.20 birlikte incelendiğinde K serisinde de olduğu gibi tüm karışımların hızlı klor geçirimliliği yüksek sınıflandırma grubunda olduğu görülmektedir. L serisinde L3 karışımının hızlı klor geçirimliliği değeri kontrol numunesinden yüksek, diğer tüm karışımların hızlı klor geçirimliliği değerleri kontrol numunesinden düşük çıkmıştır. K serisi ve L serisi kıyaslandığında GBA yerine BA'nın ikamesi hızlı klor geçirimliliği değerlerini K serisine göre düşürdüğü gözlemlenmiştir. BA ve GBA'nın birlikte kullanımı hızlı klor değerlerini olumlu yönde etkilemiştir.

4.8.3. M serisi hızlı klor geçirirnililiği

M serisine ait hızlı klor geçirirnililiği deney sonuçları Şekil 4.21' de verilmiştir.



Şekil 4.21. M serisi (DKA-BA) hızlı klor geçirirnililiği deney sonuçları

Çizelge 4.11 Çizelge 4.12 ve Şekil 4.20 birlikte incelendiğinde K ve L serisinde de olduğu gibi tüm karışımaların hızlı klor geçirirnililiği değerlerinin yüksek sınıflandırma grubunda olduğu gözlemlenmiştir. M3 karışımı hariç diğer tüm karışımaların hızlı klor geçirirnililiği değeri kontrol numunesinden yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi olarak M serisinde GBA ikamesinin olmadığu düşünölmektedir. Tüm seriler birlikte incelendiğinde BA ve GBA'nın birlikte belirli oranlarda kullanılmasının hızlı klor geçirirnililiği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.9. Asit Direnci Deneyi

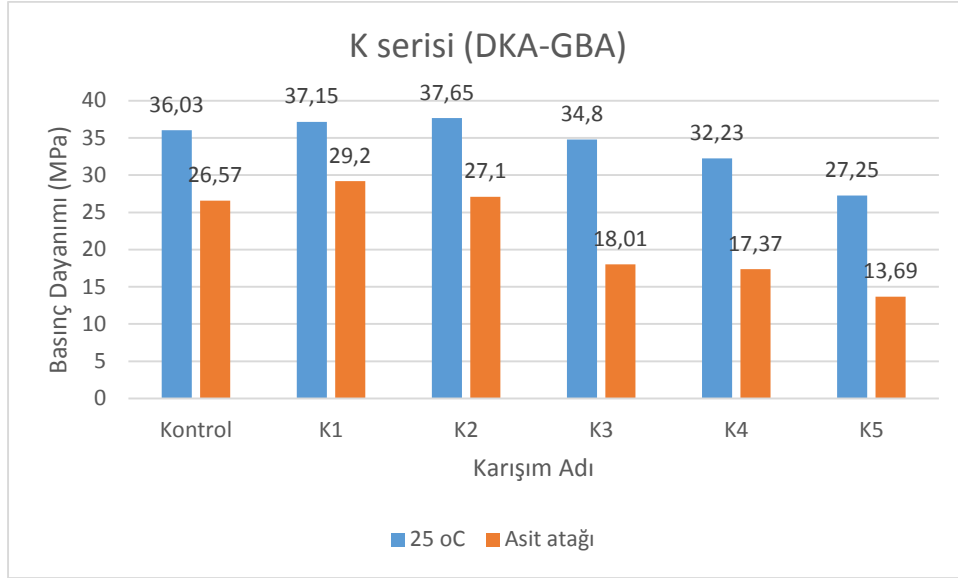
100x100x100 mm küp numunelere ait asit direnci deneyi sonuçları Çizelge 4.13' te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Asit direnci deneyi sonuçları

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Basınç Dayanımı (MPa)	Kütle Kaybı (%)
			DKA	GBA	BA		
Kontrol	0,4	400	100	0	0	26,57	0,98
K1	0,4	400	80	20	0	29,20	0,31
K2	0,4	400	60	40	0	27,10	0,27
K3	0,4	400	40	60	0	18,01	0,97
K4	0,4	400	20	80	0	17,37	0,98
K5	0,4	400	0	100	0	13,69	1,15
L1	0,4	400	80	10	10	41,51	0,75
L2	0,4	400	60	20	20	41,13	0,76
L3	0,4	400	40	30	30	37,56	0,85
L4	0,4	400	20	40	40	33,21	0,90
L5	0,4	400	0	50	50	26,35	0,96
M1	0,4	400	80	0	20	29,29	0,49
M2	0,4	400	60	0	40	31,89	0,41
M3	0,4	400	40	0	60	32,45	0,24
M4	0,4	400	20	0	80	44,50	0,17
M5	0,4	400	0	0	100	51,72	0,13

4.9.1. K serisi asit direnci

K serisine ait asit direnci deney sonuçları Şekil 4.22' de verilmiştir.



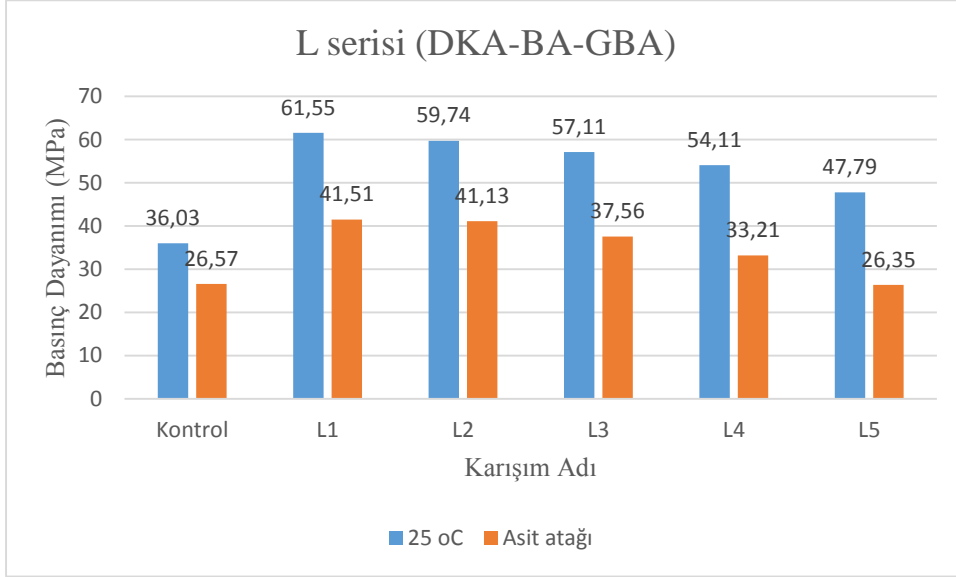
Şekil 4.22. K serisi (DKA-GBA) asit direnci deney sonuçları

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.22 incelendiğinde oda sıcaklığında teste tabii tutulan tüm numunelerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin 1 ay asit atağına maruz kalmış numunelerin basınç dayanımından daha yüksek çıktığı görülmektedir. 1 ay boyunca asit atağına maruz bırakılmış numunelerin basınç dayanımı değerleri incelendiğinde %20 ve %40 GBA içeriğine sahip K1 ve K2 numunelerinin basınç dayanımlarının kontrol numunesinden daha yüksek çıktığı görülmektedir. K1 ve K2 numuneleri sırasıyla kontrol numunesinden yaklaşık olarak %10 ve %2 daha fazla basınç dayanımı göstermişlerdir. Karışımlardaki GBA ikame oranı arttıkça numunelerin asit direncinin düştüğü görülmektedir. Bunun sebebinin GBA'da bulunan bitümün asitten daha çok etkilenmesi olduğu düşünülmektedir.

Asit atağına maruz kalan beton numunelerin yüzeylerinde yumuşama olmakta ve bu nedenle dayanım kaybı yaşamaktadır. Tüm numunelerin asit atağı sonrası basınç dayanım kayıpları sırasıyla (Konrol,K1,K2,K3,K4,K5) %27, %22, %28, %49, %47, %50'dir. Tüm bu sonuçlar incelendiğinde betonun asit atağına maruz kalma ihtimali olan yerlerde GBA ikamesinin %40 oranına kadar kullanılabilceği düşünülmektedir.

4.9.2. L serisi asit direnci

L serisine ait asit direnci deney sonuçları Şekil 4.23' te verilmiştir.

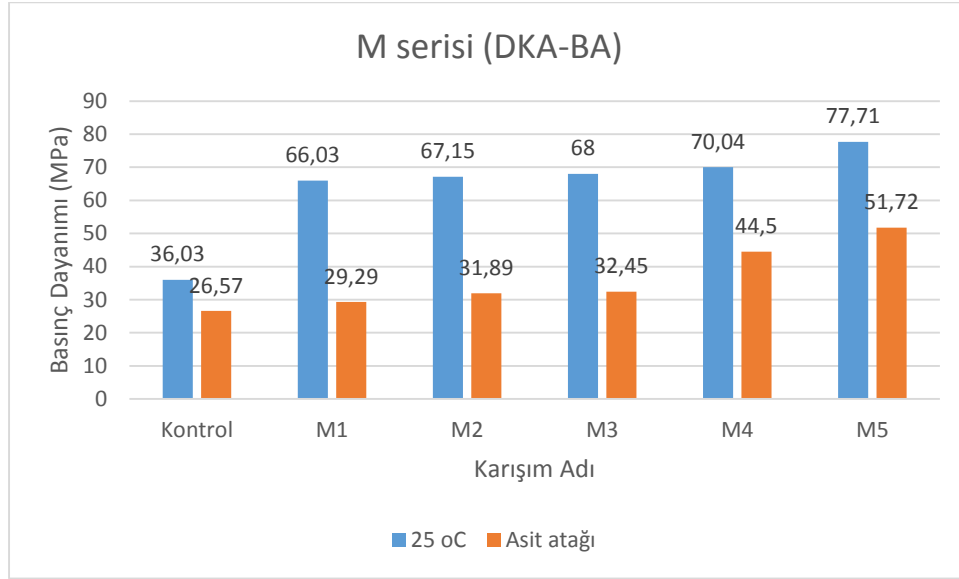


Şekil 4.23. L serisi (DKA-BA-GBA) asit direnci deney sonuçları

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.23 incelendiğinde K serisinde de olduğu gibi tüm karışımların 28 günlük basınç dayanımı değerleri asit atağına maruz bırakılmış beton numunelerin basınç dayanımından daha yüksek çıkmıştır. 1 ay asit atağına maruz kalmış beton numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde en yüksek basınç dayanımına %10 BA ve %10 GBA içeriğine sahip L2 numunesi ulaşmıştır. K seri ile L serisi kıyaslandığında L serisindeki karışımların içeriğinde bazalt agregası bulunmasından dolayı numunelerin asit atağına karşı daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin % 40 GBA ikamesine sahip K2 ve L4 numunelerinin asit atağı sonrası basınç dayanımları incelendiğinde % 40 BA ikamesine sahip olan L4 numunesinin basınç dayanımı değeri BA içermeyen K2 numunesine göre yaklaşık %23 oranında daha fazla basınç dayanımı göstermiştir. Bu artışın sebebi olarak BA'nın asit atağına karşı DKA'ya göre daha dayanıklı bir agregaya olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm bu sonuçlar incelendiğinde betonun asit atağına maruz kalma olasılığı olan yerlerde BA ile birlikte GBA'nın daha yüksek oranlarda kullanılabilceği düşünülmektedir.

4.9.3. M serisi asit direnci

M serisine ait asit direnci deney sonuçları Şekil 4.24' te verilmiştir.



Şekil 4.24. M serisi (DKA-BA) asit direnci deney sonuçları

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.24 incelendiğinde K ve L serisinde olduğu gibi M serisinde de tüm karışımların 28 günlük basınç dayanımının asit atağına maruz kalmış beton numunelerin basınç dayanımından daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte karışımlardaki BA ikame oranı arttıkça asit atağına karşı direncin arttığı da görülmektedir. Asit atağına maruz kalmış numuneler içerisinde en yüksek basınç dayanımı değerine %100 BA ikamesine sahip M5 numunesinin ulaştığı görülmektedir. Bu artışların nedeni olarak L serisinde de açıklandığı gibi BA'nın DKA'ya göre aside karşı daha dayanıklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. M serisi sonuçları L serisi sonuçları ile de uyumludur.

4.10. Çekip Çıkarma (Pull Out) Deneyi

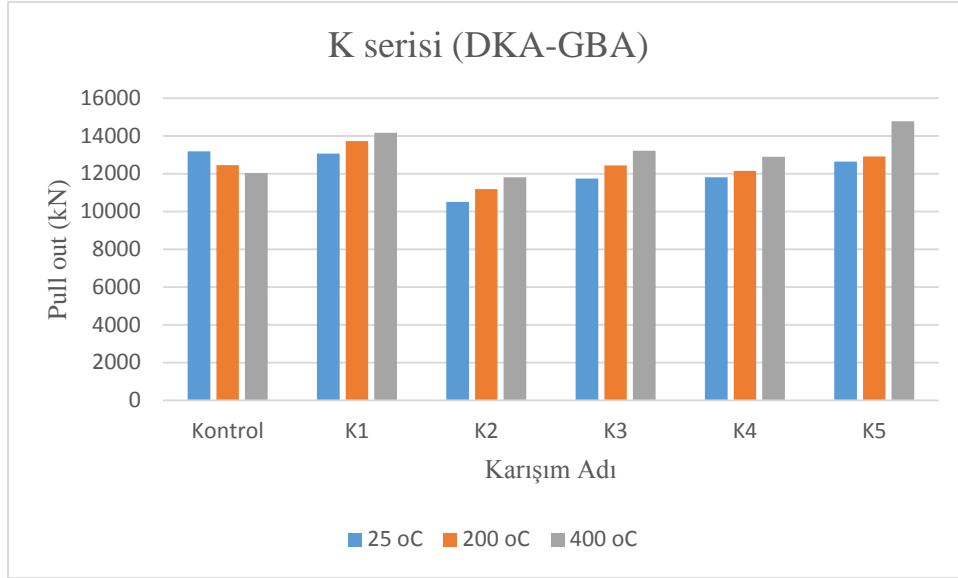
Ø100x200 mm silindir numunelere ait çekip çıkarma deneyi sonuçları Çizelge 4.14' te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Çekip çıkarma (pull out) deneyi sonuçları

Karışım Adı	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg)	Agrega Oranı (%)			Pull Out (kN)		
			DKA	GBA	BA	25 °C	200 °C	400 °C
Kontrol	0,4	400	100	0	0	13175,00	12447,00	12031,00
K1	0,4	400	80	20	0	13054,00	13719,67	14154,00
K2	0,4	400	60	40	0	10499,00	11176,50	11804,33
K3	0,4	400	40	60	0	11745,33	12425,67	13220,00
K4	0,4	400	20	80	0	11806,33	12152,00	12893,33
K5	0,4	400	0	100	0	12630,33	12913,67	14765,67
L1	0,4	400	80	10	10	13000,00	12865,33	16130,00
L2	0,4	400	60	20	20	12060,33	13811,00	17387,00
L3	0,4	400	40	30	30	14966,67	15451,67	16571,00
L4	0,4	400	20	40	40	14890,33	15543,33	17387,00
L5	0,4	400	0	50	50	14597,00	15242,50	16571,00
M1	0,4	400	80	0	20	13014,00	13466,00	16017,00
M2	0,4	400	60	0	40	15083,00	15687,50	16538,33
M3	0,4	400	40	0	60	14061,00	16887,67	18578,33
M4	0,4	400	20	0	80	16839,67	18247,50	18799,00
M5	0,4	400	0	0	100	17811,50	15542,00	19103,33

4.10.1. K serisi çekip çıkarma (pull out) deneyi

K serisine ait çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 4.25' te verilmiştir.



Şekil 4.25. K serisi (DKA-GBA) çekip çıkarma (pull out) deney sonuçları

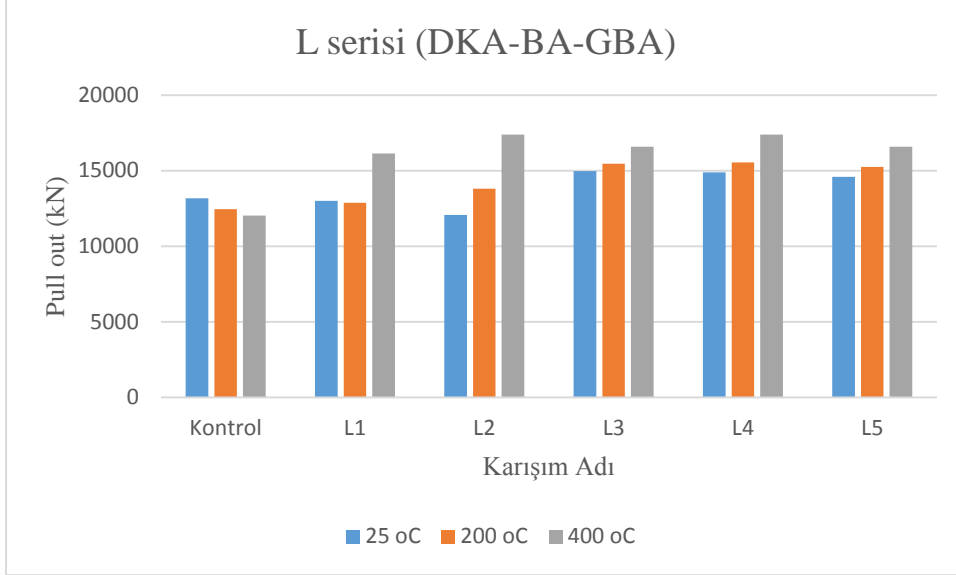
Çizelge 4.14 ve Şekil 4.25 incelendiğinde 25 °C de tüm numunelerin çekme kapasitesi kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır. %20 GBA içeriğine sahip K1 numunesi kontrol numunesinin %99 kadar çekme kapasitesine sahiptir. Oda sıcaklığında yapılan testte GBA ikamesi artışında çekme kapasitesinde düşüşler olmasına karşın numunelerin çekme kapasitesi kontrol numunesine yakın değerler göstermiştir. Bu düşüşün GBA kullanımı ile birlikte donatı ile olan aderansın bir miktar azalması olduğu düşünülmektedir.

200 °C sıcaklıkta kontrol numunesi hariç GBA içeren diğer numunelerin çekme kapasitesinde artışlar olduğu görülmektedir. 25 °C de kontrol numunesinden daha düşük çekme kapasitesine sahip olan K1, K3 ve K5 numunelerin sıcaklık artışıyla birlikte kontrol numunesinden daha yüksek çekme kapasitesine sahip olmuşlardır. Bu artışın nedeni olarak 200 °C de bitümün bir miktar eriyerek donatı ile yapışma özelliğinden dolayı bir aderans oluşturduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

400 °C de ise 200 °C de olduğu gibi sıcaklık arttıkça kontrol numunesi hariç GBA içeren numunelerin çekme kapasitesinde artışlar devam etmiştir. Bitümün 200 °C ye göre 400 °C de daha fazla eridiği ve daha fazla aderans oluşturduğu düşünülmektedir.

4.10.2. L serisi çekip çıkarma (pull out) deneyi

L serisine ait çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 4.26' da verilmiştir.



Şekil 4.26. L serisi (DKA-BA-GBA) çekip çıkarma (pull out) deney sonuçları

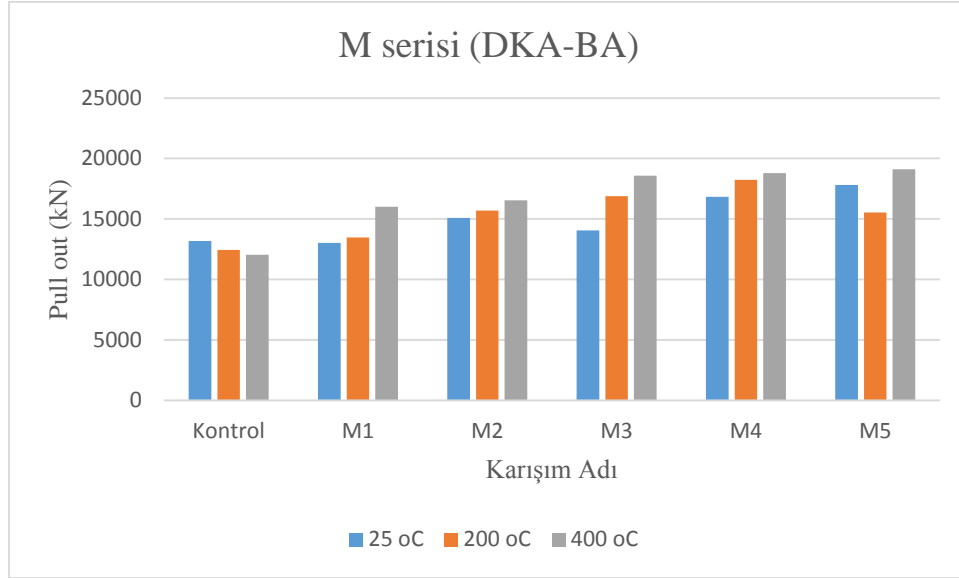
Çizelge 4.14 ve Şekil 4.26 incelendiğinde 25 °C de K serisine göre BA içeriğinin artmasına ve GBA içeriğinin azalmasına bağlı olarak numunelerin çekme kapasitelerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. L3, L4 ve L5 numunelerinin çekme kapasiteleri sırasıyla yaklaşık olarak kontrol numunesine göre %14, %13 ve %11 daha yüksek çıkmıştır.

200 °C sıcaklıkta K serisinde de olduğu gibi çekme kapasitelerinin yükseldiği görülmektedir. Bu sıcaklık değerinde tüm numunelerin çekme kapasiteleri kontrol numunesinden daha yüksek çıkmıştır. Örneğin 25 °C de kontrol numunesinden %14 daha yüksek çekme kapasitesine sahip olan L3 numunesi 200 °C de kontrol numunesinden %24 daha yüksek çekme kapasitesine sahip olmuştur. Bu artışların nedenleri olarak sıcaklık artışına bağlı olarak bitümün eriyip donatı ile aderans oluşturması, bazalt agregasının DKA'ya göre daha dayanıklı bir agrega olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

400 °C sıcaklıkta ise kontrol numunesi hariç diğer numunelerin çekme kapasitelerindeki artışların devam ettiği görülmektedir. K serisinde de olduğu gibi karışım içerisindeki bitümün daha fazla eriyerek daha fazla aderans oluşturduğu düşünülmektedir.

4.10.3. M serisi çekip çıkarma (pull out) deneyi

M serisine ait çekip çıkarma deney sonuçları Şekil 4.27' de verilmiştir.



Şekil 4.27. M serisi (DKA-BA) çekip çıkarma (pull out) deney sonuçları

Çizelge 4.14 ve Şekil 4.27 incelendiğinde 25 °C de numunelerin çekme kapasitesi değerlerinde K ve L serilerine göre artışlar olduğu görülmektedir. BA içeriğinin artmasıyla doğru orantılı olarak numunelerin çekme kapasiteleri artmıştır. En yüksek çekme kapasitesi %100 BA içeriğine sahip M5 numunesinde görülmüştür. Bu artışın nedeni olarak BA'nın GBA ve DKA'ya göre daha dayanıklı bir agrega olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

200 °C ve 400 °C de tüm numunelerin çekme kapasiteleri kontrol numunesinden daha yüksek çıkmıştır. BA içeriği arttıkça numunelerin sıcaklıktan etkilenme oranları azalmıştır. Bunun nedeni olarak BA'nın DKA'ya göre daha dayanıklı bir agrega olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Genel olarak 25 °C, 200 °C ve 400 °C deki 3 setin sonuçları incelendiğinde geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregasının bazalt agregası ile birlikte yüksek sıcaklığa maruz kalma ihtimali olan yerlerde bile kullanılabilmesi gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal kırma taş agregaya yerine geri dönüştürülmüş bitümlü asfalt agregası ve bazalt agregaya kullanılması betonun özellikleri üzerine etkisini incelemek üzere deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 3 set beton karışımı üretilmiştir. Bunlardan K serisi %0, %20, %40, %60, %80, %100 GBA ikamesi, L serisi %0, %10, %20, %30, %40, %50 GBA ve BA ikamesi ve M serisi ise %0, %20, %40, %60, %80, %100 BA ikamesinden oluşmaktadır. Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Oda sıcaklığında gerçekleştirilen basınç dayanımı sonuçlarına göre %20 ve %40 GBA ikamesine sahip K1 ve K2 karışımlarında dayanımın sırasıyla yaklaşık %3 ve %4,5 arttığı fakat GBA içeriğinin daha fazla artmasıyla basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. GBA ve BA içeren L serisinde ve BA içeren M serisinde bulunan bazaltın ağır ve dayanıklı bir agregaya olmasından dolayı basınç dayanımı değerlerini oldukça arttırdığı görülmektedir.
- Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı testi sonuçları incelendiğinde, %100 GBA içeren K5 numunesi hariç, tüm GBA içeren numunelerin kontrol numunesine göre daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu artışların sebebi olarak, karışım içeriğindeki bitümün eriyerek beton bünyesindeki boşlukları doldurmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yalnızca BA ikamesine sahip M serisinde, BA'nın DKA'ya göre daha yüksek basınç dayanımına sahip olması sebebiyle yüksek sıcaklıktan kaynaklanan düşüşlerin azaldığı gözlemlenmektedir.
- %20 GBA ikamesine sahip olan K1 numunesi kontrol numunesine göre yaklaşık %4 daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. Daha yüksek GBA ikamelerinde eğilme dayanımında azalmalar olmasına karşın bu azalmalar kabul edilebilir seviyelerdedir. L serisinde, kontrol numunesine göre %40 ikame oranına kadar eğilme dayanımında artış olmaktadır. BA ve GBA'nın birlikte kullanılması eğilme dayanımında olumsuz bir etki yaratmamaktadır. M serisinde ise tüm numunelerin eğilme dayanımları kontrol numunesine göre daha yüksektir. BA'nın eğilme dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

- Test çekici deney sonuçları incelendiğinde, K serisinde tüm numunelerde çok az miktarda artışlar olmuştur ve bu artışlar birbirine çok yakın değerlerdedir. Bunun sebebi test çekicinin yüzey sertliğini 3 cm derinliğe kadar ölçüyor olmasıdır. L ve M serilerinde, daha yüksek dayanımlı olan BA içeriğinin artmasına bağlı olarak test çekici değerleri kontrol numunesinden daha yüksek çıkmıştır.
- K serisinde %40 GBA ikame oranına kadar aşınma değerlerinde bir miktar düşüş olmakta, GBA ikamesinin artmasıyla aşınma değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. L ve M serilerinde tüm numunelerin aşınma değerleri kontrol numunesine göre daha düşük çıkmıştır. Bu düşüşün, BA'nın aşınmaya karşı dirençli olması ve basınç dayanımı değerlerini arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Ultrasonik dalga hızı deney sonuçlarına göre oda sıcaklığında K4 ve K5 numunesi hariç tüm numunelerin Whitehurst (1995) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre mükemmel kategorisinde çıktığı görülmektedir. Karışım içeriğindeki GBA miktarı arttıkça ultrasonik dalga hızı değerlerinde düşüşler olmaktadır. Bu düşüşlerin, GBA'nın betonun yoğunluğunu düşürüyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin ultrasonik dalga hızı deney sonuçları incelendiğinde 200 °C sıcaklıkta K3 numunesi ve 400 °C sıcaklıkta L3, L4 ve L5 numuneleri mükemmel kategorisinden iyi kategorisine düşmüşlerdir. Bu düşüşlerin, karışım içerisindeki GBA miktarının artmasından ve yüksek sıcaklık etkisinde betonun bünyesindeki boşluk miktarının artmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. M serisi numunelerinin ultrasonik dalga hızı değerlerinde düşüşler olmasına rağmen bitüm içermediği ve bazalt agregası içeriği arttığı için tüm sıcaklıklarda mükemmel kategorisinde çıkmışlardır.
- GBA içeriğinin tüm sıcaklık değerlerinde su emme değerlerini kontrol numunesine göre düşürdüğü görülmektedir. Karışım bünyesindeki bitümün eriyerek betondaki boşlukları tıkadığı ve beton içerisine yüzeyden su geçişini azalttığından su emme oranlarında düşüşler görülmektedir. M serisi karışımları içerisinde bitüm

bulunmamasına rağmen kontrol numunesinden daha düşük çıkmasının sebebi BA'nın DKA'ya göre sıcaklığa karşı daha dayanıklı bir agrega olmasıdır.

- Kapilarite deney sonuçları incelendiğinde sonuçların su emme deneyi sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Karışım içerisindeki bitümün eriyerek beton bünyesindeki kapiler boşlukları tıkamasıyla su geçişini engellediği düşünülmektedir. Karışım içeriğindeki GBA miktarı arttıkça kapilarite kat sayı değeri de düşmektedir.
- Tüm deney sonuçları birlikte incelendiğinde hızlı klor geçirimsizliği değerlerinin birbirine yakın çıktığı görülmektedir. %20 GBA ikamesine sahip K1 numunesi en düşük değere sahiptir. Beton içerisindeki GBA'nın hızlı klor geçirimsizliği değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Hızlı klor geçirimsizliği deney sonuçlarının diğer geçirimsizlik deneyleri sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir.
- %5 konsantrasyona sahip asit çözeltisi içerisinde 1 ay bekletilen numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde GBA ikamesi %40 oranına kadar kontrol numunesi göre daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. GBA içeriği artmaya devam ettikçe basınç dayanımlarının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bazalt agregası kullanımı ile birlikte asit atağına karşı direnç oldukça artmıştır. Bu artışın nedeni, BA'nın asitlere karşı dayanıklı bir agrega olmasıdır. Buna bağlı olarak BA ile birlikte daha yüksek oranlarda GBA kullanılabilir.
- Oda sıcaklığında yapılan çekip çıkarma (pull out) deney sonuçları incelendiğinde K serisi numunelerinin çekme kapasitelerinin kontrol numunesine göre daha düşük çıktığı görülmektedir. L ve M serilerinde ise çekme kapasitelerinde BA'nın artmasıyla doğru orantılı olarak artışlar görülmektedir.
- 200 °C ve 400 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin çekme kapasiteleri incelendiğinde K ve M serilerinde sıcaklık arttıkça çekme kapasitelerinde artışlar görülmektedir. Bu artışların, karışım içeriğinde eriyen bitümün yapışma özelliğinden dolayı donatı ile bir aderans oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. GBA'nın BA ile birlikte kullanılması ile aynı GBA ikame oranına sahip numunelerden daha yüksek çekme kapasitelerine ulaştığı görülmektedir. Bu artışın, BA'nın DKA'ya göre daha dayanıklı bir agrega olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüm bu sonuçlar incelendiğinde BA ve GBA'nın birlikte

kullanılmasının çekme kapasitesi özelliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

- Tüm bu deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde GBA'nın beton agregası olarak özellikle taşıyıcı olmayan betonlarda, hafif beton ve geçirimsiz beton uygulamalarında kullanılabileceği düşünülmektedir. GBA kullanımı ile birlikte mekanik özelliklerde oluşan kayıpların GBA'nın kullanımı ile birlikte oluşacak ekonomik ve çevresel katma değerler düşünüldüğünde kabul edilebilir seviyede kaldığı görülmektedir.
- GBA miktarının artması ile birlikte oluşabilecek dayanım kayıplarının, bazalt agregası gibi yüksek dayanımlı agregalar ile birlikte kullanılmasıyla bertaraf edilebileceği görülmüştür. Yüksek dayanımlı başka agrega tipleri ile GBA'nın birlikte kullanıldığı başka çalışmalar yapılabilir. Ya da GBA'nın daha yüksek bazalt agregasının daha düşük oranda kullanıldığı bir çalışma yapılarak daha yüksek oranlarda GBA kullanılıp kullanılmayacağı belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Abedalqader, A., Shatarat, N., Ashteyat, A., & Katkhuda, H. (2020). Influence of temperature on mechanical properties of recycled asphalt pavement aggregate and recycled coarse aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 121285.
- Abraham, S. M., & Ransinchung, G. D. (2019). Effects of reclaimed asphalt pavement aggregates and mineral admixtures on pore structure, mechanical and durability properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 216, 202-213.
- Al-Baijat, H. ve Benedetti, A. (2013). Kireçtaşı Kullanan Kompozit Kolon ve Bazalt Betonun Karşılaştırılması.
- Al-Mufti, R. L., & Fried, A. N. (2017). Improving the strength properties of recycled asphalt aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 149, 45-52.
- Al-Oraimi, S., Hassan, H. F., & Hago, A. (2009). Recycling of reclaimed asphalt pavement in Portland cement concrete. *The Journal of Engineering Research [TJER]*, 6(1), 37-45.
- Arıkan, E., (1997). Sathi kaplamalarda su etkisi altında, agrega ile bitümlü bağlayıcı arasındaki yapışma yeteneğinin, kullanılan malzemelere bağlı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Arıkan Öztürk, E., (1998). Sathi Kaplamalı Yollarda Asfalt Emülsiyonu Kullanımının Avantajları . 4. Ulaştırma Kongresi, Denizli, Turkey
- ARRA., (2011). Basic Asphalt Recycling Manual, U.S. Department of Transportation.
- Asphalt Institute, The History of the Asphalt ,Annual Magazine 2002
- ASTM C 1202–97, 1997. Standart test method for electrical indication of concrete's ability to resist chrolide ion peneration. Annual Books of ASTM Standarts
- ASTM C 39, (1994). Standard test method for compressive strength of cylindric concrete specimens. Annual Books of ASTM Standarts.
- ASTM C 597-02, (1994). Standart test method for pulse vecolity through concrete.
- ASTM C 642, (2013). Standart test method for density, absorption and voids in hardened concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bağırsakçı, S., Akçay, E.A., Manav, E., Polat, C., (1995). Diyarbakır, Ergani, Çınar, alanı jeolojisi raporu. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi yayını, 1-4.
- Baradan B., Yazıcı H., Ün H., (2010), Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite) (İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği)

- Bittencourt, S. V., da Silva Magalhães, M., & da Nóbrega Tavares, M. E. (2020). Mechanical behavior and water infiltration of pervious concrete incorporating recycled asphalt pavement aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, e00473.
- BOĞA, A. R. (2015). Geçirimli Beton Üretiminde Bazalt Agregası Kullanımının Mekanik Özelliklere Etkisi. *Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11(1).
- Brand, A. S., & Roesler, J. R. (2017). Bonding in cementitious materials with asphalt-coated particles: Part I—The interfacial transition zone. *Construction and Building Materials*, 130, 171-181.
- Coppola, L., Kara, P., & Lorenzi, S. (2016). Concrete manufactured with crushed asphalt as partial replacement of natural aggregates.
- Çubuk, M., (2007). Katkı maddeleri ile bitümün reolojik özelliklerinin geliştirilmesi ve esnek kaplama malzeme oluşumunda problemlerin giderilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara.
- Dhannoon H. A., (2017). Irak karayolları için Taguchi yöntemi kullanarak geri kazanım asfalt malzemeleri ile binder tabakası tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta.
- Elaty, A., Abd Allah, M., & Ghazy, M. F. (2020). Feasibility of Using Recycled Asphalt Pavement Aggregates in Concrete Pavement. *ERJ. Engineering Research Journal*, 43(4), 337-343.
- Erdoğan, T.Y., (2003). Beton. *ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş.* Ankara.
- Erkan, Y., (1995). Magmatik Petrografi. *Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendislik Bölümü Raporu* 44s. Ankara
- European Asphalt Pavement Association. (2011). The asphalt paving industry, a global perspective. NAPA (USA), EAPA (Brussels).
- Huang, B., Shu, X., & Li, G. (2005). Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements. *Cement and Concrete Research*, 35(10), 2008-2013.
- Işıklıdağ, B., (2009). Atık asfalt kırıklarının beton yollarda agrega yerine kullanılmasının araştırılması, Doktora tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, Eskişehir.
- Kishore, I. S., Mounika, L., Prasad, C. M., & Krishna, B. H. (2015). Experimental study on the use of basalt aggregate in concrete mixes. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 2(4), 37-40.

- KOZAK, M. (2020). Kalker ve Bazalt Agregaları ile Beton Travers Üretimi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 10(2), 19-25.
- Li-Ping, G., Miao, W., Cong, D., & Li-Juan, C. (2020). Effect of incorporating reclaimed asphalt pavement on macroscopic and microstructural properties of high ductility cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 260, 119956
- Okafor, F. O. (2010). Performance of recycled asphalt pavement as coarse aggregate in concrete. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 17(9), 47-58.
- Orhan, A., Namık, A. K., Erensoy, A., & Nurettin, Ç. E. K. (2020). Betonda Bazalt Agreganın Kullanımı ve Özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 524-532.
- Orhan, F., (2005). Bitümlü karışımlar laboratuvarı çalışmaları, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara, 10-24 (2005)
- Ozturk, M., Karaaslan, M., Akgol, O., & Sevim, U. K. (2020). Mechanical and electromagnetic performance of cement based composites containing different replacement levels of ground granulated blast furnace slag, fly ash, silica fume and rice husk ash. *Cement and Concrete Research*, 136, 106177.
- Rezaei, M. R., Abdi Kordani, A., & Zarei, M. (2020). Experimental investigation of the effect of Micro Silica on roller compacted concrete pavement made of recycled asphalt pavement materials. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-15.
- Salta, İ., (2010). Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Settari, C., Debieb, F., Kadri, E. H., & Boukendakdji, O. (2015). Assessing the effects of recycled asphalt pavement materials on the performance of roller compacted concrete. *Construction and Building Materials*, 101, 617-621.
- Shadmani, A., Tahmouresi, B., Saradar, A., & Mohseni, E. (2018). Durability and microstructure properties of SBR-modified concrete containing recycled asphalt pavement. *Construction and building materials*, 185, 380-390.
- Shatarat, N., Alhaq, A. A., & Katkhuda, H. (2019). Investigation of axial compressive behavior of reinforced concrete columns using Recycled Coarse Aggregate and Recycled Asphalt Pavement aggregate. *Construction and Building Materials*, 217, 384-393.
- Shi, X., Mukhopadhyay, A., & Liu, K. W. (2017). Mix design formulation and evaluation of portland cement concrete paving mixtures containing reclaimed asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 152, 756-768.
- Singh, S., Ransinchung RN, G. D., & Kumar, P. (2018). Laboratory investigation of concrete pavements containing fine RAP aggregates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(2), 04017279.

TS 2824 EN 1338, 2005. Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - gerekli şartlar ve deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA

Yıldız S., Işık, N. Keleştemur O. (2008). Diyarbakir-karacadağ bazalt taşlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20(4), 617-626.

Yılmaz, M., Kök, B., V. ve Kuloğlu, N., (2011). Karayolu Esnek Üstyapı Malzemelerinin Geri Dönüşümünde Köpük Asfalt Yönteminin Kullanılması, 6. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Elazığ,

Whitehurst, E. A. (1951). Soniscope tests concrete structures. In *Journal Proceedings* (Vol. 47, No. 2, pp. 433-444).



DİZİN

A

Agrega · viii, xi, xii, 15, 16, 26,
27, 43, 47, 51, 55, 59, 63, 66,
68, 72, 76
Asit · viii, x, xi, xiii, 30, 40, 71,
72, 73, 75
Aşınma · viii, ix, xi, xii, xiii, 30,
33, 34, 54, 55, 58, 79
Atık · 81

B

BA · xii, xiv, 16, 28, 43, 45, 46,
47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 57,
58, 59, 61, 62, 63, 65, 66, 68,
70, 71, 72, 74, 75, 76, 78
Basınç · viii, ix, xi, xii, 21, 29,
31, 43, 72
Bazalt · viii, xiv, 20, 26, 45, 46,
49, 50
Beton · iv, viii, ix, xi, xii, xiii, 15,
21, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 35, 38, 50, 51, 60, 61, 62,
81
Bitümlü · iv, vii, xiv, 16, 17, 19,
26, 81, 82

D

dayanımı · iv, viii, ix, 16, 21, 23,
29, 31, 33, 35, 40, 43, 44, 45,
46, 48, 49, 50, 53, 54, 73, 74,
75
DKA · xii, xiii, xiv, 16, 28, 43,
44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51,
52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59,
60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68,
69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76,
77, 78
doğal kırma taş · iv, 16, 45, 46

E

Eğilme · viii, ix, xi, xii, 24, 29,
31, 47

G

GBA · xii, xiii, xiv, 43, 44, 45,
47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55,
56, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 65,
66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73,
74, 76, 77, 78, 79

Geçirimlilik · xi
geri dönüştürülmüş · iv, 16, 19,
21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 79

İ

ikame · iv, 16, 21, 25, 45, 46, 48,
49, 50, 56, 69, 73, 75, 79
İskenderun · ii, iii

K

Kontrol · 22, 28, 43, 47, 51, 55,
59, 60, 61, 62, 63, 66, 68, 72,
76

S

Su emme · viii, 36

Y

Yüksek sıcaklık · 67, 68



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

