

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İRİ AGREGA YERİNE İKAME EDİLMİŞ KAZINMIŞ ASFALT
KAPLAMALI BETONLARDA DAYANIM DEĞERLENDİRMESİ**

AYSUN DİLAN GERGERLİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2018

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

**İRİ AGREGA YERİNE İKAME EDİLMİŞ KAZINMIŞ ASFALT
KAPLAMALI BETONLARDA DAYANIM DEĞERLENDİRMESİ**

Aysun Dilan GERGERLİ

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 11/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih ŞAHAN
Danışman

Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞAN
Üye

Prof. Dr. Refet KARADAĞ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

BEYAN

“İri Agrega Yerine İkame Edilmiş Kazınmış Asfalt Kaplamalı Betonlarda Dayanım Değerlendirmesi” başlıklı tezimde çalışmalarım tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Aysun Dilan GERGERLİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İRİ AGREGA YERİNE İKAME EDİLMİŞ KAZINMIŞ ASFALT KAPLAMALI BETONLARDA DAYANIM DEĞERLENDİRMESİ

Aysun Dilan GERGERLİ

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih ŞAHAN
Yıl : 2018, Sayfa sayısı:68

Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih ŞAHAN
Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN
Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞAN

Eskiye yollardan bakım-onarım ve yenileme çalışmaları esnasında kazınan bozulmuş asfalt kaplamaların yeniden kullanılması, doğal malzeme ihtiyacının azalmasına ve doğal agrega kaynakları ile çevrenin korunmasına katkı sağlar. Bu çalışma asfalt yolların yenilenmesi sonucunda ortaya çıkan atık malzemelerin geri dönüştürülerek saha betonlarında kullanılması ve böylece doğal agrega kullanımının azaltılmasına katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır. Bu tez çalışmasında, kazınmış asfalt malzemelerin betonda iri agrega yerine ikame edilebilirliği araştırılmış ve değişen oranlarda kazınmış asfalt malzeme ikamesi ile elde edilen saha betonlarının farklı sıcaklık etkisi altındaki davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde kullanılan kazınmış asfalt malzeme 4–22.4 mm boyutlarında olup, iri agrega yerine %5, 10, 20 ve 30 oranlarında ikame edilmiştir. Beton karışımı için CEM II 42.5 R Portland çimentosu kullanılmış ve çimento dozajı olarak 350 kg/m³ alınmıştır. İri agrega yerine %5, 10, 20 ve 30 oranlarında kazınmış asfalt malzeme ikame edilerek üretilen beton numuneleri üzerinde hasarlı ve hasarsız deneyler yapılmıştır. Taze betonda çökme, birim hacim ağırlık değerleri hesaplanırken, sertleşmiş ve farklı sıcaklıklarda etüvde bekletilmiş numunelerde birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı bulunarak, elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kazınmış Asfalt; Geri Dönüşüm; Dayanım; Beton Katkı Malzemesi

ABSTRACT

MSc Thesis

ASSESSMENT OF STRENGTH IN CONCRETES SUBSTITUTED WITH SCRAPED ASPHALT PAVEMENT FOR COARSE AGGREGATE

Aysun Dilan GERGERLİ

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr.Mehmet Fatih ŞAHAN
Year : 2018, Number of pages:68

Jury : Asst. Prof. Dr.Mehmet Fatih ŞAHAN
Assoc. Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Asst. Prof. Dr. Ali DOĞAN

Reusing damaged asphalt pavement that is removed during maintenance-repair and renewal of deteriorated roadways helps to reduce the need for natural materials and to preserve natural aggregate resources and the environment. This study aims to promote recycling and using of scraped paving materials gained during renewal of asphalt roadways in field concrete and thus contribute to cut down natural aggregate usage. In this dissertation, substitutability of scraped asphalt materials for coarse aggregate in concrete is studied and the behaviors of field concretes substituted with various proportions of scraped asphalt materials under different temperature conditions are investigated. The size of scraped asphalt materials used in experiments was 4–22.4 mm and they were substituted for coarse aggregate in 5%, 10%, 20% and 30% proportions. CEM II 42.5 R Portland cement was used for concrete mix and cement dosage was 350 kg/m³. Experiments were carried out on concrete samples substituted with scraped asphalt materials in rates of 5%, 10%, 20% and 30% for coarse aggregate under both damaged and undamaged conditions. For fresh concrete, slump values and weight per unit of volume were calculated; for samples that were hardened and oven-dried at various temperatures, weight per unit of volume, ultrasonic pulse velocity, pressure strength and bending strength values were calculated and finally values of modulus of elasticity were found for both.

Key Words: Scraped Asphalt; Recycling; Strength; Concrete Admix Material

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans süresince tüm çalışmalarımda bana danışmanlık ederek beni yönlendiren ve bana her türlü olanağı sağlayan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih ŞAHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Kazınmış asfalt malzemenin temini hususunda büyük kolaylık sağlayan Karayolları 57. Şube Şefliği'ne ve Sayın Emir GÜNER'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalara yardım eden Ramazan ARDA ile Uğur ÜZÜMCÜ'ye ve İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün diğer öğrencilerine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca her konuda fedakârlıkta bulunan nişanlım Furkan POLAT'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca beni her yönden destekleyen ve bu günlere gelmeme destek olan annem Emine GERGERLİ'ye ve babam Sabri GERGERLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
RESİMLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR.....	9
3.1. Bitümlü Karışımların Tarihçesi.....	9
3.2. Bitümlü Bağlayıcılar.....	10
3.2.1. Katran.....	10
3.2.2. Asfalt.....	10
3.3. Bitümlü Karışımlar.....	11
3.3.1. Sathi Kaplama.....	11
3.3.2. Asfalt Betonu.....	11
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
4.1. Kullanılan Malzemeler.....	13
4.1.1. Çimento.....	13
4.1.2. Karışım Suyu.....	13
4.1.3. Agrega.....	13
4.1.4. Kazınmış Asfalt Malzeme (KAM).....	15
4.2. Beton Üretim Çalışmaları.....	16
4.2.1. Karışım Hesabı.....	16
4.2.2. Beton Karışımlarına Ait Serilerin Kodlanması.....	19
4.2.3. Beton Numunelerin Hazırlanması.....	20
4.3. Beton Deneyleri.....	24
4.3.1. Taze Beton Deneyleri.....	24
4.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	25
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	30
5.1. Bulgular.....	30
5.1.1. Taze Beton Deney Sonuçları.....	30
5.1.1.1. Çökme.....	30
5.1.1.2. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık.....	30
5.1.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	31
5.1.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık.....	31
5.1.2.2. Ultrases Geçiş Hızı.....	32
5.1.2.3. Basınç Dayanımı.....	33
5.1.2.4. Eğilme Dayanımı.....	35
5.1.2.5. Elastisite Modülü.....	36
5.2. Tartışma.....	37

5.2.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	38
5.2.1.1. Çökme Değerlerinin İrdelenmesi	38
5.2.1.2. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin İrdelenmesi.....	39
5.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	41
5.2.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin İrdelenmesi ...	41
5.2.2.2. Ultrases Geçiş Hızı Değerlerinin İrdelenmesi.....	42
5.2.2.3. Basınç Dayanım Değerlerinin İrdelenmesi	49
5.2.2.4. Eğilme Dayanım Değerlerinin İrdelenmesi	58
5.2.2.5. Elastisite Modülü Değerlerinin İrdelenmesi	60
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR	65
KİŞİSEL BİLGİLER.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Agregaların özgül ağırlıkları.....	16
Çizelge 4.2 Agregaların su emme oranları.....	16
Çizelge 4.3 Agregaların doğal nem oranları	17
Çizelge 4.4 Hacimce agrega oranları	17
Çizelge 4.5 350 dozajlı beton karışımının hacimce agrega miktarları (1 m ³ için).....	18
Çizelge 4.6 350 dozajlı beton karışımının ağırlıkça agrega miktarları (1 m ³ için)	18
Çizelge 4.7 350 dozajlı beton karışımında nem düzeltmesi sonrası ağırlıkça agrega miktarları (1 m ³ için)	19
Çizelge 5.1 Taze beton çökme değerleri	30
Çizelge 5.2 Taze betonun birim hacim ağırlıkları.....	31
Çizelge 5.3 Suyu doymuş sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları	31
Çizelge 5.4 Isıya maruz kalmış haldeki betonların sertleşmiş birim hacim ağırlıkları	32
Çizelge 5.5 Küp numunelerin suya doymuş ve yüzey kuru halde ultrases geçiş hızları	33
Çizelge 5.6 Küp numunelerin 24 saat ısıya maruz kalmış halde ultrases geçiş hızları	33
Çizelge 5.7 Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları	34
Çizelge 5.8 Kirişlerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları	35
Çizelge 5.9 Ultrases geçiş hızı kullanılarak bulunan dinamik elastisite modülü.....	37
Çizelge 5.11 Kıvam Sınıfı [29]	39
Çizelge 5.12 Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi [29]	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1	Agrega karışımının granülometri eğrisi	15
Şekil 4.2	Beton karışımlarının ve serilerin tanımlanması	20
Şekil 4.3	Kiriş numuneler orta noktadan yükleme deney düzeneği [24]	28
Şekil 5.1	KAM ikameli taze beton karışımlarının çökme değerleri.....	38
Şekil 5.2	Taze beton birim hacim ağırlığının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi	40
Şekil 5.3	Suya doygun küp numunelerin sertleşmiş haldeki birim hacim ağırlığının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi	41
Şekil 5.4	28 günlük küp numunelerin farklı ısılara maruz kalmış betonların sertleşmiş birim hacim ağırlığının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi	42
Şekil 5.5	7 ve 28 günlük suya doygun yüzey kuru haldeki küp numunelerin ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi	43
Şekil 5.6	KAM ikameli 7 günlük küp numunelerin ultrases geçiş hızlarının ısı ile değişimi	44
Şekil 5.7	KAM ikameli 28 günlük küp numunelerin ultrases geçiş hızlarının ısı ile değişimi	44
Şekil 5.8	KAM ikameli 7 ve 28 günlük numunelerin 25°C ısıya maruz kalmış haldeki ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi	45
Şekil 5.9	7 ve 28 günlük numunelerin 50°C ısıya maruz kalmış ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi.....	46
Şekil 5.10	7 ve 28 günlük numunelerin 75°C ısıya maruz kalmış ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi.....	47
Şekil 5.11	KAM ikameli 7 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile değişimi	49
Şekil 5.12	KAM ikameli 28 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile değişimi	50
Şekil 5.13	KAM ikameli 7 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile azalma oranı.....	50
Şekil 5.14	KAM ikameli 28 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile azalma oranı.....	51
Şekil 5.15	7 ve 28 günlük küp numunelerin 25°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi.....	52
Şekil 5.16	7 ve 28 günlük küp numunelerin 50°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi.....	53
Şekil 5.17	7 ve 28 günlük küp numunelerin 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi.....	54
Şekil 5.18	7 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi.....	55
Şekil 5.19	7 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile azalma oranı	55
Şekil 5.20	28 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi.....	56

Şekil 5.21 28 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile azalma oranı.....	57
Şekil 5.22 7 ve 28 günlük kiriş numunelerin eğilme dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi	59
Şekil 5.23 7 ve 28 günlük kiriş numunelerin eğilme dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile artış oranı	59
Şekil 5.24 Dinamik elastisite modülünün ikame edilen KAM miktarı ile değişimi ..	61

RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1 Karışımlarda kullanılan 11.2–22.4 mm kırmataş.....	14
Resim 4.2 Karışımlarda kullanılan 4–11.2 mm kırmataş.....	14
Resim 4.3 Karışımlarda kullanılan 0–4 mm kum	14
Resim 4.4 Beton karışımlarında kullanılan kazınmış asfalt malzeme	15
Resim 4.5 Beton üretim çalışmalarında kullanılan beton mikseri	21
Resim 4.6 Beton üretim çalışmaları	21
Resim 4.7 Beton numunelerinin kalıplara doldurulması	22
Resim 4.8 Beton numunelerinin vibrasyon masasında sıkıştırılması	23
Resim 4.9 Çalışmalar sonucunda küp numuneler yardımıyla üretilen betonlar	24
Resim 4.10 Çalışmalar sonucunda kiriş numuneler yardımıyla üretilen betonlar	24
Resim 4.11 Çökme deneyi	25
Resim 4.12 Küp numunelerde ultrases deneyi	26
Resim 4.13 Kiriş numunelerde eğilme deneyi (yükleme öncesi)	28
Resim 4.14 Kiriş numunelerde eğilme deneyi (yükleme sonrası)	29

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Basınç uygulanan yüzey alanı
E_d	: Dinamik elastisite modülü
GPa	: Gigapaskal
l	: Ölçü boyu
L	: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık
MPa	: Megapaskal
N	: Betonun birim ağırlığı
P	: Kırılma anındaki yük
T	: Geçiş süresi
V	: Ultrases geçiş hızı
°C	: Sıcaklık
μ	: Poisson oranı
$\sigma_{\text{basınç}}$: Basınç dayanımı
$\sigma_{\text{eğilme}}$: Eğilme dayanımı

Kısaltmalar

C	: Beton sınıfı
Ç	: Çimento
K	: Kum
KAM	: Kazınmış asfalt malzeme
KT I	: Kırmataş I
KT II	: Kırmataş II
S	: Su
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TS	: Türk standartları

1. GİRİŞ

Beton; çimento, kum, çakıl, su ve ihtiyaç duyulması halinde katkı maddelerinin uygun oranlarda karılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup çimentonun hidrasyonu ile katılaşıp sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir [1].

Beton agregaları, minerallerden oluşan taneli malzemelerdir. En çok kullanılan agrega çeşitleri kum, çakıl ve kırmataşlardır. Türk standartlarındaki tanımlamaya göre 4.0 mm göz açıklıklı elekten geçen malzemeler “ince agrega”, bu elek üzerinde kalan malzemeler ise “iri agrega” olarak nitelendirilir. Çimento, bağlayıcı özelliği olan bir yapı malzemesidir. Çimentonun bu bağlayıcılık özelliği, malzemenin su ile birlikte karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Çimento ve suyun birleşmesiyle oluşan bu malzemeye “çimento hamuru” denilmektedir. Betonun meydana gelmesinde çimento hamurunun görevi, agrega tanelerinin yüzeyini kaplamak, bu taneler arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir arada tutmaktır. Bu sebeple beton, “çimento hamuru ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme” olarak nitelendirilebilir [2]. Kısaca çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar, kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompozitesini artırır diyebiliriz [3].

Bilim insanları, yıllardır bilinçsizce kirletilmiş olan çevrenin nasıl temizleneceğinin ve atık maddelerin nasıl değerlendirilebileceğini araştırmışlardır. Bir bedel ödeyerek alınan maddi varlıkların işe yaramadığı, fonksiyonunu yitirdiği zaman çöpe atılan veya bir yerde biriktirilen, ekonomik ömrünü yitirmiş olan her türlü materyale “atık” denir. Kullanılabilir katı atıklar, bir takım fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir hammaddeye dönüştürülebilir. Atık maddelerin çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra başka bir hammadde olarak üretilmesi sürecine “Geri Dönüşüm” denir [4].

Yaşlanarak bozulan asfalt yollarda üst kaplama kazınarak alınır ve bunun yerine yeni asfalt karışımı serilerek sıkıştırılır. Kazınan asfalt kaplamalar genelde atık malzeme sahalarında depolanmaktadır. Açık sahalarda depolanan kazınmış asfalt malzemeler içerisindeki petrol esaslı bitüm nedeniyle zaman içinde farklı mevsim

şartları nedeniyle yeraltı sularına zarar verebilmekte ve yeraltı sularımız kirlenebilmektedir. Kazınan eski asfalt kaplamaların bitümü özel yöntemlerle asfalttan ayrılarak da tekrar kullanılabilir. Bozulmuş asfalt kaplamaların kazınarak yeniden kullanılması ile yeni malzeme ihtiyacında azalma olur. Böylece doğal kaynakların korunmasına ve atık sahalarının oluşumunun engellenmesine katkı sağlanmış olunur [5]. Kazınmış atık asfalt malzemelerin beton karışımında agrega ile birlikte kullanılmasıyla hem atık sahaların oluşumu engellenebilir hem de doğal agregaların daha az kullanılması ile ekonomiye katkı sağlanabilir [6].

Genel olarak atık malzemelerin beton karışımında kullanılabilirliği üzerine son zamanlarda pek çok çalışma yapılmış olup bu tür uygulamalar oldukça yaygın hale gelmiştir. Beton içerisinde kullanılan atık malzemeler agrega veya katkı olarak değerlendirilmektedir. Kazınmış asfalt malzemelerin mevcut yolların bakımında ya da yeni yolların yapımında bitümlü sıcak karışımın içerisinde tekrar kullanılması oldukça yaygın bir kullanım şeklidir [6].

Atık malzemelerin geri dönüşümü konusu inşaat mühendisliği çerçevesinde ele alındığında; doğal agrega kaynaklarının azalmaya başlaması, atık malzemelerin elden çıkarılmasının maliyet gerektirmesi gibi sorunlar, geri dönüşümlü beton düşüncesini cazip hale getirmiştir. Betonun yaklaşık olarak %75'inin agrega olduğu düşünülürse atık malzemelerin agrega olarak kullanılmasının önemi ortaya çıkar [4]. Karayollarının onarımı ya da yenilenmesi sonucu çok büyük miktarda ortaya çıkan malzemenin geri dönüştürülmesi işlemi, agregaya en çok ihtiyaç duyulan sektörlerden biri olan inşaat sektörü için çok elverişli olup oldukça yüksek avantajlar sağlayabilmektedir [7].

Kazınmış asfalt malzemelerin betonda agrega yerine kullanılması doğal agrega kullanımının azaltılmasına ve atık malzemelerin geri dönüştürülmesine katkı sağlar. Bu tez çalışmasında kazınmış atık asfalt malzemelerin hiçbir işlemden geçirilmeksizin sadece elenmek suretiyle ortam ısısına maruz saha betonlarında agrega ile birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bu tez çalışması ile;

- Kazınmış asfalt malzemenin beton karışımında agrega ile birlikte kullanıldığında en uygun kullanım oranının belirlenmesi,

➤ Farklı oranlarda kazınmış asfalt malzeme kullanılarak elde edilen betonların farklı ortam ısılarındaki basınç ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler için kazınmış asfalt malzemeler hiçbir işleme tabi tutulmadan elenmiş ve 4-22.4 mm elek arası kullanılmak üzere alınmıştır. Deneylerde; kazınmış asfalt malzeme, agrega yerine %5, 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmış ve CEM II 42.5 R çimento ile 350 dozajlı beton karışımları üretilmiştir. Çalışma doğrultusunda farklı ortam ısılarına maruz (25°C, 50°C ve 75°C) beton numuneleri üzerinde hasarlı ve hasarsız deneyler yapılmıştır. Taze beton için çökme değerleri ölçülerek taze birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. 7 ve 28 günlük sertleşmiş beton numuneleri üzerinden birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı elde edilmiştir. Farklı oranlara sahip kazınmış asfalt malzemeli her karışım ve maruz bırakılan her ortam ısısı için 7 ve 28 günlük deneyler için ayrı ayrı olmak üzere birer set (3 adet 150 mm'lik küp) beton numuneleri üretilmiştir. Her farklı karışım için ayrı ayrı olmak üzere birer set küp numune oda ısısında, birer set küp numune 50°C etüvde, birer set küp numune ise 75°C etüvde 24 saat bekletildikten sonra ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımları elde edilmiştir. Farklı oranlara sahip kazınmış asfalt malzemeli her karışım için 7 ve 28 günlük deneyler için ayrı ayrı olmak üzere birer set (3 adet 150x150x600 mm'lik kiriş) kiriş numuneler üretilmiştir. Her farklı karışım için ayrı ayrı olmak üzere birer set kiriş numune 24 saat boyunca oda ısısında bekletildikten sonra eğilme dayanımları elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler kullanılarak beton karışımları için dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda teknolojinin çok hızlı bir şekilde ilerlemesiyle birlikte kullanım yerlerine ve ihtiyaçlara göre farklı beklentileri karşılamak amacıyla özel betonların üretilmesi işi bir sektör haline gelmiştir. Betona farklı özellikleri kazandırmak elbette ki betonun geleneksel bileşenlerinin haricinde farklı nitelikteki yapı malzemelerini beton karışımına ilave etmekle olmaktadır. Bunun yanında bu sektörde betonun maliyetini azaltmaya yönelik pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu amaçla beton içerisine eklenebilecek malzemelerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Akçaözoğlu [8] çalışmasında atık PET şişe kırıklarının hafif harç üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneyler sadece PET numunelerinin kullanıldığı ve PET ve kum agregasının birlikte kullanıldığı iki grup harç üzerinde yürütülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda, atık PET şişe kırıklarının depreme dayanıklı yapı üretiminde hafif beton yapımında agrega olarak kullanılabilme potansiyelinin olduğu saptanmıştır. Ayrıca atık PET şişe kırıkları gibi endüstriyel atıkların beton üretiminde kullanılması, doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atıkların güvenli şekilde yok edilmesi, enerji tasarrufu açısından avantaj sağladığı ortaya çıkmıştır.

Akpınar [9] çalışmasında asfalt kırıklı agregaların beton içerisinde agrega olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. CEM I 42.5 R Portland çimentosu, kum, doğal agrega ve farklı oranlarda asfalt kırıkları kullanılarak üretilen beton numuneler üzerinde hasarlı ve hasarsız beton deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler ile asfalt kırıklı agregalı betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmış olup asfalt kırıkları ile üretilen beton yolların kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Akyıldız [10] çalışmasında bor atığı ve zeolit minerallerinin beton üretiminde kullanılması ve beton dayanımına etkisini araştırmıştır. Üretilen her bir beton karışımı üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan 150x150x150 mm'lik küp numuneler 7, 28 ve 56 gün süreyle kür havuzunda bekletilerek basınç, yarma, ses geçiş hızı, su emme ve donma-çözülme deneyleri ile dayanım ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Bor atıklarının betonda ve hafif

betonda dayanıma katkısı araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarından elde edilen basınç ve yarma deney sonuçları, %3 bor atığı katkısının betonun dayanım özelliklerini uzun vadede iyileştirdiği görülmüştür.

Çelik ve Gürdal [11] yapmış oldukları çalışmada yarfıstığı hafif agregası kullanarak üretilen çimento bağlayıcılı hafif malzemenin değışen agrega miktarına bağı olarak mekanik mukavemetleri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada yarfıstığı kabuğı hafif agregası ile birim hacim ağırlığı düşük, mekanik mukavemetleri yeterli düzeyde olan bir yapı malzemesi üretmek amaçlanmıştır. Hafif agrega olarak yarfıstığı kabuğı kullanılmıştır. Yarfıstığı kabuğı çimento bağlayıcı ile üretilen örneklere süneklik kazandırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yarfıstığı kabuklarının yapı malzemesi olarak kullanılması ile yapı endüstrisine, hammadde problemi yaşanmadan, ekonomik bir şekilde yeni malzeme kazandırılmış olacaktır.

Demirdağ ve Gündüz [12] çalışmasında volkanik cüruf agregaların TS ve ASTM standartlarına göre uygunluk kriterlerini analiz etmiş ve hafif yapı elemanı blokların elde edilmesinde kullanılabilirliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, volkanik cüruf agregaları, 0-4 mm ve 4-8 mm agregalar farklı kombinasyonlarda kullanılarak hafif betonlar elde edilmiştir. Elde edilen küp numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük basınç dayanımı ve birim ağırlık analizleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, volkanik cürufun inşaat sektöründe agrega ve hafif beton agregası olarak kullanılabilceğı sonucuna varılmıştır.

Güngör ve ark. [5] çalışmalarında zamanla bozulmuş olan yol üstyapısının onarımı için önceden kazınmış asfalt kırıklı agregaların yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım imalatında kullanılmasını ele almışlardır. Çalışmada karayollarında ilk kez uygulanan kazılmış asfalt kaplamaların yeniden kullanılması amacıyla “Sakarya Köprülü Kavşağı-Gümüşova (17. Bölge Müdürlüğü Sınırı) Arası Otoyol ve Bağlantı Yolları Üstyapı İyileştirmesi ve Büyük Onarım İşi” kapsamında yapılan çalışmalar aktarılmıştır. Çalışmada geri dönüşüm işlemi için sıcak geri dönüşüm metodu seçilmiştir. Bu metotta eski kazılmış malzeme ısıtılarak yeni hazırlanacak bitümlü karışıma katılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada aşınma tabakasının ufalanmış olması ve içerisindeki bitümün binder tabakasına göre daha yaşlanmış olmasından dolayı binder malzemesi kullanılmıştır.

Gürer ve ark. [13] çalışmalarında inşaat endüstrisinde geri dönüşüm yapılabilen malzemelerden bahsedilerek, atıklarının bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilme şekilleri anlatılmış ve Dünya'daki uygulamalarından bahsedilmiştir. Talep ve tüketim açısından bakıldığında geri dönüşümün özellikle inşaat alanında yaygın bir şekilde uygulanmasının önemli miktarlarda ekonomik ve hammadde kaynağı sağlayacağı görülebilir.

Işıkdağ [6] yapmış olduğu bu çalışmada atık asfalt kırıklarının beton ve harç numunelerde agrega yerine uygun kullanım oranlarını araştırmış olup beton yollarda kullanım uygunluğunu irdelemiştir. Yapılan deneylerde, atık asfalt kırıkları 4-16 mm ve 16-31.5 mm boyutlarında ve %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında doğal agrega yerine kullanarak 300, 350 ve 400 dozajlı beton numuneleri üretmiştir. Taze ve sertleşmiş beton ve harç numuneleri üzerinde fiziksel, mekanik ve dayanıklılık deneylerini yaparak numunelerin özelliklerini belirlemişlerdir.

Kılıçoğlu [14] yapmış olduğu çalışmada, atık camları çimento üretiminde ve beton içerisine cam tozu ya da cam agrega olarak kullanarak geri dönüştürmeyi hedeflemiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda, çimento üretiminde cam tozlarının %10 oranında kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Betonda ise cam agregaların yüksek oranda kullanımının mekanik özellikleri olumsuz etkilediği saptanmıştır. Atık camların Hazır Beton sektöründe geri dönüştürüldükten sonra özellikle cam tozlarının ekonomik olduğunu analiz etmiştir.

Özer [15] çalışmasında endüstriyel atık malzemelerden tuğla tozu, uçucu kül, mermer tozu ve taş tozunun mineral katkı malzemesi olarak betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcallık ve aşınma gibi özelliklerine etkisi karşılaştırmalı olarak irdelemiştir. Deneylerde Kontrol karışımı ve çimento yerine ağırlıkça tuğla tozu, mermer tozu, uçucu kül ve taş tozu eklenerek karışımlar üretilmiş ve üretilen karışımlardan elde edilen betonların dayanım özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda uçucu kül hariç tuğla tozu, mermer tozu ve taş tozu katkısının betonun işlenebilirliğini ve dayanımını azalttığı gözlenmiştir.

Öztürk [16] yaptığı çalışmada atık su filtre kekinin değerlendirilmesi amacı ile atık su filtre kekinin betonda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Üretilen

karışımlarda çimento yerine %15, 30 ve 60 oranlarında atık su filtre keki kullanılarak beton karışımları üretilmiştir. Atık su filtre keki ilave edilen beton karışımlarının taze ve sertleşmiş özellikleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda, çimento yerine atık su filtre keki kullanımının beton numunelerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yüzey sertliği dayanımı değerlerini olumsuz etkilemediği gözlenmiştir. Atık su filtre keki ilave edilen beton karışımlarının mekanik ve fiziksel özellikleri dikkate alındığında bu betonların kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Tulga [17] çalışmasında termik santralde oluşan uçucu küllerin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında uçucu külün, çimento miktarının %20'si kadar ilave edilmesiyle 4 farklı dayanımda (C20/25, C25/30, C30/37, C35/45) beton karışımı ve kendiliğinden yerleşen beton karışımı üretilmiştir. Karışımlarda 100 mm'lik küp kalıplar kullanılmış ve numunelere 3, 7, 28 ve 56 gün sonunda basınç dayanımı, yarmada çekme deneyi ve donma-çözülme deneyleri uygulanmıştır.

Tuncan ve ark. [18] iki aşamalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmalarının birinci bölümünde, otomobil lastik atıkları ve polietilen esaslı plastik atıklar, bitüm miktarının %5, 10 ve 20'si oranında ilave edilerek kullanılmış, ikinci bölümde ise endüstriyel atıklar olan uçucu kül, petrolü sondaj atığı, lastik tozları, mermer tozu, çimento ve kireç filler olarak kullanılmıştır. Araştırmacılar yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda, kullanılan atık malzemelerin asfalt betonunda katkı malzemesi olarak kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

Yıldız ve ark. [19] çalışmalarında 600°C'de yakılmış pirinç kabuğu külü çimentonun ağırlığınca %0, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında beton içerisine katılıp, elde edilen beton numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımlarını araştırmışlardır. Hazırlanan numunelerin 7, 14, 28 ve 90. günler sonundaki basınç ve eğilme dayanımlarına bakılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarla, %10 pirinç kabuğu külü içeren beton numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacıların yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda, atık madde olan pirinç kabuğunun yakılarak beton numunesinde puzolan olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Yukarıdaki verilen çalışmalardan anlaşıldığı üzere gerek çeşitli endüstriyel atıkların gerekse farklı malzemelerin beton içerisinde agrega yerine kullanıldığı çalışmalara çokça rastlanmaktadır. Yapılan literatür incelemesi sonucunda atık asfalt kırıklarının agrega yerine kullanıldığı çalışmaya rastlanmış olmasına rağmen kazınmış asfalt malzemelerin agrega yerine kullanılarak üretilen beton numunelerinin farklı ortam ısılarındaki (25°C, 50°C ve 75°C) davranışlarının araştırıldığı herhangi bir çalışmaya yazarın bilgisi dahilinde rastlanmamıştır.

3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR

Bitüm, rengi koyu kahve ile siyah arasında olan petrolün damıtılması esnasında ortaya çıkan hidrokarbon bir atıktır. Yüksek oranda hidrokarbon içeren katı, yarı katı veya viskoz bağlayıcılara verilen genel isim olan bitümün en geniş kullanım alanı yollardır. Bitüm, sıcak karışımlarda, su geçirimsiz ve viskoelastik bağlayıcı görevi gören, ısıtıldığında yumuşayıp akışkan hale gelerek agrega yüzeylerinin kaplanmasını, soğuduğunda ise katılarak agrega tanelerini bir arada tutan bir malzemedir. Oldukça yapışkan bir malzeme olarak bilinen bitümün agrega tanecikleri ile arasındaki aderans iyi bir bağlayıcı olma özelliği kazandırmaktadır [20].

Bitüm geniş çapta kullanılan inşaat mühendisliği malzemesidir. Özellikle yol inşaatı ve bakımı gibi çeşitli uygulamalarda çalışan birçok insan için özellikleri büyük bir bilinmezdir [21].

3.1. Bitümlü Karışımların Tarihçesi

Bitüm, ilk kez milattan önce 3000 yıllarında Sümerler tarafından taş ve kabuklardan yapılan heykelleri bir arada tutmak için bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Bu dönemlerde bitüm bağlayıcı ve mumyalamada koruyucu malzeme olarak kullanılmıştır. Fakat milattan önce 625 yıllarında bitümün yol malzemesi olarak kullanıldığı ortaya çıkmıştır.

Yüzyıllar sonra Avrupalılar doğada asfalt kaynakları bulmuşlardır. 1595 yılında Venezüella Trinidad Adasında bir asfalt gölü bulan Walter Raleigh, bu malzemeyi gemi tamiratında kullanmıştır.

Amerika ve Avrupa'da ise 19. yüzyıla kadar asfaltın kaplama malzemesi olarak kullanıldığına rastlanmamıştır. 1824 yılında Paris'te yol malzemesi olarak asfalt bloklar kullanılmıştır. Belçikalı kimyager Edward Smedt tarafından Columbia Üniversitesi'nde geliştirilen modern yol asfaltı, 1872 yılında Edwart Smedt'in yaptığı çalışmalar sayesinde modern iyi derecelendirilmiş, maksimum yoğunluklu bitüm halini almıştır. 20. yüzyıla kadar yol yapımında kullanılan bitüm malzemeleri

doğal malzemelerden elde edilmekteydi. Doğal asfalt malzemesinin içine yumuşatmak maksadıyla rafine edilmiş petrol asfaltı katılmaktaydı. 1907 yılından sonra doğal asfaltın yerini rafine edilmiş petrol asfaltı (bitüm) almıştır. Bu dönemde otomobil kullanımının yaygınlaşmasıyla yol ihtiyacı artmış, modern yol yapım ve kaplama teknikleri geliştirilmiştir [20].

3.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümlü bağlayıcılar, bitümlü karışımların ağırlıkça %5-7'sini hacimce ise %13-15'ini oluşturan ve karışımın özelliklerini belirleyen en önemli malzemedir. Bağlayıcı malzemeler, agrega tanelerini birbirine bağlar ve trafik yükleri altında dağılmalarını önleyerek durabiliteyi artırır. Kaplamada ise düzgün ve geçirimsiz yüzeyler oluşmasını sağlayarak sürüş konforunu artırır. Bitümlü bağlayıcılar asfalt ve katran olmak üzere iki ana gruba ayrılır [22].

3.2.1. Katran

Katran, kömür veya odunun kapalı bir sistemde damıtılması sonucu elde edilen bitümlü malzemedir. Katranın yapısındaki bitüm oranının düşük oluşu, sıcaklığa karşı duyarlılığının yüksek olması ve sağlık açısından tehlike yaratması sebebiyle esnek kaplama yolların inşaatında doğrudan kullanılmaz. Bitüm-katran karışımları genellikle yüzeysel kaplamalarda kullanılır [23].

3.2.2. Asfalt

Asfalt, rengi siyahtan koyu kahverengiye, kıvamı katıdan yarı katıya kadar değişebilen, çözücü yardımıyla sıvılaşabilen, doğal olarak ya da petrolün damıtılmasıyla elde edilen bitümlü malzemeye denir.

Asfaltlar doğal asfalt ve yapay asfalt olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal asfaltlar, kaya asfaltı ve göl asfaltı gibi doğada minerallerle karışmış halde bulunup, kullanılabilir hale gelmesi için birtakım işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir.

Yapay asfaltlar ham petrolün damıtılması sonucunda elde edilirler. Ham petrol, petrol kuyularından çıkarılarak ısıtma kulelerinde ısıtılır. Damıtma kulelerinde hafif ürünler yoğun ürünlerden ayrılır. Uçucu olan maddeler bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılır. Kalıntı maddeler ise kulenin dibinde birikir. Asfaltta bu kalıntı maddeler arasında yer alır [24].

3.3. Bitümlü Karışımlar

İstenilen düzeyde kaplama karışımı elde etmek için agregalar ile bitüm karışım tesisinde bir araya getirilmektedirler [23].

3.3.1. Sathi Kaplama

Sathi kaplamalar, yol kaplamalarında en çok kullanılan kaplama şeklidir. Bu kaplamalar yol yüzeylerinin korunması için ekonomik ve etkili bir yöntemdir. Köy yolları gibi hafif trafik yüküne sahip yollardan şehirlerarası yollara kadar her türlü yolda başarıyla kullanılabilen sathi kaplamalar basit ve ucuz bir yöntemdir. Fakat kontrol ve denetleme eksiklikleri sebebiyle deformasyonlar ve istenmeyen durumlar oluşabilir.

Sathi kaplamalar, yolu tozdan korumak amacıyla yapılmış ancak zamanla fren mesafesini kısaltmak, agregaların ömrünü uzatmak, eskimiş ve cilalanmış sıcak karışimli yollarda trafik emniyetini sağlamak gibi yeni istekler içinde kullanılmaya başlanmıştır.

Sathi kaplamalar, granüler, çimento bağlayıcılı granüler, plent-miks ve benzeri temellerle asfalt ya da beton kaplamalar üzerine ince bir katman bitümlü bağlayıcı uygulanması, ardından agreganın serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulur [21].

3.3.2. Asfalt Betonu

Sıcak asfalt karışımları, asfalt çimentosu ve bağlayıcı ile üniform şekilde karıştırılmış agrega birleşiminden oluşmaktadır [21]. Asfalt çimentosu ve agrega

karışımından oluşan bitümlü sıcak karışımlar, bitüm ve agregaya olmak üzere iki ana bileşenden oluşan ve agreganın katı fazı, bitümün sıvı fazı ve boşlukların gaz fazını oluşturduğu üç fazlı bir sistemdir. Bitümlü bağlayıcı ve bu bağlayıcı ile üniform şekilde karıştırılmış agregaya bileşiminden elde edilen bitümlü sıcak karışım üretiminde; uygun karışım ve işlenebilirlik elde etmek için agregaların kurutulması ve bitümlü bağlayıcının yeterli akışkanlığı sağlaması için karıştırma işleminden önce hem agregaya hem de bağlayıcı ısıtıldığından dolayı karışım, bitümlü sıcak karışım ismini almıştır [20].

Kaplama performansı dikkate alındığında bitümlü sıcak kaplamalar sathi ve stabilize kaplamalara oranla daha güçlüdür. Yapım aşamasında yüksek dikkat ve maliyet gerektiren sıcak karışımlar, yüksek performans ve konfor nedeniyle tercih edilen kaplama şekli olmaktadır [20].

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, çalışma için hazırlanan numuneler boyutları, beton karışımındaki malzeme oranları belirtilmiş olup, deney düzenekleri tanıtılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar, kazınmış asfalt malzemenin (KAM) beton içerisinde iri agregaya yerine hacimce %5, 10, 20 ve 30 oranlarında ikame edilerek üretilen betonların kullanılabilirliğinin araştırılması ve hazırlanan beton numunelerin farklı sıcaklık etkisi (25°C, 50°C ve 75°C) altındaki davranışlarının araştırılması, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenebilmesi için yapılan çalışmalardır.

4.1. Kullanılan Malzemeler**4.1.1. Çimento**

Deney numunelerinin hazırlanmasında Çimko Çimento Adıyaman fabrikasında üretilen CEM II / A-M (P-LL) 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır.

4.1.2. Karışım Suyu

Yapılan çalışmalarda Adıyaman Üniversitesi kampüsüne ulaşan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.3. Agregaya

Deneysel çalışmada özgül ağırlıkları 2600 kg/m³ olan Adıyaman ili Büyükkırıklı köyü sınırları içerisinde bulunan Tohumcular A.Ş.'ye ait kalker taş ocağı kırmataşları (Resim 4.1 ve Resim 4.2) ve özgül ağırlığı 2700 kg/m³ olan Göksu Çayı'ndan temin edilen dere kumu (Resim 4.3) kullanılmıştır. Hazırlanan beton karışımlarında iri agregaya %60 (iri agreganın %50'si oranında 11.2–22.4 mm kırmataş, %50'si oranında 4–11.2 mm kırmataş) ince agregaya ise %40 oranında

kullanılmıştır. Kullanılan agregaların elek analizi yapılmış ve granülometri eğrisi Şekil 4.1’de verilmiştir.



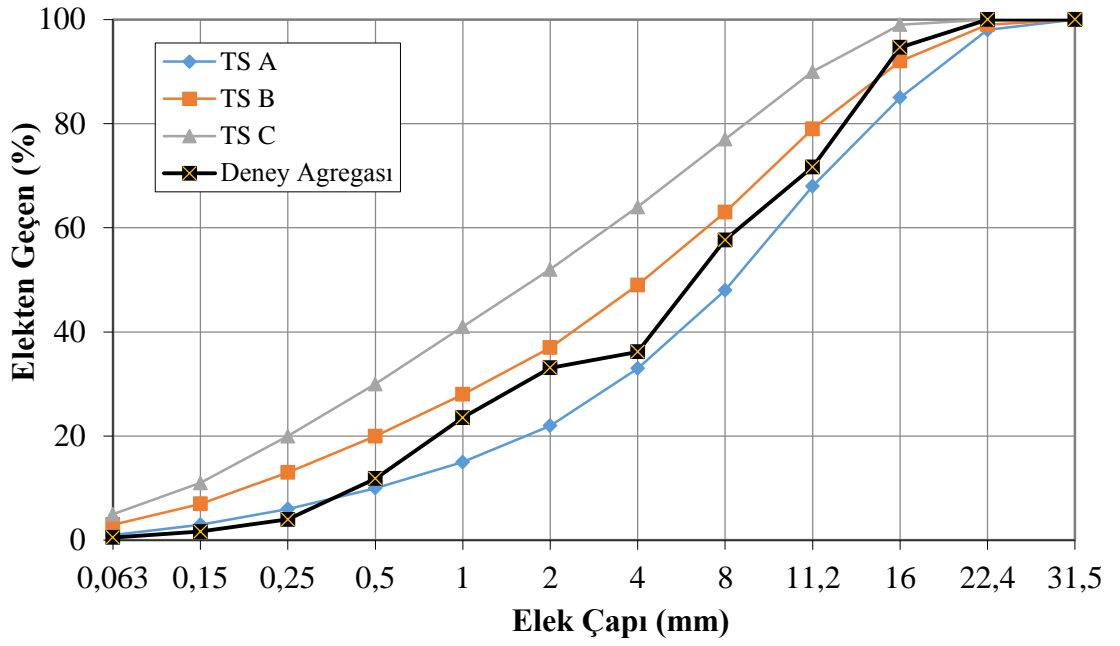
Resim 4.1 Karışımlarda kullanılan 11.2–22.4 mm kırmataş



Resim 4.2 Karışımlarda kullanılan 4–11.2 mm kırmataş



Resim 4.3 Karışımlarda kullanılan 0–4 mm kum



Şekil 4.1 Agregâ karışımının granülometri eğrisi

4.1.4. Kazınmış Asfalt Malzeme (KAM)

Beton üretimlerinde Karayolları Adana 57. Şube Şefliği'nden temin edilen KAM (Resim 4.4) kullanılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre KAM özgül ağırlığının 2420 kg/m^3 olduğu belirlenmiştir. Bu malzeme elenmiş ve 4 mm ile 22.4 mm arasında kalanı beton karışımında kullanılmak üzere alınmıştır.



Resim 4.4 Beton karışımlarında kullanılan kazınmış asfalt malzeme

4.2. Beton Üretim Çalışmaları**4.2.1. Karışım Hesabı**

Yapılan deneysel çalışmada beton karışımında yer alan agreganın %60'ı iri, %40'ı ince olup çimento dozajı ise 350 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar için seçilen karışım oranlarına göre ortaya çıkacak malzeme miktarları mutlak hacimler yöntemi ile belirlenmiştir. Laboratuarda 120 dm³ hacimli mikserde karıştırılarak üretilen taze betonların vibrasyon masasında sıkıştırılması sağlanmıştır.

Beton karışımı için kontrol numuneleri, CEM II 42.5 R Portland çimentosu (Ç), dere kumu 0–4 mm (K), 11.2–22.4 mm kırmataş (KT I) ve 4–11.2 mm kırmataş (KT II) kullanılarak hazırlanmıştır. KAM katkılı karışımlarda KT I ve KT II kırmataşlarının yerine hacimce %5, 10, 20 ve 30 oranlarında KAM kullanılmış ve KAM katkılı 4 farklı karışım elde edilmiştir.

Beton karışımları için kullanılan agregaların özgül ağırlıkları, su emme oranları, doğal nem oranları ve hacimce agrega oranları Çizelge 4.1-4.4'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.1 Agregaların özgül ağırlıkları

Malzeme	Özgül Ağırlık (t/m³)
Kırmataş 11.2–22.4 mm (KT I)	2.60
Kırmataş 4–11.2 mm (KT II)	2.60
Kum 0–4 mm (K)	2.70
Kazınmış Asfalt Malzeme 4–22.4 mm(KAM)	2.42

Çizelge 4.2 Agregaların su emme oranları

Malzeme	Su Emme Oranları (%)
Kırmataş 11.2–22.4 mm (KT I)	1.50
Kırmataş 4–11.2 mm (KT II)	1.75
Kum 0–4 mm (K)	1.50
Kazınmış Asfalt Malzeme 4–22.4 mm (KAM)	0.70

Çizelge 4.3 Agregaların doğal nem oranları

Malzeme	Doğal Nem Oranları (%)
Kırmataş 11.2–22.4 mm (KT I)	0.08
Kırmataş 4–11.2 mm (KT II)	0.08
Kum 0–4 mm (K)	0.80
Kazınmış Asfalt Malzeme 4–22.4 mm (KAM)	0.05

Çizelge 4.4 Hacimce agrega oranları

Malzeme	Hacimce Agrega Oranları (%)
Kırmataş 11.2–22.4 mm (KT I)	30
Kırmataş 4–11.2 mm (KT II)	30
Kum 0–4 mm (K)	40

Mutlak hacimler yöntemi kullanılarak 350 dozajlı kontrol betonu için;

$$V_C + V_S + V_A + V_H = 1000 \text{ dm}^3 \text{ eşitliği yazılır.}$$

$$V_H = 10 \text{ dm}^3 \text{ ve } S/\text{Ç} = 0.5 \text{ kabul edilmiştir.}$$

Gerekli toplam agrega hacmi;

$$V_A = 1000 - (350 / 3.1) - (175 / 1) - 10$$

$$V_A = 702.097 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \text{ olarak bulunmuş, } 1 \text{ m}^3 \text{ karışımdaki agrega miktarları;}$$

$$V_{KT I} = 702.097 \times 0.30 = 210.629 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$V_{KT II} = 702.097 \times 0.30 = 210.629 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$V_K = 702.097 \times 0.40 = 280.839 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$M_{KT I} = 210.629 \times 2.60 = 547.635 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{KT II} = 210.629 \times 2.60 = 547.635 \text{ kg/m}^3$$

$$M_K = 280.839 \times 2.70 = 758.265 \text{ kg/m}^3$$

bulunmuştur.

Burada,

V_C : Karışımdaki çimento hacmi

V_S : Karışımdaki su hacmi

V_A : Karışımdaki toplam agrega hacmi

- V_H : Karışımdaki hava hacmi
 $V_{KT I}$: Karışımdaki kırmataş I hacmi
 $V_{KT II}$: Karışımdaki kırmataş II hacmi
 V_K : Karışımdaki kum hacmi
 $M_{KT I}$: Karışımdaki kırmataş I ağırlığı
 $M_{KT II}$: Karışımdaki kırmataş II ağırlığı
 M_K : Karışımdaki kum ağırlığı

olarak tanımlanır.

Deneysel çalışmada 1 m³ beton karışımı için hesaplanan agrega miktarları hacimce Çizelge 4.5’de ve ağırlıkça Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5 350 dozajlı beton karışımının hacimce agrega miktarları (1 m³ için)

Malzeme	Hacim (dm ³)				
	Kontrol	%5 KAM	%10 KAM	%20 KAM	%30 KAM
Ç	112.9	112.9	112.9	112.9	112.9
S	175	175	175	175	175
K	280.839	280.839	280.839	280.839	280.839
KT I	210.629	200.098	189.566	168.503	147.440
KT II	210.629	200.098	189.566	168.503	147.440
KAM	0	21.063	42.126	84.252	126.377

Çizelge 4.6 350 dozajlı beton karışımının ağırlıkça agrega miktarları (1 m³ için)

Malzeme	Ağırlık (kg)				
	Kontrol	%5 KAM	%10 KAM	%20 KAM	%30 KAM
Ç	350	350	350	350	350
S	175	175	175	175	175
K	758.265	758.265	758.265	758.265	758.265
KT I	547.635	520.254	492.872	438.108	383.345
KT II	547.635	520.254	492.872	438.108	383.345
KAM	0	50.972	101.944	203.889	305.833

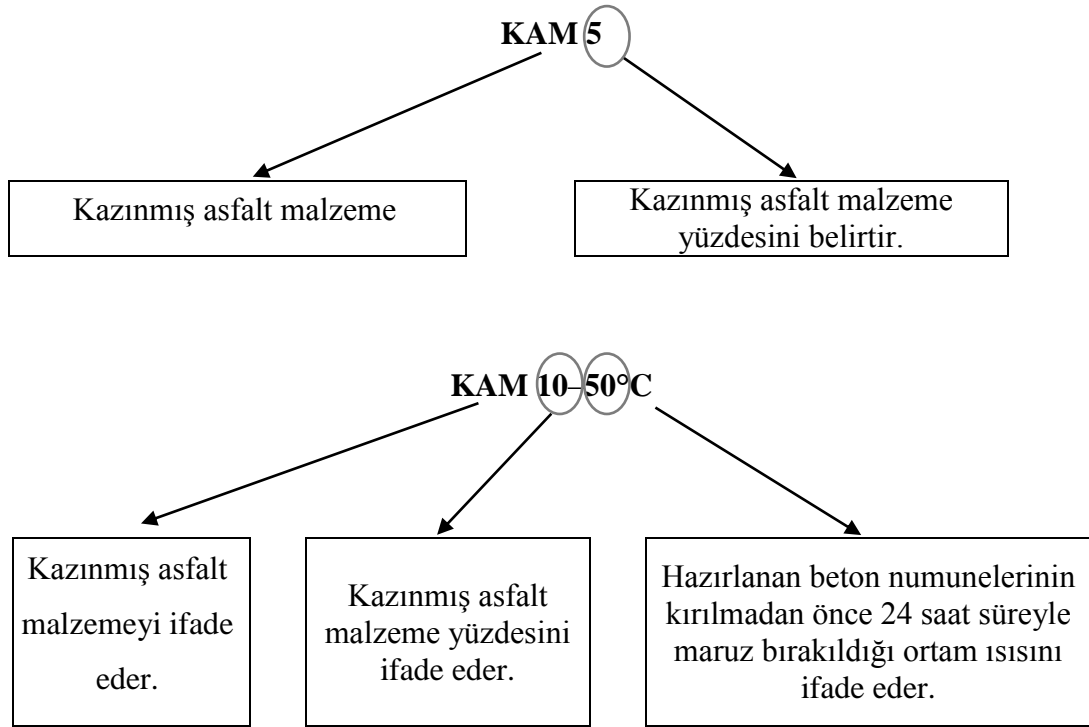
Deneysel çalışmalarda karışım suyu hesaplanırken kullanılan agregaların su emme miktarları ve doğal nem oranları hesaplanmış olup bu parametreler dikkate alınarak Çizelge 4.7’de nem düzeltmesi yapılmıştır.

Çizelge 4.7 350 dozajlı beton karışımında nem düzeltmesi sonrası ağırlıkça agrega miktarları (1 m³ için)

Malzeme	Ağırlık (kg)				
	Kontrol	% 5 KAM	% 10 KAM	% 20 KAM	% 30 KAM
Ç	350	350	350	350	350
S	197.23	196.715	196.200	195.717	194.141
K	752.957	752.957	752.957	752.957	752.957
KT I	539.859	512.866	485.873	431.887	377.901
KT II	538.490	511.565	484.641	430.792	376.943
KAM	0	50.641	101.282	202.567	303.845

4.2.2. Beton Karışımlarına Ait Serilerin Kodlanması

Deneysel çalışmalar sırasında kontrol betonu ile kırmataş yerine kırmataş hacminin %5, 10, 20 ve 30’u oranlarında 4–22.4 mm arası KAM kullanılarak beton karışımları üretilmiştir. Üretilen karışımlarına ait seriler sırasıyla KONTROL, KAM 5, KAM 10, KAM 20, KAM 30, KONTROL-50, KAM 5-50, KAM 10-50, KAM 20-50, KAM 30-50, KONTROL-75, KAM 5-75, KAM 10-75, KAM 20-75, KAM 30-75 olarak kodlanmıştır. Üretilen beton karışımlarına ait seri kodlarının tanımlanması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Beton karışımlarının ve serilerin tanımlanması

4.2.3. Beton Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmada hazırlanan bütün betonlar Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan 120 dm³ kapasiteli beton mikserinde (Resim 4.5) üretilmiştir. Numuneler TS EN 12390-1 [25] dikkate alınarak üretilmiş (Resim 4.6) ve küre tabii tutulmuştur. Beton karışımı hazırlanırken çimento ve agregalar iki dakika süreyle kuru karışıma tabii tutulup sonra karışım suyu eklenmiş ve üç dakika daha karıştırılarak kalıplara doldurulmaya hazır hale getirilmişlerdir (Resim 4.7). Üretilen beton numunesinden bir miktar alınarak çökme deneyi yapıлып beton numunesinin kıvamına bakılmıştır. Hazırlanan küp numunelerin taze birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.



Resim 4.5 Beton üretim çalışmalarında kullanılan beton mikseri



Resim 4.6 Beton üretim çalışmaları



Resim 4.7 Beton numunelerinin kalıplara doldurulması

Çalışmada basınç dayanımlarını belirlemek üzere kontrol karışımı ve farklı KAM oranlarındaki (%5, 10, 20 ve 30) karışımlar için birer set (3 adet) 7 günlük, birer set 28 günlük olmak üzere 30 adet numune planlanmış olup, numunelerin muamele edileceği 3 farklı ortam ısısı (25⁰C, 50⁰C, 75⁰C) dikkate alındığında toplam 90 adet 150 mm'lik küp numune hazırlanmıştır. Eğilme dayanımları içinse Kontrol karışımı ve farklı KAM oranlarındaki (%5, 10, 20 ve 30) karışımlar için birer set 7 günlük, birer set 28 günlük olmak üzere 150x150x600 mm boyutlarındaki kiriş numunelerinden 30 adet hazırlanmıştır. Üretilen betonlar, temizlenmiş ve yağlanmış kalıplara doldurulmuş ve vibrasyon masasında sıkıştırılmıştır (Resim 4.8).



Resim 4.8 Beton numunelerinin vibrasyon masasında sıkıştırılması

Kalıplardaki numuneler 24 saat oda ısısında bekletildikten sonra (Resim 4.9 ve Resim 4.10) kalıplardan çıkarılmış, 7 ve 28 gün süreyle havuzda küre tabi tutulmuştur. Hazırlanan küp numuneler, 7. ve 28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılarak, bir set oda ısısında, bir set 50°C’de etüvde, diğer bir set ise 75°C’de 24 saat süreyle etüvde bekletildikten sonra ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Kiriş numuneler ise 7 ve 28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılmış 24 saat oda ısısında bekletildikten sonra eğilme deneyine tabi tutulmuştur.



Resim 4.9 Çalışmalar sonucunda küp numuneler yardımıyla üretilen betonlar



Resim 4.10 Çalışmalar sonucunda kiriş numuneler yardımıyla üretilen betonlar

4.3. Beton Deneyleri

4.3.1. Taze Beton Deneyleri

Yapılan deneysel çalışmalarda taze betonun özelliklerinin belirlenmesi amacıyla beton mikserinden alınan taze betonun taze birim hacim ağırlıkları ve çökme miktarları elde edilmiştir.

Çökme deneyinde hazırlanan taze beton, TS EN 12350-2 [26] dikkate alınarak slump konisine 3 tabaka halinde doldurulmuştur. Her tabakada şişleme çubuğu yardımıyla 25 defa şişlenerek koninin üst tabakası düzeltilmiş ve çökme miktarı ölçülmüştür. Taze beton numunelerine yapılan çökme deneyi Resim 4.11’de verilmiştir.



Resim 4.11 Çökme deneyi

4.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Hazırlanan deney numuneleri üzerinden sertleşmiş birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve elastisite modülü tayinleri yapılmıştır.

Sertleşmiş birim hacim ağırlık için hazırlanan numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra çıkarılarak suya doymun, yüzey kuru halde ağırlık tartımları yapılmıştır. Hazırlanan numunelerden bir set 24 saat oda ısısında

bekletildikten sonra ağırlık tartımı yapılmıştır. Bir set 24 saat boyunca 50°C ısıda etüvde bekletilerek, diğer set ise 75°C ısıda 24 saat etüvde bekletildikten sonra ağırlık tartımları yapılmıştır.

Ultrases geçiş hızı deneyi 150 mm'lik küp numuneler üzerinde her numune için 2 farklı noktadan ultrases geçiş hızı ölçülerek yapılmıştır. Ölçümler, alıcı ve verici uçlar Resim 4.12'de gösterildiği gibi numunenin karşılıklı iki yüzünün ortasından tutularak yapılmıştır. Alıcı ve verici uçlar arasında geçen süre bize betonun homojenliği, betondaki kusur ve çatlaklar, elastisite modülü ve betonun dayanımı hakkında bilgi verir. Verici uçtan çıkan ses dalgalarının alıcı uçtan algılanması arasında geçen süre mikrosaniye cinsinden okunur. Ultrases geçiş hızları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$V=l / t$$

Burada;

V: Ses hızı, (km/sn)

t: Ses geçiş süresi, (saniye)

l: Ölçü boyu, (km)

olarak tanımlanır.



Resim 4.12 Küp numunelerde ultrases deneyi

Yapılan çalışmada basınç deneyi, kür uygulanan 150 mm'lik küp numunelere TS EN 12390-3'e [27] bağlı olarak basınç deneyine tabi tutulmuştur. Beton numuneler yükleme tablasına yerleştirilmiştir. 0.5 MPa/s (N/mm².s) sabit hızla uniform yük uygulanmış ve kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilmiştir. Beton numunesini kıran P kuvveti okunarak bu yüke karşılık gelen basınç dayanımı bulunmuştur. Numunelerin basınç dayanımları bir seri (3 numune) için bulunmuş olup seri değerlerinin ortalaması alınmıştır. Beton numunelerinin basınç dayanımı aşağıdaki formülle [2] bulunmuştur.

$$\sigma_{\text{basınç}} = \frac{P}{A}$$

Burada;

$\sigma_{\text{basınç}}$: Basınç dayanımını (MPa)

P: Kırılma anındaki yükü (N)

A: Basınç uygulanan yüzey alanını (mm²)

ifade eder.

Eğilme deneyinde 150x150x600 mm kiriş numuneler TS EN 12390-5 [28] dikkate alınarak Şekil 4.3'de gösterildiği gibi orta noktadan yüklemeye tabi tutulmuştur. Kiriş numuneler standartlara uygun olarak 50 cm açıklıklı deney düzeneğinde iki mesnet üzerine yerleştirilerek orta noktadan yükleme yapılmıştır (Resim 4.13). Kirişin tam orta noktasından uygulanan P eğilme yükü kiriş numunesi kırılıncaya kadar uygulanmıştır (Resim 4.14). Beton numunesinin kırılmasına sebep olan yük deney presinin göstergesinde okunmuş olup kiriş numunesinin eğilme dayanımı aşağıdaki formülle [28] hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{eğilme}} = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Burada;

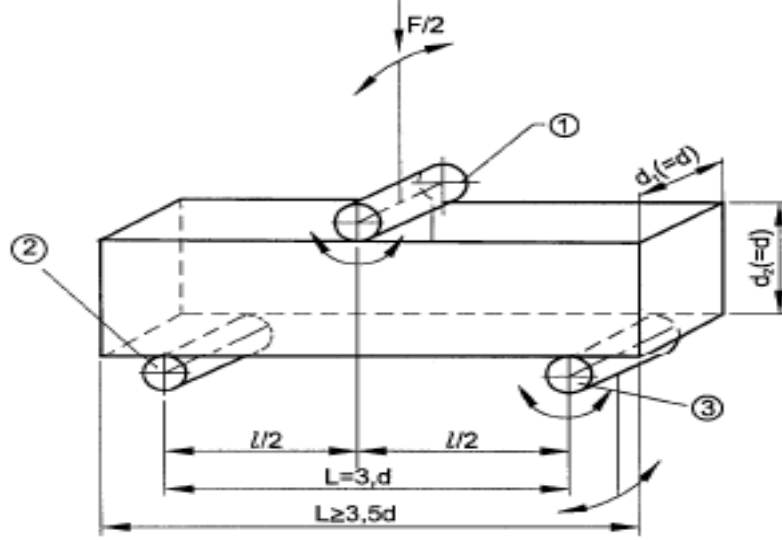
$\sigma_{\text{eğilme}}$: Eğilme dayanımını (MPa)

P: Kırılma anındaki yükünü (N)

L: Mesnet silindirleri arasındaki açıklığı (mm)

b,d: Numunenin enkesit boyutlarını (mm)

ifade eder.



Şekil 4.3 Kiriş numuneler orta noktadan yükleme deney düzeneği [24]



Resim 4.13 Kiriş numunelerde eğilme deneyi (yükleme öncesi)



Resim 4.14 Kiriş numunelerde eğilme deneyi (yükleme sonrası)

5. BULGULAR ve TARTIŞMA**5.1. Bulgular**

Çalışmada KAM katkılı betonların taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları, çökme miktarları, ultrases geçiş hızları, basınç ve eğilme dayanımları, dinamik elastisite modülleri belirlenmiştir.

5.1.1. Taze Beton Deney Sonuçları**5.1.1.1. Çökme**

Farklı KAM katkılı karışımlar kullanılarak elde edilen taze betonların çökme değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Taze beton çökme değerleri

Seri No	Çökme (cm)
KONTROL	4
KAM 5	6
KAM 10	6
KAM 20	7
KAM 30	7

5.1.1.2. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık

Beton karışımında kırmataş yerine %5, 10, 20 ve 30 oranlarında KAM ikamesi ile elde edilen betonların taze birim hacim ağırlıkları bulunmuştur ve bu değerler Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelge 5.2’de verilen değerler her sette 3 numune dikkate alınarak, setlerin ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 5.2 Taze betonun birim hacim ağırlıkları

Seri No	Taze Beton Ağırlığı (kg)	Taze Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
KONTROL	8.05	2385
KAM 5	8.04	2382
KAM 10	7.97	2361
KAM 20	7.96	2358
KAM 30	7.95	2355

5.1.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

5.1.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık

28 günlük küp numunelerin suya doygun sertleşmiş birim hacim ağırlıkları Çizelge 5.3’de verilmiştir. 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılan numunelerin 24 saat boyunca bir set oda ısısında, bir set 50°C ısıya ve bir set 75°C’de ısıya maruz bırakılmış haldeki sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları ise Çizelge 5.4’de verilmiştir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de verilen değerler her setin ortalamasını içermektedir.

Çizelge 5.3 Suyu doygun sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları

Seri No	Suya Doygun Ağırlık (kg)	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
KONTROL	8.200	2429
KAM 5	8.170	2420
KAM 10	8.160	2417
KAM 20	8.070	2391
KAM 30	8.040	2382

Çizelge 5.4 Isıya maruz kalmış haldeki betonların sertleşmiş birim hacim ağırlıkları

Isı	Seri No	Numune Ağırlığı (kg)	Numune Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
24 Saat Oda Isısına Tabi	KONTROL	8.140	2411
	KAM 5	8.120	2405
	KAM 10	8.100	2400
	KAM 20	8.020	2376
	KAM 30	7.950	2355
24 Saat 50°C Isıya Tabi	KONTROL-50	7.960	2358
	KAM 5- 50	7.950	2355
	KAM 10- 50	7.900	2340
	KAM 20- 50	7.880	2334
	KAM 30- 50	7.850	2325
24 Saat 75°C Isıya Tabi	KONTROL-75	7.880	2334
	KAM 5-75	7.870	2331
	KAM 10-75	7.840	2322
	KAM 20-75	7.830	2320
	KAM 30-75	7.780	2305

5.1.2.2. Ultrases Geçiş Hızı

7 ve 28. gün sonunda kür havuzundan çıkarılan 150 mm'lik küp numunelerin suya doymuş ve yüzey kuru halinde ölçülmüş ultrases geçiş hızları Çizelge 5.5'de verilmiştir. Numunelerin bir setinin oda ısısına, bir setinin 50°C ısıya bir setinin ise 75°C ısıya 24 saat boyunca maruz bırakılması sonucu elde edilen ultrases geçiş hızları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Ultrases geçiş hızları, her numune için iki farklı yüzeyden alınmış olup bu değerlerin ortalaması alınarak verilmiştir.

Çizelge 5.5 Küp numunelerin suya doygun ve yüzey kuru halde ultrases geçiş hızları

Seri No	Suya Doymun Yüzey Kuru Halde Ultrases Geçiş Hızı(km/sn)	
	7 Günlük	28 Günlük
KONTROL	4.75	4.83
KAM 5	4.70	4.78
KAM 10	4.66	4.75
KAM 20	4.63	4.70
KAM 30	4.58	4.67

Çizelge 5.6 Küp numunelerin 24 saat ısıya maruz kalmış halde ultrases geçiş hızları

Maruz Kalınan Isı	Seri No	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	
		7 Günlük	28 Günlük
24 Saat Oda Isısına Tabi	KONTROL	4.65	4.87
	KAM 5	4.62	4.84
	KAM 10	4.59	4.82
	KAM 20	4.58	4.77
	KAM 30	4.55	4.73
24 Saat 50°C Isıya Tabi	KONTROL-50	4.55	4.66
	KAM 5- 50	4.52	4.62
	KAM 10- 50	4.49	4.57
	KAM 20- 50	4.47	4.55
	KAM 30- 50	4.45	4.52
24 Saat 75°C Isıya Tabi	KONTROL-75	4.45	4.47
	KAM 5-75	4.39	4.41
	KAM 10-75	4.34	4.36
	KAM 20-75	4.32	4.34
	KAM 30-75	4.31	4.32

5.1.2.3. Basınç Dayanımı

Farklı KAM oranlarına göre üretilen 150 mm'lik küp numuneler üzerinden elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

	Seri No	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
		Basınç Dayanımı (MPa)		Ort. Basınç Dayanımı (MPa)		%Değişim	
24 Saat Oda Isısına Tabi	KONTROL	37.26	44.31	37.97	43.91	0.0	0.0
		38.23	44.80				
		38.42	43.62				
	KAM 5	33.67	39.15	34.59	40.04	-8.9	-8.8
		33.76	40.11				
		36.35	40.86				
	KAM 10	30.6	37.91	31.24	37.15	-17.7	-15.4
		32.21	36.55				
		30.91	39.99				
	KAM 20	28.12	33.62	28.43	33.53	-25.1	-23.6
		28.75	34.04				
		28.42	32.94				
KAM 30	23.67	28.93	24.39	29.57	-35.8	-32.7	
	24.51	30.75					
	24.98	29.04					
24 Saat 50°C Isıya Tabi	KONTROL-50	33.11	38.64	34.01	39.31	0.0	0.0
		34.17	39.78				
		34.75	39.50				
	KAM 5-50	31.65	36.26	31.54	36.12	-7.3	-8.1
		31.11	35.56				
		31.87	36.54				
	KAM 10-50	28.7	34.47	29.45	33.96	-13.4	-13.6
		29.84	34.45				
		29.81	32.96				
	KAM 20-50	26.63	29.25	26.12	29.65	-23.2	-24.6
		25.47	30.53				
		26.26	29.17				
KAM 30-50	23.42	25.94	22.6	26.79	-33.5	-31.8	
	22.47	26.35					
	21.92	28.09					
24 Saat 75°C Isıya Tabi	KONTROL-75	33.01	36.24	32.24	36.62	0.0	0.0
		32.36	36.40				
		31.36	36.83				
	KAM 5-75	29.46	32.60	29.44	32.64	-8.7	-10.9
		29.45	32.54				
		29.42	32.79				
	KAM 10-75	26.88	30.35	27.18	30.57	-15.7	-16.5
		27.07	30.97				
		27.59	30.39				
	KAM 20-75	23.48	27.20	24.05	26.95	-25.4	-26.4
		23.82	26.36				
		24.85	27.29				
KAM 30-75	22	24.78	21.17	24.66	-34.3	-32.7	
	20.7	24.71					
	20.82	24.49					

5.1.2.4. Eğilme Dayanımı

Beton deneylerinde eğilme dayanımı 150x150x600 mm kiriş numuneler üzerinde orta noktadan yüklenerek bulunmuştur. Elde edilen 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 Kirişlerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları

Seri No	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
	Eğilme Dayanımı (MPa)		Ort. Eğilme Dayanımı (MPa)		% Değişim	
KONTROL	5.07	5.36	4.94	5.39	0.0	0.0
	4.76	5.40				
	4.98	5.42				
KAM 5	5.13	5.50	5.04	5.63	2.12	4.33
	4.96	5.64				
	5.03	5.75				
KAM 10	5.69	5.64	5.47	5.71	10.73	5.92
	5.27	5.68				
	5.44	5.82				
KAM 20	5.89	5.96	5.68	5.88	15.08	8.94
	5.65	5.72				
	5.51	5.95				
KAM 30	5.28	5.80	5.29	5.92	7.18	9.82
	5.23	6.12				
	5.36	5.86				

5.1.2.5. Elastisite Modülü

Deneyisel çalışma sonucunda 28 günlük ısıya maruz bırakılmış numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızları ve betonun birim hacim ağırlığı dikkate alınarak dinamik elastisite modülü değerleri aşağıdaki formül [2] dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 5.9’da verilmiştir.

$$E_d = \frac{V^2 n (1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} (10^{-6})$$

Burada;

E_d : Dinamik elastisite modülü, (MPa)

V : Puls hızı, (m/sn)

n : Betonun birim ağırlığı, (kg/m³)

μ : Poisson oranı

olarak tanımlanır.

Poisson oranı düşük kalitedeki betonlar için 0.3, yüksek kalitedeki betonlar için 0.15 olarak kabul edilir. Poisson oranı bu çalışmada $\mu= 0.2$ kabul edilmiştir.

Çizelge 5.9 Ultrases geçiş hızı kullanılarak bulunan dinamik elastisite modülü

	Seri No	Isıya Maruz Bırakılmış Numune Ultrases Geçiş Hızı (m/sn)	Isıya Maruz Bırakılmış Numune Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Dinamik Elastisite Modülü (GPa)
24 Saat Oda Isısına Tabi	KONTROL	4870.0	2411.85	51.48
	KAM 5	4840.0	2405.93	50.72
	KAM 10	4820.0	2400.00	50.18
	KAM 20	4770.0	2376.30	48.66
	KAM 30	4730.0	2355.56	47.43
24 Saat 50°C Isıya Tabi	KONTROL-50	4660.0	2358.52	46.10
	KAM 5- 50	4620.0	2355.56	45.25
	KAM 10- 50	4570.0	2340.74	44.00
	KAM 20- 50	4550.0	2334.81	43.50
	KAM 30- 50	4520.0	2325.93	42.77
24 Saat 75°C Isıya Tabi	KONTROL-75	4470.0	2334.81	41.99
	KAM 5-75	4410.0	2331.85	40.82
	KAM 10-75	4360.0	2322.96	39.74
	KAM 20-75	4340.0	2320.00	39.33
	KAM 30-75	4320.0	2305.19	38.72

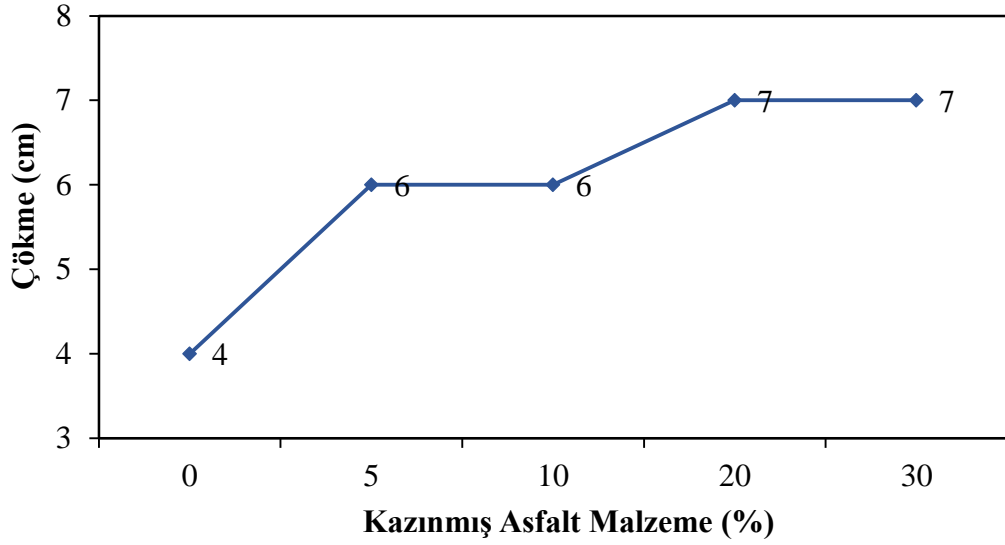
5.2. Tartışma

İri agregaya yerine belirli oranlarda kazınmış asfalt malzeme ikame edilmesi ile üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar bu bölümde irdelenmiştir.

5.2.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

5.2.1.1. Çökme Değerlerinin İrdelenmesi

KAM ikameli taze beton karışımlarından elde edilen çökme değerlerinin değişimi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 KAM ikameli taze beton karışımlarının çökme değerleri

Şekil 5.1’in incelenmesi sonucunda betona agrega yerine kısmen KAM ikamesinin betonun işlenebilirliğini arttırdığı ve çökme değerlerinde sistematik olmayan bir artış olduğu gözlemlenmektedir. KAM’ın su emme kapasitesi bitümlü yapısından dolayı kırmataşa göre daha düşüktür. KAM’ın su emme kapasitesinin kırmataşa göre düşük oluşundan dolayı agrega yerine ikame edilen KAM miktarının artması sonucunda çökme miktarı artmaktadır. Bunun nedeni, çalışmalarda üretilen beton numunelerinde kırmataş yerine ikame edilen KAM yüzeyinin bitümlü kaplanmış olması ve bunun sonucunda KAM tarafından emilen su miktarının azalmasıdır. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi beton içerisine agrega yerine ikame edilen KAM nedeniyle beton numunelerinin su emme miktarının azalarak işlenebilirliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.11’de çökme değerlerine göre kıvam sınıfları verilmiştir. Deneysel çalışma göz önüne alındığında Kontrol numuneleri için hazırlanan betonun kıvam sınıfı S1 olarak nitelendirilebilir. KAM eklenen numunelerin kıvam sınıfı ise S2’dir.

Çizelge 5.10 Kıvam Sınıfı [29]

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)	Özelliği
S1	10 – 40	Su miktarı çok az,vibrasyonla özenli ve kuvvetli bir şekilde yerleştirilmediği takdirde betonda boşluklar kalır.
S2	50 – 90	Vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli, betonarme yapılar için uygundur.
S3	100 – 150	Donatının fazla sık olması halinde seçilir.
S4	160 – 210	Su miktarı fazla, vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli değil. Çok sık donatı bulunması halinde kullanılmasına izin verilir.
S5	≥ 220	Bu kıvama su azaltıcı veya süper akışkanlık kazandırıcı katkı ile kullanılmasına izin verilir.

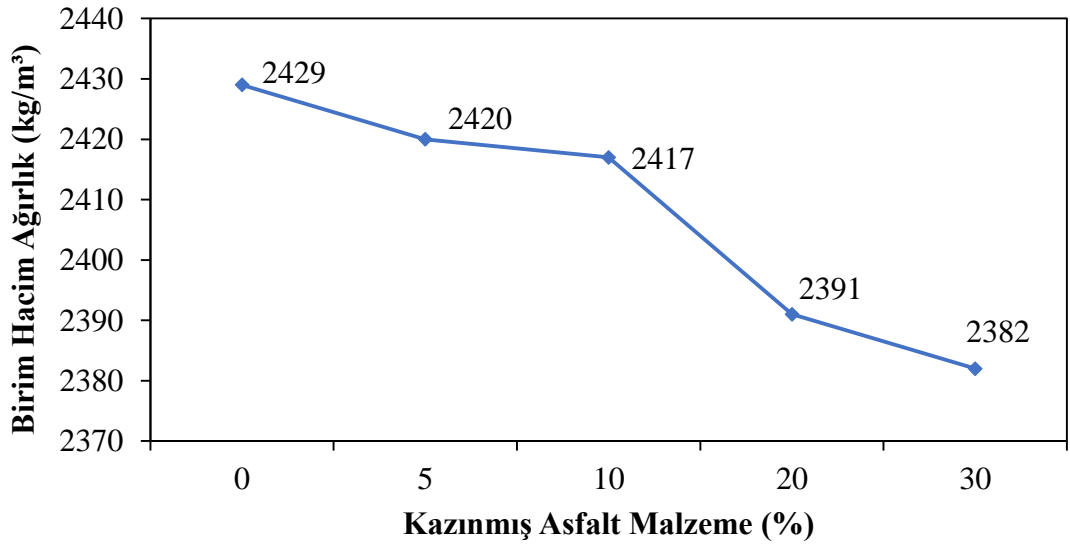
5.2.1.2. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin İrdelenmesi

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen taze beton birim hacim ağırlık değerlerinin değişimleri Şekil 5.2’de verilmiştir.

5.2.2. Sertleşmiş Beton Deneç Sonuçlarının İrdelenmesi

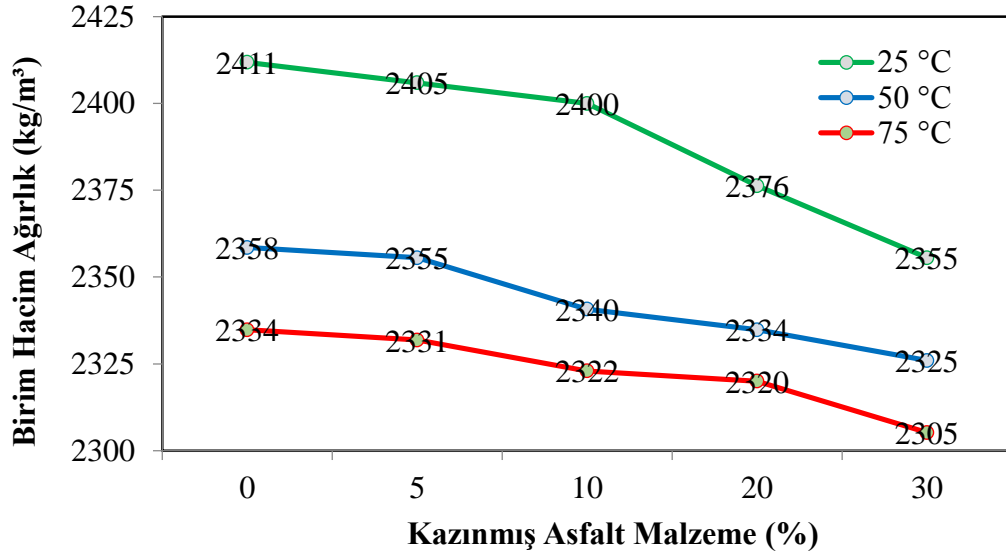
5.2.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırılık Değerlerinin İrdelenmesi

28 gün boyunca kr havuzunda küre tabi tutulan numunelerin suya doğun birim hacim ağırlıkları Şekil 5.3'de, bu numunelerin 24 saat süreyle oda ısısında (25°C) bekletilmesi, 50°C ve 75°C ısılarda ise etüvde bekletilmesi sonucunda elde edilen birim hacim ağırlıkları ise Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Suya doğun küp numunelerin sertleşmiş haldeki birim hacim ağırlığın ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 5.3 incelendiğinde 28 günlük beton numunelerdeki KAM miktarının artmasıyla numunelerin suya doğun ağırlıklarında azalmalar oluştuğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum kazınmış asfalt malzemenin özgül ağırlığının doğal agrega özgül ağırlığından daha az olmasından ve kazınmış asfalt malzeme yüzeyinin bitümle kaplanmış olması nedeniyle daha az su emmesinden kaynaklanmaktadır.



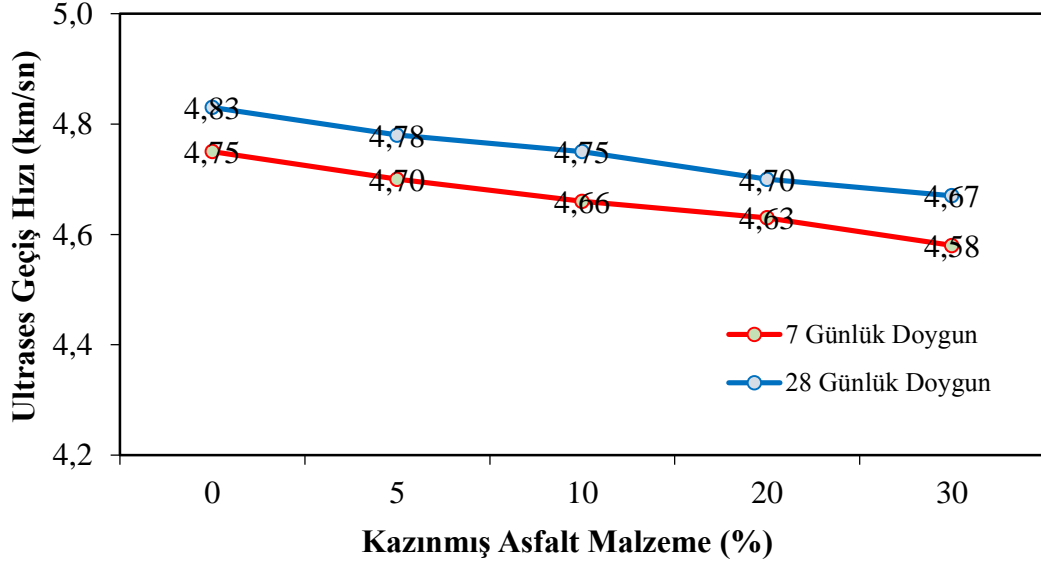
Şekil 5.4 28 günlük küp numunelerin farklı ısılara maruz kalmış betonların sertleşmiş birim hacim ağırlığının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

28 gün boyunca kür havuzunda küre tabii tutulan küp numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra bir set 24 saat boyunca oda ısısında, bir set 50°C ısıda ve bir set ise 75°C ısıda etüve konularak 24 saat süreyle ısıya maruz bırakılmış ve akabinde sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Bu numunelerden elde edilen birim hacim ağırlıklarının KAM miktarı ile değişimi Şekil 5.4'de verilmiştir. Şekil 5.4 incelendiğinde ısının ve agrega yerine kısmen kullanılan kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla sertleşmiş birim hacim ağırlıklarda azalmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Sertleşmiş birim hacim ağırlığın azalmasının, kazınmış asfalt malzemenin özgül ağırlığının doğal agrega özgül ağırlığından az olması ve ısının etkisiyle numune içeriğindeki su miktarının azalması ile açıklanabilir.

5.2.2.2. Ultrases Geçiş Hızı Değerlerinin İrdelenmesi

Deneysel çalışmalardaki ultrases geçiş hızları 150 mm'lik küp numuneler kullanılarak bulunmuştur. 7 ve 28 günlük küp numunelerin suya doymun yüzey kuru numunelerin ve 24 saat boyunca 25°C, 50°C ve 75°C ısıda bekletilen numunelerin ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda 7 ve 28 günlük

numunelerin suya doymun halde elde edilen ultrases geçiş hızlarının kazınmış asfalt miktarı ile değişimi Şekil 5.5’de verilmiştir.

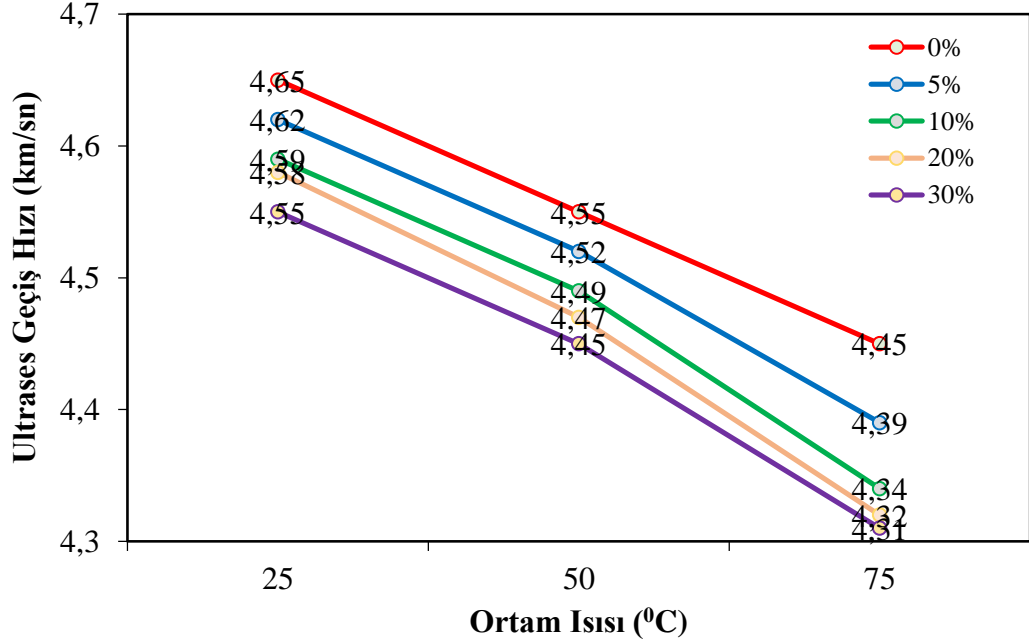


Şekil 5.5 7 ve 28 günlük suya doymun yüzey kuru haldeki küp numunelerin ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

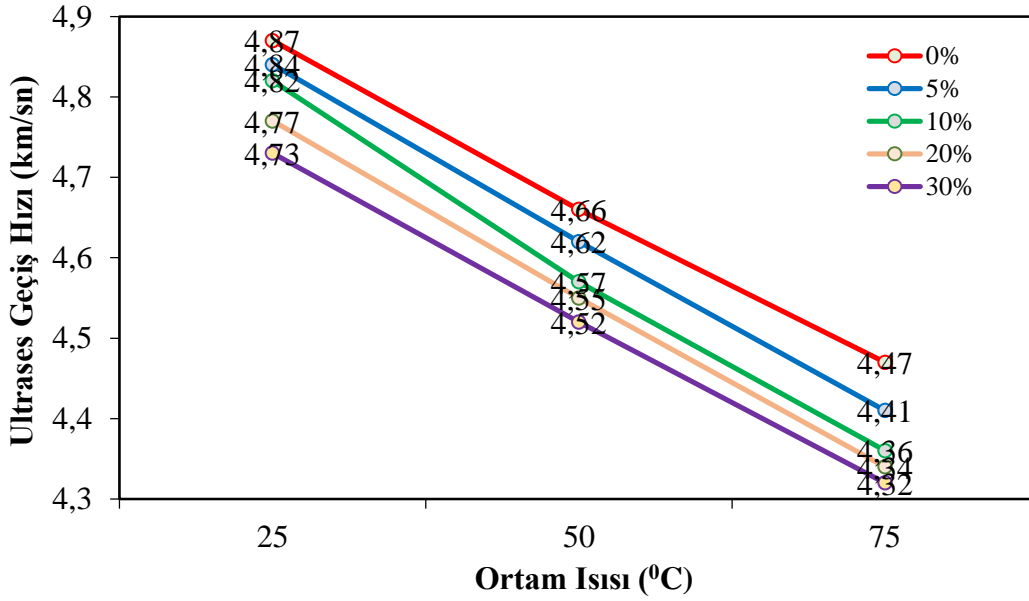
Şekil 5.5 incelendiğinde 7 günlük suya doymun küp numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızı değerlerinin 28 günlük suya doymun küp numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızlarına göre daha düşük olduğu görölmektedir. Gözlemlenen bu durum numunelerin içerisindeki boşlukların 7 günde tam olarak suyla doymun hale gelmemesi ve 7 gün sonrasında da suyun boşluklara dolmasının devam ettiği yorumu ile açıklanabilir. Numune içerisindeki su miktarı arttıkça boşluk oranı azalır ve böylece ultrases geçiş hızı da artar. 7 günlük suya doymun Kontrol numunelerde ultrases geçiş hızı değeri 4.75 km/sn iken agrega yerine ikame edilen KAM’ın artmasıyla KAM30 numunelerden ölçölen hız değerleri 4.58 km/sn’ye kadar azalmaktadır. 28 günlük suya doymun Kontrol numunelerde ultrases geçiş hızı değeri 4.85 km/sn iken KAM miktarının artmasıyla bu değer 4.67 km/sn’ye düşmektedir.

7 ve 28 günlük suya doymun numuneler 24 saat süreyle oda ısısında, 50°C ve 75°C ısılarda bekletildikten sonra ısıya maruz bırakılmış ve bu durumdaki numuneler üzerinden ultrases geçiş hızları ölçölmüştür. alışmalar sonucunda elde edilen 7 ve

28 günlük numunelerden elde edilen ultrases geçiş hızlarının farklı ortam ısılarındaki değişimleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.



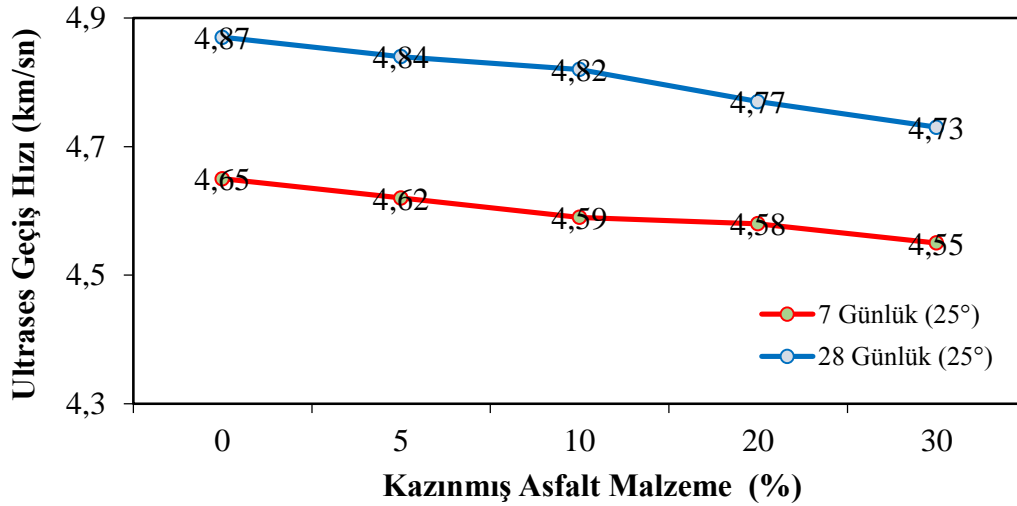
Şekil 5.6 KAM ikameli 7 günlük küp numunelerin ultrases geçiş hızlarının ısı ile değişimi



Şekil 5.7 KAM ikameli 28 günlük küp numunelerin ultrases geçiş hızlarının ısı ile değişimi

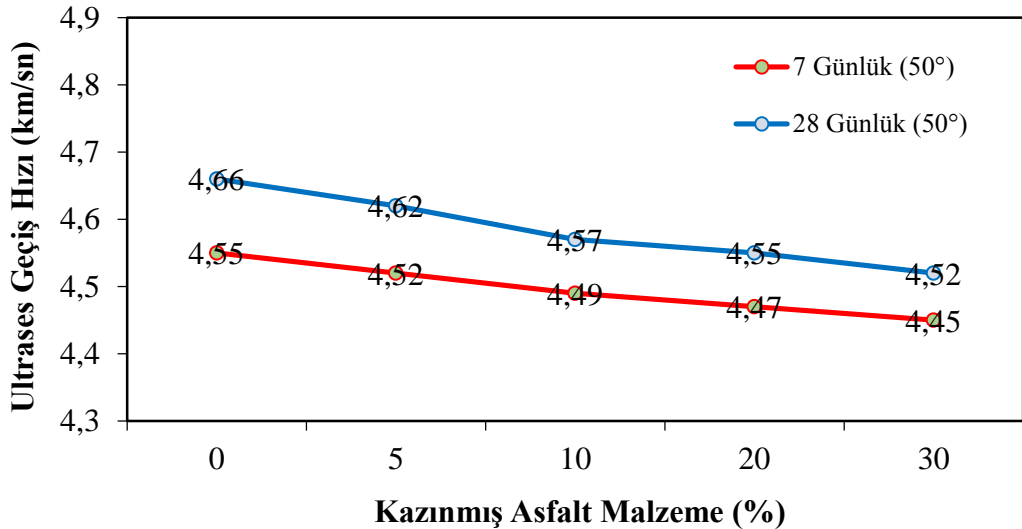
Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de KAM ikameli 7 ve 28 günlük küp numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinin farklı ortam ısılarına maruz kalındığındaki değişimleri verilmiştir. Şekil 4.6 ve 4.7’nin incelenmesinden KAM ikameli 7ve 28 günlük numunelerde ısının artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızlarının önemli oranda azaldığı görülmektedir. 7 günlük Kontrol numuneleri için ultrases geçiş hızı maruz kalınan ısının 50°C’ye çıkması halinde %2.2 oranında, 75°C’ye çıkması halinde ise %4.3 oranında azalmaktadır. KAM ikameli 7 günlük numunelerde ultrases geçiş hızı maruz kalınan ısının 50°C’ye çıkması halinde %5.0 ile %5.7 oranlarında, 75°C’ye çıkması halinde ise %2.2 ile %2.4 oranlarında azalmaktadır. 28 günlük Kontrol numuneleri için ultrases geçiş hızı maruz kalınan ısının 50°C’ye çıkması halinde %4.3 oranında, 75°C’ye çıkması halinde ise %8.2 oranında azalmaktadır. KAM ikameli 28 günlük numunelerde ultrases geçiş hızı maruz kalınan ısının 50°C’ye çıkması halinde %4.5 ile %5.2 oranlarında, 75°C’ye çıkması halinde ise %8.9 ile %9.5 oranlarında azalmaktadır.

Şekil 5.8-5.10’da numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalması durumunda ultrases geçiş hızlarının KAM miktarı ile ilişkisi sırasıyla verilmiştir.



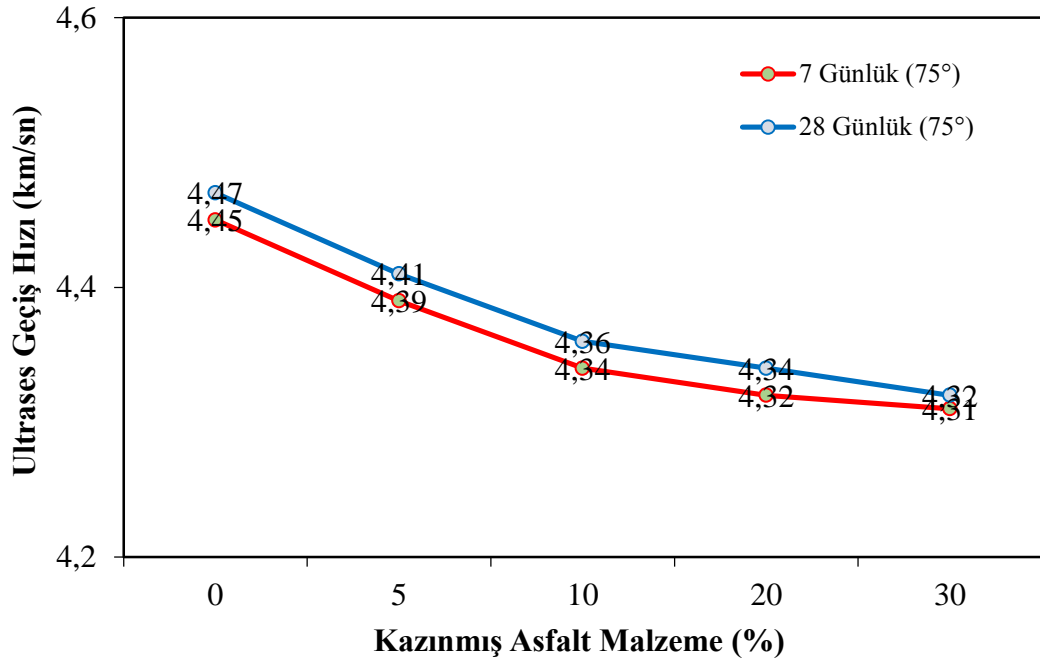
Şekil 5.8 KAM ikameli 7 ve 28 günlük numunelerin 25°C ısıya maruz kalmış haldeki ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 5.8 incelendiğinde 7 günlük numunelerin 25°C ısıya maruz kalması ile elde edilen ultrases geçiş hızı değerlerinin 28 günlük numunelerin 25°C ısıya maruz kalması ile elde edilen ultrases geçiş hızı değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. 7 günlük Kontrol numunelerde 4.65 km/sn olan ultrases geçiş hızı değeri agrega yerine kazınmış asfalt malzeme miktarının %30 oranında arttırılmasıyla elde edilen KAM30 numunelerde 4.55 km/sn'ye düşmektedir. 28 günlük Kontrol numunelerde 4.87 km/sn olan ultrases geçiş hızı değeri agrega yerine kazınmış asfalt malzeme miktarının %5 oranında arttırılmasıyla elde edilen KAM5 numunelerde 4.84 km/sn, %10 oranında arttırılmasıyla elde edilen KAM10 numunelerde 4.82 km/sn, %20 oranında arttırılmasıyla elde edilen KAM20 numunelerde 4.77 km/sn ve %30 oranında arttırılmasıyla elde edilen KAM30 numunelerde ise 4.73 km/sn'ye düşmektedir. 7 günlük numunelerde Kontrol ve agrega yerine %30 oranında kazınmış asfalt malzeme ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde ultrases geçiş hızı değerlerinde %2.15 oranında azalma gözlenirken, 28 günlük numunelerde kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla ultrases geçiş hızı değerlerinde yaklaşık olarak %3 civarında bir azalma görülmektedir.



Şekil 5.9 7 ve 28 günlük numunelerin 50°C ısıya maruz kalmış ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 5.9'da 7 ve 28 günlük numunelerin 50°C ısıya maruz kalmış ultrases geçiş hızlarının kazınmış asfalt malzeme miktarı ile değişimi verilmektedir. Şekil 4.9 incelendiğinde 7 günlük Kontrol numunelerde 4.55 km/sn olan ultrases geçiş hızı değeri agrega yerine kazınmış asfalt malzeme eklenmesiyle KAM30 numunelerde 4.45 km/sn'ye kadar azalmaktadır. 28 günlük numuneler incelendiğinde Kontrol numunelerde 4.66 km/sn olan ultrases geçiş hızı değeri kazınmış asfalt malzeme miktarının arttırılmasıyla KAM5 numunelerde 4.62 km/sn, KAM10 numunelerde 4.57 km/sn, KAM20 numunelerde 4.55 km/sn ve KAM30 numunelerde 4.52 km/sn'ye kadar azalmaktadır. 7 günlük numunelerde Kontrol ve KAM30 numunelerde ultrases geçiş hızı değerlerinde %2.2 oranında azalma gözlenirken, 28 günlük numunelerde ultrases geçiş hızı değerlerinde %3 civarında gözlenmiştir.



Şekil 5.10 7 ve 28 günlük numunelerin 75°C ısıya maruz kalmış ultrases geçiş hızlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 5.10'da 7 ve 28 günlük numunelerin 75°C ısıya maruz kalmış ultrases geçiş hızlarının kazınmış asfalt malzeme miktarı ile değişimi verilmektedir. 7 günlük Kontrol numunelerin ultrases geçiş hızı değeri 4.45 km/sn iken bu değer kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla KAM30 numunelerde 4.31 km/sn'ye

düşmüştür. 28 günlük numuneler incelendiğinde Kontrol numunelerde ultrases geçiş hızı 4.47 km/sn iken agrega yerine kazınmış asfalt malzeme miktarının arttırılmasıyla KAM5 numunelerde 4.41 km/sn, KAM10 numunelerde 4.36 km/sn, KAM20 numunelerde 4.34 km/sn ve KAM30 numunelerde 4.32 km/sn'ye kadar azalmaktadır. 7 günlük numunelerde Kontrol ve KAM30 numunelerde ultrases geçiş hızı değerlerinde %3.1 oranında azalma gözlenirken, 28 günlük numunelerde ultrases geçiş hızı değerlerinde yaklaşık olarak %3.4 civarında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmalar sonucunda elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde, betonun maruz kaldığı ısıнын arttırılması sonucu ölçülen ultrases geçiş hızlarının %4-9 seviyelerinde azaldığı, betonda KAM ikame oranının arttırılması sonucu ölçülen ultrases geçiş hızlarının ise %2-3 seviyelerinde azaldığı ortaya çıkmaktadır. Ses geçiş hızının azalmasına, hem ısı nedeniyle beton numunelerindeki suyun azalması hemde KAM miktarının artması neden olmuştur. Beton numunesinin 24 saat boyunca ısıya maruz bırakılması ile içindeki suyun azalması sonucunda boşluk miktarının artması nedeniyle ultrases geçiş hızının azalmasına sebep olmuştur. Ultrases geçiş hızının azalmasına etki eden diğer bir neden bitümlü yapıya sahip olan KAM'ın agrega yerine ikame edilmesidir. KAM ikame miktarı arttıkça beton numunelerinde bitüm miktarı artmış ve bu durum ultrases geçiş hızı değerlerinin azalmasına neden olmuştur.

Ses üstü dalgaların betonun bir yüzünden diğer yüzüne geçme süresini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Beton numuneleri içerisinde bulunan su miktarı da sesin geçiş süresini etkileyen faktörlerdendir. Ultrases geçiş hızları incelendiğinde numunelerin içerisinde bulunan su miktarından dolayı suya doymun ultrases geçiş hızlarının ısıya maruz bırakılmış halde ultrases geçiş hızlarından fazla olduğu görülmüştür. Su miktarı arttıkça numunelerdeki boşluklar azalır. Betondaki boşlukların azalması da sesin geçiş süresini azaltarak ultrases geçiş hızını arttırır.

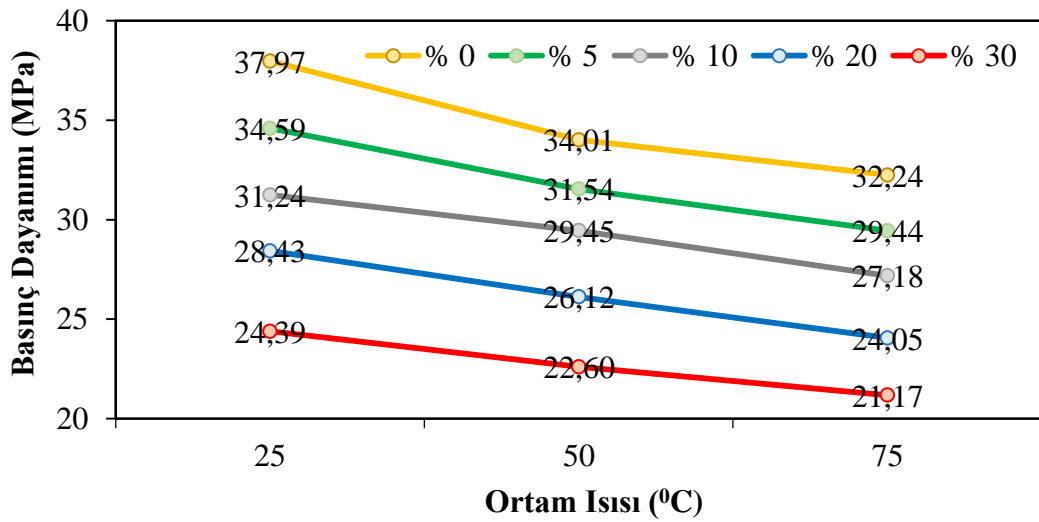
Çizelge 5.11 Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi [29]

Ses Hızı (V) km/sn	Beton Kalitesi
> 4.5	Mükemmel
3.5 – 4.5	İyi
3.0 – 3.5	Şüpheli
2.0 – 3.0	Zayıf
< 2.0	Çok zayıf

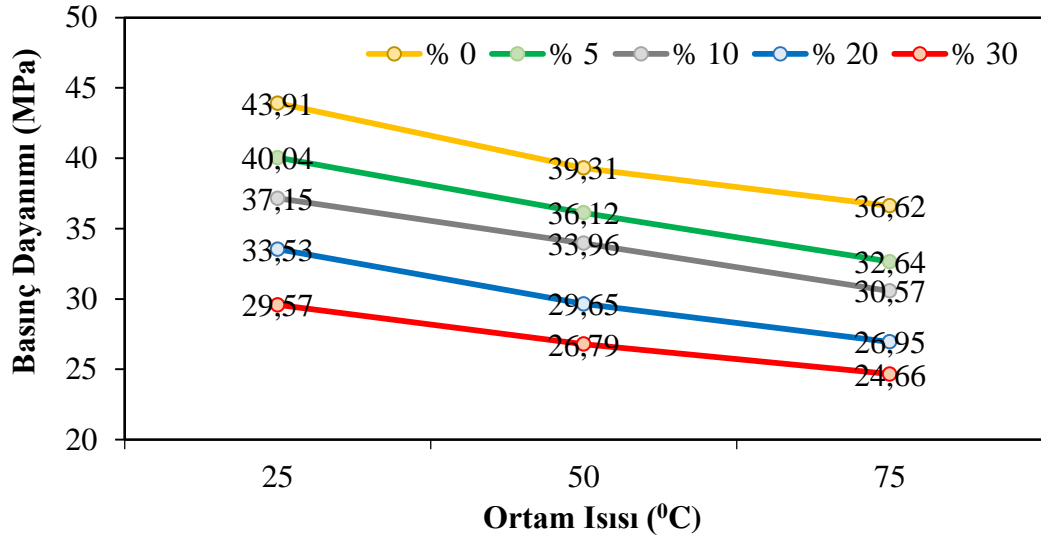
Çizelge 5.12 dikkate alındığında, ultrases geçiş hızları göz önünde bulundurulursa, kazınmış asfalt malzemeli beton numunelerinin kalitesinin yüksek olduğu ve bu betonların kullanılabilir olduğu söylenebilir.

5.2.2.3. Basınç Dayanım Değerlerinin İrdelenmesi

7 ve 28 günlük kür süresi sonunda kür havuzundan çıkarılan numuneler, oda ısısı (25°C), 50°C ve 75°C ısılarda 24 saat bekletildikten sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur. Üretilen KAM ikameli 150 mm'lik küp numuneler üzerinde elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının ısı ile değişim grafikleri Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.

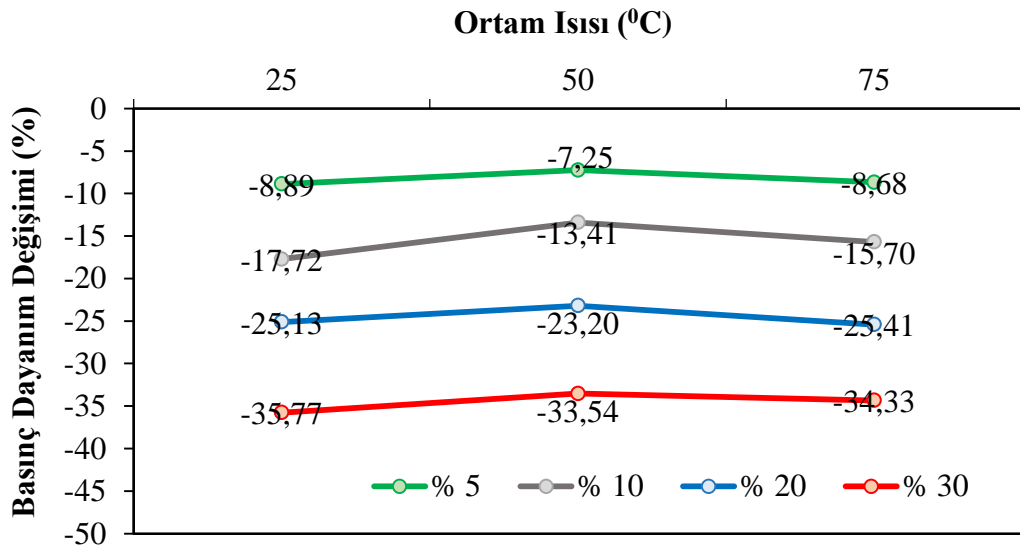


Şekil 5.11 KAM ikameli 7 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile değişimi

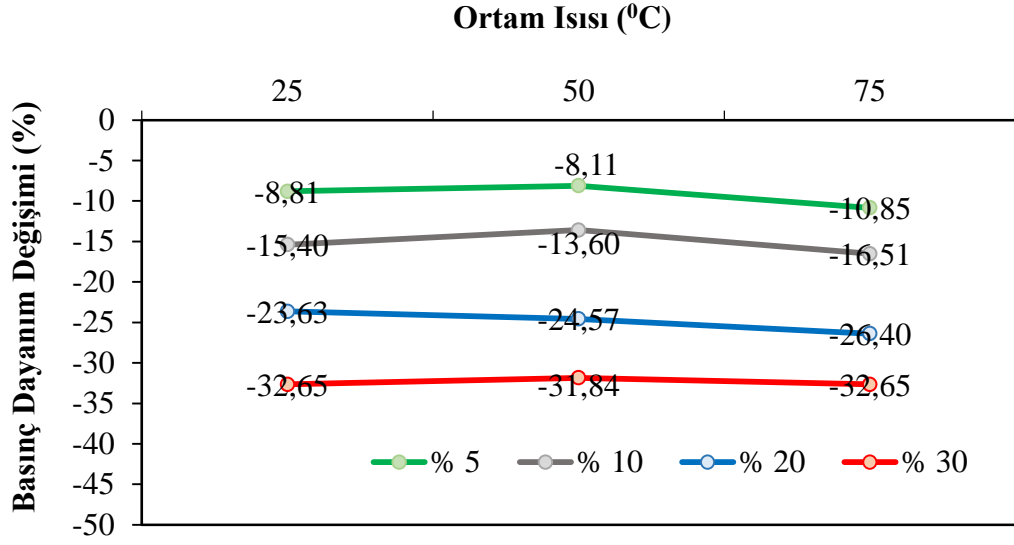


Şekil 5.12 KAM ikameli 28 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile değişimi

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 incelendiğinde 7 günlük küp numunelere ait basınç dayanımları 28 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarına göre daha düşüktür. Bu durum, çimentonun 7 günlük numunelerde aderansını tam olarak tamamlamamış olmasından kaynaklanmaktadır.

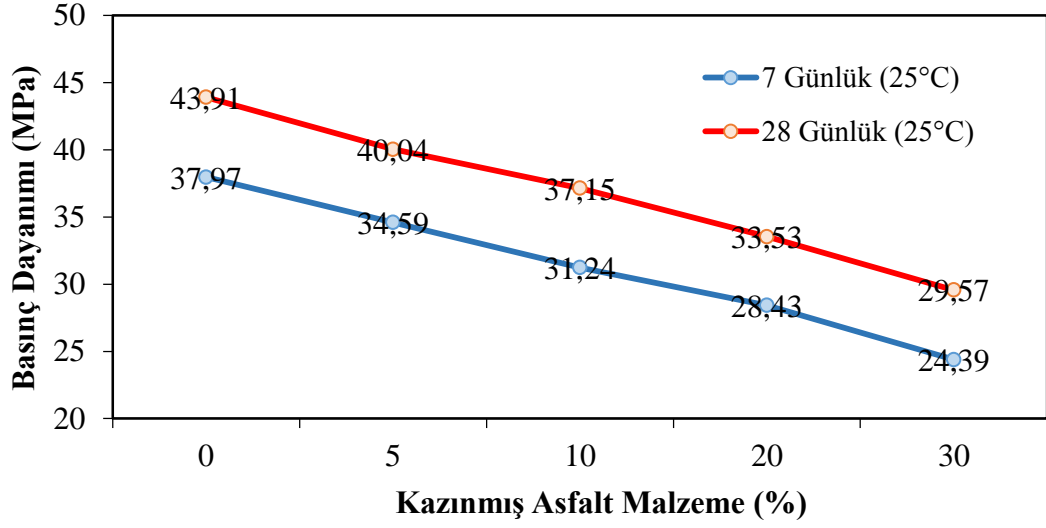


Şekil 5.13 KAM ikameli 7 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile azalma oranı



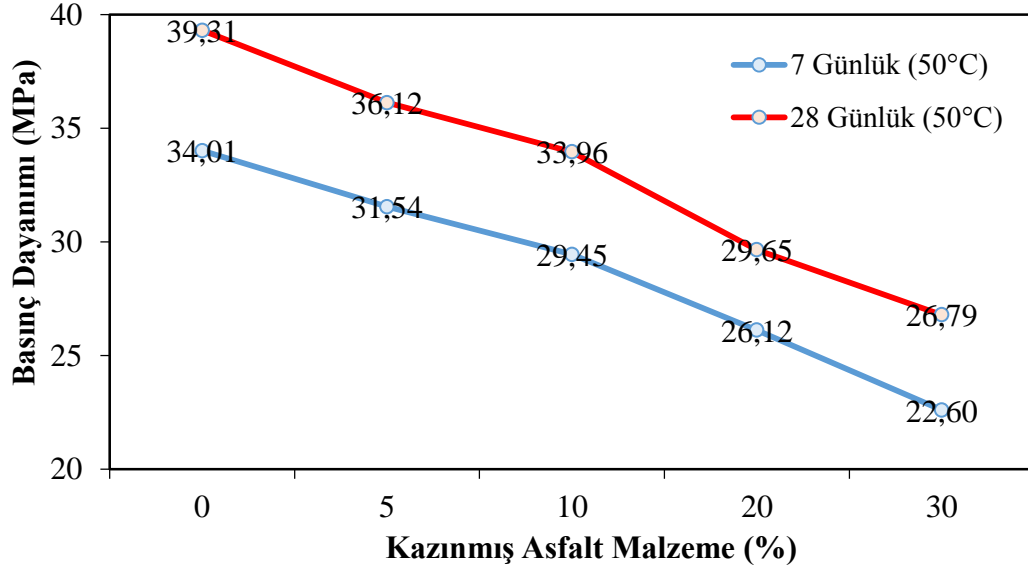
Şekil 5.14 KAM ikameli 28 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarının ısı ile azalma oranı

7 ve 28 günlük Kontrol numunelerin basınç dayanımları baz alınarak hesaplanan azalma oranları Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de verilmiştir. Şekil 5.13 incelendiğinde ısı artışıyla 7 günlük KAM5 numunelerde ısının 25°C'den 75°C'ye çıkarılmasıyla basınç dayanımı değerlerinde %8.68 oranında bir azalma gözlemlenirken kazınmış asfalt malzeme ikame oranının artırılmasıyla KAM30 numunelerde bu azalma oranı %34.33 olmaktadır. Şekil 5.14'de 28 günlük numuneler incelendiğinde 25°C ısıya maruz Kontrol numunelere %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 numunelerde basınç dayanım değerinde %8.81 oranında azalma gözlemlenirken ısının 75°C'ye çıkarılmasıyla basınç dayanım değerlerinde %10.85 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. 25°C ısıya maruz Kontrol numunelere %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde ise basınç dayanım değerinde %32.65 oranında, ısının 50°C'ye çıkarılmasıyla basınç dayanım değerlerinde %31.84 ve 75°C'ye çıkarılmasıyla basınç dayanım değerlerinde %32.65 oranında bir azalma gözlemlenmiştir.



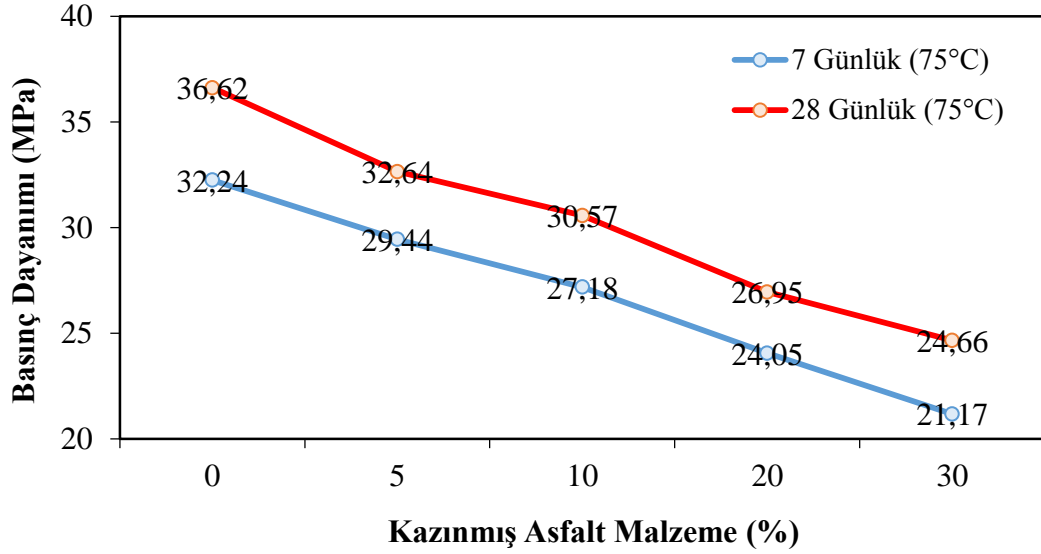
Şekil 5.15 7 ve 28 günlük küp numunelerin 25°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 5.15’de veriler göz önüne alındığında 7 ve 28 günlük küp numunelerin 25°C ısıya maruz kalmasıyla elde edilen basınç dayanım değerleri verilmiştir. 7 günlük numunelerden elde edilen basınç dayanımı Kontrol numunelerde 37.97 MPa iken bu değer agrega yerine KAM ikame oranının artırılmasıyla KAM30 numunelerde 24.39 MPa değerine düşmektedir. 28 günlük küp numuneler dikkate alındığında Kontrol numunelerde 43.91 MPa olan basınç dayanımı agrega yerine %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 numunelerde 40.04 MPa, %10 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM10 numunelerde 37.15 MPa, %20 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM20 numunelerde 33.53 MPa ve %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde ise 29.57 MPa olarak bulunmuştur. 7 günlük numunelerde basınç dayanımı değerlerinde Kontrol ile agrega yerine %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numuneler arasında yaklaşık olarak %36 oranında azalma meydana gelirken 28 günlük numunelerde basınç dayanımlarında azalma miktarı %33 oranında meydana gelmiştir.



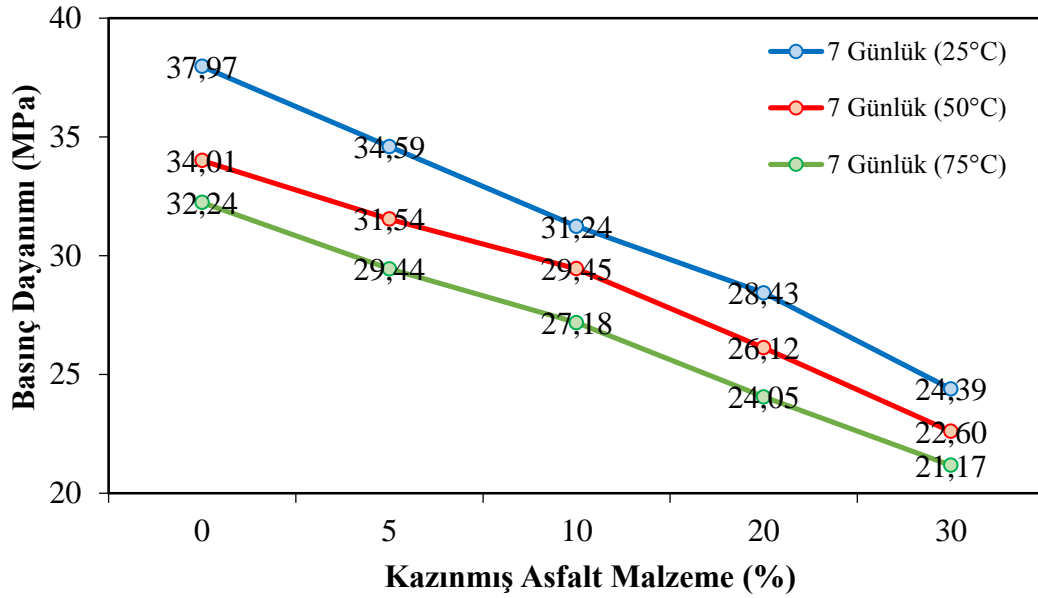
Şekil 5.16 7 ve 28 günlük küp numunelerin 50°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 5.16'da basınç dayanımları göz önüne alındığında 7 ve 28 günlük küp numunelerin 50°C ısıya maruz kalmasıyla elde edilen basınç dayanım değerleri verilmiştir. 7 günlük numunelerden elde edilen basınç dayanımı Kontrol numunelerde 34.01 MPa iken bu değer kazınmış asfalt malzeme miktarının arttırılmasıyla KAM30 numunelerde 22.60 MPa değerine düşmektedir. 28 günlük numuneler dikkate alındığında Kontrol numunelerde 39.31 MPa olan basınç dayanımı agrega yerine %5 oranında KAM ikame edilmesiyle KAM5 numunelerde 36.12 MPa, agrega yerine %10 oranında KAM ikame edilmesiyle KAM10 numunelerde 33.96 MPa, agrega yerine %20 oranında KAM ikame edilmesiyle KAM20 numunelerde 26.95 MPa ve agrega yerine %30 oranında KAM ikame edilmesiyle KAM30 numunelerde ise 26.79 MPa olarak bulunmuştur. 7 günlük numunelerde basınç dayanımı değerlerinde Kontrol numuneler ile KAM30 numuneler arasında yaklaşık olarak %34 oranında azalma meydana gelirken 28 günlük numunelerde basınç dayanımlarından elde edilen azalma oranı yaklaşık olarak %32 oranında meydana gelmiştir.

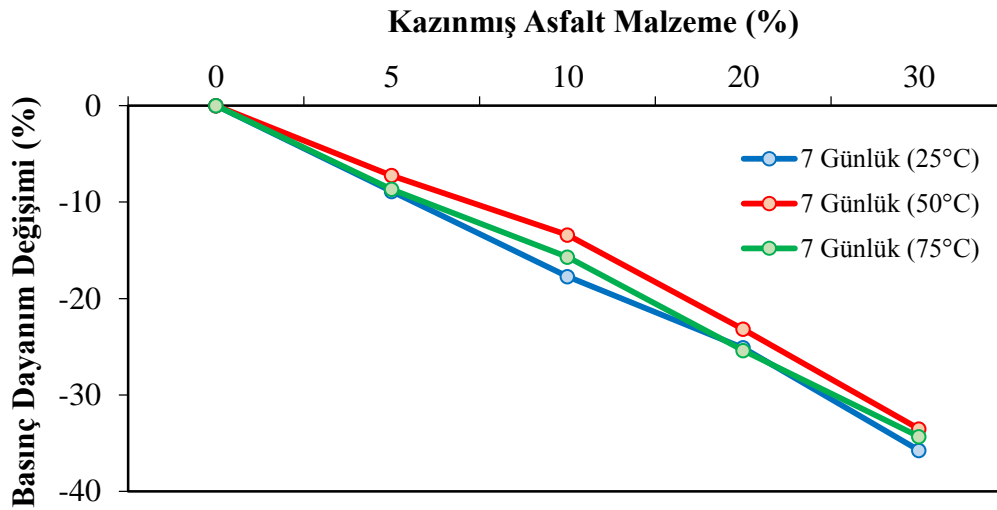


Şekil 5.17 7 ve 28 günlük küp numunelerin 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 5.17’de basınç dayanımları dikkate alındığında 7 ve 28 günlük küp numunelerin 75°C ısıya maruz kalmasıyla elde edilen basınç dayanım değerleri verilmiştir. 7 günlük numunelerden elde edilen basınç dayanımı Kontrol numunelerde 32.24 MPa iken bu değer agrega yerine KAM ikame edilmesiyle KAM30 numunelerde 21.17 MPa değerine düşmektedir. 28 günlük numuneler dikkate alındığında Kontrol numunelerde 36.62 MPa olan basınç dayanımı agrega yerine %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 numunelerde 32.64 MPa, agrega yerine %10 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM10 numunelerde 30.57 MPa, agrega yerine %20 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM20 numunelerde 26.95 MPa ve agrega yerine %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde ise 24.66 MPa olarak bulunmuştur. 7 günlük numunelerde basınç dayanımı değerlerinde Kontrol numuneler ile KAM30 numuneler arasında yaklaşık olarak %34 oranında azalma meydana gelirken 28 günlük numunelerde basınç dayanım değerlerinde azalma oranı yaklaşık olarak %33 olarak elde edilmiştir.



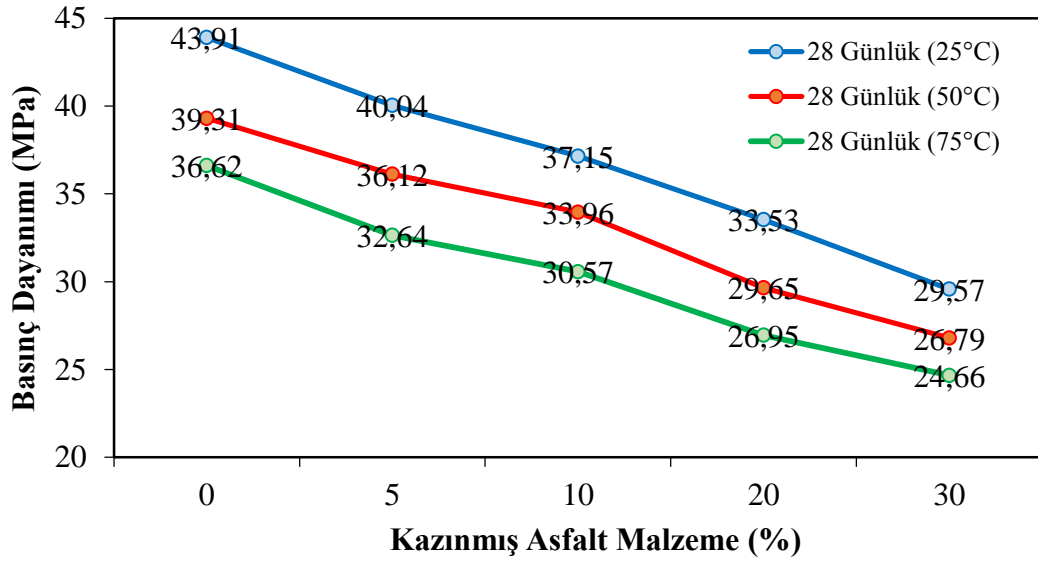
Şekil 5.18 7 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi



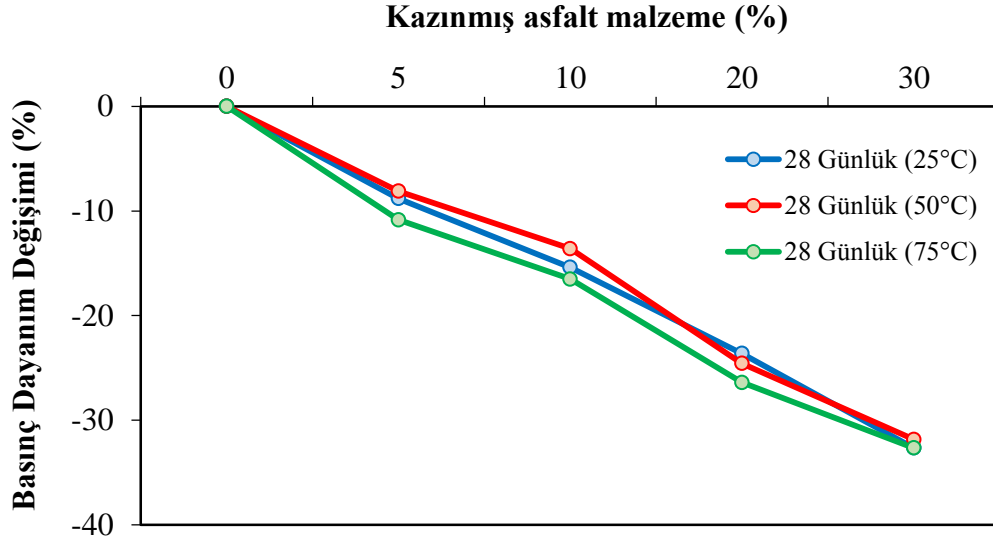
Şekil 5.19 7 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile azalma oranı

Şekil 5.18'de 7 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış beton numunelerinde agrega yerine KAM ikame edilmesiyle elde edilen basınç dayanımlarının grafiksel karşılaştırması ve Şekil 5.19'da ise 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış beton numunelerinde agrega yerine KAM ikame

edilmesiyle elde edilen basınç dayanımlarının azalma oranları verilmiştir. Şekil 5.18 incelendiğinde 7 günlük küp numunelerin Kontrol serisinde 25°C ısıya maruz kalmış numunelerinde basınç dayanımı 37.97 MPa iken ısının artmasıyla 75°C ısıda 32.24 MPa değerine düşmektedir. Numunelerde agrega yerine KAM ikame edilmesiyle KAM30 numunelerde 25°C ısıya maruz kalmış numunelerde basınç dayanımı 24.39 MPa iken ısının artmasıyla 75°C ısıda 21.17 MPa değerine düşmektedir. Şekil 5.19 dikkate alındığında Kontrol numunelerde ısının artışıyla basınç dayanımında yaklaşık olarak %15 oranında azalma gözlenirken bu değer KAM30 numunelerde yaklaşık olarak %13 olmaktadır. Elde edilen basınç dayanımları incelendiğinde ısı artışının kazınmış asfalt malzeme oranının fazla olduğu beton serilerinde dayanımı daha az düşürdüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 5.20 28 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi



Şekil 5.21 28 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış basınç dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile azalma oranı

Şekil 5.20’de 28 günlük küp numunelerin 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış beton numunelerinde agrega yerine KAM ikame edilmesiyle elde edilen basınç dayanımlarının grafiksel karşılaştırması ve Şekil 5.21’de ise 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalmış beton numunelerinde agrega yerine KAM ikame edilmesiyle elde edilen basınç dayanımlarının azalma oranları verilmiştir. Şekiller incelendiğinde 28 günlük numunelerin Kontrol serisinde 25°C ısıya maruz kalmış numunelerin basınç dayanımı 43.91 MPa iken ısının 75°C olmasıyla basınç dayanımı 36.62 MPa değerine düşmektedir. Beton serilerinde agrega yerine kazınmış asfalt malzeme miktarının %5 oranında arttırılmasıyla elde edilen KAM5 numunelerde 25°C ısıda basınç dayanımı 40.04 MPa iken 75°C ısıda 32.64 MPa, agrega yerine kazınmış asfalt malzeme miktarının %10 oranında ilave edilmesiyle elde edilen KAM10 numunelerde 25°C ısıda 37.15 MPa olan basınç dayanımı 75°C ısıda 30.57 MPa, agrega yerine kazınmış asfalt malzeme miktarının %20 oranında ilave edilmesiyle elde edilen KAM20 numunelerde 25°C ısıda 33.53 MPa olan basınç dayanımı 75°C ısıda 26.95 MPa değerine düşmektedir. Kontrol karışımına agrega yerine %30 oranında kazınmış asfalt malzeme ilave edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde ise 25°C ısıda 29.57 MPa olan basınç dayanımı değeri ısının 75°C’ ye yükselmesiyle 24.66 MPa değerine kadar düşmektedir. Kontrol numunelerde ısı

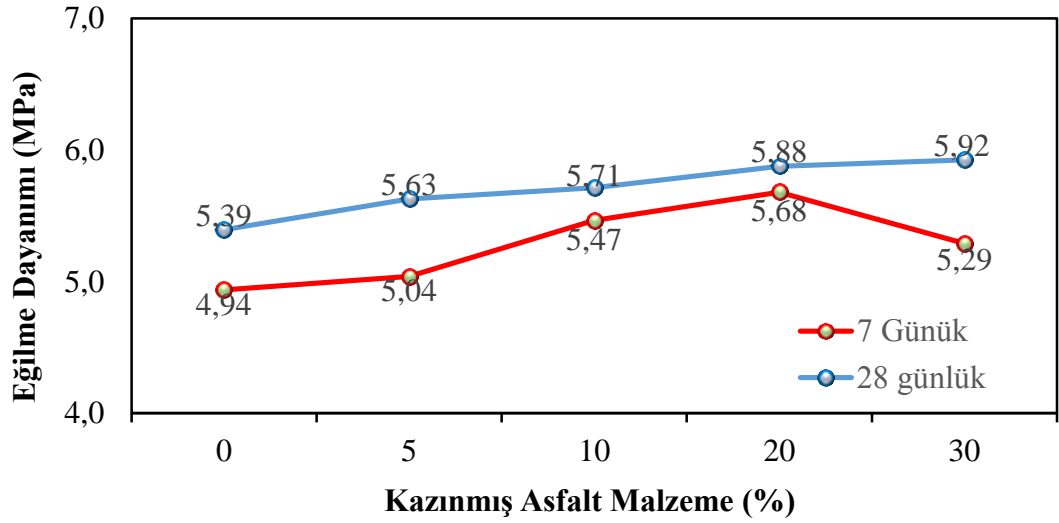
artışıyla basınç dayanımı değerlerinde yaklaşık olarak %17 oranında bir azalma gözlenirken kazınmış asfalt malzeme oranının arttırılmasıyla KAM5 numunelerde basınç dayanımı değerlerinde %19, KAM10 numunelerde %18, KAM20 numunelerde %20 ve KAM30 numunelerde ise %17 oranında azalma meydana gelmiştir.

Elde edilen basınç dayanımı değerleri dikkate alındığında, agrega yerine KAM ikame miktarının arttırılmasıyla basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Fakat yine de kazınmış asfalt malzeme kullanımı sonucunda elde edilen betonun yeterli basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

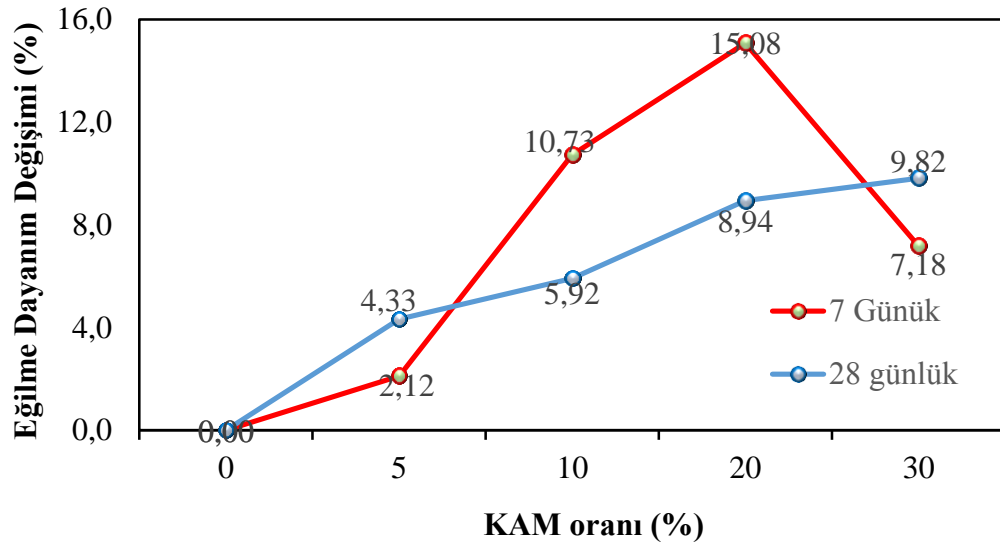
Isının artmasıyla birlikte basınç dayanımlarında meydana gelen azalmalar dikkate alındığında, ısı artışından olumsuz yönde en fazla etkilenen numuneler agrega yerine %20 oranında kazınmış asfalt malzeme bulunduran KAM20 numunelerdir. Isı artışından en az etkilenen numuneler ise Kontrol ve agrega yerine %30 oranında kazınmış asfalt malzeme ikame edilen KAM30 numuneler olup, basınç dayanımlarında meydana gelen azalma oranı yaklaşık olarak %17 olarak gözlenmiştir.

5.2.2.4. Eğilme Dayanım Değerlerinin İrdelenmesi

7 ve 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarıldıktan sonra 24 saat oda ısısında bekletilen 150x150x600 mm kiriş numunelerden elde edilen eğilme dayanımlarının grafiksel karşılaştırması Şekil 5.22'de ve eğilme dayanımlarının artış oranları ise Şekil 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.22 7 ve 28 günlük kırıntı numunelerinin eğilme dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi



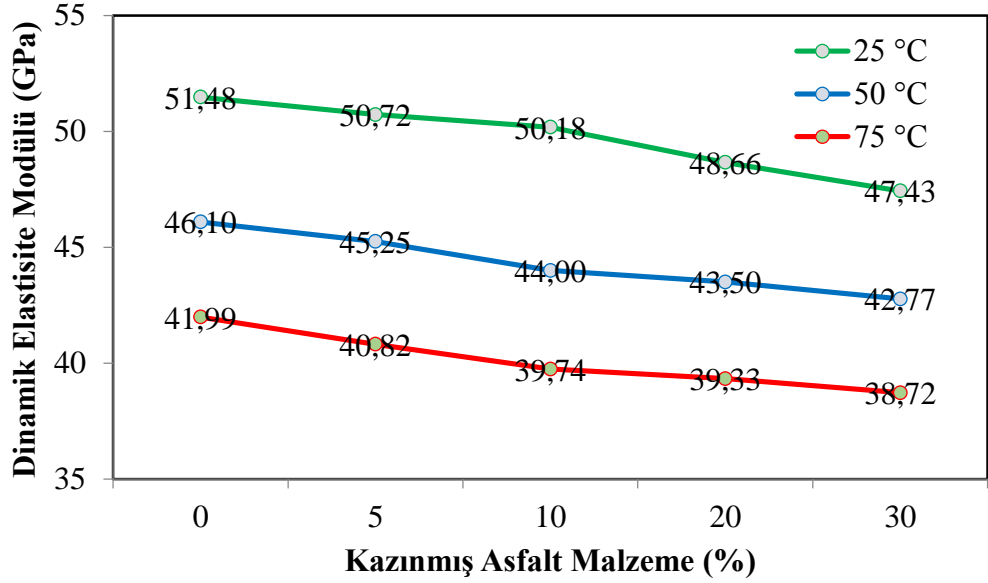
Şekil 5.23 7 ve 28 günlük kırıntı numunelerinin eğilme dayanımlarının ikame edilen KAM miktarı ile artış oranı

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 incelendiğinde 7 günlük Kontrol numunelerden elde edilen eğilme dayanımı 4.94 MPa iken agrega yerine %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 numunelerde eğilme dayanımı 5.04 MPa, KAM ikame oranının %10 arttırılmasıyla KAM10 numunelerde eğilme dayanımı 5.47 MPa, KAM ikame oranının %20 arttırılmasıyla KAM20 numunelerde eğilme

dayanımı 5.68 MPa ve agregaya yerine %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde ise eğilme dayanımı 5.29 MPa olmaktadır. 7 günlük kirişlerin eğilme dayanımlarında sistematik olmayan bir artış gözlenmiştir. 28 günlük Kontrol numunelerden elde edilen eğilme dayanımı 5.39 MPa iken bu değer agregaya yerine %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 numuneler için 5.63 MPa, %10 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM10 numuneler için eğilme dayanımı 5.71 MPa, %20 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM20 numuneler için eğilme dayanımı 5.88 MPa ve %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numuneler için 5.92 MPa olarak bulunmuştur. 28 günlük kiriş numunelerinin eğilme dayanımı değerlerinde düzenli bir artış gözlenmiş olup Kontrol betonu ile agregaya yerine %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 betonunun eğilme dayanımında yaklaşık olarak %10 oranında bir artış gözlenmiştir. Elde edilen eğilme dayanımı verileri dikkate alındığında betona agregaya yerine kısmen kazınmış asfalt malzeme eklenmesi numunelerin eğilme dayanımlarını arttırdığı gözlemlenmiştir.

5.2.2.5. Elastisite Modülü Değerlerinin İrdelenmesi

28 günlük küp numunelerinin ultrases geçiş hızları ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları dikkate alınarak bulunan dinamik elastisite modüllerinin grafiksel karşılaştırması Şekil 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5.24 Dinamik elastisite modülünün ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

28 günlük kür süresi sonunda oda ısısında bekletilen Kontrol betonu için hesaplanan dinamik elastisite modülü 51.48 GPa iken agregaya yerine %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 numunelerde 50.72 GPa, agregaya yerine %10 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM10 numunelerde 50.18 GPa, agregaya yerine %20 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM20 numunelerde 48.66 GPa ve agregaya yerine %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numuneler için 47.43 GPa olarak hesaplanmıştır. Kontrol betonuna agregaya yerine %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde dinamik elastisite modülü değerinde yaklaşık olarak %8 oranında azalma meydana geldiği gözlenmiştir.

28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılan numuneler, 50°C ısıda 24 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Etüvde bekletilen Kontrol numunelerde 46.10 GPa olarak hesaplanan dinamik elastisite modülü değeri agregaya yerine %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 için 45.25 GPa, KAM ikame oranının %10 arttırılmasıyla elde edilen KAM10 için 44.00 GPa, KAM ikame oranının %20 arttırılmasıyla elde edilen KAM20 için 43.50 GPa, %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numuneler için 42.77 GPa olarak bulunmuştur.

Kontrol betonu ile agrega yerine KAM ikame oranının arttırılmasıyla elde edilen KAM30 numunelerde dinamik elastisite modülü değerinde yaklaşık olarak %7 oranında azalma gözlenmiştir.

75°C ısıda 24 saat etüvde bekletilen numunelerde Kontrol betonu için hesaplanan dinamik elastisite modülü 41.99 GPa iken KAM miktarının %5 oranında ikame edilmesiyle elde edilen KAM5 numuneler için 40.82 GPa, KAM miktarının %10 oranında ikamesiyle elde edilen KAM10 numuneler için 39.74 GPa, %20 oranında ikame edilmesiyle elde edilen KAM20 numuneler için 39.33 GPa ve %30 oranında ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numuneler için 38.72 GPa olarak hesaplanmıştır. Kontrol betonu ile kazınmış asfalt malzeme miktarının %30 oranında ikame edilmesiyle elde edilen KAM30 numunelerde dinamik elastisite modülü değerinde yaklaşık %8 oranında azalma meydana gelmiştir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, eskiyen yolların kazınması sonucu ortaya çıkan asfalt kaplamaların agrega yerine ikame edilebilme potansiyeli araştırılmıştır. Atık malzemelerin dönüştürülmesine katkı sağlamak için yapılan bu çalışmada, kazınmış asfalt malzeme hiçbir işleme tabi tutulmadan sadece elenerek 22.4 – 4 mm arasında kalanı alınmış ve %5, 10, 20 ve 30 oranlarında iri agrega yerine ikame edilerek 350 dozajlı betonlar üretilmiş, üretilen bu betonlar hasarlı ve hasarsız beton deneylerine tabi tutulmuştur.

Taze beton deneylerinde elde edilen çökme değerlerinde, betona agrega yerine kazınmış asfalt malzeme ilave edilmesiyle çökme değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Betona kazınmış asfalt malzeme ikame edilmesiyle işlenebilirliğin arttığı ve kazınmış asfalt malzemenin yüzeyinin bitümlü kaplı olmasından dolayı karışımın su emme miktarının azaldığı görülmüştür.

Kazınmış asfalt malzemeli betonların sertleşmiş birim hacim ağırlıklarının betona kazınmış asfalt malzeme eklenmesiyle azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, kazınmış asfalt malzemenin özgül ağırlığının iri agregaya göre daha küçük olmasıyla açıklanabilir.

Suya doymuş ve farklı ortam ısılarına maruz bırakılmış numuneler üzerinde ölçülen ultrases geçiş hızlarının kazınmış asfalt malzeme ikamesi ve maruz bırakılan ısının artışı ile azaldığı görülmüştür. Ses geçiş hızının azalması özellikle ısı artışı ile beton numunelerindeki su miktarının azalmasıyla ve kazınmış asfalt malzemenin yüzeyinin bitümlü kaplanmasıyla kaynaklanmaktadır.

Küp numuneler üzerinden elde edilen basınç dayanımlarının karışıma kazınmış asfalt malzeme ikamesi ve maruz bırakılan ısının artışı ile azaldığı ortaya çıkmıştır.

Kiriş numuneler üzerinden elde edilen eğilme dayanımlarının karışıma kazınmış asfalt malzeme ikame edilmesiyle arttığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda kazınmış asfalt malzeme ikamesinin miktarlarına bağlı olarak dayanımları C20/25 ve C30/37 arasında betonların üretilebileceği ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak kazınmış asfalt malzemelerin betonda iri agrega yerine kısmen ikame edilmesi ile karayollarının yenilenmesi veya tamiri sonucunda ortaya çıkan atıkların geri dönüştürülmesi sağlanmış olunacak ve böylece ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] E. Salami, “Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi,2009.
- [2] T.Y. Erdoğan, *Beton*. Ankara: ODTÜ, 2015.
- [3] E. B. Türkel, “Beton basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002.
- [4] A. Kan, “Isıl işlem yöntemiyle modifiye edilmiş atık EPS köpüklerin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, 2007.
- [5] A.G. Güngör, F. Orhan, S. Kaşak, Y. Dost, “Kazılmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanılması”, *Karayolu 1.Ulusal Kongresi*, Ankara,2008,
- [6] B. Işıkdag, “Atık asfalt kırıklarının beton yollarda agrega yerine kullanılmasının araştırılması”, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2009.
- [7] İ. Salta, “Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [8] S. Akçaözoğlu, “Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği”, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008.
- [9] A.F. Akpınar, “Asfalt kırığı agregalı betonların mekanik özellikleri”, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2005.
- [10] A. Akyıldız, “Beton üretiminde bor atıklarının puzzolan materyal olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, 2012.
- [11] Ç. Çelik, E. Gürdal, “Yerfıstığı kabuğunun agrega olarak kullanım olanakları”, *İTÜ Dergisi*, cilt. 4 sayı.1: sayfa. 37-46, 2005.
- [12] S. Demirdağ, L. Gündüz, “Volkanik Cürüfların İnşaat Endüstrisinde Hafif Beton Agregası Olarak Değerlendirilme Kriterleri”, *3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, Ankara, 2003, s. 52-58.

- [13] C. Gürer, H. Akbulut, G. Kürklü, “İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi”, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 2004, s. 28-36.
- [14] C. Kılıçoğlu, “Cam atıklarının betonda agrega ve çimento yerine kullanımı”, Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 2013.
- [15] Y. F. Özer, “Bazı endüstriyel atıkların betonun mekanik özellikleri etkisi”, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2012.
- [16] S. Öztürk, “Isparta atık su arıtma tesisi filtre keki atığının betona katılabilme olanaklarının araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2013.
- [17] İ. Tulga, “Endüstriyel atıkların çimento yerine ikame edilmesi ile oluşturulan beton numunelerinin mühendislik özelliklerindeki değişimin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Kırklareli Üniversitesi, 2017.
- [18] A. Tuncan, A. Çetin, M. Tuncan, “Lastik Atıkların Asfalt Betonu Kaplamaların Mekanik Özelliklerine Etkileri”, 2. *Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 1998, s.139.
- [19] S. Yıldız, İ. Balaydın, Z. Ç. Ulucan, “Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (1) 85-91, 2007.
- [20] İ. Salta, “Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [21] B. Kaya, “Bitümlü karışımların geri dönüşümü, çevresel etkileri ve maliyet analizi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2011.
- [22] A. İstek, “Farklı ılık asfalt katkılarının bitümlü karışımların mekanik özelliklerine etkisi”, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, 2017.
- [23] F.S. Al-Ali, “Geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinin aşınma tabakasında kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2016.

- [24] A. Er, “Özel öğütölmüş lastik atığı içeren asfalt betonunun performans özelliklerinin belirlenmesi”, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2011.
- [25] TS EN 12390-1, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, 2014.
- [26] TS EN 12350-2, Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) Deneyi, 2010.
- [27] TS EN 12390-3, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, 2010.
- [28] TS EN 12390-5, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, 2010.
- [29] O. Şimşek, *Beton ve Beton Teknolojisi*, Ankara: Seçkin, 2016.

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Aysun Dilan GERGERLİ
Doğum Yeri :Kâhta/ADİYAMAN
Doğum Tarihi : 15.11.1990
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : dilangergerli@hotmail.com

Eğitim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Adıyaman Üniversitesi	2018
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Mustafa Kemal Üniversitesi	2013
Lise	Sayısal	Yabancı Dil Ağırlıklı Kâhta Lisesi	2008

Yayınlar