

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAZINMIŞ ASFALT MALZEMELERİN BETON KARIŞIMINDA
İNCE AGREGA YERİNE İKAME EDİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

UĞUR CANPOLAT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADİYAMAN, 2020

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

**KAZINMIŞ ASFALT MALZEMELERİN BETON KARIŞIMINDA İNCE
AGREGA YERİNE İKAME EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Uğur CANPOLAT

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekanik Bilim Dalı

Bu tez 22/10/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği /
oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Baki BAĞRIAÇIK
Üye

Doç. Dr. Tayfun SERVİ
Enstitü Müdür V.

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.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAZINMIŞ ASFALT MALZEMELERİN BETON KARIŞIMINDA İNCE AGREGA YERİNE İKAME EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Uğur CANPOLAT

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Yıl : 2020, Sayfa sayısı: 113

Jüri : Doç. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
: Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL
: Dr. Öğr. Üyesi Baki BAĞRIAÇIK

Ömrünü tamamlamış, yolların kazınarak yenilenmesi sırasında ortaya çıkan kazınmış asfalt malzemelerin yeniden kullanılması, doğal malzeme ihtiyacının azalmasına ve doğal agrega kaynakları ile çevrenin korunmasına katkı sağlayacaktır. Bu hususlar dikkate alınarak bu çalışmada asfalt yolların yenilenmesi sonucunda ortaya çıkan atık malzemelerin geri dönüştürülerek saha betonlarında kullanılması ve böylece doğal agrega kullanımının azaltılmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kazınmış asfalt malzemeler betonda ince agrega yerine ikame edilmiş ve farklı oranlar kullanılarak beton numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler farklı ısı koşullarında bekletilerek basınç, kiriş eğilmede çekme ve ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. Karışımlarda kaba agrega 12-19 mm, orta agrega 5-12 mm, ince agrega olarak 0-4mm boyutlarında dere kumu seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kazınmış asfalt malzeme 0-4 mm ebatlarında olup, ince agrega yerine %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ikame edilmiştir. Beton karışımı için CEM II 42.5 R Portland çimentosu kullanılmış ve çimento dozajı olarak 350 kg/m³ alınmıştır. İnce agrega yerine genel karışımın belirli oranlarında kazınmış asfalt malzeme ikame edilerek üretilen beton numuneleri üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Taze betonda çökme, birim hacim ağırlık değerleri hesaplanırken, sertleşmiş ve farklı sıcaklıklarda etüvde ısıya maruz kalmış numunelerde sıcaklık etkisi, birim hacim ağırlık, ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı, kiriş eğilmede çekme dayanımı, ağırlık düşürme deneyleri yapılarak kazınmış asfalt kaplamalı betonların davranışları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazınmış Asfalt; Ağırlık Düşürme; Basınç Dayanımı; Kiriş Eğilmede çekme; Sıcaklık etkisi

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE USE OF SCRAPED ASPHALT MATERIALS INSTEAD OF FINE AGGREGATE IN CONCRETE MIX

Uğur CANPOLAT

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

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Year : 2020, Number of pages: 113

Jury : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN
Asist Prof. Dr. İsmail ÜNSAL
Asist Prof. Dr. Baki BAĞRIAÇIK

Re-use of scraped asphalt materials that have completed their lifespan, which are revealed during the renewal of roads, will contribute to the reduction of the need for natural materials and the protection of the environment with natural aggregate resources. Considering these issues, this study aims to recycle the waste materials resulting from the renewal of asphalt roads to be used in field concretes and thus contribute to the reduction of the use of natural aggregate. For this purpose, scraped asphalt materials were replaced by fine aggregate in concrete and concrete samples were produced using different ratios. The produced samples were kept under different temperature conditions and tests were made for pressure, pull in beam bending and weight reduction. In the mixtures, river sand of 12-19 mm size, medium aggregate 5-12 mm, fine aggregate 0-4 mm was selected. The etched asphalt material used in the experiments is in the size of 0-4 mm and substituted for fine aggregate in the ratios of 5, 10, 15 and 20%. CEM II 42.5 R Portland cement was used for the concrete mix and the cement dosage was taken as 350 kg / m³. Fresh and hardened concrete tests were carried out on concrete samples produced by substituting scraped asphalt material in certain proportions of the general mixture instead of fine aggregate. While calculating the collapse and unit weight values in fresh concrete, the temperature effect, unit volume weight, ultra sound transmission speed, compressive strength, pull in beam bending strength, weight reduction tests were performed on the samples that were hardened and exposed to heat in the oven at different temperatures, and the behavior of the scraped asphalt covered concrete was determined.

Key Words: Scraped Asphalt; Weight Reduction; Compressive Strength; Pull in Beam Bending strength; Temperature effect

BEYAN

“Kazınmış Asfalt Malzemelerin Beton Karışımında İnce Agregaya Yerine İkame Edilmesinin Araştırılması” başlıklı tezimde çalışmaların 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.

Uğur Canpolat

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca bana danışmanlık ederek beni yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen, en önemlisi kıymetli zamanını bana ayıran tez danışmanım sayın Doç. Dr. Mehmet Fatih Şahan’a şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarda bana yardım eden mühendislik fakültesi öğrencilerinden Ömer Karakuş’a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni bugünlere getiren ve her türlü desteği bana sağlayan, canım annem Aynur Canpolat’a, babam Orhan Canpolat’a, tez çalışmam boyunca destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen kardeşim Musa Canpolat’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
RESİMLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR.....	10
3.1. Bitümlü Karışımların Tarihçesi.....	11
3.2. Bitümlü Bağlayıcılar	12
3.2.1. Asfalt	12
3.2.2. Katran	12
3.3. Bitümlü Karışımlar.....	13
3.4. Sathi kaplamalar	13
3.5. Asfalt betonu	14
4. DARBE TEST METOTLARI.....	15
4.1. Darbe Dayanımı	16
4.2. Darbe Dayanımının Tespiti	16
4.2.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyleri.....	17
4.2.1.1. Izod ve Charpy Darbe Deneyi.....	17
4.2.1.2. Pendulum (Sarkaç) darbe deneyi	18
4.2.1.3. Ankastre edilmiş kiriş darbe deneyi	20
4.2.2. Yüksek hızlı darbe test metotları.....	21
4.2.2.1. Basınçlı hava ile darbe test metodu.....	21
4.2.2.2. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu.....	22
4.2.2.3. Ağırlık düşürmeli darbe deneyi.....	23
5. MATERYAL VE METOT	27
5.1. Kullanılan Malzemeler	27
5.1.1. Çimento	27
5.1.2. Karışım Suyu.....	27
5.1.3. Agregası	27
5.1.4. Kazınmış Asfalt Malzeme (KAM).....	29
5.2. Beton Üretim Çalışmaları.....	30
5.2.1. Karışım Hesabı.....	30
5.2.2. Beton Karışımlarına Ait Serilerin Kodlanması	34
4.2.3. Beton Numunelerin Hazırlanması.....	35
5.3. Beton Deneyleri.....	39
5.3.1. Taze Beton Deneyleri.....	39
5.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	40

6. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
6.1. Bulgular	48
6.1.1. Taze beton deney sonuçları	48
6.1.1.1. Çökme	48
6.1.1.2. Taze beton birim hacim ağırlık	49
6.1.2. Sertleşmiş beton numunelere ait deney sonuçları	49
6.1.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık	49
6.1.2.2. Ultra ses geçiş hızı	51
6.1.2.3. Basınç dayanımı	52
6.1.2.4. Eğilmede çekme dayanımı	54
6.2. Tartışma.....	55
6.2.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının irdelenmesi	55
6.2.1.1. Çökme Değerlerinin irdelenmesi	55
6.2.1.2. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin İrdelenmesi.....	57
6.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının irdelenmesi	58
6.2.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin irdelenmesi ...	58
6.2.3. Ultra ses Geçiş Hızı Değerlerinin irdelenmesi.....	60
6.2.4. Basınç Dayanım Değerlerinin irdelenmesi	64
6.2.5. Eğilmede çekme Dayanım Değerlerinin irdelenmesi.....	72
6.2.6. Ağırlık düşürme deney sonuçları	75
6.2.6.1. Küp numunelerin ağırlık düşürme deney sonuçları	78
6.2.6.2. Kiriş numunelerin ağırlık düşürme deney sonuçları	92
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR	108
KİŞİSEL BİLGİLER.....	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 Karışımında kullanılan agregaların özgül ağırlığı	30
Çizelge 5.2 Karışımında kullanılan agregaların su emme oranları	31
Çizelge 5.3 Karışımında kullanılan agregaların doğal nem oranları.....	31
Çizelge 5.4 Karışımında kullanılan agregaların hacimce oranları	31
Çizelge 5.5 Karışımlarda kullanılan malzemelerin hacimce değerleri	33
Çizelge 5.6 Karışımlarda kullanılan malzemelerin ağırlıkça değerleri.....	33
Çizelge 5.7 Karışımında nem düzeltmesi sonrası ağırlıkça agrega miktarları (1m ³). 33	
Çizelge 6.1 Çalışmalarda üretilen betonların çökme değerleri	48
Çizelge 6.2 Çalışmalarda üretilen betonların taze birim hacim ağırlıkları	49
Çizelge 6.3 Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıkları.....	50
Çizelge 6.4 Numunelerin farklı ortam ısısı altında birim hacim ağırlıkları.....	50
Çizelge 6.5 28 günlük numunelerin farklı ortam ısısı altında ultra ses geçiş hızları... 51	
Çizelge 6.6 28 günlük numunelerin basınç dayanımı ve değişimi.....	52
Çizelge 6.7 28 günlük 25°C ortam ısısında kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım ve değişimleri.....	54
Çizelge 6.8 28 günlük 50°C ortam ısısında kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım ve değişimleri.....	54
Çizelge 6.9 28 günlük 75°C ortam ısısında kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım ve değişimleri.....	55
Çizelge 6.10 Taze betonların çökme değerlerine göre kıvam sınıfının belirlenmesi. 57	
Çizelge 6.11 Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Charpy darbe test sistemi ve Izod darbe test sistemi	17
Şekil 4.2 Pendulum darbe test sisteminin şematik resmi	19
Şekil 4.3 Ankastre edilmiş kiriş darbe test sisteminin şematik resmi	20
Şekil 4.4 Basınçlı hava ile darbe test düzeneğine ait şematik resim.....	21
Şekil 4.5 Split-Hopkinson basınçlı çubuk test düzeneğine ait şematik resim.....	23
Şekil 5.1 Agregat karışımının granülometri eğrisi	29
Şekil 5.2 Kiriş numunelere ait beton karışımlarının ve serilerin tanımlanması	34
Şekil 5.3 Küp numunelere ait beton karışımlarının ve serilerin tanımlanması	35
Şekil 6.1 çalışmalarda üretilen betonların slump (çökme) değerleri.....	56
Şekil 6.2 Kazınmış asfalt malzeme oranına bağlı olarak betonların taze birim hacim ağırlığının değişimi.....	57
Şekil 6.3 Suya doygun küp numunelerin sertleşmiş haldeki birim hacim ağırlığın ikame edilen KAM miktarı ile değişimi	59
Şekil 6.4 28 günlük farklı kam içeriğine sahip numunelerin farklı ortam ısısı altında birim hacim ağırlıklarındaki değişimi	60
Şekil 6.5 Ortam ısısına ve kam miktarına göre ultra ses geçiş hızı değişimi.....	61
Şekil 6.6 Ortam ısısına bağlı olarak kam takviyeli numunelerin ultra ses geçiş hızı değişimi	62
Şekil 6.7 28 günlük numunelerin 25 °C ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları.....	64
Şekil 6.8 28 günlük numunelerin 50 °C ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları	65
Şekil 6.9 28 günlük numunelerin 75 °C ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları	66
Şekil 6.10 28 günlük numunelerin ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları	67
Şekil 6.11 Ortam ısısına ve kam miktarına bağlı olarak basınç dayanımları.....	67
Şekil 6.12 Ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına bağlı olarak numunelerdeki eğilmede çekme dayanım grafiği.....	73
Şekil 6.13 Ortam ısısına bağlı olarak numunelerdeki eğilmede çekme dayanımı değişimi grafiği.....	74
Şekil 6.14 25 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği.....	78
Şekil 6.15 50 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği.....	79
Şekil 6.16 75 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği.....	80
Şekil 6.17 Ortam ısısına göre kontrol küp numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği	81
Şekil 6.18 %5 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısısı altında ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği.....	82
Şekil 6.19 %10 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısısı altında ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği.....	83

Şekil 6.20 %15 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısısı altında ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği.....	84
Şekil 6.21 %20 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısısı ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği	85
Şekil 6.22 Kazınmış asfalt miktarına ve ortam ısısına göre küp numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası maksimum tepki kuvvetine bağlı olarak değişim grafiği	86
Şekil 6.23 Ortam ısısına göre kontrol küp numunelerinin enerji zaman grafiği.....	87
Şekil 6.24 Ortam ısısına göre %5 kam takviyeli küp numunelerinin enerji zaman grafiği	88
Şekil 6.25 Ortam ısısına göre %10 kam takviyeli küp numunelerinin enerji zaman grafiği	89
Şekil 6.26 Ortam ısısına göre %15 kam takviyeli küp numunelerinin enerji zaman grafiği	90
Şekil 6.27 Ortam ısısına göre %20 kam takviyeli küp numunelerinin enerji zaman grafiği	91
Şekil 6.28 25 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan kırı ş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği.....	92
Şekil 6.29 50 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan kırı ş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği.....	93
Şekil 6.30 75 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan kırı ş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği.....	94
Şekil 6.31 Kontrol kırı ş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği	95
Şekil 6.32 %5 kam ilaveli kırı ş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği	96
Şekil 6.33 %10 kam ilaveli kırı ş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği	97
Şekil 6.34 %15 kam ilaveli kırı ş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği	98
Şekil 6.35 %20 kam ilaveli kırı ş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği	99
Şekil 6.36 Ortam ısısına göre kırı ş numunelerde ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan maksimum tepki kuvvetinin kam miktarına göre değişimi	100
Şekil 6.37 Ortam ısısına göre kontrol kırı ş numunelerinin enerji zaman grafiği.....	101
Şekil 6.38 Ortam ısısına göre %5 kam takviyeli kırı ş numunelerinin enerji zaman grafiği	102
Şekil 6.39 Ortam ısısına göre %5 kam takviyeli kırı ş numunelerinin enerji zaman grafiği	103
Şekil 6.40 Ortam ısısına göre %15 kam takviyeli kırı ş numunelerinin enerji zaman grafiği	104
Şekil 6.41 Ortam ısısına göre %20 kam takviyeli kırı ş numunelerinin enerji zaman grafiği	105

RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1 Deneylerde kullanılan ağırlık düşürme test cihazı.....	24
Resim 5.1 Karışımlarda kullanılan 12-19 mm kırmataş	28
Resim 5.2 Karışımlarda kullanılan 4-11.2 mm kırmataş	28
Resim 5.3 Karışımlarda kullanılan 0-4 mm kum	28
Resim 5.4 Beton karışımlarında kullanılan 0-4 mm kazınmış asfalt malzeme.....	29
Resim 5.5 Çalışmalarda kullanılan beton karıştırıcı	36
Resim 5.6 Çalışmalarda üretilen taze betonun kalıplara yerleştirilmesi	36
Resim 5.7 Çalışma sonucunda üretilen taze betonun şişlenip sıkıştırılması.....	36
Resim 5.8 Beton numunelerinin vibrasyon masasında sıkıştırılması	37
Resim 5.9 Kiriş numunenin vibrasyon masasında sıkıştırılması	38
Resim 5.10 Günlük planlanan çalışmalar sonucunda üretilen küp ve kiriş numune betonlar	39
Resim 5.11 Çökme deneyi	40
Resim 5.12 Küp numunelerde ultra ses deneyi	41
Resim 5.13 Eğilmede çekme deneyi öncesi numunenin düzgün bir biçimde yerleştirilmesi	43
Resim 5.14 Eğilmede çekme deneyi sonrası.....	43
Resim 5.15 Deneylerde kullanılan ağırlık düşürme test cihazı.....	45
Resim 5.16 Kiriş numunenin ağırlık düşürme cihazına yerleştirilmesi	46
Resim 5.17 Ağırlık düşürme sonucunda kırılan kiriş	47
Resim 5.18 Küp numunenin ağırlık düşürme cihazına yerleştirilmesi	47
Resim 6.1 kontrol numunesi basınç deneyi sonrası oluşan hasar	69
Resim 6.2 %5 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar	69
Resim 6.3 %10 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar.....	70
Resim 6.4 %15 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar.....	71
Resim 6.5 %20 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar.....	71
Resim 6.6 25 °C ortam sıcaklığında deneye tabi küp numunelerdeki ağırlık düşürme sonrası hasar (sol başta kontrol numunesi olmak üzere sağa doğru kam oranının artması sonucunda oluşan değişim).....	75
Resim 6.7 50 °C ortam sıcaklığında deneye tabi küp numunelerdeki ağırlık düşürme sonrası hasar (sol başta kontrol numunesi olmak üzere sağa doğru kam oranının artması sonucunda oluşan değişim).....	76
Resim 6.8 75 °C ortam sıcaklığında deneye tabi küp numunelerdeki ağırlık düşürme sonrası hasar (sol başta kontrol numunesi olmak üzere sağa doğru kam oranının artması sonucunda oluşan değişim).....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Basınç uygulanan yüzey alanı
b	: Genişlik
d	: Derinlik
E	: Enerji
E_d	: Dinamik elastisite modülü
GPa	: Gigapaskal
l	: Ölçü boyu
J	: Enerji birimi
L	: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık
MPa	: Megapaskal
N	: Betonun birim ağırlığı
P	: Kırılma anındaki yük
T	: Geçiş süresi
U	: Darbe enerjisi
V	: Ultrases geçiş hızı
$^{\circ}C$	: Sıcaklık
μ	: Poisson oranı
σ basınç	: Basınç dayanımı
σ eğilme	: Eğilmede çekme dayanımı
l	: Ölçü boyu
L	: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials
ACI	: American Concrete Institute
C	: Beton sınıfı
Cg	: Karbon elyaf-cam elyaf / epoksi
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, geçmiş yıllar öncesine dayanan ve hâlen dünyada varlığını sürdüren yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Beton, geçmişten bu yana gelişmekte olan ve her geçen gün kullanım alanları daha da geniş bir yer kaplayan yapı malzemesidir. Beton, içerisinde çimento, iri ve ince agregalardan oluşan kompozit bir malzemedir [1]. Beton agregaları, minerallerden oluşan taneli malzemelerdir. En çok kullanılan agrega çeşitleri dere agregası veya kırmataşlardır. Türk standartlarında (TS 706 EN 12620) yer alan açıklamaya göre 4.0 mm açıklıklı elekten geçen malzemeler “ince agrega”, bu elek üzerinde kalan malzemeler ise “iri agrega” olarak nitelendirilir. Çimento, bağlayıcı özelliğine sahip bir yapı malzemesidir. Çimentonun bu bağlayıcılık özelliği, malzemenin su ile beraber karıştırılmasıyla mümkündür. Çimento ve suyun bir araya gelmesiyle oluşan bu malzemeye “çimento hamuru” denilmektedir. Çimento hamurunun beton oluşumundaki görevi, agrega tanelerinin yüzeyine yapışarak, bu taneler arasında kalan boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir araya getirmektir. Bu nedenle beton, “agrega ve çimento hamurundan oluşan kompozit bir malzeme” olarak sınıflandırılabilir [2]. Kısaca çimento, ince ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar, ince agregalar ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun özgül ağırlığını arttırır diyebiliriz [3].

Bilim adamları, geçmişten bu yana gerekçesiz kirletilen çevreyi nasıl temizlenebileceğinin ve gitgide artan atıkların nasıl ortadan kaldırılacağını araştırmaktadırlar. Atık madde miktarı, nüfus artışına bağlı olarak her geçen yıl artmaktadır. Belli bir değer karşılığında alınan maddi varlıkların işlevlerini kaybettiği vakit çöpe atılan veya bir yerde toplanan, fayda olarak ömrünü tamamlamış, seramik, beton, ahşap, kâğıt, cam, oto lastiği plastik yani kısaca fonksiyonunu yitirmiş her türlü malzemelere “atık” denir [4]. Yeniden işlemlerden geçirilerek tekrar da kullanılabilecek olan bu katı atıklar, yeni bir hammaddeye veya ürüne dönüştürülebilirler. Bu malzemelerin tekrar kullanımı için, malzemeleri türüne göre ayırmak gerekmektedir. Yapılacak bu işlemler bazı maddeler için uygun olmadığı gibi

bazıları için de imkânsızdır [5]. Atık malzemelerin dâhil olduğu bu işlemlerin bütününe “Geri Dönüşüm” veya “yeniden kazanım” diyebiliriz [6].

Evrensel olarak atık kanunu ve yönetmeliklerinin mecburi hale gelmesiyle birlikte, atık yönetimi kanuni olarak zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle yeniden değerlendirilme olanağı olan kazınmış asfalt malzemenin tekrar kullanılması gerek çevre kirliliği gerekse ekonomiklik açısından son derece önemlidir. Doğal agregaya kaynaklarının tükenmesi ve yeni agregaya kaynağı arayışları, üretim maliyetinin fazla olması nedeniyle kazınmış atık olan asfaltın, asfalt döşemelerde veya başka alanda yeniden değerlendirilmesi düşüncesi, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de geri kazanım faaliyetlerini zorunlu hale getirmiştir [7].

Zamana yenik düşerek işlevini kaybeden, bozulan yolların bakım onarım faaliyetleri belli aralıklarla yapılmaktadır. Buna karşın iklim ve çevresel etkilerden ötürü bozulmalar, onarımı büyük maliyet gerektirecek duruma gelmektedir. Hâlihazırda bulunan yol kaplamasının kazınarak, yeni yapılacak olan sıcak bitüm karışımına dâhil edilmesi tükenmeye yüz tutmuş kaynaklarımızın korunması amacıyla önem arz etmektedir. Ne yazık ki kazınmış halde olan bu malzemelerin sadece bir kısmı karışıma yeniden dâhil edilmekte, her yıl tonlarca kazınmış asfalt malzeme depolayan karayolları şubelerinin bu malzemeyi nerede ve nasıl kullanılacağı hep akıllarda soru işareti bırakmıştır. Depolanan bu malzeme yağışlı hava koşullarında yer altına sızmakta ve yer altı sularımız kirlenmektedir. Çevrenin korunması açısından da son derece önemlidir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda bu malzemenin tekrar bitüm ile karıştırılıp kullanılması gündeme gelmiştir. Fakat bu yaklaşımda malzemeleri tam anlamıyla geri dönüşüme kazandırılmamıştır [8]. Kazınan asfaltın tekrar beton karışımına dâhil edilmesi, agregayla beraber kullanılmasıyla gerek doğal agregaya kaynakları korunmuş olup gerekse ekonomik olarak fayda sağlanmış olacaktır [9].

Yeniden değerlendirilebilme özelliği olan malzemelerin inşaat mühendisliği bünyesinde ele alındığında; doğal agregaya kaynaklarının tükenmeye yüz tutması giderek yok olması ve atık malzemelerin taşınması depolanması gibi sorunlar, geri dönüşümlü beton fikrini popüler hale getirmiştir. Betonun hacimce yaklaşık %75’ini

agreganın oluşturduğu düşünürsek yeniden kullanılabilen bu malzemelerin agregaya yerine ikame edilmesinin ne kadar önemli olduğu sonucuna varırız [10]. Karayollarının bakım, onarım ve yenilenmesi sonucu tonlarca ağırlığa sahip bu malzemenin tekrar kullanılması işlemi, beton yapı taşlarından olan agregaya, sürekli muhtaç inşaat piyasası için önem arz etmektedir [11].

Atık malzemelerin beton içerisine ikame edilmesi adına birçok çalışma yapılmış olup, yapılan bu çalışmalar ekonomik olarak daha cazip gelmiştir. Beton içerisine ikame edilen atık malzemeler, beton agregası veya katkı malzemesi olarak kullanılabilir.

Beton içerisine kazınmış atık asfalt ikame edilmesi, doğal agregaya kaynaklarının korunmasına ve atık malzemelerin değerlendirilip tekrar kullanımına olanak sağlar. Bu tez çalışmada beton içerisine 0-4 mm elek açıklığı arasında kalan kazınmış asfalt malzeme, ince agregaya yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Beton içerisine genel karışımın %5,%10,%15,%20'sine denk gelecek şekilde kazınmış asfaltlı betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonların birim hacim ağırlık değerleri, taze betonun kıvamının araştırılması, basınç dayanımı, kırış eğilmede çekme dayanımı, ultra ses geçiş hızı ve ağırlık düşürme davranışları incelenmiştir. Yapılan deneyler her set için deney üç farklı ortam ısısında yapılarak sıcaklık etkisi dikkate alınmıştır.

Betonun kompozit bir malzeme olduğunu hatırlarsak, beton üzerine gelen darbeler neticesinde yapısında iç hasar oluşması betonun mukavemetini ciddi derecede azaltmaktadır. Bu tip olumsuzlukları ortadan kaldırmak, betonun davranışını daha sünek hale getirmek ve darbe sönümleyici bir özellik kazandırmak için betona asfalt malzeme ikame edilip betondaki asfalt malzeme oranına ve ortam ısısına bağlı olarak, betonun çapma etkisi altında davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bu tez çalışması doğrultusunda;

- Beton içerisine ikame edilen kazınmış asfalt malzemenin maksimum fayda sağladığı oranının belirlenmesi,
- Farklı karışım oranlarına sahip numunelerin sıcaklık ve dinamik etki karşısında basınç, eğilmede çekme ve ağırlık düşürme dayanımlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan kazınmış asfalt malzemeler ekstra bir işlem olmaksızın sadece eleme işleminden geçirilerek 0-4 mm elek arası kalan malzeme ince agregaya yerine ikame edilmiştir. Yapılan deneylerde; ince agregaya yerine kullanılan kazınmış asfalt malzeme genel karışımın %5, %10, %15 ve %20 oranına denk iken, ince agreganın %12.5, %25, %37.5, %50'sine karşılık gelmektedir. Karışımında, CEM II 42.5 R çimento ile 350 dozajlı beton karışımları üretilmiştir. Her farklı karışım oranı için ayrı, ortam sıcaklığı için ayrı olmak üzere numuneler üretilmiştir. Yapılan çalışmada numuneler farklı ortam ısılarına 24 saat bekletildikten sonra beton numunelerin üzerinde deneyler yapılmıştır. Farklı karışım oranlarına sahip asfalt ikameli üretilen betonlarda basınç, ultra ses ve ağırlık düşürme davranışı için küp, eğilmede çekme ve ağırlık düşürme davranışı için kiriş numuneler olmak üzere deneyler yapılmıştır. Ağırlık düşürme ve basınç dayanımı için ayrı ayrı olmak üzere toplam 30 adet küp numune oda şartları ortam ısısında, 30 adet küp numune 50°C etüvde, 30 adet küp numune ise 75°C etüvde 24 saat bekletildikten sonra ultra ses geçiş hızları ve basınç dayanımları elde edilmiştir. Aynı şekilde kiriş eğilmede çekme ve ağırlık düşürme numuneleri için farklı ortam ısısına ve kam oranına göre toplam 90 adet kiriş numuneler üretilmiştir. Çarpma davranışı için beton numuneler 28 gün suda kaldıktan sonra bir gün ortam ısısında bekletilip 29'uncu günde 24 saat etüvde ısıya maruz kaldıktan sonra 30'unda çarpma deneyine tabii tutulmuştur. Taze beton deneyi olarak slump (çökme) deneyi, sertleşmiş beton deneyleri olarak 28 günlük numuneler üzerinden birim hacim ağırlık, ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve ağırlık düşürme davranışı bulguları elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zaman içerisinde değişen ve teknolojiyle gelişen dünyamızda her geçen gün yeni bir ihtiyaç farklı beklentiler ortaya çıkmaktadır. İnşaat sektörü de bu değişim dünyasında bir parçadır. Kendi içerisinde gelişmekle beraber yeniliklere daha açık hale gelmektedir. Özellikle beton üzerine yapılan çalışmalar inşaat alanının yapı taşı niteliğinde olan çalışmalardır. İhtiyaçların artması ve ihtiyaca uygun tasarım yönünden farklı betonlar üretilmektedir. Beton bu değişim sayesinde farklı bir sektör konumuna gelmiştir. Betona farklı nitelik kazandırmak yapısını değiştirmekle mümkündür. Beton içerisinde mevcut yapı malzemelerine oranla, beton içerisine katılan katkı niteliğinde malzemeler elbette betona farklı özellik yükleyecektir. Beton içerisine ikame edilen bu malzemelerle amaca uygun beton üretimi yapılmaktadır. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda ekonomiklik sağlamak adına beton içerisine yapı malzemeleri katılmaktadır. Sayısız çalışmalara, denemelere konu olan beton gün geçtikçe daha da farklılaşmaya yapılaşmaya gitmektedir. Bu netice doğrultusunda beton içerisine ikame edilebilecek malzemelerle ilgili pek çok çalışma yapılmıştır.

Akçaözoğlu [12] yaptığı çalışmada atık PET şişe kırıklarının betonda agregaya yerine ikame edilip edilemeyeceğini araştırmıştır. Deneylerde sadece atık pet şişe kullanmış ve pet ve kum agregası diye iki grup beton üzerinde incelemeler karşılaştırmalar yapmıştır. Deneyler sonucunda, atık pet şişe kırıklarının depreme dayanıklılık açısından kullanılabilirliği, hafif beton üretiminde agregaya olarak kullanılabildiğini araştırmış ve olumlu sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca betonda agregaya yerine kullanılan atık pet şişe kırıkları gibi diğer endüstriyel atıkların da beton içerisinde kullanılması, doğal kaynakların korunmasına kullanımın azaltılmasına, atıkların bilinçli şekilde tüketilmesine, doğal çevrenin korunmasına ve kirliliği önlemeye katkı sağladığı ortaya çıkmıştır.

Akyıldız [13] yaptığı çalışmada beton içerisine ikame edilen bor atığı ve zeolit mineralinin dayanıma etkisi ve betonun kullanılabilirliğini araştırmıştır. Hazırlanan numunelerde taze beton deneyleri yapılmış, farklı kür sürelerinde havuzda bekletildikten sonra sertleşmiş beton deneylerine tabi tutulup betonun fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca Bor'un hafif beton üretiminde kullanılabilirliği

araştırılmıştır. Yapılan çalışması neticesinde %3 bor atığı katkılı beton numunelerin dayanım olarak betonu iyileştirdiği sonucuna varmıştır.

Çelik ve Gürdal [14] yaptıkları çalışmada yerfıstığı kabuğunun beton içinde agrega yerine kullanılmasının mekanik mukavemete etkisini araştırmışlardır. Yerfıstığı kabuğu agregası sayesinde ağırlığı düşük, mukavemeti yerinde beton üretimi amaçlanmıştır. Yerfıstığı kabuğu kullanılarak üretilen beton numunelere süneklik bakımından artış gözlemlenmiştir. Yaptıkları deneyler sonucunda yerfıstığı kabuklarının yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği ile yapı endüstrisine, hammadde sıkıntısı olmadan, ekonomik bir şekilde yeni bir yapı malzemesi kazandırmayı hedeflemişlerdir.

Demirdağ ve Gündüz [15] yaptıkları çalışmada cüruf gibi volkanik kökenli malzemelerin beton içinde TS ve ASTM standartlarına göre uygunluğunu araştırmış ve hafif beton agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Cüruf agregaları 0-4mm ve 4-8mm elek açıklığı malzeme alınmış farklı kombine karışımlar elde etmişlerdir. Elde edilen numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük deneyler yapmışlardır. Deneyleri neticesinde volkanik cürufun inşaat sektörü içerisinde hafif beton agregası olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Güngör ve ark. [8] yaptıkları çalışmada eskiyip bozulan yolların kazınıp tekrar sıcak karışım haline getirilerek yeniden kaplamaya hazır hale getirilmesini araştırmışlardır. Çalışma 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 çalışmaları birebir kapsamaktadır. Çalışmada geri dönüşüm metodu olarak sıcak dönüşüm kullanılmıştır. Sıcak geri dönüşüm kazınmış eski kaplamanın ısıtılarak yeni karışıma hazır hale getirilmesi işlemidir. Yapılan deneysel çalışmada aşınma tabakasının ufalanmış olması ve içerisindeki bitümün binder tabakasına göre daha yaşlanmış olmasından dolayı binder malzemesi kullanılmıştır.

Gürer ve ark. [16] yaptıkları çalışmada inşaat sektöründe geri dönüşüm olarak kullanılabilecek atıkları araştırmışlardır. Dünya üzerinde atık değerlendirme örneklerini incelemişlerdir. Arz talep olarak ele alındığında geri dönüştürülebilen

atıkların inşaat sektörü içerisinde yeniden değerlendirilebilme olanaklarını göstermişlerdir.

Kılıçoğlu [17] yaptığı çalışmada atık cam malzemeleri cam tozu olarak çimento üretiminde veya cam kırıklarını betonda agrega yerine ikame edilmesini hedeflemiştir. Yapılan deneyler neticesinde cam tozunun çimento üretimine dâhil edilmesi %10 fayda sağlamıştır. Fakat cam kırıklarının beton içerisinde agrega olarak kullanılması mekanik olarak betonun kalitesini düşürdüğü sonucuna varmıştır. Atık camların geri dönüşümünde özellikle cam tozlarının beton üretiminde fayda sağladığını saptamıştır.

Özer [18] yaptığı çalışmada atık malzemelerin, tuğla tozu, uçucu kül, mermer tozu gibi mineral katkı malzemelerin betonda kullanılmasının basınç, eğilme, aşınma, gibi etkilere karşı dayanım ve dayanıklılığını incelemiştir. Deneylerde bu katkı minerallerini çimento yerine ikame etmiştir. Deneyler neticesinde uçucu kül hariç diğer katkı malzemelerin betonun işlenebilirliğini ve dayanımını azalttığını saptamıştır.

Öztürk [19] çalışmasında atık su filtre kekinin betonda değerlendirilmesini araştırmıştır. Karışımlarda çimento yerine %15, 30 ve 60 oranlarında atık su filtre keki ikame ederek farklı beton karışımları üretilmiştir. Üretilen karışım numunelerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapmıştır. Deneyler sonucunda atık su filtre kekinin betonda olumsuz bir etkiye sebep olmadığı, dayanımı azaltma yönünde bir artış göstermediğini gözlemlemiştir. Betonun fiziksel ve mekanik durumu dikkate alındığında atık su filtre keki katkılı betonların kullanılabilir olduğunu saptamıştır.

Tuncan ve ark. [20] yapıları çalışmada iki bölüm halinde araştırma yapmışlardır. Birinci aşamada otomobil lastiği, plastik atıklar ve poliüretan atıklar, bitüm miktarının %5, 10 ve 20'si oranında ikame edilmiş, ikinci aşamada ise lastik tozları, uçucu kül, mermer tozu, petrolü sondaj atığı gibi endüstriyel atıklar, çimento ve kireç ince malzeme yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Deneysel çalışmaları sonucunda bu malzemelerin beton karışımında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Yıldız ve ark. [21] yaptıkları çalışmada 600 derece sıcaklıkta yanmış pirinç kabuğu külünü %0, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında beton içerisine ilave ederek

betonda dayanım ve dayanıklılığı nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Deney numunelerin 7, 14, 28 ve 90. günler sonundaki basınç ve eğilme dayanımlarını gözlemlemişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda karışım olarak %10 katkılı pirinç kabuğu külünün mukavemeti arttırdığı sonucuna varmışlardır. Bu neticede pirinç kabuğu külünün betonda puzolan olarak kullanılabileceğini açıklamışlardır.

Işıkdag [9] yaptığı çalışmada kazınmış asfalt kırıklarının betonda agregaya yerine kullanılmasını incelemiş ve beton yollar için kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yaptığı deneylerde, 4-16 mm ve 16-31.5 mm boyutlarında atık asfalt kırıklarını agregaya yerine %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında kullanarak 300, 350 ve 400 dozajlı beton numuneler üretmiştir. Üretilen numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş deneyler yapmıştır.

Akpınar [22] yaptığı çalışmada bitüm kaplı agregaların doğrudan beton içerisinde kullanılarak beton yollara uygunluğunu araştırmıştır. Asfalt kırıklı betonların yaygınlaşmasıyla ekonomiye katkı sağlayıp sağlamayacağını araştırmıştır. Farklı karışımlar oluşturarak asfalt parçacıklı beton numuneler üretmiştir. Numuneler üzerinde hasarlı ve hasarsız beton deneyleri yapmıştır. Asfalt kırıklı üretilecek betonların, beton yollarda kullanılabilirliğini incelemiştir. Deneyler sonucunda asfalt kırıklı betonların plastik şekil değiştirme kapasitenin azaldığı kanaatine vararak beton yollarda asfalt kırıklı betonların kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan literatür taraması sonucunda ağırlık düşürme deneyi ile ilgili, kompozit malzemeler üzerinde pek çok çalışma [23-26] olmasına rağmen, beton üzerinde yapılan ağırlık düşürme çalışması sınırlıdır.

Gergerli [27] yaptığı çalışmada karayollarından temin edilen kazınmış asfalt yığınları alıp herhangi bir işleme tutulmaksızın sadece eleme ile farklı boyutlarda agregaya elde etmiştir. Elde ettiği agregalardan iri agregayı beton içerisine belirli oranlarda ikame edip elde edilecek betonun saha betonu olarak kullanılabileceğini araştırmayı hedeflemiştir. Çalışmasında beş farklı karışım ve üç farklı ortam ısısı altında deneyler yapmıştır. Deneysel çalışması neticesinde kazınmış asfalt ikameli betonların bir bütün halini aldığını ve dağılmadığı gözlemlemiştir. Sonuç olarak kazınmış asfalt ikameli betonların saha betonu olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

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 ince agrega yerine kullanılarak üretilen beton numunelerinin farklı ortam ısılarındaki (25°C, 50°C ve 75°C) statik ve dinamik davranışlarının araştırıldığı herhangi bir çalışmaya yazarın bilgisi dahilinde rastlanmamıştır.



3. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR

Bitüm, rengi koyu kahve ile siyah arasında bir renge sahiptir. Bitüm ham petrolden elde edilen bir malzemedir. Ham petrolün genel olarak deniz canlıları ve bitkisel kalıntılardan okyanus dibinde yumuşak veya sert kaya parçacıklarıyla karışmasının sonucu olduğu kabul edilmektedir. Petrolün damıtılması sırasında ortaya çıkan, yüksek miktarda akışkan, hidrokarbon bir atıktır. Yüksek miktarda hidrokarbonlardan oluşan katı, yan katı veya viskoz bağlayıcı özelliği olan bitümün en geniş kullanım alanı asfalt yollardır [28]. Sıcak karışım halinde, su geçirmez, plastik ve viskozitesi yüksek, bir bağlayıcı görevi gören bitüm, ısıtıldığında yumuşayıp akışkan hale gelerek agreganın üzerinin kaplanmasını sağlar, soğuyup katılaştığında ise tanecikleri bir arada tutar. Günümüzde doğal olarak kendiliğinden, damıtılmış bitümü bulmak neredeyse imkânsızdır. Günümüzde kullanılan bitümün tamamı petrol rafinerilerinden elde edilmektedir. Bitümün en yaygın kullanım alanından birisi de yol kaplamalarıdır ve bu amaçla kullanılan bitüme genellikle asfalt çimentosu ya da bağlayıcı adı verilmektedir. Viskozitesi yüksek ve yapışkan bir malzeme olan bitümün agrega tanecikleri ile arasındaki aderansı, ona mükemmel bağlayıcı malzeme özelliği kazandırmıştır. Dış etkilere, asit, alkali ve tuzdan etkilenmemesi, bitümlü sıcak karışımların kesinlikle geçirimsiz ve pek çok kimyasala karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır [29].

Bitüm yaygın olarak kullanılan inşaat mühendisliği malzemesidir. Genel olarak yol yapım inşaatı ve bakımı gibi uygulamalarda kullanılan bir yapı malzemesidir. Yol yapımında agrega ile karıştırılarak hazırlanan bitümlü karışımlar elastik bir yapı kazanırlar. Özellikle sıcak karışım halindeki bitüm agrega ile bağlayıcılık görevi göstererek, soğuyup katılaştığında ise agrega tanelerini bir arada tutmaktadır. Bitüm, agrega taneleri arasında aderans bağı oluşturmaktadır [30].

3.1. Bitümlü Karışımların Tarihçesi

Geçmişten günümüze kadar varlığını sürdüren bitüm ilk olarak milattan önce 3000 yıllarında Sümerler tarafından kullanılmıştır. Kıymetli taş ve ağaç kabuklarından yaptıkları eşya ve heykelerde tutkal görevi gören bir malzeme olarak kullanılmıştır. O dönemlerde bitüm genellikle bağlayıcı olarak kullanılmaktaydı. Bunun yanı sıra mumyalarda mumiye zarar verecek dış etkilere karşı koruyucu madde olarak da kullanılmıştır. Ancak bu kullanımın milattan önce 625 tarihlerinde kullanım işlevi değişerek yol malzemesi olarak kullanıldığı görülmüştür.

Bitüm Antik Yunan'a kadar uzanan yaygın bilinen bir malzeme olmuştur. Bitümden oluşan asfalt ise kökü "asphaltos" kelimesinden gelmektedir. Yunanca, güvenli anlamına gelmektedir. Romalılar banyo, rezervuar ve su kanallarını kaplamakta asfaltı kullanmışlardır. Romalılar zaman içerisinde bu kelimeyi "asphaltus" a çevirmiştir.

Yıllar geçtikçe değişen dünyada yeniliğe ayak uydurmaya çalışan avrupalılar, doğada yeni asfalt kaynakları keşfetmişlerdir. 1595 yılında, Venezüella açıklarındaki Trinidad adasında Walter Raleigh, doğal asfalt gölü bulmuştur. Bu asfaltı da gemi tamiri için kullanmıştır.

Amerika ve Avrupa'da 19. yüzyıla kadar asfaltı yol kaplama malzemesi olarak düşünmemişlerdir. İlk kez Paris'te 1824 yılında yol kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu tarihten sonra gelişmekte olan asfalt, 1872 yılında Edward Smedt'in çalışmaları neticesinde modern bitüm halini almıştır. 20. yüzyıla dek doğal malzemelerden elde edilen ve doğal asfaltı yumuşatmak maksadıyla katılan rafine edilmiş petrol asfaltı kullanılmaktaydı. 1907 yılından sonra doğal asfalt yerini bitüme bırakmıştır. Gelişmesiyle beraber yol ihtiyacını da arttırmış olup bu sayede de günümüze kadar varlığını sürdürmüştür [31].

3.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümlü bağlayıcılar, dâhil olduğu karışımlarının ağırlıkça %5-7'sini, hacimce ise %13-15'ini oluşturmaktadır. Karışımında adeta yapı taşı olan bu bağlayıcılar, agrega tanelerini çepeçevre sararak gelebilecek yükler etkisi altında dayanımı, kaplamalarda boşlukları doldurarak geçirimsizliği sağlayarak dayanıklılığı artırır. Ayrıca karışımında kohezyona bağlı olarak istikrarlı bir yapı oluşturur [32]. Bitümlü bağlayıcılar asfaltlar ve katranlar olmak üzere ikiye ayrılır [33].

3.2.1. Asfalt

Asfalt tarihte bilinen en eski mühendislik malzemelerindendir. Rengi siyahla koyu kahve arasında olan, kıvamı yarı katı, herhangi bir çözücüyle daha da akışkan hale gelebilen, petrolün damıtılmasıyla veya doğal olarak elde edilebilen bitüm esaslı malzemeye asfalt denir. Asfaltlar oluşumlarına göre, doğal ve yapay asfalt olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğal olanlar içerisinde göl asfaltı, kaya asfaltı gibi doğada mineral maddelerle birleşik halde bulunmaktadır. Tek başlarına fonksiyonel özellikleri yoktur. İşlendikleri zaman kullanılmaktadırlar. Yapay asfaltlar ise ham petrolün damıtılması sonucu elde edilir. Isıtma kulelerinde ısıtılarak ayrıştırılan maddeler hafif ve yoğun halde kuleden yukarı doğru ilerleyip, hafif olanlar uçtuktan sonra geriye kalıntılar kalmaktadır. Kalıntı maddeler ise kulenin dibinde birikir. Asfalt ta bu kalıntı maddeler arasındadır [34].

3.2.2. Katran

Katran kapalı bir sistem içerisinde damıtma işlemi yöntemiyle odun ve kömürden elde edilen bitüm esaslı malzemedir. Kömürden elde edilen yani kömür esaslı olan katranlar yol inşaatı için kullanılmaktadır. Damıtma işlemi sırasında çözücü

maddelerden dolayı bazı kimyasallar açığa çıkmakta ve su buharından ortamda su birikmektedir. Katran kaplama olarak kullanılmadan önce bu maddelerden ayrışıp kurtulması gereklidir. Bitüm katran karışımı bu sebeple doğrudan kaplama olarak kullanılmayan, yüzeysel kullanılan kaplamalardır [33].

3.3. Bitümlü Karışımlar

Bitüm esaslı karışım elde etmek için yeterli miktarda agrega ile bitüm bir araya gelip karışım oluşturulabilir [35].

3.4. Sathi Kaplamalar

Geçmişten bu yana alışılacelmış yol kaplama şekillerinden en sık kullanılan yöntem olan sathi kaplamalar, yol yüzeylerinin bozulmadan bir bütün olarak bir arada kalması bakımından yerleşik etkili bir yöntemdir. Trafik yoğunluğu az olan yerlerden örneğin köy yollarından, trafik yoğunluğu çok olan şehirlere, kadar kullanılmaktadır. Ucuz ve kolay bir yöntemdir. Lakin düzenli aralıklarla bakımı yapılmadığında ciddi deformasyonlar sergilemektedir. Gerekli bakımlar yapıldığı takdirde bu tür sorunlar ortadan kalkmaktadır.

Araç sürücülerinin iyi performans sergilemesi ve yolun kalitesi için sathi kaplamaların uzmanca serilmesi önem arz etmektedir [36]. Sathi kaplamalar başta tozlu yolların tozundan korunmak için tasarlanmıştır. Daha sonra bu istek yerini trafik güvenliği, fren mesafesini kısaltma, kullanılan agrega ömrünü uzatmaya bırakmıştır. Sathi kaplama, kaplanacak yüzey üzerine asfalt veya beton yüzey üzerine bitüm esaslı bir bağlayıcı dökülüp, üzerine agrega serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulur [37].

3.5. Asfalt Betonu

Belirli bir oran ve gradasyona sahip asfalt betonu karışımında, büyük oranda bitüm içeriğiyle, iri, ince agrega ve filler malzeme içermektedir. İlk kez Amerika Birleşik Devletleri'nde pistlerde uçak iniş kalkış esnasında oluşabilecek yükleri karşılama adına kaplama olarak geliştirilmiştir. Marshall asfaltı olarak nitelendirilen aslında asfalt betonudur. Asfalt çimentosu ve agreganın bitüm ile bir araya gelmesiyle oluşan sıcak karışımda; ana bileşen agrega ve bitüm olmak üzere agreganın katı bileşeni, bitümün sıvı bileşeni, aradaki boşlukların gaz bileşen olarak birlikte oluşturdukları bir sistemdir [38].

Ülkemizde şu an yaygın halde bulunan ve ilerleyen yıllarda daha da yaygınlaşması beklenen bitümlü sıcak karışımlar, yol üst yapısındaki yapıları korumak ve araçlardan gelen yükleri karşılamak, doğal koşullardan gelebilecek etkilerden korunma maksadıyla, normal ve büyük yollarda kaplama olarak kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar sıcak agrega ile ısıtılmış asfalt çimentosunun homojen karıştırılmasıyla elde edilir [39].

Bitüm ile adeta birbirine sarılıp bütünleşen agrega ile oluşturulan sıcak karışım elde edilirken ısıtılmaktadır. Agreganın kuru olması en önemli etkidir. Eğer agrega kuru değilse öne kurutulur. Hem bağlayıcının hem de bağlananın kurutulup ısıtıldığı sıcak karışımlar sıcak ismini bu işlemde almıştır [40].

Günümüzde artan nüfus ve buna bağlı artan araç sayısı ekstra trafik sorunları meydana getirmiştir. Bu tür sorunların çözülmesi için, yol kaplamalarının yeterince uzun vadeli dayanıklılığı yüksek, her türlü oluşabilecek yükleri karşılayabilecek standartta olması gerekmektedir. Performans olarak bakıldığında oturtulmuş dolgu ve sathi kaplamalara oranla, sıcak karışımlar daha üstün performans sergilemektedir. Bu performansın kalıcı olması için yapımı esnasında özen ve titizlik gerekmektedir. Performanslarının yüksek oluşu ile son yıllarda en çok tercih edilen karışım çeşidi olmuştur [36].

4. DARBE TEST METOTLARI

Darbe; farklı hızlarda ve farklı sürelerde, bir cisim, malzeme veya yapı üzerine etki edilen dinamik kuvvet olarak tanımlanabilir. Malzemeye veya yapıya gelen darbeleri düşük hızlı veya yüksek hızlı olarak ayırabiliriz. Düşük kapasiteli çarpmalarda çarpma hızı 1 ila 10 m/s arasındadır [41]. Düşük hıza sahip bu darbeler düşük enerji kapasiteli darbe olarak da sınıflandırılmaktadır. Düşük hızlı darbelere örnek verecek olursak, kompozit bir malzemenin yapımı, bakımı veya tamiri sırasında bir cismin düşmesi veya çarpması örnek gösterilebilir. Bu gibi durumlarda büyük bir kütleye sahip parçanın düşük hızla çarpması durumu, bu düşme veya çarpma sonucu kompozit malzemenin içyapısında hasar meydana getirip ve içyapıdaki tabakalar arası ayrılmalara sebebiyet verebilmektedir.

Yüksek hızlı çarpma deneylerinde(darbe deneyleri) ise balistik düzeyde olan darbelerdir. Deneysel olarak çarpma hızı yaklaşık 74,1 m/s'ye kadar çıkabilen çarpmalardır [42]. Yüksek hıza sahip bu çarpmalara, örneğin bir uçağın pistten kalkışı veya havaalanına inişi sırasında, uçak gövde kısmında bir yere taş parçasının çarpmasını örnek verilebiliriz. Bu durumdaki bir çarpma senaryosunun, yani küçük bir kütleye sahip parçacığın yüksek hızla çarpması o bölgenin hasarına yol açacaktır. Yüksek hıza sahip parçanın çarpması sonucu, parça kompozit malzemenin içine girebilir veya delip geçebilir.

Malzemeye veya yapıya gelebilecek olan iki farklı hıza sahip bu tip çarpmaların, malzeme veya yapı üzerinde oluşturacağı hasarı, deformasyonu başlamadan tahmin etmek, tatbikatını yapmak ve buna bağlı olarak dinamik özelliklerini (enerji sönmüleme kabiliyeti, kırılma gevrekliği, hasar oluşumları, mukavemet kaybı ve yüzey gerginliği) belirlemek amacıyla yapılan bazı çarpma deneyleri vardır. Yüksek ve düşük hız olarak ikiye ayrılan çarpma testleridir.

4.1. Darbe Dayanımı

Beton ve çelik beraberinde üretilen betonarme yapılar ömürleri boyunca bazı etkilere maruz kalmaktadır. Bunlar eğilme, çekme ve basınçtır. Betonun çekme ve eğilme dayanımı düşükken basınç karşı dayanımı oldukça yüksektir. Dayanıklılığı ve ömrünün uzun olması için betonun dış etkilere olan dayanımını arttırmak gereklidir. Son senelerde betonda eğilme, çekme, basıncın dışında, betonun çarpma direnci üzerine çalışmalar yapılmıştır [43].

Dinamik yükler etkisi altında betonun gösterdiği dirence betonun darbe dayanımı denir. Betonun darbelere karşı dayanımının yüksek olması başta betonarme olup patlama etkisine maruz kalan yapılar olmak üzere su yapıları, endüstriyel yapılar, hava alanı pistleri, kazıklar, demiryolu traversleri, askeri amaçlı yapılar, nükleer santraller gibi yapılarda çok yüksek olması beklenmektedir.

Beton üzerine gelebilecek darbelerden dolayı deforme olabilmekte ve bunun sonucunda betonda çatlaklar meydana gelmektedir. Bu durum da beton performansını tam anlamıyla sergileyememekte ve zayıf kalmaktadır Zayıflayan beton direncini arttırmak adına günümüzde pek çok çalışma yapılmaktadır. Beton içerisine katılan katkıları, betona ikame edilen malzemeler ile betonun darbe davranışı üzerinde iyileştirmeler, direncini arttırmak için çalışmalar yapılmaktadır [44].

4.2. Darbe Dayanımının Tespiti

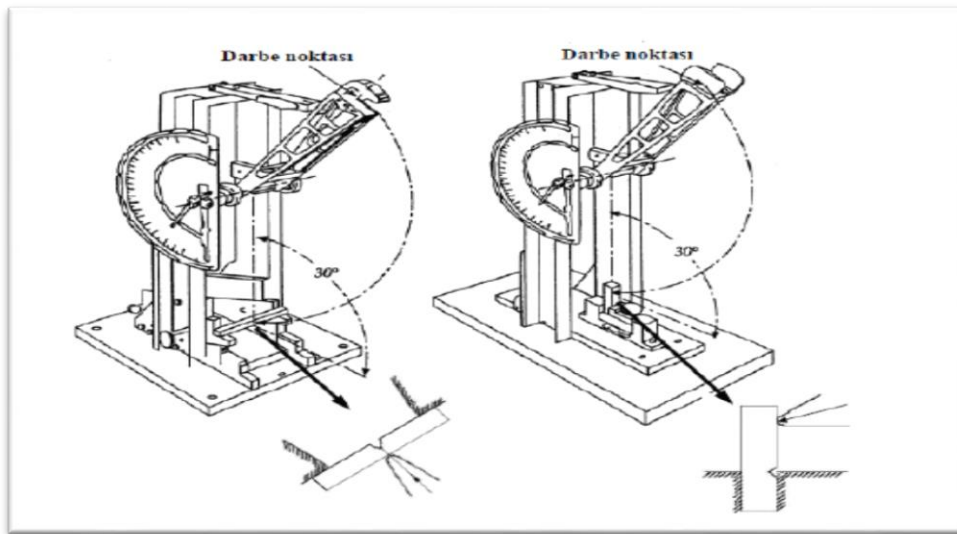
Betonda darbe(çarpma) dayanımı belirlemede pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemleri beton üzerinde yapılan ve metal üzerinde yapılan deneyler olarak ayırabiliriz. Izod ve charpy darbe deneyleri daha çok metal malzemelerin yük etkisi altında davranışları için kullanılırken, yüksek hızda mermi ve ağırlık düşürme deneyleri betonarme elamanlar üzerinde kullanılan etkili yöntemlerdir [45].

4.2.1. Düşük Hızlı Darbe Deneyleri

Bir malzemenin üzerine gelen darbeleri, çarpma kuvvetlerini belirlemek amacıyla düşük hızlı darbe deneyleri kullanılır. Bunlar Izod ve Charpy darbe deney metotları, Pendulum darbe deney metodu, Ankastre edilmiş kiriş darbe deney metodu ve Ağırlık düşürmeli çarpma deneyi metotlarıdır [46].

4.2.1.1. Izod ve Charpy Darbe Deneyi

Izod ve Charpy darbe deneyi basit düzenek halinde olup, metal cisimler üzerinde darbe performansının özellikle de malzemenin gevrek durumdan sünek duruma geçiş sıcaklığının ve çentiğin, malzeme üzerinde oluşan göçüğün değerlendirilmesinde uygulanan test metotlarıdır. Bu iki deneyde numuneye uygulanan kuvvet belli bir limitte olup, bu iki deney düzeneğini birbirinden ayıran farklılıklar mevcuttur. Örneğin kullanılan sarkaç tipleri, numunelerin mesnet koşulları şekli ve numuneler üzerinde oluşan çentiğe göre darbe kuvvetinin uygulandığı yüzey farklıdır. Numuneler üzerinde açılan çentik, numunenin tam ortasına, merkezine gelecek şekilde U veya V şeklindedir [47].



Şekil 4.1 Charpy darbe test sistemi ve Izod darbe test sistemi [47]

Şekil 4.1 'de görüldüğü üzere Charpy darbe deneyinde numune yatay konumda sabitlenmiştir ve darbe yüzeyinde çentik açılmamış kuvvet öylece uygulanmaktadır. Izod darbe testinde ise numune dik olarak desteklenmiş, darbe çentik açılan yüzeyin hemen üst tarafında uygulanmaktadır. Bu deneylerde çentik açılan test numunelerine, ilgili yönetmelikte yer alan belli bir yükseklikten bırakılarak sarkaç çarptırılır ve bu durum sonucu numune çarpma sonucu yüzeyinde deforme olur, numuneye çarpma kuvveti uygulanmış olur. Uygulanan bu çarpma kuvvetinden sonra sarkacın hangi yükseklikten düştüğü tespit edilir ve sarkacın baştaki ve sondaki durumu arasındaki enerji farkı numunenin ne kadar enerji sönmlediği, yani enerji yutma kapasitesi belirlenir. Darbe kuvvetinin uygulanmasından sonra sarkacın, eğer sarkaç numuneyi delip geçmiş ise, delip geçtikten sonraki çıktığı yüksekliğin büyüklüğüne göre numunenin ne kadar enerji sönmlediği, ya da malzemenin darbeye olan direnci veya tokluğu o kadar fazla olacaktır. Izod testi genel olarak polimerlerin testi için kullanılırken Charpy testi bundan farklı olarak kompozit malzemelerin testi için de kullanılmıştır. Ama kompozit malzemelerin katman kısmı boyunca çentik hassasiyetinden dolayı Charpy testi kompozit malzemeler için uygun olmayan bir deneydir. Plastik malzemeler veya kompozit malzemeler için darbe enerjisinin belirlendiği formül denklem (4.1)'de verilmiştir.

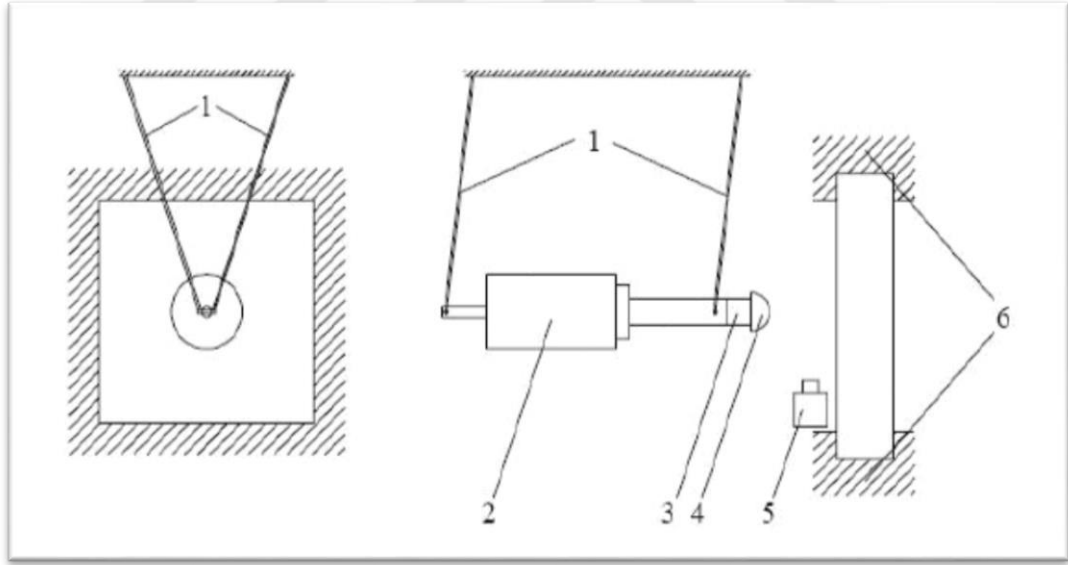
$$U = \frac{E}{b(d-c)} \quad (4.1)$$

Burada; U darbe enerjisini, E darbe testinden elde edilen enerjiyi, b numunenin genişliğini, d numunenin derinliğini ve c de çentik derinliğini ifade etmektedir [47].

4.2.1.2. Pendulum (Sarkaç) darbe deneyi

Pendulum darbe deney düzeneği ağırlık düşürmeli çarpma deney düzeneğine göre bazı avantajları olan deney metodudur. Bu sistem eşit ağırlığa sahip numunelerde küçük darbe kuvvetlerinden doğan enerjilerin verilerinin alınmasında güvenli sonuçlar vermektedir. Ayrıca darbe hızı ve geri tepme hızının ölçülmesinde önemli yere sahip ve büyük avantaj sağlamaktadır. Bu şekilde hareket denkleminin çözümünde

maksimum kontrol sağlanmış olup, sönümlenen enerji doğru bir şekilde ölçülebilir. Buna müteakip, hız ölçümleri, (tüpün ivmesi yaklaşık sıfır olduğu zaman) pendulum sarkacın altından alınarak, ağırlık düşürmeli darbe deneyinden elde edilen hız ölçümlerine göre daha nesnel olmasını sağlar. Ağırlık düşürmeli darbe deneyinin dezavantajı, darbe hızının ölçüldüğü, o anki tüpün mevcut ivmesinin sıfır olmadığı durumlarıdır. Oysaki serbest halde düşen mevcut toplam ağırlığın ivmesi sabittir. Çünkü ağırlık yer çekimine bağlı olarak, yerçekimi ivmesi ile düşmektedir. Bu sonuç doğrultusunda, hız ölçümünü gerçekleştiren hız sensörü üzerinde konum olarak yapılan en ufak bir değişiklik bile, hız hesaplaması sırasında, ağırlık düşürmeli düzenekte meydana gelebilecek etki pendulum darbe sisteminde meydana gelebilecek etkiden daha fazladır. Pendulum darbe test sisteminin şematik olarak resmi Şekil 4.2.'de görüldüğü gibidir [48].



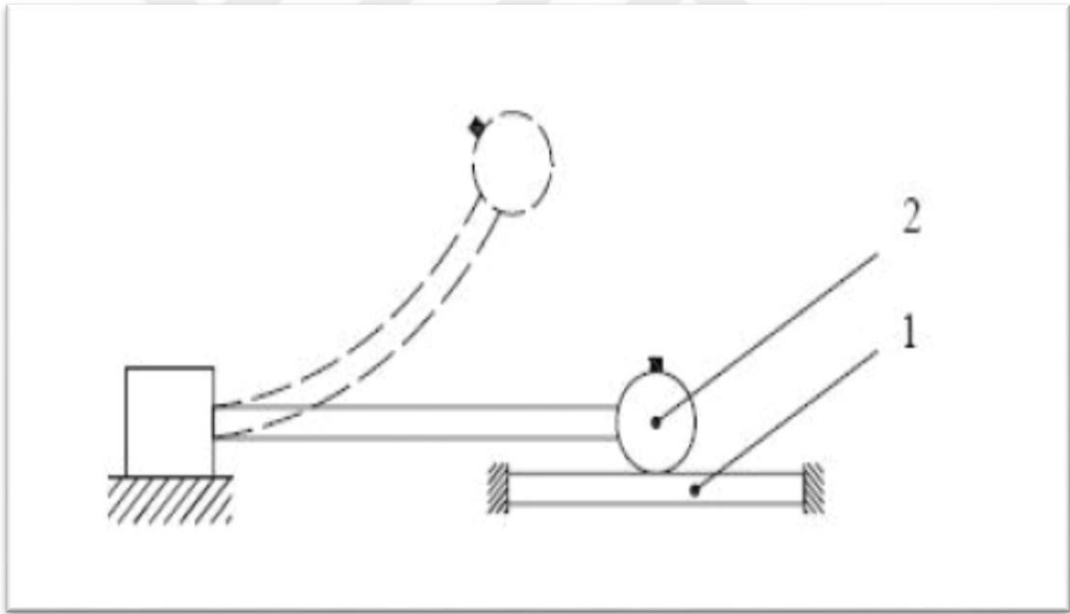
Şekil 4.2 Pendulum darbe test sisteminin şematik resmi [48]

Pendulum darbe test sistemini oluşturan parçaların isimleri; 1) sarkacın asıldığı dört tane aramid ip, 2) düzlemsel bir ağırlık, 3) ağırlık ve kütle arasındaki kuvveti ölçmek üzere sarkacın ucuna yerleştirilmiş bir yük hücresi, 4) yük hücresinin ucuna yerleştirilmiş küresel ve sertleştirilmiş çelik bir uç, 5) darbe öncesi ve darbe sonrası

hızı ölçmek için numune önüne yerleştirilmiş bir hız sensörü ve 6) numuneyi sabit tutmak için kullanılan rijit bir sabitleyici [48].

4.2.1.3. Ankastre edilmiş kiriş darbe deneyi

Ankastre edilmiş kiriş darbe testi yaygın olarak kullanılmayan düşük hızlı bir darbe test sistemidir. Bu darbe sisteminde 1 inç çapındaki çelik bir top esnek bir kirişin ucuna monte edilmiştir ve bu top çekilip bırakıldığında numune üzerine çarpar ve darbenin meydana gelmesini sağlar Şekil 4.3'te ankastre edilmiş kiriş darbe test sisteminin şematik resmi gösterilmektedir [48].



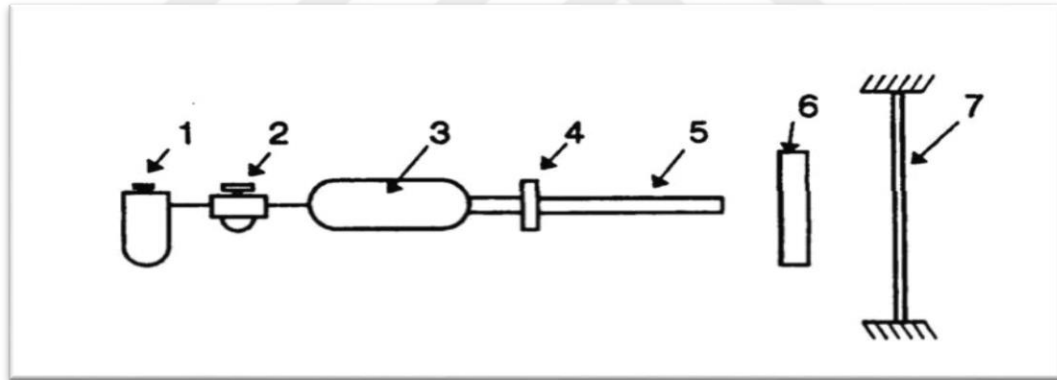
Şekil 4.3 Ankastre edilmiş kiriş darbe test sisteminin şematik resmi (1-numune, 2-vurucu) [48]

4.2.2. Yüksek hızlı darbe test metotları

Küçük kütleye sahip bir cisim veya parçacığın test numunesine yüksek hızda çarptırılmasına yüksek hızlı darbe testi denir. Yüksek hızlı darbe testleri basınçlı hava ve split hopkinson basınçlı çubuk deneyi olmak üzere ikiye ayrılır [46].

4.2.2.1. Basınçlı hava ile darbe test metodu

Basınçlı hava ile yapılan darbe deneyinde, ağırlığı 250 gramdan küçük ve hızı 100 m/s'den büyük vurucu başlıklar için uygulanan yüksek hızlı darbe deney metotlarından biridir. Bu deney sistem olarak 7 parçadan oluşmaktadır. Parçaların şematik olarak gösterimi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Basınçlı hava ile darbe test düzeneğine ait şematik resim (1- hava filtresi, 2- basınç regülatörü, 3- hava tankı, 4- selenoid valf, 5- namlu (tüp), 6- hız sensörü, 7- numune) [49].

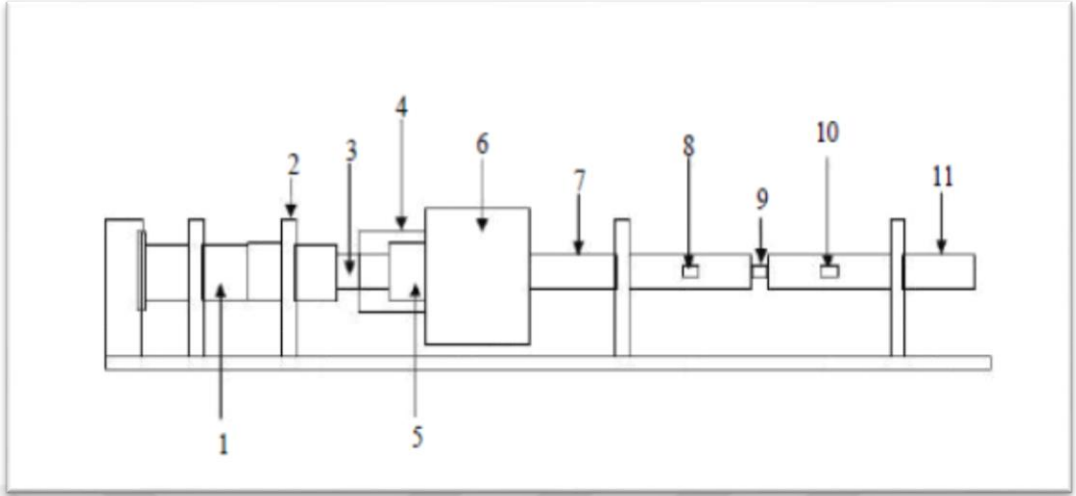
Hava filtresi tarafından temizlenen hava, basınç regülatörü yardımıyla çekilir. Regülatör yardımıyla çekilen sıkıştırılmış hava, hava tankına verilir. Daha sonra hava tankında biriken sıkışmış haldeki hava selenoid valf (elektro mekanik vana) tarafından verilmek üzere hazır hale getirilir. Daha sonra sistem içerisinde bekleyen vurucu (mermi), selenoid valfin açılmasıyla harekete geçerek ilerleyip bir hız sensöründen

geçer. Bu fotoseller sayesinde merminin hızının sitemdeki fotoselden hesaplayarak numuneye çarpma hızını belirlemek mümkündür. Başta ve sonda bulunan fotosellerden merminin başlangıçtan çıkışa kadar olan kısımda hangi hızda hareket ettiğini ve numuneye vurma hızını belirlemede kullanılmaktadır [50].

4.2.2.2. Split-Hopkinson basınçlı çubuk test metodu

Basınçlı çubuk darbe deney düzeneğinde malzemenin yüksek şekil değiştirme etkisini araştırma ve malzemelerin farklı modlardaki dinamik yükler etkisi altında davranışlarını incelemek için sıklıkla kullanılan darbe deney test metodudur [46].

Charpy ve Izod darbe deney düzeneklerinde, darbe yükleri altında sönmölen enerji ve bu enerjiye bağılı olarak oluşın şekil değıştirme hızı 100 s-1 iken, Split-Hopkinson'un tarafından geliştirilen basınç çubuk siteminde şekil değıştirme hızı 100-5000s-1 arasında bir değır olarak ölçölmüştür. Şekil 4.5'te Split-Hopkinson basınçlı çubuk darbe deney sisteminin şematik olarak gösterimi verilmiştir. Bu deney düzeneğinde yaygın olarak kullanılan vurucu uç yarıçapı 12,7 mm'dir. Hava tankı tarafından depolanmış sıkışmış havanın salıverilmesiyle birlikte eksenel doğrultuda vurucu ucun numuneye çarpmasıyla, numune üzerinde bir darbe meydana getirilir. Giriş çubuğı üzerinde bulunan straingauge(gerinim ölçerler)'lerden tarafından elde edilen veriler, veri depolama birimi sayesinde kaydedilir. Numune üzerine etkiyen yük, uygulanan darbenin hızı ve numunenin yer değıştirmesi, straingauge tarafından depolanan verilerin veri depolayıcısında kullanılmasıyla hesaplanmaktadır [51].



Şekil 4.5 Split-Hopkinson basınçlı çubuk test düzeneğine ait şematik resim (1 absorbe çubuğu, 2- destek parçası, 3- giriş çubuğu, 4- tüp, 5- vurucu tüpü, 6- gaz tankı, 7- giriş çubuğu, 8 ve 10- strain gauge, 9- numune ve 11- çıkış çubuğu) [51].

4.2.2.3. Ağırlık düşürmeli darbe deneyi

Ağırlık düşürme deneyi Izod ve Charpy deneylerinden farklı olarak malzemenin dinamik özelliklerini belirlemek adına gerçeğe en yakın sonuçları veren yaygın bir deney düzeneğidir. Izod ve Charpy deneylerinde yüzeye uygulanacak darbe kuvvetinin belirli bir maksimum değerle sınırlandırılmış iken, Ağırlık düşürmeli darbe deneyinde numuneye uygulanacak düşey ağırlığın çarpma hızı ve darbe enerjisini istenilen değerde ve kuvvette ayarlanabilmektedir. Ayrıca düşürülen ağırlığın, numuneye ne kadar yükseklikte ve hızda, numune üzerine etki ettirmek, düşürülmek isteniliyorsa o yükseklikten numune üzerine etki ettirilmesi sağlanabilmektedir. Bunlara ek olarak ağırlık düşürmeli çarpma deneyinde, numune üzerinde saplanma, delinme ve tekrarlı darbe deneyleri de uygulanabilmektedir [52].



Resim 4.1 Deneylerde kullanılan ağırlık düşürme test cihazı

Resim 4.1’de Ağırlık düşürmeli darbe test cihazının görseli verilmiştir. Deney cihazı, ağırlıklarıyla birlikte bir çapraz kafaya, hava basıncı ile çalışan bir sabitleyiciye ve geri sekme frenlerine ayrıca bir veri yazılım sistemine sahiptir. Ağırlığın düzgün bir biçimde eksenel olarak yukarı çıktığı bir blok üzerinde hareket etmektedir. Cihaz merkezinde bulunan ağırlık kaldırma bloğu, alt tarafında eklenmek için ek ağırlık kutusu ve uç kısmında vurucu başlık bulunmaktadır. İstenilen yükseklikte ve ağırlıkta numuneye darbe uygulamak mümkündür. Cihaz değiştirilebilir başlığı sayesinde hem

çelik plakalara hem de betona darbe kuvveti uygulayabilmektedir. Böylece istenilen numunede, istenilen düzeyde darbe enerjisi veya istenilen hızda ve istenilen yükseklikten numuneye darbe uygulamak mümkündür.

Vurucu uç yarıçapı 12.7 mm çapa sahip yarı küresel sert yapıda çelik bir uç kullanılır, fakat istenilirse farklı yarıçapa sahip veya farklı düzeyde bir uçta vurucu başlık olarak kullanılabilir.

Numune üzerine etki eden ağırlığın numune üzerinde oluşturduğu darbe sonrası vurucu, geri sekme sırasında aşağıda bulunan sinyal sayesinde yük sinyallerinin üretilmesini sağlar. Üretilsen bu sinyaller daha önceden ayarlanmış, alınmak istenilen sayıda veriyi bilgisayara bağlı olan bir veri toplama cihazına aktarmaktadır. Bu veri toplama cihazında depolanan veriler, veri elde etme yazılımı sayesinde aktarılarak test sonuçlarına ait verileri bilgisayara işlememize yardımcı olmaktadır.

Hava basınçlı geri sekme frenleri ise numune üzerine gelecek yükün tekrarlı bir şekilde numuneye vurmasının önüne geçilmek için devreye alınıp tekrarlı darbe kuvvetinin oluşmasını önlemeye katkı sağlar. Eğer istenilirse bu fren sistemi devre dışı bırakılabilir. Kapalı olması durumunda numuneye uygulanacak darbe, numune tarafından sönümlenip tükenene kadar devam etmektedir. Hız detektörü ise vurucu tarafından numuneye uygulanan darbenin gerçekleşmesinden hemen önceki darbe hızını ölçerek sinyal sistemi ile verileri işleyerek darbe hızının veri biriktirme cihazına aktarılmasını sağlar.

Bu tip bir darbe deney cihazında diğer darbe test metotlarına büyük üstünlüğü bulunmaktadır. Cihazın alt kabin kısmına yerleştirilecek ısıtma ve soğutma sistemi sayesinde istenilen ortam sıcaklığında numuneye darbe kuvveti uygulanabilmektedir. Örneğin karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler genel olarak havacılık ve uzay sanayinde yaygınlaşmış bir kullanım alanına sahiptir ve bu kompozitler malzemeler için havadaki çevresel şartlar -73°C ila $+80^{\circ}\text{C}$ arasında, uzaydaki çevresel şartlar ise -140°C ila $+120^{\circ}\text{C}$ arasında olabilmektedir. Bu bakımdan bu tür kompozitlerin çalışabileceği ortam şartlarının önceden simüle edilerek ona göre hazırlanması gerekmektedir [52].

Ağırlık düşürme deneyi ile ilgili formülasyonlar aşağıda verilmiştir.

$$H=gt^2/2 \quad (4.1)$$

$$V=gt \quad (4.2)$$

$$m=W/g \quad (4.3)$$

$$U=mV^2/2 \quad (4.4)$$

$$\text{Darbe dayanımı} = n \times U \quad (4.5)$$

Burada;

U = Bir vuruşta meydana gelen enerji, kNmm

W = Darbe deneyinde kullanılan tokmak ağırlığı, kg,

m = Darbe deneyinde kullanılan tokmak kütlesi, N,

H = Darbe deneyinde tokmağın düşme yüksekliği, mm,

t = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın düşme süresi, sn,

g = Yerçekimi ivmesi, mm/sn²,

V = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın vuruş anındaki hızı, mm/sn,

n = Vuruş sayısı, adedini göstermektedir.

Formülleri yardımıyla ağırlık düşürme deneyi verileri hesaplanabilmektedir.

Ağırlık düşürme deneyinin detayları ACI 544.2R standardında bahsedilmektedir [53].

5. MATERİYAL VE METOT

Yapılan deneysel çalışmada, hâlihazırda bulunan kazınmış asfalt malzemenin (KAM) beton içerisinde iri agrega yerine genel karışımın hacimce %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ikame edilmesiyle betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonların, kullanılabilirliğinin araştırılması ve hazırlanan beton numunelerin farklı ortam ısılarına (oda şartları (25°C), 50°C ve 75°C) maruz bırakılarak basınç, eğilmede çekme ve ağırlık düşürme davranışlarının araştırılması, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin belirlemek adına yapılan çalışmalardır.

5.1. Kullanılan Malzemeler**5.1.1. Çimento**

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

5.1.2. Karışım Suyu

Çalışmada beton karışım ve kür suyu olarak, Adıyaman Üniversitesi kampüsüne ulaşan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

5.1.3. Agrega

Deneysel çalışmada özgül ağırlıkları 2600 kg/m^3 olan Adıyaman ili Büyükkırıklı köyü sınırları içerisinde bulunan Tohumcular A.Ş.'ye ait kalker taş ocağı

kırmataşları (Resim 5.1 ve Resim 5.2) ve özgül ağırlığı 2700 kg/m³ olan Göksu Çayı'ndan temin edilen dere kumu (Resim 5.3) kullanılmıştır. Hazırlanan beton karışımlarında iri agrega %60 (iri agreganın %50'si oranında 11.2-22.4 mm kırmataş, %50'si oranında 4-11.2 mm kırmataş) ince agrega ise %40 oranında kullanılmıştır. Kullanılan agregaların elek analizi yapılmış ve granülometri eğrisi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Resim 5.1 Karışımlarda kullanılan 11.2-22.4 mm kırmataş



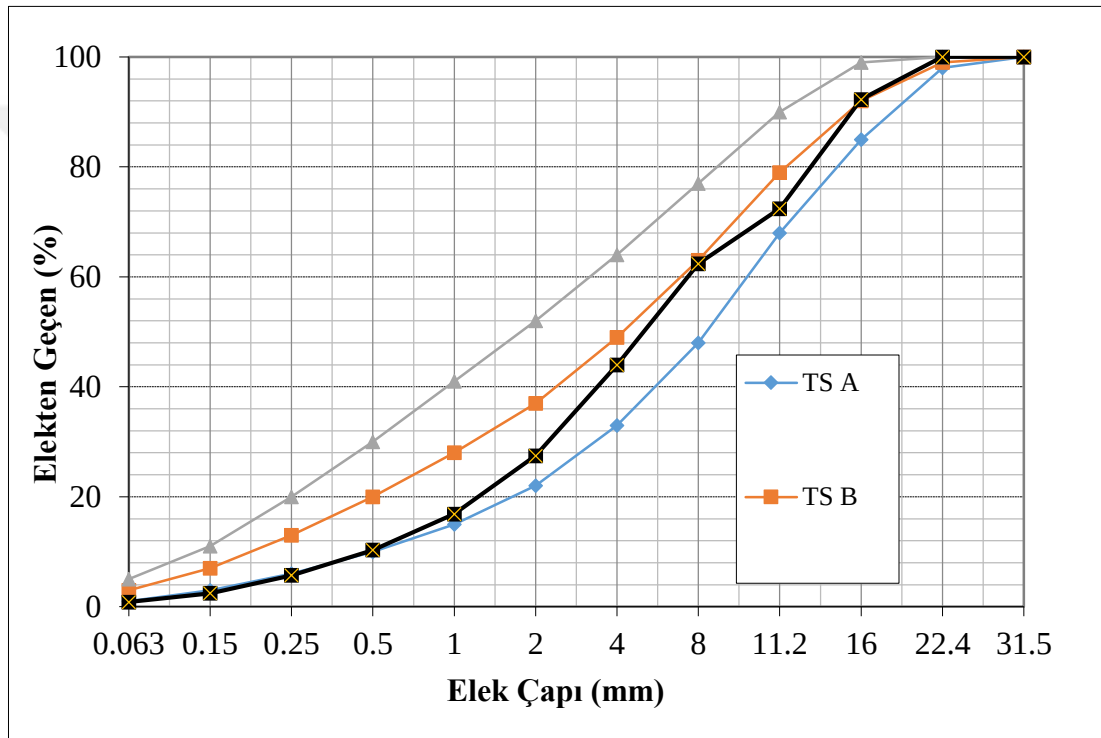
Resim 5.2 Karışımlarda kullanılan 4-11.2 mm kırmataş



Resim 5.3 Karışımlarda kullanılan 0-4 mm kum

5.1.4. Kazınmış Asfalt Malzeme (KAM)

Beton üretimlerinde Karayolları Adana 57. Şube Şefliği'nden temin edilen KAM (Resim 5.4) kullanılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre KAM özgül ağırlığının 2300 kg/m^3 olduğu belirlenmiştir. Bu malzeme elenmiş ve 0-4 mm arasında kalanı beton karışımında ince agregaya yerine kullanılmak üzere alınmıştır.



Şekil 5.1. Agreganın granülometri eğrisi



Resim 5.4 Beton karışımlarında kullanılan 0-4 mm kazınmış asfalt malzeme

5.2. Beton Üretim Çalışmaları**5.2.1. Karışım Hesabı**

Yapılan deneysel çalışmalarda beton karışımı içerisinde 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. Laboratuvarda 120 dm³ hacimli mikserde karıştırılarak üretilen taze betonların tokmak ve vibrasyon masası yardımıyla sıkıştırılması sağlanmıştır.

Beton karışımı için kontrol numuneleri, CEM II 42.5 R A-M (P-LL) 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 kum yerine, genel karışımın hacimce %5, 10, 15 ve 20 oranlarında kullanılan kazınmış asfalt malzeme miktarı, ince agrega miktarının ise %12.5, 25, 37.5, 50 oranına tekabül etmektedir. Genel karışımın %5, 10, 15, 20 oranında 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 5.1-5.2'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5.1 Karışımında kullanılan agregaların özgül ağırlığı

Malzeme	Özgül Ağırlık (t/m ³)
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 0-4 mm(KAM)	2.30

Çizelge 5.2 Karışımda kullanılan agregaların su emme oranları

Malzeme	Su Emme Oranları (%)
Kırmataş 11.2-22.4 mm (KT I)	1.70
Kırmataş 4-11.2 mm (KT II)	1.80
Kum 0-4 mm (K)	1.85
Kazınmış Asfalt Malzeme 0-4 mm (KAM)	1.25

Beton karışımında kullanılan agregaların doğal nem içeriği çizelge 5.3'te, karışımda kullanılan agregaların karışım yüzdeleri çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Karışımda kullanılan 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)	0.90
Kazınmış Asfalt Malzeme 0-4 mm (KAM)	0.015

Çizelge 5.4 Karışımda kullanılan agregaların hacimce oranları

Malzeme	Hacimce Agreg 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;

$$V_{\text{Ç}} + V_{\text{S}} + V_{\text{A}} + V_{\text{H}} = 1000 \text{ dm}^3 \text{ eşitliği yazılır.}$$

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

Gerekli toplam agreg hacmi;

$$V_{\text{A}} = 1000 - (350 / 3.1) - (175 / 1) - 10$$

$$V_{\text{A}} = 702.097 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \text{ olarak bulunmuş, } 1 \text{ m}^3 \text{ karışımdaki agreg miktarları;}$$

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

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

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

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

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

$$V_{M_{Kum}} = 280.839 \times 2.70 = 758.265 \text{ kg/m}^3 \text{ bulunmuştur.}$$

Burada,

V_C : Karışımdaki çimento hacmi

V_s : Karışımdaki su hacmi

V_A : Karışımdaki toplam agrega hacmi

V_H : Karışımdaki hava hacmi

V_{KTI} : Karışımdaki kırmataş I hacmi

V_{KTII} : Karışımdaki kırmataş II hacmi

V_K : Karışımdaki kum hacmi

M_{KTI} : Karışımdaki kırmataş I ağırlığı

$M_{KT II}$: Karışımdaki kırmataş II ağırlığı

M_{kum} : Karışımdaki kum ağırlığı olarak tanımlanır.

Karışımlarda kullanılan 1m^3 beton içerisindeki malzemenin hacimce değerleri çizelge 5.5' te, ağırlıkça değerleri ise çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.5 Karışımlarda kullanılan malzemelerin hacimce değerleri

Malzeme	Hacim (dm ³)				
	Kontrol	%5 KAM	%10 KAM	%15 KAM	%20 KAM
Ç	112.9	112.9	112.9	112.9	112.9
S	175	175	175	175	175
KT 1	210.629	210.629	210.629	210.629	210.629
KT 2	210.629	210.629	210.629	210.629	210.629
KUM	280.839	245.734	210.629	175.524	140.419
KAM	0.000	35.105	70.21	105.315	140.419

Çizelge 5.6 Karışımlarda kullanılan malzemelerin ağırlıkça değerleri

Malzeme	Ağırlık (kg)				
	Kontrol	%5 KAM	%10 KAM	%15 KAM	%20 KAM
Ç	350	350	350	350	350
S	175	175	175	175	175
KT 1	539.210	539.210	539.210	539.210	539.210
KT 2	539.210	539.210	539.210	539.210	539.210
KUM	758.265	663.481	568.698	473.915	379.132
KAM	0.000	80.741	161.482	242.223	322.965

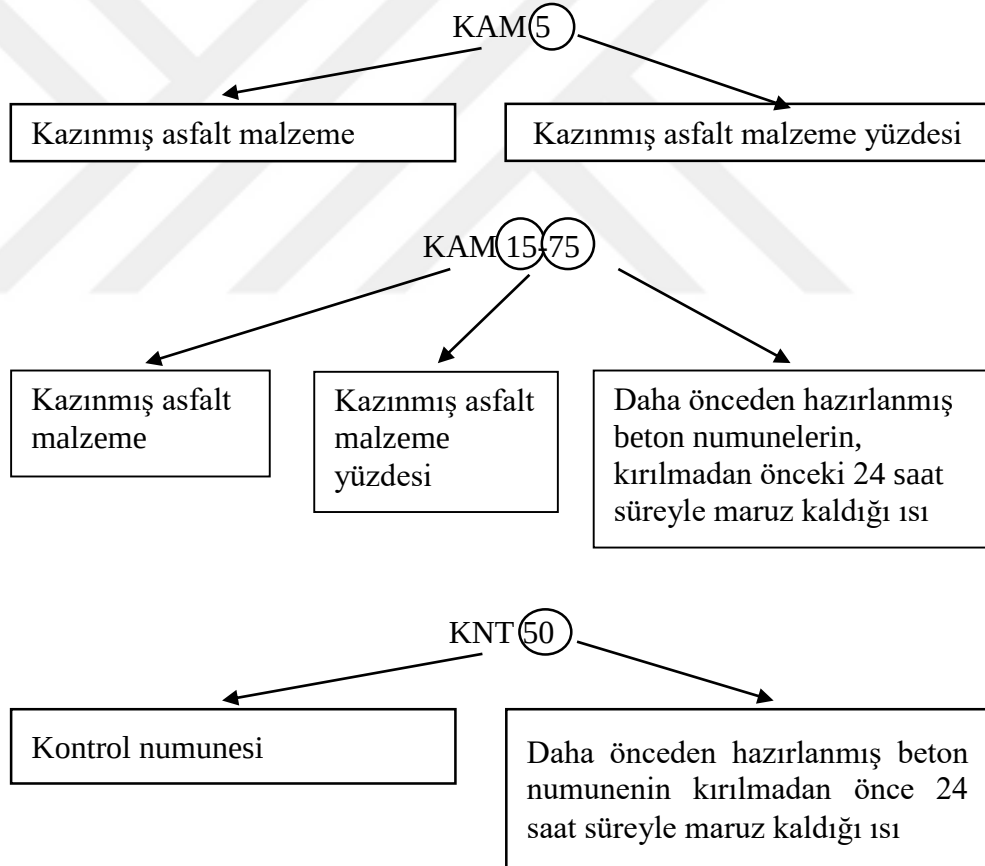
Deneysel çalışmalarda karışım suyu hesaplanırken kullanılan agregaların su emme miktarları ve doğal nem oranları hesaplanmış olup bu parametreler dikkate alınarak Çizelge 5.7’de nem düzeltmesi yapılmıştır.

Çizelge 5.7 Karışımında nem düzeltmesi sonrası ağırlıkça agrega miktarları (1m³)

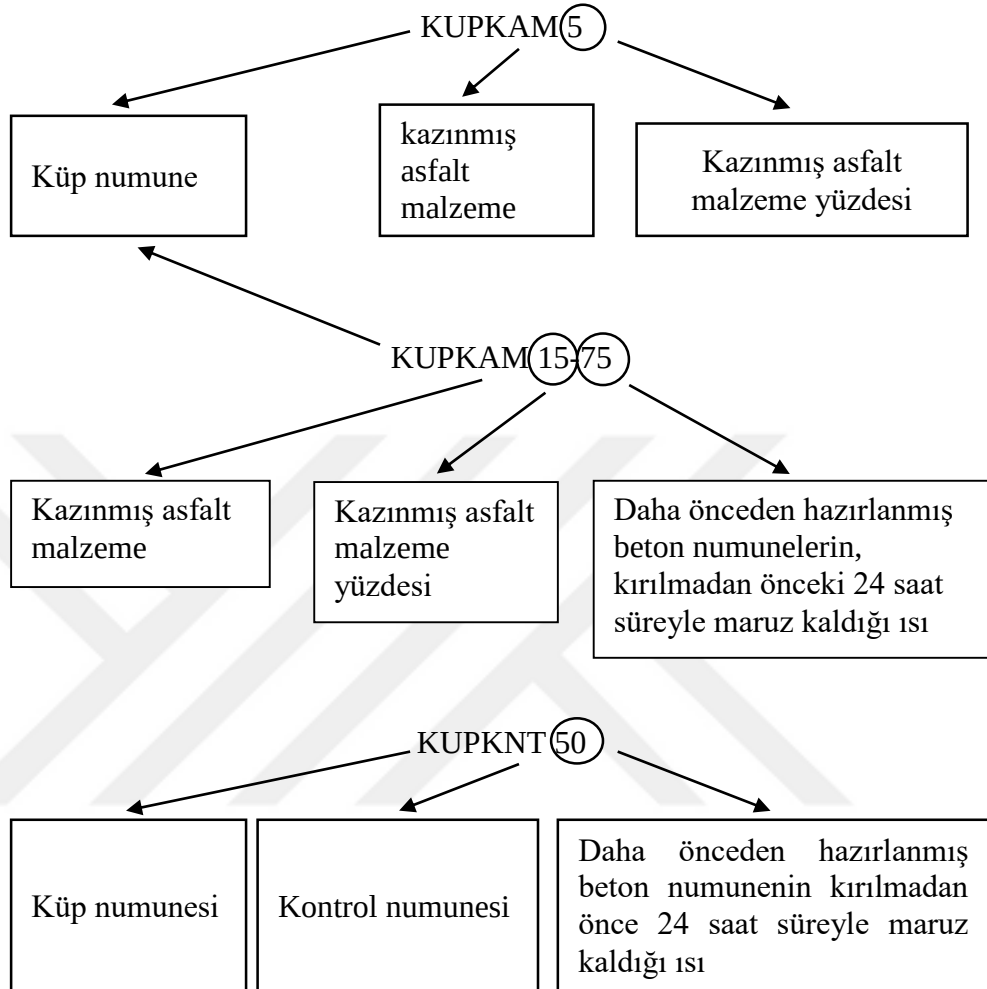
Malzeme	Ağırlık (Kg)				
	Kontrol	%5 KAM	%10 KAM	%15 KAM	%20 KAM
Ç	350	350	350	350	350
S	200.213	200.31	200.407	200.503	200.6
KT 1	530.475	530.475	530.475	530.475	530.475
KT 2	529.936	529.936	529.936	529.936	529.936
KUM	751.061	657.178	563.296	469.413	375.531
KAM	0.000	79.744	159.488	239.232	318.976

5.2.2. Beton Karışımlarına Ait Serilerin Kodlanması

Deneysel çalışmalar sırasında kontrol betonu ile ince agrega yerine ince agrega hacminin %5, 10, 15, 20'si oranlarında 0-4 mm arası KAM (kazınmış asfalt malzeme) kullanılarak beton karışımları elde edilip betonlar üretilmiştir. Üretilen karışımlarına ait seriler sırasıyla KONTROL, KAM 5-25, KAM 10-25, KAM 15-25, KAM 20-25, KONTROL-50, KAM 5-50, KAM 10-50, KAM 15-50, KAM 20-50, KONTROL-75, KAM 5-75, KAM 10-75, KAM 15-75, KAM 20-75 olarak kodlanmıştır. Üretilen beton karışımlarına ait seri kodlarının tanımlanması Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.2 Kiriş numunelere ait beton karışımlarının ve serilerin tanımlanması



Şekil 5.3 Küp numunelere ait beton karışımlarının ve serilerin tanımlanması

5.2.3. Beton Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmada hazırlanan bütün betonlar Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan 120 dm³ kapasiteli beton karıştırıcı (Resim 5.5) ile üretilmiştir. Numuneler TS EN 12390-1 [54] dikkate alınarak üretilmiş (Resim 5.6) ve küre tabi tutulmuştur. Beton karışımı hazırlanırken çimento ve agregalar iki dakika süreyle kuru karışıma tabi tutulup sonra karışım suyu eklenmiş ve üç dakika daha karıştırılarak kalıplara doldurulmaya hazır hale getirilmişlerdir (Resim 5.7). Üretilen

beton numunesinden bir miktar alınarak çökme deneyi yapıp beton numunesinin kıvamına bakılmıştır. Hazırlanan küp numunelerin taze birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.



Resim 5.5 Çalışmalarda kullanılan beton karıştırıcı



Resim 5.6 Çalışmalarda üretilen taze betonun kalıplara yerleştirilmesi



Resim 5.7 Çalışma sonucunda üretilen taze betonun şişlenip sıkıştırılması



Resim 5.8 Beton numunelerinin vibrasyon masasında sıkıştırılması

Çalışmada numunelerin basınç dayanımlarını belirlemek adına başta kontrol karışımı hazırlanmıştır. Daha sonra farklı KAM (kazınmış asfalt malzeme) oranlarındaki (%5, 10, 15 ve 20) karışımlar hazırlanmıştır. Her karışım için birer set (3 adet) 28 günlük olmak üzere 15 adet numune planlanmıştır. Her karışım için ayrıca, 24 saat maruz kalacağı 3 farklı ortam ısısına (25°C , 50°C , 75°C) göre tasarlandığında toplam 45 adet 100 mm'lik küp numune hazırlanmıştır. Ağırlık düşürme deneyi için yine aynı şekilde beş farklı karışım, üç farklı sıcaklık olmak üzere toplam 45 adet küp ağırlık düşürme deneyine tabii tutulmuştur. Eğilmede çekme dayanımları içinse Kontrol karışımı ve farklı KAM oranlarındaki (%5, 10, 15 ve 20) karışımlar için birer set 28 günlük, 100x100x500 mm boyutlarındaki kiriş numuneler üretilmiştir. Ortam ısısına bağlı olarak 24 saat maruz kalacağı (25°C , 50°C , 75°C) her sıcaklık ortamı için tasarlandığında, 45 adet kiriş numune eğilmede çekme deneyine, 45 adet kiriş numune de ağırlık düşürme deneyine tabi olmak üzere toplamda 90 adet kiriş numune hazırlanmıştır. Üretim aşamasında betonlar, temizlenmiş ve yağlanmış kalıplara doldurulmuş ve vibrasyon masasında sıkıştırılmıştır (Resim 5.8).



Resim 5.9 Kiriş numunenin vibrasyon masasında sıkıştırılması

Kalıplardaki numuneler 24 saat oda ısısında bekletildikten sonra (Resim 5.9) kalıplardan çıkarılmış, 28 gün boyunca havuzda küre tabi tutulmuştur. Hazırlanan küp numuneler, 28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılarak, bir set 25°C ortam ısısında, bir set 50°C’de etüvde, diğer bir set ise 75°C’de 24 saat süreyle etüvde bekletildikten sonra ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Kiriş numuneler kiriş eğilmede çekme ve kiriş ağırlık düşürme olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Karışım oranları döküm işlemleri aynıdır. Fakat 28. günün sonunda eğilmede çekme deneyi için kiriş numuneleri havuzdan çıkarılıp, bir set (bir set 15 adet olmak üzere) oda şartlarında, bir set 50°C’de etüvde, 75°C’de etüvde 24 saat boyunca bekletildikten sonra eğilmede çekme deneyine tabi tutulmuştur. Kiriş ağırlık düşürme deneyinde ise 28 gün boyunca suda kalan numuneler suda çıkarıldıktan sonra 24 saat oda şartlarında bekletildikten sonra, 29.gün bir set oda şartlarında, bir set 50°C’de etüvde, 75°C’de etüvde 24 saat boyunca bekletildikten sonra, ağırlık düşürme deneyine tabi tutulmuştur.



Resim 5.10 Günlük planlanan çalışmalar sonucunda üretilen küp ve kiriş numune betonlar

5.3. Beton Deneyleri

Çalışmalar sonunda üretilen taze ve sertleşmiş beton numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır.

5.3.1. Taze Beton Deneyleri

Deneyisel çalışmalarda taze betonun kıvam ve birim ağırlıklarını belirlemek için beton karıştırıcıdan alınan taze betonun taze birim hacim ağırlıkları ve çökme miktarları elde edilmiştir.

Çökme değerini, diğer bir deyişle taze betonun kıvamını, akıcılığını belirlemek amacıyla TS EN 12350-2 standardına göre alınan taze beton numunesi, slump konisine 3 tabaka halinde şişlenerek doldurulmuştur [55]. Her doldurulan tabaka şişleme çubuğu ile 25 defa şişlenip, koninin üst kısmına kadar doldurulmuştur. Üst kısımda mala yardımıyla düzleştirilmiştir. Koni, iki yanında bulunan kollardan tutularak aynı

düzeyde yukarı çekilerek çıkartılmış, betonun ne kadar çöktüğü ölçülmüştür. Taze beton numunelerine yapılan çökme deneyi Resim 5.11’de verilmiştir.



Resim 5.11 Çökme deneyi

5.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Hazırlanan deney numuneleri üzerinden sertleşmiş birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, ultra ses geçiş hızı, elastisite modülü tayini ve ağırlık düşürme deneyi yapılmıştır.

Sertleşmiş birim hacim ağırlık deneyi için 28 gün kür havuzunda suda bekletilen numuneler havuzdan çıkarılarak suya doymun yüzey kuru hale getirilip ağırlıkları tartılmıştır. Numuneler daha sonra kuru hale getirilmek için farklı ortam ısılarında bekletilmiştir. Numunelerden bir grup 24 saat oda şartlarında, bir grup 24 saat 50°C ısıda etüvde, diğer bir grup ise 75°C ısıda 24 saat etüvde bekletildikten sonra ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

Ultra ses geçiş hızı deneyinde 100 mm’lik küp numuneler üzerinde her numune için 2 farklı noktadan ultra ses geçiş süresi ölçülmüş olup bu ölçümlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Ölçüm yapılırken, cihazda bulunan alıcı ve verici iki başlık Resim 5.12’de gösterildiği gibi numunenin karşılıklı iki yüzünün merkezinden tutularak yapılmıştır. Alıcı ve verici başlık arasında geçen süre betonumuzun ne kadar homojen olduğunu kullanılabilirliğini, eğer varsa betonda mevcut olan çatlak vs. kusurunu, betonun kalitesini, elastisite modülünü belirlemede yardımcı olur. Alıcı ve verici başlık

arasında geçen süre mikro saniye cinsinden okunur. Ultra ses geçiş hızı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$V = L / T \quad (5.1)$$

Burada;

V: Ses hızı, (km/sn)

T: Ses geçiş süresi, (saniye)

L: Ölçü boyu, (km) olarak tanımlanır.



Resim 5.12 Küp numunelerde ultra ses deneyi

Deneysel çalışmalarda basınç deneyi, kür uygulanan 100 mm'lik küp numunelere TS EN 12390-3'e [56] göre uygun ortamda basınç deneyine tabi tutulmuştur. Beton numuneler yükleme yapılacak test cihazına ortalı olarak düzgün bir biçimde yerleştirilmiştir. 0.135 MPa/s (N/mm².s) sabit hızla üniform yük uygulanmış ve kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilmiştir. Beton numunesinin kırıldığı 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.

$$\sigma_{\text{Basınç}} = p/A \quad (5.2)$$

Burada;

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

P: Kırılma anındaki yükü (N)

A: Basınç uygulanan yüzey alanını

(mm²) ifade eder.

Eğilmede çekme deneyinde 100x100x500 mm kiriş numuneler TS EN 12390-5 [57] dikkate alınarak resim 5.13’de görüldüğü 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 5.13). Kirişin tam orta noktasından uygulanan P eğilme yükü kiriş numunesi kırılınca kadar uygulanmıştır (Resim 5.14). Beton numunesinin kırılmasına sebep olan yük deney presinin göstergesinde okunmuş olup kiriş numunesinin eğilmede çekme dayanımı aşağıdaki formülle [57] hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\text{eğilme}} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (5.3)$$

Burada;

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

P: Kırılma anındaki yükünü (N)

L: Mesnet silindirleri arasındaki açıklığı (mm)

b, d: Numunenin en kesit boyutlarını (mm) ifade eder.



Resim 5.13 Eğılmede çekme deneyi öncesi numunenin düzgün bir biçimde yerleştirilmesi



Resim 5.14 Eğılmede çekme deneyi sonrası

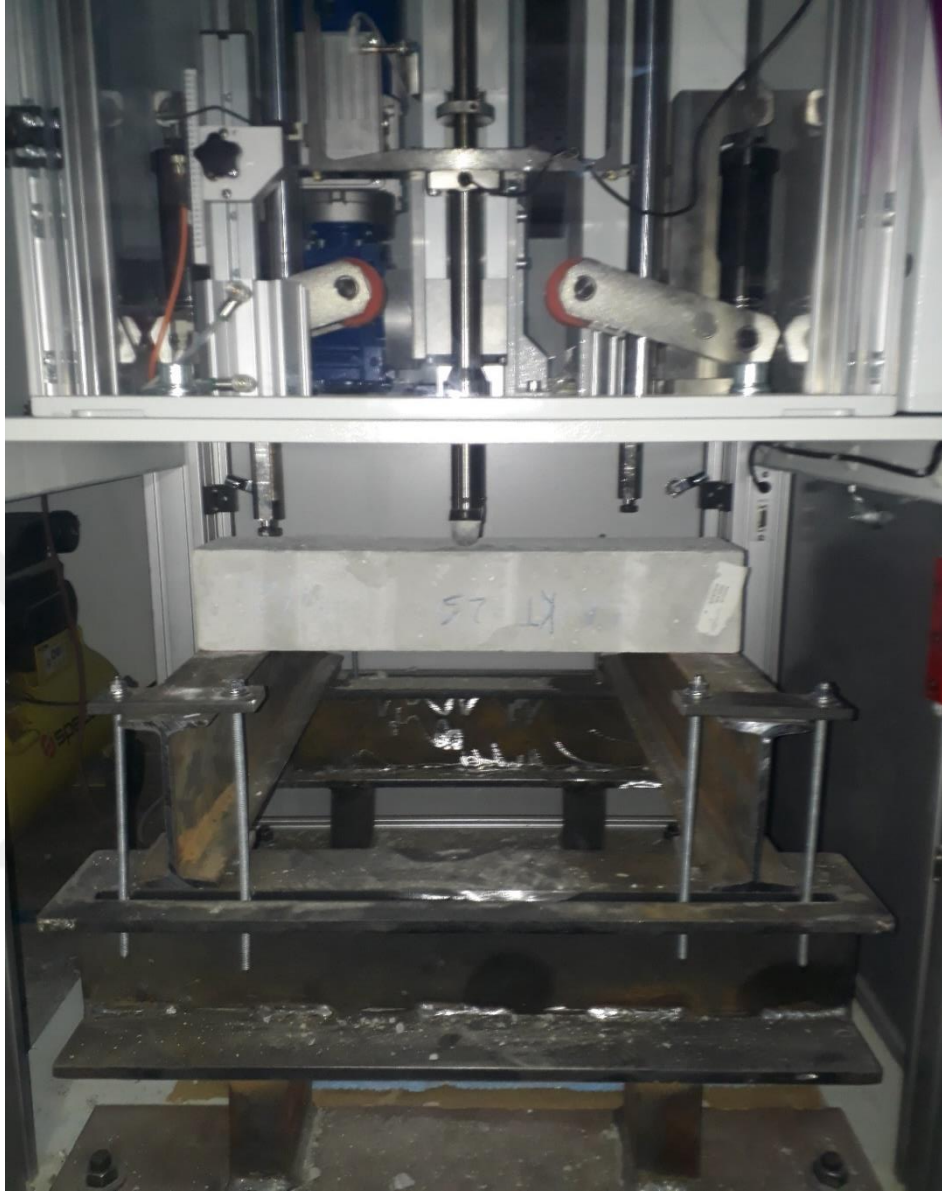
Numuneler üzerinde ağırlık düşürme deneyi yapılmıştır. Resim 5.15’de verilen cihaz yardımıyla kiriş ve küp numunelere ağırlık düşürme deneyi yapılmıştır. Ağırlık düşürme cihazında kiriş numunelere yapılan deneyde cihaza yerleştirilen beton vurucu uç ekstra ağırlık eklenmeksizin numuneye etki ettirilmiştir. Numuneye etki ettirilen ağırlık vurucu başlık dâhil 6.300 kg ağırlığında 0.5 m yükseklikten etki ettirilmiştir. Küp numunelere yapılan deneylerde ise etkiyi net bir şekilde görmek için cihaza ekstra 10 kg ağırlık ilave edilerek toplamda 16.300 kg ağırlık numuneye 0.5 m yükseklikten etki ettirilmiştir.





Resim 5.15 Deneylerde kullanılan ağırlık düşürme test cihazı

Resim 5.15 'te deneylerde kullanılan ağırlık düşürme cihazı verilmiştir. Numunelerin cihaza yerleştirilmesi resim 5.16'da verilmiştir.



Resim 5.16 Kiriş numunenin ağırlık düşürme cihazına yerleştirilmesi

Resim 5.16 incelendiğinde cihaza yerleştirilen numuneler x ve y düzlemi doğrultusunda hizalanarak, cihaz üzerindeki vurucu başlık tam merkez noktaya gelecek şekilde ayarlanmıştır. Deneyde kırılan tüm numunelere aynı şekilde muamele yapılmıştır. Kiriş numuneler üzerinde ağırlık düşürme sonrası oluşan ikiye bölünme resim 5.17 'de verilmiştir.



Resim 5.17 Ağırlık düşürme sonucunda kırılan kiriş

Kiriş numuneler üzerinde yapılan ağırlık düşürme deneyi sonrası bütün numuneler ikiye bölünmüştür. Küp numunelerin deney cihazına yerleştirilmesi resim 5.18 'de verilmiştir.



Resim 5.18 Küp numunenin ağırlık düşürme cihazına yerleştirilmesi

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada ince agregaya yerine ikame edilen kam katkılı betonların taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlıkları, çökme miktarı, ultra ses geçiş hızı, dinamik elastisite modülü, basınç dayanımları, eğilmede çekme dayanımları, ağırlık düşürme deneyleri yapılmış, sonuçlar elde edilmiştir.

6.1. Bulgular

Yapılan çalışmalar ve deneyler neticesinde bulgular elde edilmiştir.

6.1.1. Taze beton deney sonuçları

Çalışmalar sonucunda üretilen taze beton karışımına ait özellikler belirlenmiştir.

6.1.1.1. Çökme

Farklı karışım oranlarına sahip, üretilen kam katkılı betonların ve kontrol karışımının slump (çökme) değerleri çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Çalışmalarda üretilen betonların çökme değerleri

Seri No	Çökme(cm)
KONTROL	12
KAM 5	13
KAM 10	14
KAM 15	14.5
KAM 20	15

6.1.1.2. Taze beton birim hacim ağırlık

Çalışmada ince agregaya yerine kam ikame edilerek üretilen beton numunelerine ait birim hacim ağırlıklar Çizelge 6.2’de verilmiştir. Kontrol numunesi de dâhil olmak beş farklı karışım oranına ait numunelerde her oran için üç numune üzerinde ölçüm yapılmış ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 6.2 Çalışmalarda üretilen betonların taze birim hacim ağırlıkları

SERİ NO	Taze Birim Hacim Ağırlık (Kg/m ³)		
KONTROL		2322	
KAM 5		2301	
KAM 10		2287	
KAM 15		2275	
KAM 20		2265	

6.1.2. Sertleşmiş beton numunelere ait deney sonuçları

Sertleşmiş beton numunelerine ait yapılan ultra ses geçiş hızı, basınç, eğilmede çekme, ağırlık düşürme deney sonuçları elde edilmiştir.

6.1.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık

28 günlük küp numunelerin suya doygun sertleşmiş birim hacim ağırlıkları Çizelge 6.3’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 6.4’de verilmiştir. Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4’de verilen değerler her setin ortalamasını içermektedir.

Çizelge 6.3 Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıkları

SERİ NO	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (Kg/m ³)
KONTROL	2373
KAM 5	2345
KAM 10	2324
KAM 15	2303
KAM 20	2283

Farklı ortam ısısı altında numunelerin birim hacim ağırlıkları çizelge 6.4 'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Numunelerin farklı ortam ısısı altında birim hacim ağırlıkları

Isı	Seri No	Numune Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
24 Saat Oda Isısına Tabi	KONTROL	2304.00
	KAM 5	2285.37
	KAM 10	2262.30
	KAM 15	2251.17
	KAM 20	2237.77
24 Saat 50°C Isıya Tabi	KONTROL-50	2275.33
	KAM 5- 50	2262.43
	KAM 10- 50	2236.77
	KAM 15- 50	2215.63
	KAM 20- 50	2201.93
24 Saat 75°C Isıya Tabi	KONTROL-75	2238.53
	KAM 5-75	2192.77
	KAM 10-75	2170.00
	KAM 15-75	2152.00
	KAM 20-75	2130.00

Çizelge 6.4'te görüldüğü üzere farklı ortam ısılarına tabi tutulan numunelerin 24 saat ısıya maruz kaldıktan sonraki ağırlıkları tartılmış çizelge 6.4'te verilmiştir.

6.1.2.2. Ultra ses geçiş hızı

28 günlük kür süresinin ardından havuzda çıkarılan 100 mm'lik küp numunelerin bir setinin oda ısısına, bir setinin 50°C ısıya bir setinin ise 75°C ısıya 24 saat boyunca maruz bırakıldıktan sonra ölçülen ultra ses geçiş hızları Çizelge 6.5'te verilmiştir. Ultra ses geçiş hızları, her numunede iki yüzey ve karşılıklı doğrudan ölçüm yapılarak alınmış ve bu iki ultra ses geçiş süresinin ortalaması alınarak veriler elde edilmiştir.

Çizelge 6.5 28 günlük numunelerin farklı ortam ısıları altında ultra ses geçiş hızları

Maruz Kalınan Isı	Seri No	Ultra ses Geçiş Hızı (km/sn) 28 Günlük
24 Saat Oda Isısına Tabi	KONTROL	4.75
	KAM 5	4.67
	KAM 10	4.62
	KAM 20	4.56
	KAM 30	4.48
24 Saat 50°C Isıya Tabi	KONTROL-50	4.59
	KAM 5- 50	4.53
	KAM 10- 50	4.46
	KAM 20- 50	4.42
	KAM 30- 50	4.40
24 Saat 75°C Isıya Tabi	KONTROL-75	4.47
	KAM 5-75	4.37
	KAM 10-75	4.32
	KAM 20-75	4.25
	KAM 30-75	4.17

Çizelge 6.5’te farklı kam oranlarına sahip numunelerin üç farklı ortam ısına göre ultra ses ölçüm sonuçları verilmiştir.

6.1.2.3. Basınç dayanımı

Farklı KAM yüzdelerinde üretilen 100mm’lik küp beton numuneleri 28 günlük kür ve 24 saat maruz kaldıkları ısı sonrası pres yardımıyla kırılmışlardır. Çizelge 6.6’da 28 günlük kür sonrası havuzda çıkarılan 100 mm’lik küp numunelerin bir setinin oda ısısına, bir setinin 50°C ısıya bir setinin ise 75°C ısıya 24 saat boyunca maruz bırakıldıktan sonra kırılması ile elde edilen basınç dayanımları verilmiştir.

Çizelge 6.6 28 günlük numunelerin basınç dayanımı ve değişimi

ISI	Seri No	Numune No	Basınç Dayanımı	Ort. Basınç Dayanımı	Basınç değişimi (%)
ODA SICAKLIĞI (25°C)	0	1	42.6	42.37	0.00
		2	41.70		
		3	42.8		
	5	1	39.8	40.97	-3.30
		2	41		
		3	42.1		
	10	1	34.5	35.60	-15.97
		2	33.6		
		3	38.7		
	15	1	32.6	30.67	-27.62
		2	30.7		
		3	28.7		
	20	1	27.2	27.90	-34.15
		2	27.7		
		3	28.8		

24 SAAT 50°C ISIYA TABİ	0	1	42	40.40	0.00
		2	39		
		3	40.2		
	5	1	36	36.47	-9.74
		2	36.8		
		3	36.6		
	10	1	31.6	29.87	-26.07
		2	29.7		
		3	28.3		
	15	1	27	27.43	-32.10
		2	28.3		
		3	27		
	20	1	23.7	23.83	-41.01
		2	24.2		
		3	23.6		
24 SAAT 75°C ISIYA TABİ	0	1	31.2	33.06	0.00
		2	33.2		
		3	34.77		
	5	1	31	30.50	-7.73
		2	29.2		
		3	31.3		
	10	1	26.3	25.83	-21.85
		2	25.1		
		3	26.1		
	15	1	22.7	23.10	-30.12
		2	23.6		
		3	23		
	20	1	21.9	21.23	-35.77
		2	21.3		
		3	20.5		

6.1.2.4. Eğilmede çekme dayanımı

Beton numunelere 28 günlük kür sonunda havuzdan çıkarıldıktan sonra, 24 saatte maruz bırakılan ısıнын hemen sonrası yapılan eğilmede çekme deneyinde orta noktadan yüklenerek boyutları 100x100x500mm olan kirişler kırılmıştır. Oda şartları ısısında (25°C) 24 saat bekletildikten sonra kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 28 günlük 25°C ortam ısısında kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım ve değişimleri

SERİ NO	EĞİLME DAYANIMI (Mpa)	EĞİLME DAYANIMI DEĞİŞİM (%)
KONTROL	5.03	0
KAM 5	5.15	2.33
KAM 10	5.25	4.43
KAM 15	5.35	6.31
KAM 20	5.63	11.99

28 günlük kür sonunda 24 saat 50°C ortam ısısında maruz bırakıldıktan sonra kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 28 günlük 50°C ortam ısısında kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım ve değişimleri

SERİ NO	EĞİLME DAYANIMI (Mpa)	EĞİLME DAYANIMI DEĞİŞİM (%)
KONTROL	4.60	0.00
KAM 5	4.50	-2.02
KAM 10	4.30	-6.51
KAM 15	4.05	-11.82
KAM 20	3.94	-14.21

28 günlük kür sonunda 24 saat 75°C ortam ısısında maruz bırakıldıktan sonra kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9 28 günlük 75°C ortam ısısında kırılan kiriş numunelerin eğilmede çekme dayanım ve değişimleri

SERİ NO	NUMUNE NO	EĞİLME DAYANIMI (Mpa)	EĞİLME DAYANIMI DEĞİŞİM (%)
KONTROL	1	3.27	0.00
KAM 5	1	3.06	-6.45
KAM 10	1	2.96	-9.52
KAM 15	1	2.87	-12.24
KAM 20	1	2.73	-16.56

6.2. Tartışma

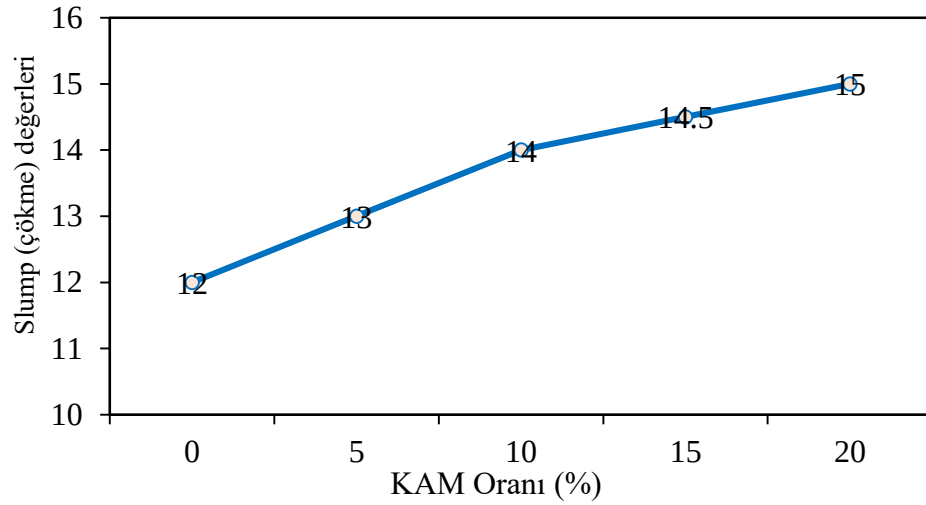
Deneylerden elde edilen bulguların tartışması bu bölümde ele alınmıştır.

6.2.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının irdelenmesi

Çalışmalar sonucunda numunelerde elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

6.2.1.1. Çökme Değerlerinin irdelenmesi

Betonda ince agregaya yerine ikame edilen kam miktarının taze betonun çökme değerleri üzerindeki etkisi şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1 çalışmalarda üretilen betonların slump (çökme) değerleri

Şekil 6.1 incelendiğinde beton içerisine ikame edilen kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla beraber çökme değerleri de artmıştır. Bu durum beton içerisine ilave edilen kam miktarının betonun işlenebilirliğini arttırdığı, betonun daha akıcı hale geldiğini göstermektedir. Çökme miktarının artması beton içerisine ikame edilen kam miktarından kaynaklanmaktadır. Sebebi ise ince agregaya yerine ikame edilen Kam'ın su emme kapasitesinin ince agregadan düşük olmasıdır. İnce agregaya kazınmış asfalt malzemenin su emme miktarının düşük olması ise ince agregaya tanelerinin yüzeyinin bitüm ile kaplanmış olmasındadır. İkame edilen asfalt malzeme miktarı arttıkça betonda işlenebilirlik artmış buna bağlı olarak şekil 6.1'de görüldüğü üzere çökme miktarı artmıştır.

Çizelge 6.10'da slump değerleri ve bunlara karşılık gelen kıvam sınıfları verilmiştir.

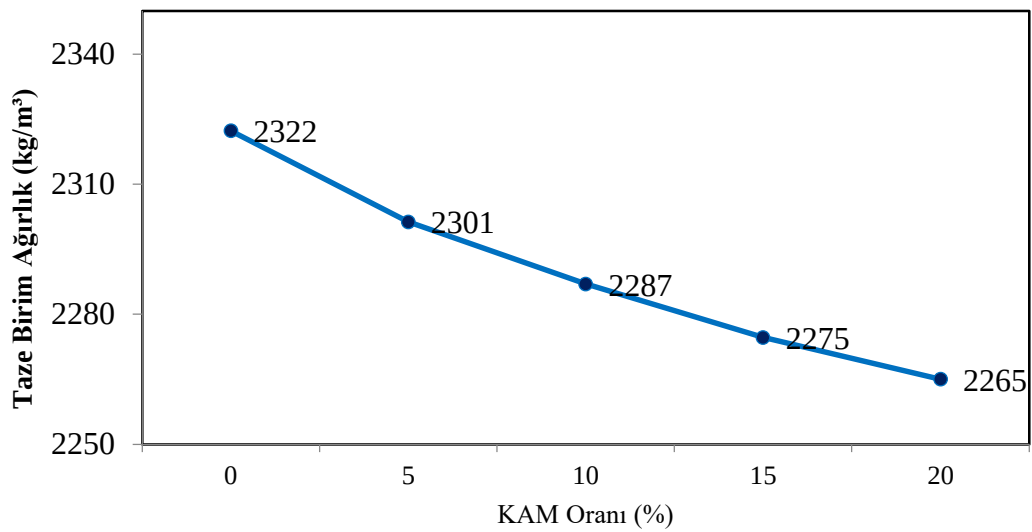
Çizelge 6.10 Taze betonların çökme değerlerine göre kıvam sınıfının belirlenmesi

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.

Deneyssel çalışma verilerine baktığımızda Kontrol numunesi betonu ve KAM ilaveli numunelere ait betonun kıvam sınıfı S3 100-150 mm aralığındadır.

6.2.1.2. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin İrdelenmesi

Deneyssel çalışmalar sonucunda elde edilen kazınmış asfalt malzeme ikameli betonların birim hacim ağırlık değerlerinin değişimleri şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2 Kazınmış asfalt malzeme oranına bağlı olarak betonların taze birim hacim ağırlığının değişimi

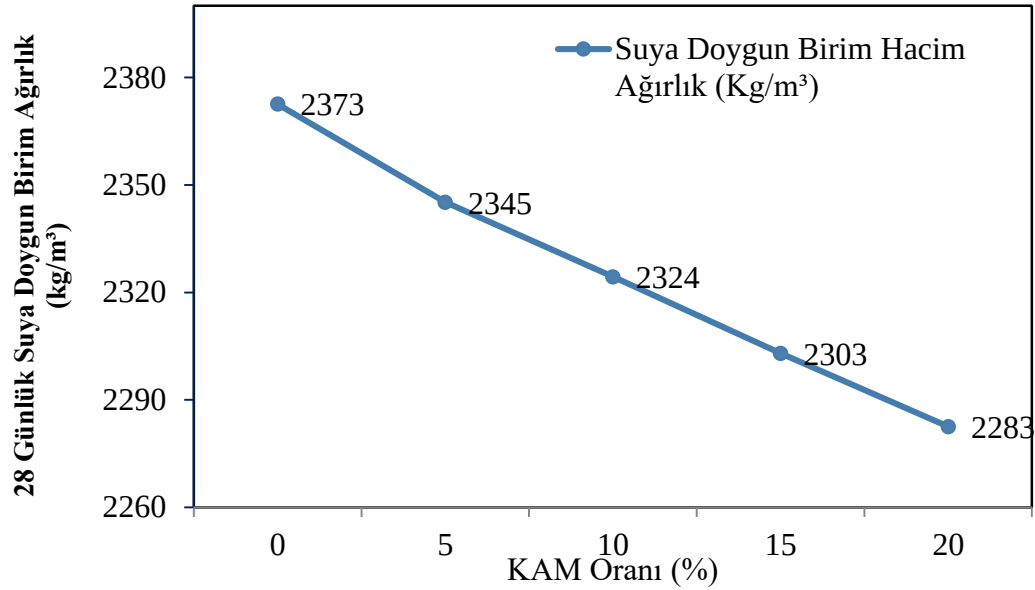
Şekil 6.2'deki grafik incelendiğinde, beton karışımında ince agregaya yerine ikame edilerek hazırlanan kam takviyeli beton numunelerde birim hacim ağırlığında azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi kazınmış asfalt malzemenin özgül ağırlığının ince agreganın özgül ağırlığından az olmasıdır. Ayrıca kazınmış asfalt malzeme hafif agregaya konumuna gelmiştir. Yapılan çalışmada hazırlanan beton numunelerin özgül ağırlığı 2260 kg/m^3 ile 2330 kg/m^3 arasında değişkenlik göstermektedir. Hazırlanan betonlarda, Kontrol numunelerinin taze beton birim hacim ağırlığı 2322 kg/m^3 iken bu değer kazınmış asfalt malzeme eklenmesiyle KAM20 numunelerinde 2265 kg/m^3 değerine kadar azalmaktadır. Kontrol numuneleri ile KAM20 numunelerinin arasında taze beton birim hacim ağırlık değerinde yaklaşık olarak %2.5 oranında azalma gözlenmiştir. Bu durum kazınmış asfalt malzeme ilavesinin taze beton birim hacim ağırlık açısından betona büyük bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

6.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının irdelenmesi

Çalışmalarda üretilen betonların 28 günlük kürü sonucunda sertleştikten sonraki dönemde yapılan deneylere ait bulguların incelenmesi yapılmıştır.

6.2.2.1. Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık Değerlerinin irdelenmesi

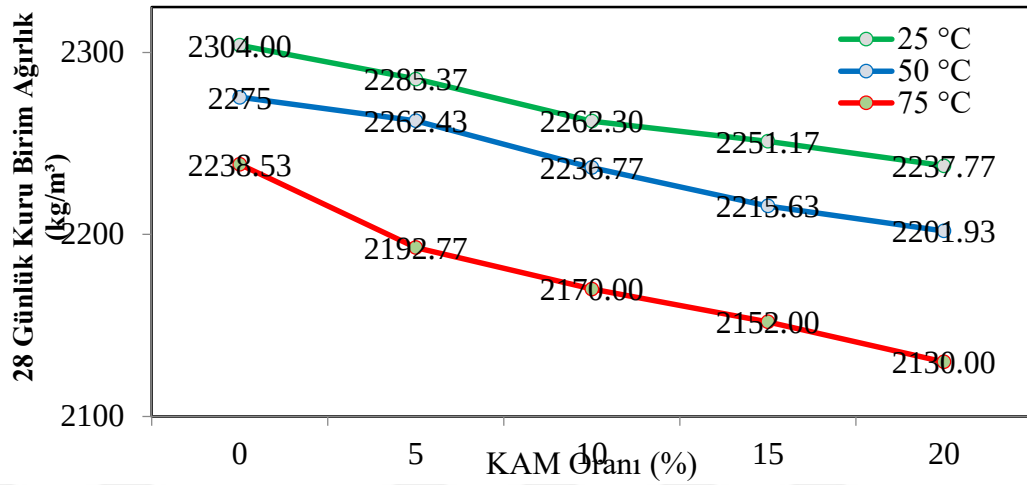
28 gün boyunca kür havuzunda küre tabi tutulan numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıkları Şekil 6.3'de, bu numunelerin 24 saat süreyle oda ısısında bekletilmesi, 50°C ve 75°C ısılarında ise etüvde bekletilmesi sonucunda elde edilen birim hacim ağırlıkları ise Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.3 Suya doymuş küp numunelerin sertleşmiş haldeki birim hacim ağırlığının ikame edilen KAM miktarı ile değişimi

Şekil 6.3 incelendiğinde 28 günlük beton numunelerdeki KAM miktarının artmasıyla numunelerin suya doymuş ağırlıklarında azalmalar olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum kazınmış asfalt malzemenin özgül ağırlığının doğal agrega özgül ağırlığından daha az olmasından ve kazınmış asfalt malzeme yüzeyinin bitümlle kaplanmış olması nedeniyle daha az su emmesinden kaynaklanmaktadır.

28 gün boyunca kür havuzunda küre tabi 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 bırakılmıştır. Müteakiben sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Bu numunelerden elde edilen birim hacim ağırlıklarının KAM miktarı ile değişimi şekil 5.4'de verilmiştir.

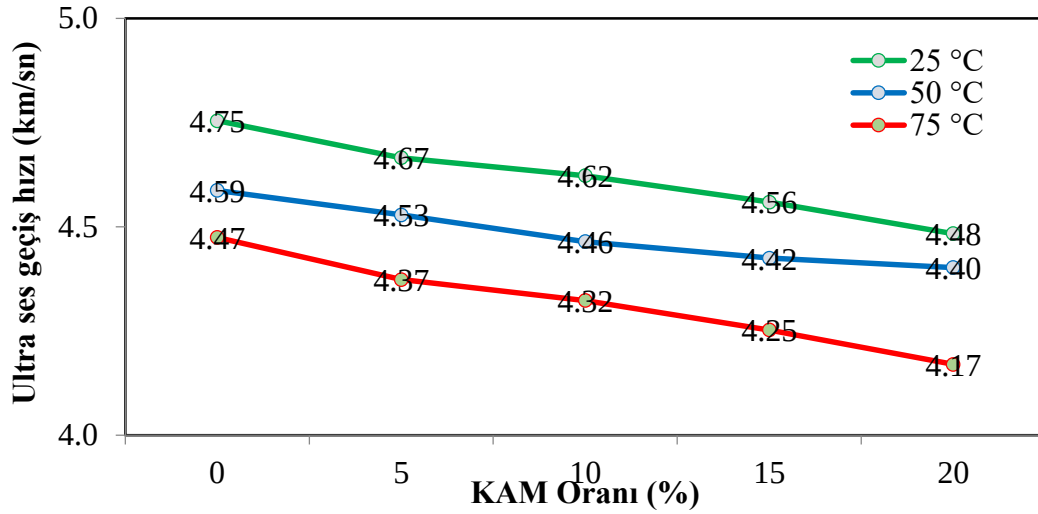


Şekil 6.4 28 günlük farklı kam içeriğine sahip numunelerin farklı ortam ısısı altında birim hacim ağırlıklarındaki değişimi

Şekil 6.4 incelendiğinde ısıнын ve agrega yerine kısmen kullanılan kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla sertleşmiş birim hacim ağırlıklarda azalmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Sertleşmiş birim hacim ağırlığının azalmasının, kazınmış asfalt malzemenin özgül ağırlığının doğal agrega özgül ağırlığından az olması ve ısıнын etkisiyle numune içeriğindeki su miktarının azalması ile açıklanabilir.

6.2.3. Ultra ses Geçiş Hızı Değerlerinin irdelenmesi

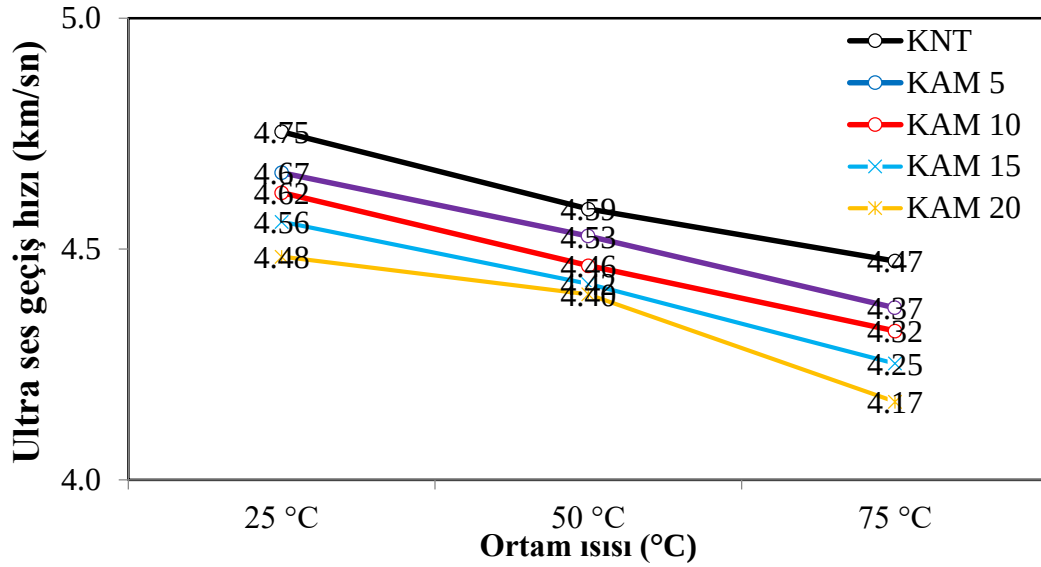
Deneyisel çalışmalardaki ultra ses geçiş hızları 100 mm'lik küp numuneler üzerinde doğrudan yapılmıştır. 28 günlük 24 saat boyunca 25°C, 50°C ve 75°C ısıya maruz kalan numunelerin ultra ses geçiş hızları ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda 28 günlük numunelerin ortam ısısına göre ve kam miktarına bağlı olarak ultra ses geçiş hızları değişimleri şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5 Ortam ısısına ve kam miktarına göre ultra ses geçiş hızı değişimi

Şekil 6.5 incelendiğinde kam miktarına ve ortam ısısına bağlı olarak ultra ses hızlarında azalma meydana gelmiştir. Oda şartları altında 24 saat bekletilen betonlarda ultra ses hızının değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde ultra ses geçiş hızının ilave edilen kazınmış asfalt malzeme miktarına göre değişiminde azaldığı görülmektedir. Kontrol numunelerin ultra ses geçiş hızı değeri 4.75 km/sn iken bu değer kazınmış asfalt malzeme ikamesinin artmasıyla yüzde yirmi kazınmış asfalt içeren numunelerde 4.48 km/sn' ye düşmüştür. 28 günlük numunelerde ultra ses geçiş hızı değerlerinde yaklaşık olarak %5.6 civarında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. 50 °C ortam ısısında 24 saat bekletilen betonlarda ultra ses hızının değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde ultra ses geçiş hızının ilave edilen kazınmış asfalt malzeme miktarına göre değişiminde azaldığı görülmektedir. Kontrol numunelerin ultra ses geçiş hızı değeri 4.59 km/sn iken bu değer kazınmış asfalt malzeme ikamesinin artmasıyla yüzde yirmi kazınmış asfalt içeren numunelerde 4.40 km/sn' ye düşmüştür. 28 günlük numunelerde ultra ses geçiş hızı değerlerinde yaklaşık olarak %4.13 civarında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. 75 °C ortam ısısında 24 saat bekletilen betonlarda ultra ses hızının değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde ultra ses geçiş hızının ilave edilen kazınmış asfalt malzeme miktarına göre değişiminde azaldığı görülmektedir.

Kontrol numunelerin ultra ses geçiş hızı değeri 4.47 km/sn iken bu değer kazınmış asfalt malzeme ikamesinin artmasıyla yüzde yirmi kazınmış asfalt içeren numunelerde 4.17 km/sn' ye düşmüştür. 28 günlük numunelerde ultra ses geçiş hızı değerlerinde yaklaşık olarak %6.7 civarında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.6 Ortam ısısına bağlı olarak kam takviyeli numunelerin ultra ses geçiş hızı değişimi

Şekil 6.6 incelendiğinde ortam ısısına bağlı olarak ultra ses hızlarında azalma meydana gelmiştir. Oda şartları altında 24 saat bekletilen betonlarda ultra ses hızının ilave edilen kazınmış asfalt malzeme miktarına göre değişiminde azaldığı görülmektedir. Kontrol numunelerin ultra ses geçiş hızı değeri 4.75 km/sn iken bu değer kazınmış asfalt malzeme ikamesinin artmasıyla yüzde yirmi kazınmış asfalt içeren numunelerde 4.48 km/sn' ye düşmüştür. 28 günlük numunelerde ultra ses geçiş hızı değerlerinde yaklaşık olarak %5.6 civarında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. 50 °C ortam ısısında 24 saat bekletilen betonlarda ultra ses hızının ilave edilen kazınmış asfalt malzeme miktarına göre değişiminde azaldığı görülmektedir. Kontrol numunelerin ultra ses geçiş hızı değeri 4.59 km/sn iken bu değer kazınmış asfalt malzeme ikamesinin artmasıyla yüzde yirmi kazınmış asfalt içeren numunelerde 4.40 km/sn' ye düşmüştür. 28 günlük numunelerde ultra ses geçiş

hızı değerlerinde yaklaşık olarak %4.13 civarında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. 75 °C ortam ısısında 24 saat bekletilen betonlarda ultra ses hızının ilave edilen kazınmış asfalt malzeme miktarına göre değişiminde azaldığı görülmektedir.

Kontrol numunelerin ultra ses geçiş hızı değeri 4.47 km/sn iken bu değer kazınmış asfalt malzeme ikamesinin artmasıyla yüzde yirmi kazınmış asfalt içeren numunelerde 4.17 km/sn' ye düşmüştür. 28 günlük numunelerde ultra ses geçiş hızı değerlerinde yaklaşık olarak %6.7 civarında bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmalar neticesinde elde edilen ultra ses geçiş hızlarını incelersek, deney numunelerinin 24 saat boyunca maruz kaldığı ortam ısının artması sonucu ölçülen ultra ses geçiş hızlarının %5-7 seviyelerinde azaldığı, betonlarda kazınmış asfalt malzeme ilavesinin arttırılması sonucu ölçülen ultra ses geçiş hızlarının ise %4-7 seviyelerinde azaldığı ortaya çıkmaktadır. Ses geçiş hızının azalmasına, hem ısı nedeniyle beton numunelerindeki suyun azalması hem de KAM miktarının artmasından kaynaklı beton içerisindeki boşluklar neden olmuştur. Ultra ses geçiş hızının azalmasında bitümlü yapıda olan kazınmış asfaltın etkisi vardır. Şöyle ki agrega yerine ikamesinde ortam ısısından ötürü bitüm eriyik hale gelmesi ve betonda az da olsa boşluk meydana getirmesidir.

Ses üstü dalgaların betonun bir yüzünden diğer yüzüne geçme süresini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Beton numuneleri içerisinde mevcut bulunan su miktarı da sesin geçiş süresini etkileyen faktörlerdendir. Ultra ses geçiş hızları incelendiğinde numunelerin içerisinde bulunan suyun varlığına, ortam ısına göre ultra ses hızının artması kanıttır. Betonda bulunan boşluklar su ile dolu olduğunda ultra ses hızı yüksek çıkmıştır. Bunu ortam ısısında bekletilen numunelerden gözlemleyebiliriz. Isının artması sonucu ortamdaki çekilen su yerini boşluğa dönüştürmüş ve ultra ses geçiş hızında azalma meydana getirmiştir.

Kazınmış asfalt malzemenin betonda boşluk meydana getirdiğini bu sebeple ultra ses süresinin arttığını ve buna bağlı olarak hızın azaldığı sonucuna varabiliriz.

Numunelere yapılan ultra ses deneyleri neticesinde elde edilen betonun ses hızına bağlı olarak kalitesinin belirlenmesi çizelge 6.11'de verilmiştir.

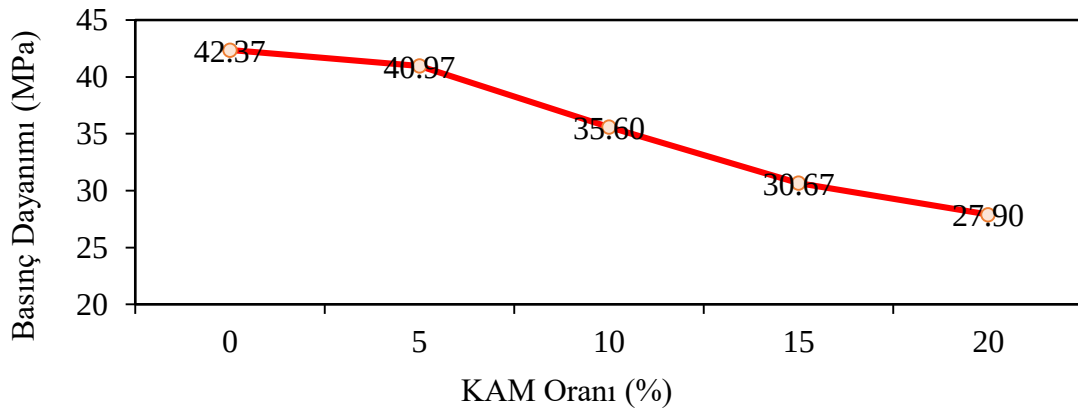
Çizelge 6.11 Ses hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi [29]

Ses Hızı (V) Km/Sn	Betonun kalitesi
> 4.5	Mükemmel
3.5 - 4.5	İyi
3.0 - 3.5	Şüpheli
2.0 - 3.0	Zayıf
< 2.0	Çok zayıf

Çizelge 6.11 dikkate alındığında, ultra ses geçiş hızları göz önünde bulundurulursa, kazınmış asfalt malzemeli beton numunelerinin mükemmel yakın iyi derecede olduğu kalitesinin yüksek ve bu betonların kullanılabilir olduğu söylenebilir.

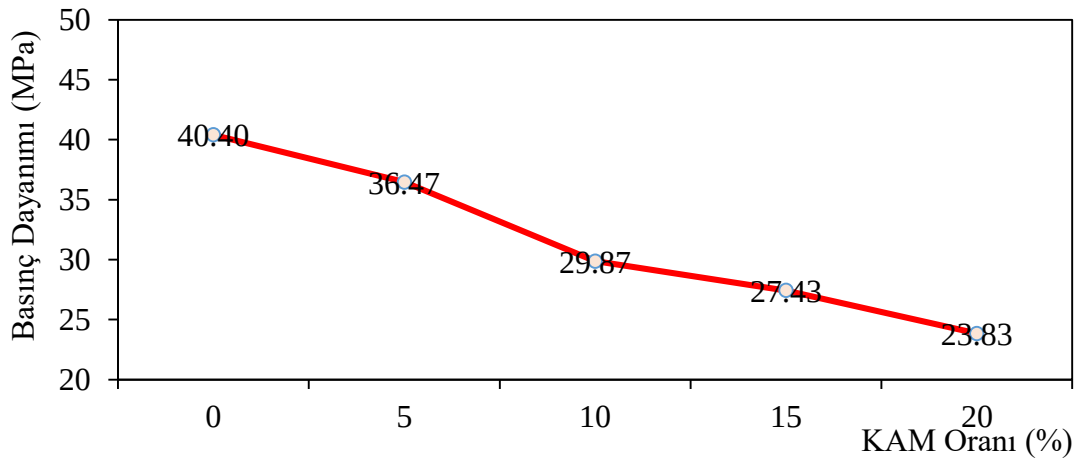
6.2.4. Basınç Dayanım Değerlerinin İrdelenmesi

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 kazınmış asfalt ilaveli 100 mm'lik küp numuneler üzerinde elde edilen 28 günlük basınç dayanımlarının ortam ısisına ve kazınmış asfalt ilavesine göre değişimleri grafikler yardımıyla gösterilmiştir. 28 günlük küp numunelerin oda şartlarında 24 saat bekletilmesinin ardından kırılmasıyla elde edilen basınç dayanım değişimi grafiği Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7 28 günlük numunelerin 25 °C ortam ısisına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları

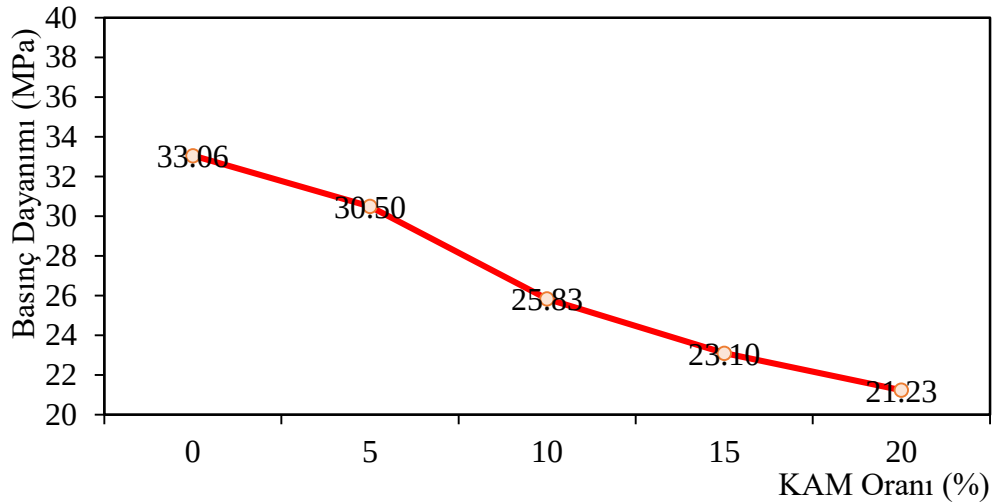
Şekil 6.7 incelendiğinde 28 günlük küp numunelerin 24 saat maruz kaldığı ısı sonrası, pres altında kırılarak elde edilen basınç dayanımları verilmiştir. Şekil 6.9 ‘da verilen grafiğe göre 25 °C ortam ısısında kontrol numunesinde basınç dayanımı 42.37 MPa iken, betonda ince agrega yerine ikame edilen kam miktarının artması sonucu, KAM 20 numunelerde 27.9 MPa değerine düşmüştür. %5 kam ilaveli beton numunelerde 40.97 MPa dayanıma, %10 kam ilaveli numunelerde 35.6 MPa dayanıma, %15 kam ilaveli numunelerde 30.67 MPa dayanıma düşmektedir. 25 °C ortam ısısında 24 saat bekletilen numunelerde kazınmış asfalt malzeme miktarının artması, beton basınç dayanımının azalmasına neden olmuştur. 28 günlük küp numunelerin 50 °C ortam ısısında 24 saat bekletilmesinin ardından kırılmasıyla elde edilen basınç dayanım değişimi grafiği şekil 6.10’da verilmiştir.



Şekil 6.8 28 günlük numunelerin 50 °C ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları

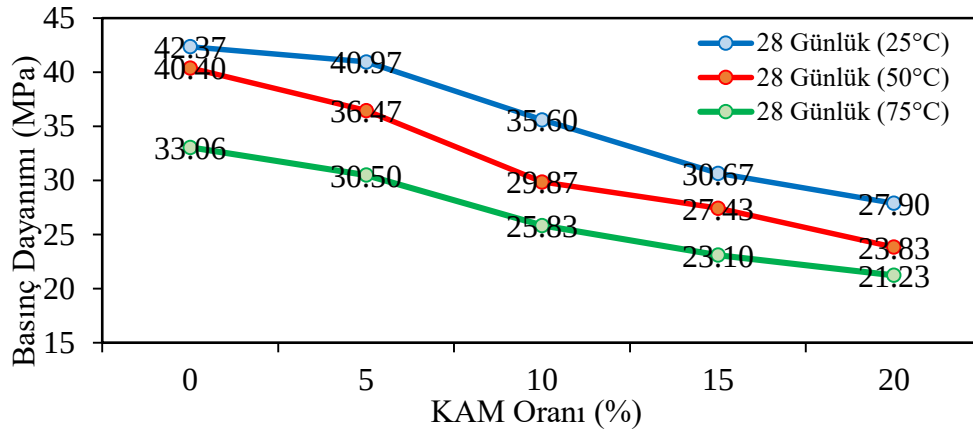
Şekil 6.8 incelendiğinde 28 günlük küp numunelerin 24 saat maruz kaldığı ısı sonrası, pres altında kırılarak elde edilen basınç dayanımları verilmiştir. 50 °C ortam ısısında kontrol numunesinde basınç dayanımı 40.4 MPa iken, betonda ince agrega yerine ikame edilen kam miktarının artması sonucu, KAM 20 numunelerde 23.83 MPa değerine düşmüştür. %5 kam ilaveli beton numunelerde 36.47 MPa dayanıma, %10 kam ilaveli numunelerde 29.87 MPa dayanıma, %15 kam ilaveli numunelerde 27.43 MPa dayanıma düşmektedir. Beton içerisine ince agrega yerine ikame edilen kazınmış

asfalt malzeme miktarının artması, 50 °C ortam ısısında 24 saat bekletilen numunelerde basınç dayanımı azalmasına neden olmuştur. 28 günlük küp numunelerin 75 °C ortam ısısında 24 saat bekletilmesinin ardından kırılmasıyla elde edilen basınç dayanım değişimi grafiği şekil 6.11’de verilmiştir.



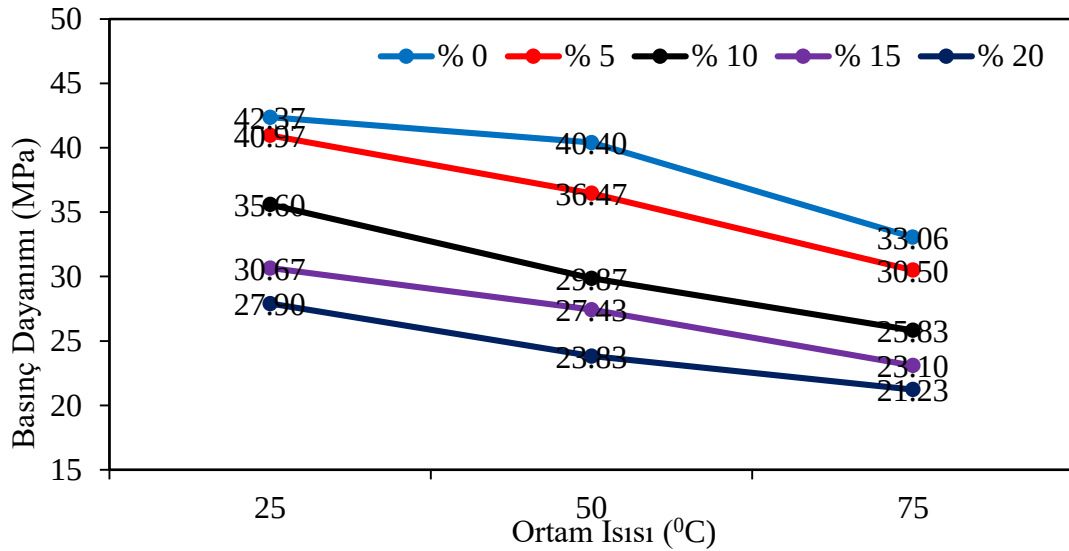
Şekil 6.9 28 günlük numunelerin 75 °C ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları

Şekil 6.9 incelendiğinde 28 günlük küp numunelerin 24 saat maruz kaldığı ısı sonrası, pres altında kırılarak elde edilen basınç dayanımları verilmiştir. 75 °C ortam ısısında kontrol numunesinde basınç dayanımı 33.06 MPa iken, betonda ince agregaya yerine ikame edilen kam miktarının artması sonucu, KAM 20 numunelerde 21.23 MPa değerine düşmüştür. %5 kam ilaveli beton numunelerde 30.5 MPa dayanıma, %10 kam ilaveli numunelerde 25.83 MPa dayanıma, %15 kam ilaveli numunelerde 23.10 MPa dayanıma düşmektedir. Beton içerisine ince agregaya yerine ikame edilen kazınmış asfalt malzeme miktarının artması, 75 °C ortam ısısında 24 saat bekletilen numunelerde basınç dayanımı azalmasına neden olmuştur. Kam ikameli beton numunelerde elde edilen basınç dayanımlarına bakıldığında hem ortam ısısına hem de kam miktarına bağlı olarak basınç dayanımında azalma görülmüştür. 28 günlük küp numunelerin ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları değişimleri şekil 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.10 28 günlük numunelerin ortam ısısına ve içerdiği kam miktarına göre basınç dayanımları

Şekil 6.10 incelendiğinde kazınmış asfalt malzeme miktarının artması betonda basınç dayanımını düşürmüştür. Ortam sıcaklığı olarak bakıldığında ise sıcaklık artışının olması betonda dayanımı yine düşürmüştür. Kazınmış asfalt malzemenin içerdiği bitümden dolayı basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Ortam ısısına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımı değişimi şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.11 Ortam ısısına ve kam miktarına bağlı olarak basınç dayanımları

Şekil 6.11 incelendiğinde kam miktarına ve ortam ısısına bağlı olarak basınç dayanımında azalmalar görülmüştür. Kontrol numunelerinde oda şartları ortamı

ısısında basınç dayanımı 42.37 MPa iken, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım 33.06 MPa değerine gerilemiştir. Aynı şekilde, beton içerisine katılan kazınmış asfalt malzeme miktarına bağlı olarak %5 kam takviyeli beton numunelerde oda şartlarında 40.97 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 30.5 MPa değerine düşmüştür. %10 kam içeren beton numunelerde oda şartlarında 35.6 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 25.83 MPa dayanım değerine düşmüştür. %15 kam içeren beton numunelerde oda şartlarında 30.67 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 23.1 MPa dayanım değerine düşmüştür. %20 kam içeren beton numunelerde oda şartlarında 27.9 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 21.23 MPa dayanım değerine düşmüştür. Kam miktarına ve ortam ısına bağlı olarak basınç dayanımlarındaki değişimler görülmektedir. %5 kam ikameli numunelerde oda şartları ortamı ısısında basınç dayanımı %3 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %9.7 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %7.7 oranında azalmıştır. Aynı şekilde, beton içerisine katılan kazınmış asfalt malzeme miktarına bağlı olarak kam takviyeli beton numunelerde dayanımda düşüş gözlemlenmiştir. %10 kam ilaveli numunelerde oda şartları ortamında bekletilen numunelerde basınç dayanımında %15.97 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %26.07 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %21.85 oranında azalmıştır. %15 kam içeren beton numunelerde oda şartları ortamında bekletilen numunelerde basınç dayanımında %27.62 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %32.10 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %30.12 oranında azalmıştır. %20 kam içeren beton numunelerde oda şartları ortamında bekletilen numunelerde basınç dayanımında %34.15 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %41.01 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %35.77 oranında azalmıştır. Beton içerisine eklenen kazınmış asfalt malzeme betonda dayanımı yarıya düşürmeye yakın derecede olumsuz etkilemiştir. Üç farklı ortam ısısında kırılan numunelere ait sonuçlardan anlaşılaacağı üzere sıcaklığın artması beton dayanımında azalmaya sebebiyet vermiştir. Basınç dayanımı deneyinde kırılan numunelere ait hasar görselleri resim 6.1-6.5'te

gösterilmiştir. Kontrol numunesinin basınç deneyi sonrası aldığı hasar resim 6.1’de verilmiştir.



Resim 6.1 kontrol numunesi basınç deneyi sonrası oluşan hasar

Resim 6.1 incelendiğinde yapılan basınç dayanımı belirleme deneyi sonrasında kontrol numunesinde hasar belirgin şekilde görülmektedir. Numunenin köşelerinde kopmalar meydana gelmiştir. Numunenin dağılmakta olduğu parçalanacağı tamamen göçmüş duruma geçtiği gözlemlenmiştir. %5 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası aldığı hasar resim 6.2’de verilmiştir.



Resim 6.2 %5 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar

Basınç deneyi sonrasında %5 kazınmış asfalt içerikli numunede meydana gelen hasar resim 6.2’de görülmektedir. Kontrol numunesine ait hasar göz önüne alında %5 kam içerikli numunede hasar bir miktar azalmıştır. %5 numunelerin köşe kısmında kopmalar meydana gelmiştir. %10 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası aldığı hasar resim 6.3’te verilmiştir.



Resim 6.3 %10 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar

Basınç deneyi sonrasında %10 kazınmış asfalt içerikli numunede meydana gelen hasar resim 6.3’te görülmektedir. %5 asfalt içerikli numuneye ait hasar göz önüne alında %10 kam içerikli numunede hasar bir miktar azalmıştır. %10 kam içerikli numunelerin üzerinde çatlaklar kılcal ve gözle görülebilir seviyededir. Numune üzerinde çatlak olmasına rağmen kopma meydana gelmemiştir. Kazınmış asfalt malzemenin artması çatlak oluşumunun önüne geçilmesinde önemli rol oynamıştır. %15 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası aldığı hasar resim 6.4’te verilmiştir.



Resim 6.4 %15 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar

Basınç deneyi sonrasında %15 kazınmış asfalt içerikli numunede meydana gelen hasar resim 6.4'te görülmektedir. %10 asfalt içerikli numuneye ait hasar göz önüne alındığında %15 kam içerikli numunede hasar bir miktar azalmıştır. %15 kam içerikli numunelerin üzerinde çatlaklar kılcal ve gözle görülebilir seviyededir. Numune üzerinde çatlak olmasına rağmen kopma meydana gelmemiştir. Kazınmış asfalt malzemenin artması çatlak oluşumunun önüne geçilmesinde önemli rol oynamıştır. Kazınmış asfalt malzemenin içerdiği bitüm beton içerisindeki agregaları birbirine yapıştırırcasına dağılmamasını sağlamıştır. Numune dağılmadan bir bütün olarak bütünlüğünü korumuştur. %20 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası aldığı hasar resim 6.4'te verilmiştir.

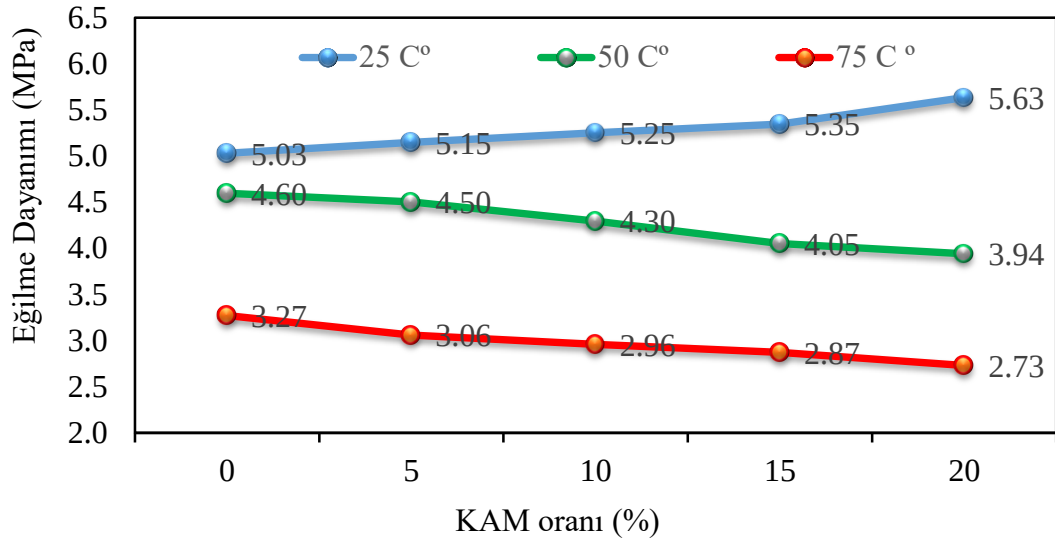


Resim 6.5 %20 kazınmış asfalt içerikli numunenin basınç deneyi sonrası oluşan hasar

Basınç deneyi sonrasında %20 kazınmış asfalt içerikli numunede meydana gelen hasar resim 6.5'te görülmektedir. %15 asfalt içerikli numuneye ait hasar göz önüne alında %20 kam içerikli numunede hasar bir miktar azalmıştır. %20 numunelerin üzerinde çatlaklar kılcal ve gözle görülebilir seviyededir. Numune üzerinde çatlak olmasına rağmen kopma meydana gelmemiştir. Kazınmış asfalt malzemenin artması çatlak oluşumunun önüne geçilmesinde önemli rol oynamıştır. Kazınmış asfalt malzemenin içerdiği bitüm beton içerisindeki agregaları birbirine yapıştırırcasına dağılmamasını sağlamıştır. Numunelerde kontrol numunesinde köşe kısımlarında hasar ve kopmalar yaşanırken %20 kazınmış asfalt numunesinde bu durum ortadan kalkmıştır. Basınç dayanımını düşürmüş olan kazınmış asfalt malzeme çatlak oluşumunun önüne geçmede önemli rol oynamıştır. Beton içerisine ince agregaya yerine ikame edilen kazınmış asfalt betonda çatlak oluşumunu engellemiş olumlu sonuç sağlamıştır.

6.2.5. Eğilmede çekme Dayanım Değerlerinin irdelenmesi

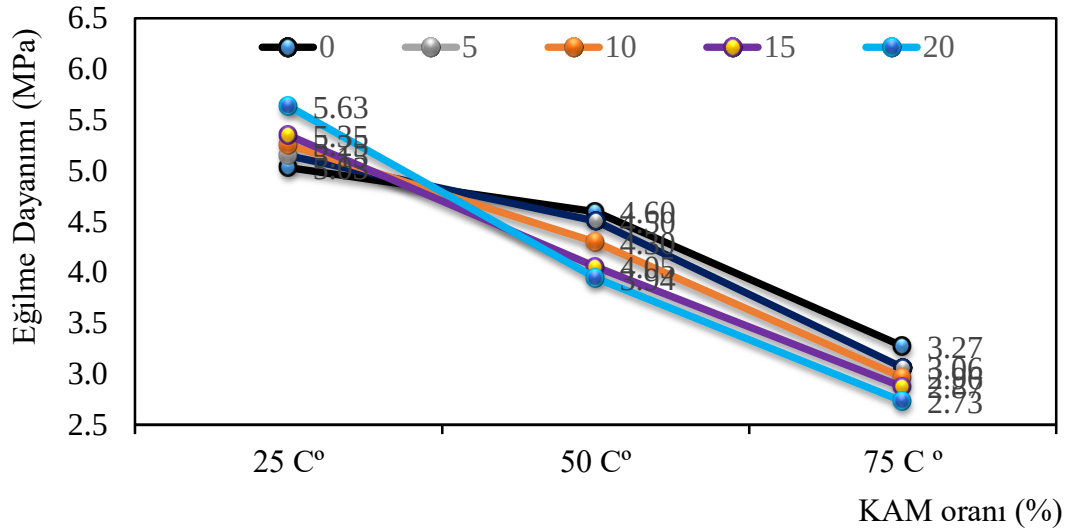
Kür havuzunda 28 gün tamamlandıktan sonra çıkarılan ve ardından 24 saat oda ısısında bekletilen 100x100x500 mm boyutlarındaki kiriş numunelerden elde edilen eğilmede çekme dayanımlarının grafik üzerinde karşılaştırılması şekil 6.14'te verilmiştir.



Şekil 6.12 Ortam ısılarına ve içerdiği kam miktarına bağlı olarak numunelerdeki eğilmede çekme dayanım grafiği

Şekil 6.12 incelendiğinde ortam sıcaklığının artması kam takviyeli numunelerde daha kolay kırılmaya sebep olduğu söylenebilir. 28 günlük kür sonunda oda şartlarında 24 saat bekletilen kirişlerin kırılması sonucu içerdiği kam miktarına göre dayanım artışı görülmektedir. Kazınmış asfalt malzeme miktarının artması eğilmede çekme dayanımında artış gözlemlenmiştir. Beton içerisine ince agrega yerine ikame edilen kazınmış asfalt malzeme betonda elastik davranış sergilemiş, eğilmede çekme dayanımını arttıramaya katkı sağlamıştır. Oda şartları altında kırılan kirişler gevrek olarak kırılmamış, daha esnek ve sünek davranış sergileyerek yumuşak kırılmıştır. Oda şartları altında kırılan kiriş numunelerde eğilmede çekme dayanımında artış gözlemlenmiştir. 50 °C ortam ısısı altında kırılan kirişlerde eğilmede çekme dayanımında azalma söz konusudur. Kazınmış asfalt malzeme miktarının artması eğilmede çekme dayanımında düşüşe sebep olmuştur. Sıcaklığın artması ile beraber beton içerisindeki kazınmış asfalt malzemeye ait bitüm eriyik hale gelmiştir. Bunun sonucunda agrega tanelerinin dışını çepeçevre saran bitüm tanelerden kolay ayrılmış, aderans kaybından dolayı daha kolay kırılma meydana gelmiştir. 75 °C ortam ısısı altında kırılan kirişlerde eğilmede çekme dayanımında azalma söz konusudur. Kazınmış asfalt malzeme miktarının artması eğilmede çekme dayanımında düşüşe sebep olmuştur. Sıcaklığın artması ile beraber beton içerisindeki kazınmış asfalt

malzemeye ait bitüm eriyik hale gelmiştir. Bunun sonucunda agregatanelerinin dışını çepeçevre saran bitüm tanelerden kolay ayrılmış, aderans kaybından dolayı daha kolay kırılma meydana gelmiştir. Kazınmış asfalt malzemenin ince agregaya yerine ikamesinde eğilmede çekme dayanımları 50 °C ve 75 °C ortam ısısı altında dayanım düşüşüne sebebiyet vermiştir. Bu düşüşün kaynağı kazınmış asfalt malzemenin içerdiği bitümden kaynaklanmaktadır. Bu sebepten ötürü kuvvet etkisi altında agregatanelerinin birbirinden kopması ayrılması daha kolay olmuştur. Bu durum eğilmede çekme dayanımını olumsuz etkilemiştir. Ortam ısisına bağlı olarak numunelerdeki eğilmede çekme dayanımı değişimi grafiği şekil 6.13’te verilmiştir.



Şekil 6.13 Ortam ısisına bağlı olarak numunelerdeki eğilmede çekme dayanımı değişimi grafiği

Şekil 6.13 incelendiğinde ortam sıcaklığının artması kam takviyeli numunelerde daha kolay kırılmaya sebep olduğu söylenebilir. 28 günlük kür sonunda oda şartlarında 24 saat bekletilen kirişlerin kırılması sonucu içerdiği kam miktarına göre dayanım artışı görülmektedir. 50 °C ve 75 °C ortam ısısı altında dayanım düşüşüne sebebiyet vermiştir. Bu düşüşün kaynağı kazınmış asfalt malzemenin içerdiği bitümden kaynaklanmaktadır. Bu sebepten ötürü kuvvet etkisi altında agregatanelerinin birbirinden kopması ayrılması daha kolay olmuştur. Bu durum eğilmede çekme dayanımını olumsuz etkilemiştir.

6.2.6. Ağırlık düşürme deney sonuçları

İnce agregaya yerine ikame edilerek üretilen kazınmış asfalt takviyeli küp ve kırış numunelerin ağırlık düşürme deney sonuçları verilmiş ve numunelere ait resimler resim (6.6-6.8)'de incelenmiştir.



Resim 6.6 25 °C ortam sıcaklığında deneye tabi küp numunelerdeki ağırlık düşürme sonrası hasar (sol başta kontrol numunesi olmak üzere sağa doğru kam oranının artması sonucunda oluşan değişim)

Resim 6.6 incelendiğinde 25°C ortam ısısında bekletilen numunelerin ağırlık düşürme sonrası aldığı hasar gözle görünmeyecek kadar kılcal olduğundan görselde net olarak değişim farkı gözlenememiştir. 50°C ortam ısısında bekletilen numunelerin ağırlık düşürme sonrası aldığı hasar incelenmesi resim 6.2'de verilmiştir.



Resim 6.7 50 °C ortam sıcaklığında deneye tabi küp numunelerdeki ağırlık düşürme sonrası hasar (sol başta kontrol numunesi olmak üzere sağa doğru kam oranının artması sonucunda oluşan değişim)

Resim 6.7 incelendiğinde 24 saat 50°C ortam ısısına tabi olduktan sonra ağırlık düşürme sonrası hasar gören numunelerde en fazla hasarın meydana geldiği numune kontrol numunesi olmuştur. Kontrol numunesinden sonra, ince agrega yerine ikame edilmiş %5 asfalt karışımlı numunelerde hasar azalmış ve oluşan çatlak mm olarak kontrol numunesinden düşük seviyeye inmiştir. %10 asfalt takviyeli numunelerde ise %5 asfalt karışımına göre hasar seviyesi biraz daha hafifleyerek çatlak oluşumu azalmaya başlamıştır. %15 asfalt karışımında ise yine aynı durum söz konusu olmuştur. %20 asfalt karışımına sahip numunelerde ise hasar seviyesi minimal düzeye inmiş, çatlak oluşumu kılcal düzeye geçmiştir. Minimum hasarın olduğu numune %20 kazınmış asfalt içerikli numuneler olmuştur. 75°C ortam ısısında bekletilen numunelerin ağırlık düşürme sonrası aldığı hasar incelenmesi resim 6.3'te verilmiştir.



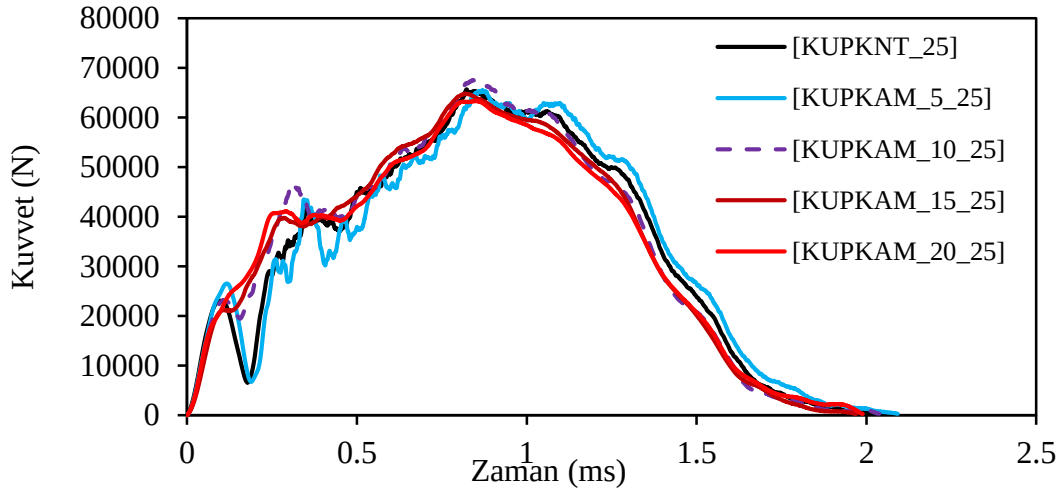
Resim 6.8 75 °C ortam sıcaklığında deneye tabi küp numunelerdeki ağırlık düşürme sonrası hasar (sol başta kontrol numunesi olmak üzere sağa doğru kam oranının artması sonucunda oluşan değişim)

Resim 6.8 incelendiğinde 24 saat 75°C ortam ısısına tabi olduktan sonra ağırlık düşürme sonrası hasar gören numunelerde en fazla hasarın meydana geldiği numune kontrol numunesi olmuştur. Kontrol numunesinden sonra, ince agregaya yerine ikame edilmiş %5 asfalt karışımlı numunelerde hasar azalmış ve oluşan çatlak mm olarak kontrol numunesinden düşük seviyeye inmiştir. %10 asfalt takviyeli numunelerde ise %5 asfalt karışımına göre hasar seviyesi biraz daha hafifleyerek çatlak oluşumu azalmaya başlamıştır. %15 asfalt karışımında ise yine aynı durum söz konusu olmuştur. %20 asfalt karışımına sahip numunelerde ise hasar seviyesi minimal düzeye inmiş, çatlak oluşumu kılcal düzeye geçmiştir. Minimum hasarın olduğu numune %20 kazınmış asfalt içerikli numuneler olmuştur.

Sonuç olarak betonda ince agregaya yerine ikame edilen kazınmış asfalt malzemeli betonlarda ağırlık düşürme deneyinde kazınmış asfalt malzeme miktarının artması ve buna müteakip ortam ısının artması ağırlık düşürme davranışını olumlu yönde etkilemiştir. Kazınmış asfalt takviyesinin artmasıyla birlikte betonlarda oluşan hasar minimum düzeye inmiştir. Orta sıcaklığı olarak ele alında ise 75°C ortam ısında en uygun değer sağlanmıştır.

6.2.6.1. Küp numunelerin ağırlık düşürme deney sonuçları

Betonda ince agrega yerine, genel karışımın %5, 10, 15, 20 oranına denk gelecek şekilde kazınmış asfalt ikameli beton numunelere ağırlık düşürme deneyi yapılmıştır. Kiriş numunelere uygulanan ağırlık düşürme deneyinde, numuneler $H=500$ mm yükseklikten serbest düşürülen vurucu başlığın sadece kendi ağırlığının (6.300 kg) oluşturduğu darbeye maruz bırakılmıştır. Küp numunelerde ise numunelere uygulanan ağırlık düşürme deneyinde, numuneler $H=500$ mm yükseklikten serbest düşürülen vurucu başlık üzerine 10 kg eklenmiş ağırlığın oluşturduğu (16.300 kg) darbeye maruz bırakılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan ağırlık düşürme deney sonuçları aşağıda verilen grafikler yardımıyla açıklanmıştır. 25°C ortam ısısında deneye tabi tutulan küp numunelere ait ağırlık düşürme davranış grafiği şekil 6.14'te verilmiştir.

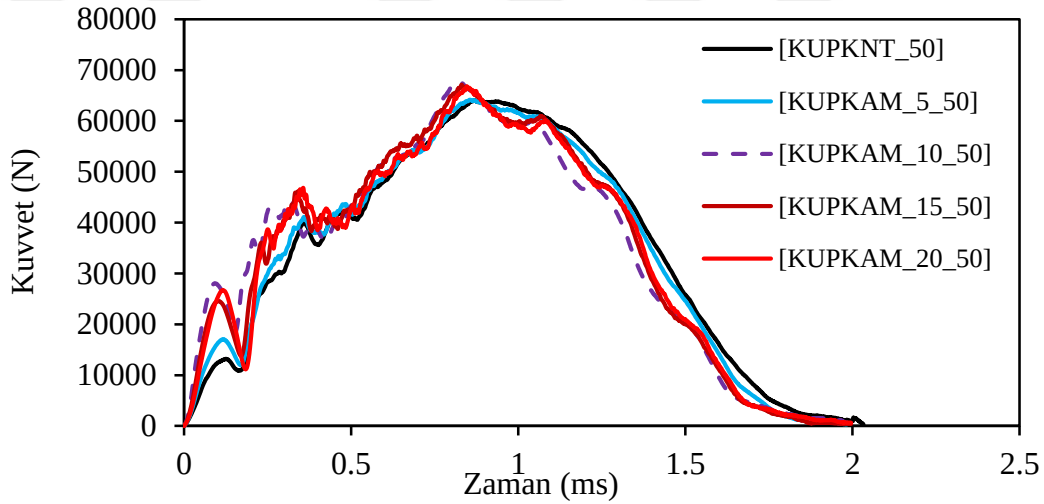


Şekil 6.14 25°C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.14 incelendiğinde oda şartları altında deneye tabi tutulan küp numunelerde kazınmış asfalt içeriğinin artması sonucu elde edilen kuvvet zaman grafiğinde kontrol numunesinden %10 kazınmış asfalt içerikli numunelere kadar

kuvvet artışı gözlemlenmektedir. Grafiğin pik değerinin %10 kam içerikli numunelerde olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum ağırlık düşürme direncinin olduğu karışım %10 kam içerikli numuneler olmuştur. %15 ve %20 kam içeriğine sahip numunelerde %10 kam içeriğine göre düşüş meydana gelmiştir. Beton içerisine ikame edilen kazınmış asfalt katkılı beton karışımında ideal karışım oranının %10 olduğu saptanmıştır.

50 °C ortam ısısı şartlarında deneye tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.15 'te verilmiştir.

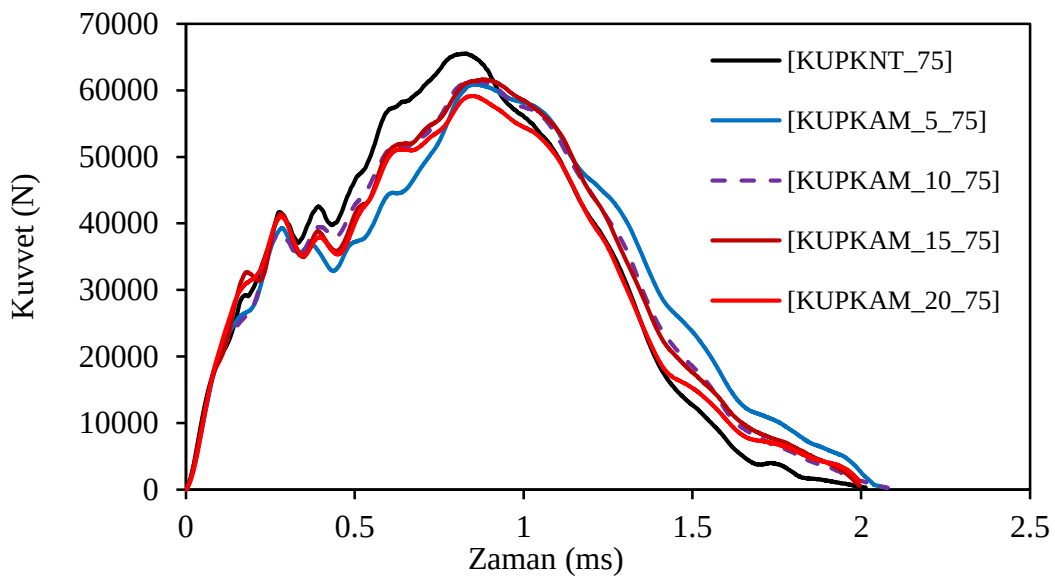


Şekil 6.15 50 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.15 incelendiğinde 50 °C ortam ısısı şartlarında deneye tabi tutulan küp numunelerde kazınmış asfalt içeriğinin artması sonucu elde edilen kuvvet, zaman grafiğinde kontrol numunesinden %10 kazınmış asfalt içerikli numunelere kadar kuvvet artışı gözlemlenmektedir. Grafiğin pik değerinin %10 kam içerikli numunelerde olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum ağırlık düşürme direncinin olduğu karışım %10 kam içerikli numuneler olmuştur. %15 ve %20 kam içeriğine sahip

numunelerde %10 kam içeriğine göre düşüş meydana gelmiştir. Grafik %15 ve %20 kam içeriğinde istikrarlı bir hale gelmiştir. Her iki karışım oranına ait numunelerde oluşan tepki kuvvetleri birbirine yakın çıkmıştır. Bu durumda kam içeriğinin %15 oranından sonra istikrarlı devam ettiğini göstermiştir.

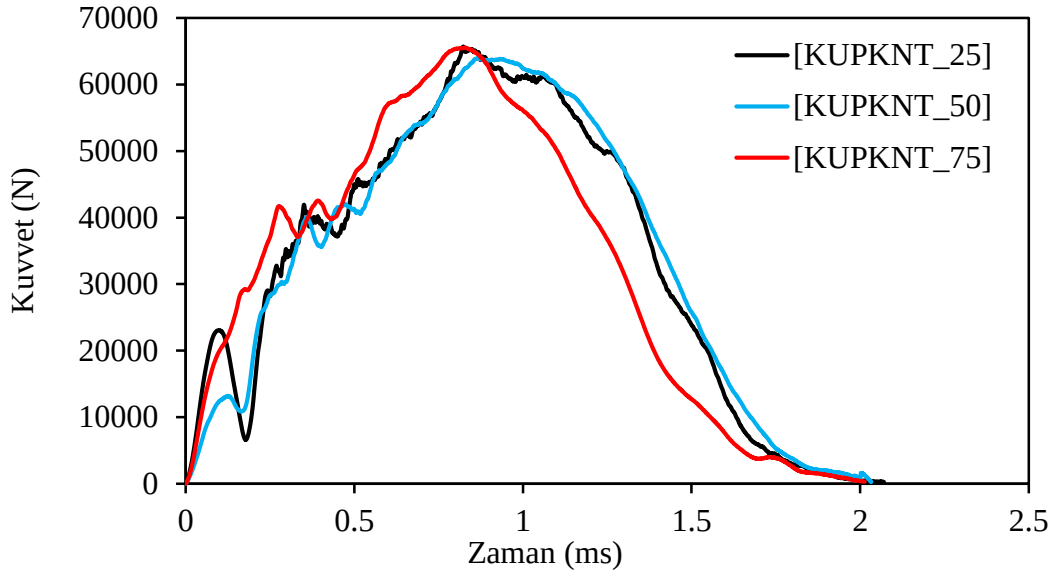
75 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.16 'da verilmiştir.



Şekil 6.16 75 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.16 incelendiğinde 75 °C ortam ısısı şartlarında deneye tabi tutulan küp numunelerde maksimum tepki kuvveti kontrol numunelerinde elde edilmiştir. Kam içerikli numunelerde ısısının artması ve kam içeriğinin artması sonucu tepki kuvvetini direncini azaltmıştır. 25°C ve 50°C ortam ısılarında grafik üzerinde pik değer %10 kazanmış asfalt karışımında iken 75 °C ortam ısısında grafiğin pik değeri kontrol numunesi olmuştur. Ortam ısısının artmasının kazanmış asfalt malzeme ilaveli betonda içerisindeki bitümün eriyik hale gelmesinden dolayı sünek davranış göstermesi ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan kuvvetin azalmasına neden olmuştur.

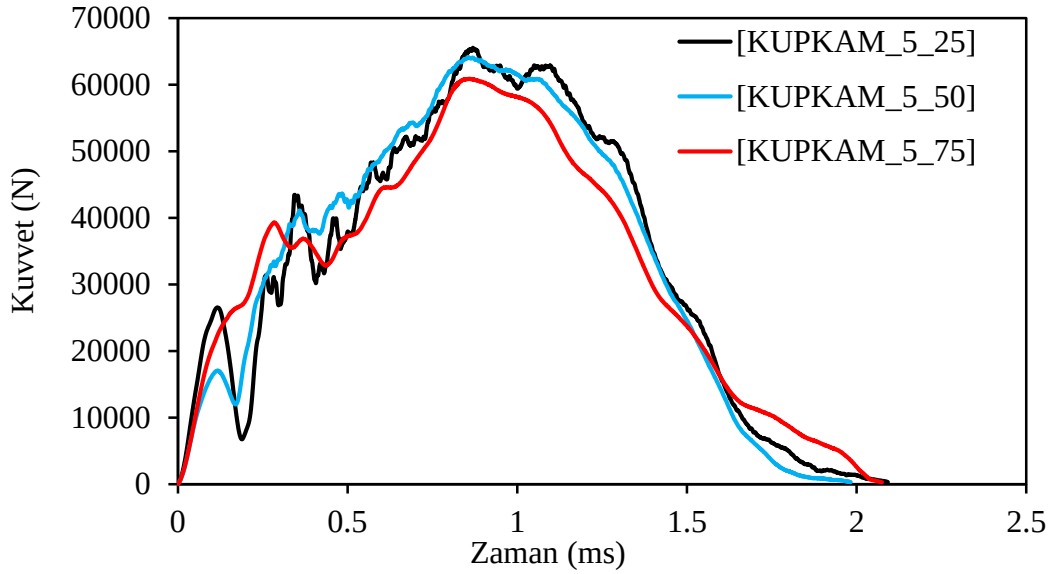
Kontrol numuneleri üzerinde yapılan ağırlık düşürmeli çarpma deneyinde farklı ortam ısılarına göre tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.17’de verilmiştir.



Şekil 6.17 Ortam ısısına göre kontrol küp numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.17 incelendiğinde kontrol numunelerinde grafik üzerinde maksimum sıçramanın 25 °C ortam ısısında olduğu görülmektedir. 75 °C ortam ısısının da bu değere yakın olduğu görülmektedir. Kontrol numunelerindeki farklı ortam sıcaklıklarına ait bu davranışların birbirine yakın olduğu grafik pik değerlerinin aynı seviyede olduğu görünmektedir. Bunun sebebi kontrol numunesinin ağırlık düşürme davranışının ortam sıcaklığından etkilenmediğinin göstergesidir.

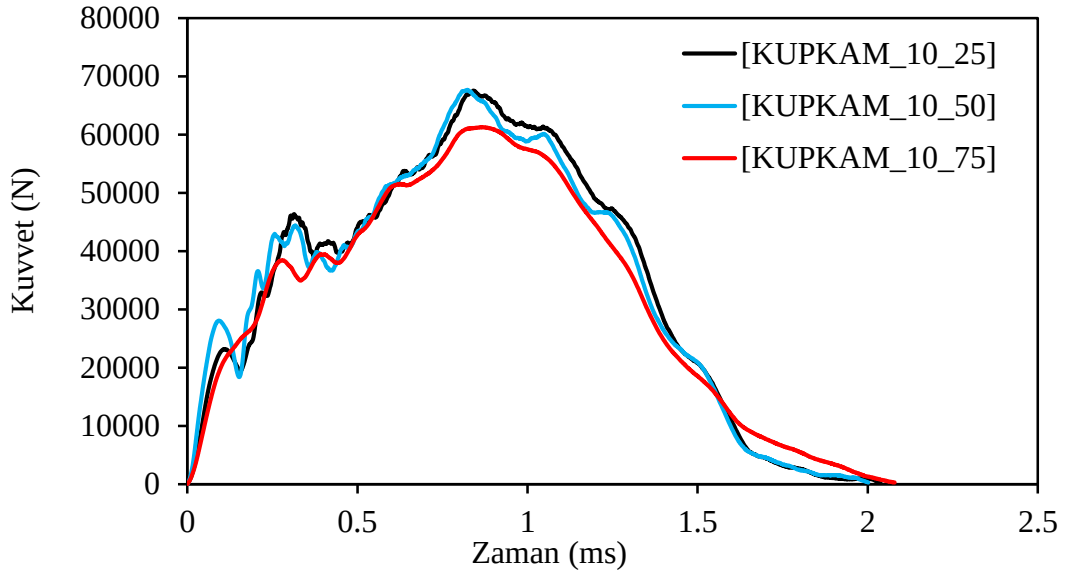
Genel karışımın %5’i oranında karışıma ilave edilen kazınmış asfalt takviyeli farklı ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan küp numunelerin, tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.18 ‘de verilmiştir.



Şekil 6.18 %5 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısıları altında ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.18 incelendiğinde kazınmış asfalt ikameli numunelerde yapılan ağırlık düşürme deneyinde maksimum tepki kuvveti oda şartları ısıları altında elde edilmiştir. Minimum tepki kuvveti ise 75 °C ortam ısılarında gözlemlenmiştir. Ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte grafik pik değeri düşmüştür. %5 kam ilaveli numunelerde ağırlık düşürme davranışının sıcaklıkla birlikte azaldığı görülmektedir. Bu durumun kazınmış asfalt malzemenin sahip olduğu bitümün sıcaklığın etkisiyle sıvı faza doğru hal almasının ve bunun sonucunda ise sünek davranış sergilemesinden kaynaklandığı olduğu sonucuna varılmıştır.

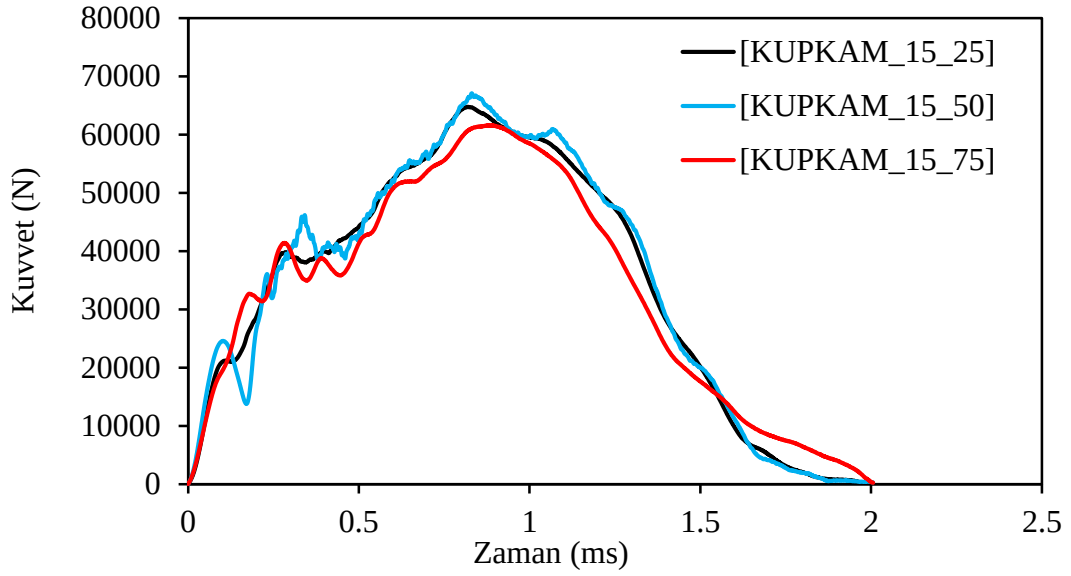
Genel karışımın %10'u oranında karışıma ilave edilen kazınmış asfalt takviyeli farklı ortam ısıları şartlarında deneye tabi tutulan küp numunelerin, tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.19 'da verilmiştir.



Şekil 6.19 %10 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısıları altında ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.19 incelendiğinde kazınmış asfalt takviyeli numunelerde yapılan ağırlık düşürme deneyinde bir önceki grafiğe nazaran %5 karışımda oda şartlarında elde edilmiş olan maksimum tepki kuvveti, %10 asfalt takviyeli numunelerde 50 °C ortam ısısında gözlemlenmiştir. Grafik üzerinde pik değer 50°C ortam ısısında olduğu görülmektedir. Bu durum kazınmış asfalt malzemenin artmasıyla birlikte maksimum ağırlık düşürme davranışı için ideal ortam ısısının 50°C ortam sıcaklığında olduğu görülmektedir.

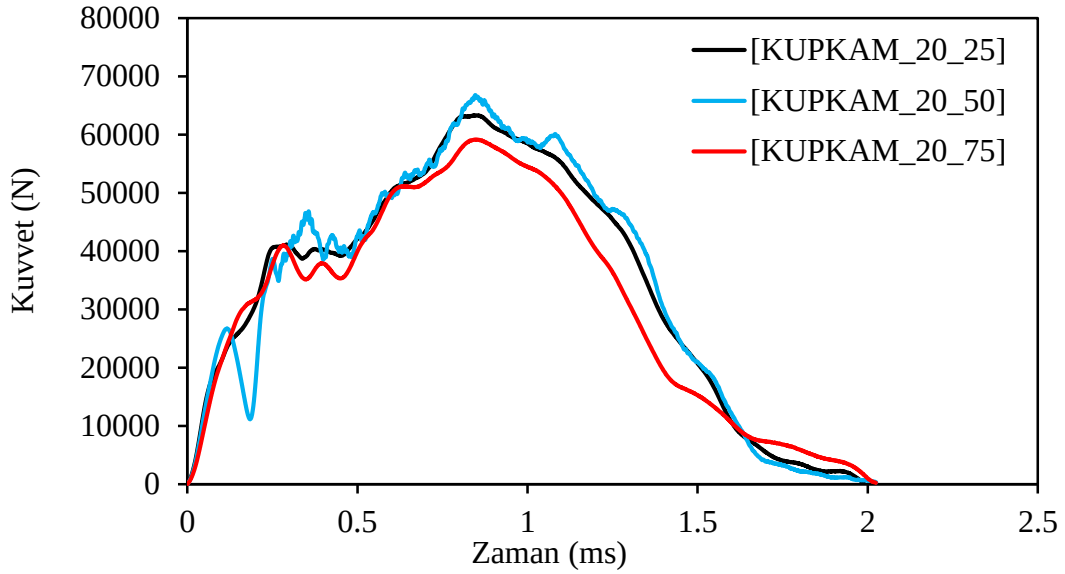
Genel karışımın %15'i oranında karışıma ilave edilen kazınmış asfalt takviyeli farklı ortam ısıları şartlarında deneye tabi tutulan küp numunelerin, tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.20 'de verilmiştir.



Şekil 6.20 %15 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısıları altında ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.20 incelendiğinde kazınmış asfalt takviyeli numunelerde yapılan ağırlık düşürme deneyinde %15 karışımda maksimum tepki kuvveti 50 °C ortam ısısında elde edilmiştir. Kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla beraber grafik üzerindeki eğriler daha kararlı hale gelmiştir. Grafik üzerinde pik değer 50°C ortam ısısında olduğu görülmektedir. Bu durum kazınmış asfalt malzemenin artmasıyla birlikte maksimum ağırlık düşürme davranışı için ideal ortam ısısının 50°C ortam sıcaklığında olduğu görülmektedir.

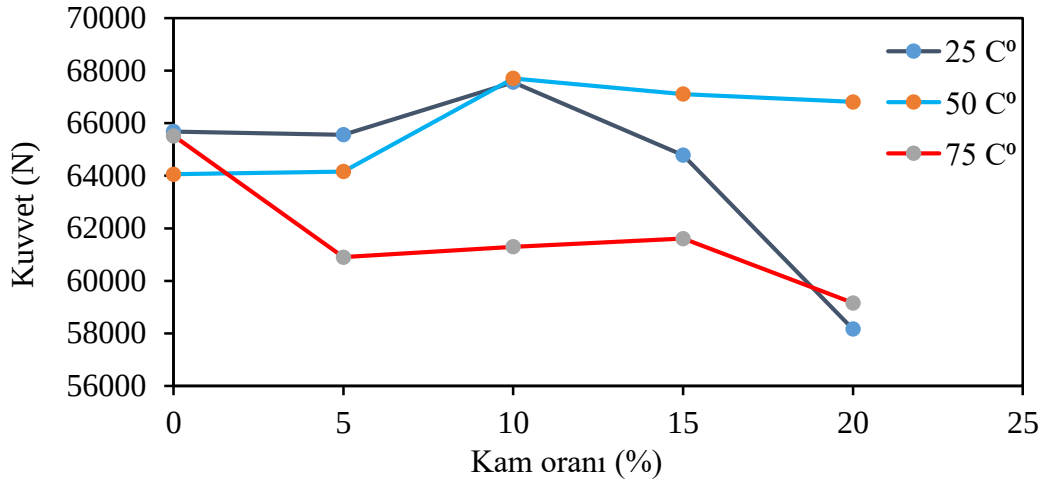
Genel karışımın %20'si oranında karışıma ilave edilen kazınmış asfalt takviyeli farklı ortam ısıları şartlarında deneye tabi tutulan küp numunelerin, tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.21 'de verilmiştir.



Şekil 6.21 %20 kazınmış asfalt ikameli numunelerin farklı ortam ısıları ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.21 incelendiğinde kazınmış asfalt takviyeli numunelerde yapılan ağırlık düşürme deneyinde %20 karışımda maksimum tepki kuvveti 50 °C ortam ısısında elde edilmiştir. Grafik üzerinde pik değer 50°C ortam ısısında olması, kazınmış asfalt malzemenin artması, maksimum ağırlık düşürme davranışı için ideal ortam ısısının 50°C ortam sıcaklığında olduğu sonucuna kanaat getirmiştir.

Kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla beraber grafik üzerindeki eğriler birbirine benzer hale gelmiştir. Kazınmış asfalt ikameli küp numunelerin ağırlık düşürme deney sonuçlarında her karışım oranına ve her ortam sıcaklığına ait üç numunenin ortalamasının içinden en büyük çarpma kuvvetinin temel alındığı değişim grafiği şekil 6.22’de gösterilmiştir.

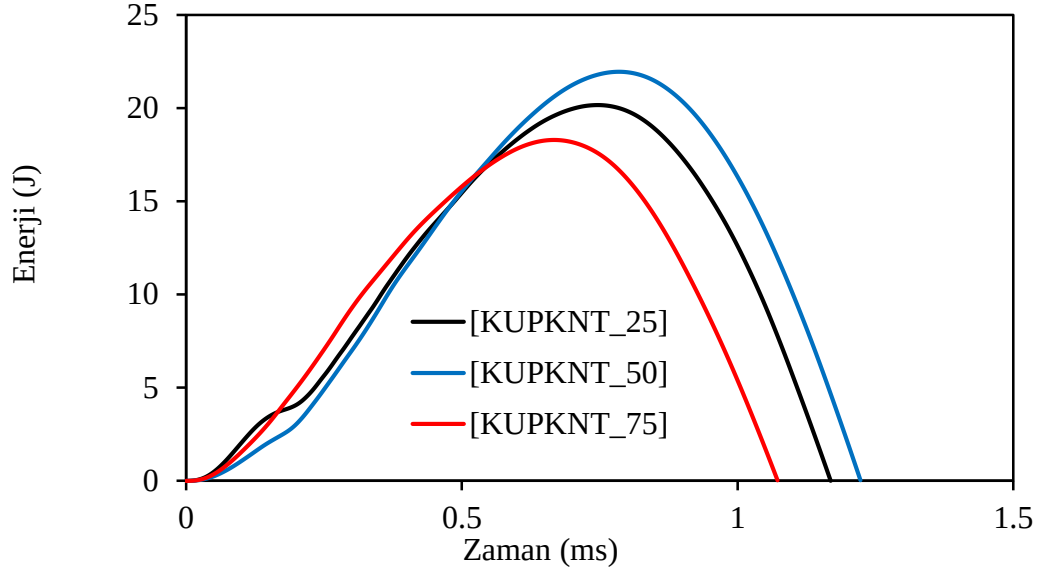


Şekil 6.22 Kazınmış asfalt miktarına ve ortam ısısına göre küp numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası maksimum tepki kuvvetine bağlı olarak değişim grafiği

Şekil 6.22 incelendiğinde ortam ısısına bağlı olarak kazınmış asfalt katkılı beton numunelerin değişim grafiği görülmektedir. Beton içerisine ikame edilen kazınmış asfalt miktarının artması oda şartları altında %10 kazınmış asfalt katkılı numunelere kadar artış göstermekte, %15,20 kazınmış asfalt içerikli numunelerde ise değer azalmaktadır. 50 °C ortam ısısı altında ağırlık düşürme deneyi sonucunda %10 kazınmış asfalt ikameli numunelere kadar artış söz konusu iken, %20 kam içerikli numuneye doğru grafik istikrarlı hale gelmiştir. 75 °C ortam ısısı altında deneye tabi tutulan giriş numunelerde kazınmış asfalt miktarının artmasına bağlı olarak tepki kuvveti de azalış göstermektedir. Sebebi kazınmış asfalt içerikli betonun daha elastik bir yapı kazanmasından dolayı gelen yük etkisi altında oluşacak enerjiyi sönmlemeye yönelik davranış göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Yapılan ağırlık düşürme deneyleri neticesinde, kazınmış asfalt ikamesinin arttırılması betona elastik özellik kazandırmıştır. Bu elastiklik %10 asfalt karışımına kadar belirgin halde gözükmemektedir. Beton karışımına %10 asfalt ikamesinden sonraki %15 ve %20 karışım değerlerinde, betonun tepki kuvvetinde bir miktar azalma meydana getirmiştir. Grafik üzerinde her ortam sıcaklığı için pik değer yakalandığı karışım oranının %10 asfalt içerikli numuneler olduğu saptanmıştır. Bu sebeple beton içerisine ilave edilen kam miktarı için ideal karışım oranının %10 olduğunu

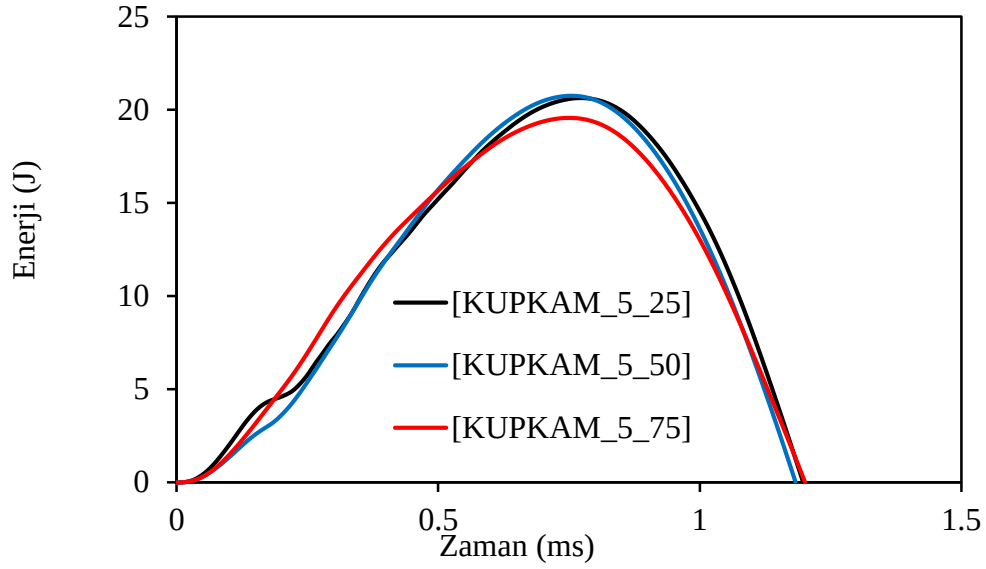
söyleyebiliriz. Ağırlık düşürme deneyi sonuçlarından kontrol numunelerinden elde edilen enerji zaman grafiği şekil 6.23 'te verilmiştir.



Şekil 6.23 Ortam ısisına göre kontrol küp numunelerinin enerji zaman grafiği

Şekil 6.23 incelendiğinde kontrol küp numunelerinden oda şartlarında kırılan numunelerde 20 J enerjiye sahip iken, 50°C ortam ısisında kırılan numunelerde 22 J enerjiye sahiptir. Ortam sıcaklığının 75 °C çıkması durumunda kırılan numunelerde enerji düşüşe geçmiş 18 J değerine düşmüştür. Ortam sıcaklığının artması sonucu enerjinin düşmesi beklenen bir durumdur.

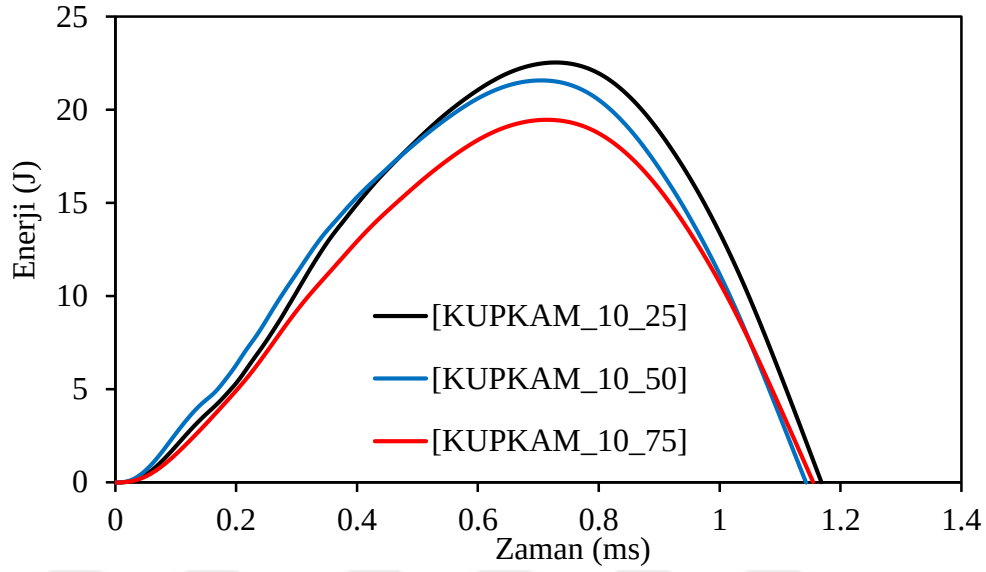
Karışma %5 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiği şekil 6.24'te verilmiştir.



Şekil 6.24 Ortam ısisına göre %5 kam takviyeli k p numunelerinin enerji zaman grafiği

Şekil 6.24 incelendiğinde %5 kam takviyeli k p numunelerinden oda şartlarında kırılan numunelerde 20 J enerjiye sahip iken, 50°C ortam ısisında kırılan numunelerde 20 J enerjiye sahiptir. Ortam sıcaklığının 75 °C çıkması durumunda kırılan numunelerde enerji d ş ge geçmiş 19 J değerine düşmüştür. Kontrol numunesi temel alınırsa enerjide bir miktar düşüş meydana gelmiştir. %5 kazınmış asfalt eklenmesiyle birlikte açığa çıkan enerji bir miktar azalmıştır.

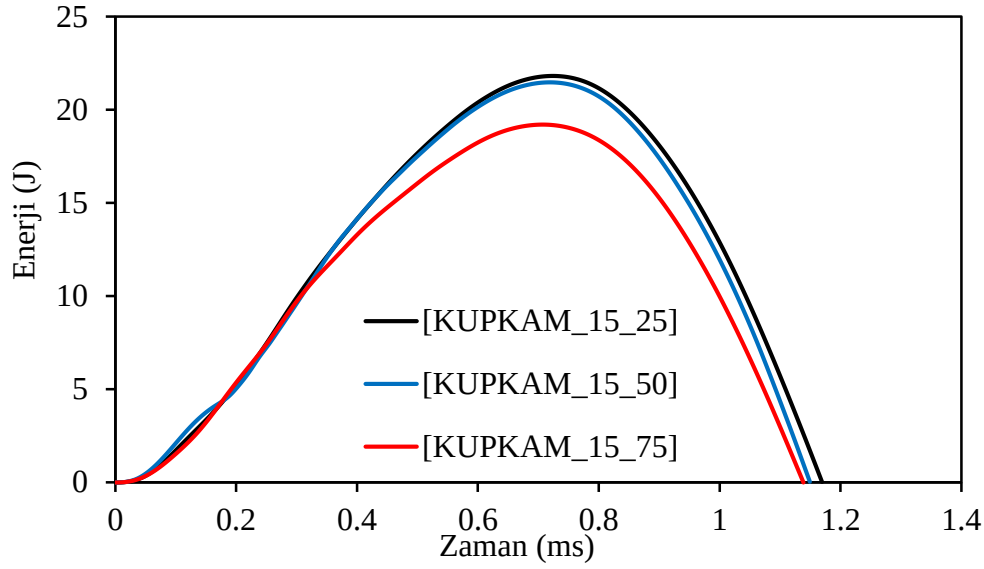
Karışıma %10 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiği şekil 6.25'te verilmiştir.



Şekil 6.25 Ortam ısisına göre %10 kam takviyeli k p numunelerinin enerji zaman grafiği

Şekil 6.25 incelendiğinde %10 kam takviyeli k p numunelerinden oda şartlarında kırılan numunelerde 22 J enerjiye sahip iken, 50°C ortam ısisında kırılan numunelerde 21 J enerjiye sahiptir. Ortam sıcaklığının 75 °C çıkması durumunda kırılan numunelerde enerji düşüşe geçmiş 19 J değerine düşmüştür. %5 kam takviyeli numuneler temel alınırsa enerjide bir miktar artış meydana gelmiştir.

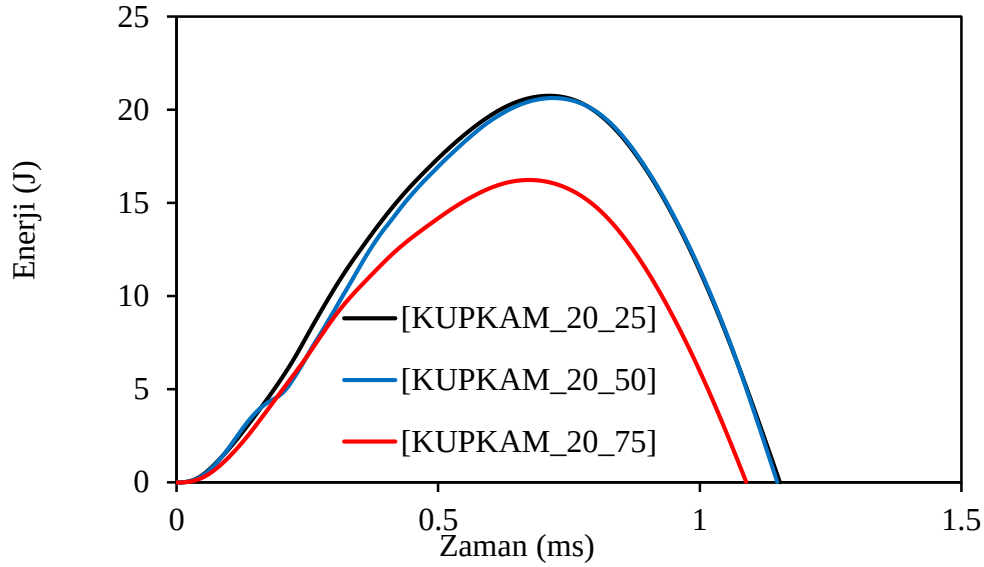
Karışıma %10 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiği şekil 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.26 Ortam ısisına göre %15 kam takviyeli küp numunelerinin enerji zaman grafiğı

Şekil 6.26 incelendiğinde %15 kam takviyeli küp numunelerinden oda şartlarında kırılan numunelerde 21 J enerjiye sahip iken, 50°C ortam ısisında kırılan numunelerde 21 J enerjiye sahiptir. Ortam sıcaklığının 75 °C çıkması durumunda kırılan numunelerde enerji düşüşe geçmiş 19 J değerine düşmüştür. %10 kam takviyeli numuneler temel alınırse enerjide minimal düzeyde bir miktar düşüş meydana gelmiştir.

Karışımına %20 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiğı şekil 6.27'de verilmiştir.

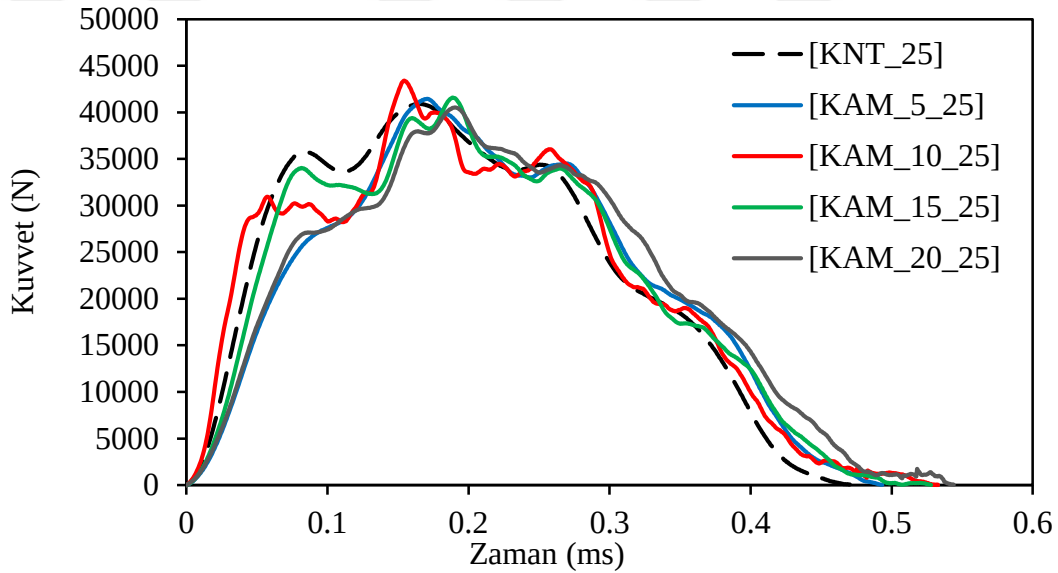


Şekil 6.27 Ortam ısisına göre %20 kam takviyeli küp numunelerinin enerji zaman grafiğı

Şekil 6.27 incelendiğinde %20 kam takviyeli küp numunelerinden oda şartlarında kırılan numunelerde 21 J yakın enerjiye sahip iken, 50°C ortam ısisında kırılan numunelerde 20 J enerjiye sahiptir. Ortam sıcaklığıının 75 °C çıkması durumunda kırılan numunelerde enerji düşüşe geçmiş 16 J değerine düşmüştür. %15 kam takviyeli numuneler temel alınırsa enerjide bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Kontrol numunesinden sonra %5 kam numunesinde bir miktar azalış gösteren enerji değeri, %10 kam takviyeli numunelerde artış göstermiş, %15 ve %20 kam içeriğıine sahip numunelerde düşüşe geçmiştir. Genel anlamda kazınmış asfalt malzemenin artması enerjiyi düşürmüştür. Sebebi ise kazınmış asfalt malzemenin betona elastik özellik yükleyip oluşacak tepki kuvvetini sönümlemesinden kaynaklanmaktadır. Saha betonları için kullanılması planlanan bu betonların, kullanılabilir olduğıu saptanmıştır.

6.2.6.2. Kiriş numunelerin ağırlık düşürme deney sonuçları

Betonda ince agrega yerine, genel karışımın %5, 10, 15, 20 oranına denk gelecek şekilde kazınmış asfalt ikameli beton numunelere ağırlık düşürme deneyi yapılmıştır. Kiriş numunelere uygulanan ağırlık düşürme deneyinde, numuneler $H=500$ mm yükseklikten serbest düşürülen vurucu başlığın sadece kendi ağırlığının oluşturduğu darbeye maruz bırakılmıştır. 25 °C ortam ısısı şartlarında deneye tabi tutulan kiriş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.28 'de verilmiştir.

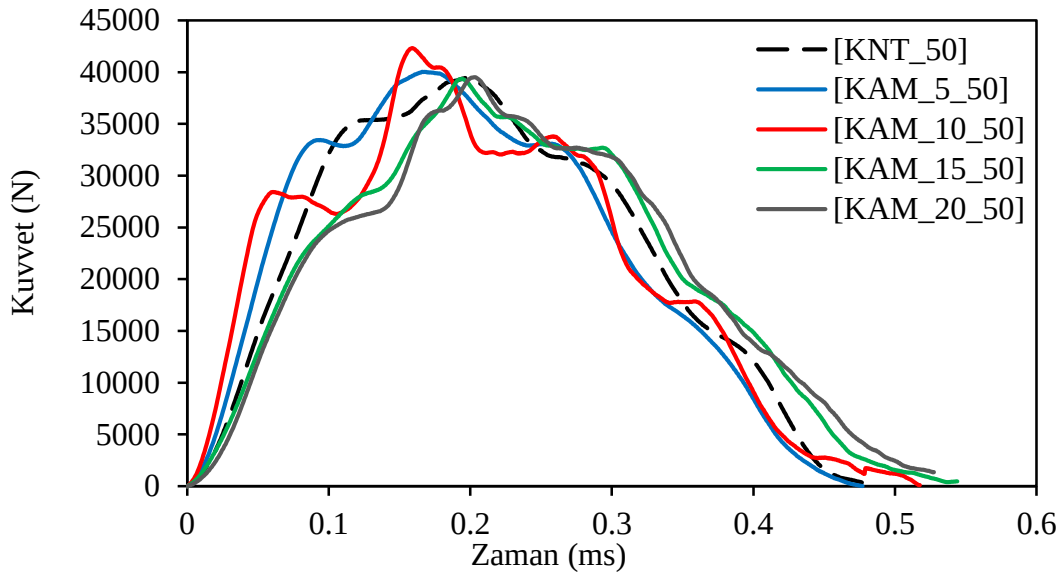


Şekil 6.28 25 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan kiriş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.28 incelendiğinde oda şartları altında deneye tabi tutulan kiriş numunelerde kazınmış asfalt içeriğinin artması sonucu elde edilen kuvvet, zaman grafiğinde kontrol numunesinden %10 kazınmış asfalt içerikli numunelere kadar kuvvet artışı gözlemlenmektedir. Grafik üzerinde maksimum sıçramanın %10 kam içerikli numuneler olduğu ve maksimum tepki kuvvetinin bu numunelerde olduğu saptanmıştır. Karışımın, %15 ve %20 kam içeriğine sahip numunelerde %10 kam

içeriğine göre düşüş meydana gelmiştir. Beton içerisine ikame edilen kazınmış asfalt katkılı beton karışımında ideal karışım oranının %10 olduğu saptanmıştır.

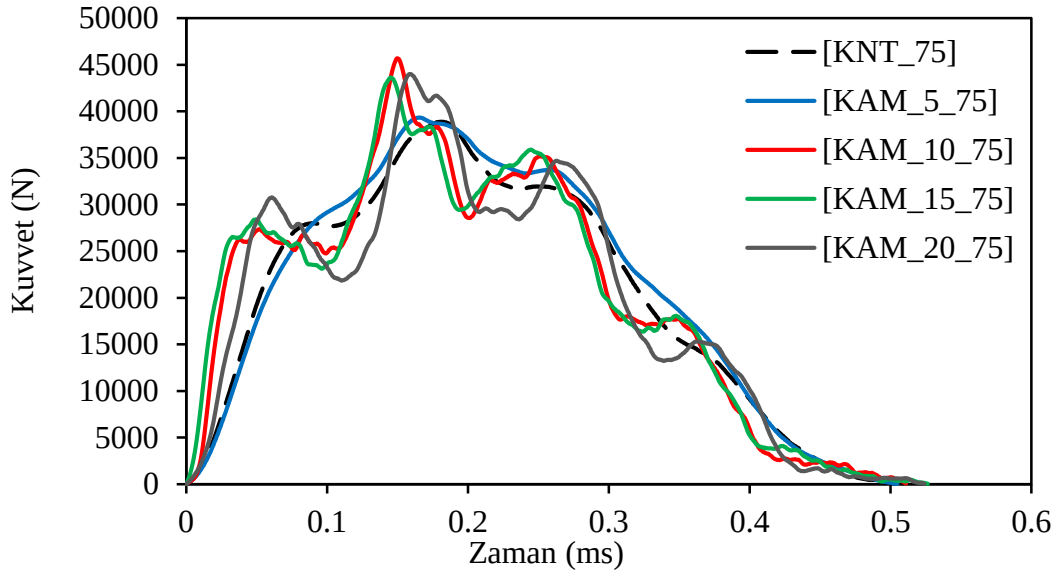
50 °C ortam ısısı şartlarında deneye tabi tutulan kiriş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.29 ‘da verilmiştir.



Şekil 6.29 50 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan kiriş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği

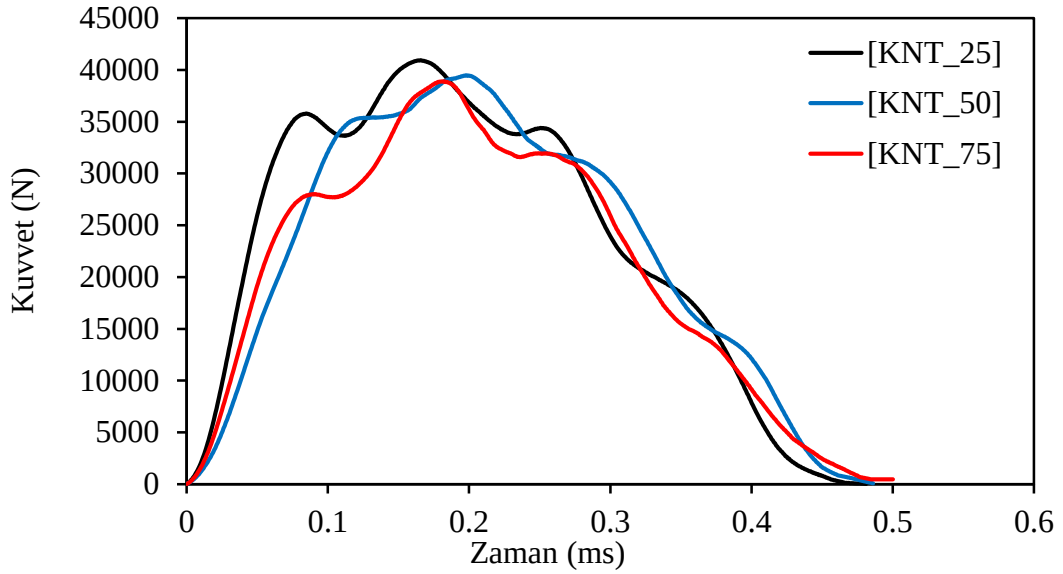
Şekil 6.29 incelendiğinde 50°C ortam ısısı altında ağırlık düşürmeyle kırılan kirişlerde maksimum tepki %10 kam içeriğine sahip numunelerde olduğu görülmektedir. Oda şartları altında kırılan kirişlerden farklı olarak, %10 kam içeriğinden sonra dayanım kuvveti artış göstermiştir. Ortam ısısının ve kam miktarının artması sönümleme kapasitesini de artırmıştır.

75 °C ortam ısısı şartlarında deneye tabi tutulan kiriş numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.30 ‘da verilmiştir.



Şekil 6.30 75 °C ortam ısısı şartlarında ağırlık düşürme deneyine tabi tutulan kiriş numunelerinin tepki kuvveti-zaman grafiği

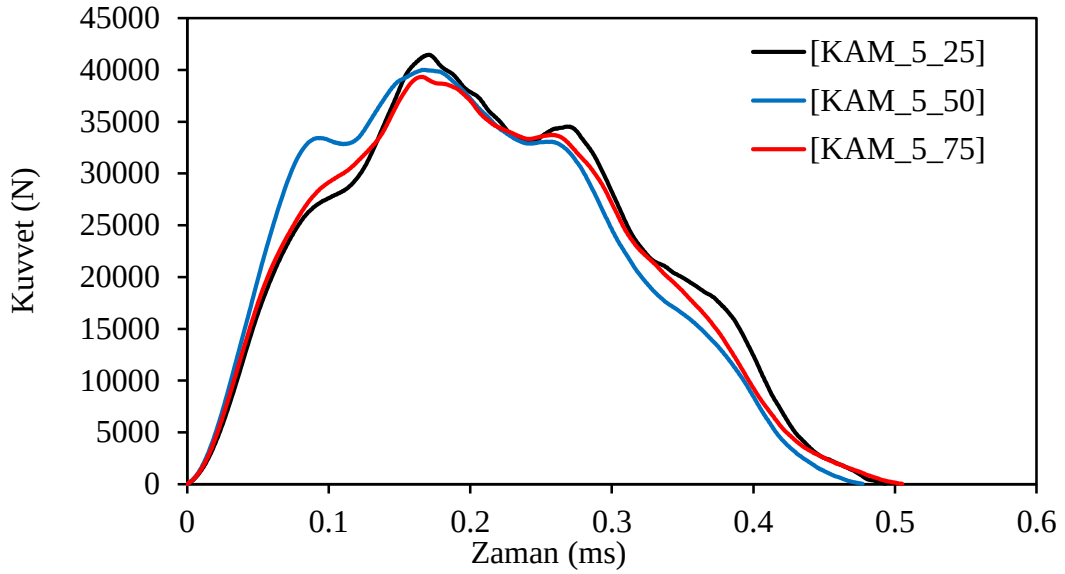
Şekil 6.30 incelendiğinde 75 °C ortam ısısında kırılan numunelerde grafik daha yoğunlaşmış hale gelmiştir. Numuneler artık en kararlı yapıda özelliklerini göstermeye meyilli olmuştur. Kam içeriği olarak %10 içeriğe sahip numuneler maksimum tepki kuvvetine sahip numuneler olmuştur. Kontrol numunesi ve %5 kam içeriğine sahip numuneler birbirine yakın ve düşük tepki kuvvetine sahip numuneler olmuştur. Karışımın %15 ve %20 'si oranına sahip kazınmış asfalt takviyeli numunelerde maksimum değere yakın tepki kuvvetine sahip numuneler olmuştur. Ortam sıcaklığı olarak 75°C 'de eğri daha kararlı bir yapıya gelmiştir. Kontrol kiriş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası farklı ortam ısılarında tepki kuvveti-zaman eğrisi şekil 6.31'de verilmiştir.



Şekil 6.31 Kontrol kiriş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.31 incelendiğinde kontrol numunelerinde oluşan tepki kuvveti oda şartlarında maksimum değerde, ortam ısısının 75 °C'ye çıkmasıyla minimum değere sahip olmuştur. Oda şartlarında kırılan kirişlerde oluşan tepki kuvveti 4100 N civarında iken ortam ısısının 50 °C'ye düşmesiyle 4000 N altına, ortam ısısının 75 °C'ye çıkmasıyla bu değer 3800 N değere kadar inmiştir. Isının artması kontrol numunelerinde tepki kuvvetini düşürmüştür.

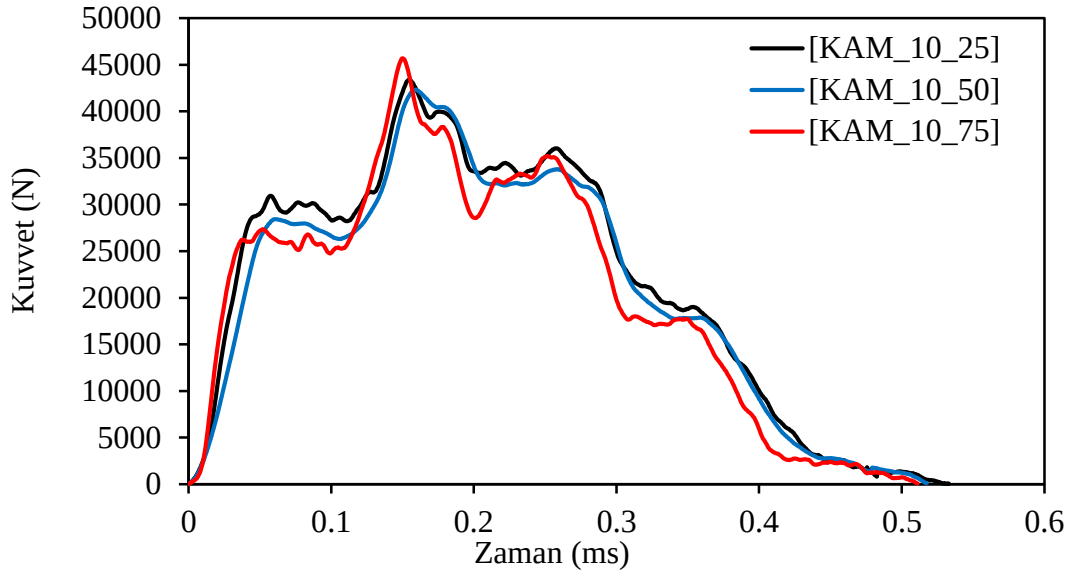
Karışımın içerisine ilave edilen %5 kazınmış asfalt ikameli numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.32'de verilmiştir.



Şekil 6.32 %5 kam ilaveli kiriş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.32 incelendiğinde, karışıma %5 asfalt ilave edilmesi sonucu ağırlık düşürülüp kırılan kirişlerin oluşturduğu tepki kuvvetine bakılırsa kontrol numunelerine benzer bir durum söz konusudur. Fakat kontrol numunelerinden farklı olarak eğri biraz daha kararlı bir yapı kazanmıştır. Üç farklı ortam ısısı birbirine yakın hale gelmiştir. Maksimum sıçramanın yine oda şartlarında sağlandığını ve minimum eğrinin 75 °C ortam ısısında meydana geldiği saptanmıştır. Kontrol numunesine göre karışıma %5 asfalt ilavesinin oluşan tepki kuvvetine bakılırsa olumlu etki oluşturduğu söylenebilir.

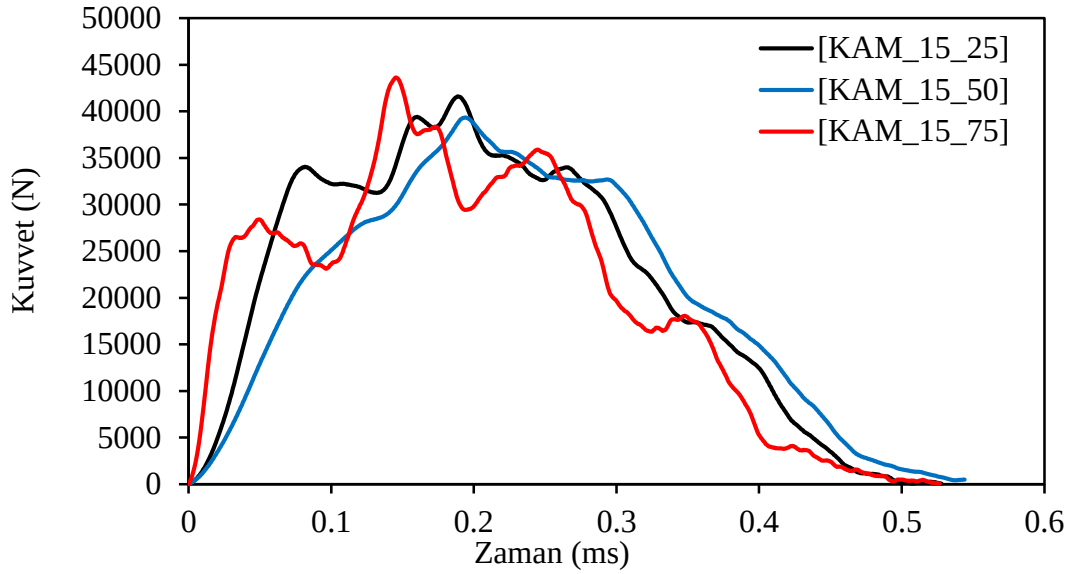
Karışımın içerisine ilave edilen %10 kazınmış asfalt ikameli numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.33'te verilmiştir.



Şekil 6.33 %10 kam ilaveli kiriş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.33 incelendiğinde %10 kam takviyeli numunelerde tepki kuvveti artışı göstermiştir. Kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla oluşan tepki kuvveti oda şartlarında 4200 N, 75 °C ortam ısısında ise 4600 N kadar çıkmıştır. Kazınmış asfalt ikamesinde maksimum tepki kuvveti %10 asfalt karışımında elde edilmiştir. Kam takviyeli numunelerde betonun oluşturduğu tepki direncinin, maksimum faydanın sağlandığı karışım oranı %10 asfalt karışımı olmuştur.

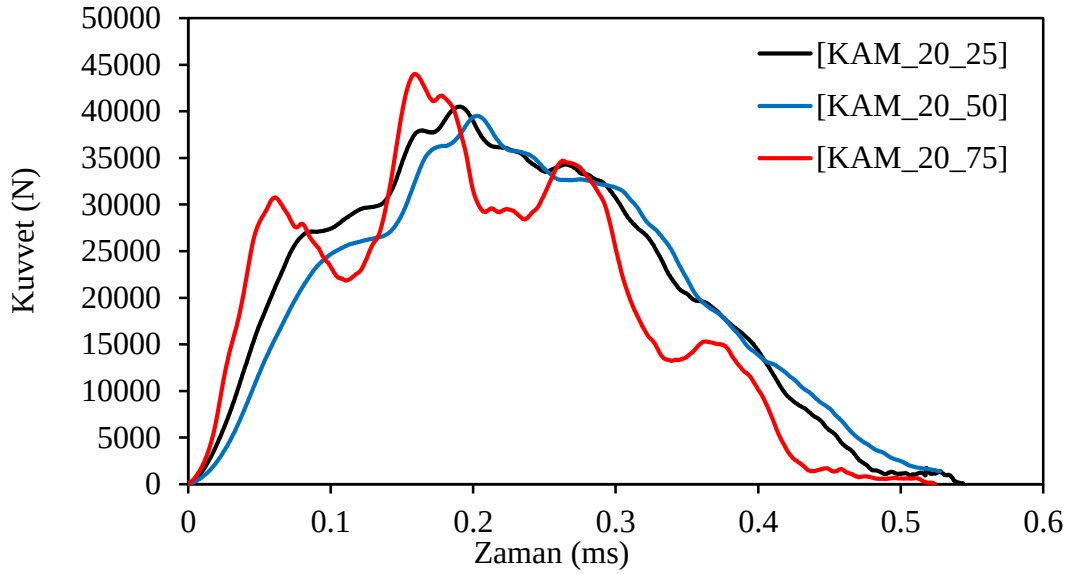
Karışımın içerisine ilave edilen %15 kazınmış asfalt ikameli numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.33'te verilmiştir.



Şekil 6.34 %15 kam ilaveli kiriş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.34 incelendiğinde, karışıma %15 asfalt ilave edilmesi sonucu ağırlık düşürülüp kırılan kirişlerde oluşan tepki kuvveti eğrilerine bakılırsa %10 kam takviyeli numunelere göre tepki kuvvetinde bir azalma söz konusudur. Bu durumda bize ideal karışım oranının %10 asfalt katkılı olduğunu, bu değerin üzerinde karışıma eklenen asfalt miktarının dayanımı düşürdüğünün göstergesidir. Üç farklı ortam ısısına göre bakacak olursak eğriler karalı yapısını bozmuştur. Maksimum sıçramanın 75 °C ortam ısısında sağlandığını ve minimum eğrinin 50 °C ortam ısısında meydana geldiği saptanmıştır. Karışıma %15 asfalt ikamesinin olduğu numunelerde oluşan tepki kuvveti, %10 asfalt karışımına göre düşük olduğu %10 asfalt ikamesinden sonraki %15 asfalt karışımı oranının karışıma olumsuz etki oluşturduğu söylenebilir. Fakat bu durum kontrol numunesi göz önüne alındığında, dayanımı önemli derecede etkilemediğinden bu betonların kullanılabilir olduğu söylenebilir.

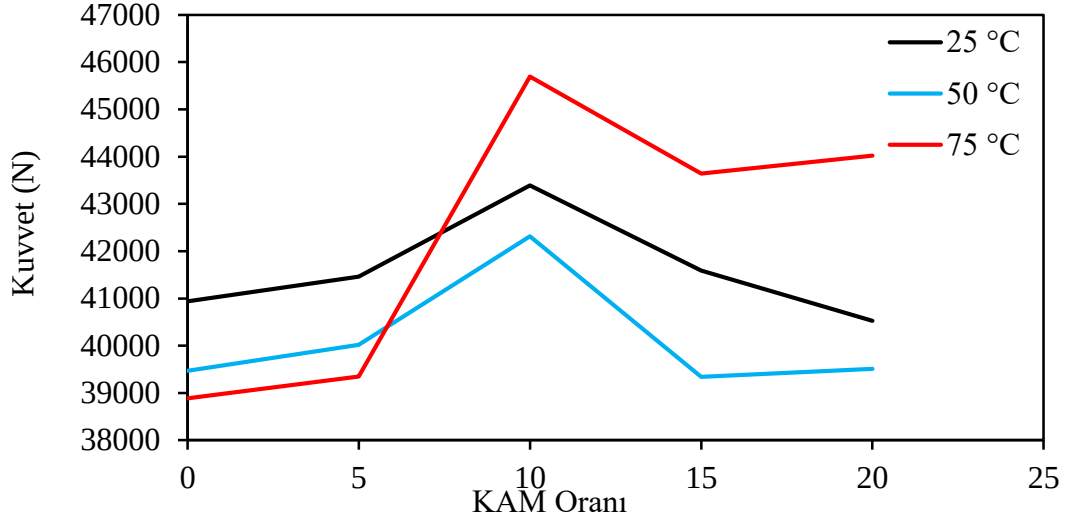
Karışımın içerisine ilave edilen %20 kazınmış asfalt ikameli numunelerin tepki kuvveti-zaman grafiği şekil 6.35'te verilmiştir.



Şekil 6.35 %20 kam ilaveli kiriş numunelerinin ağırlık düşürme deneyi sonrası ortam ısısına bağlı olarak oluşan tepki kuvveti-zaman grafiği

Şekil 6.35 incelendiğinde, karışıma %20 asfalt ilave edilmesi sonucu ağırlık düşürülüp kırılan kirişlerde oluşan tepki kuvveti eğrilerine bakılırsa %15 kam takviyeli numunelere göre tepki kuvvetinde bir azalma söz konusudur. Üç farklı ortam ısısına göre bakacak olursak eğriler karalı yapısını bozmuştur. Karışıma ilave edilen asfalt miktarının artması betonda elastikliği arttırmıştır. Bu durum ağırlık düşürme deneyinde elde edilen eğrilerden anlaşılmaktadır. Eğrilerin inişli, çıkışlı oluşu ve titreşim bir halde olması bunun göstergesidir. Eğrilere bakıldığında maksimum sıçramanın 75 °C ortam ısısında sağlandığını ve minimum eğrinin 50 °C ortam ısısında meydana geldiği saptanmıştır. Karışıma %20 asfalt ikamesinin olduğu numunelerde oluşan tepki kuvveti, %15 asfalt karışımına göre düşük olduğu %10 asfalt ikamesinden sonraki %15 asfalt karışımı ve %20 asfalt karışımlarının karışıma olumsuz etki oluşturduğu söylenebilir. Fakat bu durum kontrol numunesi göz önüne alındığında, dayanımı önemli derecede etkilemediğinden bu betonların kullanılabilir olduğu söylenebilir.

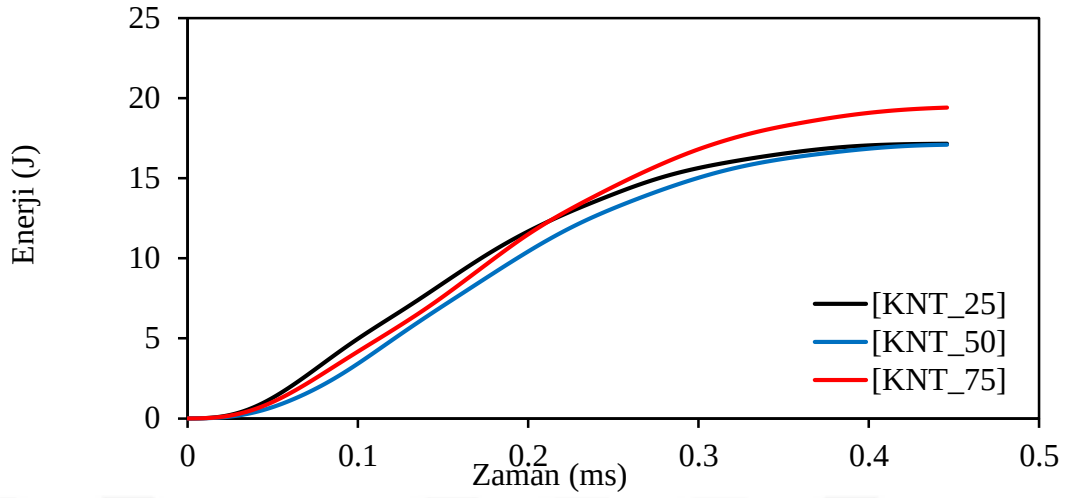
Kazınmış asfalt ikameli kiriş numunelerin ağırlık düşürme deney sonuçlarında her karışım oranına ve her ortam sıcaklığına ait üç numunenin ortalamasının içinden en büyük çarpma kuvvetinin temel alındığı değişim grafiği şekil 6.36’da gösterilmiştir.



Şekil 6.36 Ortam ısisına göre kiriş numunelerde ağırlık düşürme deneyi sonrası oluşan maksimum tepki kuvvetinin kam miktarına göre değişimi

Şekil 6.36 incelendiğinde minimum tepki kuvvetinin 50 °C ortam ısisında olduğu görülmektedir. Ortam sıcaklığı olarak oda şartlarında kırılan kirişler, 50 °C ortam sıcaklığından yüksek çıkmıştır. Fakat bu durumun 25 °C ‘deki numunelerin içerisinde hâlen bir miktar suyun varlığına işaret ettiğini anlayabiliriz. Çünkü 75 °C ortam ısisında kırılan kirişlerde oluşan tepki kuvveti maksimum çıkmıştır. Oda şartları ve 50 °C ortam ısisı eğrileri birbirine benzer fakat minimumdan maksimuma sıralama yapacak olursak oda şartları, 50°C, 75°C olması gerekirken oda şartları 50 °C ortam ısisında deneye tabi numunede açığa çıkan tepkiden yüksek çıkmıştır. Sıcaklık artışının ortamdaki suyu uzaklaştırdığını ve oluşan tepki kuvvetini arttırdığını söyleyebiliriz.

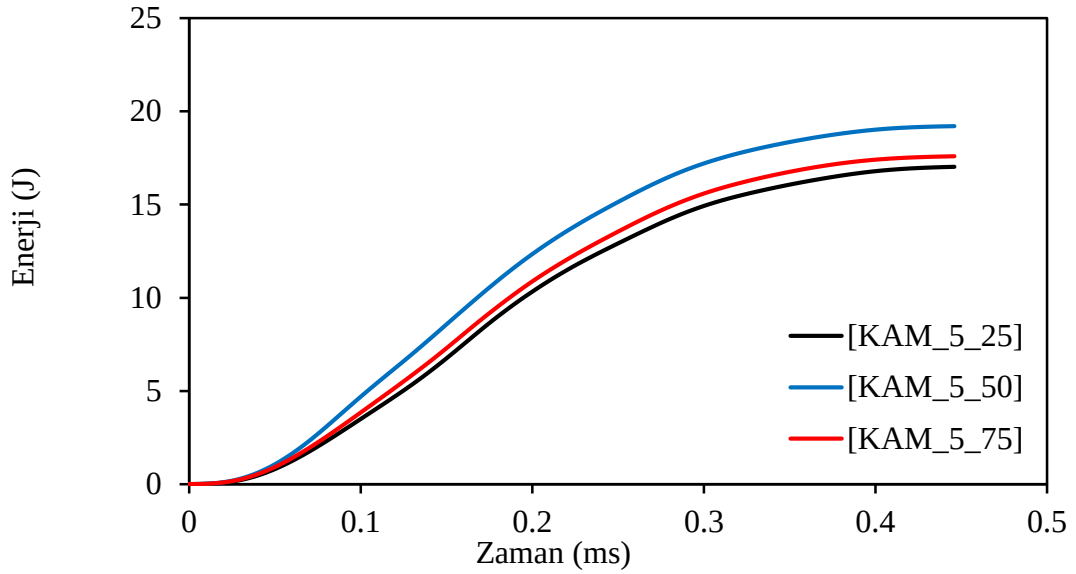
Kontrol kiriş numunelerine ait enerji-zaman grafiği şekil 6.37’de verilmiştir.



Şekil 6.37 Ortam ısısına göre kontrol kiriş numunelerinin enerji zaman grafiği

Şekil 6.37 incelendiğinde kontrol kirişlerine ait enerji zaman eğrilerine bakılırsa en büyük enerjinin 20 J değerine yakın 75 °C ortam ısısında olduğu görülmektedir. Oda şartları ve 50 °C ortam ısılarında enerji değerleri birbirine yakın değerler çıkmıştır.

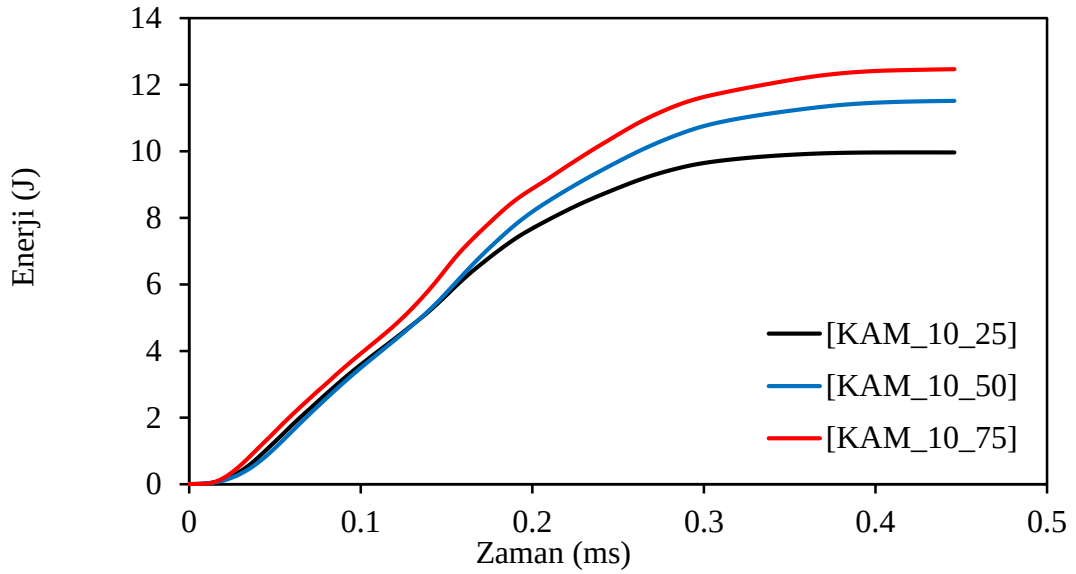
Karışıma %5 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiği şekil 6.38 'de verilmiştir.



Şekil 6.38 Ortam ısisına göre %5 kam takviyeli kiriş numunelerinin enerji zaman grafiğı

Şekil 6.38 incelendiğinde karışıma %5 kam ilave edilmesinin enerji zaman grafiğıne etkisi, kontrol numunesine nazaran bir miktar enerji azalması meydana gelmiştir. Ortam ısisı olarak bakıldığında ise maksimum enerjinin 50 °C ortam ısisında olduğu, minimum enerjinin ise 25 °C ortam ısisında meydana geldiğı görölmektedir.

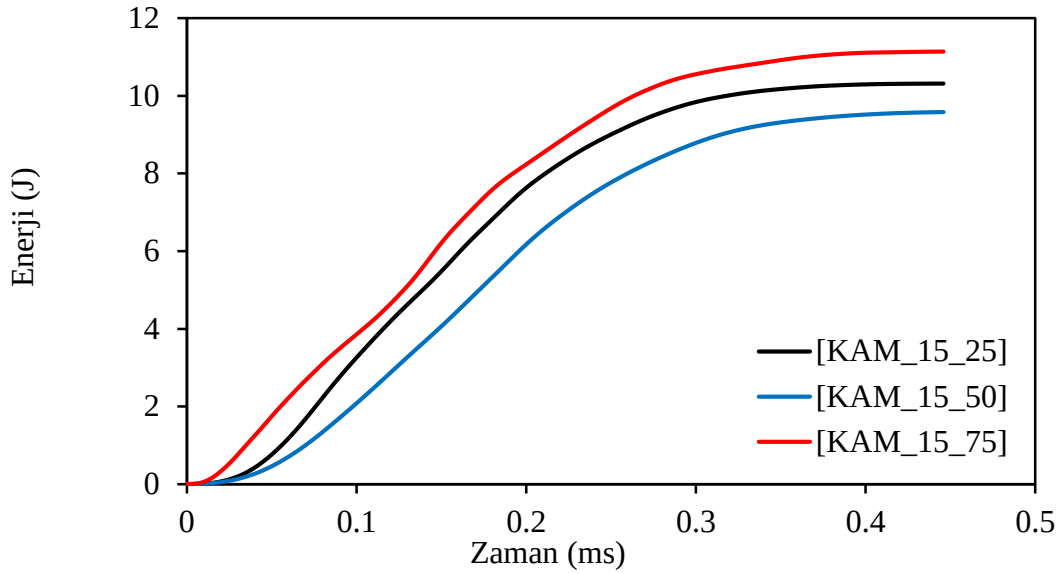
Karışıma %10 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiğı şekil 6.39 'da verilmiştir.



Şekil 6.39 Ortam ısisına göre %5 kam takviyeli kiriş numunelerinin enerji zaman grafiğı

Şekil 6.39 incelendiğinde karışıma %10 kam ilave edilmesinin enerji zaman grafiğıne etkisi, %5 kazınmış asfalt ilaveli numunelere nazaran bir miktar enerji azalması meydana gelmiştir. Bu durum beton içerisine ilave edilen kazınmış asfalt malzemenin enerji sönümleme kapasitesinin olduğunun kanıtıdır. Açığa çıkan enerjinin bir miktarının kazınmış asfalt malzemenin betona kattığı elastik yapıdan sönümlendiğinin göstergesidir. Ortam ısisı olarak bakıldığında ise maksimum enerjinin 50 °C ortam ısisında olduğu, minimum enerjinin ise 25 °C ortam ısisında meydana geldiğı görülmektedir.

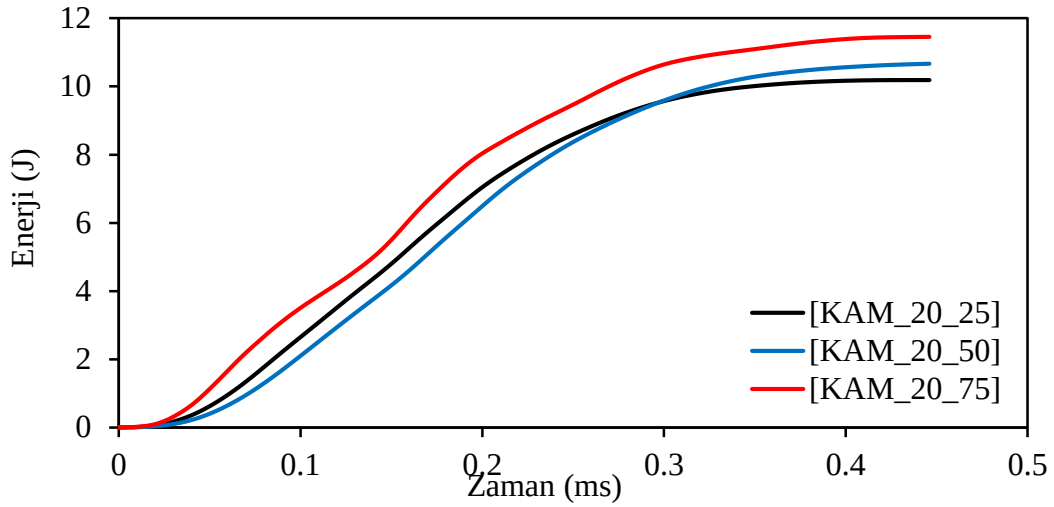
Karışıma %15 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiğı şekil 6.40'da verilmiştir.



Şekil 6.40 Ortam ısisına göre %15 kam takviyeli kiriş numunelerinin enerji zaman grafiğı

Şekil 6.40 incelendiğinde karışıma %15 kam ilave edilmesinin enerji zaman grafiğıne etkisi, %10 kazınmış asfalt ilaveli numunelere nazaran bir miktar enerji azalması meydana gelmiştir. Bu durum beton içerisine ilave edilen kazınmış asfalt malzemenin enerji sönümleme kapasitesinin olduğunun kanıtıdır. Açığa çıkan enerjinin bir miktarının kazınmış asfalt malzemenin betona kattığı elastik yapıdan sönümlendiğinin göstergesidir. Ortam ısisı olarak bakıldığında ise maksimum enerjinin 75 °C ortam ısisında olduğu, minimum enerjinin ise 50°C ortam ısisında meydana geldiğı görülmektedir.

Karışıma %20 kazınmış asfalt ikamesinin dâhil edilmesi sonucu üretilen numunelerin ağırlık düşürme deneyi sonrası elde edilen enerji zaman grafiğı şekil 6.41 'de verilmiştir.



Şekil 6.41 Ortam ısisına göre %20 kam takviyeli kiriş numunelerinin enerji zaman grafiğı

Şekil 6.41 incelendiğinde karışıma %20 kam ilave edilmesinin enerji zaman grafiğıne etkisi, %15 kazınmış asfalt ilaveli numunelere nazaran bir miktar enerji azalması meydana gelmiştir. Bu durum beton içerisine ilave edilen kazınmış asfalt malzemenin enerji sönümleme kapasitesinin olduğunun kanıtıdır. Açığa çıkan enerjinin bir miktarının kazınmış asfalt malzemenin betona kattığı elastik yapıdan sönümlendiğinin göstergesidir. Ortam ısisı olarak bakıldığında ise maksimum enerjinin 75 °C ortam ısisında olduğu, minimum enerjinin ise 25°C ortam ısisında meydana geldiğı görülmektedir.

Ortam ısisı olarak anlamlı veri çıkmamasına karşın enerji zaman grafiklerinin kazınmış asfalt oranına göre incelendiğinde açığa çıkan enerjiler anlamlı veriler oluşturmaktadır. Kontrol numunesinde 20 J değerinde başlayan enerji miktarı, %5 kam numunesinde 18 J değerine, %10 kam numunesinde 14 J değerine, %15 kam numunesinde 11 J değerine, %20 kam numunesinde 10 J değerine düşmüştür. Kazınmış asfalt malzeme miktarının artarken diğer yandan enerjinin düşmesinin sebebi kazınmış asfalt malzemenin betona elastik özellik kazandırmasından kaynaklanmaktadır. Elastik yapı kazanan beton üze3rine gelen enerjinin büyük bir kısmını sönümleyecek kapasiteye gelmiştir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada karayollarından temin edilmiş, ömrünü tamamlamış eskiyen yolların kazınmasından elde edilen kazınmış asfalt malzemenin betona ikame edilmesinin dayanıma ve ağırlık düşürmeye karşı etkisi ve üretilecek betonların saha betonu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Beton içerisine genel karışımın % 0, 5, 10, 15, 20 oranında kazınmış asfalt malzeme ikame edilmiştir. Üretilen 100x100x100 mm küp ve 100x100x500 mm kiriş numuneler üç farklı ortam ısısında 24 saat bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuştur.

İnce agregaya yerine ikame edilen kazınmış asfalt malzemeli karışımlarda yapılan taze beton deneyi sonucunda kam ilavesi arttıkça betonun işlenebilirliği artmıştır. Sebebi beton içerisine ince agregaya yerine ikame edilen kazınmış asfalt malzemenin su emme kapasitesinin ince agreganın su emme kapasitesinden düşük olmasıdır.

Yapılan çalışmada kam ilaveli beton numunelerde birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde üretilen betonların birim hacim ağırlığı 2330 kg/m^3 ile 2260 kg/m^3 arasında değişmektedir. Kontrol numunesinde 2322 kg/m^3 iken %20 asfalt ilaveli betonda bu değer 2265 kg/m^3 düşmüştür. Giderek azalış gösteren birim hacim ağırlıkta kazınmış asfalt malzemenin bitümle kaplı olması ve plastik özellik göstermesi sebep olmuştur.

Çalışmalar neticesinde üretilen numunelerde ultra ses geçiş hızı ölçümleri sonucunda kazınmış asfalt malzeme miktarının artmasıyla birlikte ultra ses geçiş hızı azalmıştır. Ortam ısısının ve kazınmış asfalt içeriğinin artmasıyla birlikte ultra ses geçiş hızı yine azalmıştır. Bu durumun oluşmasındaki en büyük etkenin beton içerisine ince agregaya yerine ikame edilen kazınmış asfalt malzemenin sebep olmasıdır. Kazınmış asfalt malzemenin betonda boşluk meydana getirdiği ve bu sebeple ultra ses geçiş hızını düşürdüğü kanaatine varılmıştır.

Yapılan çalışmada küp numunelere uygulanan basınç deneyinde kazınmış asfalt malzemeni artmasıyla birlikte basınç dayanımında ciddi azalmalar meydana gelmiştir.

Kam miktarının artması sonucu basınç dayanımı azalırken ortam sıcaklığına bağlı olarak numunelerde oluşan çatlak kılcal düzeye inmiştir. Ortam ısısının artmasıyla oluşan çatlak boyutu da kılcal düzeyde seyretmiştir. Kazınmış asfalt ikamesinin artmasıyla numuneler basınç etkisi altında göçmüş olsa dahi bir bütün olarak dağılmama özelliği göstermiştir.

Deneyisel çalışmada numunelere yapılan eğilmede çekme deneyi sonucunda kazınmış asfalt malzeme içeriğinin artması sonucu oda şartları ortam ısısı altında kırılan numunelerde dayanım artışı gözlemlenmiştir. Kazınmış asfalt malzemenin içerdiği bitümden dolayı numunenin elastiklik kazanması eğilmede çekme dayanımını arttırmıştır. Fakat ortam ısısının artmasıyla (50°C ve 75°C ortam ısılarında) birlikte dayanım düşmüştür. Bunun sebebi ise sıcaklığın artması sonucu eriyik hale gelen bitümün eğilmede çekmede yük etkisi altında agrega ve beton arasındaki bağın daha kolay kopmasına sebebiyet vermesinden kaynaklanmaktadır.

Numunelere yapılan ağırlık düşürme deneyi sonuçlarında ise numunelerin maksimum tepki kuvveti %10 kazınmış asfalt ilaveli numunelerde olduğu saptanmıştır. Eğrinin başlangıçtan %10 kazınmış asfalt oranına kadar arttığı sonrasında düştüğü ortaya çıkmıştır. Kazınmış asfalt malzemenin bu değerden sonra tepki direncine olumsuz etkisi olduğu kanaatine varılmıştır. Ağırlık düşürme deneyinde numuneler üzerinde oluşan çatlaklar kazınmış asfalt ikamesinin ve bekletilen ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte minimal düzeye gelmiştir. Oluşan çatlaklar kılcallar şeklinde ve numune dağılmadan bir bütün halinde kalmıştır. Ağırlık düşürme deneyinde açığa çıkan enerjinin incelenmesi sonucunda ise kazınmış asfalt malzemenin artmasıyla birlikte enerjinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumda kazınmış asfalt malzemenin gelen tepki kuvvetini söndümlendiğinin göstergesi olmuştur.

Sonuç olarak beton içerisine ikame edilen asfalt malzemenin saha betonları olarak kullanılabilir olduğu, beton üzerine gelebilecek ağırlık düşürme yüklerini karşılayabilecek kapasitede olduğu ve betona elastiklik kazandırdığı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] C. Konca, “Çimento cinsi, donatı çapı ve tipinin beton-donatı aderansına etkisi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006.
- [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] Anonim, *Geri Kazanım Projeleri El Kitabı*. Kadıköy, İstanbul: Çevre Vakfı. 2006.
- [5] İ. B. Topcu, “Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol 27, No 12, pp1817-1823, 1997.
- [6] R. Demirboğa, “Isıl işlem yöntemiyle modifiye edilmiş atık eps köpüklerin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, 2007.
- [7] Ş. Oruç, B. Yılmaz, M.S. Mazlum, “Geri Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, cilt.30 sayı.1: sayfa.87-93, 2018.
- [8] A.G. Güngör, F. Orhan, S. Kaşak, Y. Dost, “Kazılmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanılması”, Karayolu 1.Ulusal Kongresi, Ankara,2008,
- [9] B. Işıkdag, “Atık asfalt kırıklarının beton yollarda agregaya yerine kullanılmasının araştırılması”, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2009.
- [10] A. Kan, “Isıl işlem yöntemiyle modifiye edilmiş atık EPS köpüklerin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, 2007.
- [11] İ. Salta, “Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [12] S. Akçaözoğlu, “Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği”, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008.

- [13] A. Akyıldız, “Beton üretiminde bor atıklarının puzzolan materyal olarak kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, 2012.
- [14] Ç. Çelik, E. Gürdal, “Yerfıstığı kabuğunun agrega olarak kullanım olanakları”, *İTÜ Dergisi*, cilt. 4 sayı.1: sayfa. 37-46, 2005.
- [15] S. Demirdağ, L. Gündüz, “Volkanik Cürufların inşaat Endüstrisinde Hafif Beton Agregası Olarak Değerlendirilme Kriterleri”, *3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, Ankara, 2003, s. 52-58.
- [16] 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.
- [17] C. Kılıçoğlu, “Cam atıklarının betonda agrega ve çimento yerine kullanımı”, Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 2013.
- [18] Y. F. Özer, “Bazı endüstriyel atıkların betonun mekanik özellikleri etkisi”, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2012.
- [19] S. Öztürk, “İsparta atık su arıtma tesisi filtre keki atığının betona katılabilme olanaklarının araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2013.
- [20] A. Tuncan, A. Çetin, M. Tuncan, “Lastik Atıkların Asfalt Betonu Kaplamaların Mekanik Özelliklerine Etkileri”, *2. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 1998, s.139.
- [21] S. Yıldız, G. Balaydın, Z. Ç. Ulucan, “Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (1) 85-91, 2007.
- [22] A.F. Akpınar, “Asfalt kırığı agregalı betonların mekanik özellikleri”, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2005.
- [23] A. Kessler, A.K. Bledzki, “Low Velocity Impact Behavior of Glass/Epoxy Cross-Ply Laminates with Different Fiber Treatments”, *Polymer Composites*, 20 (2), 269-278, 1999.

- [24] L.S. Sutherland, C.G. Soares, , “Impact Tests on Woven-Roving E-Glass/Polyester Laminates”, *Composites Science and Technology*, 59, 1553–1567, 1999.
- [25] C. Ataş, D. Liu, “Impact Response of Woven Composites with Small Weaving Angles” *International Journal of Impact Engineering*, 35, 80-97, 2008.
- [26] M. Aktaş, C. Ataş, B.M. İçten ve R. Karakuzu, “An Experimental Investigation of the Impact Response of Composite Laminates”, *Composite Structures*, 87, 307-313, 2009.
- [27] A.D. Gergerli, “İri Agrega Yerine İkame Edilmiş Kazınmış Asfalt Kaplamalı Betonlarda Dayanım Değerlendirmesi” Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, 2018.
- [28] Asphalt Institute, *The History of the Asphalt*. Annual Magazine, 2002.
- [29] WAPA Asphalt Pavement Guide, 2002.
- [30] B. Kaya, “Bitümlü karışımların geri dönüşümü, çevresel etkileri ve maliyet analizi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2011.
- [31] National Asphalt Pavement Association, 2004.
- [32] A. Tunç, *Yol malzemeleri ve uygulamaları*. İstanbul. Atlas Yayıncılık, 2001.
- [33] A. F. Keçeciler, G. Akkol, A. Gümrükçüoğlu ve A. F. Gökçe, *Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı*. Ankara. Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1990.
- [34] A. Er, “Özel öğütülmüş lastik atığı içeren asfalt betonunun performans özelliklerinin belirlenmesi”, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2011.
- [35] F.S. Al-Ali, “Geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinin aşınma tabakasında kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2016.
- [36] A. H. Lav, *Bitüm El Kitabı*. İstanbul. İsfalt Yayınları, 2001.
- [37] Arıkan E, Sathi Kaplamalı Yollarda Asfalt Emülsiyonu Kullanımının

Avantajları.

[38] N. Kuloğlu, “Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ. 2001.

[39] H. Sayın, H. Tanyıldızı, “Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğinin Bulanık Mantık ile Bulunması”, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 21, NO 4, 645-649. 2006.

[40] M. Ilıcalı, S. Tayfur, H. Özen, İ. Sönmez, K. Eren, *Asfalt ve Uygulamaları*. İstanbul. İSFALT yayınları 2001.

[41] Mili, F. and Necib, B., 2001. Impact Behaviour of Cross-Ply Laminated Composite Plates Under Low Velocities. *Composite Structures*, 51, 273-244.

[42] Jenq, S.T., Mo, J.J., 1996. Ballistic Impact Response For Two-Step Braided Three- Dimensional Textile Composites. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 34 (2), 375-384.

[43] Ranjan, R., Banerjee, S., Singh, R.K. ve Banerji, P., 2014. Local Impact Effects on Concrete Target Due to Missile an Empirical and Numerical Approach, *Annals of Nuclear Energy*, 68, 262-275.

[44] Yazıcı, Ş. ve Sezer, G.İ., 2008. Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agreg Maksimum Boyutunun Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 237-245.

[45] Xiao, J., Li, L., Shen, L. ve Poon, C.S., 2015. Compressive Behavior of Recycled Aggregate Concrete Under Impact Loading, *Cement and Concrete Research*, 71, 46-55.

[46] İ. Yıldızhan, “Hibrit Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı”, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2013.

[47] Reid, S.R, Zhou, G.,1999. Impact Behaviour of Fibre-Reinforced Composite Materials and Structures. CRC Press, Woodhead Pub, 303p, USA.

- [48] Aktaş, M., 2007. Hibrit Kompozit Plakaların Darbe Davranışına Sıcaklığın Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s, İzmir.
- [49] Abrate, S., 1998. Impact on Composite Structures. Cambridge University Press, 289p, United Kingdom.
- [50] Mili, F. and Necib, B., 2001. Impact Behaviour of Cross-Ply Laminated Composite Plates Under Low Velocities. Composite Structures, 51, 273-244.
- [51] Shu, D.W., Zhou, W., Ma, G. W., 2007. Tensile Mechanical Properties of AM50A Alloy by Hopkinson Bar. Key Engineering Materials, 341, 247-254.
- [52] K.H. Im, C.S. Cha, S.K. Kim, I.Y. Yang, “Effects of Temperature on Impact Damages in CFRP Composite Laminates”, *Composites: Part B*, 32, 669-682, 2001.
- [53] ACI 544.2R, Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, 2009.
- [54] TS EN 12390-1, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, 2014.
- [55] TS EN 12350-2, Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) Deneyi, 2010.
- [56] TS EN 12390-3, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, 2010.
- [57] TS EN 12390-5, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilmede çekme Dayanımının Tayini, 2010.

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Uğur Canpolat

Doğum Yeri :Çelikhan/Adıyaman

Doğum Tarihi :05.01.1995

Medeni Hali :Bekâr

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :cnpltugur@gmail.com

Eğitim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı	Adıyaman Üniversitesi	2020
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Adıyaman Üniversitesi	2018
Lise	Sayısal	Şeyho Şişman Anadolu Lisesi	2013

Yayınlar

[1] M.F. Şahan, U. Canpolat, A.D. Gergerli, “Kazınmış Asfalt Malzemelerin Beton Karışımında İri Agrega Yerine İkame Edilmesinin Betonda Ultra Ses Geçiş Hızına Etkisi”, in *İSTE-CE'2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering*, Hatay, 2019, pp. 887-895.