

## Kazınmış Asfalt Malzemelerin İri Agrega Yerine Kısmen İkame Edilmesinin Farklı Isı Altındaki Betonların Basınç Dayanımlarına Etkisi

Mehmet Fatih ŞAHAN<sup>1\*</sup>, Aysun Dilan POLAT<sup>2</sup>, Osman GÜNAYDIN<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman.

<sup>2</sup> Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adıyaman.

\*Sorumlu yazar e-posta: mfs@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3334-3945>  
e-posta: dilangergerli@hotmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6397-0421>  
e-posta: gunaydin@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7559-5684>

Geliş Tarihi: 05.02.2021

Kabul Tarihi: 10.06.2021

### Öz

Bu çalışmada doğal agrega kullanımının azaltılması ve oluşan atık malzemelerin geri dönüştürülmesine katkı sağlamak amacıyla karayolu kaplamalarının kazınması sonucu ortaya çıkan kazınmış asfalt malzemelerin (KAM) beton karışımında iri agrega yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, KAM ikameli betonların bulunduğu ortam sıcaklığı değişiminin basınç dayanımına etkisi de araştırıldı. Bu amaçla 4.0-22.4 mm boyutlarındaki KAM, aynı boyutlardaki agrega yerine beton hacminin % 5, 10, 20 ve 30 oranlarında ikame edildi. Bu şekilde üretilen küp (150 mm) numuneler 28 günlük kürün ardından 24 saat süreyle belirli bir sıcaklıkta (bir set 25 °C, bir set 50 °C ve bir set de 75 °C) bekletildi ve ardından basınç testleri yapıldı. Basınç dayanımları incelendiğinde gerek KAM ikamesinin gerekse ortam sıcaklığının artırılmasının beton dayanımına olumsuz etkisi gözlemlenmiş olmakla birlikte dayanımları C20/25 ve C30/37 arasında betonlar üretilebilmektedir. Bu çalışma sonucunda karayollarının yenilenmesi veya tamiri sonucunda ortaya çıkan atıkların iri agrega yerine ikame edilerek değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Kazınmış asfalt malzemelerin sadece elenmesi suretiyle maliyetsiz olarak geri dönüştürülmesi sonucunda hem çevrenin korunmasına katkı sağlanacak hem de doğal agrega kaynaklarının hızlı tüketimi engellenecektir.

### Anahtar kelimeler

Geri dönüşüm;  
Kazınmış asfalt malzeme; Basınç dayanımı; Sıcaklık etkisi

## The Effect of Partial Replacement of Scraped Asphalt Pavements by Coarse Aggregate on the Compressive Strength of Concrete Under Various Temperatures

### Abstract

In this study, in order to reduce the use of natural aggregate, the use of reclaimed asphalt pavements (RAP) obtained as a result of scraping of road pavements was investigated in the concrete mix instead of coarse aggregate by simply sieving it. In addition, the effect of the change of ambient temperature in RAP substituted concretes on compressive strength was also investigated. In the experiments for this purpose, the scraped asphalt pavement with dimensions of 4.0-22.4 mm was replaced with aggregate of the same dimensions in the ratio of 5, 10, 20 and 30% of the concrete volume. Cube specimens (150 mm) produced at these ratios were kept at a certain temperature (one set 25 °C, one set 50 °C and one set 75 °C) for 24 hours after 28 days of curing and then compressive tests were performed. When the compressive strength is examined; Although it has been observed that both RAP substitution and increasing the ambient temperature have a negative effect on concrete strength, concrete with strengths between C20/25 and C30/37 can still be produced. With this study, it has been shown that the wastes generated as a result of the renovation or repair of highways can be utilized by substituting for coarse aggregate. As a result of recycling scraped asphalt materials cost-free by only sieving them, both the environmental protection will be contributed and the rapid consumption of natural aggregate resources will be prevented.

### Keywords

Recycling; Reclaimed asphalt pavement; Compressive strength; Temperature effect

## 1. Giriş

Atık malzemelerin geri dönüşümü konusu inşaat mühendisliği çerçevesinde ele alındığında; doğal agrega ocakları azalmaya başlamış ve yenilenen/yenilenecek yapılar nedeniyle oluşan atık malzemelerin imha edilmesi de ayrıca maliyet getirmeye başlamıştır. Bu nedenle geri dönüştürülmüş malzeme içeren beton düşüncesi konuşulmaya başlanmış ve bu hususta pek çok araştırma yapılmıştır. Betonun yaklaşık olarak  $\frac{3}{4}$ 'ünün agrega olduğu dikkate alındığında geri dönüştürülerek ya da doğrudan betonda kullanılabilir atıkların agrega yerine ikame edilmesinin ne denli kritik olduğu ortaya çıkar. Yıllar içinde kullanılarak eskiyen ya da bozulan karayollarının onarımı ya da yenilenmesi gerekmektedir. Bu onarım ya da yeniden yapım sonucunda çok büyük miktarda bitümlü agrega malzemesi ortaya çıkmaktadır. Bu tür malzemelerin geri dönüştürülmesi ya da doğrudan kullanılması agregaya en çok ihtiyaç duyulan sektörlerden biri olan inşaat sektörü için çok önemli avantajlar sağlayabilir.

Yaşlanarak bozulan asfalt yollarda üst kaplama kazınarak alınır ve bunun yerine yeni asfalt karışımı serilerek sıkıştırılır. Kazınan asfalt kaplamalar genelde atık malzeme sahalarında depolanmaktadır. Açık sahalarda depolanan kazınmış asfalt malzemeler (KAM) içerisindeki petrol esaslı bitüm nedeniyle zaman içinde farklı mevsim şartları nedeniyle yeraltı sularına zarar verebilmekte ve yeraltı sularımız kirlenebilmektedir. Yollarının bakım ve onarımında kullanım ömrünü tamamlamış olan yol üstyapısında kullanılmış kaplama malzemesi bazı işlemlerden sonra yeniden değerlendirilmektedir (Salta, 2010). Bozulmuş asfalt kaplamaların kazınarak yeniden kullanılması ile yeni malzeme ihtiyacında azalma olur. Böylece doğal kaynakların korunmasına ve atık sahalarının oluşumunun engellenmesine katkı sağlanmış olunur (Güngör vd. 2008). Kazınmış atık asfalt malzemelerin beton karışımında agrega ile birlikte kullanılmasıyla hem atık sahaların oluşumu engellenebilir hem de doğal agregaların daha az kullanılması ile ekonomiye katkı sağlanabilir (Işıkdag 2010).

Son zamanlarda atık malzemelerin beton karışımında kullanılabilirliği uygulamaları oldukça yaygın hale gelmiştir. Beton içerisinde kullanılan atık malzemeler agrega veya katkı olarak değerlendirilmektedir. Kazınmış asfalt malzemelerin mevcut yolların bakımında ya da yeni yolların yapımında bitümlü sıcak karışımın içerisinde tekrar kullanılması oldukça yaygın bir kullanım şeklidir (Işıkdag 2009).

Gürer vd. (2004) çalışmalarında inşaat endüstrisinde geri dönüşüm yapılabilen malzemelerden bahsedilerek, atıklarının bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilme şekilleri anlatılmış ve Dünya'daki uygulamalarından bahsedilmiştir. Talep ve tüketim açısından bakıldığında geri dönüşümün özellikle inşaat alanında yaygın bir şekilde uygulanmasının önemli miktarlarda ekonomik ve hammadde kaynağı sağlayacağı görülebilir. Akçaözoğlu (2008) çalışmasında atık PET şişe kırıklarının hafif harç üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çelik ve Gürdal (2005) yapmış oldukları çalışmada yarfıstığı hafif agregası kullanılarak üretilen çimento bağlayıcılı hafif malzemenin değişen agrega miktarına bağlı olarak mekanik mukavemetleri incelenmeye çalışılmıştır. Kılıçoğlu (2013) yapmış olduğu çalışmada, atık camları çimento üretiminde ve beton içerisine cam tozu ya da cam agrega olarak kullanarak geri dönüştürmeyi hedeflemiştir. Özer (2012) çalışmasında endüstriyel atık malzemelerden tuğla tozu, uçucu kül, mermer tozu ve taş tozunun mineral katkı malzemesi olarak betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcallık ve aşınma gibi özelliklerine etkisi karşılaştırmalı olarak irdelemiştir. Demir (2009) genel olarak inşaat yıkıntı atıkları, özelde ise beton atıklarının kaynakları, geri dönüşümü ve kullanımını gerektiren ekonomik, teknik ve çevresel sebeplerini incelemiştir. Geri kazanılmış agreganın bazı teknik özelliklerini ve kullanım alanlarını, geri kazanılmış agrega ile yapılan betonların özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmaları incelemiştir. Güngör vd. (2018) çalışmalarında zamanla bozulmuş olan yol üstyapısının onarımı için önceden kazınmış asfalt kırıklı agregaların yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım imalatında kullanılmasını ele almışlardır. Işıkdag (2009) yapmış olduğu bu çalışmada atık

asfalt kırıklarının beton ve harç numunelerde agregaya yerine uygun kullanım oranlarını araştırmış olup beton yollarda kullanım uygunluğunu irdelemiştir. Akpınar (2005) çalışmasında asfalt kırıklı agregaların beton içerisinde agregaya olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Huang vd. (2005) çalışmalarında, KAM katkılı betonunun mekanik özelliklerini laboratuvar deneyleri ile incelenmişlerdir. Çalışmalarında elde edilen sonuçlar ile KAM'ın geleneksel ekipman kullanmak suretiyle prosedürlerde herhangi bir değişiklik yapılmadan Portland çimento betonuna dahil edilebileceğini göstermişlerdir. Herhangi bir işlem olmaksızın, betona RAP eklenmesiyle basınç ve ayırık gerilme mukavemetlerinde sistematik bir azalma olmaktadır. Çalışma ile, KAM içeren betonun enerji tüketme tokluğunu önemli ölçüde iyileştirilmişlerdir. Shi vd. (2017) çalışmalarında işlenmemiş iri agregaların kaba KAM ile kısmen değiştirilip değiştirilemeyeceğinin ve akabinde Portland çimentolu beton kaplamalarda bu tür karışımları formüle etmek için pratik ve uygun bir seçenek olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuçta, işlenmemiş iri agregayı yeterli orta büyüklükteki kaba KAM ile değiştirmenin faydalı olduğunu göstermişlerdir. Singh vd. (2017) toz, asfalt film vb. kirlenici maddeleri uzaklaştırmak için bir yüzey temizleme yöntemi olan aşınma ve yıpranma yöntemini kullanılarak KAM'lerin beton kaplamalarda kullanımının artırılması için bu boşlukları doldurmaya çalışılmışlardır. Doğal Agregaların kısmen farklı oranlarda KAM agregaları ile ikame edilmesi ile farklı karışımlar hazırlanmıştır. Kirli KAM agregalarının aşınma yıpranma yöntemi ile işlenmesinin, kirlenici maddeleri önemli ölçüde giderebileceği, bunun sonucunda agregaya ve hidratlı harç matrisinin arayüzünde daha güçlü bağlanma sergilendiğini ortaya koymuşlardır. Shi vd. (2021) KAM içeren Portland çimentolu betonlar için kırılma modülü, elastisite modülü, Poisson oranı, termal genleşme katsayısı, yoğunluk ve termal özellikler dahil pek çok özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesine yönelik çalışma yürütmüşlerdir.

Yukarıda verilen literatürden de anlaşılacağı üzere kazınmış asfalt malzemelerin geri dönüştürülmesi üzerine pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen

kazınmış asfalt malzemelerin betonda agregaya yerine ikame edilmesini içeren çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bununla birlikte yazarların bilgisi dahilinde kazınmış asfalt malzemelerin betonda kullanıldığı ve dış ortam ısılarının mevsim normallerinin çok üzerinde yükseldiği durumların KAM ikameli betonların davranışına etkisinin de araştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada KAM'ın sadece elenmek suretiyle farklı dış ortam ısılara maruz saha betonlarında agregaya yerine ikame edilmesinin beton davranışına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler için KAM'ler hiçbir işleme tabi tutulmadan elenmiş ve 4.0-22.4 mm elek arası kullanılmak üzere alınmıştır. Deneylerde; KAM, iri agregaya yerine % 5, 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmış ve farklı beton karışımları üretilmiştir. Çalışma doğrultusunda farklı ortam ısılara maruz, bir set 25 °C, bir set 50 °C ve bir set 75 °C, beton numuneleri üzerinden KAM ikameli betonların davranışları araştırılmıştır. Bu çalışmada betonda KAM ikamesinin yalnızca betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. KAM ikamesi ile betonun durabilitesinden diğer dayanım göstergelerine kadar pek çok parametre de büyük oranda değişimler gözlemlenebilecektir. Basınç dayanımı dışındaki diğer konular bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

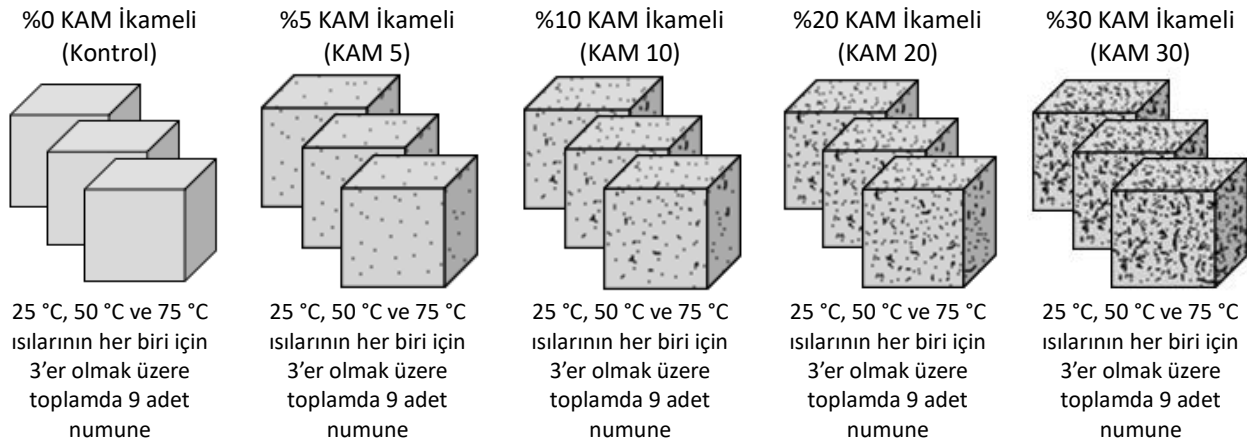
## **2. Materyal ve Metot**

Yapılan deneysel çalışmalar, kazınmış asfalt malzemenin beton içerisinde iri agregaya yerine toplam agregaya hacminin %5, 10, 20 ve 30 oranlarında ikame edilerek üretilen betonların kullanılabilirliğinin araştırılmasına ve hazırlanan beton numunelerin farklı sıcaklık etkisi (Bir set 25 °C, bir set 50 °C ve bir set 75 °C ısıya maruz bırakılmıştır.) altındaki davranışlarının araştırılmasına yöneliktir. Hazırlanan beton karışımlarında iri agregaya %60 ince agregaya ise %40 oranında kullanılmıştır. Kullanılan iri agreganın %50'si 11.2–22.4 mm boyutlarında kırmataş, %50'si ise 4.0–11.2 mm boyutlarında kırma taştır. Beton üretimlerinde Karayolları 57. Şube Şefliği'nden temin edilen KAM kullanılmıştır. Beton karışımında kullanılan çimento dozajı ise 350 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Beton karışımı için

kontrol numuneleri (3 adet), CEM II/A-M(P-LL) 42.5 R Portland Kompoze çimento 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. Hazırlanan beton karışımlarında iri agregaya (KT I ve KT II) %60 ince agregaya (K) ise %40 oranında kullanılmıştır. Kullanılan iri agreganın %50'si 11.2–22.4 mm boyutlarında kırmataş, %50'si ise 4.0–11.2 mm boyutlarında kırmataştır. KAM katkılı karışımlarda KT I ve KT II kırmataşlarının yerine hacimce %5 (KAM 5), %10 (KAM 10), %20 (KAM 20) ve %30 (KAM 30) oranlarında KAM kullanılmış ve KAM ikameli 4 farklı karışım elde edilmiştir. Shi vd (2017) araştırmalarındaki ön çalışmaya dayanarak % 40'a varan hacimsel ikame seviyesinin güvenli olduğunu bulmuştur. Bu çalışmada bu güvenli sınıra çok yakın çalışılarak %5, %10, %20 ve %30 değerleri seçilmiştir. Burada Kontrol ve her farklı KAM ikame oranları için 3 numune olmak üzere 25 °C ısıya maruz kalacak 3 adet küp numune, 50 °C ısıya maruz kalacak 3 adet küp numune ve 75 °C ısıya maruz kalacak 3 adet küp numune olmak üzere toplamda 45 adet küp numune üretilmiştir (Şekil 1). Karışımlardaki agregaların hacim oranları Çizelge 1'de beton karışımları için

kullanılan agregaların özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Deneysel çalışmada basınç dayanımlarının belirlenmesi ve birbirleri ile karşılaştırılması amacıyla kontrol karışımı ve farklı KAM ikame oranlarında karışımları ile beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan 150 mm'lik kontrol ve KAM ikameli küp numuneler 24 saat oda ısısında bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış ve ardından 28 gün süreyle havuzda küre tabii tutulmuştur. 100 mm'lik küp numuneler, 28. günün sonunda küre havuzundan çıkarılarak her bir farklı karışım için birer set oda ısısında, birer set 50 °C ısıdaki etüvde ve birer set ise 75 °C ısıdaki etüvde 24 saat süreyle bekletilmiştir. Işıkdag (2009) yaptığı çalışmada KAM ikameli betonları 3 saat süreyle 100 °C, 300 °C, 450 °C ve 600 °C sıcaklıklarda bekletmiş ve sıcaklık etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada 600 °C'ye göre çok daha düşük olana 25 °C, 50 °C ve 75 °C sıcaklıklar ele alındığından 3 saat sürenin bu sıcaklıkların etkisini gösteremeyeceği öngörülerek tam gün süresince sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. 24 saat etüvde bekleyen numuneler çıkarılarak basınç dayanımı deneylerine (TS EN 12390-3, 2010) tabii tutulmuştur.



Şekil 1. Üretilen Numune Sayıları ve Dağılımları

Çizelge 1. KAM ikameli Karışımlardaki Agregaya Hacim Oranları

| Karışımlar               | Dane Boyutlarına göre Agregaların Hacim Oranları (%) |                                 |                                   |  |
|--------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|--|
|                          | Kum (K)<br>(0–4 mm)                                  | Kırmataş (KT II)<br>(4–11.2 mm) | Kırmataş (KT I)<br>(11.2–22.4 mm) | Kazınmış Asfalt Malzeme (KAM)<br>(4–22.4 mm) |
| %0 KAM ikameli (Kontrol) | 40   | 30                              | 30                                | 0  |
| %5 KAM ikameli (KAM 5)   | 40   | 27.5                            | 27.5                              | 5  |
| %10 KAM ikameli (KAM 10) | 40   | 25                              | 25                                | 10   |
| %20 KAM ikameli (KAM 20) | 40   | 20                              | 20                                | 20   |
| %30 KAM ikameli (KAM 30) | 40   | 15                              | 15                                | 30   |

**Çizelge 2.** Beton Karışımları İçin Kullanılan Agregaların Özellikleri

| Malzeme                                 | Özgül Ağırlık (t/m <sup>3</sup> ) | Su Emme Oranları (%) | Doğal Nem Oranları (%) | Hacimce Agrega oranları (%) |
|---|-----------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|
| Kırmataş 11.2–22.4 mm (KT I)            | 2.60                              | 1.50                 | 0.08                   | 30                          |
| Kırmataş 4–11.2 mm (KT II)              | 2.60                              | 1.75                 | 0.08                   | 30                          |
| Kum 0–4 mm (K)                          | 2.70                              | 1.50                 | 0.18                   | 40                          |
| Kazınmış Asfalt Malzeme 4–22.4 mm (KAM) | 2.42                              | 0.70                 | 0.05                   |                             |

### 3. Bulgular

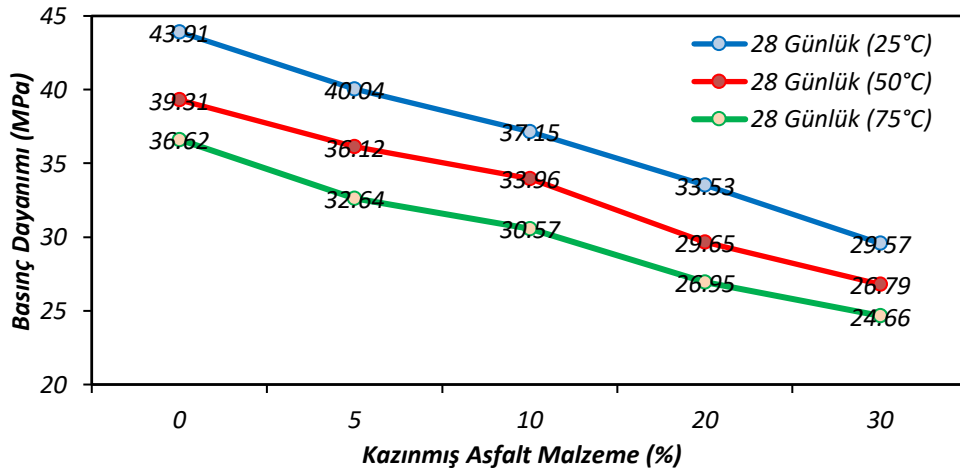
Farklı KAM oranı ikamelerine göre üretilen küp numunelerin 28 günlük kür sonunda 24 saat süreyle ısıya maruz kalmış haldeki basınç dayanımları Çizelge 3'te verilmiştir. Isıya Maruz Kalmış Haldeki KAM İkameli Betonların Basınç Dayanımlarının İkame Edilen KAM Oranı ile Değişim Grafiği ise Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 3'te verilen değerler ile Şekil 2'de verilen grafik incelendiğinde 25 °C ısıya maruz Kontrol numunelere %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %8.8 oranında azalma gözlemlenirken Kontrol numunelere %30 oranında KAM ikame edilmesiyle

elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %32.7 oranında bir azalma gözlenmiştir. 50 °C ısıya maruz Kontrol numunelere %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %8.1 oranında azalma gözlemlenirken Kontrol numunelere %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %31.8 oranında bir azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde 75 °C ısıya maruz Kontrol numunelere %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %10.9 oranında azalma gözlemlenirken Kontrol numunelere %30 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %32.7 oranında bir azalma gözlenmiştir.

**Çizelge 3.** Isıya Maruz Kalmış Haldeki KAM ikameli Betonların Basınç Dayanımları

| Karışımlar | Ort. Basınç Dayanımı (MPa) |             |             | Basınç Dayanımındaki Azalmalar (%) |             |             |
|------------|----------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|-------------|-------------|
|            | 25 °C ısıda                | 50 °C ısıda | 75 °C ısıda | 25 °C ısıda                        | 50 °C ısıda | 75 °C ısıda |
| KONTROL    | 43.91                      | 39.31       | 36.62       | 0.0                                | 0.0         | 0.0         |
| KAM 5      | 40.04                      | 36.12       | 32.64       | 8.8                                | 8.1         | 10.9        |
| KAM 10     | 37.15                      | 33.96       | 30.57       | 15.4                               | 13.6        | 16.5        |
| KAM 20     | 33.53                      | 29.65       | 26.95       | 23.6                               | 24.6        | 26.4        |
| KAM 30     | 29.57                      | 26.79       | 24.66       | 32.7                               | 31.8        | 32.7        |

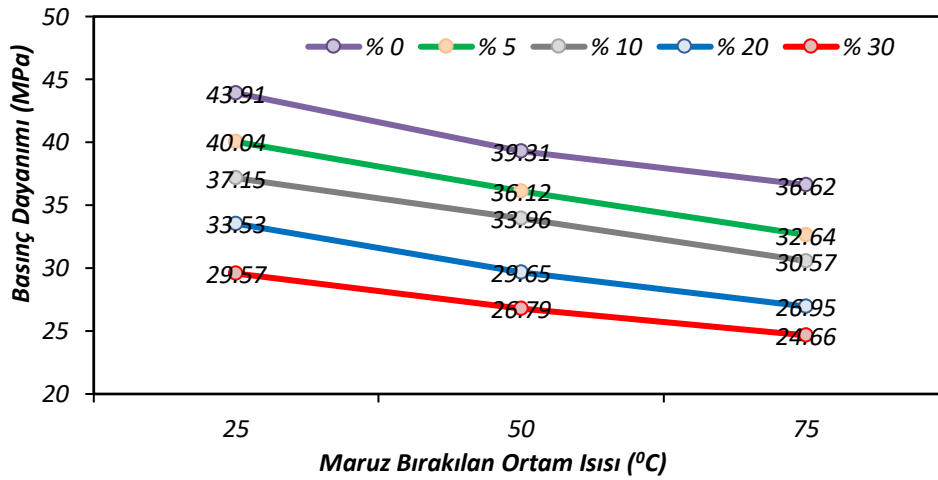


**Şekil 2.** Isıya Maruz Kalmış Haldeki KAM İkameli Betonların Basınç Dayanımlarının İkame Edilen KAM Oranı ile Değişimi

Şekil 3'teki grafikte yer alan tüm değerler incelendiğinde kür sonunda maruz bırakılan ısının 25-75 °C arasında olması durumunda ikame edilen KAM oranının artması beton basınç dayanımına olumsuz etkilemekte ve betonun basınç dayanımını azaltmaktadır. Bu azalma oranı 25 °C, 50 °C ve 75 °C ısılar için sırasıyla 32.7, 31.8 ve 32.7'dir. buradan görüleceği üzere basınç azalması maruz kalınan 25 °C, 50 °C ve 75 °C ısılarından bağımsız olup tamamen ikame edilen KAM miktarında bağlıdır. KAM ikameli beton karışımında yer alan 4 mm dane boyutundan daha büyük boyuttaki agregaların bir kısmının -ki bu çalışmada bu oran %5 ile %30 arasındadır- yüzeyleri bitüm ile kaplıdır. Betonun agregaya ile çimento hamurundan oluşan iki fazlı bir kompozit malzeme olduğu dikkate alındığında; heterojen bir malzeme olan betonun dayanımı çimento hamurunun, agreganın ve ara yüzeyin dayanımlarına bağlıdır. Ancak agregaya ile çimento ara yüzeyinin sertleşmiş

betondaki en kritik bölge olduğu düşünülmektedir. (Popovics 1998). Yüzeyleri bitüm ile kaplanmış olan agregaların çimento hamuru ile oluşturduğu ara yüzeylerin dayanımlarının bitümsüz agregalardaki ara yüzey dayanımlarından daha az olacağı tahmin edilmektedir. Bu durum dikkate alındığında KAM ikameli numunelerin dayanımlarının kontrol numunelerine göre daha düşük çıkmasının nedeninin bazı agregaların yüzeylerinin bitüm ile kaplı olduğu ve bu durumun çimento hamuru ile agregaya arasındaki ara yüzeyin dayanımının daha düşük olmasına sebep olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 3'te 28 günlük kür sonunda farklı ısıya maruz kalmış beton numunelerinde agregaya yerine KAM ikame edilmesiyle elde edilen basınç dayanımlarının maruz kalınan ısıya göre değişimlerinin grafiksel karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 3. KAM ikameli Betonların Basınç Dayanımlarının Maruz Kalınan Isı ile Değişimi

Şekil 3 incelendiğinde numunelerin kontrol serisinde 25 °C ısıya maruz kalmış numunelerin basınç dayanımı 43.91 MPa iken kür sonunda maruz bırakılan ısının 75 °C olmasıyla basınç dayanımı 36.62 MPa değerine düşmektedir. Beton serilerinde agregaya yerine kazınmış asfalt malzeme miktarının %5 oranında artırılmasıyla üretilen numunelerde 25 °C ısıda basınç dayanımı 40.04 MPa iken 75 °C ısıda 32.64 MPa, agregaya yerine %10 oranında KAM ikame edilmesiyle üretilen numunelerde 25 °C ısıda 37.15 MPa olan basınç dayanımı 75°C ısıda 30.57 MPa, agregaya yerine KAM miktarının %20 oranında ilave edilmesiyle üretilen numunelerde 25 °C ısıda

33.53 MPa olan basınç dayanımı 75 °C ısıda 26.95 MPa değerine düşmektedir. Kontrol karışımına agregaya yerine %30 oranında KAM ilave edilmesiyle üretilen numunelerde ise 25 °C ısıda 29.57 MPa olan basınç dayanımı değeri ısının 75 °C'ye yükselmesiyle 24.66 MPa değerine kadar düşmektedir. Kontrol numunelerde ısı artışıyla basınç dayanımı değerlerinde yaklaşık olarak %16.6 oranında bir azalma gözlenirken kazınmış asfalt malzeme oranının artırılmasıyla KAM5 numunelerde basınç dayanımı değerlerinde %18.5, KAM10 numunelerde %17.7, KAM20 numunelerde %19.6 ve KAM30 numunelerde ise %16.6 oranında azalma meydana

gelmiştir. Şekil 4'te verilen grafikten anlaşılacağı üzere gerek Kontrol numunelerinde gerekse KAM ikameli numunelerde Kür sonunda maruz bırakılan ısının artması betonun dayanımını olumsuz etkilemekte ve betonun basınç dayanımı azalmaktadır. Çimento hamurunun ısıtma boyunca oldukça kararsız bir bileşen olduğu düşünüldüğünde sıcaklık etkisi ile önemli fiziksel ve kimyasal dönüşümler geçirecektir. Bu dönüşümler 100 °C ve altındaki ısılarda serbest suyun buharlaşması ile 100 °C'nin üstündeki ısılarda ise hem bağlı suyun kaybolması hem de kimyasal bozulma olarak gerçekleşecektir (Khoury, 1992). Bu çalışmada beton numuneleri 24 saat süreyle 25 °C ile 75 °C ısıya maruz kaldığından basınç dayanım azalmasının serbest suyun buharlaşması sonucu olduğu düşünülmektedir.

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

#### **4. Sonuçlar ve Öneriler**

Bu çalışmada, yolların yenilenmesi veya tamir edilmesi amacıyla eskiyen ve bozulan bölgelerin kazınması sonucu ortaya çıkan asfalt kaplamaların betonda iri agregaya yerine ikame edilebilme potansiyeli araştırılmıştır. Atık malzemelerin dönüştürülmesine katkı sağlamak için yapılan bu çalışmada, kazınmış asfalt malzeme hiçbir işleme tabi tutulmadan sadece elenerek 4–22.4 mm arasında kalanı alınmış ve %5, 10, 20 ve 30 oranlarında iri agregaya yerine ikame edilerek 350 dozajlı betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonlar farklı dış ortam sıcaklıklarında bekletilmiş basınç testlerine tabi tutularak basınç dayanımları elde edilmiştir.

##### **4.1 Sonuçlar**

Beton karışımına iri agregaya yerine KAM ikame edilmesi ile betonun dayanımında azalma görülmüştür. Bu durum dikkate alındığında KAM ikamesinin agregaya yüzeyindeki bitüm sebebiyle agregaya ile çimento hamuru ara yüzeylerinin basınç

dayanımlarını azalttığı ve böylece KAM ikameli betonların basınç dayanımlarının azaldığı kanısına varılmıştır.

Gerek Kontrol betonların gerekse KAM ikameli betonların basınç dayanımlarının maruz bırakılan ortam ısının (50-75 °C) artması sonucunda azaldığı belirlenmiştir. Bu durum dikkate alındığında maruz bırakılan 50-75 °C ısısının betondaki serbest suyun azalmasına sebep olması sonucunda betondaki boşlukların arttığı ve böylece basınç dayanımının azaldığı sonucuna varılmıştır.

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

Sonuç olarak kazınmış asfalt malzemelerin betonda iri agregaya yerine kısmen ikame edilmesi ile yüksek dayanım gerektirmeyen beton üretilebileceği ve böylece karayollarının yenilenmesi veya tamiri sonucunda ortaya çıkan atıkların geri dönüştürülmesi sağlanmış olunarak doğal kaynakların korunmasına ve ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

##### **4.2 Öneriler**

Bu çalışmada betonda iri agregaya KAM ikamesinin yalnızca betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Betonda iri agregaya yerine KAM ikamesi sonucunda betonun durabilitesinden diğer dayanım göstergelerine kadar pek çok parametre de büyük oranda etkilenebilecektir. Bu parametrelerin ayrıca değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

##### **Teşekkür**

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından MÜFMAP/2017-0001 numaralı proje ile desteklenmiştir.

##### **Kaynaklar**

Akçaözöğlü, S., 2008. Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 283.

- Akpınar, A.F., 2005. Asfalt kırığı agregalı betonların mekanik özellikleri, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 89.
- Çelik, Ç., Gürdal, E., 2005. Yerfıstığı kabuğunun agregaya olarak kullanım olanakları, *İTÜ Dergisi*, 4 (1), 37-46.
- Demir, İ., 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi . *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 105-114.
- Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Dost, Y., 2008. Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanılması, *Karayolu 1. Ulusal Kongresi*, Ankara.
- Gürer, C., Akbulut, H., Kürklü, G., 2004. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammade Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, s. 28-36.
- Huang, B., Shu X., Li G., 2005 Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements. *Cement and Concrete Research*, 35; 2008 – 2013
- Işıkdağ, B., 2009. Atık asfalt kırıklarının beton yollarda agregaya yerine kullanılmasının araştırılması, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 156.
- Khoury, G.A., 1992. Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment. *Magazine of Concrete Research*, 44 (161), 291-309.
- Kılıçoğlu, C., 2013. Cam atıklarının betonda agregaya ve çimento yerine kullanımı, Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 172.
- Özer, Y.F., 2012. Bazı endüstriyel atıkların betonun mekanik özellikleri etkisi, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 123.
- Popovics, S., 1998. Strength and Related Properties of Concrete-A Quantitative Approach, John Wiley and Sons Inc. Publications, 298-299
- Salta, İ., 2010. Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 151.
- Shi, X, Mukhopadhyay A., Liu, K-W., 2017. Mix design formulation and evaluation of portland cement concrete paving mixtures containing reclaimed asphalt pavement", *Construction and Building Materials*, 152; 756-768.
- Shi, X., Mukhopadhyay, A., Zollinger, D., Huang, K., 2021. Performance evaluation of jointed plain concrete pavement made with portland cement concrete containing reclaimed asphalt pavement. *Road Materials and Pavement Design*, 22(1), 59-81
- Singh, S. , Ransinchung, G. , & Kumar, P. 2019. Feasibility study of RAP aggregates in cement concrete pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 20 (1), 151–170.
- TS EN 12390-3, 2010 Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini