

## Geri Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanabilirliğinin Araştırılması

Şeref ORUÇ<sup>1</sup>, Bahadır YILMAZ<sup>2\*</sup>, Mehmet Salih MAZLUM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

<sup>2</sup>Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt

<sup>3</sup>İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yol Bakım ve Onarım Müdürlüğü, İstanbul

\*byilmaz@bayburt.edu.tr

(Geliş/Received: 12.07.2017; Kabul/Accepted: 04.10.2017)

### Özet

Dünyanın birçok yerinde atık kanun ve yönetmeliklerinin devreye girmesiyle birlikte, atık yönetimi kanuni bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu amaçla asfaltın yeniden kullanımından kaynaklanabilecek ekonomik avantajlar, mevcut agrega kaynaklarının gün geçtikçe tükenmesi ve yeni agrega kaynak arayışları, artan üretim maliyetleriyle birlikte atık asfalt malzemelerin asfalt kaplamalarda yeniden kullanılabilirliğinin düşünülmesi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de geri kazanım uygulamalarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda, ekonomik değeri yüksek olan ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların yollardan kazınarak, bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliğini araştırmak üzere bu çalışmaya girilmiştir. Çalışmada öncelikle Dünyada ve Türkiye’de uygulanan asfalt geri dönüşüm yöntemleri incelenmiş ve geri dönüşümün avantajları değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak İstanbul bölgesinde bulunan ve ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamalar kazınmak suretiyle çalışmaya esas malzeme elde edilmiştir. Bu malzemelerden değişik oranlarda (%10, %25 ve %40) hazırlanan kaplama karışım numuneleri üretilmiştir. Bu karışım numunelerine Marshall deneyleri uygulanmış, yoğunluk ve boşluk analizleri yapılmış, elde edilen bulgular geri dönüşüm içermeyen numunelerle ve sahadan alınan karot numunelerle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Geri Dönüşüm, Geri Kazanılmış Asfalt (RAP), Bitümlü Sıcak Karışım, Marshall Yöntemi

## Investigation of Reuse by Recycling Asphalt Pavements in Hot Mix Asphalt

### Abstract

In many countries of the world, waste management becomes compulsive with activation of laws and agreements about waste control. By this purpose, it becomes necessary and imperative to use waste asphalt materials as raw material for the new asphalt pavement due to economic advantages of using old materials, decreasing of the raw material’s potential, and problems of researching new asphalt raw mines and increasing of the asphalt pavement cost. Within this scope, this work has started to a research of re-used old materials which are completed their economic life on the road in the hot bituminous mixes. In this work, recycling methods that are used in World and Turkey are analyzed at the beginning and the advantages of recycling are utilized. İstanbul region is chosen as the working area and materials are gained by the roads that completed their economic life in İstanbul. By these materials, new coverable mix materials had produced in different ratios such as 10%, 25% and 40%. Marshall Experiment had used to these mixtures, intensity and void analyses are made and the results that obtained from experiments are compared with the pure materials and the core samplers.

**Keywords:** Hot bituminous mixture, Marshall Test, Recycle Asphalt Pavement (RAP), Recycling

### 1.Giriş

Bozulmuş veya ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların yol yüzeyinden kazınarak yeni yapılacak sıcak asfalt karışımlarda yeniden kullanılmasına geri dönüşüm (recycling) adı verilmektedir. Kazınarak geri kazanılan

malzemenin yeni yapılacak kaplama tabakalarında kullanılması, kaynaklarımızın hem teknik hem de ekonomik anlamda daha verimli kullanılması açısından son derece önemlidir. Her geçen gün daha da genişleyen ülkemiz karayolu ağı, gelecek dönemlerde üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde gündeme

geleceğine işaret etmektedir. Kazınmış eski asfalt kaplama tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitüm ve agreganın yeniden yol yapımında kullanılması maliyetleri oldukça azaltacağı gibi çevrenin korunmasına da büyük oranda katkı sağlayacaktır [1, 2].

Dünyada her yıl yaklaşık 1.5 milyar ton asfalt karışım üretimi için 1.425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm tüketilmektedir. Diğer taraftan asfalt kaplama yolların yenilenmesi sırasında sökülen asfalt yığınları da doğaya terk edilmektedir. Sökülmüş asfalt kaplamaların geri kazanılarak ekonomik değere dönüştürülmesi mümkündür [3].

Gelişmiş ülkelerde hem ekonomik hem de çevresel nedenlerden yeni üretilen asfalt karışıma katılan kazınmış asfalt kaplamalar, ülkemizde ya atılmakta ya da ekonomik değerinin çok altında değerlendirilerek asfalt kaplamaya dönüştürülmeden köy yollarında stabilize malzemesi olarak kullanılmaktadır [4].

Modernleşmeyle birlikte ortaya çıkan fazla miktardaki atıkların çoğu biyoçözünür olmadığından çevre kirliliğine ve atık krizine neden olmaktadır. Endüstriyel gelişmeye paralel olarak artan üretim ve bunun sonucu ortaya çıkan çok farklı endüstriyel katı atıkların denetlenmesi, yönetimi ve bunlardan ekonomik değeri olan ürünlerin üretilmesi, tüm dünyada üzerinde önemle durulan ve yoğun çalışılan alanlardan birisidir [5, 6].

Bu çalışmada, ekonomik değeri çok yüksek olan ve kazınarak tekrar geri kazanılan asfalt kaplamaların (RAP) yeni asfalt karışımlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yollardan kazınan eski asfalt kaplamalar (eski bitüm ve eski agrega) %10, %25 ve %40 oranlarında binder tabakası olarak tasarlanan karışıma katılmak suretiyle üç farklı RAP içeriğinde karışım numuneleri üretilmiştir. Elde edilen karışım numunelerine Marshall deneyleri uygulanmış ve numunelerin yoğunluk-boşluk analizleri yapılarak elde edilen sonuçların şartname aralıklarında olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Sonrasında, normal ve bahsi geçen RAP içeriklerinde asfalt plentinde üretilen karışımlar, uygulama sahasına binder tabakası olarak serilmiştir. Serilen tabakalardan karot örnekleri alınarak Marshall stabilite deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar RAP içermeyen karışımlar ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Geri kazanılan asfalt kaplama (RAP)

Çalışmada B 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitüm ve geri dönüşümden elde edilen asfaltın elementer analizleri Tablo1'de verilmiştir. Kullanılan bitüm ile RAP içerisindeki bitümün kimyasal kompozisyonlarının birbirine benzer olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** Bitüm numunelerinin kimyasal kompozisyonu

Element	Kütle Yoğunluk (%)	
	B 50/70 Bitüm Numunesi	RAP İçerisindeki Bitüm Numunesi
Karbon	84.71	81.27
Hidrojen	9.663	9.417
Sülfür	3.390	3.497
Oksijen	-	-
Nitrojen	0.54	0.54

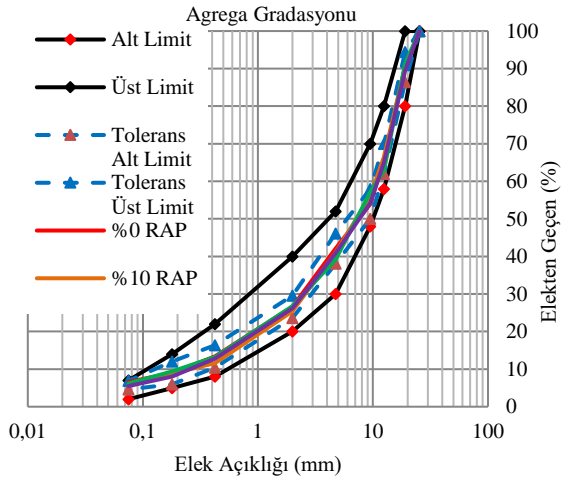
Ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamalar kazınarak, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS) binder tabakasına [7] göre dizayn edilen sıcak asfalt karışımına %10, %25, %40 oranlarında ayrı ayrı katılmıştır. Bu işlem öncesinde, kazınmış olan geri dönüşüm asfalt kaplamasının bitüm oranı ve gradasyonu belirlenmiştir. Kazınan asfalt kaplamaların içerdiği asfalt miktarının belirlenmesi amacıyla yüksek sıcaklık fırını kullanılmış ve karışım 530°C sıcaklıkta yakılarak agregadan ayrıştırılmıştır. Sonrasında elde edilen agreganın gradasyonu ve asfalt içeriği belirlenmiş olup Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Kazınmış asfalt kaplamasının elek analizi ve asfalt içeriği miktarı

Elek	Boyutu mm	No:							
		3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	80	200
Geçen	%	100	90.0	84.2	64.4	40.2	18.3	12.4	9.0
Asfalt İçeriği									
(%)= ((Son Tartım-İlk Tartım) /İlk Tartım)*100=%3.85									

## 2.2. Marshall Tasarımı

Geri kazanılmış asfalt ile geri dönüştürülmüş asfalt karışım üretilirken karışım dizaynlarında agrega ve bağlayıcı yüzdesi önemli kriterlerdendir. Tablo 2’de verilen kazanılmış asfalt kaplama içindeki agrega ve bitüm oranları dikkate alınarak yeni karışıma ilave edilen agrega ve bitüm miktarları belirlenmiştir. Normal ve RAP kullanılarak üretilen binder tabakalarının agrega gradasyon eğrileri Şekil 1’de verilmiştir. Belirlenen agrega gradasyon eğrisine göre Marshall tasarımı yapılmıştır. Her bir karışım için üçer briket olmak üzere toplam on iki adet numune üretilmiştir.



Şekil 1. Katkısız ve RAP kullanılarak üretilen binder tabakalarının agrega gradasyon eğrileri

## 3. Bulgular

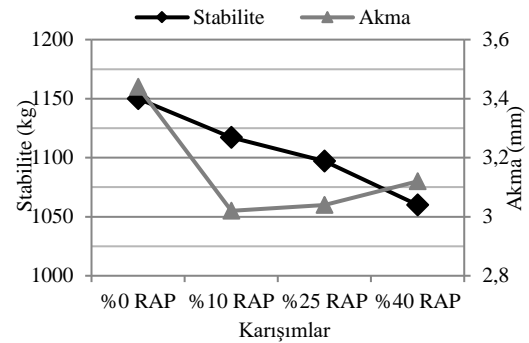
### 3.1. Marshall deney sonuçları

Hazırlanan karışımlara ait Marshall stabilite deney sonuçları [8] Tablo 3 ve Şekil 2-8’de verilmiştir.

Tablo 3. Karışımlara ait Marshall stabilite deney sonuçları

Özellikler	Binder Tabakası				Şartname Değerleri
	Deney Sonuçları				
	%0 RAP	%10 RAP	%25 RAP	%40 RAP	
Bitüm %'si	4.27	4.10	4.49	4.34	3.5 – 6.5
Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.421	2.418	2.415	2.404	-

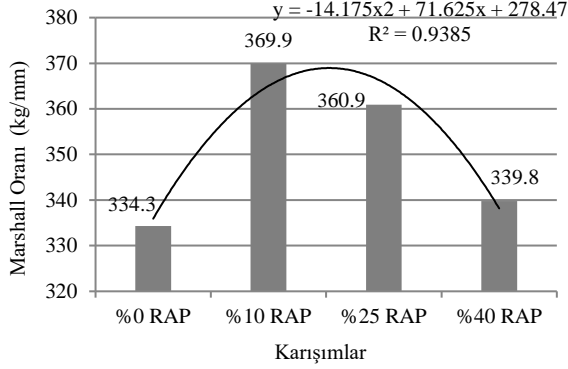
Boşluk %'si	4.28	4.71	4.28	4.94	4 – 6
Bitümle Dolu Boşluk %'si	67.18	63.9	68.38	63.92	60 – 75
Stabilite (kg)	1150	1117	1097	1060	Min. 750
Akma (mm)	3.44	3.02	3.04	3.12	2 – 4
Agregalar Arası Boşluk %'si (VMA)	13.35	13.03	13.5	13.69	Min. 13
Kaba Agreganın Özgül Ağ. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.684	2.684	2.684	2.684	-
İnce Agreganın Özgül Ağ. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.629	2.629	2.629	2.629	-
Fillerin Özgül Ağ. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.776	2.776	2.776	2.776	-
Agrega Efektif Özgül Ağ. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.699	2.699	2.699	2.699	-
Bitümün Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	1.023	1.023	1.023	1.023	-
Maksimum Teorik Özgül Ağırlık	2.529	2.537	2.523	2.528	-
Tokmak Sayısı	75	75	75	75	75
Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)	135	135	135	135	-



Şekil 2. Marshall stabilite-akma grafiği

Stabilite değerlerinin KTŞ'ye göre binder tabakası için minimum 750 kg olması gerekmektedir. Şekil 2’de görüleceği üzere tüm numuneler için stabilite kriteri sağlanmakla beraber katkı miktarının artmasıyla stabilite değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Katkısız karışıma göre %10, %25 ve %40 RAP içerikli

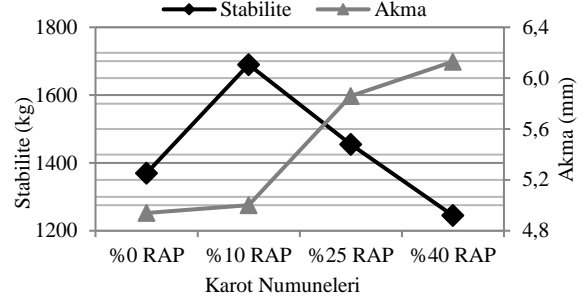
karışımlarda stabilite değerlerinde sırasıyla %2.86, %4.61 ve %7.83 oranlarında azalma olmuştur. Bu azalma yaşlanmış bitüm oranının artmasından ileri gelmektedir.



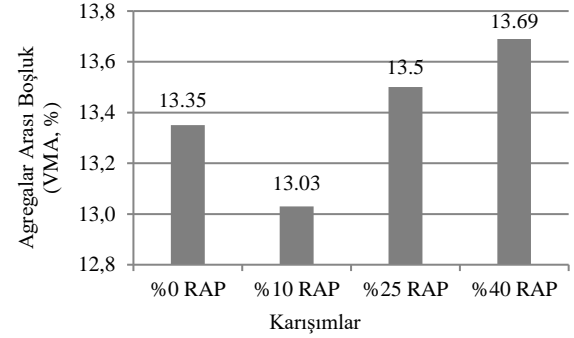
Şekil 3. Marshall oranı değerleri

Marshall oranı (Marshall Stabilite/Akma, kg/mm) malzemenin servis süresi boyunca kalıcı deformasyonlara karşı direncini gösteren bir parametredir. Karışımlardaki RAP içeriğinin artmasıyla, Marshall oranı değerleri artmış ve Şekil 3’de grafik olarak gösterilmiştir. En yüksek Marshall oranı değerine %10 RAP içeriğiyle modifiye edilen karışımda ulaşılmış ve bu karışım için tekerlek izi direnci, normal karışıma oranla %10.65 oranında artış göstermiştir. Bu durum stabilitedeki azalmaya rağmen akma değerlerinin normal karışıma göre daha düşük olmasından kaynaklanmıştır.

Şekil 4’te uygulama sahasından alınan karot numunelerinin stabilite ve akma değerleri verilmiştir. Karot numunelerinin stabilite değerleri, laboratuvar ortamında üretilen briket numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, tekrarlı yükler altında kaplamanın ilave bir sıkışmaya maruz kaldığını göstermektedir. Akma değerlerinde oluşan artış ise aynı şekilde tekrarlı yüklerden dolayı kaplama yüzeyinde tekerlek izi oluşma ihtimalinin RAP içeriği artışına bağlı olarak artabileceğini göstermektedir.

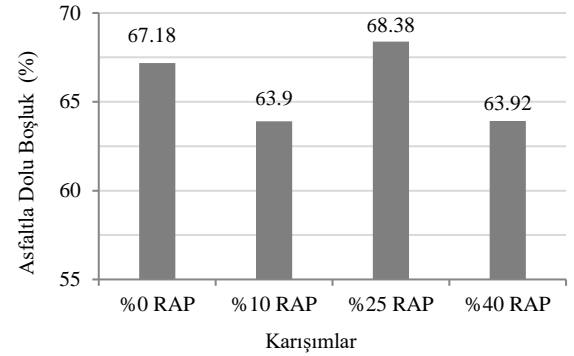


Şekil 4. Karot numunelerinin Marshall stabilite-akma grafiği



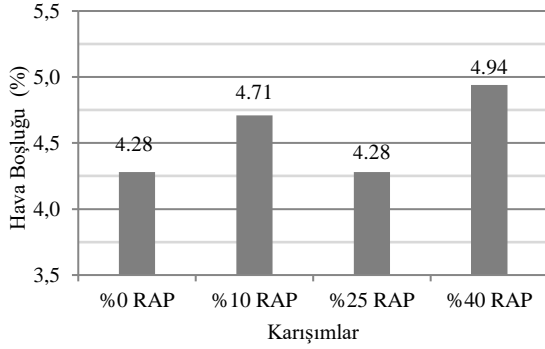
Şekil 5. Karışımların agregalar arası boşluk değerleri

Agregalar arası boşluk yüzdesinin KTŞ’ye göre binder tabakası için minimum %13 olması gerekmektedir. Sadece %10 geri dönüşümlü karışım için bu değer sınır değere yakın çıktığı Şekil 5’te görülmektedir.



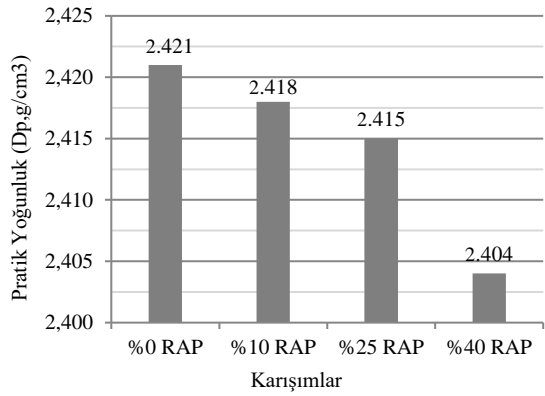
Şekil 6. Karışımların asfaltla dolu boşluk değerleri

Asfaltla dolu boşluk yüzdesinin KTŞ’ye göre binder tabakası için minimum %60-75 aralığında olması gerekmektedir. Tüm karışımlar için şartname kriterlerinin sağlandığı Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 7. Karışımların hava boşluğu değerleri

Boşluk miktarı, karışıma katılan RAP içeriğiyle birlikte genel olarak artmıştır. Bu durumun, şartname kriterleri ve karışımın fiziksel özellikleri bakımından bir sorun teşkil etmediği Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 8. Karışımların pratik yoğunluk değerleri

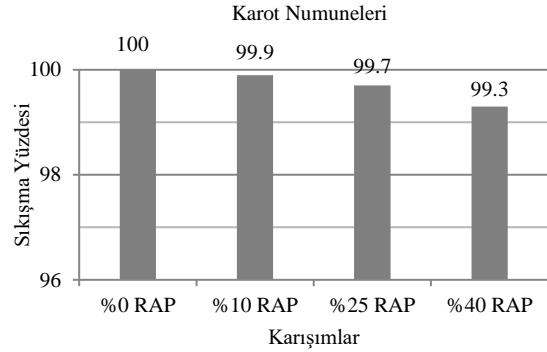
RAP içeriğinin artışıyla birlikte karışımların pratik yoğunluk değerleri azalmış olup, Şekil 8’de sunulmuştur. Bu azalma katkısız karışıma göre, %10, %25 ve %40 RAP içeriğinde sırasıyla %0.12, %0.25 ve %0.70 oranlarında olmuştur.

### 3.2. Kaplamadan Alınan Karot Numunelerinin Marshall Deney Sonuçları

Yola serilip sıkıştırılmış asfalt tabakasından alınan karot numunelerinin yoğunlukları ve sıkışma yüzdeleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Karot numunelerinin sıkışma yüzdeleri

Asfalt	Briket Yük. (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Pratik Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Dizayn Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Sıkışma Yüzdesi
%0 RAP	70.3	1261.8	1262.3	733.6	528.7	2.421	2.420	100
%10 RAP	62.8	1140.8	1142.1	657.5	484.6	2.418	2.420	99.9
%25 RAP	73.7	1376.4	1377.1	802.8	574.3	2.415	2.420	99.7
%40 RAP	62.4	1130.3	1133.6	655.9	477.7	2.404	2.420	99.3

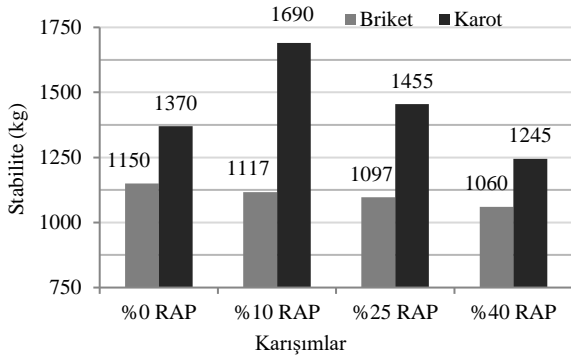


Şekil 9. Karotların sıkışma yüzdelerinin karşılaştırılması

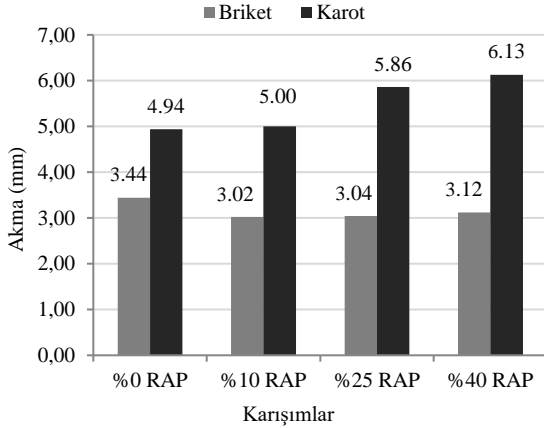
Karayolları Teknik Şartnamesine göre minimum %96 olması gereken sıkışma yüzdelerinin, şartnameye göre yeterli düzeyde olduğu Tablo 4 ve Şekil 9’da görülmektedir.

Yola serilip silindirle sıkıştırıldıktan sonra asfalt tabakasından alınan karot numunelerinin ve laboratuarda üretilen briketlerin stabilite ve akma değerleri birbirleriyle kıyaslanmış olup Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. Karot

numunelerinin stabilite değerleri briketlere oranla daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, trafik yükü altında kaplamanın ilave bir sıkıştırmaya maruz kaldığını göstermektedir. Karot numunelerinin stabilite değerindeki en çok artış %10 RAP içeriğinde, katkısız karot numunesine göre %51.3 oranında olmuştur. Karot numunelerinin stabilite değerlerindeki artışla orantılı olarak akma değerlerinde de artış meydana geldiği Şekil 11'de görülmektedir. Akma değerlerindeki bu artış, tekrarlı trafik yükleri altında kaplama yüzeyinde tekerlek izi oluşma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. Karot ve briket numunelerinin stabilite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 11. Karot ve briket numunelerinin akma değerlerinin karşılaştırılması

#### 4. Sonuçlar

Doğal kaynakların giderek tükenmekte olduğu ülkemizde, yeni agrega kaynak arayışları ve petrol türevi olan bitüm için dışa bağımlılık, ekonomik değeri yüksek olan yollardan kazınan kaplamaların sıcak asfalt karışımlarda yeniden

kullanılabilirliğinin araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Bu kapsamda, üç farklı oranda geri dönüşümü sağlanmış asfalt içeren sıcak asfalt karışımların laboratuvar ve saha sonuçlarıyla birlikte ortaya konulmasını esas alan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

Stabilite değerlerinin, RAP içeriği arttıkça azaldığı ancak bu azalmanın çok önemli düzeyde olmadığı ve elde edilen kazanım dikkate alındığında söz konusu azalmanın makul düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

RAP içeriği arttıkça normal karışıma göre akma değerlerinin, arttığı belirlenmiştir.

Marshall oranı değerleri dikkate alındığında %10 RAP kullanımının tekerlek izi dayanımını en çok artıran katkı içeriği olduğu ve katkısız karışıma göre %10.65 oranında bir artış sağladığı tespit edilmiştir.

Boşluk miktarının karışıma katılan geri dönüşüm malzemesi miktarına bağlı olarak artmasının beklenen bir sonuç olduğu, bu durumda şartname kriterleri ve karışımın fiziksel özellikleri bakımından bir sorun teşkil etmediği görülmüştür.

Karot numunelerinin akma değerleri normal karışım da dahil olmak üzere şartname üst sınır değerini aşmıştır. Kaplama tabakası silindirle sıkıştırıldığından laboratuvar ortamında sıkıştırılan numunelere kıyasla daha fazla bir sıkışmaya uğramıştır. Bu sıkışma kaplamanın stabilite değerinde artış meydana getirmekle birlikte akma değerinde de artışa neden olmuştur.

#### 5. Kaynaklar

1. Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S. ve Dost, Y. (2008). Kazılmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı, *Karayolu 1. Ulusal Kongresi (1-3 Nisan)*, Ankara.
2. Salta, İ. (2010). Bitümlü sıcak karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. Kaya, B., (2011). Bitümlü karışımların geri dönüşümü çevresel etkileri ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Asfaltta Geri Dönüşüm (2009). İsfalt, İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

5. Imbert, T., (2009). Burgeap Ekök Direktifi Genel Sunumu, REC Türkiye web sitesi - Orta ve Doğu Avrupa İçin Bölgesel Çevre Merkezi (REC).

6. Hassan, K.E., Sanders, P.J. and Nicholls, J.C. (2004). Development of asphalt and concrete products incorporating alternative aggregates, PR CPS/08/04, PII Reference: F-02-TAR1, Project Report.

7. Karayolu Teknik Şartnamesi (2013). Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

8. Mazlum, M. S. (2014). Ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kazınarak bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.