

Atık Cam Tozunun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Değerlendirilmesi

Hande Varol Morova^{1*}

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3481-9925), handevarol@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14.06.2022 ve Kabul Tarihi 30.01.2023)

(DOI: 10.35354/tbed.1130655)

ATIF/REFERENCE: Varol Morova, H. (2022). Atık Cam Tozunun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Değerlendirilmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13 (1), 29-33.

Öz

Doğaya bırakılan atık malzemelerin çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar giderek artmaktadır. Buna çözüm olarak atıkların geri dönüştürülerek yeniden kullanımı üzerine tekstil, elektronik, inşaat gibi çeşitli alanlarda çalışmalar yapılmaya başlanmış ve günümüzde de devam etmektedir. Ulaştırma alanında da bitümlü sıcak karışımların (BSK) yüksek maliyetli olması sebebiyle BSK'da farklı atık malzemelerin kullanımı denetlenmektedir. Bu çalışmada, doğaya terk edilen ve çevre kirliliğine sebep olan atık cam tozunun (ACT) BSK'da filler malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. %3, %3.5, %4, %4.5, %5 ve %5.5 oranlarında karışımlar hazırlanmış ve optimum bitüm miktarı (OBM) %4.43 olarak bulunmuştur. Kireçtaşı için belirlenmiş OBM esas alınarak ACT fillerin taş tozu ile yer değiştirilmesiyle oluşan yeni BSK numuneleri hazırlanmıştır. Ardından Marshall Stabilite (MS) deneyi ile ACT'nin performans özellikleri değerlendirilmiştir. ACT ile üretilmiş olan numunelerin pratik özgül ağırlık (Dp), boşluk oranı (Vh), agregalar arası boşluk oranı (VMA), bitümle dolu boşluk miktarı (Vf), MS ve akma değeri bulunarak ACT'nin BSK'da filler malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü sıcak karışım, Cam atık, Marshall stabilitesi, Geri dönüşüm, Atık malzeme

Evaluation of Waste Glass Powder as Filler in Hot Mix Asphalt

Abstract

The harms of waste materials left to nature to the environment and human health are increasing day by day. As a solution to this, studies have been started in various fields such as textile, electronics and construction on the recycling and reuse of wastes, and they continue today. Due to the high cost of hot mix asphalt (HMA) in the field of transportation, the use of different waste materials is tried in HMA. In this study, the usability of waste glass powder (WGP), which is left to nature and causes environmental pollution, as filler material in HMA was investigated. Mixtures of 3%, 3.5%, 4%, 4.5%, 5% and 5.5% were prepared and the optimum bitumen amount (OBA) was found to be 4.43%. Based on the OBA determined for limestone, new HMA samples were prepared by replacing the WGP fillers with stone dust. Then, the performance properties of WGP were evaluated with Marshall Stability (MS) test. By finding the practical specific gravity (Dp), void volume values (Vh), voids in mineral aggregate (VMA), voids filled with bitumen (Vf), MS and flow value of the samples produced with WGP, it was concluded that WGP can be used as a filler material in HMA.

Keywords: Hot mix asphalt, Glass waste, Marshall stability, Recycling, Waste material

1. Giriş

Asfalt betonu sürüş konforu, dayanım, hızlı inşaa gibi avantajlı özellikler sebebiyle üstyapılarda en çok tercih edilen kaplama türüdür [1-4]. Ancak tüm bunların yanında yüksek maliyetli oluşu bir dezavantaj oluşturduğu için alternatif malzeme ve yeni teknik arayışlarına geçilmiştir [4].

Yapılan araştırmalar, BSK stabilitesinin agregası, bitüm ve üretim tekniği gibi faktörlere bağlı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda filler malzemesi de karışımın işlenebilirlik, nem hassasiyeti, sertlik, yorulma davranışı gibi özelliklerini etkilemektedir. Filler malzemesi, fiziksel ve kimyasal özellikler, şekil, doku, boyut ve derece bakımında farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle BSK'nın ideal performansı için uygun filler malzemesi seçimi çok önemlidir. Son yıllarda çevresel ve ekonomik sebeplerle yol kaplamalarında geri dönüştürülmüş atık malzemelerin kullanımı yaygınlaşmakta ve çeşitli kuruluşlar ve araştırmacılar tarafından da çalışmalar bu yönde ilerlemektedir [5].

Sıcak asfalt karışımlarında filler olarak kullanılmak üzere pirinç kabuğu külü [1], kömür atığı tozu [5], kolemanit [6], seramik atıklar [7] gibi çok sayıda malzeme kullanılmıştır. Bu çalışmada ise atık cam tozunun (ACT) kullanılması planlanmıştır.

Literatürde, Üstüncöl ve Turabi (2009), cam tozunu filler olarak kullanmış ve Marshall dayanımlarında artma elde etmiştir. Aynı çalışmada karışım boşluk oranlarının ise şartname sınırlarında olduğu belirlenmiştir [8]. Öksüz (2011), cam şişe atıklarının filler malzemesi olarak kırmataş tozu yerine kullanılmasının etkisini araştırmıştır [9]. Jony vd. (2010) BSK'da geleneksel kireçtaşı tozuna alternatif olarak cam tozu önermiştir [10]. Simone vd. (2019) geri dönüştürülmüş yoğun gradasyonlu BSK'da kireçtaşı dolgunun alternatifi olarak cam tozunun kullanımını değerlendirmiştir [11].

Bu çalışmada, %7 oranında atık cam tozu (ACT) kullanılarak üretilen BSK'nın binder tabakasındaki performans özellikleri incelenmiştir. Elde edilen numunelerin pratik özgül ağırlık (Dp), boşluk oranı (Vh), agregalar arası boşluk oranı (VMA), bitümle dolu boşluk miktarı (Vf), Marshall Stabilitesi (MS) ve akma değerleri tespit edilmiş, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde (KTŞ) yer alan sınır değerlere uygunluğu incelenmiştir [12].

2. Materyal ve Metot

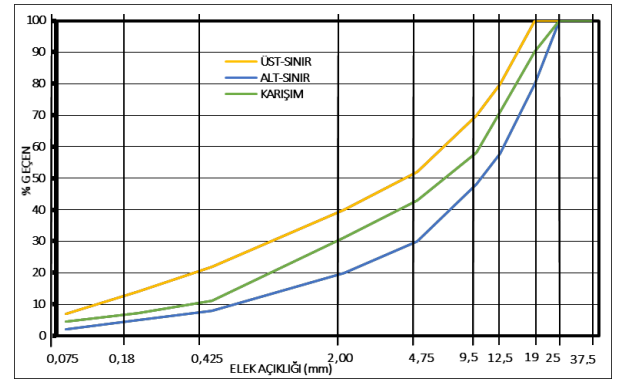
2.1. Agregası

Çalışmada kullanılan agregası Isparta Belediyesi'nden temin edilmiştir. Agregası olarak kalker kırmataş kullanılmıştır. Kullanılan kireçtaşı agregasına ait fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Agregası Özellikleri

Deney	Değer	Standart
Özgül Ağırlık (gr/cm³)		
Kaba Agregası		
Zahiri Özgül Ağırlık	2.714	
Hacim Özgül Ağırlık	2.686	ASTM C127-88 [13]
Su Absorpsiyonu %	0.4	
İnce Agregası		
Zahiri Özgül Ağırlık	2.716	
Hacim Özgül Ağırlık	2.674	ASTM C128-88 [14]
Su Absorpsiyonu %	0.6	
Filler		
Hacim Özgül Ağırlık	2.730	ASTM C128-88 [14]
Los Angeles Aşınma (%)	22	ASTM C 131 [15]

Çalışmada kullanılan gradasyon KTŞ binder tabakasına uygun olarak Şekil 1'de verilmiştir [12].



Şekil 1. Gradasyon Eğrisi

2.2. Bitüm

Çalışmada Aliğa Rafinerisi'nden temin edilen 50-70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır. B 50-70 penetrasyonlu bitümün özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. B 50-70 Bitümlü Bağlayıcı Özellikleri

Deney	Değer	Standart
Penetrasyon (25°C)	58	ASTM D5 [16]
Yumuşama Noktası (°C)	51	ASTM D36 [17]
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	1.037	ASTM D70 [18]

2.3. Atık Cam

Ön deneyler sonucunda ACT oranı %7 olarak belirlenmiş ve yeni BSK numuneleri oluşturulmuştur. Kullanılan camın fiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Camın Fiziksel Özellikleri [19]

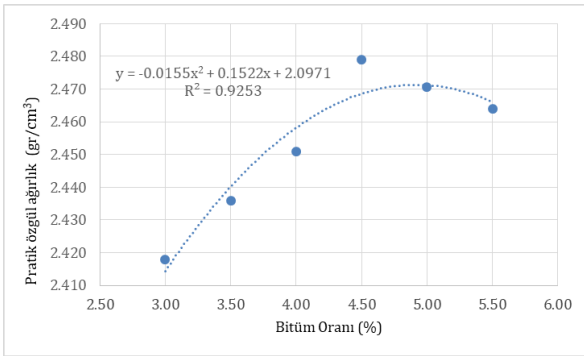
Özellik	Değer	Standart
Doğrusal Isıl Genleşme	90x10 ⁻⁷ °C	ASTM E 228-71
Yoğunluk	2.499 g/cm ³	ASTM C 693-84
Yumuşama Sıcaklığı, Ts	715 °C	ASTM C 338-73
Tavlama Sıcaklığı, Ta	536 °C	ASTM C 336-71
Gerilme Sıcaklığı, Ts ^t	500 °C	ASTM C 336-71
Kırılma İndisi, n _o	1.5188	
Kırılma Modülü, S	100 MPa	ASTM C 158-84
Esneklik Modülü, E	71 GPa	

2.4. Karışım Deneyleri

BSK numuneleri KTŞ'ye göre hazırlanmıştır [12]. Numuneler hazırlanırken BSK'ların dizaynı için Marshall yöntemi tercih edilmiştir. Marshall yönteminde standart bir tokmakla belirli bir sayıda darbe uygulanarak sıkıştırma yapılmaktadır. 1150 gr olarak hazırlanan agrega numunelerine ağırlıkça sırasıyla %3, %3.5, %4, %4.5, %5 ve %5.5 oranında bitüm eklenmiş, her orandan da üçer adet numune hazırlanmıştır. Elde edilen numunelerin MS, akma değeri, Vf, VMA, Dp değerleri ve optimum bitüm miktarı (OBM) belirlenmiştir. Ardından çalışmada kireçtaşı için belirlenmiş OBM esas alınarak ACT fillerin taş tozu ile yer değiştirilmesiyle oluşan yeni BSK numunesinin MS ve akma değeri ölçülmüştür.

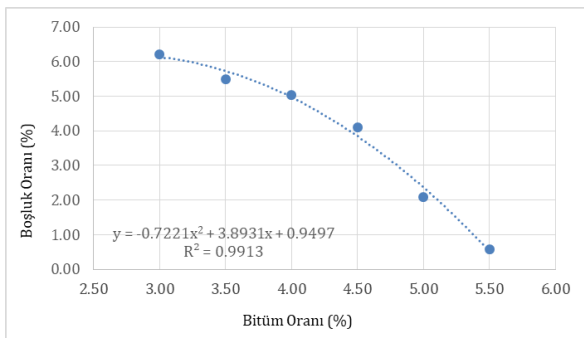
3. Bulgular

OBM belirlemek amacıyla yapılan MS deneyi sonucunda numunelere ait Vh, Vf, VMA, Dp, MS ve akma değerleri elde edilmiştir. Şekil 2'de pratik özgül ağırlık ile bitüm oranı ilişkisi gösterilmiştir.



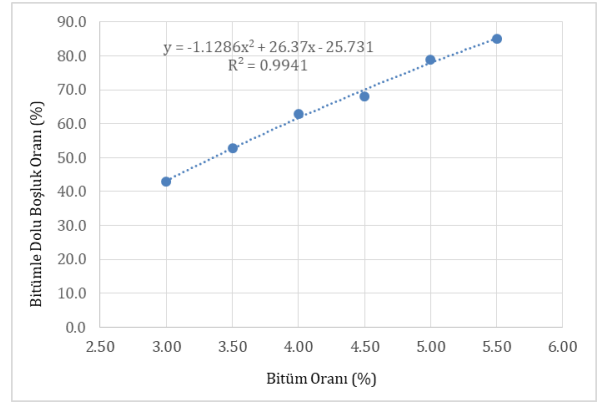
Şekil 2. Dp ve Bitüm (%) İlişkisi

Şekil 2'ye baktığımızda, bitüm oranının artmasıyla hava boşluklarının yerini bitümün almasından dolayı Dp değerinde de belirli bir noktaya kadar artış gözlemlenmektedir. OBM tespiti için gerekli olan, Dp-bitüm oranı eğrisindeki en yüksek Dp değerine karşılık gelen bitüm oranı %4.85 olarak bulunmuştur. Şekil 3'te boşluk oranı ile bitüm oranı arasındaki ilişki verilmiştir.



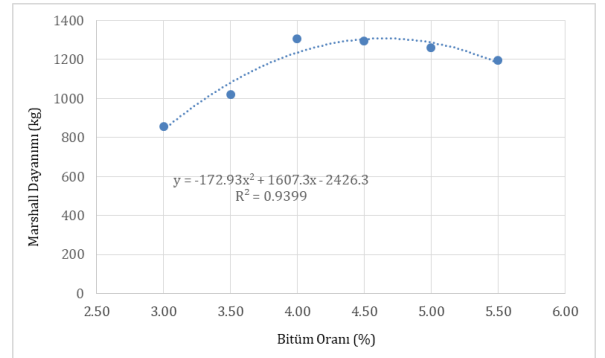
Şekil 3. Vh ve Bitüm (%) İlişkisi

Şekil 3'te bitüm miktarı arttıkça Vh değerinde bir azalma görülmektedir. KTŞ'de binder tabakası için Vh en az %4 en fazla %6 olması istenmektedir [12]. Grafikten iki değer ortalaması %5'e karşılık gelen bitüm oranı %3.98 olarak bulunmuştur. Şekil 4'te bitümle dolu boşluk oranı ile bitüm oranı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4. Vf ve Bitüm (%) İlişkisi

KTŞ binder tabakası dizayn kriterlerinde Vf minimum %60 maksimum %75 olacak şekilde belirtilmiştir [12]. Şekil 4'e baktığımızda bu iki değer ortalaması %67.5'a karşılık gelen bitüm oranı %4.35 olarak bulunmuştur. Şekil 5'te MS ile bitüm oranı arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5. MS ve Bitüm (%) İlişkisi

Şekil 5'te gösterilen MS-bitüm oranı grafiğinde OBM'nin tespiti için gerekli, en yüksek stabiliteyi veren bitüm oranı %4.55 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu dört değer ortalaması alındığında OBM %4.43 olarak bulunmuştur. Tablo 4'te OBM'ye karşılık gelen Dp, Vh, Vf, VMA, MS ve akma değerleri ile şartname limitleri verilmiştir.

Tablo 4. OBM'ye Göre Dizayn Verileri

Değişken	Şartname Aralığı[12]	OBM Değerleri	Sonuç
Pratik Özgül Ağırlık - Dp (gr/cm³)	-	2.47	Uygun
Boşluk Oranı - Vh (%)	4-6	4.03	Uygun
Agregalar Arası Boşluk Oranı - VMA (%)	13-15	13.23	Uygun
Bitümle Dolu Boşluk Oranı - Vf (%)	60-75	68.94	Uygun
Marshall Stabilitesi-MS (kg)	750-	1308.42	Uygun
Akma (mm)	2-4	3.06	Uygun

Kireçtaşı için belirlenmiş OBM esas alınarak %7 oranındaki ACT filler ile taş tozu filler malzemesi yer değiştirilmiş ve yeni BSK numuneleri elde edilmiştir. Ardından bu yeni numuneler MS deneyine tabi tutulmuştur. Tablo 5'te %7 ACT filler ile oluşturulan BSK'ların Dp, Vh, Vf, VMA, MS ve akma değerleri ile şartname limitleri verilmiştir.

Tablo 5. %7 ACT İçeren BSK Değerleri ve Şartname Limitleri

Değişken	Binder [12]		%7 ACT İçeren BSK Değerleri
	Min.	Max.	
Pratik Özgül Ağırlık-Dp (gr/cm ³)	-	-	2.341
Boşluk Oranı-Vh (%)	4	6	6.7
Agregalar Arası Boşluk Oranı-VMA (%)	13	15	16.8
Bitümle Dolu Boşluk Oranı-Vf (%)	60	75	60.3
Marshall Stabilitesi-MS (kg)	750	-	974
Akma (mm)	2	4	3.02

4. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde atık malzemelerin BSK'da kullanımı ile ilgili çalışmalar artmaktadır. Atık malzemelerin yeniden kullanımı hem ekonomik açıdan hem de çevre kirliliğinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışmada ACT'nin BSK'da kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- ACT içeren numunelerin Dp değeri 2.341 gr/cm³ ile istenen seviyede çıkmıştır.
- Vh şartname maksimum değeri %6 iken ACT içeren karışımda %6.7, VMA şartnamede üst sınır %15 iken ACT içeren karışımda %16.8 olarak bulunmuştur. Vh ve VMA şartname sınırını geçmiştir. Bunun sebebi, ACT'nin numunelerde oluşturduğu boşluklu yapıdan kaynaklanmaktadır.
- MS, şartname alt sınırı olan 750 kg'ı sağlayarak 974 kg olarak bulunmuştur.
- Vf%60.3, akma değeri ise 3.02 mm ile şartname sınırları içerisinde kalmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre ACT'nin BSK'da test edilen oranda kullanılabilirliği ortaya çıkmaktadır.

Farklı oranlarda ACT kullanılarak oluşturulacak numunelerin MS ve indirekt çekme mukavemeti testleri ile daha sağlıklı sonuçlar ortaya çıkacaktır. Camın geri dönüştürülmesi sürdürülebilir bir çevre açısından da fayda sağlayacaktır.

Kaynakça

- [1] Sargın, Ş., Saltan, M., Morova, N., Serin, S., & Terzi, S. (2013). Evaluation of rice husk ash as filler in hot mix asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 390-397.
- [2] Morova, N. (2013). Investigation of usability of basalt fibers in hot mix asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 175-180.
- [3] Uzun, İ., & Terzi, S. (2012). Evaluation of andesite waste as mineral filler in asphaltic concrete mixture. *Construction and Building Materials*, 31, 284-288.
- [4] Yılmaz, M., Kök, B. V., & Kuloğlu, N. (2011). Effects of using asphaltite as filler on mechanical properties of hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4279-4286.

- [5] Modarres, A., & Rahmanzadeh, M. (2014). Application of coal waste powder as filler in hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 66, 476-483.
- [6] Morova, N., & Terzi, S. (2015). Kolemanit atıkların sıcak karışım asfalt betonda agrega olarak değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 8-15.
- [7] Huang, B., Dong, Q., & Burdette, E. G. (2009). Laboratory evaluation of incorporating waste ceramic materials into Portland cement and asphaltic concrete. *Construction and Building Materials*, 23(12), 3451-3456.
- [8] Üstümkol, F. N., & Turabi, A. (2009). Endüstriyel atıkların karayolu üst yapısında değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 15-27.
- [9] Öksüz, B. 2011. Asfalt Betonlu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, Isparta.
- [10] Jony, H. H., Al-Rubaie, M., & Jahad, I. Y. (2011). The effect of using glass powder filler on hot asphalt concrete mixtures properties. *Engineering and Technology Journal*, 29(1), 44-57.
- [11] Simone, A., Mazzotta, F., Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G. (2019). Experimental application of waste glass powder filler in recycled dense-graded asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 20(3), 592-607.
- [12] Karayolları Genel Müdürlüğü. 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi. Ankara.
- [13] ASTM C 127-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate. USA: Annual Book of ASTM Standards.
- [14] ASTM C 128-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate. USA: Annual Book of ASTM Standards.
- [15] ASTM C 131-96. 1996. Standard Test Method for Resistance to Abrasion of Small Size Coarse Aggregate by Use of The Los Angeles Machine. Annual Book of ASTM Standards.
- [16] ASTM D5. 1992. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards USA.
- [17] ASTM D36. 1992. Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards USA.
- [18] ASTM D70. 1992. Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method). Annual Book of ASTM Standards USA.

- [19]Önal, M. A., & Kahramangil, M. (1993). Bitümlü karışımlar laboratuvar el kitabı. *KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara*, 136-137.