

Atık Lastik ve Cam Lif ile Modifiye Edilmiş Bitümün Asfalt Betonunun Performansına Etkileri

Zeynel Baran Yıldırım¹, Murat Karacasu², Derviş Volkan Okur³

¹Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana.

e-posta: zeynelbaranyildirim@gmail.com

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

e-posta: muratk@ogu.edu.tr

³Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

e-posta: vokur@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi: 21.03.2018 ; Kabul Tarihi: 23.11.2018

Özet

Gelişen teknoloji ile birlikte doğaya bırakılan endüstriyel atıklardaki artış hem çevreye hem de insan sağlığına ciddi zararlar vermektedir. Atık malzemelerin miktarları her geçen gün artmaktadır ve depolanacağı alanlar sınırlıdır. Günümüzde bazı atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanılabilirliği ve geri kazanımı konusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Atıkların geri dönüşüm malzemesi olarak kullanılması birçok alanda olduğu gibi yol inşaatlarında da asfalt betonunun maliyetinin büyük çoğunluğunu oluşturan bitümün içeriğinde katkı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, belli oranlarda atık lastik ve cam lif içeren modifiye bitümün asfalt betonunun performans özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu malzemeler ile modifiye edilen bitüm kullanılarak Marshall tasarımıyla numuneler elde edilmiştir ve sonuçları değerlendirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde; modifiye edilmiş numunelerin Marshall dayanımlarının küçük miktarda azaldığı gözlenmiştir. Ancak tüm numuneler gerekli standart koşulları sağlamaktadır. Bu şekilde hem çevresel atıklar değerlendirilmekte hem de sürdürülebilir yaşam sağlanmaktadır.

Anahtar kelimeler

“Asfalt betonu”; “Atık lastik”; “Cam lif”; “Sürdürülebilir yaşam”; “Marshall Tasarımı”

Effects of Waste Rubber and Glass Fiber Modified Bitumen on Asphalt Concrete Performance

Abstract

The increase in industrial wastes left to nature together with the advancing technology causes serious harm both to the environment and to human health. The quantity of waste materials increase by time and storing getting difficult. In recent years, research has been conducted on the reusability of waste materials in civil engineering works. The use of wastes as recycling material is used as a contribution in the content of bitumen which constitutes a great majority of the cost of asphalt concrete in road constructions as well as in many areas. In this study, the effects of modified bitumen containing waste rubber and glass fiber on the performance characteristics of asphalt concrete were examined at certain ratios. By using the modified bitumen with these materials, specimens were obtained with Marshall design and the results were evaluated. When the test results are examined; It was observed that the modified specimens had a smaller amount of Marshall stability. However, all specimens meet the required standard conditions. In this way, both environmental wastes are evaluated and sustainable life is ensured.

Keywords

“Asphalt concrete”;
“Waste rubber”;
“Glass fiber”;
“Sustainable life”;
“Marshall design”

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Günümüzde otomobil kullanımının yaygınlaşmasının bir sonucu olarak, doğada yok

olması uzun yıllar süren milyonlarca atık otomobil lastiği ortaya çıkmaktadır. Atık lastiklerin bu kadar önemli miktarda olması, kullanım ömrü dolmuş bu

malzemelerin geri dönüşüm yöntemleri ile günümüzde farklı alanlarda kullanılması bir zorunluluk olmuştur.(Sugözü ve Mutlu 2009).

Son yıllarda asfalt betonu ile yapılan yolların performans özelliklerinin artırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bitüm malzemesinin maliyetli olması, öğütülmüş bu atık lastiklerin asfalt betonunda katkı olarak kullanımının önemini artırmıştır. Bunun yanı sıra 1940'lı yıllardan bu yana değişik cam lifi tipleri endüstri alanlarında katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır.Cam lif çekme, eğilme dayanımları, darbe ve rijitlik dayanımları gibi fiziksel özellikleri artırabilmesiyle bilinir(Fakhri and Hosseini 2016, Dehghan et al. 2017).

Karacasu ve Bilgiç (2009), atık lastiklerin binder asfalt betonu üzerindeki etkilerini Marshall Deneyi ve sünme performans deneyleriyle araştırmışlardır. 50-70 ve 70-100 penetrasyon değerlerindeki bitüm numuneler için farklı şekil ve tane boyutlarındaki atık lastikler beton asfalt içerisindeki agreganın belli oranlarında ilave edilmiştir. Atık malzeme kullanılarak üretilen asfalt betonunun, standart koşullar altında üretilen asfalt betonunu ile benzer performans özelliklerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Çelik (2001), parçalanmış otomobil lastiği ile modifiye edilmiş bitümün yorulma davranışına etkisini sabit basınç deney yöntemini kullanarak vekiriş numunelerinin yorulma sürelerini karşılaştırarak incelemiştir. %5 oranında kullanılan otomobil lastikli katkının 50 penetrasyonlu bitüm için yorulma süresini 2 kat artırırken 100 penetrasyonlu bitüm bitümle yapılan modifikasyonun yorulma süresinin 23 kat arttığı gözlenmiştir.

Tortum vd. (2005) yapmış oldukları çalışmada; deneysel tasarım yöntemlerinden Taguchi metodunu kullanarak aşınma Tip-2 asfalt betonunda katkı olarak kullanılan otomobil lastiğinin farklı değişkenler etkisinde optimum koşulların bulunması durumu incelenmiştir. Deney sonuçları uygun şartların; atık lastik gradasyonu #40 numaralı elek, karışım sıcaklığı 155°C, agregada gradasyonu grad.1 (Aşınma Tip-2 asfalt betonu agregada gradasyonu sınır değerleri arasında belirlenmiş gradasyon sınıfı)(KGM 2013), lastik katkı oranı %10, bitüm

oranı %5.5, sıkıştırma sıcaklığı 135°C ve karıştırma süresi 15 dakika olmasını gerektiğini göstermiştir.

Bu çalışmada belli oranlarda atık lastik ve cam lif birlikte kullanılmasıyla modifiye edilen 50-70 penetrasyonlu bitümün aşınma (Tip-2) asfalt betonunun performans özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Geleneksel Marshall tasarımıyla numuneler elde edilmiştir. Numunelerin boşluk oranı, bitümle dolu boşluk oranı(VFA), pratik özgül ağırlık(PÖA), ve Marshall dayanımının yanı sıra akma ve agregada ile dolu boşluk oranları(VMA) da karşılaştırılmıştır. Teknik şartnamelerde yer alan gerekli sınır şartlarına uygunlukları incelenmiştir. Böylece hem çevresel atıkların değerlendirilmesi hem de sürdürülebilir yaşamın devamı hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

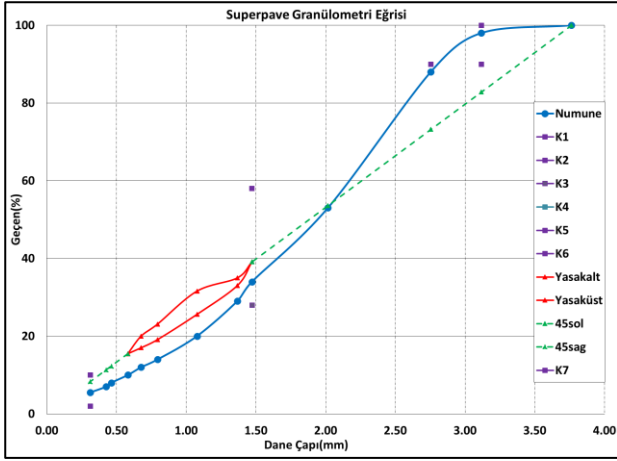
2.1 Agregalar

Bu çalışmada agregada olarak kireçtaşı kullanılmıştır. Kullanılan agregada özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Agregada özellikleri

Deney	Değer	Standart
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		
Kaba Agregada	Zahiri Özgül Ağırlık	2.768
	Hacim Özgül Ağırlık	2.7067
	YKSD Özgül Ağırlık	2.7288
İnce Agregada	Zahiri Özgül Ağırlık	2.744
	Hacim Özgül Ağırlık	2.578
	YKSD Özgül Ağırlık	2.639
Filler	Hacim Özgül Ağırlık	2.725
ASTM C128		
Sıkı Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)		
Gevşek Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)		
Los Angeles Aşınma (%)		
Yassılık İndeksi (%)		
Donma-Çözünme Dayanımı (%)		

Agregada numunesi hem superpave hem de Karayolu Teknik Şartnamesine_(KTŞ), aşınma tabakası Tip-2' ye ait dane dağılımı sınır şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanmış ve Şekil 1' de gösterilmiştir (KGM 2013).



Şekil 1. Numune dane dağılımı eğrisi

2.2 Bitüm

Karışım için kullanılan 50-70 penetrasyonlu bitüm TÜPRAŞ (İzmit) rafineri tesisinden sağlanmıştır. B 50-70 bitümlü bağlayıcıya ait deney sonuçları Çizelge 2’de gösterilmiştir. Karışım deneylerinde kullanılacak olan bitümlerin modifikasyonu; bitümün ağırlıkça %10 oranında atık lastik (AL) kullanılarak (Şekil 2) modifiye bitüm mikserinde karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Geri dönüşüm yöntemleri ile farklı boyutlarda katkı malzemesi olarak kullanılan atık lastikler bu çalışma kapsamında #40 numaralı elek altına geçen malzemelerin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. AL katkısının özgül ağırlığı 1.09 g/cm^3 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. B 50-70 Bitümlü bağlayıcı özellikleri

Deney	Değer	Standart
Bitüm Kaynak	Tüpras, İzmit, Turkey	-
Penetrasyon (25°C)	50(50/70)	ASTM D5
Yumuşama Noktası(°C)	46	ASTM D36/D36M
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	1.038	ASTM D70-09e1
Düktilite (25°C)	>100 cm	ASTM D113-07
Isıtma Kaybı(%)	0.43	ASTM D6-95
Parlama Noktası (°C)	314	ASTM D92-05a
Viskozite(at 135°C, cP)	430.23	ASTM D4402-06
Viskozite(at 165 °C, cP)	120.95	ASTM D4402-06



Şekil 2. Atık lastik katkısı

Bu karışıma ek olarak kullanılan atık lastiğin ağırlıkça %0.5, %1 ve %2 si oranlarında cam lif (CL) ilave edilmiştir. CL katkılarının fiziksel özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Cam lif katkılarının fiziksel özellikleri

Değişken, özellik	Değer
Özgül ağırlık, gr/cm^3	2.57
Elastik Modülü, Gpa	72
Çekme mukavemeti, Gpa	2.05
Basınç Dayanımı, Gpa	5
Kayma modülü, Gpa	36
Poisson Oranı	0.23
Çap, mikron	14
Uzunluk, mm	10

Modifikasyon işlemlerinde kullanılan CL katkıları Şekil 3’de gösterilmektedir. Çalışma kapsamında cam lif katkısı hem ıslak hem de kuru süreçte karışıma katılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3. Cam lifi katkıları

Karışım deneylerinde kullanılan bitümler sırasıyla; Kontrol(50-70 saf bitüm), %10 AL-%0 CL, %10 AL-%0.5 CL, %10 AL-%1 CL, %10 AL-%2 CL şeklindedir.

2.3 Karışım Deneyleri

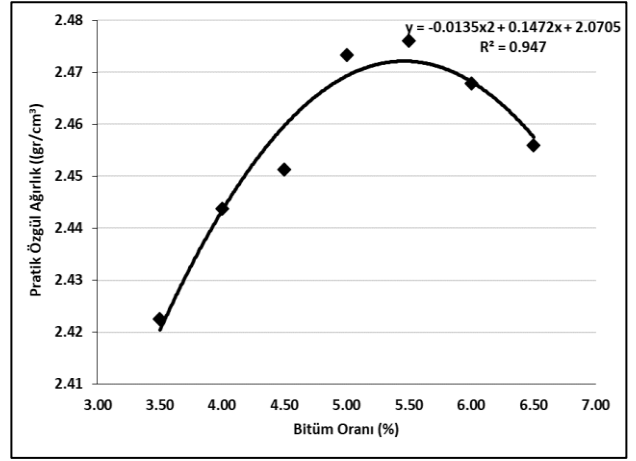
Asfalt betonunda optimum bitüm oranını_(OBO) belirlemek için Marshall tasarımı yöntemi kullanılmıştır. 1150 gr olarak hazırlanan agrega numunelerine ağırlıklarınca sırasıyla %3.5 - 6.5 aralığındaki değerlerde bitüm eklenerek ısıtmalı mikserde hazırlanmıştır. Her bitüm oranında üç adet numune hazırlanarak döküm başına 21 numune hazırlanmıştır. Bitüm ve agregalar 160 °C de etüde bekletildikten sonra ısı kaybını en az indirecek şekilde, homojen biçimde mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Numunelerin her iki yüzeyine olmak üzere, Marshall kompaktöründe 75 vuruş ile sıkıştırma gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'de deneylerde kullanılan Marshall tasarım numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 4. Marshall tasarım numuneleri

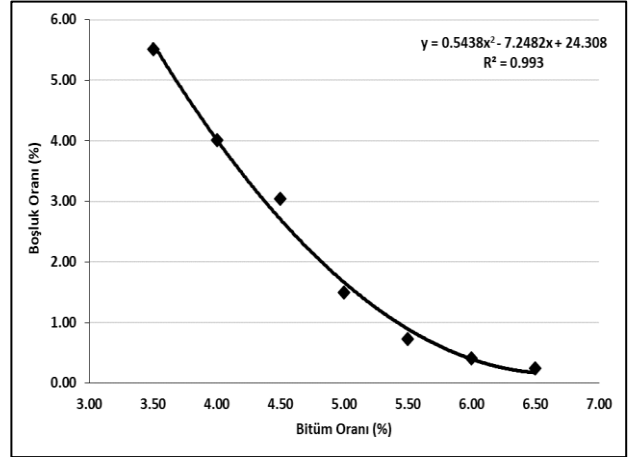
3. Bulgular

Marshall deney sonucunda numunelere ait pratik özgül ağırlık, boşluk oranı, Marshall dayanımı, bitümle dolu boşluk oranı, akma ve agrega ile dolu boşluk oranı değerleri elde edilmiştir.



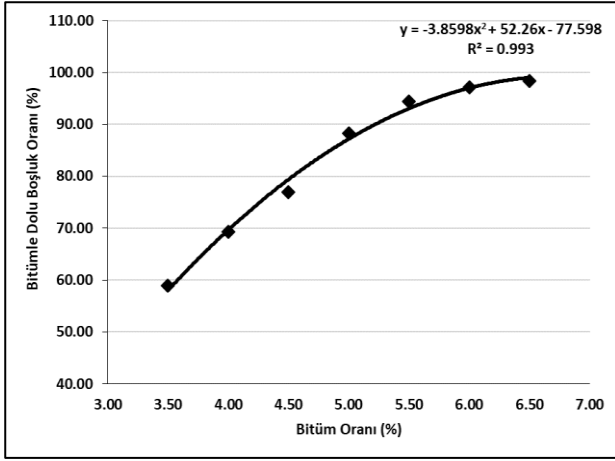
Şekil 5. Pratik özgül ağırlık – Bitüm oranı (Kontrol)

Şekil 5'de PÖA değerlerinin bitüm oranı arttıkça belli bir noktaya kadar artış gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni, bitüm oranının artmasıyla hava boşluklarının yerini bitümün doldurmasından dolayıdır. OBO hesaplanması için PÖA – Bitüm oranı grafiğindeki eğrinin tepe noktasına karşılık gelen bitüm oranının belirlenmesi gerekmektedir.



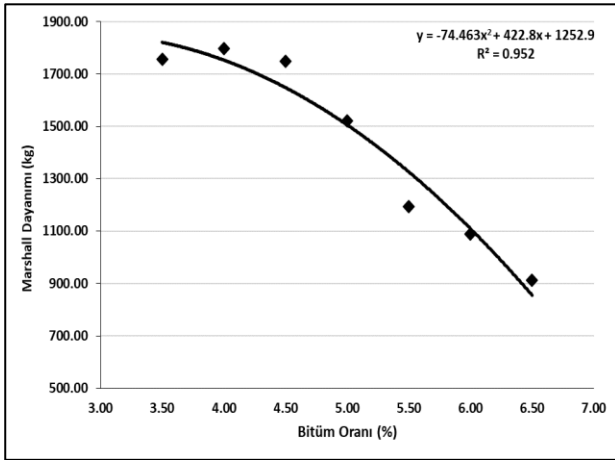
Şekil 6. Boşluk oranı – Bitüm oranı

Boşluk oranı – Bitüm oranı grafiği Şekil 6'da incelendiğinde bitüm miktarının artmasıyla boşluk yüzdelere azaldığı görülmektedir. KTŞ'de belirtilen aşınma asfaltı Tip-2 kriterlerine göre boşluk oranının %3 ila %5 arasında olması istenmektedir (KGM 2013). Bu grafikten boşluk oranı değerini %4 yapan bitüm oranı bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 7. Bitümle dolu boşluk oranı– Bitüm oranı

Şekil 7 incelendiğinde, bitüm oranı arttıkça VFA değerlerinin azaldığı görülmektedir. KTŞ’de Tip-2 aşınma asfaltı için %65-75 aralığı belirtilmiştir (KGM 2013). OBO hesaplanmasında VFA değerini %70 yapan bitüm oranı hesaplanmıştır. VFA değerinin şartnamede belirtilen değer altında kalması asfalt beton kaplamaların performansını olumsuz etkilemektedir. Agregaları çevreleyen ince film halindeki bitüm tabakasının az olması danelerin birbirine daha az yapışmasına sebep olmakta böylece kaplamanın daha kırılabilir olmasına sebebiyet vermektedir. VFA değerinin şartnamede belirtilen değer üstünde olması durumunda ise sıcak mevsimlerde kaplamalarda bitüm kusması görülmekte ve bu da trafik yüklerine karşı gösterilen direncin azalmasına, deformasyonların artışına sebep olmaktadır.



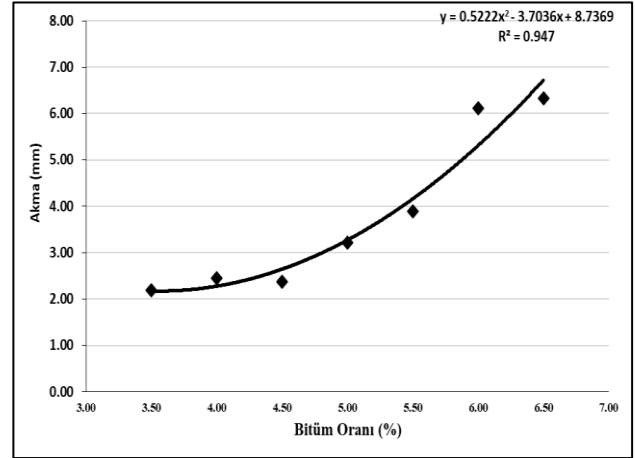
Şekil 8. Marshall dayanımı – Bitüm oranı

Şekil 8’de gösterilen grafikte Marshall dayanımını en yüksek yapan bitüm oranı bulunmaya

çalışılmıştır. Kontrol numunelerine ait grafikler incelendiğinde; en büyük Marshall dayanımı (Şekil 8), en büyük PÖA (Şekil 5), %4 boşluk oranı (Şekil 6), %70 VFA değerlerini (Şekil 7) sağlayan bitüm oranları sırası ile %5,45 – 4,01 – 4,01 – 3,5’dir. Kontrol numunesine ait OBO Çizelge 4’de gösterildiği gibi %4,24 olarak bulunmuştur (Deniz ve Lav 2010, Ahmedzade and Yılmaz 2008, Kara and Karacasu 2017, TSE 2012).

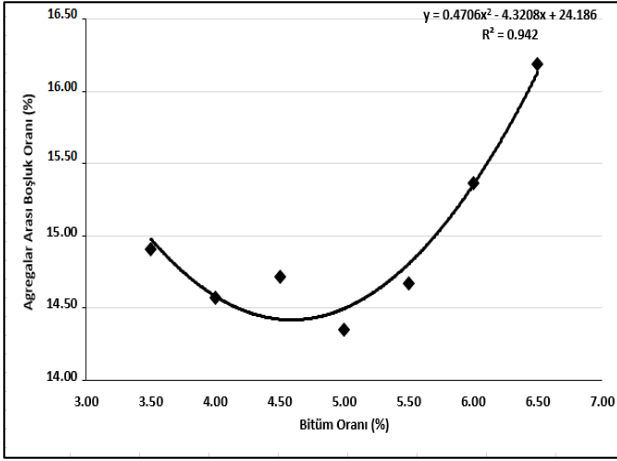
Çizelge 4. OBO tayini, şartname limitleri ve optimum orandaki değerler

Değişken	Aşınma Tip-2		Bitüm Oranı, %	OBO Değerleri
	Min.	Max.		
PÖA, gr/cm ³	-	-	5.45	2.452
Boşluk Oranı, %	3	5	4.01	3.34
Bitümle Dolu Boşluk, %	65	75	4.01	74.65
Marshall Dayanımı, kg	900	-	3.5	1728.63
VMA, gr/cm ³	14	16	-	2.424
Akma, mm	2	4	-	14.33
ORTALAMA			4.24	



Şekil 9. Akma – Bitüm oranı

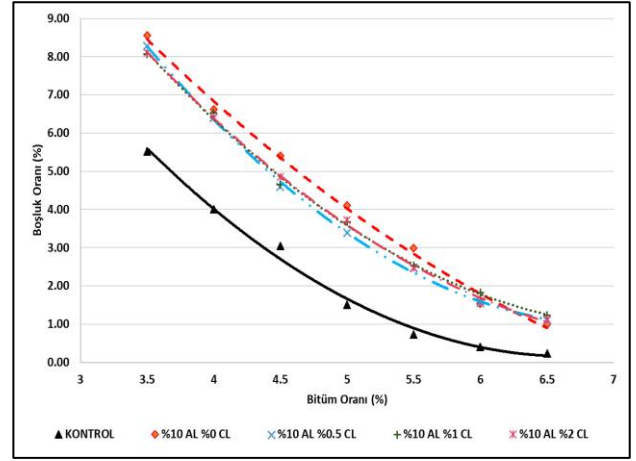
Kontrol numunelerine ait OBO değerinin akma – bitüm oranı grafiğindeki (Şekil 9) denklemde yerine konularak şartnamede belirtilen 2-4 mm aralığında olup olmadığı kontrol edilmiştir.



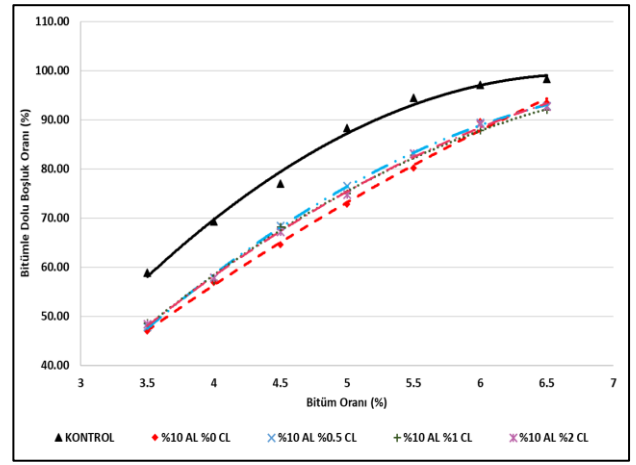
Şekil 10. Agregalar arası boşluk oranı – Bitüm oranı

VMA değerleri karışım numunesinin toplam hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Absorbe edilen bitüm ve agrega ile doldurulmamış sıkıştırılmış karışım hacmini temsil etmektedir (İSFALT 2002). Kontrol numunesinin belirlenen OBO, Şekil 10'da çizilen VMA grafiğinde yerine konularak VMA için belirlenen %14-16 aralığında olduğu gösterilir.

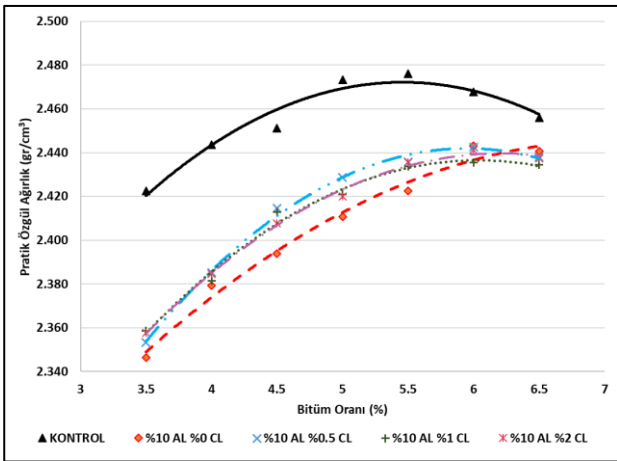
Atık lastik ve cam lif ile modifiye edilmiş bitümlerle elde edilen 5 farklı türdeki karışım; Kontrol (50-70 saf bitüm), %10 AL-%0 CL, %10 AL-%0.5 CL, %10 AL-%1 CL, %10 AL-%2 CL ile hazırlanan toplam 105 adet Marshall tasarım numunelerine ait grafikler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



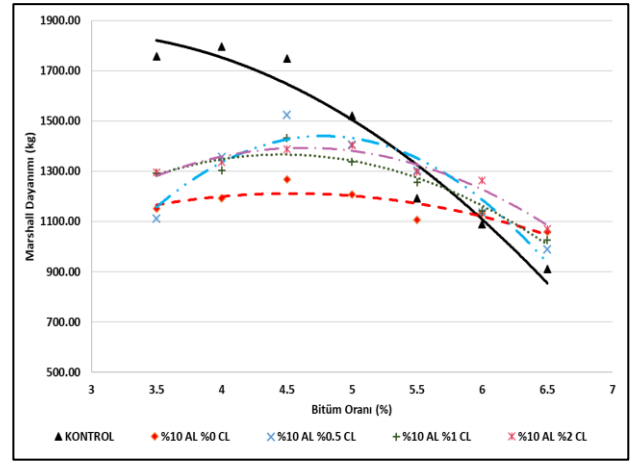
(b)



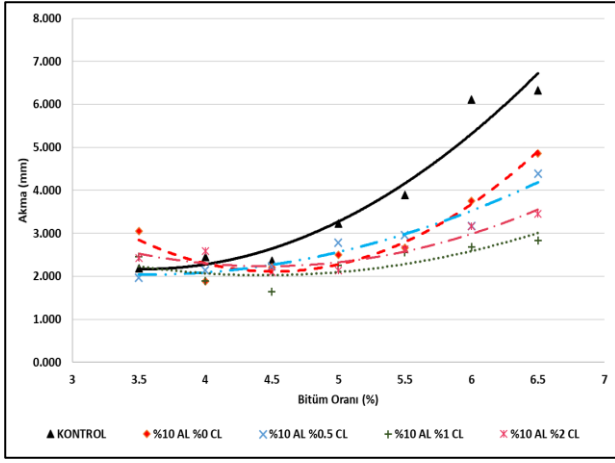
(c)



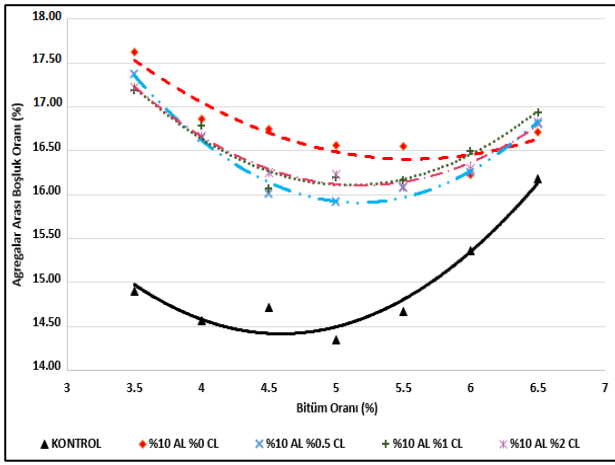
(a)



(d)



(e)



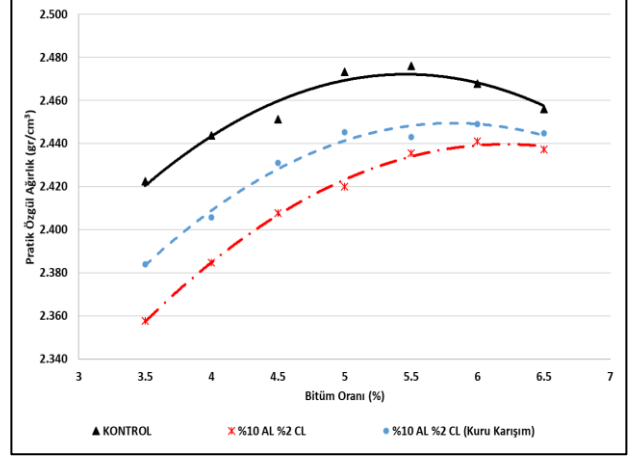
(f)

Şekil 11. Farklı oranlardaki atık lastik ve cam lif katkıli numunelerin karşılaştırılması

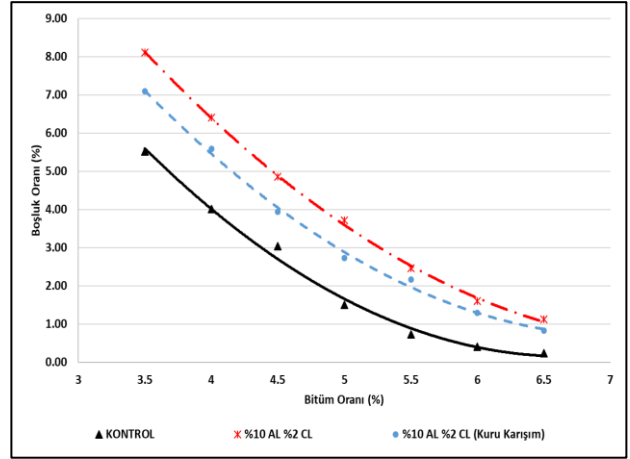
Şekil 11'de verilen atık lastik ve cam elyaf katkıli karışımlara ait grafikler incelendiğinde; genel anlamda teknik şartnamede belirtilen dizayn kriterlerini sağladıkları görülmektedir. Minimum 900 kg olan Marshall dayanımı, %14-16 arasında olması gereken VMA oranı ve 2 ila 4 mm arasında olan akma değeri standartları tüm atık yüzdelerinde sağlanmıştır.

CL bitümün modifiye işleminde kullanılmasının yanısıra, karışıma kuru karışım şeklinde eklenerek de numuneler üzerindeki fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Dökümden önce 0.01 hassasiyetli terazide her bir numune için gerekli CL ağırlığı hesaplanarak dökümden önce kullanılmak üzere küçük kaplarda hazırlanmıştır. Yalnızca %10 AL içeren bitüm kullanılarak dökümü yapılan numuneler mikserde karıştırıldıktan sonra kalıplara konulmadan önce CL eklenerek kürekle homojen

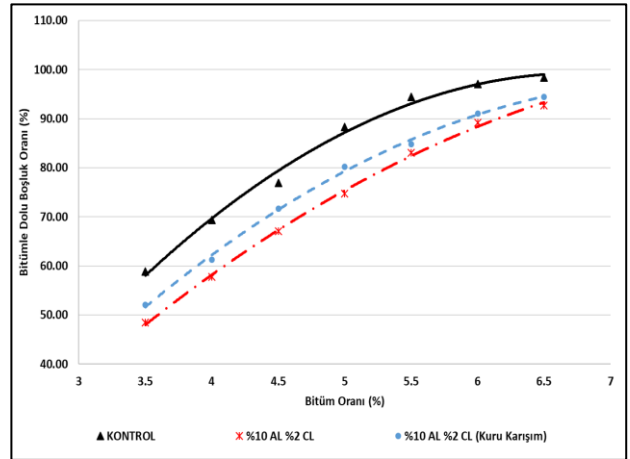
dağılacak şekilde karıştırıldıktan sonra kalıplara yerleştirilmiştir. Bu şekilde CL'nin bitüm modifiye işleminde kullanılması ile karışıma sonradan ilave edilmesi arasındaki farklar incelenmiştir ve karşılaştırmalar Şekil 12'de olduğu gibi elde edilmiştir.



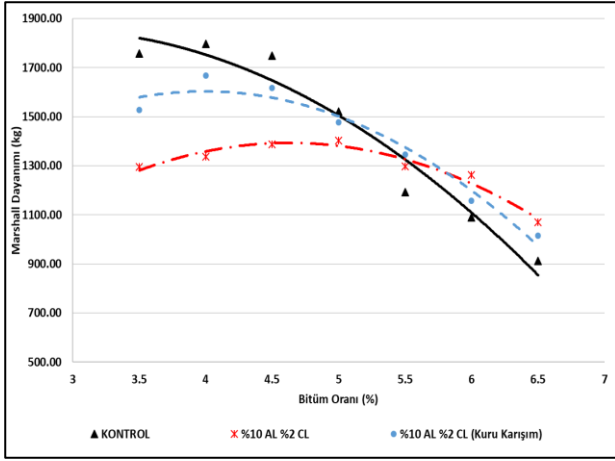
(a)



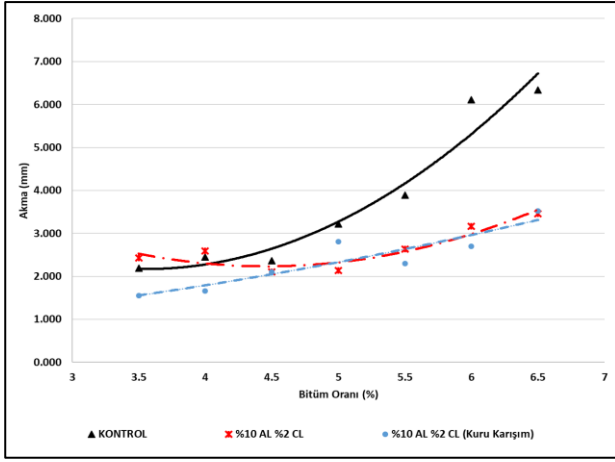
(b)



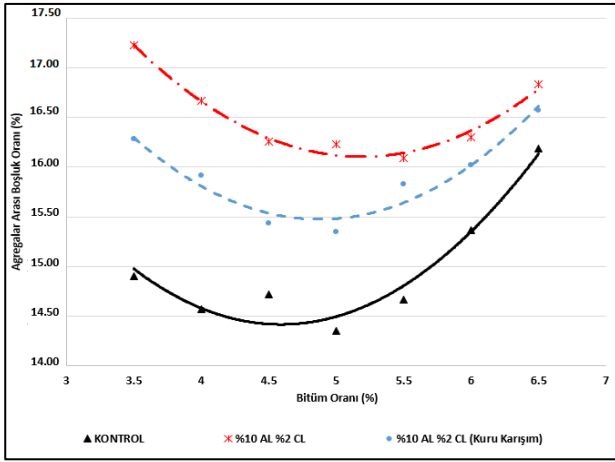
(c)



(d)



(e)



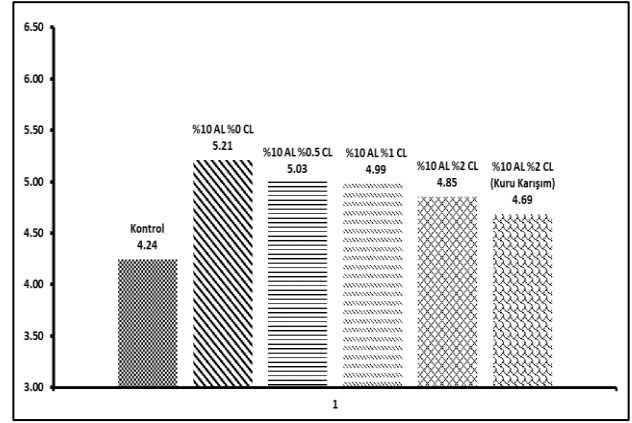
(f)

Şekil 12. Cam lifin modifiye edilmiş bitümde vekuru karışımında kullanımının karşılaştırılması

Kontrol numunesi ve aynı oranlarda AL ve CL kullanımının karşılaştırıldığı Şekil 12'de ki grafiklerde; CL kullanımının karışıma ıslak veya kuru olarak katılmasının farklı performans göstergeleri oluşturduğu görülmektedir. Islak – kuru karışım karşılaştırmaları incelendiğinde kontrol

numunesine en yakın sonuçların %10 AL %2 CL (Kuru karışım)'da sağlandığı net bir şekilde görülmektedir.

Toplamda gerçekleştirilen 6 seri Marshall döküm sonucunda elde edilen OBO'lar Şekil 13'de karşılaştırılmaktadır. Yalnızca %10 oranında AL ilavesi OBO değerini %5.21 e çıktığı görülmektedir. Ancak grafikten anlaşıldığı üzere; CL katkısının ilavesi ile OBO değerleri düşüş göstermektedir. %0,5 CL ilavesi %5.03 değerine, %1 CL ilavesi %4.99 değerine, %2 CL ilavesiyle %4.85 değerine kadar düşmüştür. CL katkısının kuru olarak karışıma ilave edildikten sonra OBO'nun %4.69 seviyelerine kadar gerilediği görülmektedir.



Şekil13.OBO ların karşılaştırılması

4. Tartışma ve Sonuç

Asfalt betonu oldukça maliyetli bir kompozit malzemedir. Tüm dünyada gerçekleştirilen çalışmalar bu maliyetin azaltılmasına yöneliktir. Diğer yandan çevresel kirliliği de büyük bir problemdir. Bu çalışmada çevresel atıklardan olan atık lastik ve cam lifin asfalt betonundaki kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

* Modifiye bitümlerle hazırlanan numunelerin Marshall dayanımları kontrol numunelerine göre daha düşüktür. Ancak modifiye ve kontrol numuneleri aşınma tabakası teknik şartname değeri olan 900 kg lık dayanımı sağlamaktadır.

* Pratik özgül ağırlıklar kontrol numunelerinde diğer numunelere göre daha yüksektir. Bunun sebebi, atık lastiklerin numunelerde oluşturduğu boşluklu yapıdan kaynaklanmaktadır.

* Cam lif katılmış numuneler; sadece atık lastik içeren numunelere göre daha iyi performans özellikleri göstermiştir.

Kuru karışım şeklinde kullanılan cam lif katkıları, ıslak karışım numunelerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Cam liflerin bitüm modifiyesi oldukça zordur. Çünkü, bitüm modifiye mikserine yerleştirilen başlıkların tiplerine bağlı olarak topaklanma ve düğümlenme sorunu yaşanmıştır. Bu da farklı oranlarda kullanılan CL katkısının hassas bir şekilde değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Oysa kuru karışımda daha homojen bir dağılım elde edilebilmektedir. Diğer bir sorun ise, CL katkısının atık lastik ile bitümün viskozitesini artırmada paralel özellik göstermesinden dolayı özellikle %1 ve %2 CL katkılı bitüm modifikasyonlarından elde edilen bitümler aşırı yoğun özellik göstermiştir. Özellikle %2 CL kullanılarak modifiye edilmiş bitümlerde gerçekleştirilen dönel viskozimetre deney sonuçları da bitümün işlenebilirliğinin diğer türdeki bitümlere göre bir hayli zor olduğunu göstermektedir. Bu sorunlar göz önüne alındığında %2 oranında kullanılan CL katkılarının karışıma kuru olarak da ilave edilip değerlendirilmesine karar verilmiştir.

Cam lif numune içerisinde iskelet bir yapı oluşturarak numune dayanımlarını artırmaktadır. Cam lif içeren numunelerin OBO ları sadece atık lastik içeren numunelere göre daha düşük çıkmış nu sayede daha ekonomik bir asfalt betonu elde edilmiştir.

Atık lastik ve cam lif kullanımı ile çevresel atıklar değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir çevre ve yaşam sağlanmış olmaktadır.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında SUPERPAVE tasarımı ve arazi uygulamaları gerçekleştirilecektir.

5.Kaynaklar

Ahmetzade, P., and Yilmaz, M., 2008. Effect of Polyester Resin Additive on the Properties of Asphalt Binders and Mixtures. *Construction and Building Materials*, **22**, 481-486.

Çelik, O.N., 2001. The Fatigue Behaviour of Asphaltic Concrete Made with Waste Shredded Tire Rubber

Modified Bitumen. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, **25**,487-495.

Dehghan, A., Peterson, K., and Shvarzman, A., 2017. Recycled Glass Fiber Reinforced Polymer Additions to Portland Cement Concrete. *Construction and Building Materials*, **146**, 238-250.

Deniz, M.T., ve Lav, A.H., 2010. Asfaltlarda bitümle birlikte granüler sülfür kullanımının stabiliteye etkisi. *İTÜ Dergisi/D Mühendislik*, **9**: 6, 137-148.

Fakhri, M., and Hosseini, S.A., 2017. Laboratory Evaluation of Rutting and Moisture Damage Resistance of Glass Fiber Modified Warm Mix Asphalt Incorporating high RAP Proportion. *Construction and Building Materials*, **134**, 626-640.

İsfalt, 2002. Asfalt El Kitabı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi. Ayla Yavuz (çeviri editörü), İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., 35-38.

Kara, Ç., and Karacasu, M., 2017. Investigation of Waste Ceramic Tile Additive in Hot Mix Asphalt Using Fuzzy Logic Approach. *Construction and Building Materials*, **141**, 598-607.

Karacasu, M., ve Bilgiç, Ş., 2009. Atık Lastik Katkısının Sıcak Asfalt Özelliklerine Etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22**, 2, 45-64.

Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi, Ankara.

Sugözü İ., ve Mutlu, İ.,2009. Atık Taşıtların Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri. *Taşıtların Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **1**, 1, 35-46.

Tortum, A., Çelik, C., and Aydın, A.C., 2005. Determination of the Optimum Conditions for Tire Rubber in Asphalt Concrete. *Building and Environment*, **40**, 1492-1504.

TS 1081 EN 12697-34, 2012. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.