
Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı İlık Karışım Asfaltların Nem Hasarına Karşı Dayanımlarının İncelenmesi

Taner ALATAŞ^{1*}, Akın İSTEK²

¹Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Geoteknik Programı, Elazığ

(ORCID: 0000-0002-2762-0440) (ORCID: 0000-0003-4736-1957)

Öz

Bu çalışmada, Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt (Leadcap) ve Pawma-1 ılık karışım asfalt katkı maddeleri ile Stiren-Butadien-Stiren (SBS) katkı maddesi karışım numunelerinde denenmiştir. Leadcap %1.5, Pawma-1 %0.35 ve SBS %2 oranlarında kullanılmıştır. Aynı zamanda sönmüş kirecin ılık karışım asfaltlarda filler olarak kullanımının nem hasarı dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Sönmüş kireç %2 oranında filler yerine kullanılmıştır. Her bir karışım türü için 6 adet %7± 0,5 boşluk oranına sahip numune hazırlanmıştır. Bu boşluk oranını sağlamak için Marshall tokmağı ile numunelerin iki yüzüne 30 darbe uygulanmıştır. Koşullandırılacak numunelere 5 dakika süresince vakum uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların çekme dayanımı değerlerinin kontrol numunelerine göre bir miktar azaldığı görülmüştür. Sönmüş kireç katkısı ile Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların indirek çekme dayanımı değerlerinin, kontrol numunelerine göre daha yüksek oranlarda arttığı ve kontrol numunelerine yakın çekme değerleri olduğu görülmüştür. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış karışımların indirek çekme dayanımı (ITS) ve indirek çekme dayanımı oranlarına (ITSR) bakıldığında SBS modifiyeli karışımların en olumlu sonuçları verdikleri görülmüştür.

Anahtar kelimeler: İlık karışım asfalt, Nem Hasarı, Leadcap, Pawma-1, Modifiye asfalt.

Investigation of Resistance to Moisture Damage of Different Warm Mix Asphalts

Abstract

In this study, (Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt) Leadcap and Pawma-1 warm mix asphalt admixtures and Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) admixture were tested in mixture samples. Leadcap was used at 1.5%, Pawma-1 at 0.35% and SBS at 2%. At the same time, the effects of the use of hydrated lime as a filler on the moisture damage resistance of warm mix asphalts were investigated. Hydrated lime is used in place of 2% filler. For each mixture type, 6 samples with 7% ± 0,5 voids were prepared. Marshall hammer was applied with 30 pulses to two sides of the samples to provide this void ratio. Vacuum was applied to the samples to be conditioned for 5 minutes. From the results obtained, it was observed that the tensile strength values of Leadcap and Pawma-1 modified warm mix asphalts decreased slightly compared to the control samples. The addition of hydrated lime additive showed that the tensile strength values of Leadcap and Pawma-1 modified warm mix asphalts increased at higher ratios than the control samples and that the values were close to the control samples. When ITS and ITSR values of conditioned and unconditioned mixtures were examined, it was seen that SBS modified mixtures gave the most positive results.

Keywords: Warm mix asphalt, Moisture damage, Leadcap, Pawma-1, Modified asphalt.

*Sorumlu yazar: talatas@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2019, Kabul Tarihi: 14.05.2019

1. Giriş

Yüksek maliyeti nedeniyle esnek kaplamaları oluşturan bitüm ve agreganın özellikleri, yolun öngörülen ömür ve konfor seviyesinin sağlanması bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu karışımlarda ağırlıkça, agrega %94–96, bitüm %4–6 oranlarında yer almasına rağmen, kaplamanın maliyeti ve performansı üzerinde bağlayıcının büyük önemi bulunmaktadır. Viskoelastik davranış gösteren ve termoplastik bir malzeme olan bitüm, trafik yükleri altında yükün şiddetine, yükleme zamanına ve sıcaklığına bağlı olarak farklı davranışlar göstermektedir. Bu reolojik özelliğinden dolayı bitümün yapısal ve fiziksel özellikleri ile bitümlü karışımın davranışları arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Esnek üstyapı kaplamalarında, artan trafik yükü ve iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen tekerlek izi, soyulma, çatlama, ondülasyon gibi bozulmaları geciktirerek, bakım ve yenileme ihtiyacını daha seyrek aralıklara düşürmek ve kaplama performansını arttırmak amacıyla birçok ülkede, bitümlü bağlayıcılara veya karışımlara çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitümler veya karışımlar elde edilmektedir [1, 2].

Karışımların performansının geliştirilmesine ek olarak, üretimde enerji tasarrufunun sağlanması ve çevreye verdiği zararlı etkilerin azaltılması da amaçlanmaktadır. Daha düşük maliyetli ve çevreye daha az zararlı bitümlü karışımlar hazırlamak amacıyla dünyada çeşitli teknolojiler geliştirilmiş ve bitümlü karışımların karıştırma sıcaklıkları düşürülmüştür [3, 4]. İlk karışım asfalt, bitümlü karışımların karıştırma sıcaklıklarının düşürülmesine imkân sağlayan teknolojileri ifade etmektedir. Bu teknolojilerin amacı, bitümlü sıcak karışımlara oranla 20°C ile 55°C daha düşük sıcaklıklarda bağlayıcının viskozitesini düşürerek bağlayıcının agregayı tamamen sarması ile agrega ile bağlayıcı arasında gerekli aderansın sağlanmasıdır [5]. Düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı, ılık asfalt kaplamaların soğuma süresinin azalmasını böylece yolun sıcak asfalt kaplamaya oranla trafiğe daha erken açılmasına olanak sağlamaktadır. Havaalanı kaplamalarında yapılması gereken bakım onarım işlerinde yolun uzun zaman trafiğe kapalı kalmaması gerektiğinden ılık asfalt kullanımı yerinde bir tercih olacaktır [6].

Pawma-1, ülkemizde üretilen, bitüme ilave edilen sıvı bir ılık karışım asfalt katkı maddesidir. Arazi deneylerinde kullanılmış ve olumlu sonuçlar vermiştir [7]. Leadcap ise, Kore İnşaat Teknoloji Enstitüsü ve Kumho Petrokimyasal şirketi iş birliği ile geliştirilen, bitüme veya karışıma ilave edilen bir ılık karışım asfalt katkı maddesidir. Laboratuvar ve arazi deneylerinde denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır [8]. Kim ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, ılık asfalt karışımların nem hasarına karşı dayanım karakteristikleri arazi ve laboratuvar testleri ile araştırılmıştır. Daha gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek için ılık asfalt katkılı deneme kaplamaları ve karşıtı sıcak asfalt katkılı test kaplamaları Nebraska'nın Antilop ilçesinde inşa edilmiştir. Arazide kullanılan karışımdan alınan numuneler laboratuvara gönderilmiştir. Laboratuvar test sonuçlarına göre ılık karışım asfaltların nem hasarına karşı dayanımı sıcak asfalt karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Asfalt kaplamaların inşasından sonra 3 yıl içinde alınan erken verilere göre tekerlek izi ve çatlak performansı hem ılık hem de sıcak karışım asfaltlarda laboratuvar test sonuçlarıyla uyumlu ve tatmin edici olmuştur [9]. Lee ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Leadcap katkılı ılık karışım asfaltların nem hassasiyetlerinin arttığı görülmüştür [10].

Bitümlü sıcak karışımların trafik yüklerine ve sıcaklığa karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinden yaygın olarak kullanılan Stiren-Butadien-Stiren kopolimeridir. Yapılan çalışmalarda SBS'nin bitümlü sıcak karışımların yorulma, düşük ısı çatlakları ve tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımını arttırdığı görülmüştür. Sıcak iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde tekerlek izi oluşumuna karşı SBS kullanımının, bağlayıcı nedenli bozulmaların engellenmesine yardımcı olacağı, yüksek maliyetli bakım ve onarım masraflarının geciktirilmesini sağlayacağı görülmüştür [11, 12]. Alataş ve Kizirgil'in yaptıkları bir çalışmada, uçucu kül ve SBS birlikte kullanılmış ve hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. SBS ve uçucu kül kullanımı ile karışımların normal sıcaklıklardaki rijitliklerinin, stabiliteilerinin, yorulma ömürlerinin, nem hasarına ve kalıcı deformasyona karşı dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Bu katkıların birlikte kullanılması ile de bu olumlu etkilerin artacağı görülmüştür. Katkı maddeleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde SBS'nin uçucu küle oranla daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte karışımdaki SBS oranının artması ile uçucu külün etkinliğinin azaldığı görülmüştür [13]. Lu ve Isacson'un yaptıkları bir çalışmada, SBS modifiyeli bağlayıcıların reolojik özellikleri araştırılmıştır. SBS kopolimer ilavesi ile yüksek sıcaklıklarda bağlayıcının elastisitesinde ve düşük sıcaklıklarda

bağlayıcı esnekliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca SBS ilavesi ile bağlayıcının ısı hassasiyeti azalmıştır [14].

Bitümlü karışımlara sönmüş kireç ilave edilmesinin trafik yüklerinden doğan gerilmelerin yayılmasında yardımcı olduğu ve dayanımı arttırdığı, tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırdığı görülmüştür [15]. Johansson tarafından yapılan bir çalışmada, sönmüş kireç soyulma önleyici katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Çalışma neticesinde sönmüş kireç ilavesinin bağlayıcının erken yaşlanmasını geciktirdiği böylelikle adezyon kuvvetini arttırdığı ortaya çıkmıştır [16]. Mohammad ve Abadie'nin yaptıkları bir çalışmada, sönmüş kirecin polimer katkılarla birlikte kullanıldığı zaman faydalarının daha da arttığı, bu performans artışlarının yalnız başına kullanılmasına kıyasla oldukça fazla olduğu görülmüştür [17]. Khodai ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, nem hasarına karşı etkinliği sıcak karışım asfaltlarda kanıtlanan sönmüş kirecin, ılık karışım asfaltlarda kullanıldığı zaman nasıl etki edeceği araştırılmıştır. Çalışmada yüzde 0-2 arasında değişen oranlarda sönmüş kireç kullanılmıştır. Çalışma neticesinde sürekli gradasyona sahip ılık asfalt karışımlarda kireç oranının artmasıyla nem hasarına karşı dayanım artmıştır. Fakat süreksiz gradasyona sahip ılık karışım asfaltların bir kısmında minimum yüzde 80 olan çekme direnci limitinin sağlanmadığı görülmüştür [18].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, aşınma tabakası için bitüm modifikasyonunda SBS, Pawma-1 ve Leadcap kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Marshall yöntemine göre optimum bitüm oranları belirlenerek karışım numuneleri hazırlanmıştır. İlık karışımlarda, agrega ve bağlayıcı malzeme daha düşük sıcaklıklarda karıştırılıp sıkıştırılmıştır. Ayrıca filler olarak %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Her bir karışım türü için 6 adet $7 \pm 0,5$ boşluk oranına sahip (30 darbe ile) numune hazırlanmıştır. AASHTO T 283 yöntemi ile bitümlü karışım numunelerinin nem hasarına karşı dayanımları belirlenmiştir. Hazırlanan ılık karışım asfaltların ITS (İndirekt Çekme Direnci) ve ITSr (İndirekt Çekme Direnci Oranı) değerleri belirlenmiş, katkısız ve SBS katkılı sıcak karışım asfaltlarla karşılaştırılmıştır.

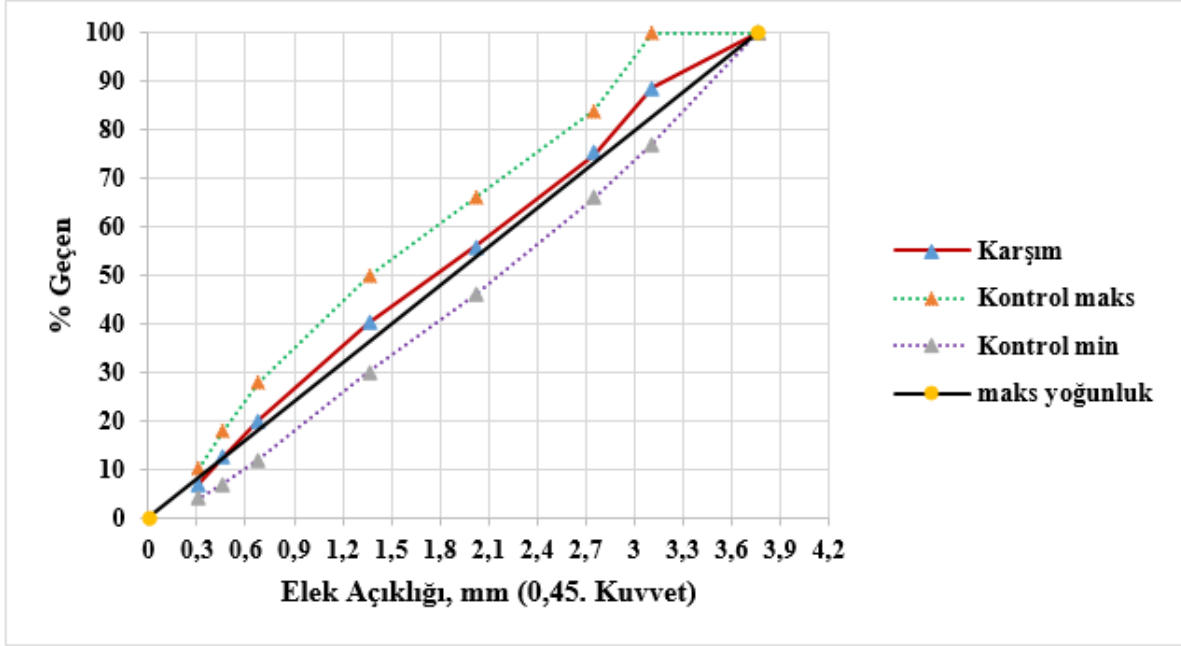
Deneysel çalışmalarda agrega olarak Elazığ Hankendi bölgesinden temin edilen kalker türü kırmataş malzeme ve bağlayıcı olarak TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. İlık karışım asfalt katkı maddeleri olarak İstanbulteknik firmasında üretilen Pawma-1 ve Kumho firması tarafından üretilen Leadcap (Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt Pavement) kullanılmıştır. Sıcak karışım asfalt katkı maddesi olarak Shell firması tarafından üretilen SBS (Stiren-Butadien-Stiren) kullanılmıştır. Bu katkılar bağlayıcıya ilave edilerek bağlayıcı malzeme modifiye edilmiştir. Sönmüş kireç ise agrega karışımındaki fillerin bir miktarının yerine kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 1'de, kullanılan gradasyon Tablo 2'de ve gradasyon eğrisi Şekil 1'de verilmiştir. Los Angeles aşınma kaybı deneyinde tambur dakikada 30-33 devir yapacak şekilde 500 devir döndürülmüştür. Bağlayıcı malzemeye ait özellikler Tablo 3'te verilmiştir. SBS Şekil 2'de, Pawma-1 Şekil 3'te, Leadcap Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.

Özellikler	Standart	Şartname Limitleri	Kaba	İnce	Filler
Dayanıklılık (Los Angeles Aşınma Kaybı), %	TS EN 1097-2	maks 27	24		
Sağlamlık (MgSO ₄ ile Donma Kaybı), %	TS 1367-2	maks 16	6.5		
Su Absorbsiyonu %	ASTM C127	maks 2	0.3		
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C127		2.677		
Hacim Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C128			2.628	
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C127		2.698		
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C128			2.675	
Zahiri Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM D854				2.717

Tablo 2. Agrega gradasyonu.

Elek Boyutu (mm)	19,00	12,50	9,50	4,75	2,00	0,420	0,180	0,075
%Geçen	100	88,5	75	56	40	20	12,5	7
Karışımdaki Agrega Yüzdeleri								
Kaba					44			
İnce					49			
Filler					7			

**Şekil 1.** Agrega gradasyon eğrisi.**Tablo 3.** Bağlayıcı malzemenin özellikleri.

Özellikler	Standart	Sonuç	Şartname Limiti
Penetrasyon (0.1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	53	50-70
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	49,9	46-54
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-1,09	-
Özgül ağırlık	-	1,039	-
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	400	-
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	125	-
Karıştırma sıcaklığı (°C)	-	157	-
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	-	144	-
RTFOT Sonrası			
Kütle kaybı (%)	ASTM D2872	0,314	maks 0,5
Kalıcı penetrasyon, (%)	-	51	min 50
Yumuşama noktasındaki artış (°C)	-	4,4	maks 9
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-1,52	-



Şekil 2. Stiren-Butadien-Stiren.

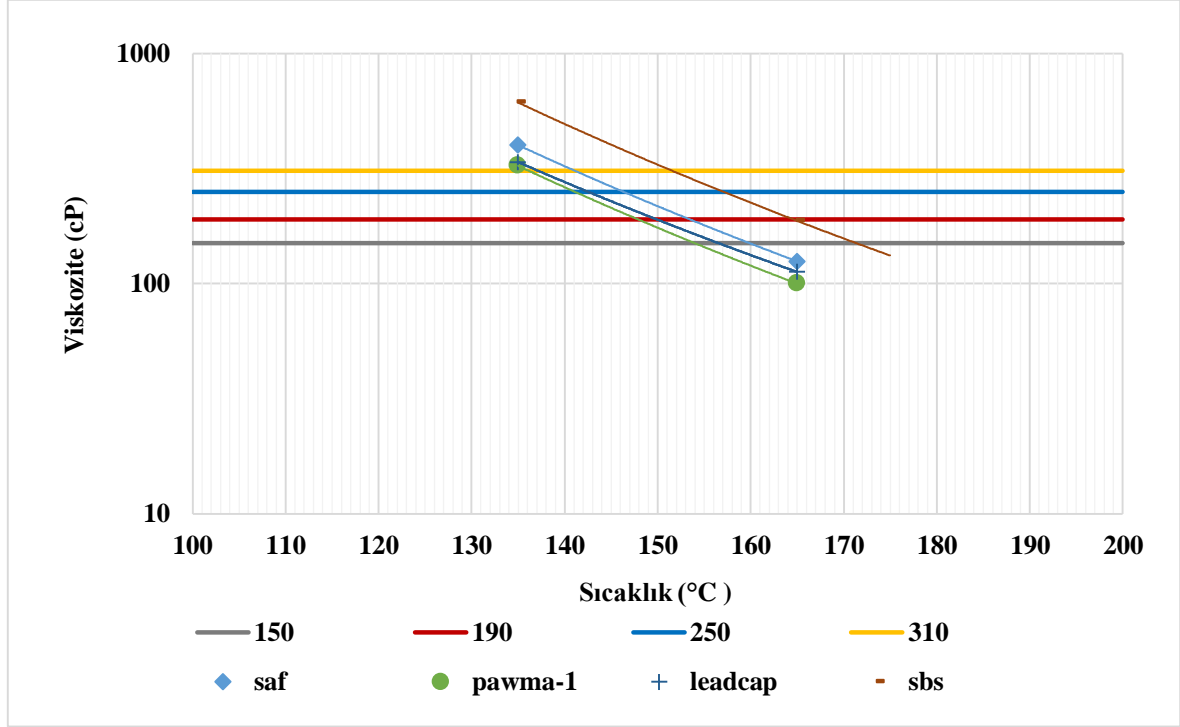


Şekil 3. Pawma-1.

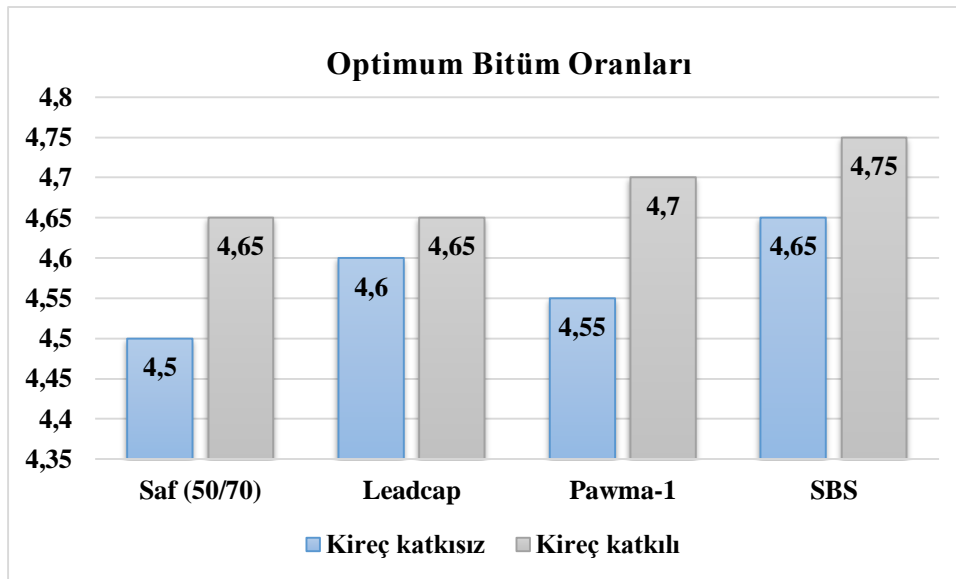


Şekil 4. Leadcap.

Çalışmada, öncelikle Dönel viskozimetre (RV) deneyi ile katkısız bağlayıcının karıştırma sıcaklığı 157°C, SBS katkılı bağlayıcının karıştırma sıcaklığı ise 168°C olarak bulunmuştur. Deney sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Üretici firmaların tavsiye ettikleri şekilde Pawma-1 %0.35, Leadcap %1.5 oranlarında katkısız bağlayıcının karıştırma sıcaklığı olan 157°C sıcaklıktaki bitüme ilave edilmiş ve 1000 devir/dakika hıza sahip karıştırıcıda 10 dakika süreyle karıştırılmıştır. SBS katkısı ise 180°C sıcaklıktaki bitüme ilave edilmiş ve 1000 devir/dakika sahip hızdaki karıştırıcıda 1 saat süreyle karıştırılmıştır. SBS oranı %2 olarak belirlenmiştir. Yapılan çeşitli çalışmalarda en etkin kireç oranının agrega ağırlığının %2'si olduğu belirlenmiştir [15]. Sönmüş kireç içeren karışımlarda %2 oranında kalker filler yerine sönmüş kireç kullanılmıştır. Karışımların optimum bitüm içerikleri Marshall yöntemine göre belirlenmiştir. Sönmüş kireç içeren ve içermeyen karışımların optimum bitüm içerikleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Dönel viskozimetre deney sonuçları.



Şekil 6. Optimum bitüm içerikleri.

2.1. Nem hasarına karşı dayanım deneyi

Bitümlü karışımların nem hasarına karşı direncini tayin etmek için çeşitli laboratuvar testleri geliştirilmiştir. Bu testler arazi koşullarını tam olarak yansıtmaları da faydalı bilgiler sağlamaktadırlar. Bu testler ile sıkıştırılmış bitümlü karışımlardaki bağlayıcının agrega yüzeyinden nem sebebiyle soyulması ile oluşan kuvvet kaybı hesaplanmaktadır.

AASHTO T 283 yöntemi, bitümlü karışımlarda nem hasarına karşı direnci belirlemede en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde %6-8 oranında hava boşluğu içeren 6 adet Marshall numunesi kullanılmıştır. Bu numuneler koşullandırılmış ve koşullandırılmamış olarak iki gruba ayrılmıştır. Koşullandırılan numuneler bir piknometre içerisine konularak hava boşluklarının %70-80'i su ile doluncaya kadar 10-26 in. Hg. (13-67 kPa) vakum uygulanmıştır. Vakum işleminden sonra numunelerin öncelikle -18°C sıcaklıkta 16-18 saat ardından 60°C su banyosunda 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra hem koşullandırılmış hem de koşullandırılmamış numuneler 25°C'deki su banyosunda 2 saat bekletilmiş ve Marshall cihazı ile 50,8 mm/dakika hızla çapsal düzlemde yükleme yapılarak kırılmıştır. Koşullandırılmış numunelerin çekme dayanımı değerlerinin, koşullandırılmamış numunelerin çekme dayanımı değerlerine oranının Superpave şartnamesine göre en az %80 olması istenmektedir [19]. Vakum işleminin yapıldığı piknometre ve vakum cihazı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Piknometre ve vakum cihazı

3. Bulgular ve Tartışma

Her bir karışım türü için 6 adet $7 \pm 0,5$ boşluk oranına sahip numune hazırlanmıştır. Bu boşluk oranını sağlamak için Marshall tokmağı ile numunelerin iki yüzüne 30 darbe uygulanmıştır. Koşullandırılacak numunelere 5 dakika süresince vakum uygulanmıştır. Koşullandırılmamış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 4'te, koşullandırılmış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 5'de, sönmüş kireç katkıli koşullandırılmamış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 6'da, sönmüş kireç katkıli koşullandırılmış karışımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 7'de gösterilmiştir. Karışımların ITS değerleri Şekil 8'de, ITSR değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tablo 4. Koşullandırılmamış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Maksimum Yük. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	59.6	1145.67	658.35	1151.35	2.324	2.502	7.12	8.31	887.3
	2	59.5	1143.88	658.08	1150.03	2.325		7.07	8.19	875.9
	3	58.9	1144.64	657.98	1151.10	2.321		7.23	7.65	826.5
	Ort									
Leadcap	1	59.4	1145.48	659.04	1152.34	2.322	2.499	7.08	7.37	789.6
	2	58.8	1146.34	660.09	1152.91	2.326		6.92	7.49	810.6
	3	59.6	1143.51	658.49	1150.19	2.326		6.94	7.71	823.2
	Ort									
Pawma -1	1	59.9	1138.98	655.53	1145.23	2.326	2.501	7.00	7.16	760.7
	2	60.0	1146.65	659.16	1153.30	2.320		7.22	7.3	774.2
	3	60.4	1133.19	651.58	1139.16	2.324		7.07	7.21	759.6
	Ort									
SBS	1	59.4	1145.56	658.72	1150.72	2.328	2.497	6.75	9.55	1023.1
	2	59.5	1145.15	659.77	1151.66	2.328		6.77	8.95	957.2
	3	59.9	1147.18	660.07	1154.47	2.320		7.07	8.33	885.0
	Ort									

Tablo 5. Koşullandırılmış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

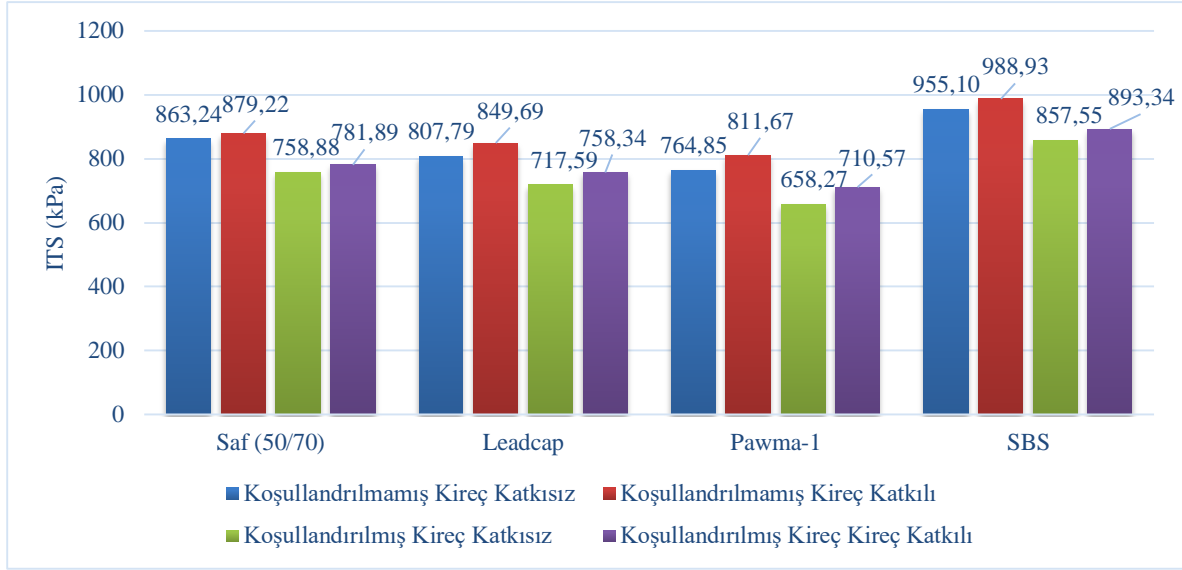
Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	Vakum Sonrası (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Doygunluk Derecesi (%)	Maksimum Yük. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	59.7	1143.79	658.43	1150.83	1169.29	2.323	2.502	7.16	72.34	7.49	798.4
	2	59.9	1144.44	658.86	1152.21	1171.48	2.320		7.28	75.24	6.68	709.7
	3	59.2	1134.27	653.88	1141.93	1159.52	2.324		7.11	72.76	7.15	768.6
	Ort											758.9
Leadcap	1	59.3	1145.92	660.63	1153.21	1171.32	2.326	2.499	6.91	74.64	6.79	728.7
	2	60.0	1145.73	660.15	1153.30	1172.33	2.323		7.03	76.71	6.69	709.5
	3	59.4	1145.69	659.39	1152.26	1171.39	2.325		6.98	74.69	6.67	714.6
	Ort											717.6
Pawma- 1	1	59.7	1145.27	659.25	1152.85	1172.45	2.320	2.501	7.23	76.19	6.28	669.4
	2	60.4	1144.13	659.58	1152.62	1171.68	2.321		7.21	77.45	6.03	635.3
	3	60.4	1146.34	659.75	1153.44	1172.62	2.322		7.16	74.37	6.36	670.1
	Ort											658.3
SBS	1	58.7	1143.93	658.62	1149.48	1168.17	2.330	2.497	6.67	74.04	8.43	913.9
	2	59.3	1145.67	659.09	1151.52	1170.92	2.327		6.83	75.12	7.82	839.2
	3	59.4	1143.40	656.04	1149.02	1169.98	2.319		7.11	75.79	7.65	819.6
	Ort											857.5

Tablo 6. Sönmüş kireç katkılı koşullandırılmamış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

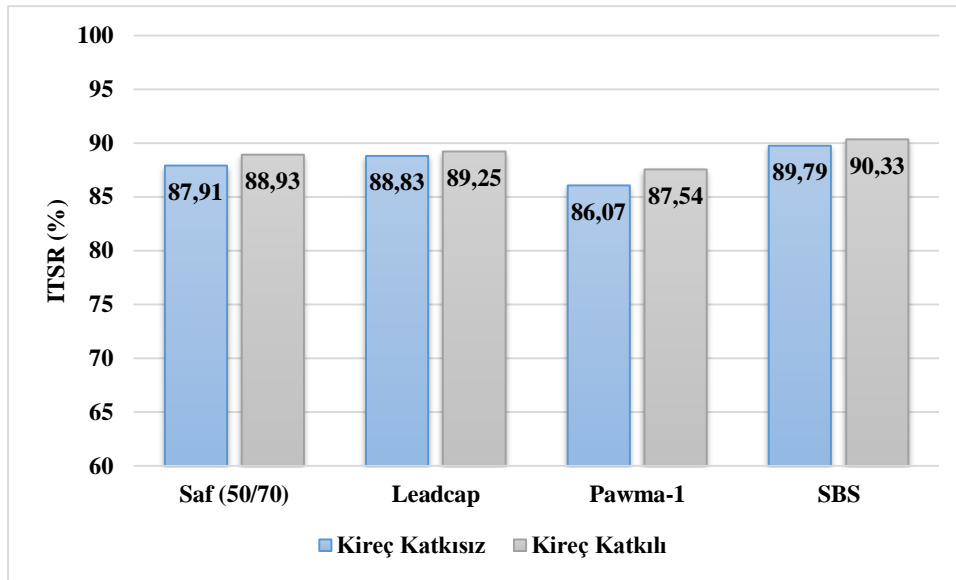
Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Maksimum Yükl. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	58.7	1146.45	649.49	1153.26	2.276	2.443	6.85	7.66	830.4
	2	59.9	1146.44	648.46	1152.93	2.273		6.98	8.55	908.3
	3	58.9	1144.44	647.47	1150.70	2.274		6.91	8.32	898.9
	Ort									
Leadcap	1	59.8	1144.96	647.32	1151.54	2.271	2.443	7.05	7.89	839.6
	2	59.5	1148.26	649.73	1154.50	2.275		6.88	7.96	851.3
	3	59.4	1146.14	646.75	1152.23	2.267		7.19	8.01	858.1
	Ort									
Pawma -1	1	59.6	1146.56	648.35	1153.42	2.270	2.442	7.04	7.33	782.6
	2	59.4	1147.34	646.69	1153.27	2.265		7.25	7.32	784.2
	3	59.3	1144.58	647.06	1150.65	2.273		6.93	8.09	868.2
	Ort									
SBS	1	59.3	1144.09	645.93	1150.66	2.267	2.440	7.10	9.58	1028.1
	2	59.0	1146.80	647.94	1153.60	2.268		7.05	9.08	979.4
	3	59.3	1144.53	645.31	1150.42	2.266		7.14	8.94	959.4
	Ort									

Tablo 7. Sönmüş kireç katkılı koşullandırılmış numunelerin çekme dayanımı oranı deney sonuçları.

Karışım	Numune No	H _{ort} (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlık (gr)	Vakum Sourası (gr)	D _p	D _t	Boşluk (%)	Doygunluk Derecesi (%)	Maksimum Yükl. (kN)	Çekme Dayanımı (kPa)
Saf (50/70)	1	58.9	1145.50	647.72	1151.93	1172.24	2.272	2.443	7.00	75.71	7.49	809.2
	2	59.9	1147.23	648.70	1155.42	1174.48	2.264		7.33	73.41	7.17	761.7
	3	59.8	1146.10	646.97	1153.06	1173.93	2.265		7.30	75.31	7.28	774.7
	Ort											781.9
Leadcap	1	60.0	1147.95	646.69	1153.28	1175.82	2.266	2.443	7.24	75.95	6.85	726.5
	2	60.3	1146.14	646.75	1152.83	1174.73	2.265		7.30	77.42	7.57	798.9
	3	59.0	1145.12	647.45	1151.63	1171.19	2.271		7.03	73.55	6.95	749.6
	Ort											758.3
Pavna-1	1	59.5	1147.64	647.40	1154.30	1174.33	2.264	2.442	7.29	72.25	6.95	743.3
	2	59.9	1148.66	647.84	1155.66	1176.69	2.262		7.37	74.86	6.29	668.2
	3	60.0	1144.70	647.87	1152.58	1172.42	2.268		7.12	77.10	6.79	720.2
	Ort											710.6
SBS	1	58.9	1144.64	648.69	1151.78	1169.18	2.275	2.440	6.75	72.23	8.65	934.6
	2	59.3	1144.41	647.22	1151.12	1170.90	2.271		6.92	75.95	8.07	866.0
	3	58.9	1147.28	649.89	1153.27	1171.83	2.279		6.59	73.98	8.14	879.5
	Ort											893.3



Şekil 8. Karışımların ITS değerleri.



Şekil 9. Karışımların ITSR değerleri.

Koşullandırılmamış kireç katkısız karışımlar incelendiğinde ITS değeri. Leadcap modifiyeli karışımlarda %6.42 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %11.39 oranında azalmış. SBS modifiyeli karışımlarda %10.64 oranında artmıştır. Sönmüş kireç katkısı ile bütün karışımların ITS değerlerinde artış meydana gelmiştir. ITS değeri sönmüş kireç katkısı ile saf (50/70) karışımlarda %1.85 oranında. Leadcap modifiyeli karışımlarda %5.18 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %6.12 oranında. SBS modifiyeli karışımlarda %3.54 oranında artmıştır. En yüksek ITS değeri sönmüş kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

Koşullandırılmış kireç katkısız karışımlar incelendiğinde ITS değeri. Leadcap modifiyeli karışımlarda %5.44 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %13.26 oranında azalmış. SBS modifiyeli karışımlarda %13.0 oranında artmıştır. Sönmüş kireç katkısı ile bütün koşullandırılmış karışımların ITS değerlerinde artış meydana gelmiştir. ITS değeri sönmüş kireç katkısı ile saf (50/70) karışımlarda %3.03 oranında. Leadcap modifiyeli karışımlarda %5.68 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %7.95 oranında. SBS modifiyeli karışımlarda %4.17 oranında artmıştır. En yüksek ITS değeri sönmüş kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

Bütün karışımların ITSR değerlerinin %80'in üzerinde olduğu görülmüştür. Sönmüş kireç katkısı bütün karışımların ITSR değerlerini arttırmıştır. Sönmüş kireç katkısı ile saf karışımlarda %1.16 oranında. Leadcap modifiyeli karışımlarda %0.47 oranında. Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %1.70 oranında. SBS modifiyeli karışımlarda %0.60 oranında ITSR değerleri artmıştır. En yüksek ITSR değeri sönmüş kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülmüştür. En düşük ITSR değeri kireç içermeyen Pawma-1 modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada bitüm modifikasyonunda SBS, Pawma-1 ve Leadcap kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Pawma-1 ve Leadcap modifiyeli karışımlar diğer karışımlara oranla daha düşük karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında hazırlanmıştır. Ayrıca filler olarak %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Hazırlanan modifiye bitümlerle optimum bitüm içeriklerinde Marshall karışım numuneleri üretilmiştir. Bitümlü karışım numuneleri üzerinde nem hasarı deneyleri uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan, Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların çekme dayanımı değerlerinin kontrol numunelerine göre bir miktar azalması ile sönmüş kireç katkısının çekme dayanımına olumlu etki yapması, çalışmanın literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir. Sönmüş kireç katkısı ile Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışım asfaltların çekme dayanımı değerlerinin, kontrol numunelerine göre daha yüksek oranlarda arttığı ve kontrol numunelerine yakın çekme değerleri olduğu görülmüştür. Ilık karışım asfaltların sönmüş kireç katkısı ile beraber kullanımın yerinde olacağı görülmektedir. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış karışımların ITS ve ITSR değerlerine bakıldığında SBS modifiyeli karışımların en olumlu sonuçları verdikleri görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Francken L. 1998. Bituminous Binders and Mixes. Rilem Reports, 352s.
- [2] Nicholls C. 1998. Asphalt Surfacing. E & FN Spon, pp: 68–79.
- [3] Bueche N. 2009. Warm Asphalt Bituminous Mixture With Regards to Energy, Emissions and Performance. Young Researchers Seminar, 3-5 June, Torino.
- [4] Olard F., Noan C.L. 2007. Les Enrobés à Basse Température, 2ème Prix de la Sélection Française du Prix AIPCR. Catégorie Développement Durable, France.
- [5] D'Angelo J.A., Harm E.E., Bartoszek J.C., Baumgardner G.L., Corrigan M.R., Cowsert J.E., Newcomb D.E. 2008. Warm-mix asphalt: European practice.
- [6] Su K., Maekawa R., Hachiya Y. 2009. Laboratory Evaluation of WMA Mixture for Use in Airport Pavement Rehabilitation. Construction and Building Materials, 23 (7): 2709-2714.
- [7] AR-GE ile yeni ürünler geliştiriliyor. 2015. <http://yolteknolojileri.com.tr/icerik/10016/ar-ge-ile-yeni-urunler-gelistiriliyor>. (Erişim Tarihi: 17.11.2018).
- [8] Introducing a novel warm mix additive: Leadcap.2017. <http://www.leadcapwma.com/index.html>. (Erişim Tarihi: 17.11.2018).
- [9] Kim S., Lee S.-J., Yun Y.-B., Kim K.W. 2014. The use of CRM-Modified Asphalt Mixtures in Korea: Evaluation of High and Ambient Temperature Performance. Construction and Building Materials, 67: 244-248.
- [10] Lee J., Kim Y.R., Lee J., Kwon S.-A., Yang, S.-C. 2011. Comprehensive Laboratory Performance Evaluation of WMA with LEADCAP Additives. 2nd International Warm-Mix Conference, 11 Oct, Hyatt Regency at the Arch, St. Louis, Missouri.
- [11] Jenks C., Jencks C., Harrigan E., Adcock M., Delaney E., Freer H. 2011. NCHRP Report 673: A Manual for Design of Hot Mix Asphalt With Commentary. Washington, DC: Transportation Research Board of the National academies.
- [12] Yılmaz M., Kök B.V. 2008. Stiren-Butadien-Stiren Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Superpave Sistemine Göre Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesinin ve İşlenebilirliğinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (4): 811-819.
- [13] Alataş T., Kizirgil M.E. 2013. The Effects of Using Styrene-Butadiene-Styrene and Fly Ash Together on The Resistance to Moisture-Induced Damage, Permanent Deformation and Fatigue of Hot Mixture Asphalt. KSCE Journal of Civil Engineering, 17 (5): 1030-1039.

- [14] Lu X., Isacsson U. 1997. Rheological Characterization of Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer Modified Bitumens. *Construction and Building Materials*, 11 (1): 23-32.
- [15] Little D.N., Epps J.A., Sebaaly, P.E. 2006. Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt. National Lime Association.
- [16] Johansson L. 1995. Influence of Hydrated Lime on Bitumen Hardening. *Kth Infrastructur Och Samhaellsplanering Rapport*, 95: 8.
- [17] Mohammad L., Abadie G. 2000. Puppala. Mechanistic Evaluation of Hydrated Lime in HMA Mixtures. *Transportation Research Record*, 1723 (1): 26-36.
- [18] Khodaii A., Tehrani H.K., Haghshenas H. 2012. Hydrated Lime Effect on Moisture Susceptibility of Warm Mix Asphalt. *Construction and Building Materials*, 36: 165-170.
- [19] Liang R.Y. 2008. Refine AASHTO T283 Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage for Superpave, FHWA/OH-2008/1, USA.