



Farklı Katkılarla Hazırlanan Asfalt Karışımların Sünme Performanslarının İncelenmesi

Taner ALATAŞ*

FIRAT Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ
talatas@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-2762-0440, Tel: (424) 237 00 00 (5401)

Akın İSTEK

Firat Üniversitesi, Geoteknik Programı, Elazığ
aistek@firat.edu.tr ORCID: 0000-0003-4736-1957

Geliş: 11.03.2019, Revizyon: 07.05.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

Öz

Bitümlü sıcak karışım üretiminde uygulamaya konulan bilimsel gelişmelerden biri de ılık karışım asfalt teknolojisidir. Ilık karışım asfalt teknolojisi ile daha düşük sıcaklıklarda bitümlü sıcak karışım üretimi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, Pawma-1 (%0.35) ve Leadcap (%1.5) ile Stiren-Butadien-Stiren (SBS) (%2) asfalt katkı maddeleri kullanılarak bitümlü karışım numuneleri hazırlanmış ve bu katkı maddelerinin karışımların sünme performansına olan etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte, sönmüş kirecin ılık karışım asfaltlarda filler olarak kullanımının bitümlü karışımların sünme performansına etkileri de incelenmiştir. Çalışmada TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bitüm (B50/70) ve agregası olarak Elazığ Hankendi bölgesinden temin edilen kalker türü kırmataş malzeme kullanılmıştır. Modifiye bağlayıcılar hazırlandıktan sonra Marshall yöntemine göre optimum bitüm oranları belirlenerek karışım numuneleri hazırlanmıştır. Karışım numunelerinin yarısında filler yerine %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Ilık karışımlarda, agregası ve bağlayıcı malzeme sıcak karışım asfaltlara oranla daha düşük sıcaklıklarda karıştırılıp sıkıştırılmıştır. Optimum bitüm içeriklerinde hazırlanan bitümlü karışım numuneleri üzerinde 40°C sıcaklıkta ve 500 kPa gerilme seviyesinde dinamik sünme deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan sönmüş kireç katkısının bütün karışımların sünme performansını arttırdığı görülmüştür. Leadcap modifiyeli karışımların sünme performanslarının, kontrol numunelerine göre küçük bir oranda azaldığı, Pawma-1 modifiyeli karışımların ise sünme performanslarının kontrol numunelerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. SBS modifiyeli karışımların sünme performanslarının, tüm diğer karışımlardan yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ilık karışım asfalt; Sünme; Stiren-Butadien-Stiren; Leadcap; Pawma-1

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Artan trafik yoğunluğu ve dingil yükleri, esnek kaplamalarda kullanılan bitümlü karışımların performansının hızla azalmasına neden olmaktadır. Yollardaki bozulma işaretleri; çatlaklar, tekerlek izi oluşumu, yüzeyde malzeme kaybı ve cilalanmadır. Tekrarlı yükleme altındaki bitümlü karışımların kalıcı deformasyonu nedeniyle oluşan tekerlek izi esnek kaplamaların hizmet ömürlerinin kısalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple esnek kaplama tasarımında sünme davranışının dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Tekerlek izi derinliğinin tahmini için bitümlü karışımların sünme davranışını etkileyen faktörlerin iyi anlaşılması gerekmektedir (Öcal, 2001). Taşıt hızlarının bir fonksiyonu olan yükleme sürelerinin bitümlü karışımların yüke olan tepkileri üzerinde doğrudan etkisi olmaktadır. Fiziksel olarak sünme davranışı, kendisini tekerlek izi olarak göstermekte ve genellikle trafik akışının yüksek ve hızın düşük olduğu yollarda görülmektedir (Uluğtekin, 1999).

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 (Bueche, 2009; Olard ve Noan, 2007). Ilık karışım asfalt, bitümlü karışımların karıştırma sıcaklıklarının düşürülmesine olanak sağlayan teknolojileri ifade etmektedir. Bu teknolojilerin amacı, bağlayıcıların viskozitesini düşürerek bitümlü sıcak karışımlara oranla 20°C ile 55°C daha düşük sıcaklıklarda bağlayıcının agregayı tamamen sarması ile agrega ile bağlayıcı arasında gerekli aderansın sağlanmasıdır (D'Angelo vd., 2008). 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 (Su vd., 2009).

Çalışmada, Pawma-1 ve Leadcap katkı maddeleri kullanılarak ılık karışım asfalt numuneleri hazırlanmıştır. Pawma-1 ılık karışım asfalt katkısı ülkemizde üretilmektedir. Pawma-1 ile modifiye edilmiş bağlayıcılar üzerinde yapılan deneylerde viskozitenin ve penetrasyonun azaldığı, yumuşama noktasının ise arttığı görülmüştür (İstek ve Alataş, 2017). Leadcap, Kumho Petrokimyasal şirketi ile Kore İnşaat Teknoloji Enstitüsü işbirliği ile geliştirilen bir ılık karışım asfalt katkı maddesidir. Leadcap ilavesi ile bağlayıcının viskozitesinin düştüğü ve yüksek sıcaklıklardaki reolojik özelliklerinin iyileştiği görülmüştür (Kim vd., 2014). Xiao ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, Sasobit, Rediset WMX, Cecabase ve Evotherm ılık karışım asfalt katkı maddelerinin bağlayıcıların yüksek sıcaklık performansına olan etkileri incelenmiş, çalışma sonuçları ılık karışım asfalt katkı maddelerinin yavaşça viskoziteyi azalttığını ve böylece karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının düştüğünü göstermiştir. Kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığında, ılık asfalt katkı maddeleri az bir oranda bağlayıcının yüksek sıcaklık performansını arttırarak kaplamanın tekerlek izine karşı direncini yükseltmişlerdir. Sasobit katkılı bağlayıcıların kompleks kayma modülleri az miktarda artmış fakat diğer katkı maddeli bağlayıcılara göre daha düşük faz açısı ve sünme esnekliği sergilemişlerdir. (Xiao vd., 2012). Kim ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, atık lastik parçacıkları ve Leadcap ılık karışım asfalt katkısı içeren bağlayıcıların yüksek, orta ve düşük sıcaklıklardaki reolojik özellikleri incelenmiştir. Superpave bağlayıcı deneyleri yapılmıştır. Ilık karışım asfalt katkı ilavesi ile bağlayıcının viskozitesi düşmüş, yüksek sıcaklıklardaki reolojik özellikleri iyileşmiş, düşük ısı çatlaklarına karşı dayanımı artmıştır. Atık lastik ilavesi de asfalt bağlayıcının tekerlek izi ve çatlak oluşumuna karşı dayanımını olumlu bir şekilde etkilemiştir (Kim vd., 2014).

Bitümlü sıcak karışımların trafik yüklerine ve sıcaklığa karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla

çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinden yaygın olarak kullanılan Stiren-Butadien-Stiren (SBS) 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 (Yılmaz ve Kök, 2008). 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 dirençlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu katkıların birlikte kullanılması ile 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 (Alataş ve Kizirgil, 2013). Şengül ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, SBS modifiyeli taş mastik asfaltların kaplama performansı araştırılmıştır. Marshall oranı yaklaşımı ile optimum bitüm içerikleri hesaplanan numuneler üzerinde tekrarlı sünme, indirekt çekme rijitlik modülü ve tekerlek izi deneyleri yapılmıştır. Modifiye edilen numunelerin rijitlik modülleri ve tekerlek izine karşı dirençleri artmıştır (Şengül vd., 2013).

Bitümlü karışımlara sönmüş kireç ilave edilmesinin trafik yüklerinden doğan gerilmelerin yayılmasında yardımcı olduğu ve dayanımı arttırdığı, tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırdığı görülmüştür (Little vd., 2006). 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 (Johansson, 1995). 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 (Mohammad ve Abadie, 2000). Lesueur ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada, sünme testleri neticesinde sönmüş kireç ilavesi ile yüksek sıcaklıklarda stabilite artışı sağlanmıştır. Sönmüş kirecin bitümün viskozitesini artırırken aynı zamanda suyun zararlı etkilerine karşı direncini de arttırdığını tespit edilmiştir. Bitümlü sıcak karışıma sönmüş kireç ilave edilmesi ile meydana gelen reolojik değişimler ve oksidatif sertleşme değişimleri araştırılmış ve kirecin olumlu sonuçlar sağladığı görülmüştür (Lesueur vd., 1998).

Bu çalışmada SBS, Pawma-1 ve Leadcap katkı maddeleri kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli ılık karışımlar diğer karışımlara göre daha düşük sıcaklıklarda karıştırılıp sıkıştırılmıştır. Hazırlanan modifiye bitümlerle optimum bitüm içeriklerinde Marshall karışım numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan karışımların yarısında filler olarak %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Bitümlü karışım numuneleri üzerinde dinamik sünme deneyi uygulanmıştır. Hazırlanan ılık karışım asfaltların sünme performansları belirlenmiş, katkısız ve SBS katkılı sıcak karışım asfaltlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca filler olarak %2 oranında kullanılan sönmüş kirecin sünme performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve yöntem

Karışım numunelerinin hazırlanması

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. Ilık 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 katkıları bağlayıcıya ilave

edilerek bağlayıcı malzeme modifiye edilmiştir. Sönmüş kireç ise agrega karışımındaki filler malzemenin belirli bir miktarının yerine kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri

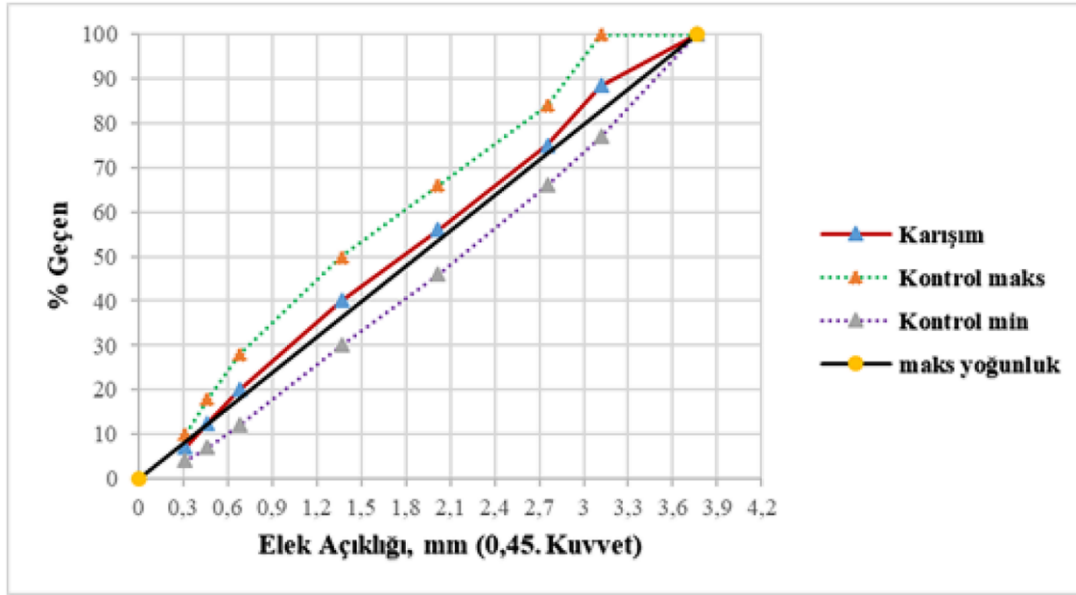
Tablo 1’de, kullanılan gradasyon Tablo 2’de ve gradasyon eğrisi Şekil 1’de verilmiştir. Bağlayıcı malzemeye ait özellikler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Özellikler	Standart	Şartname Limitleri	Kaba	İnce	Filler
Dayanıklılık (Los Angeles Aşınma Kaybı), %	TS EN 1097-2	maks 30	24		
Sağlamlık (MgSO ₄ ile Donma Kaybı), %	TS 1367-2	maks 18	6.5		
Su Absorpsiyonu %	ASTM C127	maks 2	0.3		
Hacim Özgül (g/cm ³)	Ağırlık ASTM C127		2.677		
Hacim Özgül (g/cm ³)	Ağırlık ASTM C128			2.628	
Zahiri Özgül (g/cm ³)	Ağırlık ASTM C127		2.698		
Zahiri Özgül (g/cm ³)	Ağırlık ASTM C128			2.675	
Zahiri Özgül (g/cm ³)	Ağırlık ASTM D854				2.717

Tablo2. 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
Karışımındaki Agrega Yüzdeleri								
	Kaba					44		
	İnce					49		
	Filler					7		



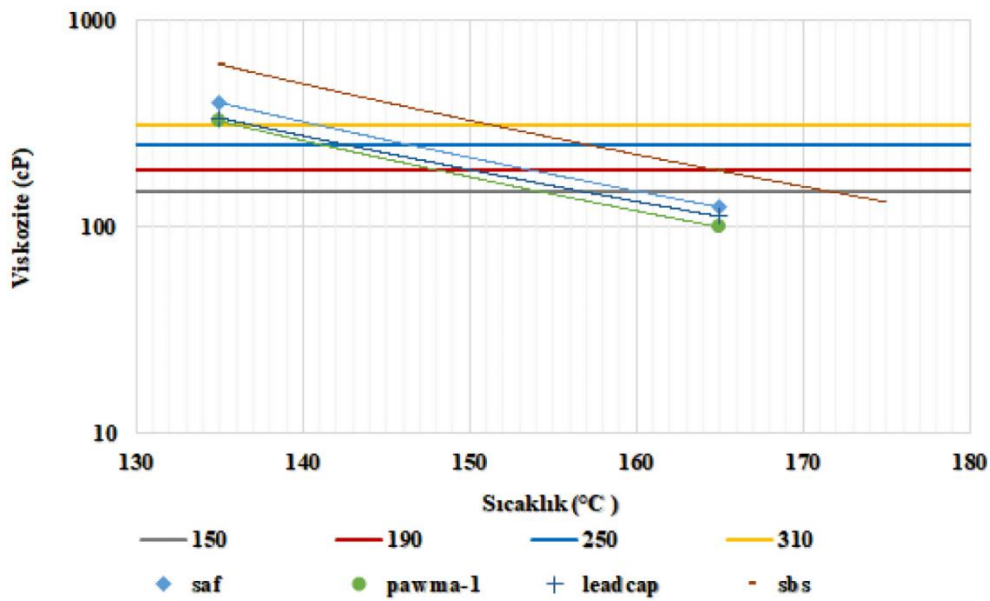
Şekil 1. Agrega gradasyon eğrisi.

Tablo 3. Saf bağlayıcının özellikleri.

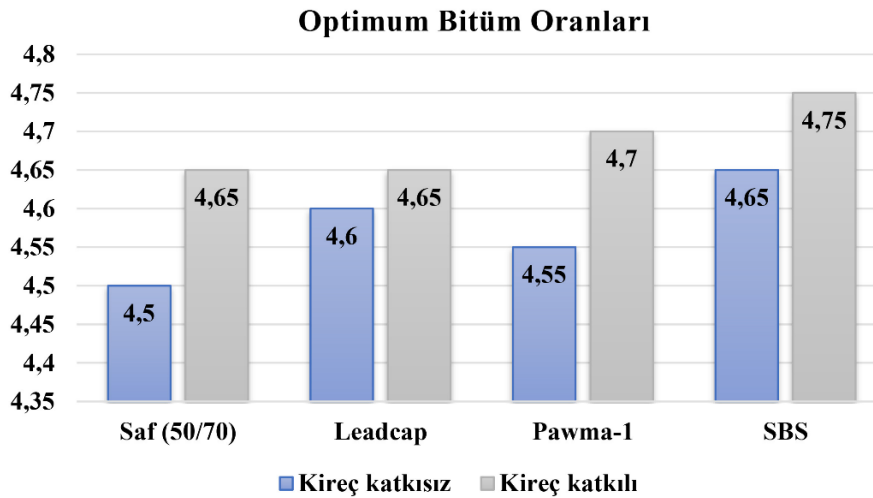
Özellikler	Standart	Sonuç	Şartname Limiti
Penetrasyon (0.1 mm), 100 g, 5 s	ASTM D5	53	50-70
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	49.9	46-54
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-1.09	-
Özgül ağırlık	-	1.039	-
Viskozite (cP, 135°C)	ASTM D4402	400	-
Viskozite (cP, 165°C)	ASTM D4402	125	-
Karıştırma sıcaklığı (°C)	-	157	-
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	-

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 2’de 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 (Little vd., 2006). 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 3’de verilmiştir.



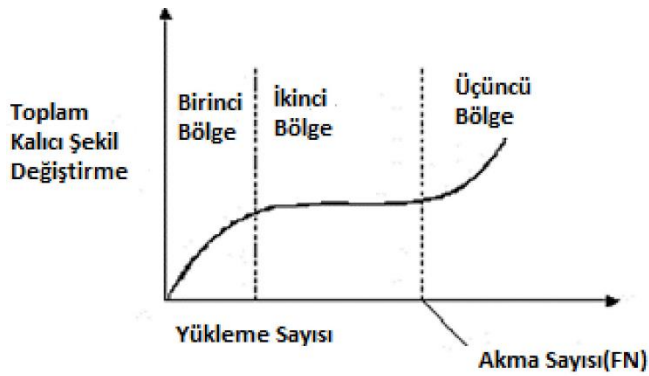
Şekil 2. Dönel viskozimetre deney sonuçları.



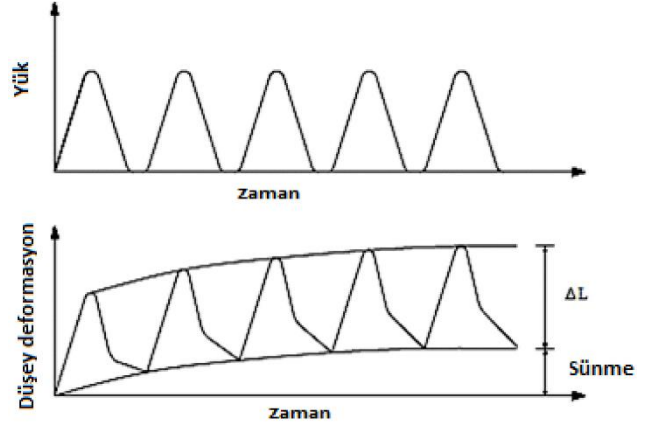
Şekil 3. Optimum bitüm içerikleri.

Dinamik sünme deneyi

Dinamik sünme deney yönteminde sabit bir yük, silindirik karışım numunesinin yatay yüzeyine belirli devir ile mükerrer olarak uygulanmaktadır. Dinamik sünme deneyinde yük tekrar sayısının bir fonksiyonu olarak ölçülen toplam kalıcı deformasyon miktarı, tekerlek izi potansiyeli ile ilişkilendirilebilmektedir. Deney, farklı sıcaklık ve yüklemelerde yapılabilmektedir. Bu deney ile ayrıca belli bir poisson oranı kabul ederek ve yatay deformasyonun ölçülmesi ile esneklik modülü de tespit edilebilmektedir. Dinamik sünme deneyinde genellikle “yük tekrar sayısı-toplam kalıcı şekil değiştirme eğrisi” sonuç olarak verilmektedir. Şekil 4’de örnek olarak gösterilen eğri 3 bölgeden oluşmaktadır. Burada akma sayısı üçüncü bölgenin başladığı yük tekrar sayısı olarak tekerlek izi potansiyeli ile ilişkilendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda dinamik sünme deneyinin arazide ölçülen tekerlek izi derinliği ile çok iyi benzeştiği görülmüştür. Şekil 5’de yük zaman ve yük deformasyon arasındaki ilişki gösterilmektedir (Kaloush vd., 2002).



Şekil 4. Yük tekrar sayısı-şekil değiştirme ilişkisi



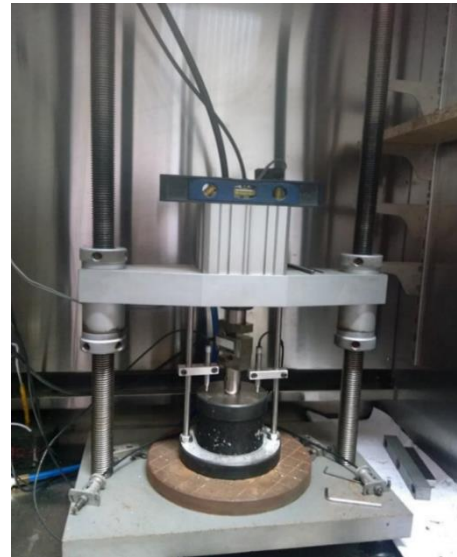
Şekil 5. Yük-zaman ve deformasyon-zaman ilişkisi

Dinamik sünme deneyinde toplam eksenel birim şekil değiştirme (ϵ_c) ve sünme rijitliği (E_c) Formül 1 ve 2 ile hesaplanmaktadır.

$$\epsilon_c = (L3_n - L1) / G \quad (1)$$

$$E_c = \sigma / \epsilon_c \quad (2)$$

Burada $L3_n$, n darbe sayısındaki deplasman (mm), $L1$, başlangıç referans deplasmanı (mm), G , numunenin başlangıç yüksekliği (mm), σ , maksimum düşey gerilmedir (kPa) (Kaloush vd., 2002). Test düzeneği Şekil 6’da gösterilmiştir.

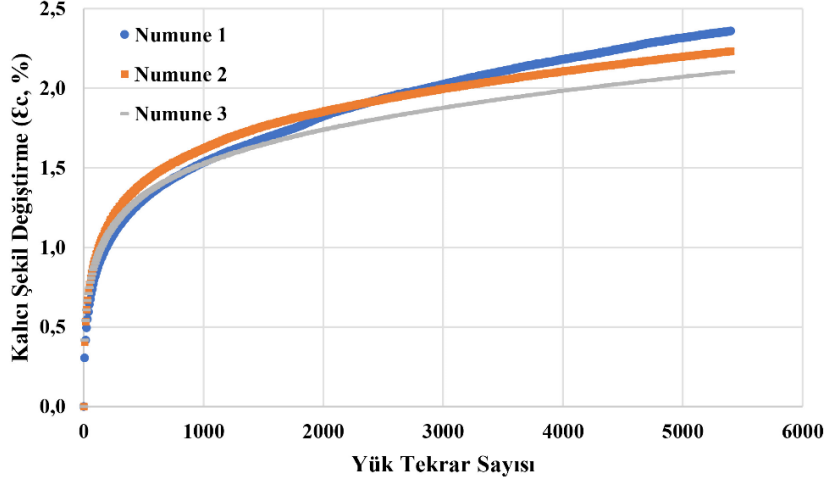


Şekil 6. Dinamik sünme deneyi düzeneği.

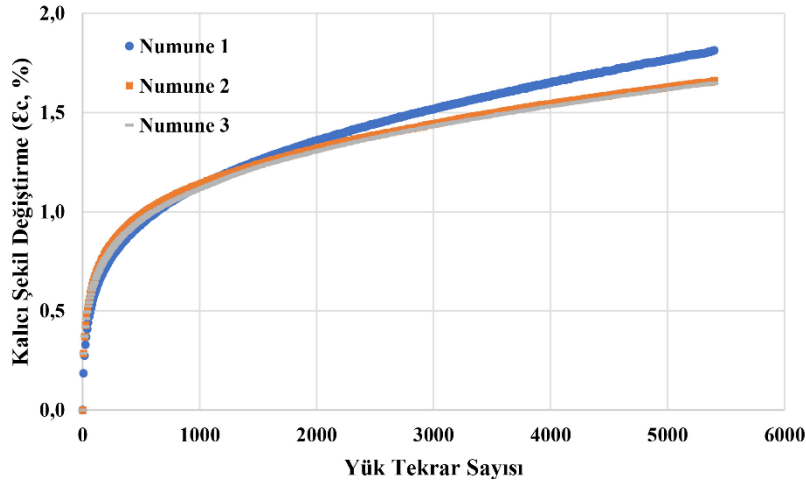
Dinamik sünme deney sonuçları

Dinamik sünme deneyi 40°C sıcaklıkta, 500 kPa gerilme altında gerçekleştirilmiştir. Deneye başlanmadan önce numunelere 90 saniye süresince 10 kPa gerilme altında statik bir ön yükleme yapılmıştır. Yükleme periyodu 1000 milisaniye olarak alınmıştır. Bu sürenin 500 ms.'si yük etki süresi, 500 ms.'si ise dinlenme süresi olarak seçilmiştir. Her bir karışım türü için 3 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler deneye

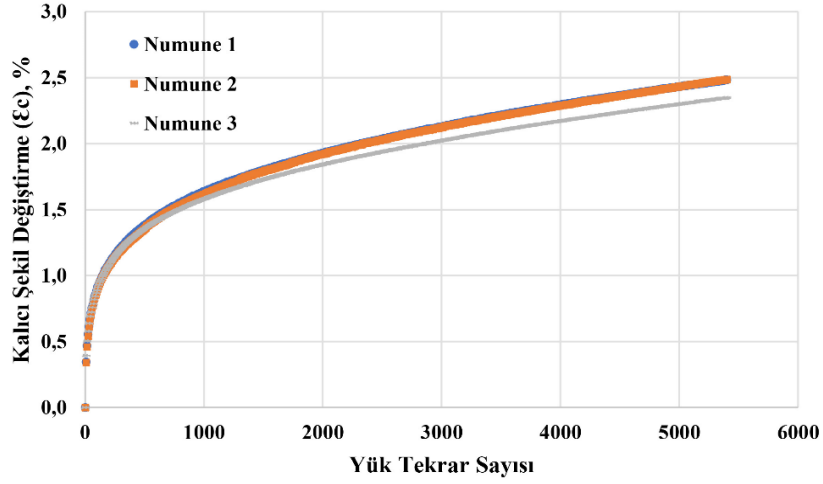
başlamadan önce 3 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Deneyde her bir numuneye 5400 darbe uygulandıktan sonra deney sonlandırılmıştır. Numunelerin ϵ_c -yük tekrar sayısı ilişkileri Şekiller 7-14'de, ϵ_c -yük tekrar sayısı ilişkileri Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmiştir.



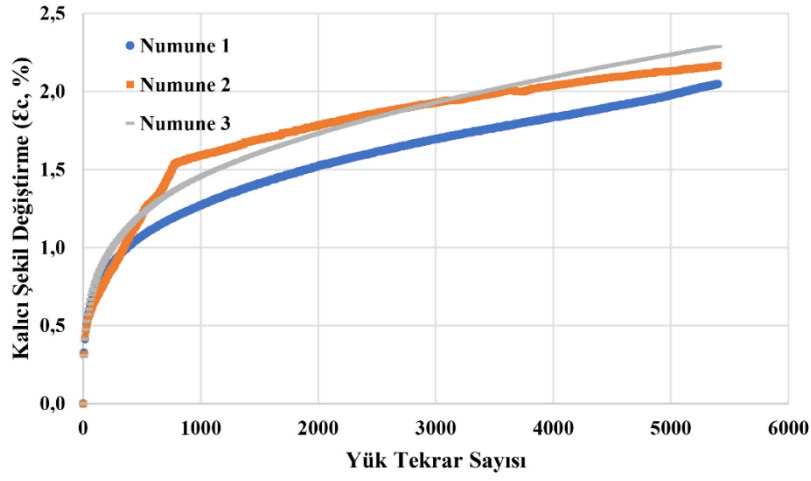
Şekil 7. Saf bitüm ile hazırlanan, kireç içermeyen numunelerin ϵ_c -yük tekrar sayısı ilişkisi.



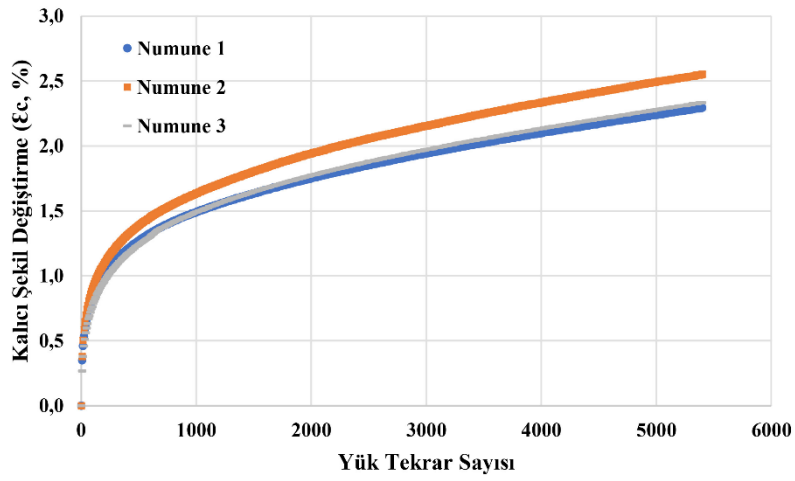
Şekil 8. Saf bitüm ile hazırlanan, kireç katkılı numunelerin ϵ_c -yük tekrar sayısı ilişkisi



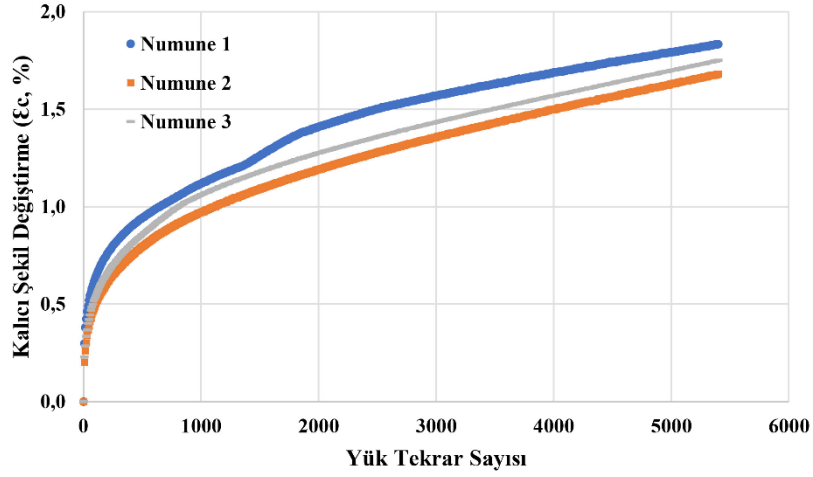
Şekil 9. Leadcap ile hazırlanan, kireç içermeyen numunelerin ϵ_c -yük tekrar sayısı ilişkisi.



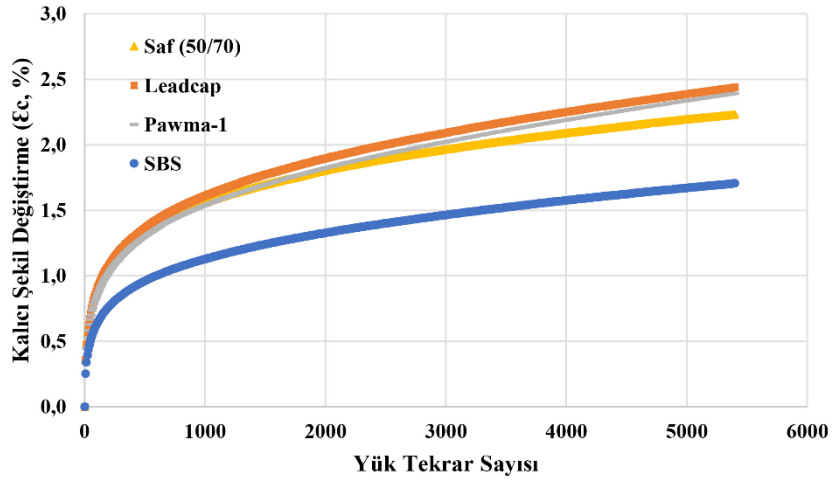
Şekil 10. Leadcap ile hazırlanan, kireç katkılı numunelerin ϵ_c -yük tekrar sayısı ilişkisi.



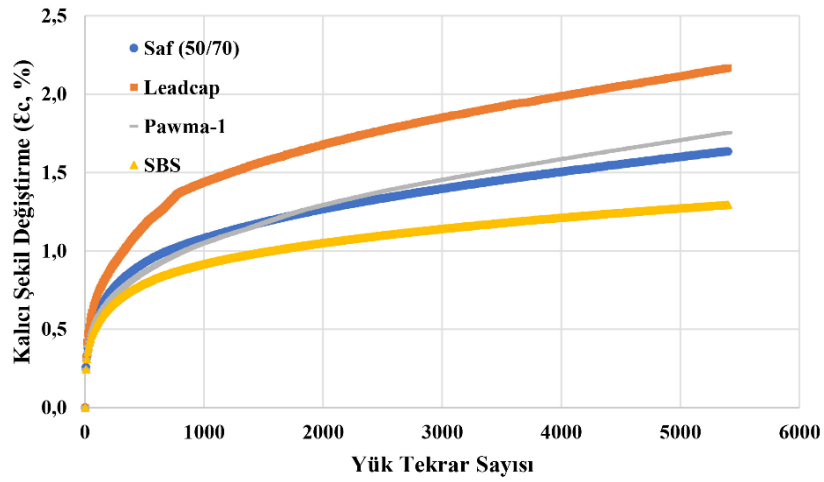
Şekil 11. Pawma-1 ile hazırlanan, kireç içermeyen numunelerin ϵ_c -yük tekrar sayısı ilişkisi.



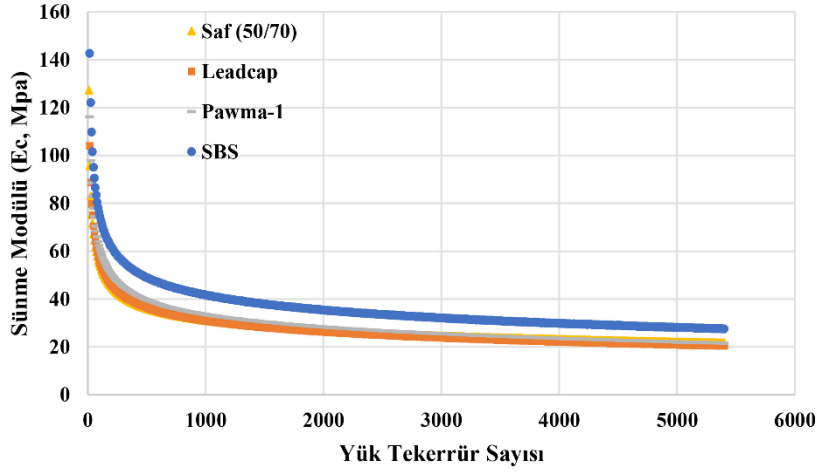
Şekil 12. Pawma-1 ile hazırlanan, kireç katkılı numunelerin E_c -yük tekrar sayısı ilişkisi.



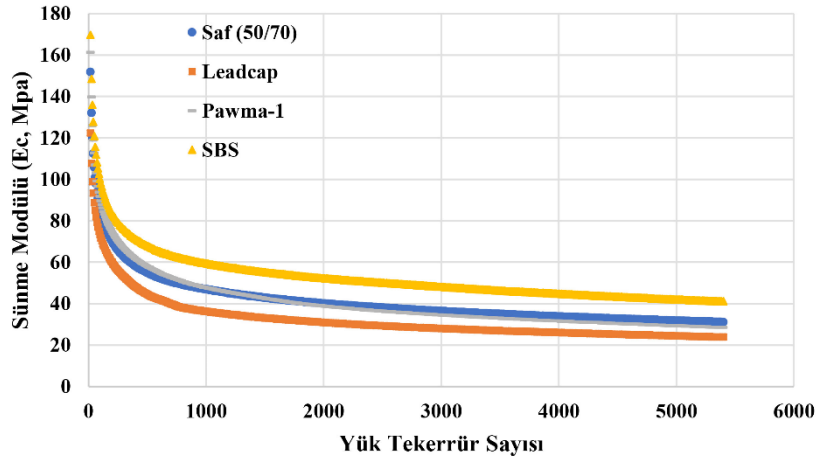
Şekil 13. Kireç içermeyen numunelerin E_c -yük tekrar sayısı ilişkisi.



Şekil 14. Kireç katkılı numunelerin E_c -yük tekrar sayısı ilişkisi.



Şekil 15. Kireç içermeyen karışımların Ec-yük tekrar sayısı ilişkisi.



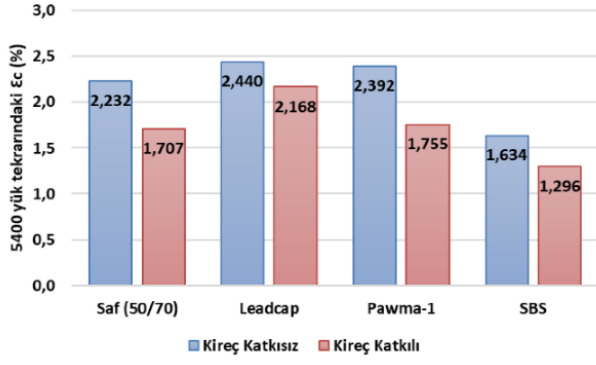
Şekil 16. Kireç katılı karışımların Ec-yük tekrar sayısı ilişkisi.

Kireç içermeyen karışımlardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli karışımlar ile kontrol numunelerinin kalıcı şekil değiştirme değerleri ve sünme modülü değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. SBS modifiyeli karışımlar en düşük kalıcı şekil değiştirme ve en yüksek sünme modülü değerlerine sahip olmuşlardır.

Kireç katılı karışımlardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde kireç katılı SBS modifiyeli karışımların en düşük kalıcı şekil değiştirme ve en yüksek sünme modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Kireç katılı, Pawma-1 modifiyeli ve saf karışımların kalıcı şekil değiştirmeleri ve sünme modülü değerlerinin

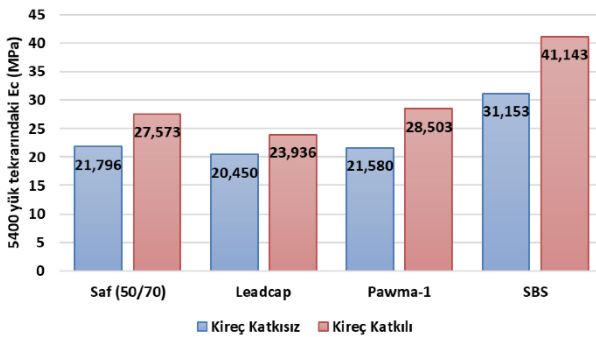
birbirine yakın olduğu görülmüştür. En büyük kalıcı şekil değiştirme ve en düşük sünme modülü değerleri kireç katılı Leadcap modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

Karışımların 5400 yük tekrarındaki kalıcı şekil değiştirme değerleri Şekil 17'de, sünme modülü değerleri Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 17. Karışımların 5400 yük tekrarındaki Ec değerleri

Kireç içermeyen karışımların 5400 yük tekrarındaki Ec değerleri incelendiğinde modifiye ılık karışım numunelerinin Ec değerlerinin küçük oranlarda arttığı görülmüştür. Leadcap modifiyeli karışımlarda %9.31 oranında, Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %7.16 oranında Ec değerlerinin arttığı görülmüştür. SBS modifiyeli karışımlarda %26.79 oranında Ec değerlerinin azaldığı görülmüştür. Kireç katkısı ile bütün karışımların 5400 yük tekrar sayısındaki Ec değerlerinin azaldığı görülmüştür. Kireç katkısı ile saf karışımlarda %23.52 oranında, Leadcap modifiyeli karışımlarda %11.15 oranında, Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %26.63 oranında, SBS modifiyeli karışımlarda %20.69 oranında Ec değerlerinin azaldığı görülmüştür. En düşük Ec değerleri kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülürken, en yüksek Ec değerleri kireç içermeyen Leadcap modifiyeli karışımlarda görülmüştür.



Şekil 18. Karışımların 5400 yük tekrarındaki Ec değerleri

Kireç içermeyen karışımların 5400 yük tekrarındaki Ec değerleri incelendiğinde ılık karışım katkılı numunelerin Ec değerlerinin küçük oranlarda azaldığı görülmüştür. Leadcap modifiyeli karışımlarda %6.17 oranında, Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %0.99 oranında, Ec değerlerinin azaldığı görülmüştür. SBS modifiyeli karışımlarda %42.93 oranında Ec değerlerinin arttığı görülmüştür. Kireç katkısı ile bütün karışımların 5400 yük tekrarındaki Ec değerleri artmıştır. Kireç katkısı ile saf karışımlarda %26.5 oranında Leadcap modifiyeli karışımlarda %17.05 oranında, Pawma-1 modifiyeli karışımlarda %32.08 oranında, SBS modifiyeli karışımlarda %32.07 oranında Ec değerleri artmıştır. Kireç katkılı saf karışımların 5400 yük tekrarındaki Ec değerleri Leadcap modifiyeli karışımlardan yüksek olurken, SBS ve Pawma-1 modifiyeli karışımlardan düşük olmuştur. En yüksek Ec değerleri kireç katkılı SBS modifiyeli karışımlarda görülürken, en düşük Ec değerleri kireç içermeyen Leadcap modifiyeli karışımlarda görülmüştür.

Sonuçlar ve Tartışma

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 hazırlanmış, ayrıca filler olarak %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Hazırlanan modifiye bitümlerle optimum bitüm içeriklerinde Marshall karışım numuneleri üretilmiş ve bitümlü karışım numuneleri üzerinde dinamik sünme deneyleri uygulanmıştır.

Kireç içermeyen karışımlardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Leadcap ve Pawma-1 modifiyeli karışımlar ile kontrol numunelerinin kalıcı şekil değiştirme değerleri ve sünme modülü değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. SBS modifiyeli karışımlar en düşük kalıcı şekil değiştirme ve en yüksek sünme modülü değerlerine sahip olmuşlardır. Kireç katkılı karışımlardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise, kireç katkılı SBS modifiyeli

karışımların en düşük kalıcı şekil değiştirme ve en yüksek sünme modülü değerlerine sahip olduğu, Pawma-1 modifiyeli ve saf karışımların kalıcı şekil değiştirmeleri ve sünme modülü değerlerinin birbirine yakın olduğu, en büyük kalıcı şekil değiştirme ve en düşük sünme modülü değerlerinin Leadcap modifiyeli karışımlarda olduğu görülmüştür.

Bütün sonuçlar incelendiğinde, sönmüş kireç katkısının bütün karışımların sünme performansını arttırdığı görülmüştür. Kireç içeren veya içermeyen, Leadcap modifiyeli karışımların sünme performanslarının, kontrol numunelerine göre küçük bir oranda azaldığı, Pawma-1 modifiyeli karışımların sünme performanslarının kontrol numunelerine oldukça yakın olduğu, SBS modifiyeli karışımların sünme performanslarının ise tüm diğer karışımlardan yüksek olduğu görülmüştür.

SBS modifiyeli karışımların en iyi sünme performansını göstermesi ve kireç katkısının bu performansı artırması çalışmanın literatürle uyumlu olduğunu göstermiştir. İlık karışımlarda kireç kullanımının sünme performansında küçük miktarlarda meydana gelen kaybı gidereceği görülmüştür. Leadcap ve Pawma-1 katkıları ile farklı oranlarda SBS katkısının birlikte kullanımının ilave çalışmalarla değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Alataş, T., ve 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.

Bueche, N., (2009). Warm Asphalt Bituminous Mixture With Regards to Energy, Emissions and Performance, *Young Researchers Seminar*, 3-5 June, Torino.

D'Angelo, J. A., Harm, E. E., Bartoszek, J. C., Baumgardner, G. L., Corrigan, M. R., Cowsert, J. E. ve Newcomb, D. E., (2008), *Warm-mix asphalt: European practice*.

İstek, A., ve Alataş, T. (2017) Farklı ılık asfalt katkılarının bitümlü bağlayıcıların mekanik özelliklerine etkisi, *International Conference on Advanced Engineering Technologies*, 840-849, Bayburt, Türkiye.

Jenks, C., Jencks, C., Harrigan, E., Adcock, M., Delaney, E., ve 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.

Johansson, L., (1995). Influence of Hydrated Lime on Bitumen Hardening, *Kth Infrastructur Och Samhaellsplanering Rapport*, 95, 8.

Kaloush, K., Witczak, M., Roque, R., Brown, S., D'Angelo, J., Marasteanu, M., ve Masad, E., (2002). Tertiary flow characteristics of asphalt mixtures, *Asphalt Paving Technology*.

Kim, H., Jeong, K.-D., Lee, M. S., ve Lee, S.J., (2014). Performance properties of CRM binders with wax warm additives, *Construction and Building Materials*, 66, 356-360.

Lesueur, D., Little, D., ve Epps, J., (1998). Effect of hydrated lime on the rheology, fracture and aging of bitumen and asphalt mixtures, *Lhoist HMA Symposium*, Dusseldorf, Germany.

Little, D. N., Epps, J. A., ve Sebaaly, P. E., (2006). Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt, *National Lime Association*.

Mohammad, L., ve Abadie, G., (2000). Puppala.Mechanistic Evaluation of Hydrated Lime in HMA Mixtures, *Transportation Research Record*, 1723,1, 26-36.

Öcal, A., (2001). Tekrarlı yükleme altındaki katkılı asfalt betonunun sünme özelliklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Olard, F. ve Noan, C.L., (2007). Les Enrobés à Basse Température, 2ème Prix de la Sélection Française du Prix AIPCR, Catégorie Développement Durable, France.

Şengül, C. E., Oruç, S., İskender, E., ve Aksoy, A., (2013). Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance, *Construction and Building Materials*, 41, 777-783.

Su, K., Maekawa, R. ve Hachiya, Y., (2009). Laboratory Evaluation of WMA Mixture for Use in Airport Pavement Rehabilitation. *Construction and Building Materials*, 23,7, 2709-2714.

Uluğtekin, E., (1999). Creep properties of asphaltic concrete under repeated loading. *Yüksek Lisans Tezi*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Xiao, F., Punith, V., ve Amirhanian, S. N., (2012). Effects of non-foaming WMA additives on asphalt binders at high performance temperatures, *Fuel*, 94, 144-155.

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.

Investigation of creep performance of asphalt mixtures prepared with different additives

Extended abstract

Increased traffic density and traffic loads result in reduced performance of bituminous mixtures used in flexible pavements. Signs of deterioration on the roads are cracks, formation of tracks and loss of material on the surface. Rutting due to permanent deformation of bituminous mixtures under repetitive loads leads to shorter service life of flexible pavements. Therefore, it is of great importance to take into account the creep behavior in the flexible pavements. The loading times as a function of vehicle speeds have a direct effect on the reactions of the bituminous mixtures to the load. Factors that affect the creep behavior of bituminous mixtures need to be well understood to estimate the depth of the track. The physical creep behavior shows itself as a wheel trace and is generally seen on roads with high traffic flow and low speed.

In addition to improving the performance of bituminous mixtures, it is also aimed to provide energy saving in production and to reduce the harmful effects on the environment. Various technologies have been developed in the world in order to prepare low cost and less mixing temperatures of bituminous mixtures. Warm mix asphalt refers to technologies that allow mixing temperatures of bituminous mixtures to be reduced. The purpose of these technologies is to provide the necessary adherence between the aggregate and the binder by reducing the viscosity of the binder by lowering the viscosity of the binder at temperatures lower than 20°C to 55°C compared to hot mix asphalts.

In this study, Pawma-1 and Low Energy and Low Carbon-Dioxide Asphalt (Leadcap) warm mix asphalt additives and Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) additive were tested in mixture samples in bitumen modification. Pawma-1 was used at 0.35%, Leadcap at 1.5% and SBS at 2%. In addition, the effects of the use of the hydrated lime (2%) as fillers in the warm mix asphalts that were observed to improve some properties of the hot mix asphalts in previous studies have been investigated. Mixture samples were prepared by determining the optimum bitumen contents according to the Marshall method. Aggregate and binder material were mixed in warm

mixes at lower temperatures and compacted. The dynamic creep tests were applied on the bituminous mixture samples prepared in optimum bitumen contents at a temperature of 40°C and a stress level of 500 kPa. From the results obtained, it was seen that the hydrated lime additive increased the creep performance of all mixtures. Leadcap modified mixtures showed that their creep performance decreased slightly in comparison with control samples. It has been found that the creep performance of Pawma-1 modified mixtures is very close to the control samples. SBS modified mixtures were found to have higher creep performances than all other mixtures.

Keywords: Warm mix asphalt, Creep, Styrene-Butadiene-Styrene, Leadcap, Pawma-1, Hydrated lime