

Bitüm Modifikasyonunda Stiren-Etilen-Butilen-Stiren Kullanımının Bitümlü Bağlayıcıların Orta Ve Yüksek Sıcaklık Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi

M. Ertuğrul ÇELOĞLU

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Tel: (424) 2370000-5431
E-Posta: meceloglu@firat.edu.tr

Mehmet YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Bölümü ELAZIĞ
Tel: (424) 2370000-5421
E-Posta: mehmetyilmaz@firat.edu.tr

Baha Vural KÖK

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Tel: (424) 2370000-5418
E-Posta: bvural@firat.edu.tr

Erkut YALÇIN

İnşaat Mühendisliği Bölümü ELAZIĞ
Tel: (424) 2370000-5422
E-Posta: erkutyalcin@firat.edu.tr

Öz

Karayolu üstyapıları genellikle esnek üstyapı şeklinde yapılmaktadır. Esnek üstyapılar temel olarak agrega ve bitümlü bağlayıcıdan oluşmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar, esnek üstyapılarda üstün performans sergileyen bir uygulama türü olan bitümlü sıcak karışımlarda az miktarda kullanılmasına rağmen kaplamanın dolayısıyla üstyapının performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bitümlü bağlayıcının özelliklerini iyileştirmek karışımın performansının da artmasını sağlamaktadır. Katkı kullanımı ile bitümlü sıcak karışımların tekerlek izi oluşumuna, düşük ısı çatlaklarına, nem hasarına ve yolulma çatlaklarına karşı dayanımları artırılabilir. Katkı maddeleri doğrudan karışıma eklenebildiği gibi genellikle bitümlü bağlayıcıya ilave edilmektedir. Bitüm modifikasyonunda genellikle polimer türü malzemeler kullanılmaktadır. Elastomer türü bir polimer olan ve bitüm modifikasyonunda en sık kullanılan katkı olan stiren-butadien-stirenin (SBS) bitümlü bağlayıcıların ve dolayısıyla bitümlü sıcak karışımların performansını olumlu yönde etkilediği yapılan çeşitli çalışmalarla belirlenmiştir. Bu çalışmada katkı maddesi olarak farklı bir elastomer polimer olan stiren-etilen-butilenn-stiren (SEBS) bitüm modifikasyonunda kullanılmıştır. Dört farklı oranda SEBS kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Hazırlanan modifiye bitümler üzerinde penetrasyon, yumuşama noktası, dönel viskozimetre ve dinamik kayma reometresi deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan SEBS içeriği arttıkça penetrasyon değerleri azalırken yumuşama noktası değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Penetrasyon indeksi değerlerinden SEBS içeriği arttıkça bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetlerinin azaldığı belirlenmiştir. Dönel viskozimetre deneyleri sonucunda SEBS kullanımının bağlayıcıların işlenebilirliğini azalttığı, DSR deneyleri sonucunda ise kompleks kayma modüllerini arttırırken faz açılarını azalttığı belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Bitüm, SEBS, Polimer, Modifikasyon.

Giriş

Yük ve yolcu taşımacılığının yaklaşık %95'inin karayolu ile yapıldığı Ülkemizde, 2014 Karayolları Genel Müdürlüğü verilerine göre 65.623 km karayolu ağı bulunmaktadır (URL-1, 2014). Karayolu ağının %94,9'u (62.291 km) bağlayıcı olarak bitümlü malzemelerin kullanıldığı esnek üstyapı şeklinde tasarlanıp uygulanmıştır. Esnek üstyapılar; alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşmaktadır. Kaplama tabakalarında bağlayıcı olarak bitüm kullanılması, 1835 yılında Fransa'da Seyssel doğal asfaltları ile başlamıştır (Uluçaylı, M. 1976). Taşıt lastikleri ile temas eden ve üstyapının en pahalı kısmı olan esnek üstyapı kaplama tabakaları; sathi kaplamadan bitümlü sıcak karışıma (BSK) kadar değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Sathi kaplamalar bir veya birden fazla tabaka halinde uygulanabilmekte olup uygun temel üzerine bitümün uygulanması daha sonra da agreganın serilip sıkıştırılması şeklinde yapılmaktadır. Bitümlü sıcak karışım ise en pahalı ve dayanıklı kaplama türüdür. BSK'lar sabit bir testeste agrega ve bitümün ısıtılması ve karıştırılması, daha sonra uygulama yerine taşınarak belirli bir sıcaklıkta sıkıştırılması şeklinde uygulanmaktadır. Ülkemizde otoyollar, devlet ve il yollarında toplam 16.997 km BSK kaplamalı yol bulunurken, il ve devlet yollarında toplam 45.294 km sathi kaplamalı yol bulunmaktadır (URL-1, 2014).

Son yıllarda sathi kaplamalı yolların standardını yükseltmek amacıyla BSK yapımı ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle karayolu kaplama malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar Ülkemiz açısından büyük önem arz etmektedir.

BSK'ları oluşturan iki ana unsur agrega ve bitümlü malzemelerdir. Bitümlü bağlayıcıların karışımdaki ana görevi BSK'ların kohezyonunu sağlamaktır. Agregalar ise karışımın içsel sürtünme direncini ve stabilitesini sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcılar ayrıca agrega tanelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmasını önlemekte, oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforunu sağlamakta ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliğini sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcılar, temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, trikloretilen içerisinde çözülebilen, uçucu olmayan ve ısıtıldığında gittikçe yumuşayan, viskoz bir sıvı veya katı bir madde olarak tanımlanmaktadır (Lav ve Lav, 2004).

Bitümlü bağlayıcılar, reolojik özelliğinden dolayı yüksek taşıt hızlarında ve düşük sıcaklıklarda elastik katı, düşük taşıt hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda ise viskoz sıvı özelliği göstermektedir (Airey, 2004). Bitümlü bağlayıcının bu özelliği karışıma da yansdığından esnek üstyapı tabakaları da benzer davranış sergilemektedir.

Bitümlü sıcak karışımlarda trafik ve çevre koşulları nedeniyle tekerlek izi, nem hasarı, düşük ısı ve yorulma çatlakları oluşmaktadır (Janoo ve Korhonen, 1999). Bitümün ve bitümlü sıcak karışımların ısıya ve trafik yüklerine karşı dayanımını artırarak üstyapının ömrünü arttırmak amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır (Roque ve diğ., 2005).

Katkı maddeleri bitümlü bağlayıcıyla karıştırılabildiği gibi doğrudan karışıma da eklenebilmektedir (Jones, 1990). Kullanımı oldukça artan modifiye bitümler ve karışımlar konusundaki çalışmalarda son yıllarda polimerler temel alınarak; polimer olan katkı maddeleri ve polimer olmayan katkı maddeleri şeklinde sınıflandırma da yapılmaktadır. Bitüme eklenen katkı malzemeleri içerisinde en fazla polimer grubu malzemeler kullanılmaktadır (Isacsson ve Lu, 1995).

Yapılan çeşitli çalışmalarda stiren-butadien-stiren (SBS), etilen-vinil-asetat (EVA), stiren-etilen-butilen-stiren (SEBS), etilen-bütül-akrilat (EBA), polietilen (PE) ve polipropilen (PP),

polivinilklorid (PVC) gibi polimerler, bitümlü sıcak karışımlarda denenmiş ve stabilite, nem hasarına karşı dayanım, yorulma dayanımı gibi birçok parametresini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Isacsson ve Lu, 1999; Aylan ve diğ., 1993; Yıldırım, 2007; Tayfur ve diğ., 2007).

SEBS, SBS'nin basit hidrojenarasyonu ile elde edilmektedir (Ouyang ve diğ., 2006). Fakat SEBS'nin yapısındaki çift bağ SBS'ye göre daha rijit olmasını sağlamaktadır (Polacco ve diğ., 2006). SEBS bitüm modifikasyonunda kullanıldığında SBS'ye göre termal bozulma bakımından daha fazla dayanım sergilediği belirlenmiştir (Lu ve Isacsson, 2000). SEBS ile modifiye edilen bağlayıcıların SBS'ye göre tekerlek izine karşı daha iyi sonuç verdiği buna karşın orta sıcaklıklarda yorulma direnci yönünden SBS'ye göre daha az etkili olduğu görülmüştür (Elseifi ve diğ., 2003).

SEBS'nin depolama stabilitesi üzerine yapılan bir çalışmada %4'ten daha fazla oranda katkı malzemesi olarak kullanımının özellikle yüksek sıcaklıkta depolanması durumunda ayrışma görülebileceği sonucuna varılmıştır (Giovanni ve diğ., 2006).

SEBS ile yapılan modifikasyonun orijinal bağlayıcıların düşük ve yüksek sıcaklıklardaki reolojik özelliklerini iyileştirdiği bunun yanı sıra bağlayıcıları yaşlanmaya karşı olumlu yönde etkiledikleri tespit edilmiştir (Isacsson ve Lu, 1999).

Bu çalışmada 4 farklı oranda SEBS polimeri kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bitümler üzerine geleneksel ve Superpave deneyleri uygulanarak SEBS kullanımının bitümlü bağlayıcıların reolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Böylece farklı polimerlerle bu yönde yapılacak çalışmalara zenginlik kazandırılması amaçlanmaktadır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada TÜPRAŞ rafinerisinden elde edilen B 160/220 sınıfı bitüm ve Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen stiren-etilen-butilen-stiren (SEBS) G 1650 polimer katkı maddesi kullanılmıştır. Katkı maddesi saf bitüme %2, %3, %4 ve %5 oranlarında ilave edilmiştir. Modifiye bitümler, 1000 devir/dakika hıza sahip bir karıştırıcı ile 180 °C sıcaklıkta saf bitüm ve katkı malzemesinin 60 dakika süreyle karıştırılması sonucu elde edilmiştir (Şekil 1). Saf ve modifiye bağlayıcılar üzerinde penetrasyon, yumuşama noktası, dönel viskozimetre ve dinamik kayma reometresi (DSR) deneyleri uygulanmıştır.

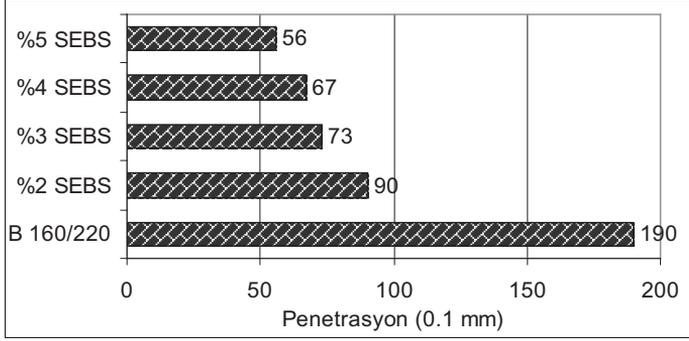


Şekil 1 Modifiye bitüm mikseri ve SEBS'nin görünüşü.

Deneyisel Çalışma

Penetrasyon Deneyi (EN 1426)

Çalışmada kullanılan saf ve dört farklı oranda hazırlanan modifiye bağlayıcılara ait ortalama penetrasyon değerleri Şekil 2’de grafik şeklinde görülmektedir.

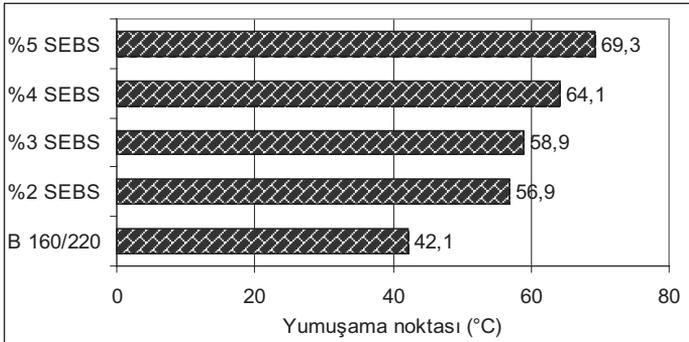


Şekil 2 Saf ve modifiye bağlayıcılara ait ortalama penetrasyon değerleri.

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere katkı kullanımı ile saf bağlayıcıya göre (190 penetrasyon) penetrasyon değerleri azalmış dolayısıyla bağlayıcıların kıvamı artmıştır. Katkı içeriği arttıkça penetrasyon değerleri düzenli olarak azalmıştır. Bitüm modifikasyonunda bitüm ağırlığınca %2, %3, %4 ve %5 SEBS kullanılması durumunda penetrasyon değerleri saf bağlayıcıya göre sırasıyla %52,63; %61,57; %67,43 ve %70,52 oranlarında azalmıştır. En düşük penetrasyon değerine %5 SEBS içeren modifiye bağlayıcının sahip olduğu belirlenmiştir.

Yumuşama Noktası Deneyi (EN 1427)

Çalışmada kullanılan saf ve dört farklı oranda hazırlanan modifiye bağlayıcıların ortalama yumuşama noktası değerleri Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3 Bağlayıcıların yumuşama noktası değerleri.

Şekilde görüldüğü üzere en yüksek yumuşama noktası değerine %5 SEBS içeren modifiye bitümün, en düşük değere ise saf bağlayıcının sahip olduğu belirlenmiştir. Katkı içeriğinin artması ile yumuşama noktası değerlerinin düzenli olarak arttığı belirlenmiştir. Bitüm modifikasyonunda bitüm ağırlığınca %2, %3, %4 ve %5 SEBS kullanılması durumunda yumuşama noktası değerleri saf bağlayıcının yumuşama noktası değerlerine göre sırasıyla %35,15; %39,90; %52,25 ve %64,60 oranlarında artmıştır. Yumuşama noktası deney sonuçlarından bitüm modifikasyonunda SEBS kullanılması ile yumuşama noktası değerlerinin arttığı dolayısıyla bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcak dayanımlarının yükseldiği belirlenmiştir.

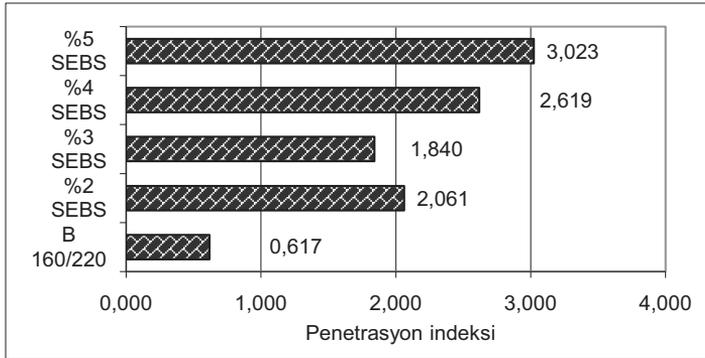
Bağlayıcıların Isıya Karşı Hassasiyetlerinin Belirlenmesi

Saf ve modifiye bitümlerin ısıya karşı hassasiyetlerini gösteren penetrasyon indeksleri aşağıdaki formüller kullanılarak belirlenmiştir.

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25} \quad (1)$$

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (2)$$

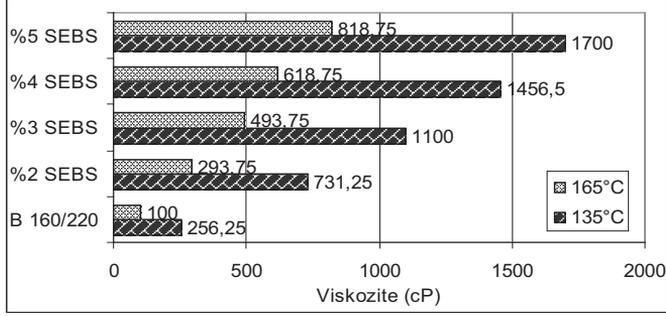
Bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri Şekil 4'te görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere katkı kullanımı ile genel olarak penetrasyon indeksi değerleri saf bağlayıcıya göre artmıştır. Penetrasyon indekslerindeki bu artış SEBS kullanımının saf bağlayıcının ısıya karşı hassasiyetini azalttığını ifade etmektedir. Bu durum esnek kaplama uygulamalarında farklı iklim şartlarında SEBS'nin katkı malzemesi olarak kullanımının uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 4 Bağlayıcıların penetrasyon indeksi değerleri.

Dönel Viskozimetre Deneyi (ASTM D4402)

Bağlayıcılara 135°C ve 165°C sıcaklıklarda uygulanan dönel viskozimetre deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5 Bağlayıcıların 135 ve 165°C’deki viskozite değerlerinin SEBS içeriği ile değişimi.

Şekil 5’te görüldüğü üzere katkı içeriğinin artması ile viskozite değerleri düzenli olarak artmıştır. Her iki sıcaklıkta da en yüksek viskozite değerine bitüm ağırlığına %5 oranında SEBS içeren modifiye bitümün, en düşük viskozite değerine ise saf bağlayıcının sahip olduğu bitümlerin 135°C sıcaklıktaki viskozite değerinin saf bağlayıcıya göre sırasıyla 2,85; 4,29; 5,68 ve 6,63 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bağlayıcıların 165°C sıcaklıktaki viskozite değerleri incelendiğinde ise saf bağlayıcıya göre sırasıyla 2,93; 4,93; 6,18 ve 8,18 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bitüm modifikasyonunda SEBS kullanımının bağlayıcıların viskozitesini dolayısıyla bağlayıcıların kıvamını arttırdıkları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan bütün bağlayıcıların pompalanabilirlik açısından sınır değer olan maksimum 3000 cP değerini aşmadığı belirlenmiştir.

SEBS’nin bitüm modifikasyonunda kullanımının BSK üretiminde karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarına etkisini belirlemek amacıyla tavsiye edilen sıcaklıklardaki (sıkıştırma için 280±30 cP ve karıştırma için 170±20 cP) değerlerindeki sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Saf ve modifiye bitümlerin karıştırma-sıkıştırma sıcaklığı aralıkları

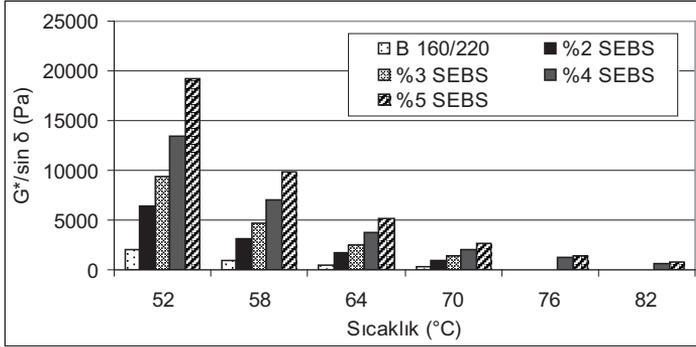
	Denklem	Karıştırma sıcaklığı aralığı (°C)	Sıkıştırma sıcaklığı aralığı (°C)
B 160/220	$y = 17687e^{-0,031x}$	146,2-153,9	130,5-137,4
SEBS	%2 $y = 44306e^{-0,03x}$	181,8-189,6	165,4-172,6
	%3 $y = 40446e^{-0,027x}$	198,5-207,3	180,4-188,4
	%4 $y = 68610e^{-0,029x}$	203,1-211,2	186,2-193,6
	%5 $y = 45529e^{-0,024x}$	228,2-238,1	207,9-216,9

Elde edilen sonuçlardan dört farklı oranda SEBS içeren modifiye bitümlerin agregayla karıştırma esnasında daha fazla sıcaklığa dolayısıyla daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacağı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra %5 SEBS içeren modifiye bitümün diğer oranlardaki bitümlere göre daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacağı belirlenmiştir.

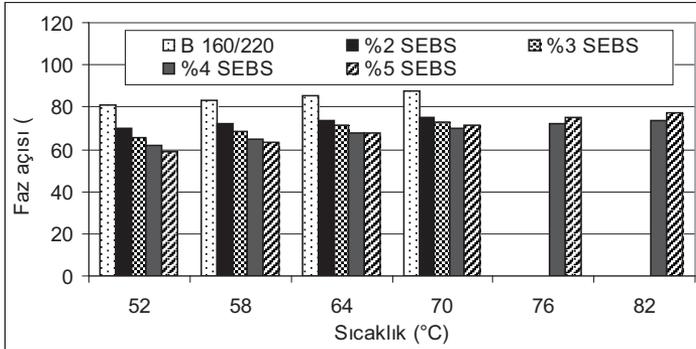
DSR Deneyi ile Bağlayıcıların Yüksek Sıcaklık Performans Seviyelerinin ve Tekerlek İzi Oluşumuna Karşı Dayanımlarının Belirlenmesi

Bitümlü bağlayıcıların orta ve yüksek sıcaklıkta visko-elastik davranışlarını değerlendirmek amacıyla DSR deneyi kullanılmaktadır. DSR deneyi, asfalt çimentosunun kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısını (δ) belirleyerek viskoz ve elastik davranışını karakterize

etmektedir. G^* , tekerrür eden kayma gerilmelerinin oluşturduğu deformasyonlara karşı asfalt çimentosunun gösterdiği toplam direncin göstergesidir. Hem G^* hem δ değerleri asfalt çimentosunun sahip olduğu ısı ve yüklenme hızı ile önemli ölçüde değişmektedir (Zaniewski ve Pumprey, 2004; McGennis ve diğ., 1994). Çalışmada hazırlanan modifiye bitüm numuneleri 25 mm çapındaki silikon kaplara doldurulmuş ve ortam sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Daha sonra numuneler DSR deney aletine yerleştirilerek deney sıcaklığını almaya kadar beklenmiş ve farklı sıcaklık ve frekanslarda deneye tabi tutulmuştur. DSR deneyi uygulanarak katkı maddelerinin saf bağlayıcının reolojik davranışı üzerindeki etkisi daha geniş bir aralıkta değerlendirilmeye çalışılmıştır. DSR deneyinden elde edilen tekerlek izi parametreleri Şekil 6'da, faz açıları ise Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 6 Bağlayıcıların tekerlek izi parametrelerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 7 Bağlayıcıların faz açısı değerlerinin sıcaklık ile değişimi.

Şekil 6 incelendiğinde SEBS içeriği arttıkça tekerlek izi parametrelerinin arttığı belirlenmiştir. Saf bağlayıcı 52°C sıcaklıkta Superpave minimum şartı olan 1000 Pa değerini sağlarken %2 SEBS içeren bağlayıcı 64°C sıcaklıkta, %3 SEBS içeren bağlayıcı 70°C sıcaklıkta, %4 ve %5 SEBS içeren bağlayıcılar ise 76°C sıcaklıkta 1000 Pa şartını sağlamıştır. Bu durum işlenebilirlik açısından olumsuz etkiye sahip olmasına rağmen özellikle tekerlek izi dayanımı açısından SEBS'nin büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 7 incelendiğinde katkı kullanımı ile faz açısı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu değişim bütün sıcaklıklarda benzer şekilde olmuştur. 64°C sıcaklığa kadar sıcaklık arttıkça faz açısı değerlerinin düzenli şekilde azaldığı, 70, 76 ve 82°C sıcaklıkta %4 SEBS içeren

bağlayıcıların faz açısının %5 SEBS içeren bağlayıcının faz açısından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Faz açısı ve kompleks modülü değerlerinden SEBS kullanımı ile bağlayıcıların elastikiyetinin arttığı tespit edilmiştir.

Sonuçlar

Çalışmada katkı maddesi olarak farklı bir elastomer polimer olan stiren-etilen-butilen-stiren (SEBS) bitüm modifikasyonunda kullanılmıştır. Dört farklı oranda SEBS kullanılarak modifiye bitümler hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bitümler üzerine geleneksel ve Superpave bağlayıcı deneyleri uygulanarak SEBS'nin bağlayıcıların reolijik özelliklerinin yanı sıra yüksek sıcaklık performanslarına etkisi incelenmiştir.

Penetrasyon deneyleri sonucunda katkı kullanımı ile bağlayıcıların penetrasyon değerlerinin azaldığı, dolayısıyla bağlayıcıların kıvamının arttığı belirlenmiştir. Penetrasyon değerleri üzerinde en etkin katkı içeriğinin %5 SEBS olduğu belirlenmiştir.

Yumuşama noktası deneyleri sonucunda katkı oranlarının artmasının yumuşama noktası değerlerini arttırdığı, katkı içeriği arttıkça yumuşama noktası değerlerinin de sürekli arttığı tespit edilmiştir. Yumuşama noktası değerleri üzerinde de en etkin katkı içeriğinin %5 oranında SEBS olduğu belirlenmiştir.

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetlerini gösteren penetrasyon indeksi değerlerinden SEBS kullanımı ile bağlayıcıların ısıya karşı hassasiyetlerinin azaldığı belirlenmiştir. Katkı içeriğinin artmasıyla birlikte genel olarak penetrasyon indeksi değerleri saf bağlayıcıya göre artmıştır. Bu durum esnek kaplama uygulamalarında farklı iklim şartlarında SEBS'nin katkı malzemesi olarak kullanımının uygun olduğunu göstermektedir.

Viskozite deney sonuçlarından katkı kullanımı ile viskozite değerlerinin arttığı, katkı içeriği arttıkça viskozite değerlerinin artışın düzenli olduğu belirlenmiştir. Viskozite değerlerinden yola çıkarak agregayla karıştırma ve arazide sıkıştırma sıcaklıkları belirlenmiştir. SEBS kullanımı ile modifiye bitümlerin agregayla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının arttığı belirlenmiştir. Bu durum bu katkının kullanılmasının bitümlü sıcak karışımların hazırlanmasında daha fazla enerji gerekeceğini göstermektedir.

Superpave yöntemine göre bağlayıcıların yüksek sıcaklık performans seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan saf bağlayıcının performans seviyesi yüksek sıcaklık değerinin PG 52-Y olduğu, %2 oranında SEBS içeren modifiye bitümlerin PG 64-Y olduğu, %3 oranında katkı içeren modifiye bitümün PG 70-Y olduğu, %4 ve %5 oranında katkı içeren modifiye bitümlerin performans seviyesi yüksek sıcaklık değerlerinin PG 76-Y olduğu tespit edilmiştir. Faz açısı değerlerinden SEBS kullanımı ile faz açısı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. 64°C'den daha yüksek sıcaklıklarda faz açısı bakımından %4 SEBS içeren bağlayıcının en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Bütün deney sonuçları dikkate alındığında bitüm modifikasyonunda SEBS kullanımının özellikle yüksek sıcaklık dayanımı açısından olumlu sonuçlara sahip olduğu, bağlayıcı kıvamını arttırdığı tespit edilmiştir. SEBS kullanımının viskozite değerlerini aşırı derecede artırması, bu katkının en büyük olumsuz yanını oluşturmaktadır. Katkının etkisinin daha detaylı incelenmesi açısından SEBS kullanımının bitümlü sıcak karışımların performansına etkisinin incelenmesi faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L. and Rollings, R. (1993) Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures, Transportation Research Record, 1417, pp. 178-186.
- Airey, G. D. (2004) Styrene Butadiene Styrene Polymer Modification of Road Bitumens, Journal of Material Science, 39, pp. 951-959.
- Elseifi, M. A., Flintsch, G. W., Al-Qadi, I. L. (2003) Quantitative Effect of Elastomeric Modification on Binder Performance at Intermediate and High Temperatures, Journal of Material Civil Engineering, 15(1), pp. 32-40.
- Giovanni, P., Antonio, M., Dario, B. and Simona, S. (2006) Effect of Composition on the Properties of SEBS Modified Asphalts, European Polymer Journal, 42, pp. 1113-1121.
- Isacsson, U., Lu, X. (1999) Characterization of Bitumens Modified with SEBS, EVA and EBA polymers, Journal of Materials Science, 34, pp. 3737-3745.
- Isacsson, U., Lu, X. (1995) Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens–State of the Art, Materials and Structures, 28, pp. 139-159.
- Janoo, V. C., Korhonen, C. (1999) Performance Testing of Hot-Mix Asphalt Aggregates, US Army Corps of Engineering Project, Number: 99-20.
- Jones, R. (1990) Modifiers for Asphalt Concrete, Air Force Engineering and Service Center Project, No: ESL–TR–88-32, s. 93.
- Karayolları Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sitesi, Yol Ağı Bilgileri, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>, 12.08.2014.
- Lav, A. ve Lav, H. A. (2004) Shell Bitüm El Kitabı, İSFALT Bilimsel Yayınları, N.3, s.334.
- Lu, X., Isacsson, U. (2000) Modification of Road Bitumens with Thermoplastic Polymers, Polymer Test, 20(1), pp. 77-86.
- Ouyang, C., Wang, S., Zhang, Y. and Zhang, Y. (2006) Thermo-Rheological Properties and Storage Stability of SEBS/Kaolinite Clay Compound Modified Asphalts, European Polymer Journal, 42, pp. 446-457.
- Polacco, G., Muscente, A., Biondi, D. And Santini, S. (2006) Effect of Composition on the Properties of SEBS Modified Asphalts, European Polymer Journal, 42, pp. 1113-1121.
- Roque, R., Birgisson, B., Drakos, C. and Sholar, G. (2005) Guidelines for Use of Modified Binders, Florida Department of Transportation, Project Number: 4910-4504-964-12.
- Tayfur, S., Özen, H. and Aksoy, A. (2007) Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers, Construction and Building Materials, 21, pp. 328-337.
- Uluçaylı, M. (1976) Türkiye’de Asfalt Betonu Kaplamalar ve Alternatifleri, Karayolları Teknik Bülten, 65(16), pp. 317-442.
- Whiteoak, D. and Read, J. (2003) The Shell Bitumen Handbook, London, Thomas Telford Ltd., 464 p.
- Yıldırım, Y. (2007) Polymer Modified Asphalt Binders, Construction and Building Materials, 21, pp. 66-72.

