

BİTÜMÜN ÖZELLİKLERİNİN ORGANİK ESASLI MAGNEZYUM KATKI MADDESİ İLE GELİŞTİRİLMESİ

Meltem ÇUBUK*, **Metin GÜRÜ***, **M. Kürşat ÇUBUK**** ve **Deniz ARSLAN****

*Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Müh. Böl. Maltepe, Ankara

**Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl. Maltepe, Ankara

meltem.cubuk@denizcilik.gov.tr, mguru@gazi.edu.tr, ckursat@gazi.edu.tr, denizarслан@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 05.04.2012; Kabul/Accepted: 04.04.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, sentezlenen organik esaslı magnezyum bileşiği ile bitümün modifiye edilmesi ve katkı maddesinin bitümün reolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Katkı maddesinin etkisi viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kesme reometresi (DSR), döner ince film etüvü (RTFOT), basınçlı oksidasyon kabı (PAV), çubuk eğme reometresi (BBR), fark taramalı kalorimetre (DSC) ve diferansiyel yüzey analizi (DSA) testleri ile incelenmiştir. Organik esaslı magnezyum bileşiği bitümün penetrasyonunu arttırmış, yumuşama noktasını azaltmıştır. Aynı zamanda yüzey gerilimini de azaltarak bitümün agregayı kaplama yeteneğini arttırmıştır. Performansa ilişkin Nicholson soyulma ve Marshall testleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçlarına göre sentezlenen katkı maddesinin bitüm-agrega ara yüzeyindeki adezyon özelliğini iyileştirerek bitümün soyulma direncini arttırdığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Modifiye bitüm, organik esaslı magnezyum katkı maddesi, reoloji, adezyon

IMPROVEMENT OF PROPERTIES OF BITUMEN BY ORGANIC-BASED MAGNESIUM ADDITIVE

ABSTRACT

In this study, synthesized organic-based magnesium compound was used for the modification of bitumen and the effect of the additive on the rheological properties of bitumen was investigated. The effects of the additive were examined by viscosity, penetration, softening point, dynamic shear rheometer (DSR), rolling thin film oven test (RTFOT), pressure aging vessel (PAV), bending beam rheometer (BBR), differential scanning calorimeter (DSC) and differential surface analysis (DSA) tests. Organic-based magnesium compound increased penetration and decreased softening point of the bitumen. Moreover, it increased aggregate coating ability of bitumen by lowering its surface tension. Nicholson stripping and Marshall Tests were applied related to performance. According to the results of the experimental studies, the synthesized additive was determined to increase stripping resistance of the bitumen by improving adhesion property at the bitumen-aggregate interface.

Keywords: Modified bitumen, organic-based magnesium additive, rheology, adhesion

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bitüm; termal direnci, reolojik ve doğal yapışkanlık özelliği ile çatı kaplama, zemin döşeme (parke, marley vb.), mastikleme, boru kaplama proseslerinde, boyalar, yol inşaatı vb. uygulamalarda kullanılır. Yol üstyapısı olarak kullanılan esnek kaplamaların niteliğini belirleyen en önemli etken kaplamayı meydana getiren bitümlü bağlayıcı ve agregata malzemelerinin özelliğidir.

Bitüm, polimerler ve yüzey aktif maddeler gibi katkı maddeleri ile modifiye edilerek esnek kaplama malzemelerinde meydana gelen deformasyon sorunları giderilebilir. Anyonik ve katyonik yüzey aktif maddeler genellikle soyulma önleyici olarak kullanılmaktadır. Silis, kuartz, granit gibi elektronegatif materyaller için katyonik yüzey aktif maddeler uygundur. Bitümde organo-mangan bileşiklerinin kullanımı, ya tek başına veya organo-

kobalt veya organo-bakır bileşiklerinin kombinasyonu halinde yapılabilmektedir [1]. Bir anyonik yüzey aktif madde olarak mangan abietatin ağırlıkça %0,1 ilavesinin bitümün soyulmasını önlediği [2], organik esaslı sentetik bileşiklerle de soyulma direncinde önemli oranda artış sağlandığı belirlenmiştir [3,4]. Petrol türevleri olan bitümün ve ağır fuel oilin viskozitesinde azalma meydana getiren mangan bileşiği ile plent sıcaklığının azaltılmasına bağlı olarak bitümün kısa dönem yaşlanmasının azaltılabileceği [4,5], çinko dialkilditiyofosfatın bitümün yaşlanma direncini geliştirdiği [6] ve trietilen glikol esaslı poliborun da tekerlek izi direncini yükselttiği bilinmektedir [7]. Maleik anhidrit katkı maddesinin kullanıldığı çalışmada ise modifikasyonun düşük sıcaklık kırılma direncini geliştirdiği ve yüksek sıcaklıkta yapışma kuvvetini arttırdığı raporlanmıştır [8].

Stiren-bütadien-stiren (SBS) polimerinin bağlayıcının sıcaklığa olan duyarlılığını azalttığı ve daha sert bir malzeme yönünde geliştirdiği [9], bitümün düşük sıcaklıktaki özelliklerini belli bir seviyeye kadar iyileştirdiği ve yaşlanmayı kısmi olarak azalttığı [10], bitümün reolojik parametrelerini geliştirerek kuma ve şişmenin önüne geçildiği [11] tespit edilmiştir. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve SBS triblok kopolimerinin asfaltın depolanma kararlılığını arttırdığı [12] ve epoksi reçinenin de bitümün performansını geliştirdiği bilinmektedir [13]. Elastomer katkılı bitümler ise trafik yüklerine daha fazla direnç göstermekte olup [14], etil-vinil-asetat (EVA) bitümün elastikiyetini ve rijitliğini arttırmakta [15] ve yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi ve düşük sıcaklıklarda çatlama riskini azaltmaktadır [16].

Hurda araç lastiğinin elastik malzeme üretiminde kullanılabilmesi bilinmekte olup [17], toz halindeki araç lastiği ile yapılan çalışmalarda katkının bitümün viskoelastik özelliklerini geliştirdiği [18] ve lastik modifikasyonunun boyut ve oranına bağlı olarak asfaltın elastiklik özelliğini arttırdığı tespit edilmiştir [19]. Karışımda viskozitesi yüksek bitüm kullanımı ise tekerlek izi oluşumunu azaltmakta ancak düşük sıcaklıklarda çatlaklara neden olmaktadır [20].

Bu çalışmada, aktif maddesi magnezyum olan organik esaslı yeni bir katkı maddesi sentezlenmiş ve bitüm modifiyeri olarak kullanılmıştır. Bitümün organik esaslı magnezyum bileşiği ile modifiye edilmesi sonucu özelliklerinde meydana gelen değişimler viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası, dinamik kesme reometresi (DSR), döner ince film etüvü (RTFOT), basınçlı oksidasyon kabı (PAV), çubuk eğme reometresi (BBR), fark taramalı kalorimetre (DSC), diferansiyel yüzey analizi (DSA), Nicholson soyulma ve Marshall testleri ile incelenmiştir.

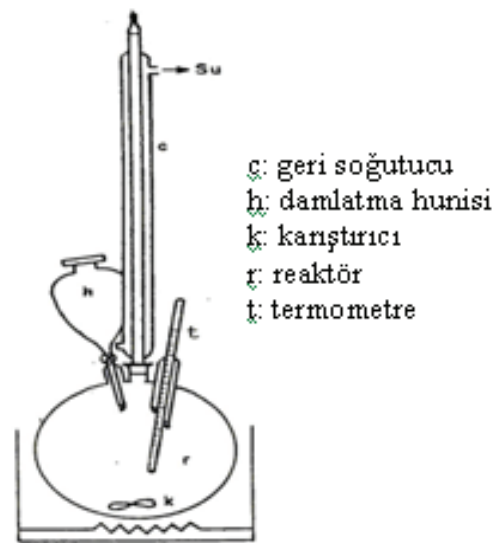
2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada Aliğa Petrol Rafinerisinden temin edilen 50/70 penetrasyon dereceli bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitümün fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 50/70 penetrasyonlu bitümün fiziksel ve kimyasal özellikleri (Physical and chemical properties of the 50/70 penetration bitumen)

| | |
|--|-------|
| Penetrasyon, 25 °C, 100 g, 5 s, 0,1 mm | 62 |
| Trikloretilende çözünürlük (%) | 99,7 |
| Yumuşama noktası (°C) | 49,2 |
| Parlama noktası (°C) | 260+ |
| Viskozite, 135 °C (Pa s) | 0,280 |
| Asfaltın (w/w) % | 20,75 |
| Aromatikler (w/w) % | 53,72 |
| Doygun hidrokarbonlar (w/w) % | 6,55 |
| Reçine (w/w) % | 18,98 |

Bitümün modifikasyonu için magnezyum bileşiği sentezlenmiştir. Sıcaklığı ve karıştırma hızı ayarlanabilen manyetik karıştırıcı, termostatlı ve elektrik ile ısıtılan mantolu ısıtıcıdan oluşan sentez düzeneği Şekil 1'de verilmiştir. Ögütülerek toz haline getirilmiş ve 105°C de kurutulmuş olan MgO, laboratuvar şartlarında yağlı ortamda üniformluk sağlamak amacıyla karıştırılmıştır. Bu karışım reaktör içindeki reçine-yağ karışımına damlatılarak ilave edilmiştir. Elde edilen çözeltide stokiometrik hesaplama ile 1 ml çözeltide 0,0474 g Mg metali içeren bir katkı maddesi sentezlenmiştir.



Şekil 1. Katkı maddesi sentez düzeneği (Synthesis mechanism of additive)

Elde edilen Mg bileşiği ile modifiye bitüm hazırlamak için bitüm önceden 100°C fırında 1 saat süre ile

ısıtılmış ve sonra hemen karıştırıcıya alınmıştır. Karıştırma için sıcaklığı önceden 100°C'a ayarlanmış yağ banyosu kullanılmıştır. Karıştırıcı önce düşük hızda (400 rpm) çalıştırılmış ve karıştırma işlemine hemen başlanmış, ağırlıkça % 0,1 Mg bileşiği ilave edilmiştir. Mikser hızlandırılarak (1300 rpm) 20 dakika karıştırma yapılmıştır. Sonra hazırlanan modifiye bitüm 20 dakika 100°C'lık etüvde bekletilmiştir. Karışım etüvden çıkartılarak sıcaklığı, oda sıcaklığına ulaştığında ağzı kapatılarak viskozite ve diğer deneyler için muhafaza edilmiştir.

Katkı maddesinin bitümün viskozitesine etkisi Brookfield DV-III Rheometer ile ASTM D 4402 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Penetrasyon deneyi ASTM D 5 standardında Krebs Elec & MFG.CO ile, yumuşama noktası deneyi ASTM D 36 standardında Sur Berlin RKA2 ile, camı geçiş sıcaklıkları Perkin Elmer DSC ile, yüzey enerjilerinin hesaplanması Krüss DSA 100 ile, basınçlı oksidasyon kabı deneyi AASHTO PP1 standardında ATS Applied Test Systems-Inc. Butler PAV ile, döner ince film ısıtma deneyi ASTM D 2872 standardında James Cox.& Sons Inc. CS 325-A ile, asfalt çubuk eğilme deneyi AASHTO TP1 standardında Cannon Instrument Company Thermoelectric BBR ile, dinamik kesme deneyi AASHTO TP5 standardında Bohlin Instrument CVO 100 ADS DSR Rheometer ile gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırılmamış bitüm-agrega karışımına Nicholson soyulma testi (ASTM D 1664) uygulanmış, sıkıştırılmış bitüm-agrega karışımının stabilitesi ise Marshall testi (ASTM D 1559) ile belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

İlk parametre olarak hizmet ve yaşlanma prosesi için önemli olan viskozite fonksiyonu araştırılmıştır. 50/70

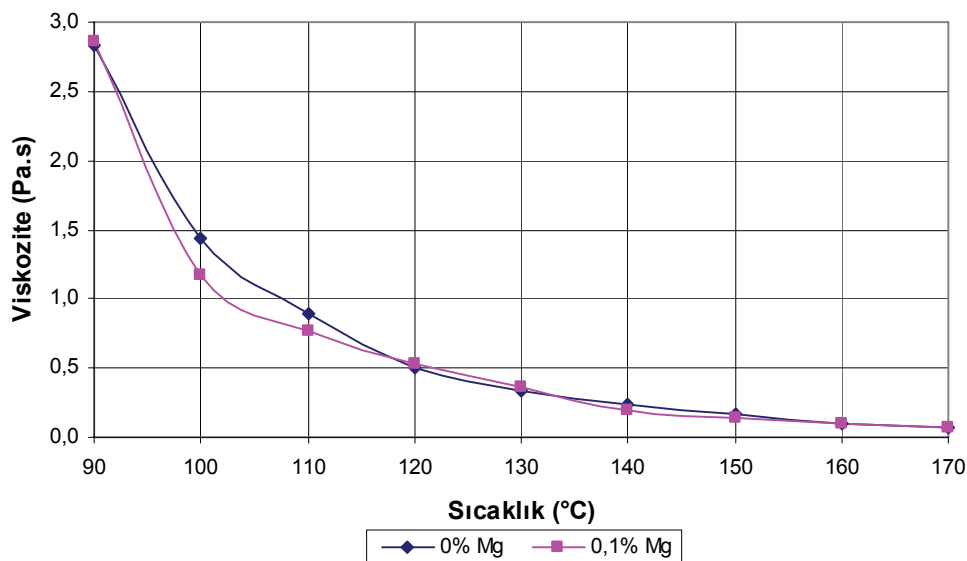
penetrasyon sınıfı bitümün ve kütlece %0,1 Mg içeren modifiye bitümün viskozite test sonuçları Şekil 2'de sunulmuştur.

Şekil 2 incelendiğinde %0,1'lik Mg katkı maddesi ilavesinin bitümün viskozitesini özellikle yüksek sıcaklıklarda pek etkilemediği anlaşılmaktadır. Bu sonucun katkı maddesinin oldukça düşük oranda ilave edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha yüksek oranlarda kullanılan çinkofosfat bileşiği ile bitümün viskozitesi önemli ölçüde azalmıştır [21]. Bu durumda Mg katkısı, bitümün agrega ile karıştırma sıcaklığını yükseltmeyeceğinden ilave bir oksitlenmeye, yaşlanmaya sebebiyet vermeyecektir. Viskoziteyi arttırmayı ve grafikten görüleceği üzere düşük sıcaklıklarda kısmen de olsa azaltması bitümün işlenebilirliğini de arttırabileceğini göstermektedir.

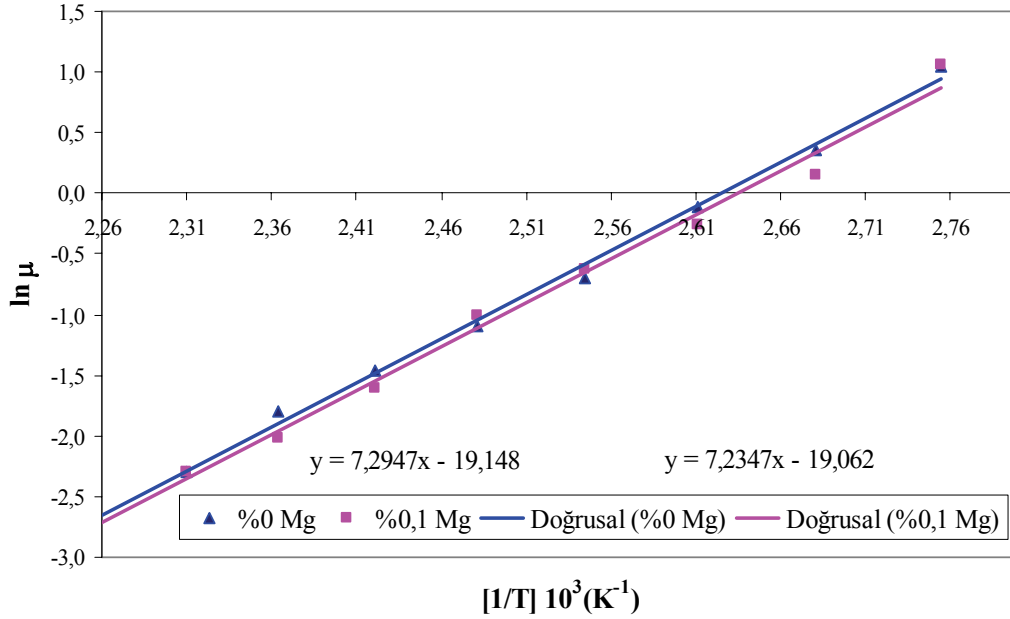
Verilerin Arrhenius modeline ($\mu=Ae^{(E/RT)}$) uygun olarak modellemesi yapıp $\ln\mu$ (logaritmik viskozite) ve $1/T$ ilişkisi çizilerek (Şekil 3) elde edilen doğru denklemlerinden hesaplanan E sabitleri (Tablo 2) incelendiğinde Mg bileşiğinin bitümün E sabitinde önemli bir değişiklik yaratmadığı anlaşılmaktadır. Arrhenius modelinde R ile ideal gaz sabiti (8,314) ifade edilmektedir.

Tablo 2. Arrhenius Modeline göre katkısız ve modifiye bitümün A ve E sabitleri (A and E constants of pure and modified bitumen according to the Arrhenius Model)

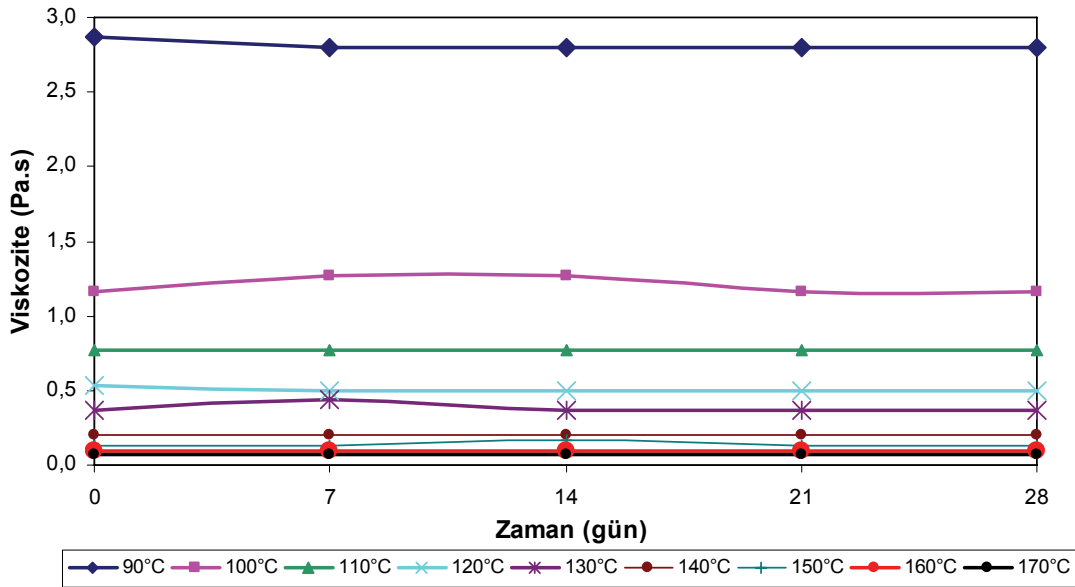
| Mg % | A (Pa.s) | E (K) |
|------|-----------------|--------|
| 0 | $4,832.10^{-9}$ | 60,648 |
| 0,1 | $5,266.10^{-9}$ | 60,149 |



Şekil 2. Bitümün sıcaklığa bağlı viskozite değişimi (Viscosity variation of bitumen as a function of temperature)



Şekil 3. 1/T'nin fonksiyonu olarak katkısız ve modifiye bitümün ln μ değerlerinin değişimi (Variation of ln μ data of pure and modified bitumen as a function of 1/T)



Şekil 4. Mg katkı maddeli modifiye bitümün zamana bağlı viskozite değişimi (Variation of viscosity as a function of curing period for Mg modified bitumen)

Modifiye edilen bitümün zamanla viskozite değişimini tespit edebilmek amacıyla dört haftalık bir çalışma yapılmıştır. Şekil 4'te görüldüğü üzere dört haftalık süreçte Mg modifiyeli bitümün viskozitesinde önemli bir değişiklik kaydedilmemiştir.

Penetrasyon testi sonucunda Mg bileşiğinin bitümün penetrasyon değerini 62'den 76'ya arttırdığı tespit edilmiştir. Penetrasyon değerinin yükselmesi bitümün daha yumuşak bir kıvam alması demektir. Bitümün ısıya duyarlılığının göstergesi olan penetrasyon indisi

hesaplandığında ise katkısız bitümün -0,902, %0,1 Mg bileşiği modifiye bitümün ise -1,097 olarak bulunmuştur. SBR, EVA blok kopolimeri ve SEBS kopolimerinin kullanıldığı çalışmada polimer modifiyeli asfaltların ısıya duyarlılıklarının modifiye edilmemiş asfaltlardan daha düşük olduğu raporlanmıştır [22]. Bu tür polimer modifiye bitümlerin daha ziyade sıcak iklime sahip bölgeler için uygun oldukları bilinmektedir. Penetrasyon indisi, sıcaklık hassasiyeti yüksek olan bitümler için -3 civarında bir değer ile sıcaklık hassasiyeti düşük olan

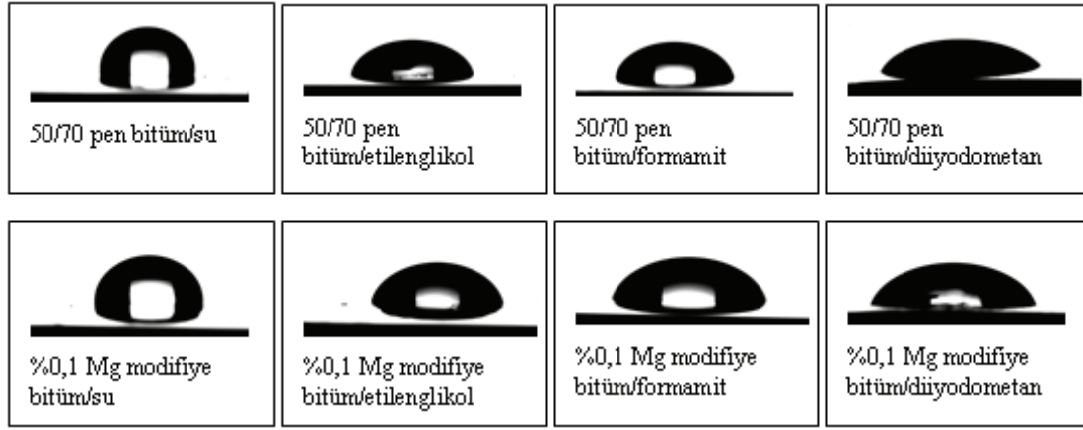
oksitlendirilmiş bitümler için +7 civarında bir aralıkta değişmektedir [1].

Mg bileşiği, bitümün yumuşama noktasını 49,2°C'dan 46,6°C'a düşürmüş, camsı geçiş sıcaklığını yaklaşık -22,50°C'den -18,97°C'a yükseltmiştir. Mg katkısının bitümün yumuşama noktasını azaltması yüksek sıcaklıklarda deformasyonu erken başlatacak gibi görünse de düşük sıcaklık çatlaklarının azalacağı beklenmektedir.

%0,1 Mg ilavesi bitümün yüzey gerilimini 32 mN/m'den 14,9 mN/m'ye düşürmüştür. Dolayısıyla agregayı ıslatmasını sağlayacak ve soyulmaya karşı mukavemetini arttıracaktır [2]. Soyulmayı önleyici katkı maddesinin kullanılması ıslak ortamda agregaya yüzeyine yapışan bitüm küreciğinin temas açısını giderek arttırmakta, yani bitüm küreciği agregaya

yüzeyine tamamen yapışarak güçlü bir adezyon oluşturmaktadır (Şekil 5).

Nicholson soyulma deneyi; agreganın bitümle kaplanması, suda bekletilmesi ve 24 saat sonunda meydana gelen soyulmanın görsel olarak belirlenmesi süreçlerinden oluşur. Deney sonunda karışımdaki soyulmamış toplam agregaya yüzey alanının toplam agregaya yüzey alanına oranı karışımın soyulma direnci olarak değerlendirilir. Nicholson soyulma deneyi sonuçlarında Mg modifiyeli bitüm içeren karışımda kontrol karışıma kıyasla bitüm içermeyen agregaya yüzeylerinin daha az olduğu yani daha az soyulma olduğu gözlenmiştir (Şekil 6). ASTM D 1664'te belirtildiği üzere numuneler saf su içinde ve yandan gelen ışık altında incelendiğinde Mg katkı maddesinin karışımın soyulma direncini %45-50'den %80-85'e yükselttiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Katkısız ve modifiye bitümün DSA görüntüleri (DSA images of pure and modified bitumen)

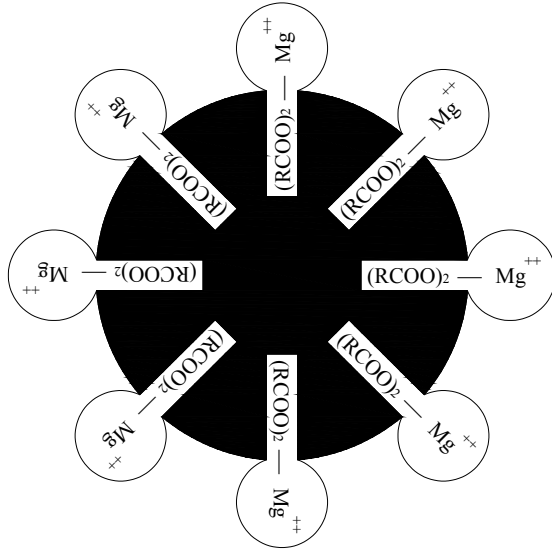


Katkısız bitüm



% 0,1 Mg modifiye bitüm

Şekil 6. Katkısız ve modifiye bitüm için Nicholson soyulma deneyi örnekleri (Samples of Nicholson stripping test for pure and modified bitumen)



Şekil 7. Mg katkısının bağlanma mekanizması (Binding mechanism of Mg additive)

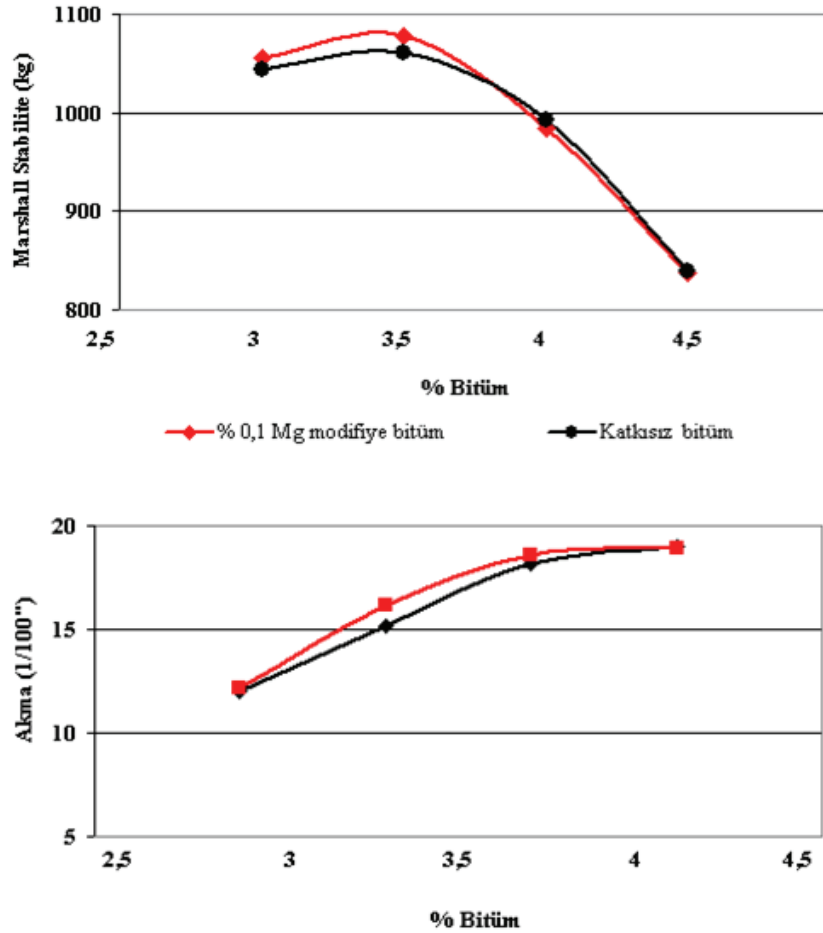
Soyulma, bitüm ile agrega arasındaki adezyon kuvvetinin (bağlanmanın) su tesiriyle kopmasıdır. Agregaya ve suyun polaritesi yüksek bitümün polaritesi ise düşüktür. Bu yüzden agrega bitüme kıyasla su ile daha kolay ve kuvvetli bağ yapar. Su, hem agreganın bitümlle kaplanmasını hem de kaplanmış agreganın bitümlle arasındaki bağın devam ettirilmesini olumsuz etkiler. Bitümlle kaplı agrega suya maruz kaldığında su, bitüm tabakasına sızarak bitümü agregadan

ayırabilir. Mg bileşiği, bitümün apolar yapıdaki yüzeyine polar özellik kazandırarak polar yapıdaki agregaya ile adezyonunu arttırmaktadır. Yani bir ucu apolar maddeye doğru çekilen, diğer ucu polar madde tarafından çekilen anyonik yüzey aktif madde görevi yaparak (Şekil 7) agregaya ile bitüm arasındaki adezyon kuvvetinin artmasını sağlamıştır. Mn bileşiğinin de bitümün agregaya ile adezyonunu arttırdığı ve soyulmaya karşı direncini yükselttiği bilinmektedir [2]. Mg bileşiğinin, Mn bileşiği ile benzer yapıda olan bağlanma mekanizması Şekil 7’de verilmiştir.

Superpave deneyleri (RTFOT, PAV, DSR ve BBR) sonucunda modifiye bitümden elde edilen sonuçların Superpave Şartnamesi sınırları içinde kaldığı tespit edilmiştir (Tablo 3). Şartname sınırları içinde kalmakla birlikte, %0,1’lik Mg bileşiğinin bitümün tekerlek izi oluşumuna karşı direncini gösteren $G^*/\sin\delta$ değerini yaklaşık %9 oranında arttırdığı, karıştırma prosesi sonrası yaşanmış bitümün tekerlek izi oluşumuna karşı direncini ise yaklaşık %6 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Yorulma çatlaklarına karşı direnci temsil eden değerler ($G^*\sin\delta$) incelendiğinde ise %0,1 Mg bileşiğinin yorulma çatlakları oluşumunu önemli oranda değiştirmedikleri tespit edilmiştir. Termal çatlak direncinin de şartname sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür.

Tablo 3. Orijinal ve modifiye bitümün Superpave deney sonuçları (Superpave test results of original and modified bitumen)

| Bitüm | Bitüm Durumu | Uygulanan Test | Sonuç | Şartname Sınırları |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|--------------------|
| Katkısız Bitüm | Orijinal | Viskozite, 135°C | 0,280 Pa.s | 3 Pa.s (maks.) |
| | | 20 rpm | | |
| | RTFOT Uygulanmış | DSR ($G^*/\sin\delta$) | 0,99817 kPa | 1 kPa (min.) |
| | | 10 rad/s, 64°C | | |
| | PAV Uygulanmış | DSR ($G^*/\sin\delta$) | 2,3915 kPa | 2,2 kPa (min.) |
| | | 10 rad/s, 64°C | | |
| %0,1 Mg Bileşiği Modifiyeli Bitüm | Orijinal | DSR ($G^*/\sin\delta$) | 4099 kPa | 5000 kPa (maks.) |
| | | 10 rad/s, 25°C | | |
| | RTFOT Uygulanmış | BBR 60 s, S | 148 MPa | 300 MPa (maks.) |
| | | -12 °C m | 0,318 | 0,300 (min.) |
| %0,1 Mg Bileşiği Modifiyeli Bitüm | Orijinal | Viskozite, 135°C | 0,285 Pa.s | 3 Pa.s (maks.) |
| | | 20 rpm | | |
| | RTFOT Uygulanmış | DSR ($G^*/\sin\delta$) | 1,0917 kPa | 1 kPa (min.) |
| | | 10 rad/s, 64°C | | |
| | PAV Uygulanmış | DSR ($G^*/\sin\delta$) | 2,2467 kPa | 2,2 kPa (min.) |
| | | 10 rad/s, 64°C | | |
| PAV Uygulanmış | DSR ($G^*/\sin\delta$) | 4070 kPa | 5000 kPa (maks.) | |
| | 10 rad/s, 25°C | | | |
| PAV Uygulanmış | BBR 60 s, S | 177 MPa | 300 MPa (maks.) | |
| | -12 °C m | 0,328 | 0,300 (min.) | |



Şekil 8. Bitüm yüzdesine bağlı Marshall stabilite ve akma değerlerindeki değişim (Variation of Marshall stability and flow values as a function of bitumen percent)

Orijinal ve modifiye bitümün Marshall stabilite ve akma sonuçları Şekil 8'de görülmektedir. Marshall stabilite sonuçları incelendiğinde, % 0,1 Mg bileşiği ile modifiye edilmiş bitümün katkısız bitüme göre stabiliteyi %3-3,5 bitüm yüzdelerinde çok az arttırmış, %4-4,5 bitüm yüzdelerinde ise çok az azaltmıştır. Mn katkı maddesi ile yapılmış araştırmada da katkı maddesinin stabiliteyi çok az düşürdüğü tespit edilmiştir [2]. Mg bileşiği karışımın akma değerlerini önemli ölçüde etkilememiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Mg bileşiği, bitümün apolar yapıdaki yüzeyine polar özellik kazandırarak polar yapıdaki agrega ile adezyonunu geliştirmiş ve bağlayıcının yüzey gerilimini azaltmak suretiyle agregayı daha iyi islatmasını sağlayarak bitümlü karışımın soyulmaya karşı direncini arttırmıştır. Ancak katkı maddesi bitümün ısıya duyarlılığını arttırmış, karışım stabilitesini ise önemli ölçüde etkilememiştir. Viskozite test sonuçları, Mg bileşiğinin bitümlü karışımların işlenebilirlik özelliğini olumlu yönde etkileyebileceğini göstermiştir. Esnek kaplamaların yüksek maliyetli olması, bozulmaların oluşması ve

bakım-onarım maliyetlerinin yüksek oluşu, modifiye bitüm çalışmalarının geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu sonuçlar ışığında Mg bileşiği ile hazırlanan modifiye bitümlerin yağışlı ve düşük sıcaklıklı bölgelerde karayolu kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

| | |
|----------------|-------------------------------|
| BBR | Çubuk eğme reometresi |
| DSA | Diferansiyel yüzey analizi |
| DSC | Fark taramalı kalorimetre |
| DSR | Dinamik kesme reometresi |
| EVA | Etil-vinil-asetat |
| G* | Kompleks kesme modülü |
| LDPE | Düşük yoğunluklu polietilen |
| m | Sünme oranı |
| PAV | Basınçlı oksidasyon kabı |
| RTFOT | Döner ince film ısıtma deneyi |
| S | Sünme sertliği |
| SBS | Stiren-bütadien-stiren |
| T _g | Camsı geçiş sıcaklığı |
| □ | Faz açısı |
| μ | Viskozite |

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Whiteoak, D., “**Shell Bitüm El Kitabı**”, Editörleri: Abdullah Hilmi Lav, M. Aysen Lav, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 2004.
2. Gürü M., “Improvement of adhesion of bitumen-aggregate coatings by additives.” **Cellulose Chemistry and Technology**, 238, 1-2, 129-140, 2004.
3. Arslan, D., Gürü, M. ve Çubuk, M.K., “Performance assessment of organic-based synthetic calcium and boric acid modified bitumens”, **Fuel**, 102, 766-772, 2012.
4. Arslan, D., Gürü, M. ve Çubuk, M.K., “Improvement of hot mix asphalt performance in cold regions by organic-based synthetic compounds”, **Cold Regions Science and Technology**, 85, 250-255, 2013.
5. Gürü, M., Bilici, İ. ve Arslan, D., “Investigation of viscosity of heavy fuel oil with manganese additive and temperature”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 26, 3, 631-634, 2011.
6. Ouyang, C., Wang, S., Zhang, Y. ve Zhang, Y., “Improving the aging resistance of asphalt by addition of zinc dialkyldithiophosphate”, **Fuel**, 85, 1060-1066, 2006.
7. Arslan, D., Gürü, M., Çubuk, M.K. ve Çubuk M., “Improvement of bitumen and bituminous mixtures performances by triethylene glycol based synthetic polyboron”, **Construction and Building Materials**, 25, 10, 3863-3868, 2011.
8. Nadkarni, V.M., Shenoy, A.V. ve Mathew, J., “Thermomechanical behavior of modified asphalts”, **Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development**, 24, 478-484, 1985.
9. Valtorta, D., Poulidakos, L.D., Partl, M.N. ve Mazza, E., “Rheological properties of polymer modified bitumen from long-term field tests”, **Fuel**, 86, 7-8, 938-948 (2006).
10. Eribol, S. ve Orhan, F., “Elastomerlerle modifiye edilmiş bitümlerin özellikleri”, **4. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 80-93, 2004.
11. Vonk, W. ve Korenstra, J., “Geliştirilmiş sathi kaplamalar için SBS modifiye bitüm emülsiyonu”, **4. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 106-116, 2004.
12. Gao, G., Zhang, Y., Zhang, Y. ve Sun, K., “Enhanced performance of LDPE/SBS blend modified asphalt through dynamic vulcanization”, **Polymers and Polymer Composites**, 10, 433-440, 2002.
13. Çubuk, M., Gürü, M. ve Çubuk, M.K., “Improvement of bitumen performance with epoxy resin.” **Fuel**, 88, 1324-1328, 2009.
14. Garcia-Morales, M., Partal, P., Navarro, F.J. ve Gallegos, C., “Effect of waste polymer addition on the rheology of modified bitumen”, **Fuel**, 85, 7-8, 936-943, 2006.
15. Airey, G.D., “Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens”, **Fuel**, 82, 14, 1709-1719, 2003.
16. Gonzales, O., Munoz, M.E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F.J. ve Partal, P., “Rheology and stability of bitumen/EVA blends”, **European Polymer Journal**, 40, 10, 2365-2372, 2004.
17. Gürü, M., Tekeli, S., Çubuk, M.K. ve Çubuk, M., “Recycling of scrap vehicle tyre as elastic surface material”, **The First Jordanian International Conference of Materials Science and Engineering**, Jordan, 39-44, 2005.
18. Navarro, F.J., Partal, P., Martinez-Boza, F., Valencia, C. ve Gallegos, C., “Rheological characteristics of ground tire rubber-modified bitumens”, **Chemical Engineering Journal**, 89, 53-61, 2002.
19. Çelik, O.N., “Otomobil lastiği ile modifiye edilmiş asfaltın dinamik reolojik analizi”, **1. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, İstanbul, 297-304, 1996.
20. Kutluhan, S. ve Açar, E., “Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunun incelenmesi”, **4. Ulusal Asfalt Sempozyumu**, Ankara, 213-223, 2004.
21. Arslan, D., Gürü, M. ve Çubuk, M.K., “Improvement of bitumen and bituminous mixtures performance properties with organic based zincphosphate compound” **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 27, 2, 459-466, 2012.
22. Huang, S., Huh, J., Robertson, R.E. ve Tia, M., “Aging effects on temperature susceptibility of polymer modified asphalts”, **Proceedings of the Materials Engineering Conference**, 2, 1367-1378, 1996.