

Asfaltlarda bitümle birlikte granüler sülfür kullanımının stabiliteye etkisi

Mehmet Tahir DENİZ*, Abdullah H. LAV

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Kaliteli asfalt karışımlarının elde edilebilmesi için, kaliteli malzemenin yanı sıra, katkı maddeleriyle güçlendirilmiş modifiye bağlayıcının kullanılması da büyük önem taşımaktadır. Malzemenin ve bağlayıcının seçiminin doğru yapılması, asfalt kaplamaları direncinin güçlendirilmesinde en etkin yöntemlerden biridir. Son yıllarda bozulma probleminin araştırılması ve çözüme kavuşturulması amacıyla, çok değişik modifiye katkı maddeleri kullanılmıştır. Her biri farklı özellik taşıyan, söz konusu katkıların asfalt kaplamaları üzerindeki etkileri de farklılıklar göstermektedir. Geniş ve değişik bir ürün yelpazesine sahip olan modifiye katkı maddelerinin ortak dezavantajları ise bir yandan karışımın özelliklerini iyileştirirken, diğer yandan maliyetini yükseltmeleridir. Modifiye edici katkı maddeleri arasında yer alan sülfür, maliyet yükseltme kuralını bozan ender katkı maddelerinden biridir. Sülfür, diğer modifiye edici katkı maddelerinin aksine, karışımın özelliklerini iyileştirirken maliyetini düşürmektedir. Bu çalışmada, bitümle birlikte bağlayıcı olarak kullanılan Granüler Sülfür (GSF) 'ün karışım üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Silindirik Marshall numuneleri hazırlanmış ve bu numunelere stabilite-akma deneyleri uygulanmıştır. Karışımda kullanılan malzeme, ilgili şartname ve standartlara uygun olarak test edilmiş ve uygun olduğu tespit edilmiştir. Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) 'in optimum bağlayıcı miktarını belirlemek için Marshall tasarım metodu kullanılmıştır. Laboratuvarında, %10, %20, %30, %40 ve %50 GSF malzemesi B50/70 bitüm yerine bağlayıcı olarak karışıma ilave edilmiştir. Geleneksel karışımla GSF karışımına Marshall stabilitesi deneyleri yapılmış ve karışım numuneleri arasında bir karşılaştırma yapılarak "Sonuçlar" bölümünde değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sülfür, granüler sülfür, sülfürlü asfalt, BSK, modifikasyon, katkı maddeleri.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mehmet Tahir DENİZ. mehmet_td@yahoo.com; Tel: (532) 343 57 73.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Programı 'nda tamamlanmış olan "Esnek üstyapı kaplamalarında bitümle birlikte bağlayıcı olarak granüler sülfür kullanımının kalıcı deformasyona etkisi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 19.06.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 19.08.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Deniz, M.T., Lav, A.H., (2010) 'Asfaltlarda bitümle birlikte granüler sülfür kullanımının stabiliteye etkisi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 9: 6, 137-148" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

The usage of granular sulfur with bitumen and its effects on the stability

Extended abstract

Permanent deformations, primarily in the form of ruts, are one of the basic asphalt pavement damages impairing its service properties. Application of appropriate asphalt mixtures and binder modification are effective methods for improving asphalt courses resistance. Many kinds of modifiers, in recent years, have been used for dealing and solving this problem. One of these modified materials is sulfur. The present cost of sulfur varies, dependent on transportation costs. Readily the sulfur cost is approximately five-six times lower than the bitumen cost. It is anticipated that the future price of sulfur will be much lower because supply will exceed demand. The excess sulfur will be obtained from desorbing natural gas, desulfurizing petroleum crude or coal, or recovering elemental sulfur from stack emissions.

Granular Sulphur (GSF) is added into the hot mixture of aggregates and bitumen during the mixing process. It is not pre-blended with bitumen. The addition of GSF to the bitumen modifies the bitumen properties. Bitumen and GSF combine at a temperature above the melting point of the GSF (120°C). Part of the GSF is chemically combined with the bitumen and acts as an extender. This part of GSF is dissolved in the bitumen modifying the bitumen properties - viscosity is lowered and its ductility is increased. Above a certain quantity of GSF in the bitumen, GSF remains predominantly as free sulfur and when the blend cools, it crystallizes.

Depending on the amount of GSF added, the crystallization gives different levels of strengthening.

Sulphur crystallization acts as a structuring agent in the asphalt mixture.

The chemical combination between sulphur and hydrocarbon during mixing requires close control of the temperature during the mixing process. The temperature must be maintained at $140^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. This operational temperature range is important to ensure a safe-working operation. Above 145°C hydrogen sulphide (H_2S) and sulphur dioxide (SO_2) will start to be emitted and these emissions will increase steeply with temperature increase. As the sulphur has a viscosity reducing effect on the bitumen it helps in achieving the ideal viscosity of the binder for coating at a lower temperature.

In this study, the effects of Granular Sulfur Asphalt (GSF), which used as a binder in place of bituminous binders, on the mix were investigated. Standard tests were applied to binder and aggregate to define their properties before producing of cylindrical samples. Marshall design was used to evaluate the optimum binder in the Hot Mix Asphalt (HMA). The Marshall Stability and flow test provides the performance prediction measure for the Marshall Mix design method. Marshall samples were prepared in the laboratory by adding of 10%, 20%, 30% 40% and 50% GSF replacing with penetration grade B 50/70 to the mix.

Details of the materials used, specimen grain size and procedures for the preparation of the GSF-containing asphalt mixture, is described below.

The raw materials used for this study were obtained from different areas. The granular sulfur (GSF) was obtained from the Shell Canada Group. Bitumen with a penetration of 64.1, specific gravity of 1.022 g/cm^3 at 25°C and softening point of 51.5°C was obtained from TÜPRAŞ İzmit Refinery. All kinds of aggregates (Coarse, fine and mineral filler) used throughout this study was obtained from a stone quarry in the Ömerli area of Istanbul.

As the density of GSF is nearly twice that of bitumen, the binder content in weight of GSF containing asphalt mixtures is generally increased for achieving the same volume of binder in comparison with conventional hot mix asphalt (HMA). The gradation curve of the GSF-containing asphalt mixture is the same as for HMA.

Marshall Stability test was carried out using Marshall Equipments. Comparisons were made between the conventional and GSF mixes test results. In comparison with HMA, the Marshall stability of GSF-containing asphalt mixtures is generally increased. The GSF 50 mix stability was much higher than the conventional mix. In addition GSF mixes are purported to be more resistant to water stripping and resistance to gasoline, diesel fuel and other solvents is improved.

The laboratory test results of carried on the asphalt concrete samples and mix variables are presented in the "Conclusions" section.

Keywords: Sulfur, granular sulphur, sulphur extended asphalt, HMA, modification, additives.

Giriş

Karayolu inşaatında üstyapı maliyetleri, yolun toplam yapım maliyetleri içerisinde büyük bir paya sahiptir. Bilindiği üzere, üstyapılar, Esnek, Rijit ve Kompozit üstyapılar olarak üç gruba ayrılır. Kaplama türleri içinde en çok kullanılan kaplama sınıfı ise esnek üstyapıdır. Esnek üstyapı kaplamalarında kullanılan geleneksel karışım malzemeleri agrega ve bitümdür. Bitüm, aynı zamanda kaplamanın hizmet ömrü ve dış etkilere karşı direnimsel özellikleri açısından da önemli roller üstlenmektedir. Karışım içerisindeki ağırlıkça oranı %5 civarında olmasına karşın, maliyeti en çok etkileyen malzeme de bitümdür (Umar ve Açar, 1985; Yayla, 2002; Açar vd., 1998). Dolayısıyla bitüm oranının düşürülmesi veya bitümle aynı performans gösteren başka bir malzemenin karışıma ilave edilmesi, karışım maliyetlerini belirli oranlarda düşürecektir.

Sıcak karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, ham petrolün damıtılmasıyla elde edilmektedir. Ülkemizde üretilen ham petrolün yetersiz kalması nedeniyle her yıl sadece Tüpraş kanalıyla 20 milyon tonun üzerinde ham petrol ithal edilmektedir. Bu büyüklükte petrol ithalatının bir diğer anlamı da, yıllık milyon tonlara varan miktarlarda bitüm ithalatının yapılmakta olduğu gerçeğidir. Son iki yılın TÜPRAŞ kayıtlarındaki bitüm miktarı ise yıllık iki milyon tonun üzerindedir. Bitümlerin en büyük kullanım alanı esnek üstyapı kaplamalarıdır (Tüpraş, 2003; Kalkınma Planı, 2001). Ancak kullanılan bu yüksek miktardaki bitümlerle yapılan yolların düşük ve yüksek sıcaklıklarda bozulmaya karşı gösterdikleri direnç uzun süreli olmalarına yetmemektedir. Rafineri çıkışlı normal bitümlerin ısıya duyarlı olması nedeniyle iklim koşulları altında meydana gelen ısı değişikliklerine karşı gösterdikleri direnç istenen düzeyde değildir (Shell, 2003).

Bitümlü bağlayıcıların özelliklerini iyileştirmek için bitüme katkı maddeleri ilave edilerek modifiye edilirler. Bitümün modifiye edilmesindeki temel amaç, kaplamaların yüksek sıcaklıklarda yeterli rijitliğe, düşük sıcaklıklarda ise yeterli esnekliğe sahip olmasını sağlamaktır (Shell, 2003).

Bunun yanı sıra, son yıllarda geliştirilen ileri teknolojilerle, bitüm daha kıymetli hidrokarbon ürünlerine dönüştürülebilmektedir. Dolayısıyla bitümün ham petrolün damıtılması sonucunda, her halükarda ortaya çıkan bir atık ürün olarak görülmesi doğru değildir (Deme vd., 2004)

Gerek dünyada, gerekse ülkemizde performans artırıcı özellik taşıyan ve doğrudan bitüme ya da bitümlü karışımlara ilave edilen çok sayıda katkı maddesi bulunmaktadır. Geniş ve değişik bir ürün yelpazesine sahip olan modifiye katkı maddelerinin ortak olumsuz yönü ise bir yandan karışımın özelliklerini iyileştirirken, diğer yandan maliyeti yükseltmeleridir. Bazı endüstriyel atıklar da, depolama maliyetlerinden tasarruf amacıyla, bitümlü karışımlara ilave edilmektedir. Karışım maliyetlerini düşüren bu atıklar, karışım özellikleri üzerinde iyileştirici yönde ciddi bir etki göstermemektedirler. Bu tür atık maddelerin karışım özelliklerini olumsuz yönde etkilemesi ve bazı özelliklerini şartname sınırlarının dışına çıkarması bile söz konusu olabilmektedir (Shell, 2003). Bu bağlamda; en ideal katkı maddeleri, karışıma ilave edildiğinde bağlayıcı rolü üstlenerek, kısmen bitümün yerini alan, karışımın performans özelliklerini de belirli ölçüde iyileştiren ve karışım maliyetlerini düşürebilen maddelerdir.

Araştırma merkezleri ve akademik çalışmalar yürüten kurum/kuruluşlar tarafından, maliyetleri arttıran modifiye edici katkılar yerine, bunlara alternatif olabilecek, maliyetleri düşürürken karışım performansını yükselten katkıların geliştirilmesi için de yoğun çabalarını sürdürmektedirler (Asphalt Institute, 2007). Bitümlü karışımlara ilave edilerek maliyeti düşüren ve karışımın performans özelliklerini arttıran nadir katkı maddelerinden biri de sülfürdür. Sülfürün maliyeti bitümlü bağlayıcılara göre yaklaşık beş altı kat daha düşüktür (Tüpraş, 2003).

Günümüzde sülfür üretimi, doğal kükürt kaynakları yerine yüksek fırın bacalarında tutulan kükürttan bol miktarda ve ucuza elde edilebilmektedir. Bu yolla kükürt, ülkemiz rafineri bacalarından da elde edilmektedir (Tüpraş, 2003). Sülfür henüz ülkemizde bitümlü sıcak karışım-

larda doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmamaktadır. Dünyada ise, az sayıda da olsa, değişik deneme çalışmaları yapılmakta ve değişik laboratuvar çalışmaları ve buna bağlı deneysel amaçlı uygulamalar yapılmaktadır. Söz konusu deneme çalışmalarında, sülfür kullanımının Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) üzerindeki etkileri, araştırılmaktadır (Er, 2003).

Granüler sülfür katkılı asfaltın ele alındığı bu çalışmada temel amaç; bitümlü sıcak karışıma, yapısını bozmadan katılabilecek en yüksek sülfür miktarını ve katılan sülfür miktarına bağlı olarak karışımda meydana gelebilecek stabilite değişimini incelemek, bu değişimi geleneksel karışım değerleriyle karşılaştırmaktır.

Materyal ve yöntem

Bu çalışmada granüler sülfür katkılı ve geleneksel karışımların Marshall stabilitesi ve akma deneyleri için üretilen numunelerde mineral agreg, bitümlü bağlayıcı ve Granüler sülfür (GSF) malzemesi kullanılmıştır.

Mineral agreg

Mineral agreg esnek üstyapı kaplamalarının yük taşıma kapasitelerinde en büyük rolü oynayan ve karışımın performansı üzerinde de büyük oranda etkisi olan bir malzemedir. Yol kaplamalarında kullanılan agregalar doğal ve suni agregalar olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal agregalar, kayalardan fiziksel yolla, değişik yöntemlerle kırılarak elde edilir ve kökenlerine göre Magmatik, Tortul ve Metamorfik kayalar olmak üzere üçe ayrılırlar.

Suni agregalar endüstriyel işlemler sonucu elde edilen agregalardır. Suni agregalara cüruf, kliniker ve diğer sanayi yan ürünleri örnek olarak verilebilir (Umar ve Açar, 1985).

Çimento, standart granülometrik yapıda olması, bünyesinde organik madde bulundurmaması ve bitümle reaksiyona girmemesi nedeniyle yol üstyapısında filler olarak kullanılabilir. Yeni genel çimentolar, TS EN 197-1 standardında CEM çimentosu olarak adlandırılmıştır. CEM çimentosu, hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana

gelen ve içindeki reaktif CaO ve SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi, portland çimentosu klinker, kalsiyum sülfat ve çeşitli minerallerden oluşabilir (Umar ve Açar, 1985).

Yol üstyapı kaplamalarında kullanılan agreganın kökeni magmatik, tortul, metamorfik veya suni kökenli olsa da şartnamelere uygunluğunun deneylerle belirlenmesi gerekir. Karayolu üstyapılarında kullanılan agregalar, boyutlarına göre üç grupta incelenir. Bunlar iri agreg, ince agreg ve filler olarak adlandırılırlar (Umar ve Açar, 1985).

İri agregalar, agreg karışımının 4.75 mm'lik (No.4) elek üzerinde kalan boyuttaki malzemedir, ince agregalar 4.75 mm elekten geçip, 0.075 mm'lik (No.200) elek üzerinde kalan malzemedir, filler ise tamamı 0.425 mm elekten geçip, ağırlıkça en az %70'i 0.075 mm'lik (No.200) elekten geçen malzemedir oluşmaktadır (Önal ve Kahramangil, 1993).

Bitümlü karışımlarda iri agreg karışımın mekanik direncini sağlayan bir iskelet oluşturur. Aynı zamanda iri agreg, karışımın daha ekonomik olmasını ve karışımın daha kolay yayılmasını sağlar ve karışımın stabilitesini artırır. İnce agreg ise iri agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak daha yoğun bir karışım elde edilmesini sağlar. İnce agreg ayrıca karışımın büyük miktarını teşkil etmekte olup, uygulama ve hizmet aşamalarında malzemenin performansını en çok etkileyen bileşendir (Önal ve Kahramangil, 1993).

Mineral filler taş tozu, portland çimentosu, kaliker tozu ve benzeri maddelerden oluşur. Filler toplam agreganın küçük bir yüzdesini (%6-11) oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzeltilmesinde önemli bir rol oynar. Filler hem ince agreganın gradasyonunu iyileştirir ve agrega parçacıkları arasında daha fazla temas noktası oluşturmak suretiyle daha yoğun bir karışım meydana getirmektedir hem de bitüm ile karışarak ince agregaların rahatça hareket ederek yerleşmesi ve dengeli bir karışım oluşturmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada İstanbul il sınırları içinde yer alan Ömerli bölgesi taş ocaklarından alınan agrega kullanılmıştır. Agrega temin edilirken, üretilecek toplam numune sayısı dikkate alınmış ve olumsuz çalışma durumları ile hasarlı numune üretimi riskleri göz önüne alınarak, hesap sonucu çıkan gerekli malzemenin bir buçuk kat fazlası depolanmıştır.

Yol kaplamalarında kullanılacak agregaların şartnamelere uygun olması gerekmektedir. Bunu belirlemek için de agregalara şartnameler doğrultusunda değişik deneyler uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar için tüm agregalar yıkanarak temizlenmiş ve etüvde kurutulmuş deneylere hazır hale getirilmiştir. Bu deneylerin yapılmasıyla, malzemelerin aşınmaya, soyulmaya ve donmaya karşı dirençleri, su emme kabiliyetleri, elek analizleri ve tane şekillerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Bu özelliklerin belirlenmesi amacıyla deneyler aşağıda izlenen sıraya göre yapılmıştır.

Elek analizi

Elek analizi, Türk Standartlarında nitelikleri verilmiş olan elek serisi kullanılarak, agreganın tane büyüklüğü dağılımının tayin edilmesi için kullanılır. Deney, kullanılan elek serisi içindeki her bir elekten geçen agrega miktarının, toplam numune miktarına ağırlıkça oranının yüzdesi olarak hesaplanıp, grafik olarak gösterilmesiyle tamamlanır (Önal ve Kahramangil, 1993).

Granüler Sülfür (GSF) bağlayıcı karışım numunelerinin üretimi için elenen ve en büyük tane boyutu 19 mm olan agregaya ait elek analizi sonuçları, Tablo 1’de gösterilmiştir.

Ömerli bölgesi taş ocaklarından alınan üç farklı büyüklükteki elek aralığına sahip agregalara, elek analizi uygulanarak, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) 2006 Aşınma tabakası Tip1 gradasyonuna uygun şekilde sınıflandırılmıştır.

Aşınma deneyi

Los Angeles deneyi olarak da bilinen Aşınma deneyi, agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığını göstermek için yapılır. Los Angeles test cihazı kullanılarak yapılan deneyde aşınma işlemi, çapları 4,68 cm olan çelik küreler kullanılmıştır.

Los Angeles cihazı, iki ucu kapalı, iç çapı ve iç uzunluğu 71x51 cm olan içi boş bir silindirden meydana gelmektedir. Deneyde bulunan sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 1. Aşınma Tip1 gradasyon elek analizi

Elek Boyutu (mm)	Şartname sınırları (%)	Elekten geçen (%)	Elekler Arası (%)	(gr)
19.0	100	100.0	0	0
12.50	83-100	88.1	11.9	137
9.50	70-90	74.9	13.2	152
4.76	40-55	49.3	25.6	294
2.00	25-38	29.4	19.9	229
0.425	10-20	12.1	17.3	199
0.180	6-15	8.2	3.9	45
0.075	4-10	6.2	2.0	23
	Filler		6.2	71
Toplam				1150

Tablo 2. Agrega deney sonuçları

Deney adı	Deney metodu	Şartname değerleri	Deney sonuçları
Aşınma kaybı	TSE-3694	mak % 30	25.0
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık	TSE-3655 ASTM C 88	mak % 10	2.14
Soyulma mukavemeti	KTŞ EK- A	min % 50	65-75
Yassılık indeksi	BS-812	mak % 30	22.7
Özgül ağırlık (İri agrega)	ASTM C 127-59		2.759
Su absorpsiyonu	TS 3526	%	0.56
Özgül ağırlık (İnce agrega)	ASTM C 127-59		2.796
Su Absorpsiyonu	TS 3526 ASTM C 127	%	1.20
Özgül ağırlık (Filler)	ASTM C 127-59		2.787

Donma –çözülme deneyi

Donmaya ve çözölmeye karşı direnç deneyi, agregaların donma çözölmeye etkisiyle donarak ufa-

lanmaya karşı dirençlerini tespit etmek amacıyla yapılır. Deneyde doymuş sodyum sülfat kullanılmıştır. Donma kaybı değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir (Önal ve Kahramangil, 1993).

Soyulma mukavemeti deneyi

Nicholson metodu kullanılarak yapılan soyulma mukavemeti deneyi, su ve trafiğin etkisiyle bitümlü bağlayıcının agrega üzerinden ayrılmasına karşı direncini tespit etmek için yapılır. Deney sonunda elde edilen soyulma mukavemeti değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Yassılık indeksi deneyi

Yassılık İndeksi deneyi, agrega numunesi içindeki yassı tanelerin numune ağırlığına oranının belirlenmesi için yapılır. Yassılık, deneyde kullanılan herhangi bir agrega tanesinin kalınlığının nominal boyutuna oranının %60’dan küçük olması şeklinde tanımlanır. Hesaplanarak bulunan bu değerler Tablo 2’de görülmektedir (Önal ve Kahramangil, 1993).

Özgül ağırlık ve absorpsiyon deneyi

Özgül ağırlık belirli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki +4°C’deki suyun ağırlığına oranı şeklinde tanımlanır. Bu deney, bitümlü karışımlardaki boşluk yüzdesini hesaplamak ve agreganın hacim-ağırlık ilişkilerini saptamak amacıyla yapılır.

Absorpsiyon (su emme) yüzdesi ince agregada numunenin doymuş yüzey kuru durumundaki ağırlığıyla kuru ağırlığı arasındaki farkın numune ağırlığına bölünmesiyle bulunur. Deney iki defa tekrarlanarak ortalaması alınmıştır. Hesaplanarak bulunan bu değerler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Bitümlü bağlayıcılar

Bitüm, düşük moleküler ağırlıklı yağlı ortamlar (maltenler) içerisinde çözünmüş veya dağılmış yüksek moleküler ağırlıklı asfalt misellerden (damlacıklardan) oluşan bir süspansiyon sistemi (koloidal sistem) olarak tanımlanmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar siyah renkli ve reçine karakterinde organik maddelerden oluşur. Bitüm kaynaklarına göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal asfaltlar

genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Doğal asfaltların belli başlı olanları, içeriğinde %35 kadar mineral malzeme barındıran göl asfaltları ile %2-3 civarında asfalt barındıran kaya asfaltlarıdır (Shell, 2003).

Yapay asfaltlar ham petrolün damıtılmasından elde edilirler. Bu işlemde ortaya çıkan kalıntı ayrıştırılarak, asfalt çimentosu elde edilir. Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bu amaçla kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır.

Asfalt çimentosu, AC sembolü ile gösterilir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) şartnamelelerinde farklı şekillerde sınıflandırılmış olan asfalt, buna bağlı olarak farklı sembollerle gösterilmiştir. Eski şartnamelerde yapılan isimlendirmelerde, AC ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren (10–300 arasında değişen) penetrasyon dereceleri dikkate alınarak tasnif edilmiştir.

Avrupa Birliği uyum çalışmaları çerçevesinde değiştirilen ve Türk Standartlarına uyarlanan yeni bitüm sınıflandırmasına göre asfalt çimentosu “AC” yerine bitüm sembolü “B” kullanılarak isimlendirilmiştir. Bu sembol ile birlikte 40–220 arasında değişen rakamlar kullanılmaktadır.

Petrolün damıtılması sırasında belirli koşulların yerine getirilmesiyle elde edilen bu farklı sınıflar, malzemenin kullanılacağı bölgedeki iklim şartlarına bağlı olarak seçilmektedir. Yol kaplamalarında kullanılan Asfalt Çimentoları ve Bitüm penetrasyon dereceleri, yeni ve eski şartnamelere göre Tablo 3’te gösterilmiştir.

Bitümlü bağlayıcıların özelliklerini belirlemek amacıyla, Penetrasyon, Düktilite, Isıtma kaybı, Yumuşama noktası, Parlama Noktası ve Özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deney sonucu bulunan değerler Tablo 4’te gösterilmiştir.

Sülfür

Kükürt olarak da bilinen ve “S” sembolüyle gösterilen sülfür, limon sarısında, ametal, yalın kimyasal bir elementtir. Doğada yaygın olarak

bulunan sülfür, çoğunlukla metallerle bileşik halde görülür. Yapılan araştırmalar, bütün bitkilerin ve hayvanların bünyelerinde bir miktar kükürt bulunduğunu ve yeryüzünde büyük miktarda kükürt rezervleri olduğunu göstermektedir (Er, 2003).

Tablo 3. Bitüm şartnameleri

Eski Şartname	Yeni Şartname
10-20 Penetrasyon AC	B 40/60
20-30 Penetrasyon AC	B 50/70
30-40 Penetrasyon AC	B 70/100
40-50 Penetrasyon AC	B 100/150
60-70 Penetrasyon AC	B 160/220
75-100 Penetrasyon AC	
120-150 Penetrasyon AC	
150-200 Penetrasyon AC	
200-300 Penetrasyon AC	

Tablo 4. B 50/70 Bitüm deneyleri

Deney adı	Birim	Deney metodu	Şartname sınırları	Deney sonuçları
Penetrasyon (25°C)	0.01mm	TS EN 1426	50 – 70	64.1
Düktilite (25°C)	cm	TS EN 13589	Min. 100	100 +
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (163°C)	%	TS EN 12607/2	Mak. 0.5	0.06
Yumuşama Noktası	°C	TS EN 1427	46 – 54	51.5
Parlama Noktası	°C	TS EN 2592	Min. 230	305.0
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	TS-1087	-	1.022

Doğada bulunan ve endüstrinin yan ürünü olarak elde edilen sülfür, H₂S ve SO₂ gazlarının oksitlenmesiyle kükürdün çökmesi sonucu oluşmaktadır. Kükürdü tanımanın en kolay yolu, kibrit alevine tutmaktır. Aleve maruz kalan kü-

kürt, katran gibi eriyerek siyah damlacıklar halinde akmaktadır. 119°C sıcaklıkta eriyen bu maddenin hafif, açık mavi renkli bir alevi vardır. Isınma sonucu açığa çıkan SO₂ gazı zehirlidir. Bünyesinde mikro kristaller halinde pirit içeren kükürt cevheri, parlak ve koyu kurşuni renklidir (Er, 2003). Sülfür maddesiyle ilgili teknik özellikler Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Katı sülfürün özellikleri

Sülfür özellikleri	Değerler
Donma Noktası	112 -119 °C
Kaynama Noktası	444 °C
Parlama Noktası	168 °C
Tutuşma Sıcaklığı	190 °C
Yoğunluk	1.98 g/cm ³
Suda Çözünürlük	Suda çözünmez
Sülfür dioksit	2 ppm (1 tonda 2 gr)
Hidrojen sülfid	10 ppm

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, Shell Kanada grubu tarafından özel olarak geliştirilmiş olan ve Sulphur Extended Asphalt Modifier olarak adlandırılan Granüler Sülfür (GSF) maddesi, Kanada'dan getirilmiştir. Granül halde bulunan GSF, sülfürün belli oranlarda bitüm ve karbon karası ile karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Depolanarak numune üretimi için hazır hale getirilen GSF malzemesinin miktarı, hazırlanacak Marshall numune sayısı dikkate alınarak hesaplanmış ve hasarlı numune üretimi olasılığına karşı bu miktarın yaklaşık bir buçuk katı fazla malzeme alınmıştır.

Optimum bağlayıcı yüzdesi

Bitümlü sıcak karışımlarda farklı tasarım metotları kullanılarak optimum bitüm yüzdesi tespit edilir. İstenen niteliklere ve şartnamelere uygun bitümlü sıcak karışım üretimi için gereken bağlayıcı miktarının yanı sıra, agrega gradasyonları da bu metotlarla belirlenir. Bu tasarım metotları arasında en çok bilinen ve kullanım alanı bulunanları ise Hubberd Field, Hveem ve Marshall metotlarıdır (Asphalt Institute, 2007; Huang, 1993).

Bu çalışmada optimum bağlayıcı miktarı Marshall tasarım metodu yardımıyla belirlenmiştir. Optimum bitüm tayini için; karışıma %4.0, %4.5, %5.0, %5.5, %6.0, %6.5, %7.0 ve %7.5 olmak üzere 7 farklı bitüm içeriğiyle ve her birinden 3'er adet olmak üzere toplam 18 Marshall numunesi hazırlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılmak üzere, üretilen karışım numunelerinin özellikleri belirlenmiş ve çıkan sonuçlar standart formlara işlenmiştir.

Bu çalışmada geleneksel karışımlar kontrol grubu olarak isimlendirilmiş olup, bunlara ilaveten %10, %20, %30, %40 ve %50 GSF (Granüler Sülfür) karışimli numuneler de hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlarında farklı karışım tipleri için bulunan optimum bağlayıcı değerleri, Tablo 6'da görülmektedir. Bulunan optimum bitümün GSF ile karışım oranları, GSF ve bitüm yoğunlukları dikkate alınarak, aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

Tablo 6. Optimum bağlayıcı değerleri

Karışım tipi	Optimum bağlayıcı miktarı (%)
Kontrol (Katkısız karışım)	5.10
%10 GSF karışımı	5.15
%20 GSF karışımı	5.35
%30 GSF karışımı	5.40
%40 GSF karışımı	5.50
%50 GSF karışımı	5.61

Tam bir sıkıştırma elde etmek amacıyla, kalıpla malzeme arası kenarlar spatula yardımıyla şişlenmiştir. Kalıbın üstüne de kalıp çapına göre kesilmiş kağıt kapaklar yerleştirilmiştir. Marshall sıkıştırma tokmağı ile kalıbın ön ve arka yüzüne karışım dizaynında belirtildiği üzere 75'er darbe vurulmuştur. Numunelerin sıkıştırma sıcaklıklarının ise, 50–70 penetrasyonlu bitüm kullanıldığından, 135°C civarında olmasına dikkat edilmiştir. Numunenin ön ve arka yüzündeki kağıtlar çıkarılarak, numuneler 15–20 saat süreyle oda sıcaklığında soğumaları için bekletilmiş, daha sonra numune çıkarıcı kriko yardımı ile numuneler kalıplardan çıkarılarak oda sıcaklığında dinlendirilmiştir. Kalıptan çıkarılan

briketlerin yüzeyleri yumuşak bir fırça yardımıyla temizlendikten sonra, renkli tebeşirle numaralandırılarak deneysel çalışmalar için hazır hale getirilmiştir.

Bitüm ile GSF yoğunluğu birbirinden farklı olduğu için, Marshall tasarımında çıkan optimum bağlayıcının yüzdeleri ayrı belirlenmiştir. GSF yoğunluğu bitüm yoğunluğunun yaklaşık iki katı olduğundan ve hesaplarda ağırlıkça yüzdelere esas alındığından, karışıma katılacak GSF'nin ağırlıkça yüzde miktarları ayrı ayrı hesaplanarak belirlenmiştir. Yoğunluğu bitümün yaklaşık iki katı olan GSF'nin toplam bağlayıcı içindeki miktarı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Kandhal, 1982; Deme vd., 2004). Tasarım grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir.

$$GSF+Bitüm = \frac{A100R}{100R - P_s(R - G_{Bitüm})} \quad (1)$$

Burada;

- A : Bitüm yüzdesi ağırlığı
- R : GSF/Bitüm yoğunluk oranı
- PS : Bitüm içindeki GSF yüzdesi
- $G_{Bitüm}$: Bitüm yoğunluğu

Örneğin %40 GSF ve %60 Bitüm oranları için bir hesaplama yapılacak olursa;

$$\begin{aligned} A &= \%5.3 \\ PS &= \%40 \\ R &= 2.0 / 1.015 \\ R &= 1.97 \end{aligned}$$

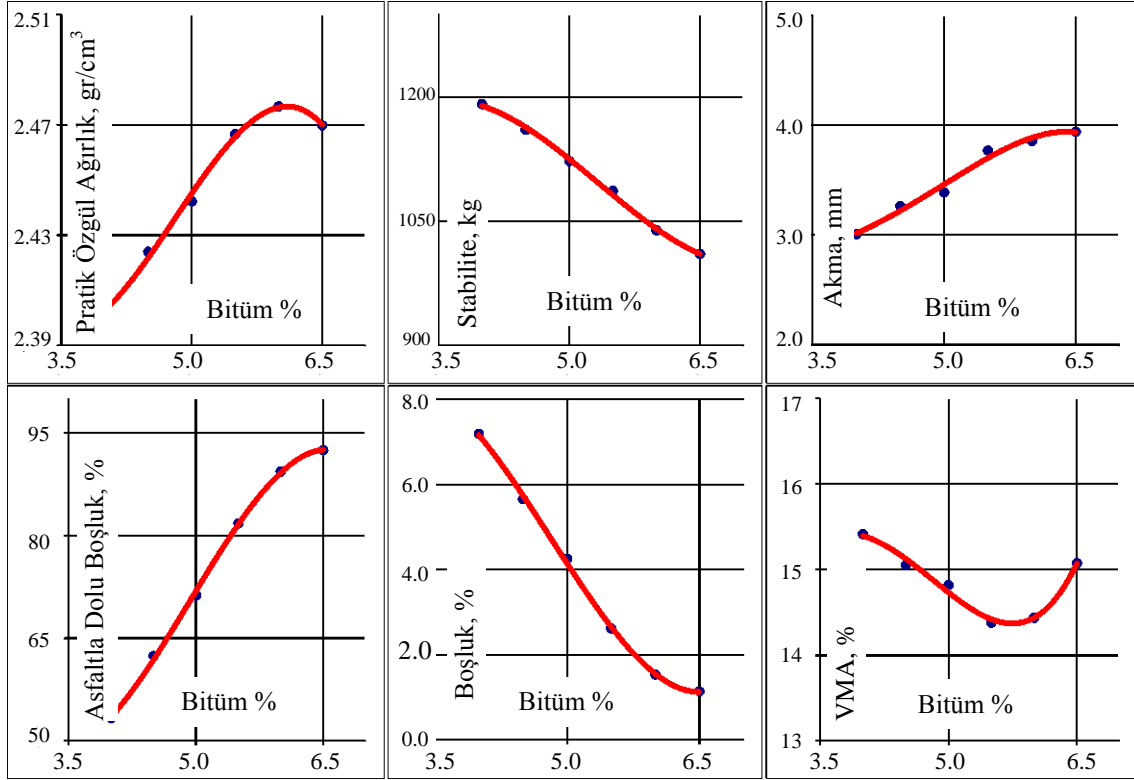
$$GSF+A = \frac{5.3 \times 100 \times 1.97}{(100 \times 1.97) - 40(1.97 - 1.015)} \quad (2)$$

$$= 6.57 \quad (\%)$$

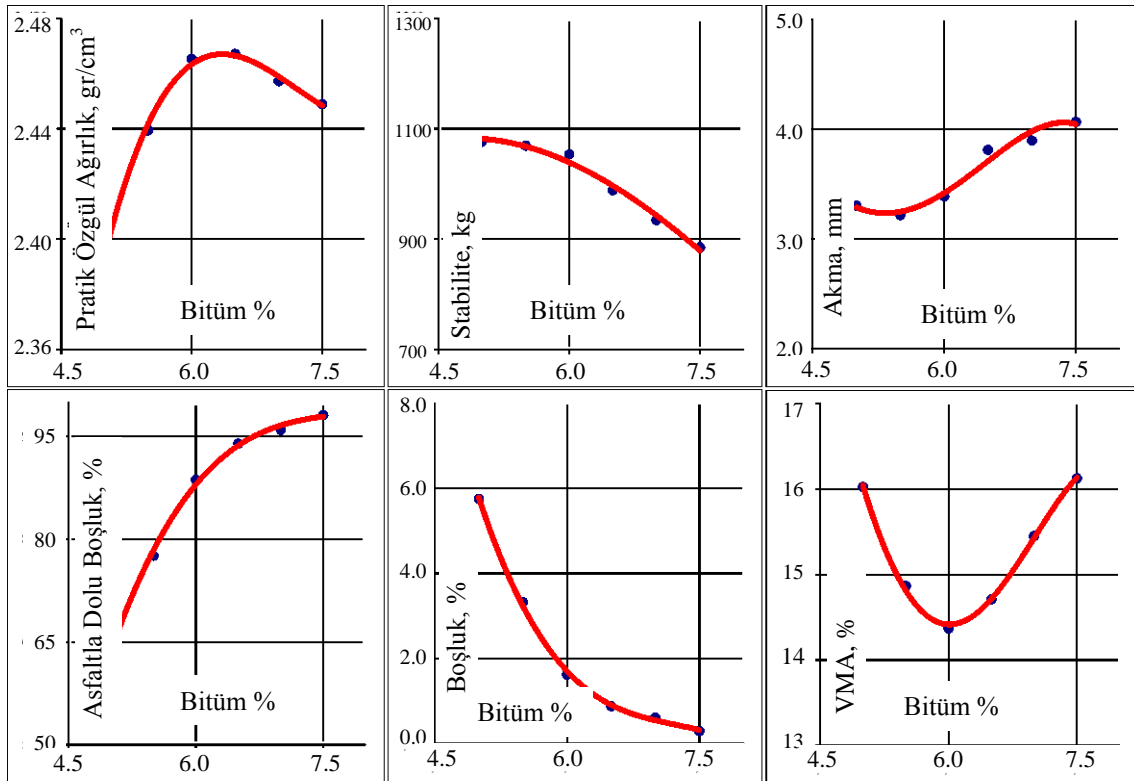
$$(GSF = \% 2.63; \text{ Bitüm} = \% 3.94)$$

Yukarıda verilen formül yardımıyla bulunan Bitüm-GSF oranları ve bu oranlara göre 1150 gr ağırlığında hazırlanan her bir karışım numunesi için hesaplanan bağlayıcı değerleri, Tablo 6'da gösterilmiştir.

Granüler sülfür kullanımı

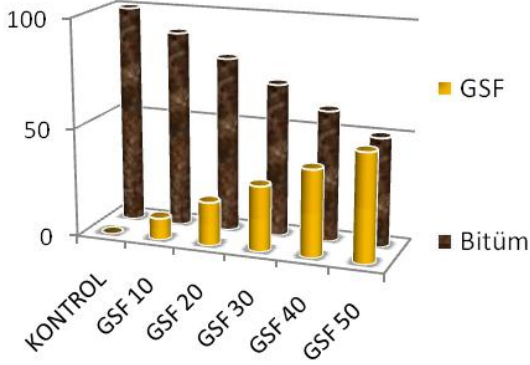


Şekil 1. Marshall tasarım grafikleri, geleneksel karışım (katkısız)



Şekil 2. Marshall tasarım grafikleri, GSA 50 (%50 GSF bağlayıcı)

1150 gramlık Marshall numunesi için hesaplanan GSF ile bitüm miktarları ve numune içindeki değerleri Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Optimum bağlayıcı miktarı

Optimum bağlayıcı grafiğinde de görüldüğü üzere; karışıma ilave edilen GSF miktarının artırılmasına bağlı olarak bitüm miktarı azalmış, ancak toplam bağlayıcı miktarında küçük de olsa bir artış gözlenmiştir. İlave edilen en düşük GSF (%10) ile en yüksek GSF (%50) miktarı arasındaki bitüm artış farkı yaklaşık %0.5 olarak hesaplanmıştır.

Marshall stabilitesi deneyi

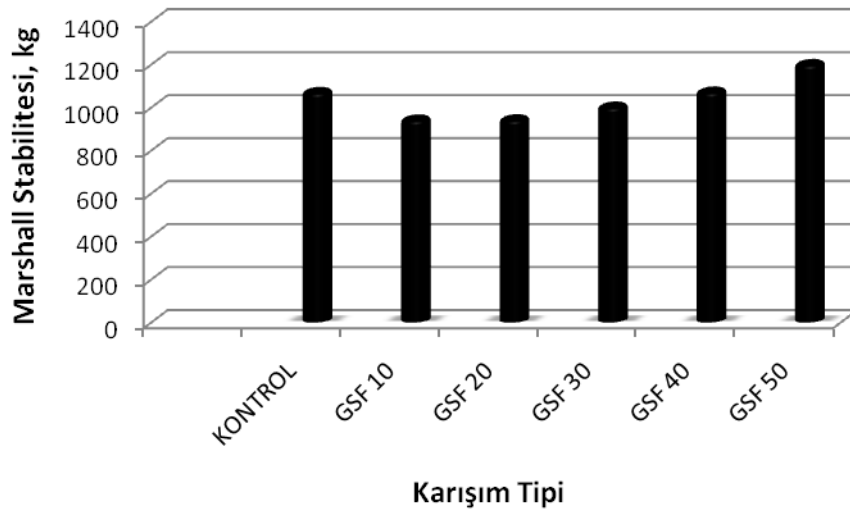
Optimum bağlayıcı değerleri kullanılarak hazırlanan Marshall numunelerine Marshall Stabilitesi deneyi uygulanmıştır. Çalışmanın bu aşamasında her bir karışım tipi için üçer adet olmak üzere, toplam 18 numune hazırlanmıştır. Stan-

dart kalıplar kullanılarak hazırlanan silindirik Marshall numune yükseklikleri, kumpas yardımıyla 3 farklı yerden ölçülerek ve aritmetik ortalamaları alınarak tespit edilmiştir. Numuneler test edilmeden önce 60°C sıcaklıktaki su banyosunda, 30 dakika süreyle bekletilmiştir. Daha sonra su banyosundan çıkarılan numuneler, bekletilmeden deney cihazına yerleştirilerek, dakikada 51 mm hızla ilerleyerek yük uygulayan deney düzeneği yardımıyla numunelere basınç uygulanmıştır.

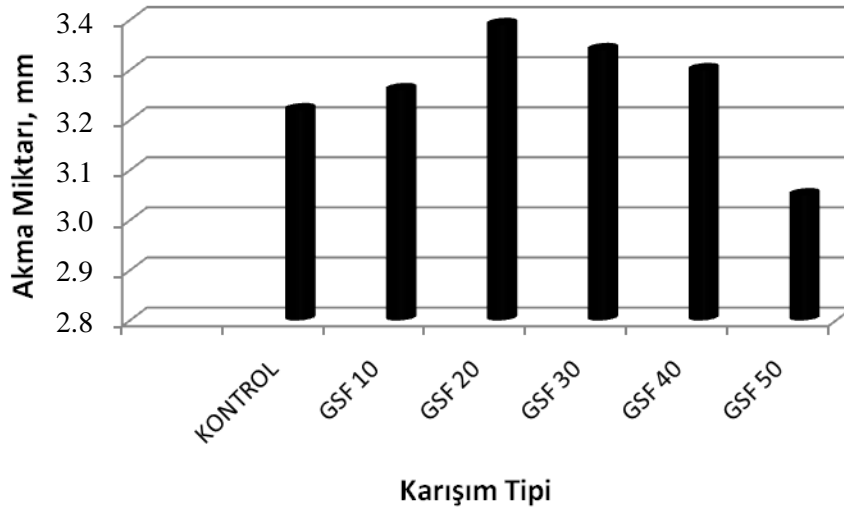
İşleme en büyük stabilite değerine ulaşıncaya kadar devam edilmiş ve bu değere ulaşıldığında stabilite cihazı üzerindeki ölçüm göstergesinden okunan değer, numunenin stabilitesi olarak kaydedilmiştir. Numunelerde deney sırasında, kırılma anında ölçülen akma değeri de belirlenmiş ve okunan stabilite ve akma değerleri Tablo 7 ile Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 7. Marshall stabilitesi ve akma deneyleri

Karışım Cinsi	Stabilite (kg)	Akma (mm)
Geleneksel (Katkısız)	1071	3.22
% 10 GSF karışımı	943	3.26
%20 GSF karışımı	944	3.39
%30 GSF karışımı	1003	3.34
%40 GSF karışımı	1073	3.30
%50 GSF karışımı	1201	3.05



Şekil 4. Marshall stabilitesi



Şekil 5. Akma değerleri

Marshall Stabilitesi değerleri incelendiğinde tüm karışımlarda, şartname alt sınır değerleri olan 900 kg düzeylerinin aşıldığı görülmektedir. Karışıma belli bir miktarın (%40) altında GSF maddesinin ilave edilmesiyle stabilite değerinde bir düşüş meydana gelmektedir. Ancak GSF miktarının artırılmasıyla birlikte stabilite değerinin yükselmeye başladığı ve geleneksel karışım stabilitesinden daha yüksek bir seviyeye çıktığı gözlenmektedir. %40 ve üzerinde GSF miktarının ilave edilmesiyle hazırlanan karışımlarda stabilite değeri geleneksel karışım değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

Akma grafiği incelendiğinde, hazırlanan karışımlarda akma değerlerinin şartname sınırları olan 3 ila 5 arasında kaldığı görülmektedir. En düşük akma değeri %50 oranında GSF maddesinin ilave edilmesiyle hazırlanan karışımda çıkmıştır.

Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Karışımlarda kullanılan Granüler Sülfür (GSF) bitümlle uyum göstererek bağlayıcı özellik göstermiştir. Bağlayıcı olarak bitümlle birlikte kullanılan GSF miktarı %50'ye kadar yükseltildiği halde deney sonuçları şartname sınırları içinde kalmıştır.
- Artış miktarı düzenli olmamakla birlikte, karışım içindeki GSF miktarı arttıkça Mars-

hall stabilitesi artmıştır. Stabilite, bağlayıcı olarak bitümlle birlikte %50 GSF ilavesiyle en yüksek değerine ulaşmıştır.

- Oransal olarak GSF miktarı arttıkça karışımın işlenebilirlik özelliği artış göstermiştir. Bu karışımların geleneksel karışımlara göre daha düşük sıcaklıkta işlenebilir olması enerji tasarrufu açısından kazanç sağlamaktadır.
- Karışım içindeki GSF miktarına bağlı olarak optimum bağlayıcı miktarında bir artış görülmüştür. İlave edilen en düşük GSF (%10) ile en yüksek GSF (%50) oranları arasındaki artış miktarı % 0.46 olmuştur.
- TÜPRAŞ 2007 yılı verilerine göre normal bitümden yaklaşık %70 daha ucuz olan sülfür malzemesinin BSK içinde %40-50 oranında kullanılması üreticilere belirli oranlarda ekonomik kazanç sağlayabilir.
- AB standartlarına göre 50 ppm (1 ton motorin içinde 50 gr kükürt) olan motorin yerine 10 ppm (1 ton motorin içinde 10 gr kükürt) motorinin üretilmesi gerektiğinden, ülkemiz rafinerilerinde açığa çıkacak sülfür miktarında artış görülecektir. Artan sülfürün maddesinin BSK içinde kullanılması çevre sorunları açısından yararlı olacaktır.

Kaynaklar

Ağar, E., Süttaş, İ. ve Öztaş, G., (1998). *Beton yollar*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

- Asphalt Institute, (2007). *The asphalt handbook*, Manual Series 7th Edition, MS4, Lexington, Kentucky, USA.
- Deme, I., Kennedy, W. ve Keenan, K., (2004). Performance properties of semi-rigid sulphur-extended asphalt mixes, *Proceedings*, Eurasphalt and Eurobitume Congress.
- Er, T., (2003). Asfalt kaplamalarda sülfür kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Huang, H.Y., (1993). *Pavement analysis and design*, Prentice Hall, New Jersey.
- Kandhal, P.S., (1982). Evaluation of sulfur extended asphalt binders in bituminous mixtures, *Proceedings*, Association of Asphalt Paving Technologists, **51**, 189-221.
- Önal, M.A. ve Kahramangil, M., (1993). *Bitümlü karışımlar laboratuvar el kitabı*, K.G.M.-Teknik Araştırma Daire Başkanlığı, Ankara.
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Cilt I (Fosfat-Kükürt- Alunit), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Shell Bitumen, (2003). *The Shell bitumen handbook*, 5th Edition, London, UK.
- Tüpraş Faaliyet Raporu, (2003). Faaliyet Raporu, Türkiye Petrol ve Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ), Ankara.
- Umar, F. ve Ağar, E., (1985). *Yol üstyapısı*, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Yayla, N., (2002). *Karayolu mühendisliği*, Birsen Yayınevi, İstanbul.