

İki Aşamalı Karıştırma Yönteminin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi

Baha Vural KÖK¹, Necati KULOĞLU¹

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü /ELAZIĞ

Alınış tarihi:19.02.2008, Kabul:05.05.2008

Özet: Bu çalışmada bitümlü sıcak karışımların (BSK) üretiminde yeni bir karıştırma yöntemi olarak iki aşamalı karıştırma sisteminin etkinliği incelenmiştir. İki aşamalı karıştırma sisteminin birinci aşamasında kaba agrega, optimum bağlayıcı oranının %20'si ile karıştırılmakta ve 1 saat 135-170 °C'de bekletilmektedir. İkinci aşamada ince agrega ve filler optimum bağlayıcı oranının %80'i ile karıştırılmakta daha sonra bu karışıma kaplanmış kaba agrega da ilave edilerek bir müddet daha beraber karıştırılmaktadır. İki aşamalı karıştırma sistemini değerlendirebilmek için gerek bu yeni yöntemle ve gerekse geleneksel yöntemle hazırlanmış Marshall numunelerine Marshall stabilite, indirek çekme mukavemeti ve nem duyarlılığı, rijitlik modülü ve sünme rijitliği deneyleri uygulanmıştır. Deneylerin ilk aşamasında kullanılacak malzemelerin karakteristikleri ve şartnamelere uygunluğu tespit edilmiştir. Deneylerde bağlayıcı olarak B 100-150, B 70-100, B 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentoları ve ağırlıkça % 5 styrene butadiene styrene (SBS) katkı B 70-100 penetrasyonlu asfalt çimentoları kullanılmıştır. Agregası olarak bazalt kullanılmıştır. Sonuçta iki aşamalı karıştırma sistemi ile hazırlanmış numunelerin mekanik özelliklerinin geleneksel yöntemle hazırlanmış numunelerden yüksek olduğu tespit edilmiştir. İki aşamalı karıştırma sisteminde birinci aşamada kaba agreganın kaplanması işinde kullanılan bağlayıcının önemli derecede etkiye sahip olduğu, bu bağlayıcının adezyon ve kohezyon özelliklerinin ikinci aşamada kullanılan bağlayıcıdan daha iyi olması gerektiği sonucuna varılmış, iki aşamalı karıştırma sisteminin etkinliğinin SBS modifiye karışımlarda daha fazla olduğu tespit edilmiş ayrıca iki aşamalı karıştırma sistemine uygun bir asfalt plenti tasarlanmıştır.

Anahtar kelimeler : Bitümlü sıcak karışım, karıştırma yöntemi, adezyon, mekanik özellikler.

Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt

Abstract: Effectiveness of two-phase mixing method was investigated in this study as a new mixing method in production of hot mix asphalt (HMA). Course aggregate is being mixed with 20 percent optimum binder content and kept at 135-170 °C for 1 hour in the first phase of two-phase mixing method. Fine aggregate and filler being mixed with 80 percent of optimum binder content and then course aggregate is added to mix and mixed together for a little while more in the second phase. Marshall stability, indirect tensile strength and moisture susceptibility, and stiffness modulus tests were applied to Marshall samples that have been prepared with both the new method and traditional method in order to evaluate the two phase mixing method. Characteristics of the materials and their appropriateness to the specifications were determined in the first step of the experiments. B 100-150, B 70-100, B 50-70 penetration asphalt cements and 5 percent styrene butadiene styrene (SBS) modified B 70-100 penetration asphalt cement were used as binder in the experiments. Basalt was used as aggregate. It was determined that the mechanical properties of samples that were prepared with two-phase mixing system are higher than the ones prepared with traditional method. It was concluded that the binder that was used in precoating the course aggregate in the first phase of the two phase mixing system has significant effect and cohesion – adhesion properties of this binder should be better than the binder that used in the second phase. Furthermore it was determined that the effectiveness of two-phase mixing method on SBS modified mixtures is higher and also an asphalt plant according to two-phase mixing method was designed.

Keywords: Hot mix asphalt, mixing method. Adhesion, mechanical properties.

Giriş

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), bir asfalt plentinde, gradasyonu kontrollü bir şekilde ayarlanmış agrega ile, uygun miktarı tayin edilmiş bağlayıcının sıcak olarak karıştırılması ile elde edilmektedir. Yüksek standartlı karayolları, otoyolları ve havaalanlarında yapılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. BSK'ların yüksek kalitede imal edilmeleri gerektiği için stabilite, rijitlik, dayanıklılık, yorulma, işlenebilirlik gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinin tümünü ideal olarak sağlayabilecek karışım tasarımlarının yapılması büyük önem arz etmektedir. BSK'ların performansına yani uzun süre bozulmadan hizmet etme yeteneğine etki eden faktörler, kaplamanın

esnekliği, suya karşı duyarlılığı, kalıcı deformasyonlar ile tekerlek izi oluşumu ve düşük ısı çatlaklarına karşı gösterdiği direnç ve yorulma ömrü, olarak tanımlanabilir. Geçmişten bugüne daha sağlam, ön görülen süre içerisinde trafik ve çevre şartlarının aşındırıcı etkilerine direnç gösterebilecek yolların inşası için büyük bir çaba sarf edilmekte, bu amaçla üstyapıyı oluşturan her bir tabakanın deneysel ve sayısal analizleri yapılarak stabilitesi ve durabilitesi yüksek karışımlar ve tabakalar elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, maliyeti fazla etkilemeden nem duyarlılığı ve kalıcı deformasyonları düşük, rijitliği, stabilitesi ve yorulma ömrü yüksek beton asfalt kaplamanın, karıştırma

yöntemi irdelenerek üretilmesi amaçlanmaktadır. Gerek yeni geliştirilen şartnamelere göre ve gerek katkı kullanımında BSK'lar, asfalt ve agreganın aynı ortamda bir defa da karıştırılması ile üretilmektedir. Bu üretimlerde tek cins ya da modifiye edilmiş asfalt ile tek cins ya da değişik türlerin oluşturduğu agrega kombinasyonları kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise değişik penetrasyon derecelerine sahip asfalt çimentolarının oluşturduğu kombinasyon ve agregaların önceden asfalt ile kaplanmasını, başka bir ifadeyle ön işleme tabi tutulmasını içeren bir karıştırma yöntemi ele alınmıştır.

Geçmişten bugüne bitümlü karışımların performansını artırmaya yönelik yapılan çalışmalar temelde asfalt-agrega adezyonunun iyileştirilmesi esasına dayanmaktadır. Adezyon, asfaltın agregaya yapışabilme yeteneğidir. Çok sıklıkla yol yüzeylerinde meydana gelen hasarların nedeni adezyon yetersizliği ve bunun neden olduğu soyulmadan kaynaklanmaktadır. Agregalar çok ya da az hidrofiliktirler (suyu seven) su ile kolaylıkla kaplanabilmektedirler. Bitüm ise hidrofobik bir malzemedir su ile bir etkileşimi yoktur. Agregaya yüzeyi ince bir film halinde su ile kaplanırsa bitüm agregayı sarabilir fakat bitümlü su yer değiştirmedeği sürece, bitüm agrega yüzeyine yapışmaz (Çelikten,1996).

Asfalt ile agrega arasındaki adezyon, agrega ve asfaltın fiziksel, kimyasal özelliklerine göre farklılıklar göstermektedir. Plancher vd. (1977), Thomas vd. (2002), asfaltın oksidasyonu sonucu sulfonik asit ve keton gibi polar bileşenlerin oluştuğunu bunlardan sulfonik asidin adezyonu azalttığını ketonun ise artırdığını, agregaların $CaCO_3$ içeriğinin artması ile bozulmaya neden olan donma-çözülme periyotlarının parabolik bir şekilde arttığını tespit etmiştir.

Yol yapımında kullanılan agregalardan kalkerin bazik, bazaltın ise nötr olduğu kabul edilmektedir. Bir çok çalışmada asfaltın asidik özellik sergilediği ve dolayısıyla bazik agregalarla daha iyi yapışma sağladığı, silisli agregalar ile asfalt arasındaki adezyonu artırmak için ise alkaline içerikli katkıları kullanıldığı belirtilmiştir (Logaraj, 2002; Kiggundu vd. 2002; Bagampadde vd. 2005). Bitümlü bağlayıcının suya karşı etkileşimini azaltmak dolayısıyla nem duyarlılığını azaltmak için en çok kullanılan yöntem karışıma kireç ilavesi, karışımın mekanik özelliklerini artırmak için en çok başvurulan yöntem ise polimer modifikasyonudur. Yapılan çalışmalarda styrene-butadiene-styrene (SBS) modifiyeli bağlayıcıların penetrasyon, yumuşama noktası gibi özellikleri ve bu bağlayıcılarla hazırlanmış karışımların Marshall stabilite ve indirek çekme mukavemeti özelliklerini iyileştirdiği (Şengöz, 2008), tekerlek izi oluşumu ve kalıcı deformasyonlara karşı oldukça dirençli olduğu, yorulma dayanımlarının normal karışımlara göre 2-3 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir (Kumar, 2006; Hanyu, 2005). Karıştırma yöntemi irdelenerek asfalt-agrega adezyonunun ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çok az sayıda çalışmada bulunmaktadır. Bitümlü karışımların üretiminde agregaların tam olarak bitümlü kaplanmasına engel olan küçük parçacıklar söz konusudur. Kandhal ve Motter

(1991) yüzeysel kaplamalarda agregaların ön kaplama işlemine tabi tutulmasının nem ve toz problemini çözeceğini belirtmişlerdir. Yoon vd. (1998) ve DiVito vd. (1982) agregalarda ön kaplama işleminin adezyon artırıcı bir katkı ile yapılmasının çok etkili olduğu belirtilmiştir. Yapılan bir başka çalışmada agregaların bitümlü ince bir film halinde ön kaplama işlemine tabi tutulmasının karışımda soyulma sonucu oluşan agrega kayıplarını azaltacağı belirtilmiştir (Epps vd., 2001). Shuler (1991) ve Sigurjonsson (1991) yüzey iyileştirmesi işleminde ön kaplama işleminin çok etkili olduğunu belirtmişlerdir. Agregaların önceden kaplanma işlemi adezyon mekanizmaları ile de yakın ilişki içerisindedir. Terrel ve Shute (1989), asfalt ve agrega arasındaki adezyonu açıklamak için 3 kuram tanımlamışlardır. Bunlar kimyasal reaksiyon, yüzey enerjisi – moleküler uyuma ve mekanik kenetlenmedir. Terrel ve Shute'a göre bu üç kuram, asfalt ve agreganın yüzey gerilmesinden, kimyasal kompozisyonundan, asfaltın viskozitesinden, agreganın yüzey pürüzlülüğü, porozitesi, temizliği ve nem muhtevasından, asfalt çimentosu ile karıştırıldığı andaki sıcaklığından etkilenmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü agreganın uygun bir şekilde kaplanabilme kabiliyetine etki etmekte ve iyi bir ilk kaplama iyi bir adezyon için gereklidir. Geniş yüzey alanına ve asfaltın penetre olacağı şekilde uygun boşluklara sahip agregalarda adezyon artmakta, ince boşluklara sahip yuvarlak yüzeye sahip agregalarda ise asfalt ince boşluklara girememekte ve hava hapis olmaktadır. Diğer taraftan asfaltın boşluklara girmesi sadece boşluk yapısına değil asfaltın viskozitesine ve karışımın sıcaklığı ve süresine de bağlıdır.

Deneysel Çalışma

Bitümlü sıcak karışımların üretilmesinde, geleneksel olarak bağlayıcı, kaba agrega, ince agrega ve mineral filler aynı ortamda bir defada karıştırılmaktadır. Bu şekildeki karıştırmada küçük taneler ve filler kaba agreganın tam olarak asfaltla kaplanmasını önlemektedir. Kaba agrega üzerindeki küçük parçacıklar, suyun agregaya penetrasyonu için kanallar oluşturabilmekte ve aynı zamanda asfaltı absorbe ederek agrega yüzeyindeki asfalt film kalınlığının ince olmasına neden olmaktadır. Ayrıca küçük parçacıklar asfaltın, kaba agreganın boşluklarına girmesine engel olmakta ve iyi bir mekanik kenetlenme temin edilememektedir. Diğer taraftan geleneksel karıştırma yönteminde agrega karışımının bağlayıcı ile buluştuktan sonraki bekleme süresi, asfaltın agreganın boşluklarına iyi bir şekilde gireceği kadar uzun değildir.

Bu çalışmada yeni bir yöntem olarak, BSK'ların üretiminde iki aşamalı karıştırma sistemi geliştirilmiştir. İki aşamalı karıştırma sisteminde kaba agrega, ince agrega ve fillerden ayrı olarak karıştırılmakta, bir ön kaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu şekilde kaba agreganın tam ve üniform olarak asfalt film ile kaplanması hedeflenmektedir. Ayrıca kaplanan agreganın belirli süre ve sıcaklıkta bekletilmesi ile asfaltın kaba agreganın kılcal boşluklarına gireceği ve iyi bir mekanik kenetlenme temin edeceği düşünülmektedir.

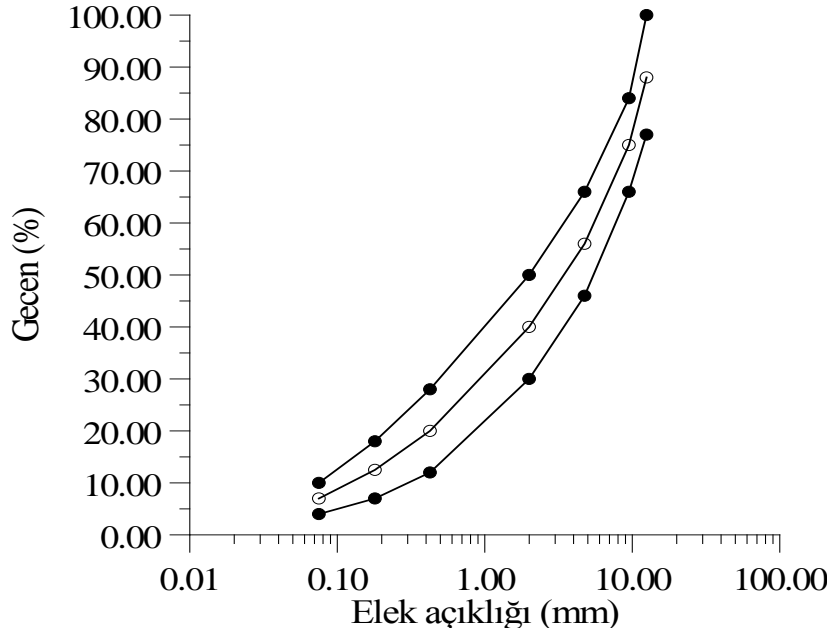
Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılacak malzemelerin karakteristikleri ve şartnamelere uygunluğu tespit edilmiştir. Daha sonra gerek geleneksel yöntemle ve gerek iki aşamalı karıştırma sistemi ile üretilecek Marshall numuneleri için %7 boşluk oranını sağlayacak karışım tespit edilmiştir. Numunelere Marshall stabilite, indirek çekme mukavemeti, rijitlik modülü ve sünme rijitliği deneyleri uygulanmıştır.

Deneylerde agregalar bazalt kullanılmıştır. Agreganın bazı fiziksel özellikleri Tablo 1’de agreganın gradasyonu ise Şekil 1’de verilmiştir. Bağlayıcı olarak B 100-150,

B 70-100 ve B 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentoları ve B 70-100 penetrasyonlu asfalt çimentosuna ağırlıkça %5 Styrene Butadiene Styrene (SBS) katılarak modifiye edilen asfalt çimentosu kullanılmıştır. Asfalt çimentolarına ait fiziksel özellikler Tablo 2’de verilmiştir. B 70-100 penetrasyonlu asfalt çimentosunun SBS ile modifiye işleminde ağırlıkça % 5 SBS kullanılmıştır. Asfalt çimentosu ve SBS, 170 C° sıcaklıkta 8cm çapındaki silindirik kalıpta her bir kanat uzunluğu 3 cm olan iki kanatlı karıştırıcı ile 500 devir/dakika hızda 1.5 saat karıştırılmıştır.

Tablo 1. Agreganın fiziksel özellikleri.

Özellikler	Deneysel sonuçlar
Aşınma kaybı (%) (Los Angeles)	16 (max 35)
Donma kaybı (%) (Na ₂ SO ₄)	6,16 (max 10)
Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,673
Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,716
İnce agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,691
İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,725
Filler zahiri özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,732



Şekil 1. Agreganın gradasyonu ve şartname limitleri.

Karışımların optimum asfalt içeriği Marshall yöntemine göre B 70-100 için %5.4 olarak bulunmuştur. Bu değer özgül ağırlıklarının fazla değişmediği B 100-150 ve B 50-70 penetrasyonlu bağlayıcılar için de kullanılmıştır. %5,4 bağlayıcı oranının B 100-150 ve B 50-70 için de kullanılması karışımların teorik özgül ağırlıklarında %0.1±0.05 hataya sebebiyet vermiştir. %5 SBS katkılı asfalt çimentosunun kullanıldığı karışımlar için %5.4 bağlayıcı oranındaki asfalt hacmine eşit olacak bağlayıcı esas alınmıştır. Buna göre optimum bağlayıcı oranı SBS modifiyeli karışım için %5.48 olmaktadır.

Nem duyarlılığı deneyinde şartnameler numunelerin %6-8 boşluk oranında test edilmesini öngörmektedir. Bu amaçla farklı darbe sayıları denenerak numunelerdeki boşluk oranları incelenmiş ve her iki yüzüne 50 darbe uygulanarak sıkıştırılan numunelerde yaklaşık olarak %7 boşluk oranının olduğu tespit edilmiştir. İki aşamalı karıştırma sisteminin etkilerinin incelenmesi ve geleneksel yöntemle karşılaştırmalı olarak sunulabilmesi için geleneksel yöntemle kontrol numuneleri ve iki aşamalı karıştırma sistemi ile diğer deney numuneleri hazırlanmıştır.

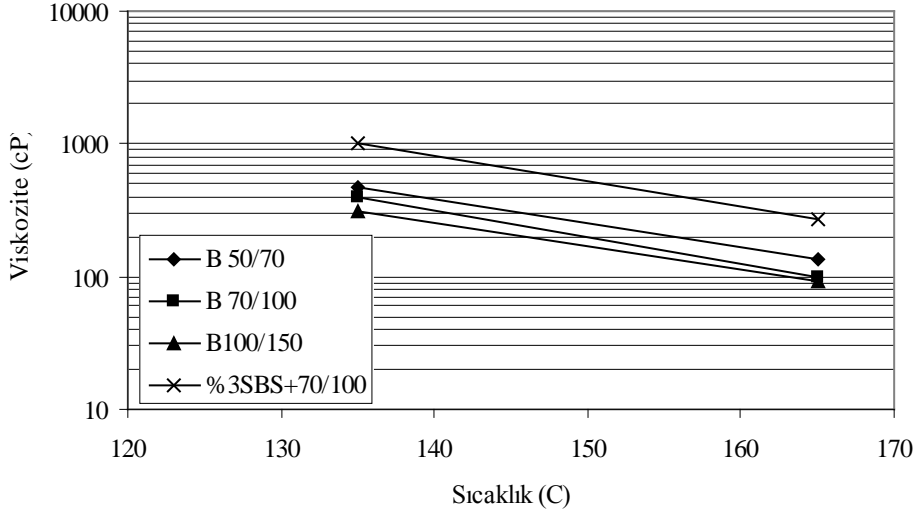
Tablo 2. Bağlayıcıların fiziksel özellikleri.

B 50/70			
Özellikler	Deney Yöntemi	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	68	50 – 70
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	54,7	46 – 54
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,031	1,0-1,1
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,38	mak. 0,5
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	51	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	75	min. 50
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	61,9	min. 48
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 12607-1	7,2	mak. 9
B 70/100			
Özellikler	Deney Yöntemi	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	81	70 – 100
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	48,4	43 – 51
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,022	1,0-1,1
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,51	mak. 0,8
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	57	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	70,3	min. 46
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	56,6	min. 45
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 12607-1	8,2	mak. 9
B 100/150			
Özellikler	Deney Yöntemi	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	120	100 – 150
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	43,2	39 – 47
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,015	1,0-1,1
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,53	mak. 0,8
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	73	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	60,8	min. 43
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	51,3	min. 41
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 12607-1	8,1	mak. 10
%5 SBS + B 70/100			
Özellikler	Deney Yöntemi	Sonuç	Şartname Limitleri
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	59	min. 20
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	71,4	min.65
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,038	1,0-1,1
RTFOT Yöntemiyle Yaşlandırıldıktan Sonra			
Kütle Değişimi, %	EN 12607-1	0,39	mak. 1,0
Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	EN 1426	40	-
Kalıcı Penetrasyon, %	EN 12607-1	67,8	-
Yumuşama Noktası, °C	EN 1427	75,6	-
Yumuşama Noktasındaki Artış, °C	EN 12607-1	4,2	mak. 6,5

Kontrol Numunelerinin Hazırlanması

Numuneler hazırlanmadan önce 135 °C ve 165 °C'de DV-III Ultra Brookfield viskozimetresi kullanılarak bağlayıcıların işlenebilirlikleri belirlenmiştir. Bağlayıcı viskozite değerleri viskozite-sıcaklık grafiğinde (Şekil 2)

gerekli viskozite değerini (0.170 ± 20 Pa.s) sağlayacak sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Tablo 3'te dönel viskozimetre deneyi aleti ile tespit edilen viskozite değerleri ve karıştırma sıcaklıkları verilmiştir.



Şekil 2. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık ilişkisi.

Tablo 3. Dönel viskozimetre deney sonuçları

Bağlayıcı Cinsi	Viskozite (cP)		Karıştırma Sıcaklığı Aralığı
	135°C	165°C	
B 50/70	479	133	156-162
B70/100	401	100	151-166
B100/150	314	91	147-153
%5 SBS+70/100	1002	270	172-178

Buna göre B 50/70, B 70/100, B 100/150 ve %3SBS+70/100 bağlayıcıları için sırası ile 155 °C, 150 °C, 145 °C ve 170 °C karıştırma sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Kontrol numuneleri geleneksel yöntemle dört farklı grupta hazırlanmıştır. Bu gruplar farklı bağlayıcılarla hazırlanan numunelerden oluşmaktadır. Birinci grup B 100-150 penetrasyonlu asfalt çimentosu ile hazırlanmış olup "A" ile gösterilmiştir. İkinci grup, B 70-100 penetrasyonlu asfalt çimentosu ile hazırlanmış olup "B" ile gösterilmiştir. Üçüncü grup, B 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentosu ile hazırlanmış olup "C" ile gösterilmiştir. Dördüncü grup ise % 5 SBS katkılı B 70-100 penetrasyonlu asfalt çimentosu ile hazırlanmış olup "D" ile gösterilmiştir

İki Aşamalı Karıştırma Sistemi ile Numunelerin Hazırlanması

İki aşamalı karıştırma sisteminin birinci aşamasında, 160 C° ye kadar ısıtılan kaba agregaya, yüzeyini en az %90 oranında kaplayacak, optimum bağlayıcı oranının bir kısmı ile karıştırılmaktadır. Daha sonra yüzeyi kaplanmış olan kaba agregaya 1 saat 135-170 C°'lik etüvde bekletilmektedir. İkinci aşamada 160 C° ye kadar ısıtılmış olan ince agregaya ve filler ile etüvden çıkarılan kaba agregaya, optimum bağlayıcı oranının geri kalan kısmı ile karıştırılmaktadır. İki aşamalı karıştırma sistemindeki numuneler iki harf ile gösterilmektedir. "AB" ifadesi, birinci aşamada B 100-150, ikinci aşamada ise B 70-100 penetrasyonlu asfalt çimentolarının kullanılarak hazırlanmış numuneyi göstermektedir. "CC" ifadesi her iki aşamada da B 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanmış numuneyi temsil etmektedir.

İki aşamalı karıştırma sisteminde kaba agregayı kaplayacak bağlayıcı oranını tespit etmek amacıyla ilk olarak ampirik bağıntılar kullanılarak bağlayıcı oranı tespit edilmiştir. Bitümlü karışımların optimum bitüm muhtevasının hesaplanmasında en çok kullanılan ampirik bağıntı yüzey alanı esasına dayanan Formül 1 ve 2'deki bağıntıdır.

$$P = \alpha \cdot K \cdot \sqrt[5]{S} \quad (1)$$

$$S = 0,25G + 2,3C + 12 F + 135f \quad (2)$$

Burada P: agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm oranı, α :2,65/ $\delta_{\text{agrega zahiri}}$, K: agregaya zenginlik modülü (3-3.5), S: agregaya yüzey alanı (m²/kg), G: 6.3 mm açıklıklı elek üzerinde kalan agregaya yüzdesi, C: 6.3 mm açıklıklı elekten geçen ve 50 nolu elek üzerinde kalan agregaya yüzdesi, F: 50 nolu elekten geçen 200 nolu elek üzerinde kalan agregaya yüzdesi, f: filler yüzdesidir.

Bu çalışmada kaba agreganın % 25'i 6,3 mm elek üzerinde, % 19'u ise 50 nolu elek üzerinde kalmaktadır. Kaba agregaya zahiri özgül ağırlığı 2.716'dır. Buna göre;

$$S = (0,25 \cdot 25 + 2,3 \cdot 19) / 100 = 0,4995 \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$528 \text{ gr olan kaba agreganın yüzey alanı : } 0,4995 \cdot 0,528 = 0,2637 \text{ m}^2$$

$$P = 2,65/2,716 \cdot (3-3,5) \cdot \sqrt[5]{0,2637} = 2,24 - 2,61 \text{ olmaktadır.}$$

Bitümlü karışımların optimum bitüm muhtevasının hesaplanmasında kullanılan bir diğer ampirik bağıntı Formül 3’de verilen yüzey alanı bağıntısıdır (Tunç,2000).

$$P = 0,035.a + 0,04.b + n.c + F \quad (3)$$

Burada, P: agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm oranı, a: 2.36 mm elek üzerinde kalan agrega yüzdesi, b: 2.36 mm elekten geçen ve 0.075 mm elek üzerinde kalan agrega yüzdesi, c: 0.075 mm elekten geçen agrega yüzdesi, K: filler içeriğine bağlı olarak değişen 0.15-0,20 arasında bir katsayı, F: 0.7-1 arasında değişen bir katsayıdır. Bu çalışmada kullanılan kaba agrega oranı % 44 olduğundan; Formül 3’e göre kaba agregayı kaplayacak bağlayıcı oranı;

$$P = 0,035.44 + (0,7-1) = 2,24 - 2,54 \text{ olmaktadır}$$

İki aşamalı karıştırma sisteminde kaba agregayı %90’nın üzerinde kaplayacak bağlayıcı miktarının ne kadar

olduğunu deneysel olarak tespit etmek amacıyla kaba agrega, ağırlığının %1; %1.5; %2 ve %2.5’i oranlarında bağlayıcı ile karıştırılarak kaba agrega yüzeyinin kaplanma miktarı görsel olarak tespit edilmiştir. Görsel inceleme sonucunda kaba agrega ağırlığının %2.5’i kadar bağlayıcı kullanılmasının agrega yüzeyini tam olarak kapladığı ve bu şekilde karışımının, koyulduğu kaptaki az miktarda lekeler bıraktığı, %2.5’den fazla bağlayıcı miktarının agrega yüzeyine yapışmadığı ve kaptaki çok fazla lekeler bıraktığı gözlemlenmiştir.

Böylece birinci aşamada kaba agreganın karıştırılması için optimum bağlayıcı muhtevasının %20’si kullanılmaktadır. Tablo 4’de iki aşamalı karıştırma sisteminin birinci ve ikinci aşamasında kullanılan asfalt cinsleri, sıcaklıkları ve birinci aşamadaki kür sıcaklıkları verilmiştir. İkinci aşamadaki asfaltın kaba agrega üzerindeki asfaltı iterek yerine geçmemesi için kür sıcaklıkları ikinci aşamada kullanılacak sıcaklıktan 5-15 °C daha düşük tutulmuştur.

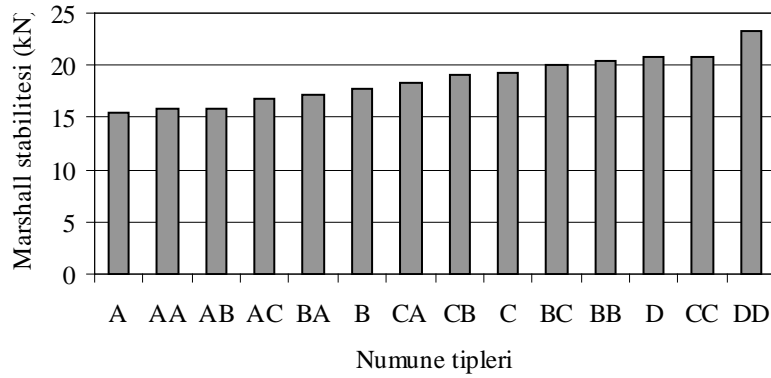
Tablo 4. Karıştırma işleminde ve kür sırasındaki asfalt sıcaklıkları.

Numune tipi	I.Aşama			II.Aşama	
	Kullanılan asfalt cinsi	Asfalt sıcaklığı (°C)	Kür sıcaklığı (°C)	Kullanılan asfalt cinsi	Asfalt sıcaklığı (°C)
AA	B 100-150	145	135	B 100-150	145
AB	B 100-150	145	135	B 70-100	150
AC	B 100-150	145	135	B 50-70	155
BA	B 70-100	150	140	B 100-150	145
BB	B 70-100	150	140	B 70-100	150
BC	B 70-100	150	140	B 50-70	155
CA	B 50-70	155	145	B 100-150	145
CB	B 50-70	155	145	B 70-100	150
CC	B 50-70	155	145	B 50-70	155
DD	%5 SBS katkılı B 70-100	170	160	%5 SBS katkılı B 70-100	170

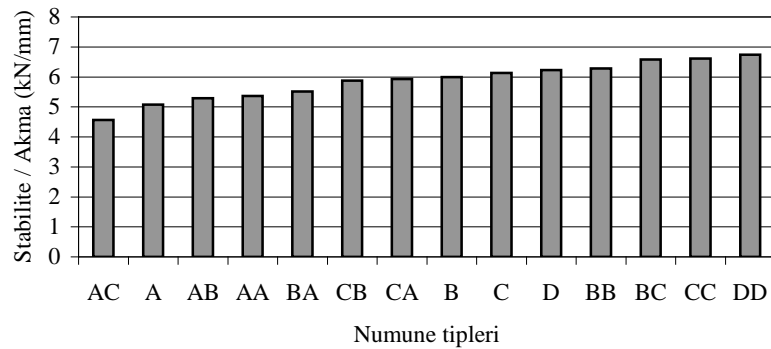
Marshall Deneyi ve Sonuçları

Marshall stabilitesi ve akma deneyi için 12 tanesi kontrol numunesi (A,B,C,D), 30 tanesi de iki aşamada karıştırılarak hazırlanan numuneler olmak üzere toplam 42 numune optimum bitüm yüzdesinde her iki yüzüne 75 darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Her bir numune tipi için üçer numune test edilmiştir. Fiziksel özellikleri tespit

edilen numuneler şartnamelere uygun olarak ilk önce 30 dakika 60 °C’deki su banyosunda bekletilip Marshall deney cihazında 50 mm/dk hızda kırılmış Marshall stabilite ve akma değerleri kaydedilmiştir. Şekil 3’de numunelerin Marshall stabilite değerleri, Şekil 4 de ise rijitliği temsil eden stabilite/akma oranları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3. Marshall stabilite değerleri.

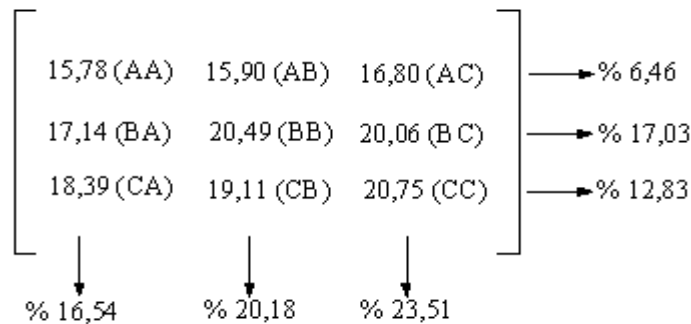


Şekil 4. Stabilite / Akma değerleri.

Şekil 3-4 incelendiğinde tek aşamalı olarak karıştırılan kontrol numunelerinde (A,B,C,D) düşük penetrasyonlu asfalt çimentosunun kullanılması ile Marshall stabilitesi ve stabilite/akma oranlarının arttığı, % 5 SBS katkılı asfalt çimentosu ile hazırlanmış numunenin (D) en yüksek stabilite ve stabilite/akma değerine sahip olduğu görülmektedir. Kontrol numuneleri (A,B,C,D) ve bu numunelerin iki aşamada karıştırılarak hazırlanmış şekli olan numunelerin (AA,BB,CC,DD) Marshall stabilite ve stabilite/akma değerleri incelendiğinde iki aşamalı karıştırma sisteminin, B 100-150 penetrasyonlu asfalt çimentosunun kullanıldığı numunelerde (A) önemli bir iyileştirme yapmadığı B, C, D numunelerinin Marshall stabilite değerlerinde sırasıyla %15,63, % 8,07, %11,95 artış sağladığı, yine aynı numunelerin stabilite/akma değerlerinde sırasıyla %4,84, %7,83, % 8,18 artış sağladığı görülmektedir. Değişik penetrasyonlu asfalt

çimentolarının kombinasyonları ile oluşturulmuş iki aşamalı numunelerde asfalt çimentolarının kullanış sırasına göre bir ilişki bulmak amacıyla 9 farklı kombinasyonun Marshall stabilite değerlerini içeren (Şekil 5) aşağıdaki matris oluşturulabilir.

Bu matrisin herhangi bir satırında soldan sağa doğru gidildikçe birinci aşamada kullanılan asfalt çimentosu sabit kalmakta, ikinci aşamada kullanılan asfalt çimentosu ise sertleşmektedir. Bu durumun tam tersi matrisin sütunları için geçerlidir. Herhangi bir sütunda yukardan aşağı doğru gidildikçe birinci aşamada kullanılan asfalt çimentosu sertleşmekte ikinci aşamada kullanılan asfalt çimentosu ise değişmemektedir. Matriste, Marshall stabilitesi değerleri yerlerine yazılarak satırlar ve sütunlar da 1.ve 3.değerler arasındaki artış yüzdeleri incelenecek olursa;



Şekil 5. Matris formundaki Marshall stabilite değerleri.

Yukarıdan aşağı doğru olan artışların soldan sağa doğru olan artışlardan daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca aynı asfalt çimentolarının farklı sırada kullanıldığı karışımlar incelendiğinde, “BA” numunesinin “AB”den, “CA” numunesinin “AC”den daha yüksek stabilite değerine sahip olduğu, “CB” ve “BC” numunelerinde ise önemli bir farkın oluşmadığı görülmektedir. “BB” numunesinin, 50-70 penetrasyonlu asfaltla hazırlanmış olan “CC” numunesi ile hemen hemen aynı stabiliteye sahip olması, “BB” numunesindeki bağlayıcının (B 70-100) CC numunesindeki bağlayıcıya (B 50-70) göre viskozitesi düşük olduğundan, birinci aşamada etüvde beklediği süre içerisinde agreganın boşluklarına daha iyi penetre olarak yüksek bir mekanik kenetlenme sağladığı, adezyon ve kohezyon yeteneğinin daha iyi olduğu, “CC” numunesinde ise daha sert bir bağlayıcı kullanıldığı için yüksek stabiliteye sahip olduğu düşünülmektedir. Her iki bağlayıcının beraber kullanıldığı “BC” ve “CB” numunelerinin stabilite değerlerinin “BB” numunesinden düşük olması da bu durumu izah etmektedir.

İndirek Çekme Mukavemeti, Nem Duyarlılığı Deneyleri ve Sonuçları

Nem duyarlılığı deneyi için 14 farklı numune tipinden üçer adet iki grup olmak üzere toplam 84 numune hazırlanmıştır. Bütün numuneler standartların öngördüğü %6-8 boşluk oranının ortalaması olan %7 boşluk oranında hazırlanmıştır. Numuneler deneye tabi tutulmadan önce havadaki kuru, doymuş ve sudaki ağırlıkları tespit edilerek fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Kuru olarak test edilecek ve koşullandırılarak test edilecek numuneler iki grup halinde sınıflandırılmıştır.

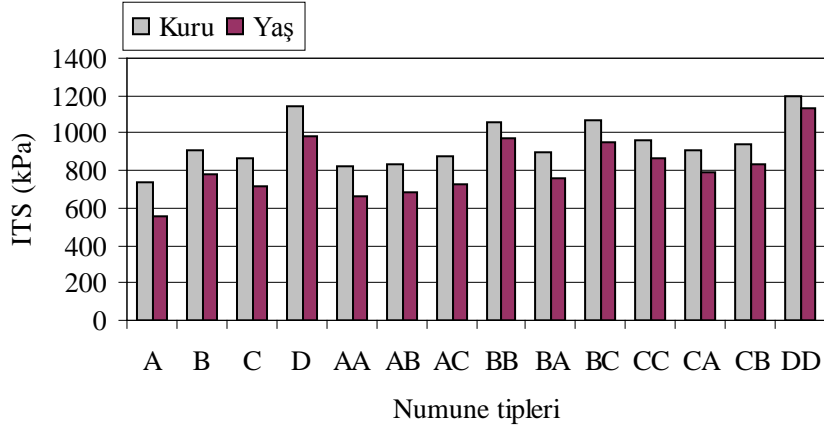
Numunelerin fiziksel özellikleri tespit edildikten sonra tamamı standartlara (ASTM D 4867,1996) uygun olarak 60 °C’lik etüvde 18 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda kuru numuneler 25 °C’lik su banyosunda 1 saat daha bekletilerek Marshall test cihazında eksenel yüklemeye tabi tutulup kırılmaya neden olan maksimum yük tespit edilmiş ve indirek çekme mukavemetleri Formül 4 ile hesaplanmıştır.

$$ITS = 2F / \pi L D \quad (4)$$

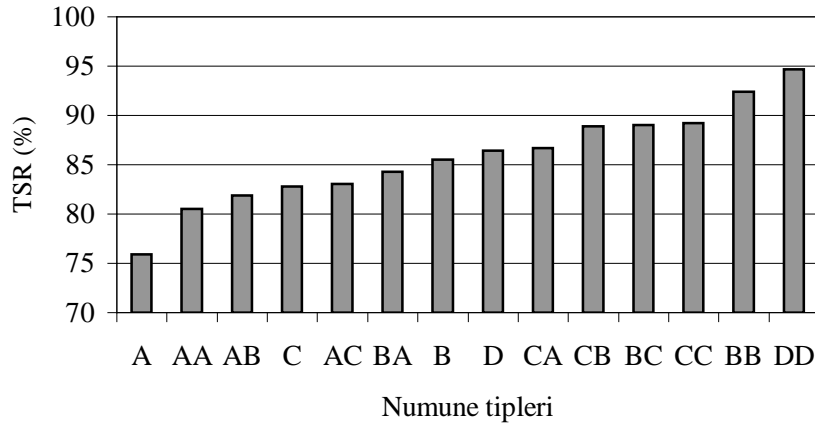
Burada ITS, indirek çekme mukavemeti (kPa); F, kırılmaya neden olan maksimum yük (kN); L,numune yüksekliği (m); D, ise numune çapı(m)’dir.

Koşullandırılmış numuneler 8 saat oda sıcaklığındaki su banyosunda bekletilerek % 80 doymuş hale getirilmiş daha sonra 60 °C’lik su banyosunda 24 saat bekletilmiştir. Su banyosundan çıkartılan numuneler kuru numunelerde olduğu gibi deneye tabi tutulmadan önce tekrar 25 °C’lik su banyosunda 1 saat daha bekletilmiştir. Koşullandırılmış numuneler de bu şekilde kür şartlarına tabi tutulduktan sonra Marshall test cihazında eksenel yüklemeye tabi tutularak kırılmaya neden olan maksimum yük tespit edilip indirek çekme mukavemetleri hesaplanmıştır. Koşullandırılmış yaş numunelerin indirek çekme mukavemetleri kuru numunelerin indirek çekme mukavemetlerine bölünerek, nem duyarlılığının bir ölçüsü olan indirek çekme mukavemeti oranları (TSR) tespit edilmiştir. Şekil 6’da numunelerin indirek çekme mukavemetleri Şekil 7’de ise indirek çekme mukavemeti oranları verilmiştir.

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde tek aşamalı olarak karıştırılan A, B ve D kontrol numunelerinde düşük penetrasyonlu asfalt çimentosunun kullanılması ile koşullandırılmış ve koşullandırılmamış durumlar için indirek çekme mukavemetleri ve oranlarının arttığı, 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentosunun kullanıldığı “C” numunesinin bu artışa uymadığı görülmektedir. Karışımdaki bağlayıcının kohezyon özellikleri ile yakından ilişkili olan bu deney yönteminde “C” numunelerinin indirek çekme mukavemetleri ve indirek çekme mukavemeti oranlarının “B” numunelerinden düşük olması, 50-70 penetrasyonlu asfalt çimentosunun, 70-100 penetrasyonlu asfalt çimentosundan daha düşük düktilite dolayısıyla düşük kohezyona sahip olması olarak düşünülmektedir. %5 SBS katkılı asfalt çimentosunun düktilite değerinin düşük olmasına rağmen bu bağlayıcı ile hazırlanmış numunenin indirek çekme mukavemeti ve oranlarının diğer kontrol numunelerinden daha yüksek olması, bu bağlayıcının adezyon yeteneğinin iyi olması ve kohezyon yeteneğinin önüne geçmesi olarak düşünülmektedir. Kontrol numuneleri (A,B,C,D)ve bu numunelerin iki aşamada karıştırılarak hazırlanmış şekli olan numunelerin (AA,BB,CC,DD) indirek çekme mukavemeti oranları incelendiğinde iki aşamalı karıştırma sisteminin bu numunelerin değerlerinde sırasıyla % 6.04 , % 7.99 , % 7.83 ve % 9.59 artış sağladığı tespit edilmiştir.



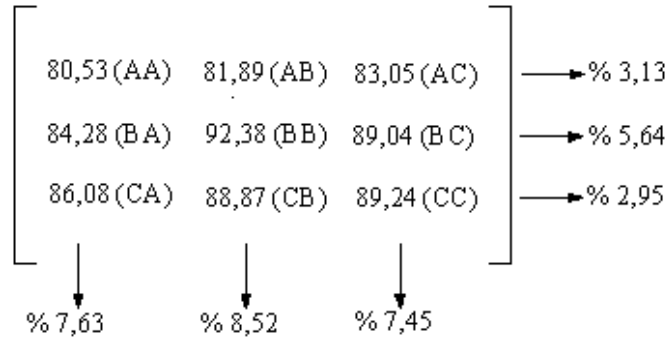
Şekil 6. Koşullandırılmış (yaş) ve koşullandırılmamış (kuru) numunelerin ITS değerleri.



Şekil 7. Numunelerin TSR değerleri.

Değişik penetrasyonlu asfalt çimentolarının kombinasyonları ile oluşturulmuş iki aşamalı numunelerde asfalt çimentolarının kullanılış sırasına göre bir ilişki bulmak amacıyla 9 farklı kombinasyonun indirek çekme mukavemeti oranlarını içeren matris Şekil 8'deki gibidir. Matrisin satırları ve sütunlarında 1. ve 3. terimleri arasındaki fark incelendiğinde düşey yöndeki artışların yataydaki artışlardan fazla olduğu dolayısıyla ilk aşamada

kullanılan bağlayıcının önemli bir etkiye sahip olduğu kabul edilebilir. Ayrıca aynı bağlayıcıların farklı sırada kullanıldığı "BA" numunesinin "AB"den, "CA" numunesinin de "AC"den daha yüksek indirek çekme mukavemeti oranına sahip olduğu, "BC" ve "CB" numunelerinin değerleri arasında ise fazla bir fark olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 8. Matris formundaki İndirek çekme mukavemeti oranları.

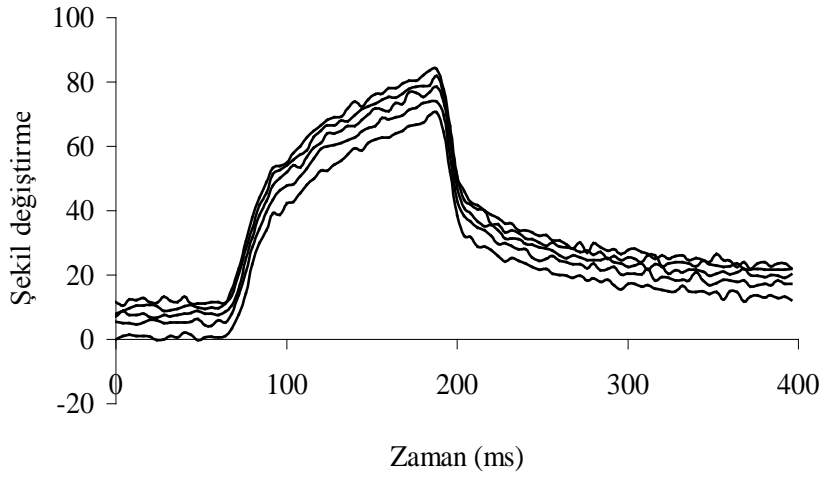
Rijitlik Modülü Deneyi ve Sonuçları

Bu deneyler için 14 farklı numune tipinden üçer adet olmak üzere toplam 42 numune, optimum bitüm muhtevasında her iki yüzüne 75 darbe uygulanarak hazırlanmıştır. Deney 25°C’de deformasyon kontrollü olarak UMATTA test cihazı ile yapılmıştır. Maksimum deformasyon 7 µ, yükleme periyodu 3 sn, yükün yükselme zamanı (rise time) 0.124 sn olarak alınmıştır. Deneye başlamadan önce numuneler 2 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra numuneler yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yatay deformasyonu ölçecek sensörler (LVDT) ayarlanmış, numune yüksekliği, çapı ve poisson oranı (0.35) bilgisayara girilmiş, kabin içinde referans numunesinin içinde ve yanında bulunan sıcaklık ölçen sensörlerin aynı değeri göstermesinden sonra deneye başlanmıştır. Yükleme pistonu pünomatik olarak çalışan cihaz, ilk önce numunede 7 µ deformasyon oluşturacak yük değerini

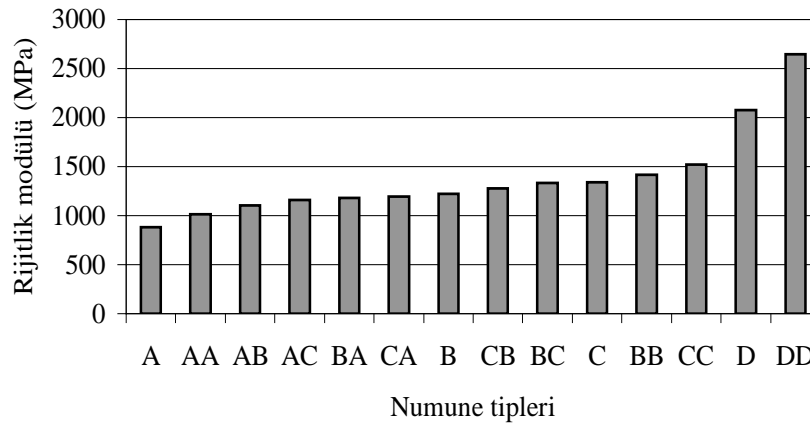
ayarlamak için 5 adet deneme yüklemesi yapmaktadır. Deneme yüklemesinden sonra gerekli olan yükü ayarlayan cihaz, gerçek yüklemeleri yapmakta ve her darbeye 7 µ deformasyon oluşması için gerekli yük değerini kaydetmekte ve rijitlik modülünü Formül 5’deki bağıntıya göre hesaplamaktadır (BS,1993).

$$S_m = F(R + 0,27) / LH \quad (5)$$

Burada S_m rijitlik modülü (Mpa); F, uygulanan maksimum düşey yük (N); L, numune yüksekliği (mm); H, yatay deformasyon (mm)’dur. Sonuçta cihaz, 5 yüklemenin ortalama değerini ve standart sapmalarını vermektedir. Deneylerde standart sapması %10’dan fazla olan numuneler iptal edilmiştir. Şekil 9’da “B” numunelerine ait örnek bir gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, Şekil 10’da numunelerin rijitlik modülü değerleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 9. Şekil değiştirme – zaman ilişkisi.

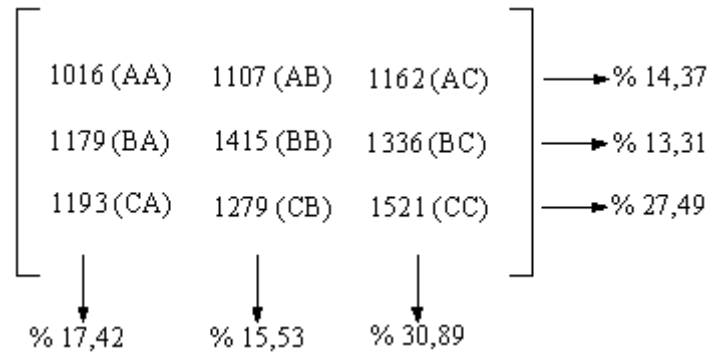


Şekil 10. Rijitlik modülü değerleri.

Şekil 10 incelendiğinde tek aşamalı olarak karıştırılan kontrol numunelerinde düşük penetrasyonlu asfalt çimentosunun kullanılması ile rijitlik modülü değerlerinin arttığı, kontrol numuneleri içinde % 5 SBS katkılı asfalt çimentosunun kullanılması ile hazırlanmış numunenin (D) en yüksek rijitlik modülü değerine sahip olduğu görülmektedir. Her iki aşamasında da aynı bağlayıcının kullanıldığı numunelerin (AA, BB, CC, DD) rijitlik modüllerinin kontrol numunelerinin değerlerinden (A, B, C, D) sırası ile

%15.52 - % 16.07 - % 13.33 - % 27.54 artış sağladığı görülmektedir. Bu deney yöntemi, iki aşamalı karıştırma sisteminin iyileştirme etkisinin, SBS katkılı karışımlarda daha fazla olduğunu göstermiştir.

Değişik penetrasyonlu asfalt çimentolarının kombinasyonları ile oluşturulmuş iki aşamalı numunelerin rijitlik modüllerinin yazıldığı matris Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Matris formundaki rijitlik modülü değerleri.

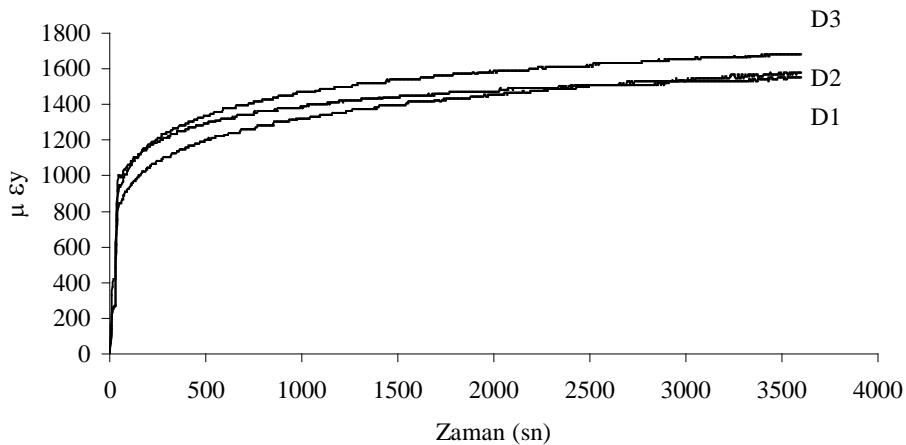
Matrisin satırları ve sütunlarında 1. ve 3. terimleri arasındaki fark incelendiğinde düşey yöndeki artışların bu deney yönteminde de yataydaki artışlardan fazla olduğu dolayısıyla ilk aşamada kullanılan bağlayıcının önemli bir etkiye sahip olduğu kabul edilebilir. Bu deney yöntemi numunenin elastik sınırları içerisinde yapıldığı için karışım içindeki bağlayıcının kopmadan uzama yeteneği olan kohezyon yeteneğini zorlamamaktadır. Dolayısıyla diğerlerine göre daha sert bağlayıcı ile hazırlanmış olan “CC” numunesi en yüksek rijitlik değerini almıştır. Buna karşın “BC” ve “CB” numunelerindeki bağlayıcıların ortalama serlikleri “BB” numunesinden fazla olmasına rağmen “BB” numunesinden daha düşük rijitlik değerine sahip olmaları, “BB” numunesinde daha iyi mekanik kenetlenme ve adezyon gerçekleştiğine işaret etmektedir.

Sünme Rijitliği Deneyi

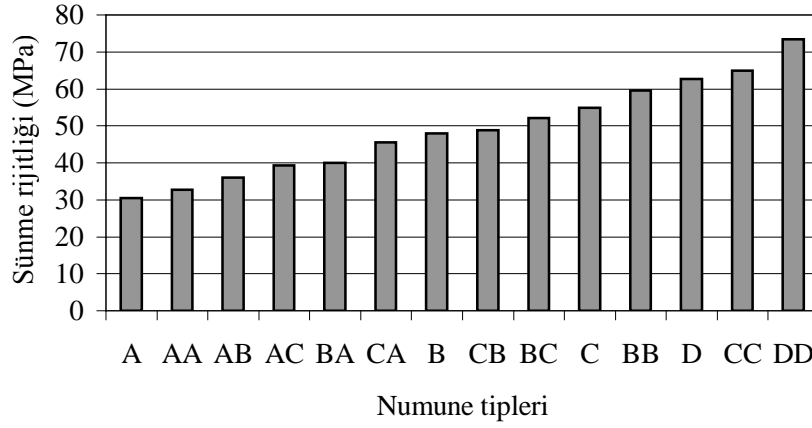
Rijitlik modülü deneyi tahribatsız bir deney olduğundan burada kullanılan numuneler sünme rijitliği deneyinde de kullanılmıştır. Deney, statik ve yük kontrollü olarak 40 °C’de yapılmıştır. Cihaz (UMATTA), ilk önce numunede

10 kPa gerilme oluşturacak yükleme ile 10 dakika hazırlık yüklemesi yapmıştır. Bu süre sonunda sensörlerde meydana gelen değişim, bilgisayar tarafından otomatik olarak sıfırlanıp ve gerilme değeri 100 kPa’a çıkartılıp 1 saat sürecek deney başlamaktadır. 1 saat süre içerisinde bilgisayar her 4 saniyede düşey deformasyonları kaydetmekte ve sonuçta sünme rijitliği değerini vermektedir. Şekil 12’de “D” numunelerine ait şekil değiştirme–zaman ilişkisi, Şekil 13’de ise numunelerin sünme rijitliği değerleri grafiksel olarak verilmiştir.

Şekil 13 incelendiğinde diğer deneylerde olduğu gibi tek aşamalı olarak karıştırılan kontrol numunelerinde düşük penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılması ile sünme rijitliği değerlerinin arttığı, kontrol numuneleri içinde % 5 SBS katkılı asfalt çimentosu ile hazırlanmış numunenin (D) en yüksek sünme rijitliği değerine sahip olduğu görülmektedir. İki aşamada da aynı bağlayıcının kullanıldığı numunelerin (AA, BB, CC, DD) sünme rijitlikleri, kontrol numunelerinin (A, B, C, D) değerlerine göre sırası ile %7.03 - % 22.94 - % 18.56 - % 17.32 artış sağlamıştır.

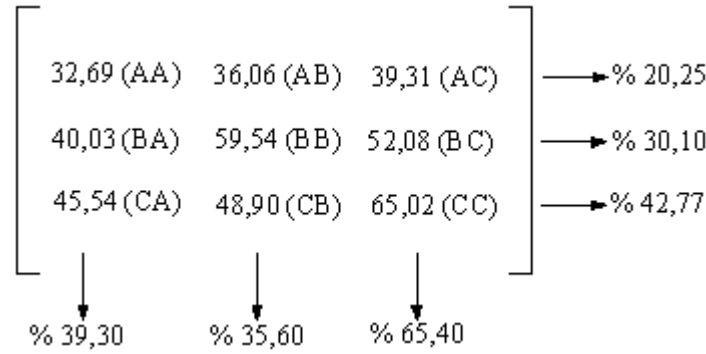


Şekil 12. Birikimli şekil değiştirme – zaman ilişkisi.



Şekil 13. Sünme rijitliği değerleri.

Değişik penetrasyonlu asfalt çimentolarının kombinasyonları ile oluşturulmuş sünme rijitliği değerlerini içeren matris Şekil 14’de verilmiştir.



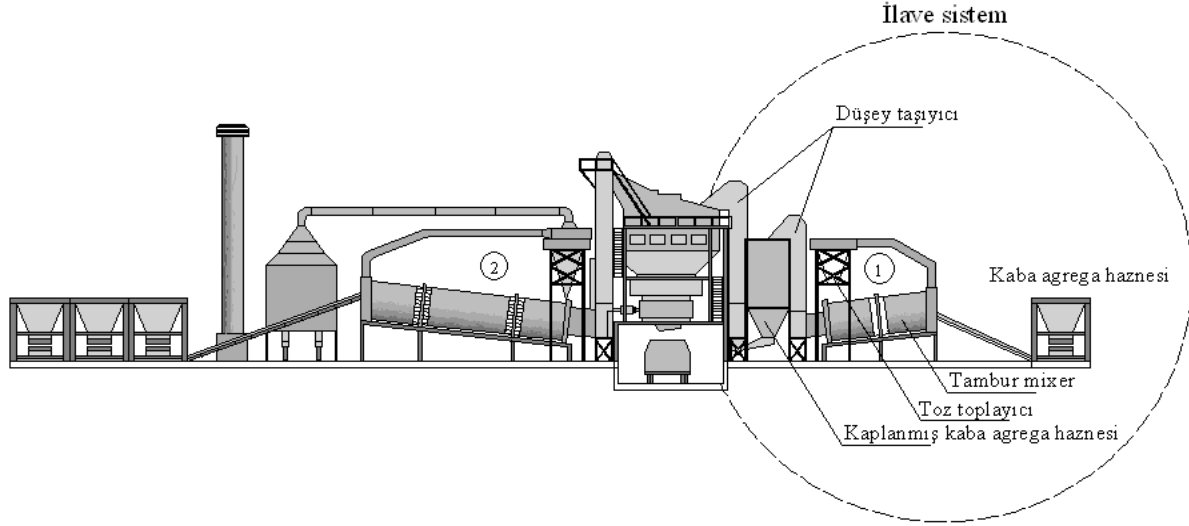
Şekil 14. Matris formundaki sünme rijitliği değerleri.

Matrisin satırları ve sütunlarında 1. ve 3. terimleri arasındaki fark incelendiğinde düşey yöndeki artışların bu deney yönteminde de yataydaki artışlardan fazla olduğu dolayısıyla ilk aşamada kullanılan bağlayıcının önemli bir etkiye sahip olduğu kabul edilebilir. Numunelerin uzun süreli deformasyon davranışı hakkında bilgi veren bu deney yönteminde diğerlerine göre daha sert bağlayıcı ile hazırlanmış olan “CC” numunesi en yüksek sünme rijitliği değerini almıştır. Buna karşın “BC” ve “CB” numunelerindeki bağlayıcıların ortalama serlikleri “BB” numunesinden fazla olmasına rağmen “BB” numunesinden daha düşük sünme rijitliği değerine sahip olmaları, “BB” numunesinde daha iyi mekanik kenetlenme ve adezyon gerçekleştiğine bir kez daha işaret etmektedir.

İki Aşamalı Karıştırma Sistemi İçin Tasarlanan Asfalt Plenti

BSK’ların iki aşamalı karıştırma sistemine uygun olarak üretilebilmeleri için harman ve kazan tipi plentlerin bir arada kullanıldığı bir asfalt plenti tasarlanmıştır. Bu kombine sistemde, kaba agreganın önceden kaplandığı

I.aşama işlemi kazan tipi plente yapılmaktadır. İnce agrega, filler ve kaplanmış kaba agreganın karıştırıldığı II.aşama işlemi ise harman tipi plente yapılmaktadır. Şekil 15’te harman ve kazan tipi plentlerin birarada dizayn edilmiş durumları verilmiştir. Burada kaba agrega 1 nolu tambur mikserde kurutulup ısıtıldıktan sonra aynı mikserde bağlayıcı ilave edilerek ön kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra kaplanan kaba agrega 1 saatlik kür işlemi için düşey taşıyıcılarla sıcak depoya taşınmaktadır. Kür işlemi sırasında sistemin diğer tarafında ince agrega ve filler, 2 nolu kurutucudan geçip düşey taşıyıcılarla harman kulesindeki eleklerle taşınıp buradan da karıştırma ünitesine gelmektedir. Karıştırma ünitesindeki ince agrega ve filler belirlenen bağlayıcı oranı ile karıştırılmaktadır. Bu esnada kür süresini tamamlayan kaplanmış kaba agrega da düşey taşıyıcılarla karıştırıcıya taşınıp burada ince agrega filler ve kaplanmış kaba agrega bir müddet daha beraber karıştırıldıktan sonra üretim tamamlanmaktadır. İki aşamalı karıştırma sisteminde kaba agreganın kaplanması işlemine 1 saat önce başlanması, kür sırasında geçen zamanı telafi ederek üretimin kesintiye uğramamasını temin edecektir.



Şekil 15. İki aşamalı karıştırma sistemi için tasarlanmış asfalt plenti.

Sonuç

Bu çalışmada BSK'ların üretiminde yeni bir karıştırma yöntemi olarak iki aşamalı karıştırma sistemi geliştirilmiştir. İki aşamalı karıştırma sisteminde birinci aşamada kaba agreganın kaplanması işinde kullanılan bağlayıcının önemli derecede etkiye sahip olduğu, bu bağlayıcının adezyon ve kohezyon özelliklerinin ikinci aşamada kullanılan bağlayıcıdan daha iyi olması gerektiği sonucuna varılmıştır. İki aşamalı karıştırma sistemi ile hazırlanmış, her iki aşamasında da aynı bağlayıcının kullanıldığı numunelerin Marshall stabilite değerlerinde kontrol numunelerine göre %8-%15 oranında, indirek çekme mukavemeti oranı değerlerinde %6-%10 oranında, rijitlik modülü değerlerinde %15-%27 oranında, sünme rijitliği değerlerinde ise %7-%23 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca iki aşamalı karıştırma sisteminin iyileştirme etkisinin SBS modifiyeli karışımlarda daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures. ASTM D4867.
- Bagampadde, U., Isacson, U., Kiggundu, B.M. 2005. Influence of Aggregate Chemical and Mineralogical Composition on Stripping in Bituminous Mixtures. International Journal of Pavement Engineering, 6, 229-239.
- British Standards Institution. 1993. Method for the Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures. DD-213.
- Çelikten, E., 1996. Adhesion of Asphalt Emulsions. Master Thesis, Dokuz Eylül University The Institute of Science and Engineering, İzmir, 22s.

- DiVito, J.A., Morris, G.R. 1982. Silane Pretreatment of Mineral Aggregate to Prevent Stripping in Flexible Pavements. Transportation Research Record, 843, 104-11.
- Epps, A.L., Glover, J.C., Barcena, R. 2001. A Performance-Graded Binder Specification for Surface Treatments. Texas Transportation Institute, Research Report, 1710-1.
- Hanyu, A., Ueno, S., Kasahara, A., Saito, K. 2005. Effect of The Morphology of SBS Modified Asphalt on Mechanical Properties of Binder and Mixture. Journal of The Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 1153 – 1167.
- Kandhal, P.S., Motter, J.B. 1991. Criteria For accepting Precoated Aggregates For Seal Coats and Surface Treatments. Transportation Research Board, 1300, pp.80-89
- Kiggundu, B.M., Bagampadde U., Mukunya, J.S. 2002. Exploratory Stripping Studies on Bituminous Mixtures in Uganda. Water Damage Symposium, Laramie, WY.
- Kumar, P., Chandra, S., Bose, S. 2006. Strength Characteristics of Polymer Modified Mixes. International Journal of Pavement Engineering, 7, 63 – 71.
- Logaraj, S. 2002. Chemistry of Asphalt Aggregate Interaction – Influence of Additives. Moisture Damage Symposium, Laramie, WY.
- Plancher, H., Dorrence, S., Petersen, J.C. 1977. Identification of Chemical Types in Asphalts Strongly Absorbed at the Asphalt-Aggregate Interface and Their Relative Displacement by Water. Proc., Association of Asphalt Paving Technologists, 46, 151–175.
- Shuler, S. 1991. Chip Seals For High Traffic Pavements. Transportation Research Record 1259, TRB, National Research Council, Washington, D.C. pp. 24-34.

- Sigurjonsson, S., Ruth, E.B. 1991. Correlation Between Field and Laboratory Performance of Liquid Asphalt-Based Seal Coats. Transportation Research Record 1259, TRB, National Research Council, Washington, D.C. pp. 53-62.
- Şengöz B., Isıkyakar G. 2008. Analysis of Styrene-Butadiene-Styrene Polymer Modified Bitumen Using Fluorescent Microscopy and Conventional Test Methods. Journal of Construction and Building Materials 150, 424-432.
- Terrel, R.L., Shute, J.W. 1989. Summary Report on Water Sensitivity. SHRP-A/IR-89-003. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
- Thomas, K., McKay, J., Branthaver, J.F. 2002. Asphalt Chemistry and its Relationship to Moisture Damage. Moisture Damage Symposium, Laramie, WY.
- Tunç, A. 2000. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Atlas, İstanbul. 169 s.
- Yoon, H.H., Tarrer, A.R. 1998. Effect of Aggregate Properties on Stripping. Transportation Research Record, 1171, pp.37-43.