

SBS Polimeri ve Su Hasarı Önleyici Katkıların Asfalt Kaplamalarda Performans Karşılaştırması

Atakan AKSOY*
Erol İSKENDER**
Şeref ORUÇ***
Halit ÖZEN****

ÖZ

Bu araştırmanın amacı SBS polimer ve yağ asidi türevli amin modifiye asfaltların performans karşılaştırmasıdır. Laboratuarda üretilen geleneksel ve modifiye briketlerle, kontrol ve su hasarına dayalı iki koşullama sisteminin uygulandığı üç deney grubu oluşturulmuştur. Çatlama direnci için dolaylı çekme mukavemeti 10°C ve 20°C sıcaklıkta, karışımların yük dağıtım kapasitesi ve su hasarı problemini irdelemek için de dolaylı çekme mukavemeti ve dolaylı çekme deneyleri 20°C sıcaklıkta üç yüklü sürede uygulanmıştır. Her iki katkının da mekanik özellikleri geleneksel karışımlara göre iyileştirdiği, SBS modifiye karışımların amin ile modifiye edilenlere göre daha yüksek esneklik modülü değeri verdiği, genelde daha yüksek çatlama direnci gösterdiği anlaşılmıştır. Su hasarı için, yüksek yükleme süreleri ve ağırlaşan koşullandırma sistemlerinde SBS modifiye karışımlar daha yüksek performans oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: koşullandırma sistemleri, su hasarı, SBS, soyulma önleyici katkı

ABSTRACT

Performance Comparison of SBS Modified and Fatty Amine Modified Asphalt Mixes

The purpose of this study is to compare the performances of SBS polymer and fatty amine modified asphalt mixtures. With the laboratory produced traditional and modified Marshall Briquettes, three experimental test groups in which one control and two conditioning systems based on moisture damage application were created. Indirect tension strength test for cracking resistance was conducted at 10°C and 20°C, while indirect tension strength test and indirect tension test were carried out at 20°C in three loaded periods to investigate the load distribution capacity of mixtures and moisture damage problem. It was understood that

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 07.04.2009 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Avrasya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - aaksoyau@gmail.com

** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - eiskender@ktu.edu.tr

*** Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - oruc@ktu.edu.tr

**** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - halitozen@hotmail.com

both additives ameliorated the mechanical characteristics according to the traditional mixtures. SBS modified mixtures showed higher resilient modulus value than the amine modified ones and proved higher cracking resistance in general. Regarding moisture damage, SBS modified mixtures have higher performance for high loading periods and excessive conditioning systems.

Keywords: conditioning systems, water damage, SBS, fatty amine

1. GİRİŞ

Su hasarı ve kalıcı deformasyon, sıcak karışım asfalt kaplamalarda başlıca hasar biçimleridir. Kaplamaların performansı, asfalt-agrega sisteminde, kohezif ve adezif bağlanma ile ilişkilidir. Kohezyon kaybı (dayanım), asfalt filminin rijitliği, agreganın kırılması veya ayrışması bağlamında asfalt ve agregada arasındaki adezif bağın kaybolması, asfalt kaplamalarda su hasarının esas mekanizmaları olarak tanımlanır. Adezyon kaybı, asfalt ve agregada arasındaki bağın suyla zayıflamasından ve asfalt filminin soyulmasından kaynaklanır. Kohezyon kaybı, asfalt betonu mastiğinin yumuşamasından oluşur. Kaplama, bu iki mekanizmanın aynı anda varlığında su hasarına maruz kalır. Bununla birlikte, su hasarı, asfalt bağlayıcıdaki değişiklikler, asfalt film kalınlığındaki azalma, agregada kalitesindeki farklılıklar, seçilen tasarım farklılıkları ve düşük kalite kontrolü gibi faktörlerin fonksiyonu olarak ta gelişmektedir[1]. Sıcak karışım asfaltların su hasarı duyarlılığı kaplamanın hasarında önemlidir. Su hasarı, sıcak karışımların içsel dayanımını azalttığına, trafik yüklerinden kaynaklanan gerilmeler büyük oranda artmakta, premature tekerlek izine, sökülme, yorulma çatlamasına neden olmaktadır [2].

Su hasarından kaynaklanan deformasyonu kontrol etmek için su hasarı (soyulma) önleyici katkıların kullanımı öne çıkmaktadır. Su hasarı önleyici katkıları; bitüm ve agregada arasındaki bağı arttırmak ve bitümün daha düşük yüzey gerilmesi ile ıslanmayı arttırmak (bitüm ıslatması-wettability) için kullanılır. Pratikte uygulanan ya da laboratuarda test edilen katkıları, geleneksel sıvı katkıları, metal iyonu yüzey ajan katkıları, sönmüş kireci, silan katkıları ve silikonları içermektedir [3].

Su hasarını azaltma yöntemleri, polimer modifiye bitümlerin kullanımını da içermektedir [4].

SBS blok kopolimerleri, bitümün elastikliğini arttırdığı için elastomerler olarak sınıflandırılır. Bitüm modifikasyonu için en uygun polimerler bilinir. Düşük sıcaklık esnekliği artırılmasına rağmen, yüksek sıcaklıklarda dayanımda ve penetrasyon direncinde azalma gözlemlendiği dile getirilmektedir [5].

Su hasarını kontrol etmek için, polimer modifiye bitümlerin kullanımı sınırlı olmasına karşın, bazı polimerlerin soyulma önleyici katkı olarak rol oynadığı da dile getirilmektedir [6].

Polimer modifiye sistemli karışımların büyük oranda daha az su hasarı gösterdiği, su hasarı karakteristiklerinin iyileştiği, bitümde ağ şebekesi kurarak artırılmış agregada adezyonu sağladığı vurgulanmaktadır [7-9].

Bu araştırmanın amacı, asfalt kaplamalarda farklı türdeki katkı malzemeleri olarak, elastomerik polimer SBS katkı maddesi ile soyulma önleyici katkı olan yağ asidi türevli

amin katkısının seçilen mühendislik performans kriterleri bağlamında, rölatif etkinliklerini, karşılaştırmalı olarak incelemektir. Performans kriteri olarak; çatlama direnci için dolaylı çekme mukavemeti deneyi, karışımların yük yayma davranışlarını ve su hasarını irdelemek için de dolaylı çekme mukavemeti ve dolaylı çekme deneyleri uygulanmıştır.

2. YÖNTEM

Asfalt kaplamalarda elastomerik polimer SBS katkı maddesi ile soyulma önleyici katkı olan yağ asidi türevli amin katkısının rölatif etkinliklerini incelemek için, laboratuarda üç seçenekte (geleneksel, SBS katkılı ve AS katkılı) hazırlanan briketler üçer gruba bölünmüştür. Birinci gruba (kontrol grubu) koşullandırma uygulanmamıştır. İkinci gruba donma-çözölmeye dayalı su hasarı koşullandırma sistemi ve üçüncü gruba da donma-çözölmeye döngülü su hasarı ile sıcak suda bekletmeli su hasarı birlikte uygulanmıştır. Koşullu ve koşulsuz örnekler üzerinde dolaylı çekme testi yapılmıştır. Dolaylı çekme mukavemeti 10°C ve 20°C sıcaklıklarda, dolaylı çekme modülü ise 20°C sıcaklıkta belirlenmiştir.

2.1. Koşullandırma sistemleri

Çalışmada koşulsuz briketler yanında iki değişik koşullandırma sistemine tabi tutulan briketler de kullanılmıştır.

Birinci koşullandırma türünde, koşullandırılacak örnekler ikişerli gruplar halinde içerisi su dolu plastik kaba konulmuştur. Su içerisindeki örnekler -15°C'ye kadar soğutma yapabilen dondurucu kabin içerisine konulmuştur. Koşullandırma, 3 gün su içerisinde -15°C'de, 1 gün oda sıcaklığında su içerisinde olmak üzere 3 defa tekrarlanmıştır. Buz tamamen çözöldüğünde koşullandırma işlemi bitmeden su kesinlikle boşaltılmamıştır. Plastik kaba konulan örnekler 12 gün sonra kaptan çıkartılmıştır. Koşullandırılan örneklerin çözölmeleri sırasındaki resimleri belirli aralıklarla çekilerek Şekil 1'de gösterilmiştir.

İkinci koşullandırma sisteminde, örnekler birinci koşullandırmaya tabi tutulduktan sonra oda sıcaklığında ve kuru ortamda 24 saat bekletilmiştir. Ardından, örnekler, 72 saat süre ile 60°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilmiştir. Örneklerin koşullandırma sisteminden aynı miktarda etkilenmeleri için tek bir seferde, aralarında yeterince boşluk kalacak şekilde su banyosuna daldırılmışlardır.



Şekil 1. Örneklerin donma-çözölmeye görüntüleri[10].

2.2. Dolaylı çekme mukavemetinin belirlenmesi

Dolaylı çekme mukavemeti deneyi, daha çok kaplamanın çatlama özelliğiyle ilgili olarak asfalt betonunun çekme özelliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu deney, karşılıklı iki yükleme çubuğu ile örneğin eksen düzlemi boyunca basınç yükü uygulanması şeklinde özetlenebilmektedir. Bu yükleme şekli üniform çekme gerilmesi oluşturmakta ve genellikle örnek, yükleme düzlemi boyunca kırılmaktadır [11].

Marshall örnekleri kullanılabilir ve deneyi yapmak kolaydır. Yüzey bozuklukları sonucu önemli derecede etkilememektedir ve deney sonucunun varyasyon katsayısı düşüktür [12].

Deney ekipmanı olarak Marshall stabilitesi deney aleti ve dolaylı çekme gerilmesi deney donanımı (ASTM D4123) kullanılmıştır. Koşulsuz ve koşullu örneklere üçerli gruplar halinde 10°C ve 20°C sıcaklıkta deney yapılmıştır. Üç örneğin dolaylı çekme mukavemeti değerinin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır.

2.3. Dolaylı çekme modulusunun belirlenmesi

Dolaylı çekme deneyi (ASTM D4123) ile ölçülen asfalt kaplamaların esneklik modülü, elastik özelliği değerlendirmede kullanılan en gözde gerilme-şekil değiştirme modülüdür. Esneklik modülü, asfalt karışımların soyulmasını, yorulmasını ve düşük sıcaklık çatlama değerlendirmede gösterge olarak ve ayrıca diğer bilgiler ile birlikte optimum kalınlık tasarımında elastik teori modeline girdi olarak kullanılabilir [13].

Dolaylı çekme deneyi Nottingham asfalt deney aletinde (NAT) Tablo 1'de belirtilen ölçütlerde yapılmıştır. Her koşul için iki örnek kullanılmıştır.

Tablo 1. Dolaylı çekme deneylerinde uygulanan ölçütler

Deney ölçütü	Değer
Deney uygulama sıcaklığı (°C)	20
Tahmini Poisson oranı	0,35
Deney yükleme periyodu (ms)	2000
Koşullandırma yükleme periyodu (ms)	2000
Koşullandırma yükleme sayısı	3
Yüklü süre (rise time)(ms)	40-60-80
Yük (N)	1000

2.4. Materyal

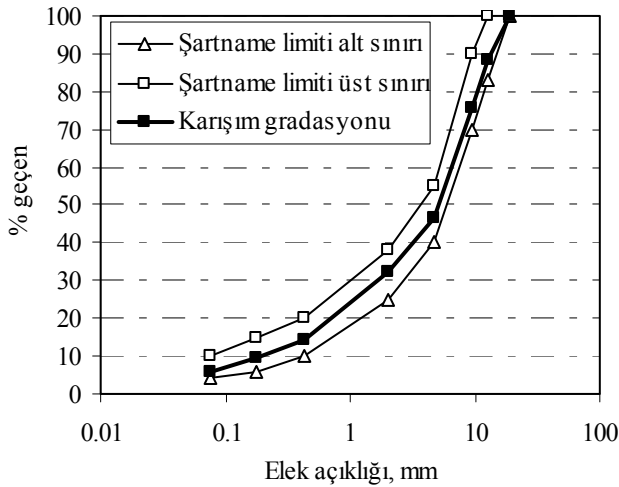
Agrega, Araklı-Dağbaşı İl Yolu 32+750km'deki Sularbaşı taş ocağından alınan kayaçların Dulköy mevkiindeki konkasör tesislerinde kırılması ile üretilmiştir. Üç grup agregaya ile (3/4"-3/8", 3/8"-No:4 ve No:4-0) aşınma tabakası tasarımı yapılmış ve agregaya deney sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. Agregaya karışımının tane boyutu dağılımı ve şartname limitleri Tablo 3 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo2. Agrega deney sonuçları

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık % kayıp	ASTM C-88	2.30
Aşınma kaybı %'si	ASTM C-131	9.60
Absorbsiyon %'si	ASTM C-127	0.85
Yassılık indeksi %	BS 812 (part 105)	14.70
Likit limit	TS 1900	N.P.
Soyulma mukavemeti (AC 60–70 ile)	ASTM D-1664	30–35

Tablo 3. Tasarıma esas alınan tane boyutu ve karışımın tane boyutu dağılımları

Elek açıklığı mm	(19–9.5) mm % geçen	(9.5–4.75) mm % geçen	(4.75–0) mm % geçen	Karışım % geçen	Şartname limiti % geçen
19.1	100			100	100
12.7	61.9			88.2	83–100
9.52	22.1	100.0		75.9	70–90
4.76	1.7	5.2	100.0	46.4	40–55
2.00	1.6	1.8	69.5	32.2	25–38
0.425	1.5	1.6	29.9	14.3	10–20
0.177	1.4	1.4	19.3	9.4	6–15
0.075	1.3	1.2	11.8	6.0	4–10



Şekil 2. Agrega karışımının tane boyutu dağılımı eğrisi

Çalışmada 60–70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır. Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve bunların sonuçları Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo4. Asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları

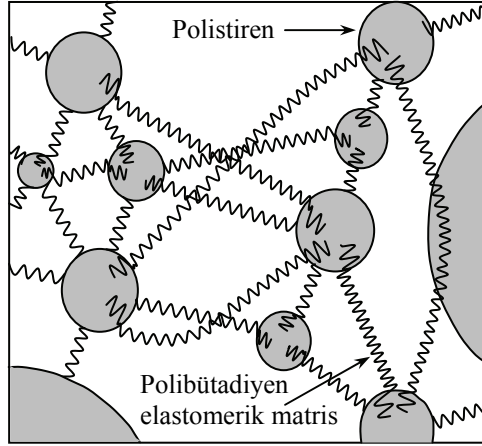
Deney	Yöntem	Birim	Değer
Özgül ağırlık (25°C)	ASTM D-70	gr/cm ³	1.024
Parlama noktası	ASTM D-92	°C	300
Penetrasyon (25°C)	ASTM D-5	0.1 mm	64
Düktilite (25°C)	ASTM D-113	cm	100+
Isıtma kaybı (163°C)		%	0.05
Isıtma kaybı penet. /Oriijinal penetrasyon	ASTM D-5	%	57.8
Isıtma kaybindan sonra düktilite	ASTM D-113	cm	51.5+
Yumuşama noktası	ASTM D-36	°C	55

Geleneksel (Katkısız-kontrol) karışımlar ile birlikte stiren bütadien stiren (SBS) ve soyulma önleyici amin katkısı (AS) ile modifiye edilmiş karışımlar da hazırlanmıştır. SBS, bitümün %5'i oranında, bitüme eklenerek modifiye bitüm elde edilmiştir. AS sıvı katkısı ise bitümün %0.4'ü oranında katılmıştır.

SBS katkısının genel görünümü ve yapısı Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir. Bitümün SBS ile modifikasyonundan önce, karışımların istenmeyen oksidasyonu gibi ters etkilerden kaçınmak için SBS'nin yapışmamış toz halinde olup olmadığı kontrol edilmiştir. Düşük hızda karıştırma operasyonu ile daha önceden 180°C'ye kadar ısıtılan bitüm içerisine, polimer tozlarının kümeleşmesinden kaçınmak için yavaş yavaş katılmıştır. SBS eklenmesinden sonra karıştırma hızı artırılmış ve 2 saat daha karıştırmaya devam edilmiştir. Karıştırmadan sonra, 160°C sıcaklıkta 1 saat dinlendirilmiştir. Polimer ve asfalt arasında faz ayrışması gözlemlenmemiş ve modifikasyonun uygun olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 3. SBS katkısının görünümü[10].



Şekil 4. SBS Katkısının üç boyutlu görünümü[14].

AS sıvı bir katkıdır ve özellikle iyi ısıl stabilitenin gerekli olduğu sıcak karışım asfaltlar için tasarlanmıştır. AS katkısı, 170°C'ye kadar olan sıcaklıklarda önemli bir işlev kaybı olmaksızın 5 güne kadar sıcak bitüm içerisinde depolanabilmektedir. AS dozajı kullanılan bitüm ve agreganın tipine bağlıdır. Genellikle bitüme, bitüm ağırlığının %0,2 ile %0,4'ü arasında eklenmektedir [15]. Bu katkı maddesi bitüme, bitümün %0,4'ü oranında katılmıştır. Katkının genel özellikleri Tablo 5'te ve görünümü de Şekil 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. AS katkısının fiziksel ve kimyasal özellikleri [15].

Özellik	Değer
20°C de görünüş	Kahverengi, viskoz sıvı
20°C deki yoğunluk, kg/m ³	980
Bulutlanma noktası, °C	<0
Parlama noktası, °C	>218
Kaynama noktası, °C	>200
Erime noktası, °C	<-20
20°C deki viskozite, mPas	≅ 800
%5 konsantrasyonlu çözeltideki pH değeri	≅ 11
Sudaki çözünürlük	Emülsiyonlaşabilir
Diğer çözücülerdeki çözünürlük	Ethanol ve asetonda çözünebilir



Şekil 5. AS katkısının görünümü[10].

2.5. Marshall deneyine göre yapılan hesaplamalar ve karışım özellikleri

Laboratuarda, %4, %4,5, %5, %5,5, %6 ve %6,5 bitüm içeriklerinde üçerli gruplar halinde 18 adet geleneksel Marshall briketi üretilmiştir. Optimum bitüm içeriği, %4 hava boşluğunu veren bitüm yüzdesi olarak alınmış ve %5.15 olarak tespit edilmiştir. Optimum bitüm içeriğindeki karışım özellikleri Tablo 6'da sunulmuştur. %5.15 bitüm içeriğinde geleneksel (katkısız), SBS elastomerik polimer katkılı ve AS soyulma önleyici katkılı 24'er adet 4 inç çaplı Marshall briketi üretilmiştir. Briketlerin özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Optimum bitüm içeriğindeki deney sonuçları

Optimum bitüm, %	5.15
Boşluk, %	4.00
Pratik yoğunluk, gr/cm ³	2.51
Asfaltla dolu boşluk, %	72
Akma, mm	3.2
VMA, %	14.70
Stabilite, kg	1530

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

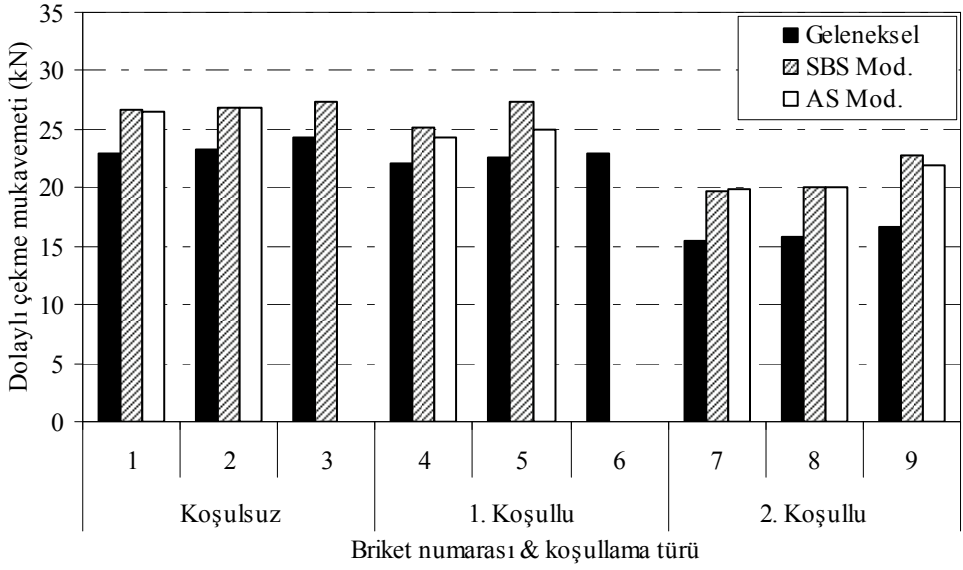
3.1. Dolaylı çekme mukavemeti

Geleneksel ve modifiye bitümlerle hazırlanan Marshall briketlerine 10°C ve 20°C sıcaklıklarda dolaylı çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Briketler, koşulsuz ve iki farklı koşullama sisteminde hazırlanmıştır. Deney sonuçları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. 3 ve 6 numaralı AS modifiye bitümlü briketin ve 4 numaralı SBS modifiye bitümle üretilen briketin dayanımları, Marshall stabilite cihazının gücünü aştığından (27.5 kN), tespit edilememiştir.

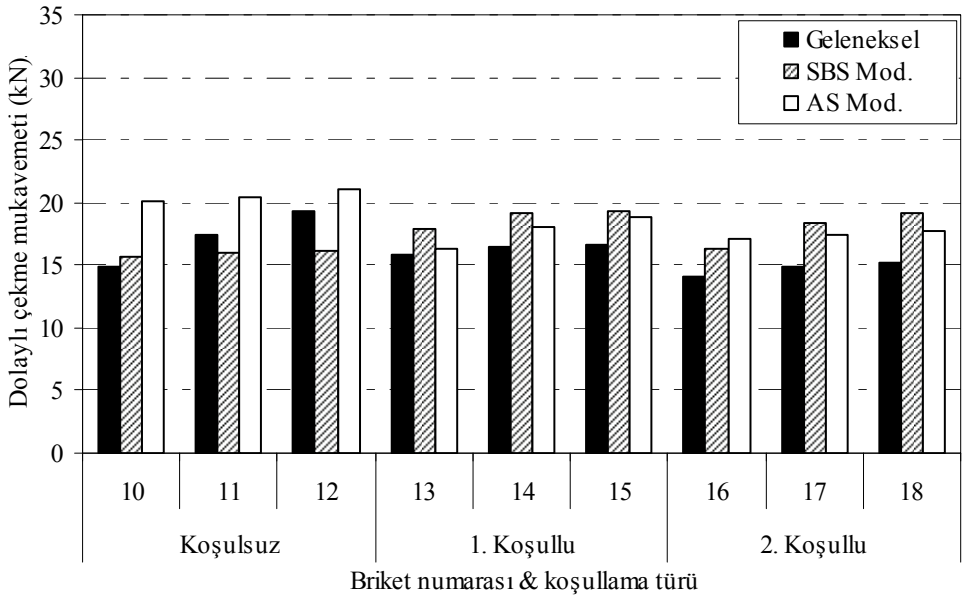
Tablo 7. Geleneksel ve modifiye bitüm ile hazırlanan Marshall briketlerinin bazı özellikleri

Briket No	Geleneksel Briketler										SBS Modifiyeli Briketler										AS Modifiyeli Briketler									
	H (mm)	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	H (mm)	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	H (mm)	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	H (mm)	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)	H (mm)	Dp (gr/cm ³)	Vh (%)	VMA (%)	Vf (%)					
1	59.6	2.532	3.3	14.1	76.7	62.3	2.511	4.1	14.8	72.4	60.2	2.532	3.3	14.1	76.7	62.3	2.511	4.1	14.8	72.4	60.2	2.532	3.3	14.1	76.7					
2	60.7	2.522	3.7	14.4	74.7	62.2	2.503	4.4	15.1	70.9	61.5	2.521	3.7	14.5	74.3	61.5	2.521	3.7	14.5	74.3	61.5	2.521	3.7	14.5	74.3					
3	60.3	2.516	3.9	14.6	73.5	60.8	2.502	4.4	15.1	70.7	60.9	2.526	3.5	14.3	75.4	60.9	2.526	3.5	14.3	75.4	60.9	2.526	3.5	14.3	75.4					
4	60.0	2.522	3.7	14.4	74.6	61.2	2.503	4.4	15.1	70.8	61.2	2.506	4.3	15.0	71.5	61.2	2.506	4.3	15.0	71.5	61.2	2.506	4.3	15.0	71.5					
5	60.5	2.518	3.8	14.6	73.9	61.3	2.505	4.3	15.0	71.3	60.3	2.530	3.4	14.2	76.2	60.3	2.530	3.4	14.2	76.2	60.3	2.530	3.4	14.2	76.2					
6	60.2	2.532	3.3	14.1	76.7	62.2	2.516	3.9	14.6	73.5	61.2	2.510	4.1	14.8	72.3	61.2	2.510	4.1	14.8	72.3	61.2	2.510	4.1	14.8	72.3					
7	60.6	2.519	3.8	14.5	74.0	60.7	2.507	4.2	15.0	71.6	61.3	2.520	3.7	14.5	74.3	61.3	2.520	3.7	14.5	74.3	61.3	2.520	3.7	14.5	74.3					
8	59.7	2.525	3.6	14.3	75.2	61.3	2.503	4.4	15.1	71.0	61.3	2.525	3.6	14.3	75.2	61.3	2.525	3.6	14.3	75.2	61.3	2.525	3.6	14.3	75.2					
9	60.7	2.527	3.5	14.3	75.6	60.6	2.513	4.0	14.8	72.8	61.4	2.501	4.5	15.1	70.5	61.4	2.501	4.5	15.1	70.5	61.4	2.501	4.5	15.1	70.5					
10	60.7	2.524	3.6	14.4	75.0	62.1	2.482	5.2	15.8	67.1	61.0	2.507	4.2	15.0	71.6	61.0	2.507	4.2	15.0	71.6	61.0	2.507	4.2	15.0	71.6					
11	60.7	2.525	3.6	14.3	75.2	62.3	2.507	4.2	14.9	71.7	60.6	2.522	3.7	14.4	74.6	60.6	2.522	3.7	14.4	74.6	60.6	2.522	3.7	14.4	74.6					
12	60.8	2.526	3.5	14.3	75.5	61.2	2.514	4.0	14.7	73.1	61.2	2.520	3.7	14.5	74.2	61.2	2.520	3.7	14.5	74.2	61.2	2.520	3.7	14.5	74.2					
13	59.7	2.519	3.8	14.5	74.0	61.2	2.509	4.2	14.9	72.1	61.3	2.508	4.2	14.9	71.8	61.3	2.508	4.2	14.9	71.8	61.3	2.508	4.2	14.9	71.8					
14	60.1	2.517	3.9	14.6	73.6	60.9	2.506	4.3	15.0	71.5	61.1	2.502	4.4	15.1	70.7	61.1	2.502	4.4	15.1	70.7	61.1	2.502	4.4	15.1	70.7					
15	60.9	2.525	3.6	14.3	75.2	62.2	2.500	4.5	15.2	70.4	61.6	2.503	4.4	15.1	71.0	61.6	2.503	4.4	15.1	71.0	61.6	2.503	4.4	15.1	71.0					
16	60.1	2.507	4.2	14.9	71.6	62.0	2.508	4.2	14.9	71.9	60.3	2.510	4.1	14.8	72.3	60.3	2.510	4.1	14.8	72.3	60.3	2.510	4.1	14.8	72.3					
17	60.5	2.520	3.7	14.5	74.2	60.5	2.502	4.4	15.1	70.7	60.5	2.509	4.2	14.9	72.1	60.5	2.509	4.2	14.9	72.1	60.5	2.509	4.2	14.9	72.1					
18	59.8	2.516	3.9	14.7	73.3	62.2	2.505	4.3	15.0	71.2	60.2	2.521	3.7	14.5	74.4	60.2	2.521	3.7	14.5	74.4	60.2	2.521	3.7	14.5	74.4					
19	60.0	2.528	3.4	14.2	75.9	61.5	2.507	4.2	14.9	71.7	61.2	2.508	4.2	14.9	71.8	61.2	2.508	4.2	14.9	71.8	61.2	2.508	4.2	14.9	71.8					
20	60.6	2.523	3.6	14.4	74.8	61.6	2.510	4.1	14.8	72.3	61.6	2.507	4.2	14.9	71.7	61.6	2.507	4.2	14.9	71.7	61.6	2.507	4.2	14.9	71.7					
21	60.3	2.528	3.4	14.2	76.0	60.4	2.516	3.9	14.6	73.4	60.8	2.516	3.9	14.6	73.4	60.8	2.516	3.9	14.6	73.4	60.8	2.516	3.9	14.6	73.4					
22	59.3	2.525	3.5	14.3	75.3	62.3	2.512	4.0	14.8	72.6	60.8	2.502	4.4	15.1	70.6	60.8	2.502	4.4	15.1	70.6	60.8	2.502	4.4	15.1	70.6					
23	60.3	2.530	3.4	14.2	76.2	60.4	2.510	4.1	14.8	72.3	60.7	2.521	3.7	14.5	74.4	60.7	2.521	3.7	14.5	74.4	60.7	2.521	3.7	14.5	74.4					
24	59.3	2.529	3.4	14.2	76.1	62.2	2.512	4.1	14.8	72.6	60.9	2.511	4.1	14.8	72.3	60.9	2.511	4.1	14.8	72.3	60.9	2.511	4.1	14.8	72.3					

H: ortalama yükseklik, Dp: Pratik özgül ağırlık, Vf: boşluk, VMA: Mineral agregalar arası boşluk, Vh: asfaltla dolu boşluk

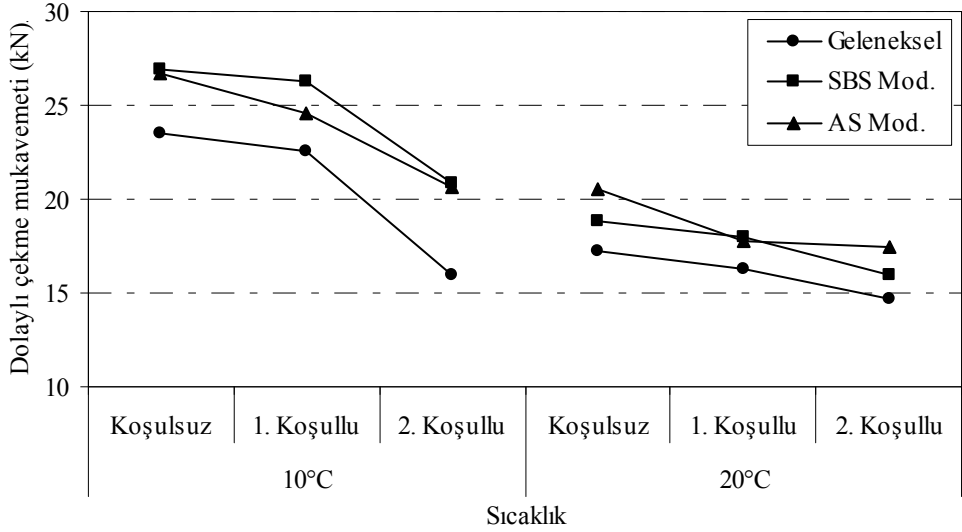


Şekil 6. Karışımların 10°C sıcaklıktaki dayanımları

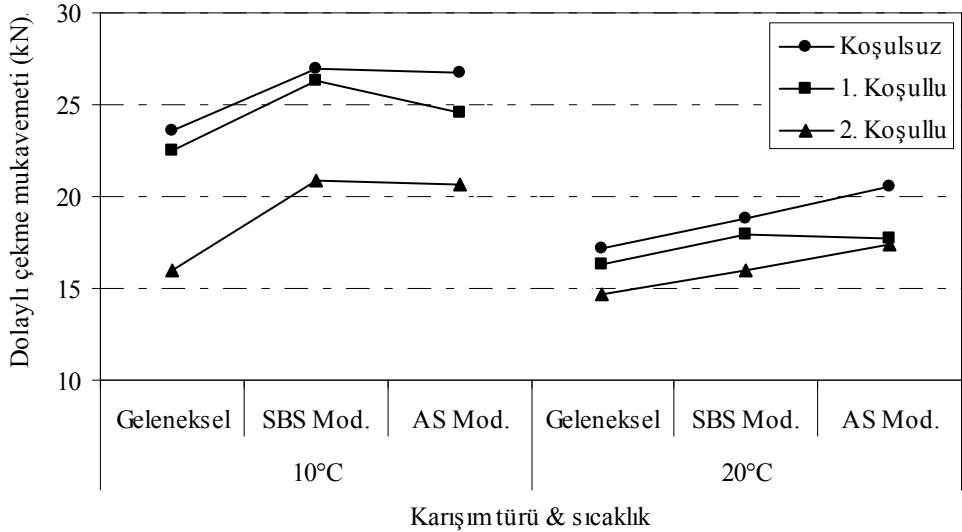


Şekil 7. Karışımların 20°C sıcaklıktaki dayanımları

Aynı gruptaki briketlerin dayanımlarının ortalamaları alınarak, koşullama türüne göre Şekil 8’de ve karışım türüne göre de Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 8. Briketlerin koşullama türüne göre ortalama dayanımları



Şekil 9. Briketlerin karışım türüne göre ortalama dayanımları

Bütün koşullarda modifiye karışımlar katkısız karışımlara göre daha büyük dolaylı çekme mukavemeti değeri vermiştir. 10°C sıcaklıkta SBS modifiye karışımlar bütün koşullarda AS katkılı olanlara göre daha büyük dayanım gösterirken 20°C sıcaklıkta koşulsuz ve 2. koşullandırma sisteminin uygulandığı AS katkılı briketlerin ortalama dayanımlarının SBS katkılı olanlardan daha yüksek olduğu görülmüştür.

Koşullandırma sistemleri karışımların dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. Her seçenekte koşulsuz karışımlar koşullu olanlara göre daha yüksek dayanım vermiştir. Donma çözülme ve sıcak suda bekletmeli su hasarının birlikte uygulandığı 2. koşullandırma sistemindeki briketler en düşük dayanım değerlerini göstermiştir.

Özellikle modifiye karışımlarda 10°C'lik sıcaklık artışıyla birlikte dolaylı çekme mukavemeti değerindeki azalmanın, koşullandırma sistemlerinin neden olduğu azalmadan daha büyük olduğu anlaşılmıştır. Diğer bir deyişle, dolaylı çekme mukavemeti üzerinde, sıcaklığın neden olduğu olumsuz etki, uygulanan koşullama sistemlerinininkinden daha büyük olmuştur.

Su hasarı probleminin incelenmesinde, seçilen mekanik deney yönteminde belirlenen dayanım değerlerinin oransal değerlendirmesi yapılmakta ve su hasarı bu oranlar anlamında yorumlanmaktadır. Su hasarına uğramış karışımın saptanan dayanım değeri, su hasarı görmemiş kontrol karışımın değerine oranlanarak bulunan değerler, modifiye edilmiş karışımların benzer oranlarıyla karşılaştırılmaktadır. Bu anlamda, geleneksel ve katkılı karışımların hasarlı durumdaki dolaylı çekme mukavemeti değerleri, katkısız karışımların hasarsız mukavemet değerlerine oranlanarak Tablo 8 oluşturulmuştur. Her bir seçenek için (katkılı ya da katkısız) üç özdeş örnekle çalışıldığından dolayı, özellikle de köşelilik ve segregasyon durumları dikkate alınarak bulunan mukavemet değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak, oransal değerler için tüm kombinasyonlar hesaplanmıştır.

Tablo 8 incelendiğinde, hem koşulsuz hem de koşullu durumlarda, 10°C ve 20°C sıcaklıklarda, polimer ve soyulma önleyici katkılı karışımlar, katkısız karışımlara göre daha yüksek dolaylı çekme mukavemeti vermektedir. Özdeş briketlerin bireysel olarak değerlendirmesi ile SBS ve soyulma önleyici (AS) katkılı karışımlar, koşullu ve koşulsuz durumlar için, kontrol karışımlara göre daha yüksek oranlar göstermektedir. Bu, katkılarla su hasarı direncinin arttığına açık bir göstergesi olmaktadır. Tablo 8 bireysel oranların tutarlılıkları ile birlikte, ortalama değerleri de sunmaktadır. Ortalama değerler de yorumlandığında, benzer olarak, SBS ve AS katkıların su hasarı direncini arttırdığını göstermektedir. Dikkati çeken önemli bir konu; birinci koşullama sistemi olan ve donma çözülme döngüsüne dayanan hasar sisteminin daha ileri bir hasar sistemi olan ve hem donma çözülme hem de su da bekletme sistemlerini içeren ikinci koşullama sistemine göre daha yüksek oranlar göstermesidir. Yani, su hasarı probleminin geleneksel ve katkılı karışımlar için değerlendirilmesinde, koşullandırma sistemleri arasındaki farklılık ve değişim aralığının belirlenmesi, dolaylı çekme mukavemeti deneylerinde, olanaklı gözükmektedir. Uygulama koşullarında, hasar düzeyinin artması ile katkıların etkinliğinin esas olarak ortaya çıktığı görülmekte, bu da katkı uygulamasının önemini göstermektedir. Su hasarı problemi anlamında veriler ele alınırsa, hem düşük (10°C) hem de orta (20°C) sıcaklık durumunda benzer durum söz konusu olup, SBS polimeri ve AS soyulma önleyici katkısı seçilen ve önerilen katkı oranları için benzer performans düzeyi ortaya koymaktadır. Uygulamada, hem göreceli su doygunluğu hem de donma çözülme hasarlarının birlikte geliştiği gerçeğinden hareketle, 0.85 oran değerinin kabul edilebilir bir direnç düzeyi olarak

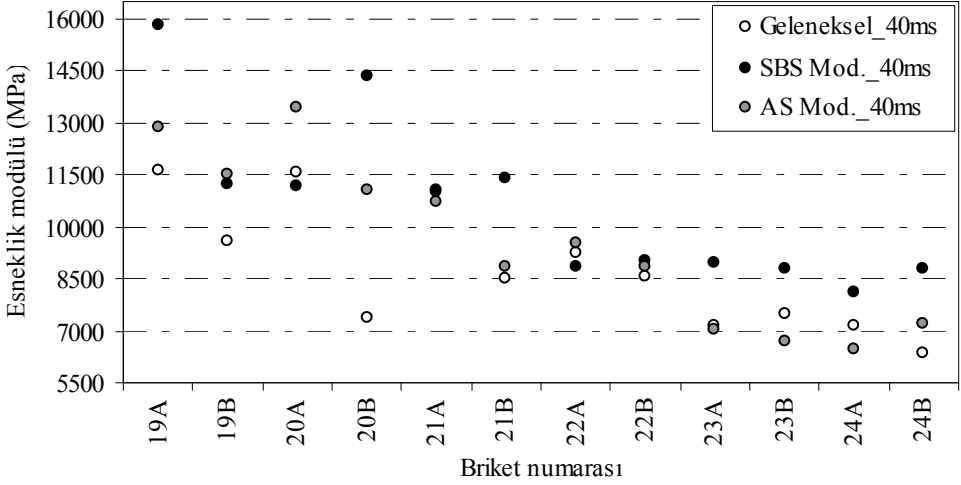
alınması durumunda, 2.koşullama sisteminde, katkılı karışımlar kabul kriterini sağlarken, katkısız karışımlar 10°C sıcaklık durumunda düşük dirençli (fail-başarısız) katkılı karışımlar yeterli dirençli (pass-geçti) görülmektedir. 20°C sıcaklıkta ise, katkısız karışımlar sınırdadır. Ekstrem durum olan 10°C düşük sıcaklığında, su hasarının bu olumsuz etkisi, kendisini düşük sıcaklık çatlaması olarak gösterecektir. Bu bağlamda, dolaylı çekme mukavemeti deneyinin özellikle düşük sıcaklıklarda, çatlama direncinin değerlendirilmesinde kullanıldığı da bilinmektedir. Sonuç olarak, katkılı karışım ister SBS polimeri olsun isterde amin türü bir soyulma önleyici ajan katkısı olsun, su hasarı direnci katkılarla artmakta ve çatlama mukavemeti ise yükselmektedir.

Tablo 8. Katkısız ve katkılı karışımların koşullandırma durumları için oransal hasar değerlendirmesi

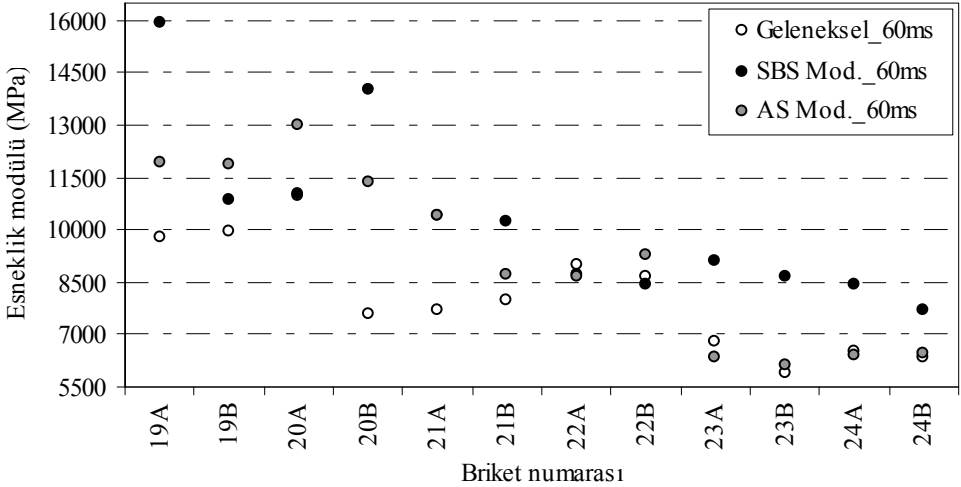
Briket No	DÇM değerleri			DÇM Oranları (bireysel)			DÇM Oranları (ortalama)			
	Kontrol	SBS Mod.	AS	Kontrol	SBS Mod.	AS	Kontrol	SBS Mod.	AS	
Kşsz.	1	22.97	26.60	26.55						
	2	23.30	26.82	26.82						
	3	24.35	27.35	>27,50						
10°C 1. Kşl.	4	22.08	25.12	24.25	0.96	1.09	1.06			
	5	22.54	27.40	24.95	0.97	1.18	1.07	0.96	1.13	1.06
	6	22.94	>27,50	>27,50	0.94	>	>			
2. Kşl.	7	15.39	19.65	19.90	0.67	0.86	0.87			
	8	15.88	20.07	19.99	0.68	0.86	0.86	0.68	0.88	0.87
	9	16.71	22.82	21.92	0.69	0.94	0.90			
Kşsz.	10	14.9	15.75	20.10						
	11	17.39	15.92	20.40						
	12	19.39	16.17	21.10						
20°C 1. Kşl.	13	15.9	17.94	16.36	1.07	1.20	1.10			
	14	16.4	19.12	18.11	0.94	1.10	1.04	0.96	1.10	1.04
	15	16.6	19.40	18.82	0.86	1.00	0.97			
2. Kşl.	16	14.1	16.31	17.10	0.95	1.09	1.15			
	17	14.83	18.37	17.40	0.85	1.06	1.00	0.86	1.05	1.02
	18	15.24	19.23	17.80	0.79	0.99	0.92			

3.2. Dolaylı çekme deneyi

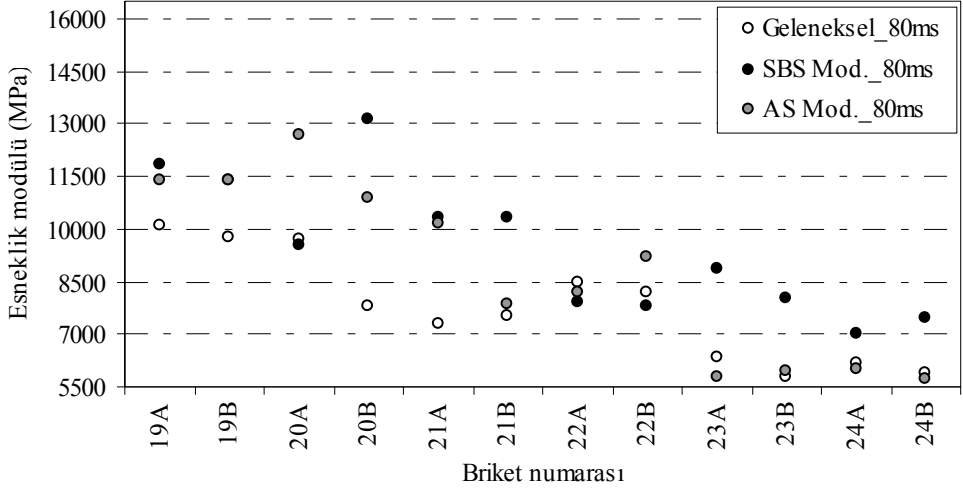
Esneklik modülünün karışımların yük yayma kapasitelerinin en önemli göstergelerinden olduğu bilinmektedir. Laboratuarda üretilen katkısız ve iki farklı modifiyer ile üretilen karışımlara 20°C sıcaklıkta esneklik modülü deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 10.-Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 10. 40ms yüklü süredeki esneklik modülü değerleri

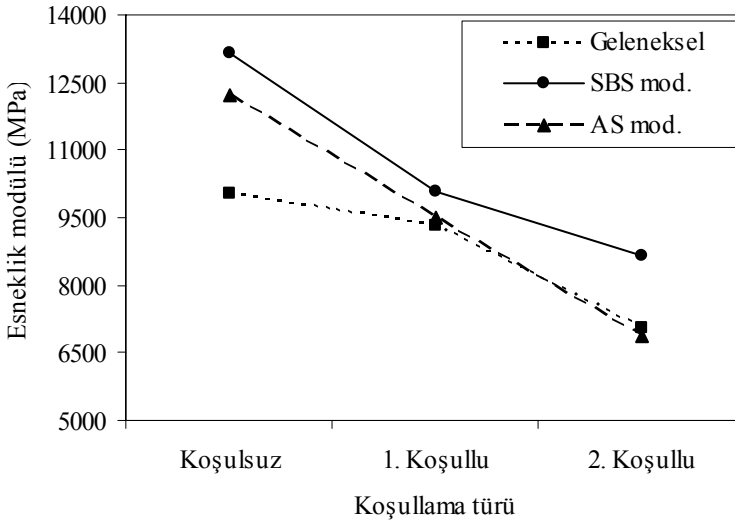


Şekil 11. 60ms yüklü süredeki esneklik modülü değerleri



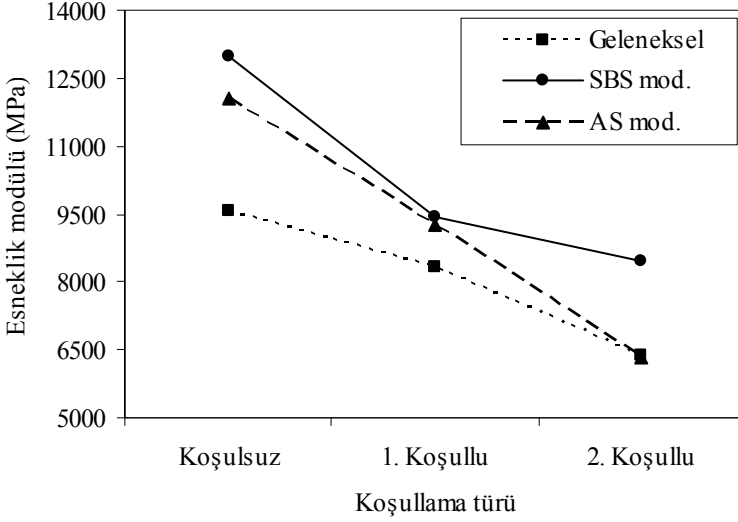
Şekil12. 80ms yüklü süredeki esneklik modülü değerleri

Dolaylı çekme deneyi tahribatsız bir deneydir ve aynı briket üzerinde birbirine dik iki eksen boyunca deney yapılabilir. Şekillerde kullanılan “A” ve “B” harfleri birbirine dik iki eksen ve yatay eksendeki rakamlar da örnek numaralarını ifade etmektedir. Her örnekten iki ölçüm yapılması ve hasarsız bir deney yöntemi olması dolayısıyla, hatalı yapılan veya yanıltıcı sonuç verdiği düşünülen deneylerin tekrarlanabilmesinden dolayı bu test ikişer örnekten oluşan gruplara 40ms, 60ms ve 80ms yüklü sürelerde (rise time) uygulanmıştır. Değerlendirmeler iki örneğe yapılan dört deneyden elde edilen sonuçların ortalamasına göre yapılmıştır.

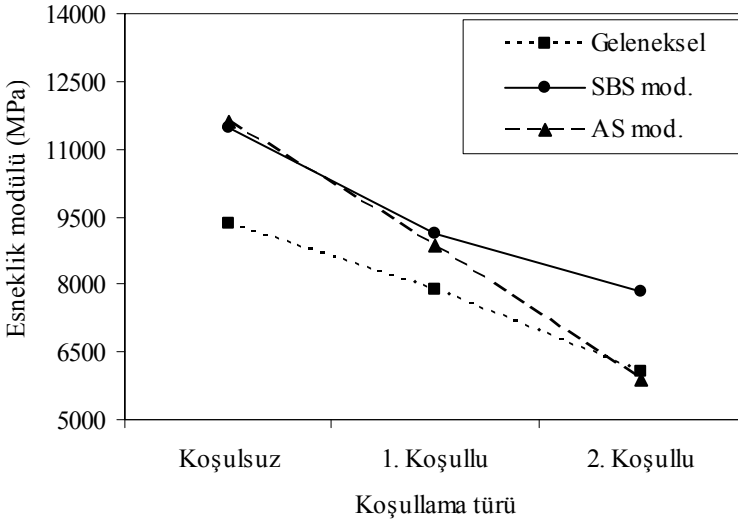


Şekil 13. 40ms yüklü süredeki ortalama esneklik modülleri

Her gruptaki esneklik modülü değerlerinin ortalaması alınarak Şekil 13 - Şekil 15'te verilmiştir. Şekillerden, SBS modifiye karışımların esneklik modüllerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Geleneksel karışımlar ise koşulsuz ve donma çözülme döngülü koşullandırma sisteminde en düşük esneklik modülünü verirken 2. koşullandırmada AS modifiyeli karışımlardan daha büyük esneklik modülü değerini vermiştir. 40ms, 60ms ve 80ms yüklü sürelerde karışım türüne göre alınan esneklik modülü değerleri paralel olmakla birlikte yüklü süreyle ters orantılı olarak değişmiştir.



Şekil 14. 60ms yüklü süredeki ortalama esneklik modülleri



Şekil 15. 80ms yüklü süredeki ortalama esneklik modülü değerleri

İkinci koşullama sisteminde, su hasarı oranlarının düşük oluşu, koşullama hasarının artmasının yani koşullandırma etkisinin incelenmesinde esneklik modülü yaklaşımının değerlendirici olduğunu göstermektedir.

Yükleme süresine bağlı olarak esneklik modülü yaklaşımı ile SBS polimer karışımlar, amin katkısına göre, daha yüksek oranlar vermekte, su hasarı bakımından yorumlanırsa, esneklik modülü ile SBS daha yüksek performans düzeyi oluşturmaktadır. Bununla birlikte, hem SBS hem de amin soyulma önleyici katkısı, katkısız geleneksel karışımlara göre oransal anlamda daha iyi su hasarı direnci göstermekte, durum her üç yükleme süresi içinde paralellik göstermektedir.

Tablo 9. Su hasarının değerlendirmesi için hesaplanan oransal esneklik modülü değerleri

Yüklü süre	Koşullama türü	Ortalama esneklik modülleri			Esneklik modülü oranları		
		Kontrol	SBS	AS	Kontrol	SBS	AS
	Koşulsuz	10046.50	13142.50	12214.00			
40ms	1. koşul	9331.50	10064.25	9479.50	0.93	1.00	0.94
	2. koşul	7038.13	8658.63	6849.48	0.70	0.86	0.68
	KŞSZ	9566.00	12967.50	12051.25			
60ms	1. koşul	8316.25	9431.50	9259.50	0.87	0.99	0.97
	2. koşul	6396.43	8472.88	6337.40	0.67	0.89	0.66
	KŞSZ	9348.75	11490.75	11593.00			
80ms	1. koşul	7875.25	9103.75	8859.00	0.84	0.97	0.95
	2. koşul	6048.05	7841.48	5886.98	0.65	0.84	0.63

Özellikle, daha ileri su hasarı aşamalarında (ikinci koşullama sistemi) oransal değerler, SBS polimeri için büyük bir düşüş oluşturmazken, hasar artması ile SBS etkinliğini koruyabilirken, soyulma önleyici katkı ağırlaşan hasar sisteminde dramatik düşüş oluşturmaktadır. Tablo 9'dan yararlanarak esneklik modülü yaklaşımı ile su hasarı yorumlanması yapıldığında, düşük ve yüksek yükleme süreleri ve ağırlaşan koşullandırma sistemleri için SBS polimer katkısının daha yüksek performans oluşturduğu görülmüştür.

Özellikle, katkı uygulamaları yapılırken, uzun dönemli hasar sisteminin etkisini yansıtabilecek bir koşullandırma sisteminin seçilmesi önemlidir. Modellemenin birinci koşullama sistemine göre yapılması durumunda, örneğin soyulma önleyici katkı yüksek (>0.90) direnç oranı verirken, donma-çözülme döngüsünü de ek olarak içeren ikinci koşullama sisteminde (≈ 0.60) düzeyine oran hesaplanmaktadır. Bu durum, soyulma önleyicilerin depolanma stabilite riskinin yanı sıra diğer önemli bir risk durumuna işaret etmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu araştırma, sıcak karışım asfalt kaplamalarda, geleneksel, SBS polimer ve amin soyulma önleyici katkıların performans karşılaştırmasına yöneliktir. Araştırmadan şu sonuçlara varılabilir.

Özdeş briketlerin bireysel olarak değerlendirmesi ile SBS ve soyulma önleyici (AS) katkılı karışımlar, koşullu ve koşulsuz durumlar için, kontrol karışımlara göre daha yüksek oranlar göstermektedir. Bu, katkılarla su hasarı direncinin arttığına açık bir göstergesi olmaktadır. Ortalama değerler de yorumlandığında, benzer olarak, SBS ve AS katkıların su hasarı direncini arttırdığını göstermektedir.

Su hasarı probleminin geleneksel ve katkılı karışımlar için değerlendirilmesinde, koşullandırma sistemleri arasındaki farklılık ve değişim aralığının belirlenmesi, dolaylı çekme mukavemeti deneylerinde, olanaklı gözükmektedir.

Katkılı karışım ister SBS polimeri olsun isterse amin türü bir soyulma önleyici ajan katkısı olsun, su hasarı direnci katkılarla artmakta, paralelinde, çatlama mukavemeti yükselmektedir.

Yükleme süresine bağlı olarak esneklik modülü yaklaşımı ile SBS polimer karışımlar, amin katkısına göre, daha yüksek oranlar vermekte, su hasarı bakımından yorumlanırsa, esneklik modülü ile SBS daha yüksek performans düzeyi oluşturmaktadır. Bununla birlikte, hem SBS hem de amin soyulma önleyici katkısı, katkısız geleneksel karışımlara göre oransal anlamda daha iyi su hasarı direnci oluşturmakta, durum her üç yüklemeye süresi için de paralellik göstermektedir.

Özellikle, daha ileri su hasarı aşamalarında (ikinci koşullama sistemi) oransal değerler, SBS polimeri için büyük bir düşüş oluşturmazken, hasar artması ile SBS etkinliğini koruyabilmiştir. Soyulma önleyici katkının oransal değerlerinde ise ağırlaşan hasar sisteminde dramatik düşüş oluşmakta, düşük ve yüksek yüklemeye süreleri ve ağırlaşan koşullandırma sistemleri için SBS polimer katkısı daha yüksek performans göstermektedir.

Özellikle, katkı uygulamaları yapılırken, uzun dönemli hasar sisteminin etkisini yansıtabilecek bir koşullandırma sisteminin seçilmesi önemlidir. Modellemenin birinci koşullama sistemine göre yapılması durumunda, örneğin soyulma önleyici katkı yüksek (>0.90) direnç oranı verirken, donma-çözülme döngüsünü de ek olarak içeren ikinci koşullama sisteminde (≈ 0.60) düzeyine oran hesaplanmaktadır. Bu durum, soyulma önleyicilerin depolanma stabilite riskinin yanı sıra diğer önemli bir risk durumunu işaret etmektedir.

Semboller

- AS : Soyulma önleyici katkı
DÇM : Dolaylı çekme mukavemeti
Dp : Pratik özgül ağırlık
H : Ortalama yükseklik
SBS : Stiren - bütadiyen – stiren

- Vf : Asfaltla dolu boşluk
Vh : Hava boşluğu
VMA : Mineral agregalar arası boşluk

Teşekkür

Bu çalışma KTÜ BAP tarafından 2006.1180015 kodlu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar İSFALT AŞ'ye laboratuvar imkanları için müteşekkirdir.

Kaynaklar

- [1] Kandhal, P S. Field and laboratory investigation of stripping in asphalt pavements: State of the art report, Transportation Research Record No. 1454, Asphalt Concrete Mixture Design and Performance, 36-47, 1994.
- [2] Kok, B.V. ve Yılmaz, M. The effects of using lime and styrene-butadiene-styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt, Construction and Building Materials 23 (2009) 1999–2006.
- [3] Gorkem, Ç ve Şengöz, B. Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime, Construction and Building Materials 23 (2009) 2227–2236.
- [4] Martin, A.E., Rand, D., Weitzel, D., Tedford, D., Sebaaly, P. ve Lane L. Moisture sensitivity of asphalt pavements: a national seminar, San Diego, California, on February 4-6, 2003.
- [5] Becker, Y., Mendez, M.P. ve Rodriguez, Y. Polymer modified asphalt. Wisc Technol, 9(1), 39–50, 1999.
- [6] Epps, J.E., Berger, J.N. Anagnos, moisture sensitivity of asphalt pavements: a national seminar, California, 2003.
- [7] Kim, Y.R., Lee, H.J. ve Little, D.N. Fatigue characterization of asphalt concrete using viscoelasticity and continuum damage mechanics. J AAPT;66, 520–49, 1997.
- [8] Kumar, P., Chandra, S. ve Bose, S. Strength characteristics of polymer modified mixes. Int J Pave Eng.;7(1), 63–71, 2006.
- [9] Stuart, K.D., Youtcheff, J.S. ve Mogawer, W.S. Understanding the performance of modified asphalt binders in mixtures: evaluation of moisture sensitivity, FHWA-RD-02-029. Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center, 2001.
- [10] İskender, E., Koşullandırma sistemlerinin geleneksel ve modifiye asfalt karışımlar üzerindeki etkilerinin araştırılması, Doktora tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

- [11] Anagnos, J.N., Kennedy, T.W., Practical method of conducting the indirect tensile test, Center of Highway Research, University of Texas at Austin, Res. Rep. 98-10, 1972.
- [12] Maupin, G.W., Results of indirect tensile tests related to asphalt fatigue. Highway Research Board, 1-7, 1972.
- [13] Tayfur, S., Ozen, H., Aksoy, A., Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers, Construction and Building Materials 21, 328-337, 2007.
- [14] Aksoy A, Iskender E., Comparison of Creep Tests Results on Conventional and SBS Modified Asphalt Mixtures, Journal of ICE Transport, 161, 185-195, 2008.
- [15] Akzonobel, Safety Data Sheet, 2005.