



T.C.
Ulaştırma Denizcilik ve
Haberleşme Bakanlığı



KARAYOLLARI
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



7 Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi

29-30 Kasım 2017
Sheraton Ankara Hotel & Convention Center Ankara

Bildiriler

DÜZENLEME KURULU

Başkan : İsmail KARTAL (KGM - YTMK)
Üyeler : Prof.Dr. Mustafa İLICALI (TBMM)
Uğur Kenan ADİLOĞLU (KGM)
Mehmet TUTAŞ (KGM - YTMK)
Biol DEMİR (KGM - YTMK)
Prof.Dr. Mustafa KARAŞAHİN (İGÜ)
Prof.Dr. Ali Osman ATAHAN (İTÜ - YTMK)
Prof.Dr. Murat GÜLER (ODTÜ)
Ayberk ÖZCAN (ASMÜD)

YÜRÜTME KURULU

Başkan : Mehmet TUTAŞ (KGM - YTMK)
Üyeler : Biol DEMİR (KGM - YTMK)
Prof.Dr. Mustafa KARAŞAHİN (İGÜ)
Prof.Dr. Murat GÜLER (ODTÜ)
Ali Rıza KIRAN (KGM)
Sabri TEKİN (KGM)
Yasin ALTUNYUVA (KGM)
Muhammet KOMUT (KGM)
Derya ŞENYAY (ASMÜD)

Sempozyum Genel Koordinatörü : Ş. Özcan EROL (E-KGM - YTMK)

BİLİM KURULU

Prof.Dr. Perviz AHMEDZADE (EÜ)
Prof.Dr. Hüseyin AKBULUT (AKÜ)
Prof.Dr. Atakan AKSOY (KTÜ)
Süha ARAY (ONUR)
Prof.Dr. Osman Nuri ÇELİK (SÜ)
Dr. Reha ÇETİNKAYA (BASALT-ACTIEN-GESELLSCHAFT)
Biol DEMİR (KGM)
Prof.Dr. Murat GÜLER (ODTÜ)
Prof.Dr. Mustafa KARAŞAHİN (İGÜ)
Serdar KAŞAK (KGM)
Muhammet KOMUT (KGM)
Prof.Dr. Necati KULOĞLU (FÜ)
Prof.Dr. Abdullah Hilmi LAV (İTÜ)
Gülay MALKOÇ (ASMÜD)
Fatma ORHAN (KGM)
Yrd.Doç.Dr. Jülide ÖNER (UŞAK Ü)
Doç.Dr. Halit ÖZEN (YTÜ)
Yrd.Doç.Dr. Hande Işık ÖZTÜRK (ODTÜ)
Ahmet SAĞLIK (KGM)
Prof.Dr. Mehmet SALTAN (SDÜ)
Yrd.Doç.Dr. İbrahim SÖNMEZ (İSFALT)
Prof.Dr. Burak ŞENGÖZ (DEÜ)
Prof.Dr. Serkan TAPKIN (UAÜ)
Zeliha TEMREN (ASMÜD)
Prof.Dr. Serdal TERZİ (SDÜ)
Prof.Dr. Ali TOPAL (DEÜ)
Hikmet TUĞLU (OTOYOL A.Ş.)
Savaş Nedim TUTAN (KGM)
Prof.Dr. Erol TUTUMLUER (ILLINOIS U)
Dr. E. Nazan ÜNAL (KGM)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

- 15 Farklı Vaks İçeriklerine Sahip Bitümlerin Kimyasal ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi
Yrd.Doç.Dr. Jülide ÖNER (UŞAK Ü), Prof.Dr. Burak ŞENGÖZ (DEÜ), Gülay MALKOÇ (ASMÜD)
- 29 Taş Mastik Asfalt Karışımlarda SBS ile Birlikte PR Plast S Katkısının Karışımın Yoğunluk-Boşluk Analizleri ve Marshall Stabilitesi Bakımından İncelenmesi
Elif GİRDAP (KGM), Doç.Dr. Şeref ORUÇ (KTÜ)
- 41 Farklı Deney Yöntemleriyle Çinko Oksit Katkılı Bitümlerin Yüksek Sıcaklık Performans Sınıflarının Belirlenmesi
Dr. Omar ALQUDAH (APPLIED SCIENCE U), Dr. Taylan GÜNAY (EÜ), Prof.Dr. Perviz AHMEDZADE (EÜ)
- 57 Bitümlü Sıcak Karışımlarda Hamburg Tekerlek İzinde Oturma Testi İçin Şartname Oluşturma Çalışması
Hakan ORAL (KGM), Savaş Nedim TUTAN (KGM)
- 73 Assessment of Flexible Pavement Fatigue Life of Turkish Typical Sections Using Mechanistic Empirical Pavement Design Approach for Coastal Region (Mekanistik - Ampirik Kaplama Tasarımı Yaklaşımı ile Türkiye’de Kullanılan Tipik Esnek Üstyapı Kesitlerinin Yorulma Ömrünün Sahil Bölgesi İçin Değerlendirilmesi)
Prof.Dr. Osman Nuri ÇELİK (SÜ), Saadoon Obaid EYADA (SÜ - IRAK SAĞLIK BAKANLIĞI)
- 91 Kireçtaşı Agregalı TMA Aşınma Tabakalarının Performansının Değerlendirilmesi
Hakan ORAL (KGM), Savaş Nedim TUTAN (KGM), Muhammet KOMUT (KGM)
- 101 Asfalt Betonun Düşük Sıcaklık Performansının Doğrudan Çekme Deneyleri ile Belirlenmesi
Yalçın KARAKAYA (ODTÜ), Prof.Dr. Murat GÜLER (ODTÜ)
- 111 Kireç ile Stabilize Edilen Zeminlerin Karayolu Üstyapısında Kullanımlarında Zeminin Arazideki Ufalama Seviyesinin Etkisinin Araştırılması
Doç.Dr. İlknur BOZBEY (İÜ), Doç.Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU (İÜ), Şenol ÇÖMEZ (KGM), Dr. Aykan MERT (KGM), Tuğba ÖZTÜRK (KGM), Kıvılcım ÖCAL (KGM)
- 125 Osmangazi Köprüsünde Mastik Asfalt Dizaynı ve Mastik Asfalt Üretimi
Ali Osman BAKİ (KGM), Tunç TİRYAKİ (NÖMAYG)
- 139 Bitümlü Sıcak Karışım Uygulamalarında Asfaltın Kendini İyileştirme Yöntemleri ve Faydaları
Kemal ARMAĞAN (ESOGÜ), Gülay MALKOÇ (ASMÜD), Prof.Dr. Mehmet SALTAN (SDÜ), Prof.Dr. Serdal TERZİ (SDÜ)
- 151 Nano-Bentonitin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisi
Hameedullah RAUFİ (DEÜ), Prof.Dr. Ali TOPAL (DEÜ), Prof.Dr. Burak ŞENGÖZ (DEÜ), Derya KAYA (DEÜ)
- 163 Astar Bağlayıcı Uygulamalarında Gelişmeler ve Karayollarında Kullanımlarının Araştırılması
Şenol ÇÖMEZ (KGM), Dr. Aykan MERT (KGM), Tuğba ÖZTÜRK (KGM), Muhammet KOMUT (KGM), Birol DEMİR (KGM)
- 177 Buzlanma ile Mücadelede Yeni Bir Teknoloji: Elektriksel İletken Asfalt Betonları
Doç.Dr. Cahit GÜRER (AKÜ), Prof.Dr. Hüseyin AKBULUT (AKÜ)
- 191 Üstyapı Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi ve Ağ Seviyesinde Değerlendirmeler
Dr. E. Nazan ÜNAL (KGM), Muhammet KOMUT (KGM), Birol DEMİR (KGM)
- 203 Karayollarında Zemin Penetrasyon Radarı (GPR) ile Kalite Kontrol Uygulaması
Yrd.Doç.Dr. Sercan SERİN (DÜZCE Ü), Prof.Dr. Mehmet SALTAN (SDÜ), Prof.Dr. Serdal TERZİ (SDÜ)
- 211 Sürdürülebilir Karayolu Üstyapı Yönetiminde Karar Verme
Yrd.Doç.Dr. Muhammed Emin Cihangir BAĞDATLI (NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR Ü)
- 223 Aşınma Tabakası Pürüzlendirme Uygulamaları
Yrd.Doç.Dr. Volkan Emre UZ (ADANA BTÜ), İslam GÖKALP (ADANA BTÜ), Yakup DOST (KGM), Ergun YALÇIN (KGM), Mehtap TEPE (KGM)

Sayfa

- 237 Yüksek Oranda Kazınmış Asfalt İçeren Bitümlü Karışımın Performans Özelliklerinin İncelenmesi
Yrd.Doç.Dr. İbrahim SÖNMEZ (İSFALT), Seyit Ali YILDIRIM (ABT), Zeliha TEMREN (ASMÜD), Dr. Samir SOLUMAN
- 249 Asfalt Geri Dönüşümü Sürdürülebilirlik İlişkisi
Kemal Muhammet ERTEN (AKÜ), Prof.Dr. Serdal TERZİ (SDÜ), Prof.Dr. Hüseyin AKBULUT (AKÜ)
- 259 Asphalt Binder Rejuvenation for Recycling Road Materials (Yol Malzemelerinin Geri Dönüşümü İçin Asfalt Bağlayıcılarının Genleştirilmesi)
Loretta VENTURINI (ITERCHIMICA), Luca BACCELLIERI (ITERCHIMICA), Filippo GIUSTOZZI (RMIT U)
- 285 Karayolu Altyapıları İçin Sürdürülebilirlik Sertifika Sisteminin Geliştirilmesi
Fatma ORHAN (KGM), Ahmet SAĞLIK (KGM), Merve USTALAR (KGM), Derya AKBAŞ KARAKILÇIK (KGM)
- 297 Çelikhane Cürufunun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agrega Olarak Kullanılmasına İlişkin İnceleme ve Öneriler
Dr. Fatih YONAR (TECHNOBEE), Prof.Dr. Attila DİKBAŞ (MEDİPOL Ü), Ahmet SAĞLIK (KGM), Muhammet KOMUT (KGM)
- 309 Atık Mermerlerin Bitüm ile Adezyonu ve Bitümlü Sıcak Karışımlardaki Ekonomik Etkisi
Dr. Murat OKUBAY (ELAZIĞ İL ÖZEL İDARESİ), Doç.Dr. Baha Vural KÖK (FÜ), Yrd.Doç.Dr. Mustafa Sinan YARDIM (YTÜ), Doç.Dr. Mehmet YILMAZ (FÜ)
- 321 İklim Değişikliğinin Asfalt Kaplamaları Üzerindeki Etkileri ve Yeni Yapım Stratejileri
Yrd.Doç.Dr. Hande Işık ÖZTÜRK (ODTÜ)
- 333 Bitümlü Sıcak Karışım Üstyapılarda Görülen Yüzey Bozulmaları ile Düzgünlük Arasındaki Benzerlikler
Ufuk KIRBAŞ (OMÜ), Mustafa KARASHAHİN (İGÜ), Birol DEMİR (KGM), Muhammet KOMUT (KGM), Emine Nazan ÜNAL (KGM), Kıvılcım ÖCAL (KGM)
- 343 Tahribatsız Üstyapı (Asfalt) Jeofizik Yöntemleri
Nuh DEMİRBAŞ (KGM), Aytuna SAYIN (KGM), Metin ALTAY (KGM), Prof.Dr. Aysel ŞEREN (KTÜ), Zeynep ÖĞRETMEN AYDIN (KTÜ)
- 355 **Bitümlü Sıcak Karışımların Kırılma Davranışının İncelenmesi**
Dr. Yavuz ABUT (KOCAELİ BÜY. BLD.), Prof.Dr. Mustafa KARASHAHİN (İGÜ)
- 365 Kaplama Yüzey Dokusu Karakteristik Özellikleri ve Makro Doku Ölçüm Yöntemleri
İslam GÖKALP (ADANA BTÜ), Yrd.Doç.Dr. Volkan Emre UZ (ADANA BTÜ)
- 375 Pınarbaşı Gürün Yolu Üstyapı Tasarımı
Müge ÖZGENEL (BOTEK)
- 385 Polifosforik Asidin Modifiye Edilmiş Bitümler Üzerine Etkisinin Araştırılması
Tuğba ÖZTÜRK (KGM), Muhammet KOMUT (KGM), Birol DEMİR (KGM)
- 395 Kauçuk Granülünün Asfalt Kaplamalarda Su Hasarı ve Çatlama Direncine Etkisinin Araştırılması
Yrd.Doç.Dr. Erol İSKENDER (KTÜ), Prof.Dr. Atakan AKSOY (KTÜ), Aytuna SAYIN (KGM), Sercan SOYLU (KTÜ), Cansu İSKENDER (KTÜ)
- 405 Nano Üleksit Minerallerinin Ilık Karışım Asfaltın Performansı Üzerindeki Etkileri
Yrd.Doç.Dr. Tuba KÜTÜK-SERT (RTEÜ), Yrd.Doç.Dr. Erol İSKENDER (KTÜ), Dr. Sezai KÜTÜK (RTEÜ), Resul Ekrem GÜNBEY (KUANTUM)
- 421 Silindirle Sıkıştırılmış Beton Üzerine BSK Aşınma Uygulaması ve Derz Bölgelerinde Geogrid Kullanılmasına Yönelik Bir Saha Çalışması
Aydın GÜR (KOCAELİ BÜY. BLD.), Dr. Yavuz ABUT (KOCAELİ BÜY. BLD.)
- 431 Yeni Yapılan Asfalt Kaplamalarda Düzgünlük Değerlendirmeleri
Dr. E. Nazan ÜNAL (KGM), Muhammet KOMUT (KGM), Birol DEMİR (KGM)
- 441 Asfalt Betonu Homojenliğinin İki Boyutlu Kesit Görüntüleri Kullanılarak Değerlendirilmesi
Ayhan Öner YÜCEL (ODTÜ), Prof.Dr. Murat GÜLER (ODTÜ)
- 451 Sürdürülebilir Kalkınma Noktasında Asfalt Emülsiyonları ve Uygulama Alanları
Aytuna SAYIN (KGM)

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN KIRILMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yavuz ABUT¹ Mustafa KARAŞAHİN²

ÖZET

Düşük sıcaklıklarda asfalt kaplamalarda termal çatlakların oluşumu sıklıkla ortaya çıkar ve bu çatlaklar ilk etapta ciddi bir hasara neden olmamasına rağmen, çatlağın zamanla yayılmasıyla yapısal hasarın boyutu artmaya başlar. Bu çalışmada, bitümlü sıcak karışımlarda düşük sıcaklıklarda çatlak oluşumu ve yayılmasının araştırılması amacıyla yarım daire şeklinde numuneler üretilmiş ve AASHTO TP105-13'e uygun eğilme prosedürü uygulanarak kırılma özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Aşınma (Tip-1) karışımları üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; Kırılma Enerjisi = 2706 J/m², Birim Direnç = 1.035 kN/mm ve Tokluk = 0.83 MPa × m^{0.5} düzeyinde tespit edilmiştir. Ayrıca yarım daire numune üretiminde titreşimli tokmak kullanımının diğer kompaksiyon yöntemlerine alternatif olabileceği saptanmıştır.

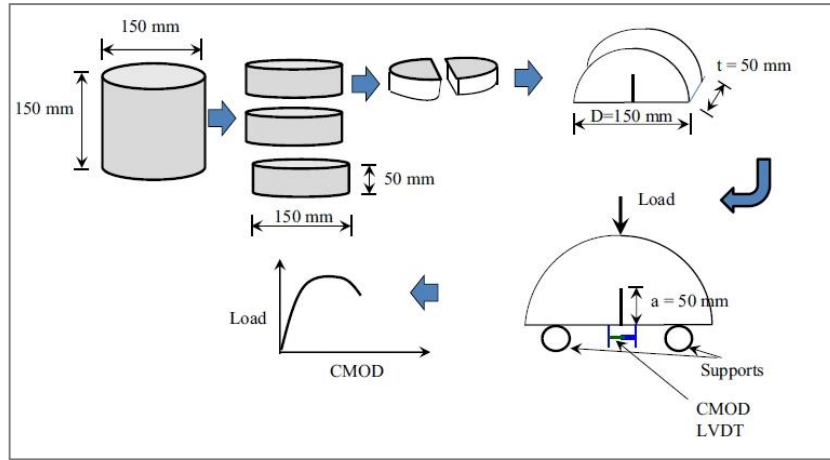
GİRİŞ

Bitümlü sıcak karışımların bakım, onarım ve rehabilitasyon faaliyetleri için her yıl büyük oranlarda bütçeler ayrılmaktadır. Çevrimsel etkilerle günlük ve mevsimsel olarak gelişen veya dingil yüklerinin neden olduğu mekanik etkilerden ötürü oluşan çatlaklar, zamanla yayılarak asfalt tabakalarında yapısal bir bozulma tipine dönüşmektedir. Bu hasarlar kaplamaların bakım ve rehabilitasyon masraflarını önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu nedenle asfalt kaplamalardaki çatlak oluşumu ve gelişimi davranışının araştırılması konusu birçok tasarımcı için karayolu yapım ve bakımında önemli bir tema haline gelmektedir. Çok düşük sıcaklıklarda asfalt kaplamalar sıklıkla gevrek bir malzeme gibi davranmakta ve bu nedenle bünyesinde önceden var olan çatlaklar nedeniyle de ani kırılma riskleri artmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlarda çatlak büyüme davranışını araştırmak için farklı deney numuneleri kullanılarak geçmişte bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel açıdan anlamlı sonuçların elde edilebilmesi için, uygun bir test numunesinin basit bir geometriye ve uygun bir yükleme paternine sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla bitümlü sıcak karışımlarda kırılma tokluğunun (*fracture toughness*) elde edilebilmesi için araştırmacılar tarafından farklı geometrilerde numuneler kullanılmıştır.

-
1. Dr.İnş.Yük.Müh, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Kocaeli
 2. Prof.Dr., Gelişim Üniv, Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Bu numune türlerini 3 grupta toplamak mümkündür: kiriş numunede üç veya dört nokta eğilme [1-3], disk şeklinde aksel çekme [4, 5] ve üç nokta yükleme ile yarım dairede eğilme testi (SCB, *semi-circular bending test*) [6-9]. Yükleme ile numunelerde kontrollü bir çatlak gelişiminin sağlanabilmesi için değişik boyutlarda çentikler (*notch*) açılmaktadır. SCB numune üretimi laboratuvarında Marshall ve yoğurmalı kompaktör kullanılarak veya yol platformundan karot kesilerek elde edilebildiğinden, diğerlerine göre daha ekonomik ve daha hızlı çözümler sunabilmektedir.

SCB testi ilk zamanlar malzeme bilimcileri tarafından kayaların kırılma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır [10]. Daha sonra, yol üstyapı mühendisleri tarafından farklı asfalt karışımlarının kırılma özelliklerini belirleyebilmek için birtakım çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar statik (*monotonic*) yükleme koşullarında standartların geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bitümlü sıcak karışımlarda statik yüklemede SCB testi için yükleme oranı, numune geometrisi, mesnet koşulları, kırılma tokluğu ve enerji tahminleri gibi parametrelerle ilgili talimatları içeren EN12697-44 [11] ve AASHTO TP105 [12] standartları yayımlanmıştır. Şekil 1’de SCB numune üretimi ve aksel yükleme durumu için bir gösterim verilmektedir [13]. Burada yükleme esnasında numune Mod I deformasyonuna (çatlak açılması) maruz kalmaktadır.



Şekil 1. SCB numune üretimi ve yükleme paterni [13]

Asfalt kaplamalarda kabul edilebilir dayanıklılık ve mekanik mukavemet; içerenerin bileşimi, imalat süreci, karışım tasarımı, agrega ve bağlayıcı tipleri, servis ve sıcaklık koşulları gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle karışım içeriğindeki maximum agrega boyutu, hava boşluğu miktarı, agrega ve bitüm tipi gibi parametrelerin kırılma enerjisi üzerindeki etkileri bilinmelidir. Bu çalışmada bu etkilerin belirlenebilmesi amacıyla yapılacak olan deneysel çalışmaların ilk bulguları tartışılmıştır. Bu amaçla, Laboratuvar ortamında Aşınma (Tip-1) karışım tasarımı yapılmış, ikinci aşamada SCB numuneler üzerinde kırılma özellikleri belirlenerek çalışmanın sonraki aşamalarında üretilecek olan farklı özelliklerdeki bitümlü sıcak karışımlar için referans bir deney planlaması elde edilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA**Karışım tasarımı**

Karışım içeriğinde Kocaeli, Körfez-Hereke mevki kalker taş ocaklarından elde edilen agregalar kullanılmıştır. Agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Karışım gradasyonunda ise Karayolları Teknik Şartnamesi (2013) Aşınma Tabakası (Tip-1) limitleri referans alınmıştır (Tablo 2). B 50/70 Bitüm, Türkiye Petrol Rafinerisi Anonim Şirketi (TÜPRAŞ) Körfez Rafinerisi’nden temin edilmiş olup, bağlayıcıya ait fiziksel özellikler Tablo 3’de verilmiştir. Asphalt Institute MS-2 Marshall Metodu’na göre; 2x75 darbeyle 135 °C’de, kuru agregaya göre %4, %4.5, %5, %5.5, %6, %6.5, %7 oranında bitüm muhtevası oluşturacak şekilde Marshall Tokmağı yardımıyla sıkıştırılmış numuneler, 24 saat sonra krikoyardımla kalıplarından çıkarılmıştır. Numunelerin pratik özgül ağırlıkları (g/cm^3) belirlendikten sonra, stabilite (kg) ve akma (mm) değerleri hesaplanmıştır. Optimum bitüm muhtevası kuru agregaya göre %4.70 olarak belirlenmiştir. Marshall Deneyi sonuçları Tablo 4’te toplu olarak verilmiştir.

Tablo 1. Agrega fiziksel özellikleri

Deney Adı	Deney Metodu	Birim	Deney Sonucu	Sartname Limitleri (Aşınma Tip-1, KTŞ2013)
Parçalanma Direnci (LA)	TS EN 1097-2	%	22.0	Max. 27
Cilalanma Değeri (PSV)	TS EN 1097-8	%	50.0	Min. 50
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgS04 ile)	TS EN 1367-2	%	2.62	Max. 16
Yassılıkk İndeksi (12-19mm Agrega için)	TS EN 933-3	%	7.0	Max. 20
Soyulma Mukavemeti (Bitümlle kaplanmış yüzey) (24 saat 60°C suda bekletmeden sonra)	TS EN 12697-11	%	60	Min. 60
Kaba Agregalarda Tane Yoğunluğu (Hacim Özgül Ağırlığı -Kuru)	TS EN 1097-6	g/cm^3	2.719	yok
Kaba Agregalarda Su Emme Oranı	TS EN 1097-6	%	0.26	Max. 2.0
İnce Agregalarda Tane Yoğunluğu (Hacim Özgül Ağırlığı-Kuru-Ort.)	TS EN 1097-6	g/cm^3	2.663	yok
İnce Agregalarda Su Emme Oranı (Absorbsiyon)	TS EN 1097-6	%	0.79	Max. 2.0
Metilen Mavisı (İnce agreganın 0/2 mm kısmına)	TSEN933-9	g/kg	0.75	Max. 1.5
Plastisite İndeksi	TS 1900-1	%	NP	NP
Filler Tane Yoğunluğu Tayini	TS EN 1097-7	g/cm^3	2.756	yok

Tablo 2. B 50/70 Bitümün fiziksel özellikleri

Deney Adı	Deney Metodu	Deney Sonucu
Penetrasyon (0.1mm), 100 g, 5 s	TS EN 1426	54
Yumuşama Noktası (°C)	TS EN 1427	52
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1.034

Tablo 3. Agrega kullanım oranları ve karışım gradasyonu

KULLANIM ORANI (%)	12	38	50	KARIŞIM (%)	AŞINMA TABAKASI LİMİTLERİ (KTŞ-2013)			
	12 – 19 mm	5 - 12 mm	0 - 5 mm		ŞARTNAME (%)		TOLERANS (%)	
Elek (mm)								
19,1	100	100	100	100	100	100	100	100
12,7	26.1	100	100	91.1	88	100	88	95
9,52	0.8	78.1	100	79.8	72	90	76	84
4,75	0.3	3.2	93.9	48.2	42	52	44	52
2,00	0	0.4	59.2	29.8	25	35	27	33
0,425	0	0	25.6	12.8	10	20	10	16
0,180	0	0	17.8	8.9	7	14	7	12
0,075	0	0	11.9	6.0	3	8	4	8

Tablo 4. Marshall deneyi sonuçları

Özellik	Standart	Sonuç	Şartname
Bitüm, %	EN 12697-1	4.70	4.0-7.0
Pratik Özgül Ağırlık, g/cm ³	EN 12697-6	2.423	
Stabilite, kg	EN 12697-34	1270	min. 900
Boşluk, %	EN 12697-8	4.0	3-5
Asfaltla dolu boşluk, %	EN 12697-8	71.0	65-75
Agregalar arası boşluk (VMA), %	EN 12697-8	14.20	14-16
Akma, mm	EN 12697-34	3.60	2-4

SCB numune üretimi

Karışım gradasyonu ve optimum bitüm muhtevası belirlendikten sonra kırılma tokluğu deneyleri için AASHTO TP105-13 standardına uygun silindir şeklinde $\Phi 150 \times 25$ mm boyutunda numuneler üretilmiştir. 6 adet eş disk numuneden 12 adet yarım daire elde edilerek eğilme deneyine hazırlanmıştır. Numuneler, $\Phi 150 \times 116.4$ mm'lik proctor kalıplarında tek tabaka halinde titreşim yoluyla 135 °C'de sıkıştırılarak elde edilmiştir. Sıkıştırma işlemlerinde, 11 kg ağırlık ve 900 W kapasiteye sahip, dakikada 2000 darbe vurma özelliği olan GBH 11 DE BOSCH marka *Vibrating*

Hammer (Titreşimli Tokmak) cihazı kullanılmıştır. Sıkıştırma süresi deneme/yanılma yöntemiyle belirlenmiştir. Sıkışma yüzde değerleri, Marshall Dizaynı ile elde edilen pratik özgül ağırlık değerlerine göre belirlenmiştir. Minimum sıkışma yüzde değerinin % 98'in altında olduğu ve ortalama hava boşluğu değerinde % 4'ün sağlanmadığı numuneler iptal edilerek deneye alınmamıştır.

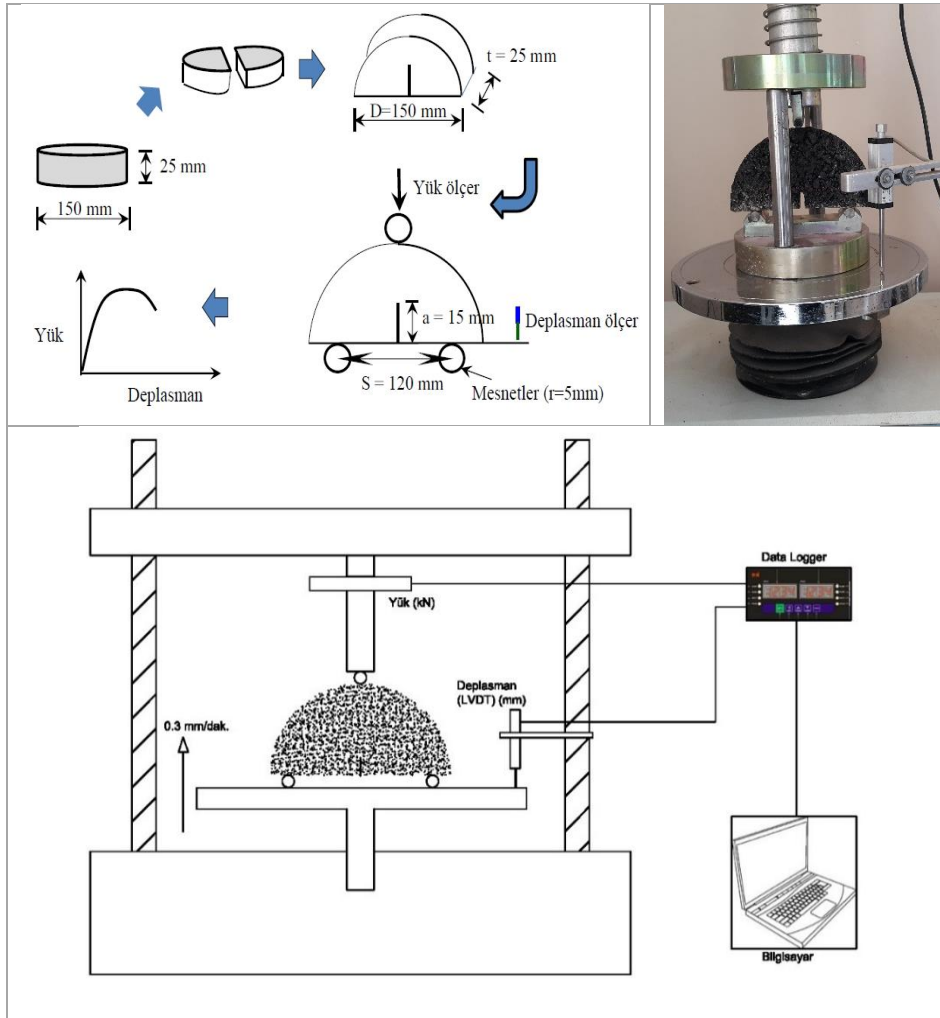
Silindirik olarak hazırlanan numuneler 1 gün sonra kalıplardan hidrolik kriko yardımıyla çıkarılmış, disk testere ile eksenlerinden kesilerek yarım daire formuna getirilmiş, daha sonra da merkez noktalarından çentik (*notch*) açılarak eğilme deneyine hazır hale getirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. SCB numune üretimi

Eğilme deneyi

Eğilme deneyleri statik olacak şekilde, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarında bulunan *VJ Tech5000* (50 kN) test cihazı üzerinde birtakım değişiklikler uygulanarak yapılmıştır. Deney sırasında eş zamanlı olarak Yük/Deplasman eğrisi RS-232 bağlantısı ve Meter Data Acquisition v2.0 yazılımı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deney hızı tüm aşamalarda 0.3 mm/dak olarak belirlenmiştir. SCB numuneleri -16 °C 'de 210 lt kapasiteli derin dondurucuda 6 saat süreyle şartlandırıldıktan sonra test edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Eğilme deneyi yükleme çerçevesi

TEST SONUÇLARI

Deney sonucunda elde edilen veriler, AASHTO TP105-13 standardında belirtildiği gibi değerlendirilmiştir:

Kırılma enerjisinin (G_f) hesaplanmasında Denklem 1’de verilen eşitlik kullanılmıştır;

$$G_f = \frac{W_f}{A_{lig}} \quad (1)$$

Burada;

G_f : Kırılma enerjisi (J/m^2)

W_f : Kırılma enerjisinin yaptığı iş (Yük/deplasman eğrisi altında kalan alan) (J)

A_{lig} : Yükün etki ettiği en kesit alanı; $A_{lig} = (r-a) \times t$ (m^2)

r : Numune yarıçapı (m)

a : Çentik uzunluğu (m)

t : Numune kalınlığı (m)

Kırılma tokluğunun (K_{IC}) hesaplanmasında ise Denklem 2’de verilen eşitlik kullanılmıştır;

$$K_{IC} = Y_{I(0.8)} \times \sigma_{max} \times \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

Burada;

K_{IC} : Kırılma tokluğu ($MPa \times m^{0.5}$)

σ_{max} : $P_{max} / (2 \times r \times t)$

P_{max} : Maksimum yük (MN)

r : Numune yarıçapı (m)

t : Numune kalınlığı (m)

a : Çentik uzunluğu (m)

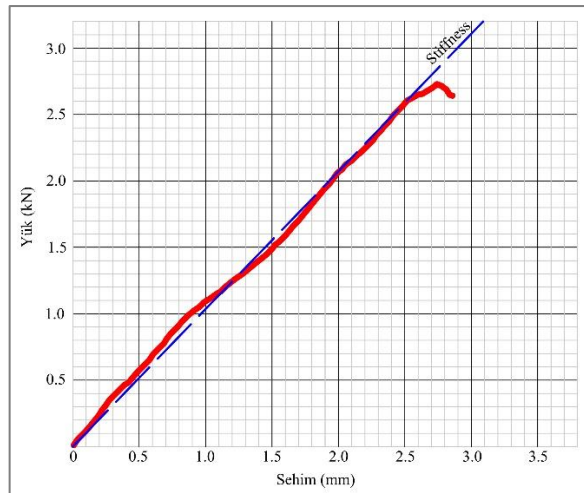
$Y_{I(0.8)}$: Gerilme yoğunluğu faktörü için geometrik katsayı (birimsiz)

$$Y_{I(0.8)} = 4.782 + 1.219 \left(\frac{a}{r} \right) + 0.063 \exp \left(7.045 \left(\frac{a}{r} \right) \right)$$

Test sonunda numunelerde farklı şekillerde kırılma tipleri gelişebilmektedir. Örnek bir kırılma tipi Şekil 4’te gösterilmektedir. Yük ve sehim arasındaki ilişki kırılma anına kadar lineere yakın bir davranış sergilemektedir (Şekil 5). 6 adet eş disk numuneden elde edilen 12 adet deney sonucu ortalamaları Tablo 5’te toplu olarak verilmiştir.



Şekil 4. Deney sonunda numunede oluşan deformasyon ve kırılmalar



Şekil 5. Eğilme deneyinde yük/şehim ilişkisi

Tablo 5. SCB deneyi sonuçları

ÖZELLİK	ORTALAMA DEĞER
Max. Yük, P (kN)	2.71
A_{lig} : Yükün etkidiği en kesit alanı; $A_{lig} = (r-a) \times t$, (m^2)	1.5×10^{-3}
σ_{max} : $P_{max} / (2 \times r \times t)$, (kPa)	722.7
Kırılma enerjisinin yaptığı iş, W_f (J)	4.06
Kırılma enerjisi, G_f (J/m^2)	2706
Birim direnç (Stiffness), S (kN/mm)	1.035
Kırılma tokluğu, K_{IC} ($MPa \times m^{0.5}$)	0.83

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmalar sonucunda;

*Bitümlü sıcak karışımlarda AASHTO TP105-13'e uygun yarım daire şeklinde numune üretilmesi için yağurmalı kompaktör kullanımı ekonomik gerekçeler ile her zaman mümkün olamamaktadır. Bu çalışmada Titreşimli Tokmak ve Proctor Kalıplarının kullanımı ile yarım daire şeklinde numune üretilebileceği saptanmıştır. Numune üretimi hızlı ve pratik bir şekilde yapılmasına karşın, hedef yoğunluk ve boşluk yüzde seviyesinin sağlanması için çok sayıda deneme üretimi yapılması gerektiği belirlenmiştir. Bazı numunelerde kalıba yerleştirilen bitümlü sıcak karışımın homojen bir şekilde dağıtılmaması veya titreşimli tokmak üzerine uygulanan el basıncının üniform olmaması durumunda, titreşim etkisiyle bitümde süzülme ve agregada ayrışma etkisi gözlenmiştir.

*Aşınma (Tip-1) karışım gradasyonu ile elde edilen numunelerin Kırılma Enerjisi = 2706 J/m², Birim Direnç = 1.035 kN/mm ve Kırılma tokluğu, $K_{IC} = 0.83 \text{ MPa} \times \text{m}^{0.5}$ düzeyinde tespit edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalara bakıldığında bu tip karışımlar için kırılma tokluğu değerinin 0.7-1.3 MPa \times m^{0.5} arasında değiştiği bildirilmiştir [13].

*Çalışma, farklı agrega ve bitüm tipi, maksimum dane çapı ve agrega gradasyonunda, birden fazla boşluk ve sıcaklık düzeyinde ve farklı sıkıştırma teknikleriyle üretilen numuneler üzerinde genişletilecektir. Laboratuvarında üretilen numunelerin araziden alınan örnekler ile karşılaştırmalı bir analizi yapılması, bu esnada çevrimsel yüklemeye koşullarında çatlak yayılma hızının belirlenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Velasquez, R., Tabatabaee, H., & Bahia, H. (2011). Low temperature cracking characterization of asphalt binders by means of the single-edge notch bending (SENB) test. *Asphalt Paving Technology-Proceedings Association of Asphalt Technologists*, 80, 583.
2. Kim, H., Wagoner, M. P., & Buttlar, W. G. (2009). Micromechanical fracture modeling of asphalt concrete using a single-edge notched beam test. *Materials and Structures*, 42(5), 677.
3. Wagoner, M. P., Buttlar, W. G., & Paulino, G. H. (2005). Development of a single-edge notched beam test for asphalt concrete mixtures. *Journal of Testing and Evaluation*, 33(6), 452-460.
4. Wagoner, M. P., Buttlar, W., & Paulino, G. H. (2005). Disk-shaped compact tension test for asphalt concrete fracture. *Experimental Mechanics*, 45(3), 270-277.
5. Wagoner, M., Buttlar, W., Paulino, G., & Blankenship, P. (2005). Investigation of the fracture resistance of hot-mix asphalt concrete using a disk-shaped compact tension test. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1929), 183-192.
6. Saha, G., & Biligiri, K. P. (2015). Fracture damage evaluation of asphalt mixtures using Semi-Circular Bending test based on fracture energy approach. *Engineering Fracture Mechanics*, 142, 154-169.

7. Minhajuddin, M., Saha, G., & Biligiri, K. P. (2015). Crack propagation parametric assessment of modified asphalt mixtures using linear elastic fracture mechanics approach. *Journal of Testing and Evaluation*, 44(1), 471-483.
8. Im, S., Ban, H., & Kim, Y. R. (2014). Characterization of mode-I and mode-II fracture properties of fine aggregate matrix using a semicircular specimen geometry. *Construction and Building Materials*, 52, 413-421.
9. Hassan, M. M. (2013). Effect of secondary aggregates on relationship between creep time dependant index and Paris Law parameters. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 4(2), 45-50.
10. Chong, K., & Kuruppu, M. D. (1984). New specimen for fracture toughness determination for rock and other materials. *International Journal of Fracture*, 26(2), R59-R62.
11. EN 12697-44:2010: Bituminous Mixtures—Test Methods for Hot Mix Asphalt Part 44: Crack Propagation by Semi-Circular Bending Test, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2010.
12. AASHTO TP 105-13. Standard Method of Test for Determining the Fracture Energy of Asphalt Mixtures Using the Semicircular Bend Geometry (SCB), American Association of State and Highway Transportation Officials, 2013.
13. Saha, G., & Biligiri, K. P. (2016). Fracture properties of asphalt mixtures using semi-circular bending test: a state-of-the-art review and future research. *Construction and Building Materials*, 105, 103-112.