

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ULAŞTIRMA LABORATUVARI

Ulaştırma laboratuvarında genel olarak **Karayolu Esnek Üstyapıları, Esnek Üstyapı Malzemeleri** araştırmaları yapılmaktadır.

CİHAZLAR

1- Modifiye Bitüm Hazırlama Sistemi



Modifiye bitüm hazırlama mikserleri

Modifiye bitüm mikserleri, ham bitümün dayanıklılığını ve performansını artırmak amacıyla içine eklenen polimer (SBS, kauçuk vb.) gibi katkı maddelerinin, yüksek sıcaklık altında (genellikle 160-190°C) bitüm fazı içerisinde tamamen homojen bir şekilde dağıtılmasını ve eritilmesini sağlamak için kullanılır. Özellikle yüksek kesmeli (high shear) başlığa sahip olan ünite, yüksek devir gücüyle polimerleri fiziksel olarak parçalayıp bitüm içinde şişmesini (swelling) sağlar; böylece asfaltın elastikiyetini, yük ve iklim koşullarına direncini artıracak olan modifiye karışımın laboratuvar ölçeğinde hazırlanmasına, Ar-Ge çalışmalarına ve kalite kontrol testleri için numune üretilmesine olanak tanır.

2- Penetrasyon Deneyi

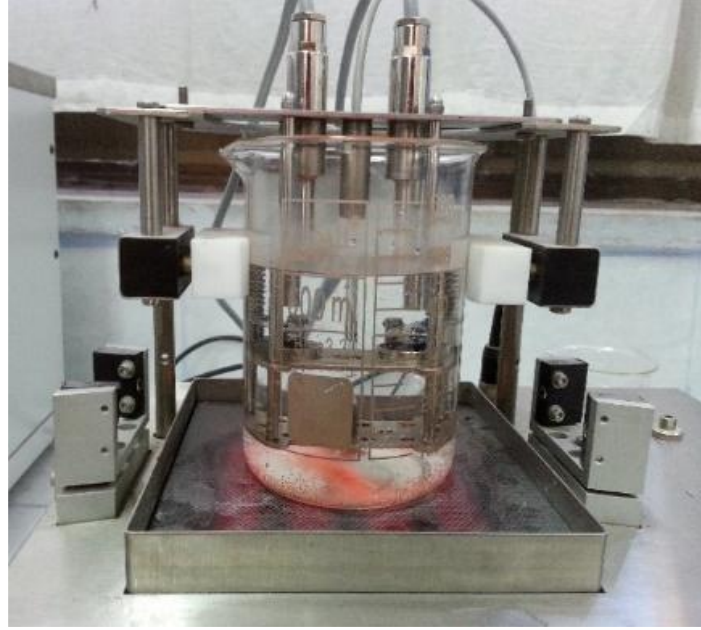


Penetrasyon test cihazı

Bitümlü bağlayıcının sertliğini yani kıvamını tespit etmek için uygulanan deney yöntemidir. 100 g ağırlık altında, 25°C sıcaklıkta standart bir iğnenin bitüm numunesine 5 saniye süreyle batma miktarı olarak ifade edilir. Penetrasyon değerin birimi 10-1 mm'dir. Bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değerleriyle kıvamları ters orantılıdır. Bir bitüm numunesinde penetrasyon değeri artarsa bu, o numunenin kıvamının azaldığı yani yumuşamaya başladığı anlamına gelir. Aksi durumda da penetrasyon değeri azalırsa, kıvamı artar ve bitüm sertleşir. Penetrasyon deneyi sonucunda deney aletinde okunan değer 80 ise bitümün penetrasyonunun 80 olduğunu ifade eder ve bu da iğnenin numuneye 8 mm batmış olduğu anlamına gelir.

Penetrasyon deneyine tabii tutulacak numune öncelikle etüve konularak akışkan bir hale getirilir ve homojen bir biçimde karıştıktan sonra penetrasyon kabına dökülür. Kaptaki malzeme, soğuması için 60-90 dakika süreyle 25°C'de soğumaya bırakılır. Daha sonra 25°C'deki su banyosunda 60-90 dakika bekletilen numune, penetrasyon cihaz tablasına yerleştirilir. 100 g ağırlıklı iğne numune yüzeyine degecek şekilde ayarlanır ve 5 saniye süreyle batacak biçimde serbest bırakılır. İşlem 3 kez tekrarlanır ve bu değerlerin ortalaması penetrasyon değeri olarak kabul edilir. Yapılan üç adet ölçüm arasında olabilecek en düşük ve en yüksek farklar yer almaktadır.

3- Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427, 2015)



Yumuşama noktası deney aleti

Bu deney, bitümün yumuşama sıcaklığını belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Uygulamada, standart halka düzeneği bitümle doldurulur ve üzerine 2,5 cm yüksekliğinden bir bilye yerleştirilir. Deney başlangıçta 5 °C'de başlar ve sıcaklık her dakikada 5 °C artacak şekilde yükseltilir. Yumuşama noktası, bitüm numunesinin tabana temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık olarak tanımlanır.

Eğer ölçülen yumuşama sıcaklığı 80 °C'nin üzerine çıkarsa, test ortamı olarak su yerine gliserin tercih edilmeli ve başlangıç sıcaklığı 32 °C olarak ayarlanmalıdır. Yumuşama noktası, özellikle yüksek bağlayıcıli asfalt karışımlarında tekerlek izi oluşumunu sınırlandırmak açısından önemlidir. Bu parametre ile deformasyon hassasiyeti arasında güçlü bir ilişki bulunmakta olup, yumuşama sıcaklığında 5–6 °C'lik bir düşüşün yaklaşık %20 daha fazla tekerlek izi oluşumuna neden olabileceği bildirilmiştir. Deneyde kullanılan otomatik yumuşama noktası cihazı sunulmuştur.

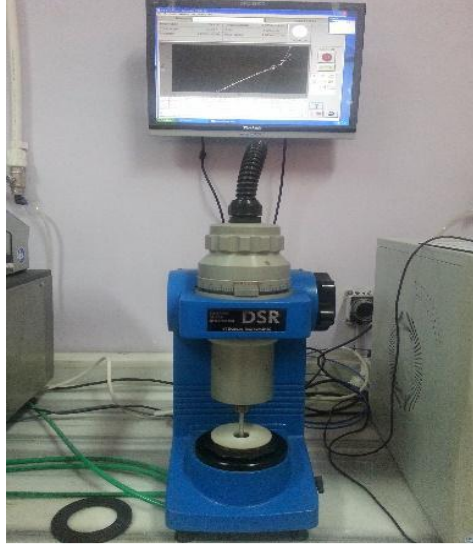
4- Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi (ASTM D 4402)



Viskozite test cihazı

Dönel viskozimetre (RV) testi, bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki akış davranışlarını değerlendirmek amacıyla uygulanır. Bu testte, AASHTO T316 standardına uygun olarak Brookfield tipi viskozimetre kullanılmaktadır. Elde edilen viskozite değerleri, bağlayıcının karıştırma ve pompalanma süreçlerinde yeterli akışkanlık sağlayıp sağlamadığını belirlemek için analiz edilir. Deneyde, bir motor aracılığıyla milin düzenli olarak 20 devir/dakika hızla dönmesi sağlanır ve viskozite değerleri kaydedilir. Genellikle orijinal bağlayıcılar üzerinde yapılan RV testinde, 135 °C'deki viskozite değerinin 3 Pa.s'yi aşmaması gerektiği kabul edilir.

5- Dinamik Kayma Reometresi (DSR) Deneyi (AASHTO TP5)

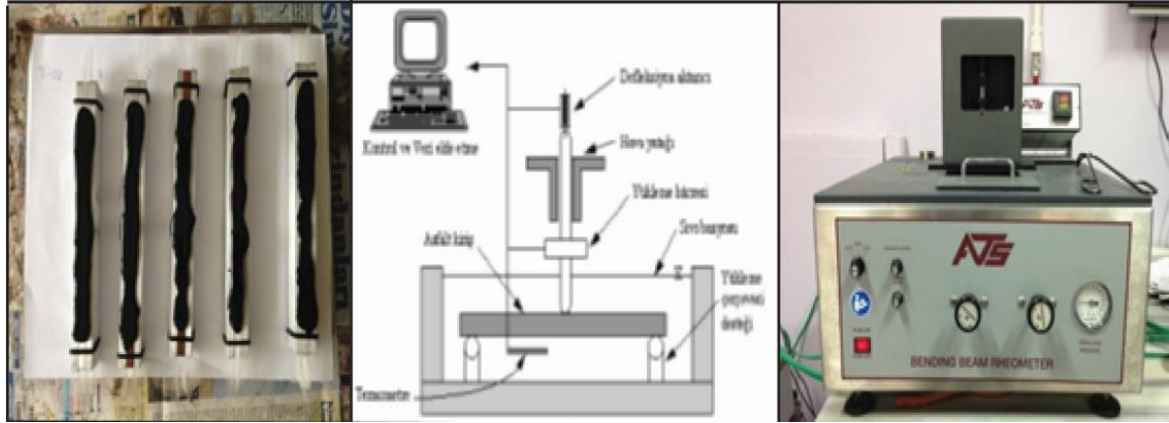


DSR test cihazı

Dinamik Kayma Reometresi (DSR) testi, bitümlü bağlayıcının yol yapımının hemen ardından tekerlek izi oluşumuna karşı gösterdiği direnci değerlendirmek için uygulanır. Aynı zamanda, kaplamanın yüksek servis sıcaklıklarında deformasyona karşı dayanıklılığını ve ilerleyen servis ömrü süresince orta sıcaklıklarda meydana gelen yorulma çatlaklarına karşı performansını belirlemeye yardımcı olmaktadır. DSR testi, bağlayıcının viskoelastik özelliklerini, sinüzoidal yüklemeler altındaki tepkisini analiz ederek ortaya koyar. Bu test, farklı sıcaklıklar, gerilim ve şekil değiştirme seviyeleri ile çeşitli frekanslarda gerçekleştirilerek bağlayıcının davranışı hakkında detaylı bilgi sağlamaktadır. DSR deneyinde, asfalt numunesinin sinüzoidal gerilmelere veya deformasyonlara tepkisi analiz edilerek, bitümlü bağlayıcının kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısı (δ) hesaplanır. Viskoelastik bölgede, bitümlü bağlayıcıların kayma deformasyonuna karşı direncini gösteren bu parametreler, sıcak asfalt kaplamaların tekerlek izi oluşumu ve yorulma ömrü hakkında bilgi sağlar.

MSCR (Multiple Stress Creep Recovery) Deneyi, Mevcut bağlayıcı şartnamesinde (AASHTO T-315), tekerlek izi, DSR deneyinden elde edilen $G^*/\sin\delta$ değeri ile ilişkilendirilmekteydi. Yapılan araştırmalar bu ilişkinin saf bağlayıcılarda iyi sonuç verdiğini ancak modifiye bağlayıcılarda başarısız olduğunu göstermiştir. Hızlandırılmış yol testlerinden ve laboratuvar tekerlek izi deneylerinden aslında bu parametrenin ($G^*/\sin\delta$) modifiye karışımlarda gerçek tekerlek izi ile yüksek bir korelasyona sahip olmadığı tespit edilmiştir. Mevcut standartta deney, lineer elastik bölgede yapılmakta ancak tekerlek izi lineer olmayan davranışla ilişkilidir.

6- Kiriş Eğilme Reometresi Deneyi (BBR)



BBR test cihazı

Kiriş eğilme reometresi, üç noktadan eğmede bitümlü bağlayıcı kirişinin orta nokta sapmasını ölçmek için kullanılır. Deney numunesinin orta noktasına tanımlanmış bir yükleme süresince sabit bir yük tatbik edilir ve sapma zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Sıcaklığı kontrol etmek için düşük sıcaklıklı banyo kullanılır. Tanımlanmış bir yükleme süresince deney numunesinin rijitliği eğilme gerilmesi ve eğilme şekil değiştirmesinden hesaplanır.

Kiriş Eğilme Reometresi (BBR) deneyi bitümlü bağlayıcının rijitlik ve sünme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu parametreler bitümlü bağlayıcının düşük sıcaklık çatlağına karşı dayanımının bir ölçüsü olarak kullanılır. Diğer Superpave deneylerinde olduğu gibi bu deneyde de bitümlü bağlayıcının uygulanacağı bölgedeki tahmin edilen gerçek sıcaklık değerleri deney sıcaklığı olarak kullanılır. Deneyde, belirli boyutlarda hazırlanan bitüm kirişi numunesine bilgisayar kontrollü olarak 4 dakika boyunca sabit yük uygulanarak zaman-deformasyon ile zaman-sünme sertliği grafikleri çizilir. Deney, bitümün termal çatlak oluşumuna karşı direncini ölçmeye yönelik olduğundan negatif sıcaklıklarda gerçekleştirilir. 60 saniye sonunda sünme sertliği $S(t) \leq 300$ MPa ve m-değeri ≥ 0.300 olmalıdır.

7- Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT)



Dönel ince film halinde ısıtma deneyi

Karıştırma süresince bağlayıcının yaşlanması, laboratuvarında RTFOT (dönel ince film halinde ısıtma deneyi) ile simüle edilmektedir. Bu deneyde asfalt hazırlama tesislerinden karıştırma sırasında bitümlü bağlayıcının maruz kaldığı sertleşmeyi temsil edecek şekilde, ince bir film halinde hareket eden bitümlerin veya bitümlü bağlayıcıların üzerinde, sıcaklık ve havanın birleşik etkisini değerlendirmektedir.

RTFOT yöntemi ile bağlayıcıların ısıtma sonucu uçucu madde kaybı belirlenebilmekte ayrıca sıcaklık ve havanın etkisiyle bitümlü malzemelerin fiziksel özelliklerindeki değişimi tespit etmek amacıyla gerekli malzeme elde edilebilmektedir. TS EN 12607-1’de belirtilen bu deney, 163°C sıcaklığa sahip etüve yerleştirilen 8 adet şişe kullanılarak yapılmaktadır.

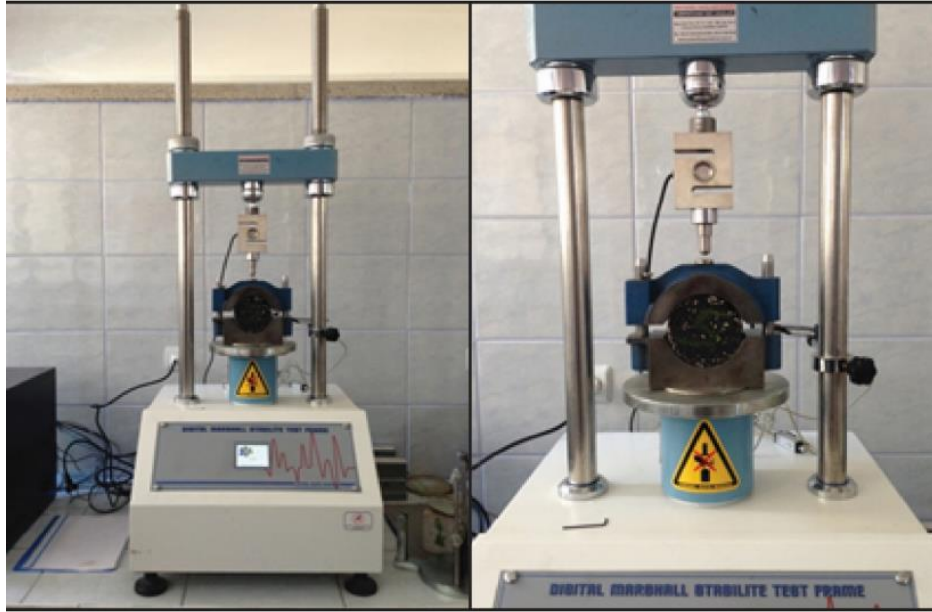
8- Basınçlı Yaşlandırma Aleti (PAV)



PAV deney aleti

Basınçlı yaşlandırma aleti (PAV), kaplamanın servis ömrü boyunca bağlayıcılarda meydana gelen uzun dönemli sertleşme özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. PAV deneyi, RTFO deneyinden elde edilen bağlayıcılar üzerinde uygulanmaktadır. AASHTO PP1 standardına uygun olarak her bir numune kabına 50 gram RTFO deneyinden elde edilen bağlayıcı konulmaktadır. PAV deneyinde bağlayıcı sınıfına göre değişen (90–100 ve 110°C) belirli bir sıcaklıkta numunelere 20 saat süreyle 2070 kPa’lık basınç uygulanmaktadır

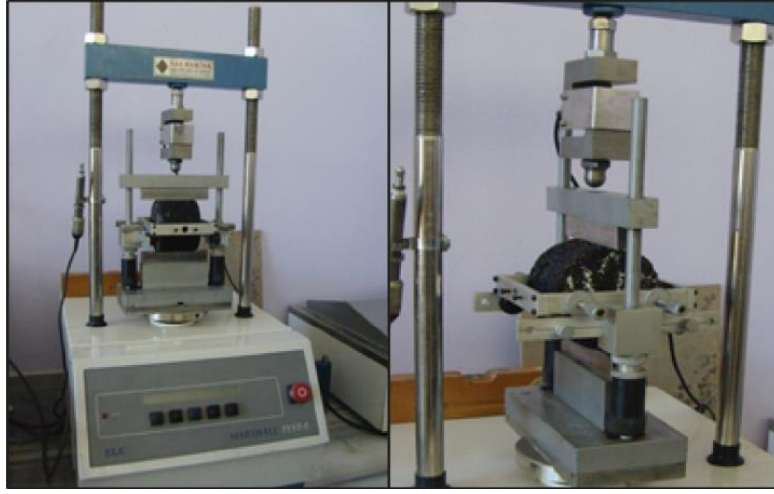
9- Marshall Stabilite ve Akma Deneyi



Marshall stabilite test cihazı

Bitümlü sıcak karışım (BSK) numunelerine Marshall stabilite ve akma testleri uygulanmış olup, işlemler EN 12697-34 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu standarda göre, stabilite numunenin deformasyona karşı gösterdiği en yüksek direnç, akma ise bu maksimum yük anında meydana gelen deformasyon olarak tanımlanmaktadır. Test süreci öncesinde, sıkıştırılıp soğutulan numunelerin yükseklikleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Ardından numuneler, 60 ± 1 °C sıcaklığında bulunan su banyosuna yerleştirilmiş ve 40 ila 60 dakika arasında bekletilmiştir. Kırma çenesinin de test öncesi uygun sıcaklığa getirilmesi gerekmektedir; bu amaçla ya 60 ± 1 °C'de su içinde 30 dakika ya da aynı sıcaklıkta bir etüvde 1 saat bekletilmesi önerilir. Süre sonunda numune dikkatlice sudan çıkarılır ve çeneye düzgün biçimde yerleştirilir. Numunenin üst ve alt yüzeylerinin çeneye tam temas ettiğinden emin olunmalıdır. Hazırlanan numune, Marshall stabilite cihazına yerleştirilerek, 50 ± 2 mm/dakika hızla yük uygulanır.

10- Nem Hasarına Karşı Dayanım Deneyi (AASHTO T 283)

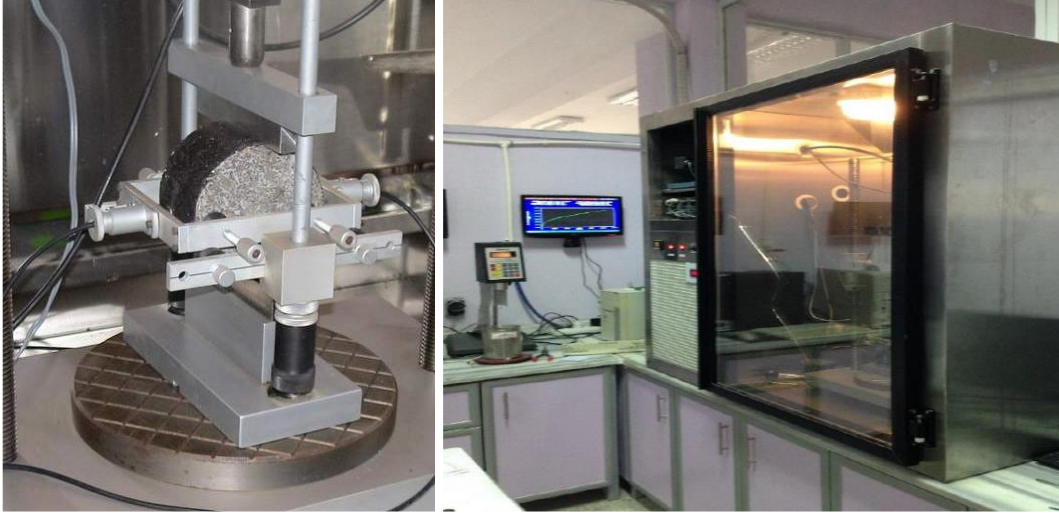


Çekme dayanımı deney düzeneği

Bitüm ile agreganın arasındaki bağ kuvveti, uzun vadeli kaplama dayanımını etkileyen temel unsurlardan biridir. Ancak, bu iki bileşen arasına su girmesi adezyonun zayıflamasına neden olur ve bu durum bitümlü sıcak karışımlarda erken yüzey hasarlarını beraberinde getirebilir. Bitümlü karışımların neme karşı gösterdiği direnç; bağlayıcının ve agreganın özellikleri, çevresel koşullar, trafik yükü, drenaj durumu ve yapım sürecinde gösterilen titizlik gibi birçok parametreye bağlıdır.

Superpave yönteminde, bitümlü sıcak karışımların neme karşı dayanıklılığını değerlendirmek için AASHTO T 283 standardına dayanan bir test prosedürü uygulanır. Bu yöntem, doğrudan bir performans testi olmasa da, karışımın nem kaynaklı hasarlara karşı direncini ve katkı maddelerinin bu direnç üzerindeki etkisini incelemeye yöneliktir. Deney kapsamında, $7 \pm 0,5$ hava boşluğu içeren en az altı numune, yoğurmalı pres kullanılarak sıkıştırılır. Superpave numune hazırlama yönteminden farklı olarak, numuneler 60 °C sıcaklıkta 16 saat ve ardından karıştırma sıcaklığında 2 saat etüvde bekletilerek kısa dönem yaşlandırma işlemine tabi tutulur. Numuneler, hava boşlukları eşit olacak şekilde iki gruba ayrılır. İlk grup koşullandırma işlemine alınır. Bu gruptaki numuneler saf su içeren bir piknometreye yerleştirilir ve 10–26 in.Hg (13–67 kPa) aralığında vakum uygulanır. Vakumlama işlemi, hava boşluklarının %70–80'inin suyla dolması sağlanana kadar sürdürülür ve genellikle yaklaşık 5 dakika içinde tamamlanır. Eğer doluluk %70'in altında kalırsa vakumlamaya devam edilir; ancak %80'i aşan doluluk durumlarında numunelerin zarar görme riski nedeniyle bu örnekler test dışı bırakılır.

11- İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi

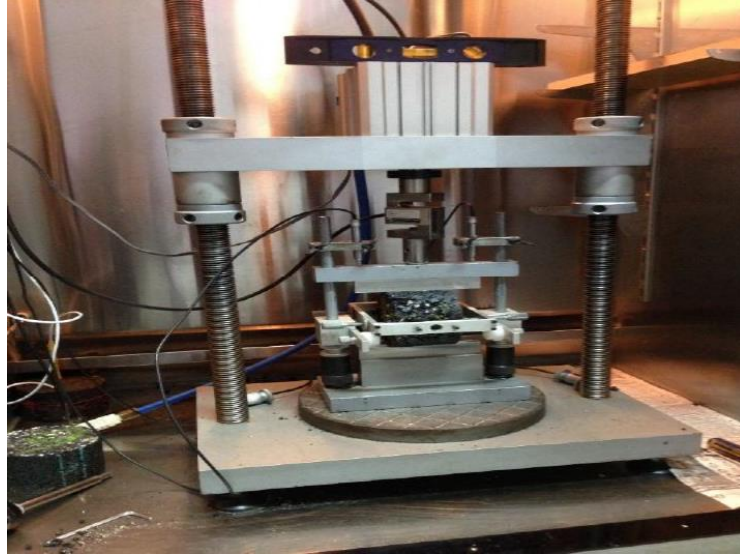


ITSM deney düzeneği ve UMATTA aleti

Bitümlü Sıcak Karışım numuneleri, iklimlendirme kabini sayesinde deneyler farklı sıcaklık koşullarında da koşullandırılabilir. Deneye başlamadan önce numuneler, testin uygulanacağı sıcaklıkta en az üç saat bekletilmektedir. Numunenin yüksekliği ve çapı, Poisson oranı tahmini, hedeflenen yatay deformasyon miktarı, yükleme süresi, yük artış aralıkları ve tahmini rijitlik modülü gibi parametreler önceden yazılım sistemine girilmektedir. Ardından, numune yükleme düzeneğine yerleştirilir ve yatay deformasyonu algılayan sensörler uygun şekilde konumlandırılır. Deneyin ilk aşamasında, numunelere ön yük uygulanır. Uygulanan beş tekrar boyunca gerçekleştirilen ön yükleme esnasında, sistem numunede hedeflenen yatay şekil değişimini sağlayacak optimum yük düzeyini otomatik olarak saptamaktadır. Bu işlemi takiben, önceden belirlenen yük altında uygulanan beş darbe sonucunda, ITSM değeri aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

Deney tamamlandıktan sonra, numune 90° döndürülerek test süreci tekrar edilmektedir. Elde edilen iki ölçüm arasındaki fark %10'dan fazla ise, numune bir kez daha 90° döndürülerek üçüncü bir ölçüm alınmaktadır. %10'dan daha az farklılık gösteren iki sonuç esas alınarak ortalaması hesaplanmakta ve bu değer, numunenin ITSM değeri olarak kabul edilmektedir.

12- İndirekt Çekme Yorulma Deneyi

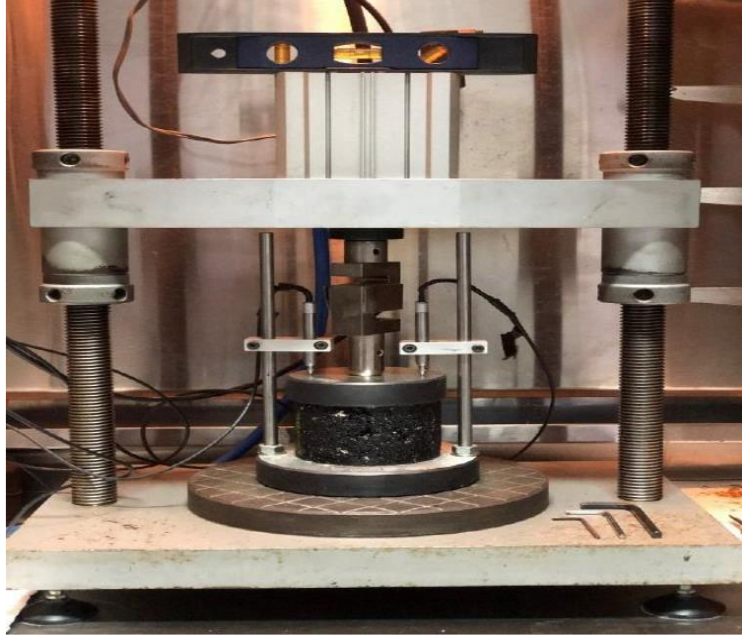


UMATTA aleti

Bitümlü sıcak karışımların yorulma dayanımını belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında geliştirilen çeşitli test yöntemleri bulunmaktadır. Bu testler, ya sabit gerilme altında ya da sabit deformasyon altında gerçekleştirilebilmektedir. Test yöntemi seçimine bağlı olarak; numunenin geometrisi, uygulanan yükleme şekli ve numunede oluşan gerilme dağılımı değişiklik göstermekte, bu da elde edilen yorulma ömrü sonuçlarının farklı olmasına yol açmaktadır. Yapılan araştırmalar, deformasyon kontrollü testlerden elde edilen yorulma ömrü değerlerinin, gerilme kontrollü testlerle kıyaslandığında genellikle daha uzun olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, laboratuvar ortamında elde edilen yorulma ömrünün, saha koşullarında tespit edilen yorulma ömrüne kıyasla daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılık, yorulma ömrünün kaplama sistemindeki gerilme dağılımı ve sınır şartları gibi faktörlerden etkilenmesinden kaynaklanmaktadır [85]. Tüm bu sınırlamalara rağmen, yorulma testleri farklı karışımların performanslarını karşılaştırma açısından önemli bir değerlendirme aracı sunmaktadır.

Dolaylı çekme yorulma testi (İÇYD) kapsamında, numunenin tamamen kırıldığı ana kadar geçen yükleme çevrim sayısı "yorulma ömrü" olarak tanımlanmaktadır. Her bir numune, farklı gerilme düzeylerinde teste tabi tutulmakta ve her düzeyde kırılmaya neden olan yük tekrar sayısı (N_f) tespit edilmektedir.

13- Dinamik Sünme Deneyi



Dinamik sünme deney düzeneği

Bitümlü sıcak karışımların kalıcı deformasyona karşı performansını değerlendirmek amacıyla yaygın olarak başvuru alan yöntemlerden biri, dinamik sünme testidir. Bu yöntem, 1970'li yılların ortalarından itibaren kaplama malzemelerinin kalıcı deformasyon karşısındaki dayanım özelliklerini analiz etmek için kullanılmaktadır. Dinamik sünme testinin tercih edilmesinin temel sebepleri; uygulama kolaylığı ve kalıcı deformasyon oluşumuyla yüksek derecede tutarlılık göstermesidir. Test sürecinde, sabit bir yük değeri belirli aralıklarla laboratuvarda hazırlanmış ya da sahadan alınmış silindirik numunelere uygulanmaktadır. Numune üzerine yerleştirilen metal plaka aracılığıyla dik konumlandırılmış LVDT sensörleri, her bir yükleme döngüsünde oluşan plastik ve elastik deformasyonları ayrı ayrı ölçebilmektedir. Deney, farklı sıcaklık koşulları ve yükleme seviyelerinde gerçekleştirilebilmekte olup, elde edilen veriler aracılığıyla sünme modülü ve elastik modül gibi mekanik parametreler aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanabilmektedir.

14- Dört Noktalı Eğilme Yorulma Deneyi

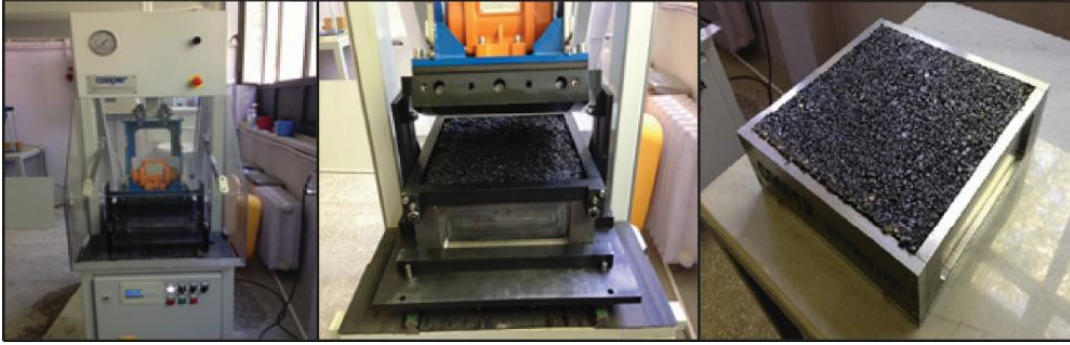


4 Noktalı eğilme yorulma deney ekipmanları ve yükleme aparatı

Eğilme yorulma testlerinin temeli, bir esnek üstyapı üzerindeki tekerlek yükünün kaplamanın eğilmesine yol açacağı düşüncesine dayanmaktadır. Tek tekerleğin neden olduğu gerilmeler nispeten küçük olsa da, tekrarlanan tekerlek yüklerinden kaynaklanan çekme gerilmeleri, sonunda çatlak oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bu çatlaklar, yolun efektif yüksekliğini azaltır, bu da daha büyük çekme gerilmelerine yol açar. Bir eğilme testinde, numune bu durumu temsil edecek şekilde benzer bir yüklemeye tabi tutulmaktadır. Eğilme testlerinden elde edilen sonuçlar yapısal etkilerin ve malzeme etkilerinin kombinasyonuna bağlı olduğundan dolayı, aynı malzeme üzerinde farklı eğilme testleri uygulandığında farklı sonuçlar vermektedir.

Kompleks modül ve yorulma davranışı tüm malzemeler için önemli özelliklerdir. Bazı Avrupa ülkeleri bitümlü karışımlar için performans odaklı gereksinimler geliştirmişlerdir. Bu şartları kullanarak, kaplamaların ömrünün iyileştirilmesi beklenir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan testler şunlardır: Trapezoidal ve prizmatik numuneler üzerinde iki noktalı eğilme testleri, prizmatik şekilli numunelerde üç noktalı eğilme testi, prizmatik numunelerde dört noktalı eğilme testi ve silindirik şekilli numunelerde indirekt çekme testi. Her bir test türü için, test sonucu ile beklenen üstyapı performansı arasındaki ampirik ilişki, gerçek gözlemlere dayalı olarak belirlenmelidir.

15- Merdaneli Sıkıştırıcı ile Plak Şeklinde Numune Hazırlanması



Merdaneli sıkıştırıcı ve numune hazırlanması

Doğrudan numuneleri deneye tabi tutmak veya deney numunesinin keserek elde etmek amacıyla hazırlanan plak şeklindeki bitümlü sıcak karışımların sıkıştırılmasında EN 12697-33 standardında tanımlanan yöntemler kullanılmaktadır. Bu standartta belirtilen yöntemlerde belirli bir ağırlıktaki bitümlü karışım numunesi, kontrollü sıkıştırma enerjisi uygulanarak veya belirlenen hacim ve dolayısıyla boşluk oranına ulaşıncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Standart pnömatik lastik metodu, çelik silindir (merdaneli pres) metodu ve parça plak metodu (sliding plate) olmak üzere üç farklı yöntemi açıklamaktadır.

Numunenin kalıpta sıkıştırılmasını sağlayan cihaz; ileri geri kontrollü, kendi kendine ilerleyebilen statik olarak numuneyi sıkıştıran dönen tekerlek veya elle kontrol edilen silindir veya silindirin etkisini simule eden ve numuneye statik yük uygulayan silindir parçasından oluşmaktadır.

16- Tekerlek İzi (Kalıcı Deformasyon) Deneyi



Tekerlek izi deney aleti

EN 12697-22 standardında tanımlanan bu deney hem laboratuvarda üretilen hem de arazide kaplamadan alınan numuneler üzerinde uygulanabilmektedir. Tekerlek izi deneyi sabit sıcaklıkta belli bir yük uygulayan tekerleğin numune üzerinde tekrarlı geçişler yapmasıyla gerçekleştirilmektedir. Deney sonucunda oluşan tekerlek izi derinliği BSK'ların deformasyon oluşumuna karşı dayanımlarını göstermektedir. Tez çalışmasında kullandığımız tekerlek izi deney aleti standartta belirtilen küçük boy tipteki cihaz sınıfına girmektedir. Standartta göre tekerleğin dış çapı 200-205 mm arasında olmalıdır. Tekerlek desenli olmamalı ve genişliği 50 ± 5 mm olmalıdır. Tekerleğin üzerindeki kauçuk lastik kalınlığı 20 ± 2 mm olmalıdır.

Birim Sorumluları	Dahili Numara	E-mail Adresi
Doç. Dr. ERKUT YALÇIN	5435	erkutyalcin@firat.edu.tr