

SICAK İKLİMLİ BÖLGELERDE KULLANILAN ESNEK ÜSTYAPI KAPLAMA TABAKALARINDA PERFORMANS ARAŞTIRMASI

Emel AVCI
Arş. Gör.
Balıkesir Üniversitesi
Balıkesir, Türkiye
emelavci@balikesir.edu.tr

Mesut TIĞDEMİR
Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Isparta, Türkiye
tigdemir@mmf.sdu.edu.tr

Turgut ÖZDEMİR
Prof. Dr.
Balıkesir Üniversitesi
Balıkesir, Türkiye
tozdemir@balikesir.edu.tr

GİRİŞ

Yol üstyapısı tasarımını özetlersek, deneylerden elde edilen malzeme özelliklerine ve trafik yüklemesine bağlı olarak tabakalı sistem çözümü yapıldıktan sonra bitümlü tabakalar altındaki çekme şekil değiştirmeleri ve taban zemini üzerindeki düşey şekil değiştirmeler, laboratuvarında yapılan deneylerin sonuçlarıyla karşılaştırılır. Bu sonuçlara göre seçilen malzemenin uygun olup olmadığı veya tabaka kalınlıklarının yeterli olup olmadığı belirlenir.

Malzeme ve bitümlü karışımların mekanik özellikleri analitik tasarımın yapılabilmesi için belirlenmelidir. Bu da laboratuvar deneylerinin ne kadar önemli olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Tasarımda genellikle yorulma ve plastik deformasyon deney sonuçları kullanılır. Ayrıca deneylerin ülkemiz şartlarına uygun yapılması da tasarımın gerçekçiliğinde önemli rol oynar.

ESNEK ÜST YAPILARDA MEVSİMSSEL ETKİLER

Sıcaklığın Etkisi

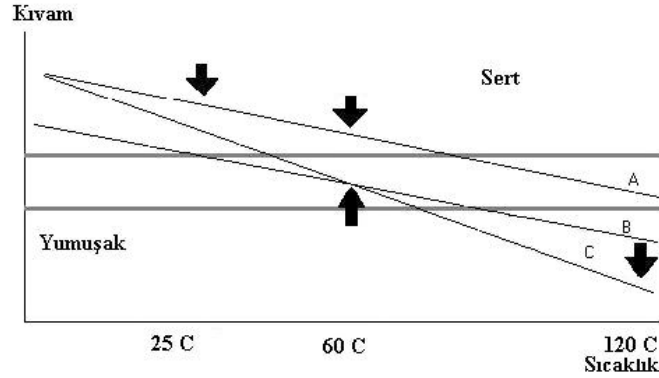
Karayolu esnek üstyapı yüzeyi, asfaltın siyah renginden dolayı güneş ışığını daha çok absorbe etmektedir. Bu durumda bitümlü karışımın mekanik özelliklerine bağlı olarak ölçülen defleksiyon değerini, üstyapı sıcaklığı, yani hava sıcaklığı etkilemektedir. Bitüm kaplamalı üstyapılarda, üstyapıya uygulanan bir yük miktarı için oluşan defleksiyon miktarı, üstyapı sıcaklığının artışıyla artmaktadır. Ancak sadece üstyapı yüzeyi sıcaklığını bilmek yetmez. Çünkü alt tabakalardaki defleksiyonlar da sıcaklıktan etkilenir ve alt tabaka yüzeylerindeki sıcaklıkların da bilinmesi gereklidir. Alt tabaka yüzeylerindeki sıcaklık değerlerini bulmak için bazı ilişkiler geliştirilmiştir. Genelde referans bir sıcaklık değeri kabul edilmiş ve ölçülmüş olan defleksiyon değerleri bu referans sıcaklık değerine göre düzeltilmiştir.

Bir tahribatsız defleksiyon ölçümü, ölçüm yapılan zaman dilimi için ve ölçüm alınan şartlar için geçerlidir. Sıcaklık arttığında ya da aniden azaldığında defleksiyon ölçümü takip eden gün ya da hafta için geçerli olmaz. Bu tür durumlarda, ölçülen defleksiyon değerlerini yorumlamak için; ölçümün yapıldığı mevsim, günün hangi vakti olduğu dikkate alınmalıdır. Genelde defleksiyon ölçümleri 21 °C (70 °F) standart sıcaklığa göre düzeltilmektedir. Bu düzeltme işlemi, tahribatsız test metodlarının önemli bir parçasıdır.

Ancak yine de sıcaklık çok önemli bir konu olduğu için tahribatsız testlerin, çok sıcak yaz günleri ve/veya direk güneş ışığı altında uygulanmaması gerekmektedir. 35 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda ölçüm alınmaması tavsiye edilmektedir.

Sıcaklık Etkisi Altında Asfaltın Davranışları

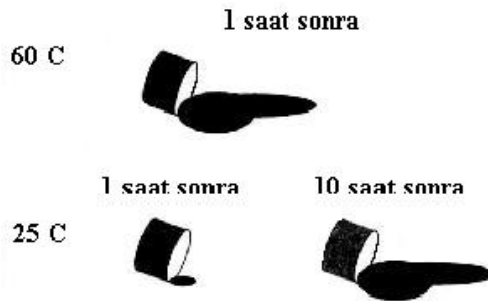
Türkiye’de halen kullanılan bitüm sınıflandırma sisteminde, bitümün penetrasyon değerleri esas alınmaktadır. Penetrasyon deneyi bütün asfaltlar için 25°C’de yapılmaktadır. Şekil 1 ’de, üç adet asfalt numunesinin farklı sıcaklıklardaki kıvamları gösterilmektedir.



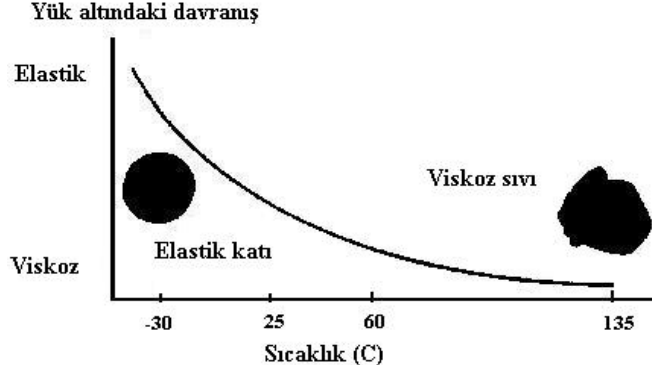
Şekil 1. Asfaltın farklı sıcaklıklardaki kıvamı (1)

Şekil 1 ’de görüldüğü gibi, 25°C’de her üç numune sert olarak nitelendirilecek bir kıvamdadır. Değişen sıcaklık şartlarında A ve B asfaltları birbirine benzer bir farklılık gösterirken, C asfaltı sıcaklığın etkisiyle A ve B asfaltlarına oranla daha hızlı yumuşama göstermektedir. 60 °C’de penetrasyonları aynı olan B ve C asfaltlarından C asfaltı, düşük sıcaklıklarda B’den daha sert iken, yüksek sıcaklıklarda B’den daha yumuşaktır. Asfalt sınıfları penetrasyon değerine göre aynı olsa da, farklı sıcaklıklardaki davranışları farklı olmaktadır. Kullanılan geleneksel yöntemde, bağlayıcının sıcaklık şartlarına bağlı olarak farklı davranışlar gösterebileceği göz ardı edilmektedir. Asfaltın davranışı, maruz kaldığı sıcaklık ve yük/yükleme hızına göre değişiklik gösterir. Yavaş yüklemenin (yavaş hareket eden veya duran trafik yükleri) yapacağı etkiyi yüksek sıcaklıklardaki davranışla, hızlı yüklemeyi ise düşük sıcaklıklardaki davranışla temsil etmek mümkündür. Şekil 2 ’de görüldüğü gibi, asfalt çimentosundaki 60°C’de 1 saatlik akış miktarı ile 25°C’deki 10 saatlik akış miktarı birbirine eşdeğerdir (2).

Asfalt visko-elastik bir malzemedir. Yani hem akıcı, hem de elastik (yüklemeden sonra eski şeklini alabilen) davranış gösterebilir. Düşük sıcaklıklarda elastik özelliklere sahip olan asfalt, yüksek sıcaklıklarda viskoz bir sıvı haline gelmektedir. (3)



Şekil 2. Asfaltın zaman ve sıcaklığa göre davranışı (1)



Şekil 3. Asfaltın sıcaklığa göre yük altındaki davranışı (1)

Esnek Üst Yapılarda Sıcak İklimli Bölgelerde Meydana Gelen Bozulmalar

Sıcak iklimli bölgelerde meydana gelen bozulmaları dört ana başlık halinde inceleyebiliriz. Bunlar;

- Tekerlek izi oluşumu
- Çatlaklar
- Kusma
- Şekil değiştirme (Yığılmalar)

Tekerlek İzi

Tekerlek izi oluşumu (oluklanma) asfalt betonu kaplamalarda görülen bozulma türlerinden biridir. Taşıt tekerleklerinin yola değme noktalarında, yol boyunca oluşan düşey kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır.

Ticari taşıt sayılarındaki artış, bunların dingil sistemlerinin değişmesi ve dingil ağırlıklarının artması, çift tekerlek yerine geniş tabanlı tek tekerlek kullanılması ve lastik iç basınçlarının artması nedenleriyle, tekerlek izi çözülmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Tekerlek izi oluşumuna neden olan başlıca faktörler; aşırı yükler, uzun süreli veya durağan yükler, aşırı yük tekrarı, uygun olmayan malzeme kullanımı, tasarım ve yapım hataları olarak sıralanabilir.

Yorulma Çatlakları

Trafik etkisine bağlı çatlamlar ya ağır dingil yüklerinin tek veya bir kaç defa geçmesi sonucunda, ya da yüksek sayıda geçmesi sonucunda oluşurlar ki bu ikincisine "yorulma" çatlakları denir.

Birinci halde ağır dingil yükünün oluşturduğu gerilme asfalt betonunun eğilme-çekme direncini aşmaktadır. Yorulmada ise, direnç aşılmamakta, fakat dingil yüklerinin doğurduğu kalıcı deformasyonlar, yüksek tekrür dolayısı ile birikime uğramaktadır. Ağır dingil yüklerinden başka taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamaları da çatlamlara yol açabilmektedir.

Çatlamlar trafik yüklerine bağlı olmaksızın "çevre" etkisi sıcaklık ve nemin değişimi ile de oluşabilirler. Bu etkiler tek başlarına veya dingil yükleri ile birleşerek kaplamayı çatlatabilir.

Kusma

Karışım içindeki asfaltın sıcaklık etkisi ile yükselerek yüzeye çıkması ve yüzeyde oldukça kalın bir asfalt filmi oluşturması olayıdır. Kusma sonucu yüzeydeki agregalar tamamen asfalt filmi ile kaplandığından sürtünme katsayısı düşmektedir.

Kusma daha ziyade asfalt yüzdesi yüksek karışımlarda ve sıcak havalarda ortaya çıkar. Çok ağır dingil yükleri altında, basınçla da asfalt yüzeye çıkabilir. Asfalt yüzdesi optimum olmakla beraber, karışımda boşluk yüzdesi çok düşükse, sıcak havalarda genleşen ve boşluk bulamayan asfalt yine yüzeye çıkma eğilimi gösterecektir. Çok kalın serilen astar veya yapıştırma tabakaları da kusmaya sebep olabilir.

Şekil Değiştirme (Yığılmalar)

Asfalt betonu kaplamanın üst kısmının sıcak havalarda tekerleklerin mekanik etkisi yolu ile ötelenerek, yol eksenine dik ya da paralel olarak yığılmasıdır. Özellikle temeli rijit (beton) veya yarı rijit (çimento stabilizasyonu) asfalt betonu kaplamalarda görülür.

Stabilite yetersizliklerine, yüksek sıcaklıklara ve tabakalar arasında yapıştırma tabakası yokluğuna veya çok bol yapıştırıcı kullanılmasına bağlıdır. Yığılmaların önlenmesi, yüksek stabiliteli karışım ve sert bağlayıcı kullanmakla mümkündür.

YÖNTEM

Yol üst yapısının analitik olarak tasarlanabilmesi, üstyapı tabakalarında kullanılan malzemelerin ve karışımların özelliklerinin tam olarak belirlenerek bilinmesine bağlıdır. Bu konuda yapılan araştırmalarda laboratuvar deneyleri yaygın olarak kullanılmış olup elde edilen sonuçlar bitümlü karışımların mekanik davranışları hakkındaki temel bilgilerin edinilmesini sağlamıştır.

Analitik üstyapı tasarımında iki gurup malzeme özelliği göz önüne alınır: bunlardan ilki yapının analizi için gerekli olan yük-deformasyon veya gerilme-şekil değiştirme özellikleri; ikincisi ise bozulma şekli (deformasyon) belirleyen özellikleridir. Başlıca bozulma özellikleri yorulma çatlağı ve kalıcı deformasyondur.

Üstyapı tasarımında ideal olan arazideki malzemenin mekanik özelliklerinin kullanılmasıdır. Fakat tam ölçekli arazi deneyleri yapmak genellikle güçtür ve bu yüzden mühendisler laboratuvar deneylerine yönelirler. Bu deneylerdeki sıcaklık, yükleme süresi, gerilme durumları, sıkıştırma düzeyi vb. arazi koşulları mümkün olduğunca benzeştirilmelidir. Fakat, arazi şartları sürekli olarak değiştiği için uygun deney koşullarının seçilmesi oldukça güçtür. Arazideki gerilme şekilleri laboratuvarla güçlükle sağlanabilmektedir. Sonuç olarak, arazideki davranışın belirli bazı yönlerinin laboratuvar ortamında tekrarlanmasını sağlayabilecek basitleştirilmiş deneyler yapılmaktadır.

Asfalt-Agrega Karışımında Kullanılacak Gradasyonların Belirlenmesi

Numunelerin hazırlanmasında kullanılacak olan gradasyonların belirlenmesinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nce kullanılan Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) Şartnamesi tip değerleri esas alınacaktır. Tablo 1 'de, çalışmada kullanılan bazı gradasyon tip değerleri verilmiştir. Bu tolerans limitlerini aşmamak suretiyle gradasyonlar çeşitlendirilmiştir.

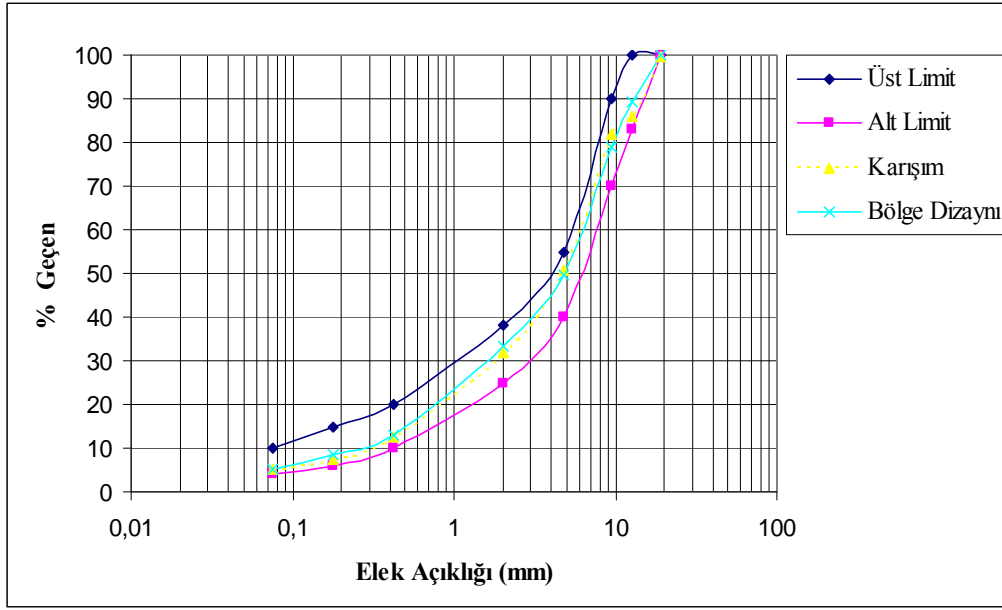
Tablo 1. Bitümlü Sıcak Karışım tabakalarında Gradasyon şartname limitleri (KGM)

Elek Açıklığı		Aşınma Tabakası		Binder Tabakası
inç	mm	Şartname Tip 2	Şartname Tip 4	Şartname Tip 3
2"	50,8			
1 1/2"	37,5			
1"	25,4			100
3/4"	19,1	100		80-100
1/2"	12,7	83-100	100	58-80
3/8"	9,5	70-90	80-100	48-70
No:4	4,75	40-55	55-72	30-52
No:10	2	25-38	36-53	20-40
No:40	0,425	10-20	16-28	8-22
No:80	0,18	6-15	8-16	5-14
No:200	0,075	4-10	4-10	2-8

Deney Numunelerinin Hazırlanması

Gradasyon üstüne bağlı olarak, dane boyutuna göre miktarı belli olan malzemelerin karıştırılması ile 1200 gr agrega malzemesi hazırlanmıştır. Bu malzeme ve asfalt çimentosu etüvde, ayrı kaplarda 165 °C 'de 2 saat süreyle ısıtılmıştır. Isıtılan agrega üzerine, Marshall Stabilite testi ile belirlenen miktar kadar asfalt çimentosu uygulanmıştır. Karışım hızlı bir şekilde karıştırılmıştır. Bu işlem sırasında agreganın asfalt çimentosu ile tamamen kaplanmasına dikkat edilmiştir.

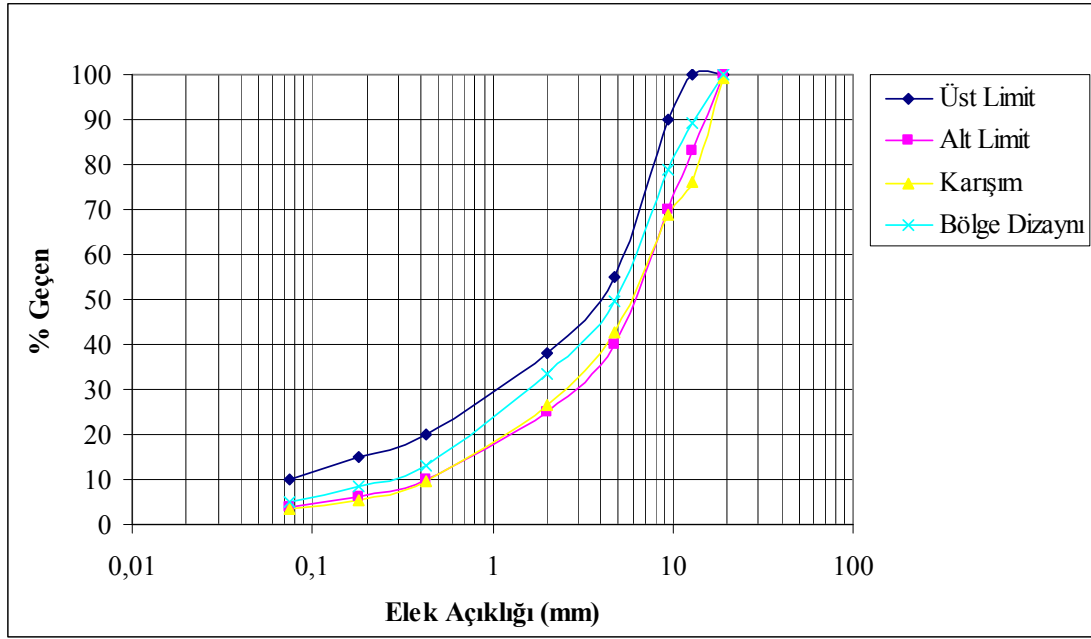
Hazırlanan karışım, Marshall numune kalıbı yağlandıktan sonra kalıba dökülmüştür. Bu işlemde önce kalıbın altına bir kağıt yerleştirilmiştir. Bunun amacı, ikinci yüzün sıkıştırılabilmesi için, numune kalıbının ters çevrilmesi sırasında malzeme kaybını önlemektir. Kalıba dökülen asfalt-agrega karışımı bir şiş yardımıyla iyice kalıba yerleştirilmiştir. Malzemenin üstü de kağıt ile kapatıldıktan sonra numune sıkıştırılmak üzere Marshall sıkıştırma aletine yerleştirilir. Numunenin her iki yüzüne 75 adet sıkıştırma darbesi uygulanmıştır. Sıkıştırma sıcaklığının en az 135 °C olmasına dikkat edilmiştir. Sıkıştırma işlemi biten numune soğumak üzere bir gece oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kalıptan çıkarma işlemi ertesi gün numune soğuk haldeyken yapılmıştır. Kriko kullanılarak numuneler kalıptan çıkarılmıştır. Marshall testi standartlarında hazırlanan numunelerin çapı 101.6 mm 'dir (4 inch). Yükseklikleri de standart kabul edilen 63.5 mm civarında, karışım özelliklerine göre ise 62-66 mm arasında elde edilmiştir.



Şekil 4. Grup 1 'e ait elek analizi grafiği

Tablo 2. Grup 1 'e ait karışımın tolerans limitleri

Elek Açıklığı		Numuneler			
		Tolerans Limitleri		Karışım	Bölge Dizaynı
inç	mm	Alt Limit	Üst Limit		
2"	50,8				
1 1/2"	37,5				
1"	25,4				
3/4"	19,1	100	100	99,6	100
1/2"	12,7	83	100	85,9	89,3
3/8"	9,5	70	90	81,8	78,9
No:4	4,75	40	55	50,8	49,7
No:10	2	25	38	31,8	33,4
No:40	0,425	10	20	12,7	13
No:80	0,18	6	15	7,4	8,6
No:200	0,075	4	10	5,1	5,1



Şekil 5. Grup 2 'ye ait elek analizi grafiği

Tablo 3. Grup 2 'ye ait karışımın tolerans limitleri

Elek Açıklığı		Numuneler			
		Tolerans Limitleri		Karışım	Bölge Dizaynı
inç	mm	Alt Limit	Üst Limit		
2"	50,8				
1 1/2"	37,5				
1"	25,4				
3/4"	19,1	100	100	99,3	100
1/2"	12,7	83	100	76,1	89,3
3/8"	9,5	70	90	69	78,9
No:4	4,75	40	55	42,7	49,7
No:10	2	25	38	26,6	33,4
No:40	0,425	10	20	9,8	13
No:80	0,18	6	15	5,3	8,6
No:200	0,075	4	10	3,5	5,1

Yorulma Deneylerinin Yapılması

Isıl işleme tabi tutulan numunelere, numune çerçevesi yardımıyla yatay deplasman transdüserleri (LVDT) sabitlenir. Numune alt ve üst yükleme kafası arasında yerleştirilir. Kabin termostatları deney öncesinden istenilen sıcaklığa sabitlenmiştir. Numuneler kabinde bekletilmektedir. Deneyin başlatılabilmesi için deney programının çalıştırılması gerekmektedir. Program çalıştırdıktan sonra, bilgisayar; deneyin başlatılabilmesi için gerekli olan işlemleri sırasıyla ekrana yazarak bildirir. Bilgiler girildikten sonra deney başlatılır.

Plastik Deformasyon Deneylerinin Yapılması

Plastik deformasyon testlerinde numunenin yerleştirimi, yorulma testine göre daha farklı yapılmaktadır. Plastik deformasyon testlerinde, numunelerin alt ve üstüne dairesel yükleme plakaları yerleştirilir. Bu yükleme plakalarının çapı 6.67 cm, kalınlığı yaklaşık 1cm 'dir. Daha

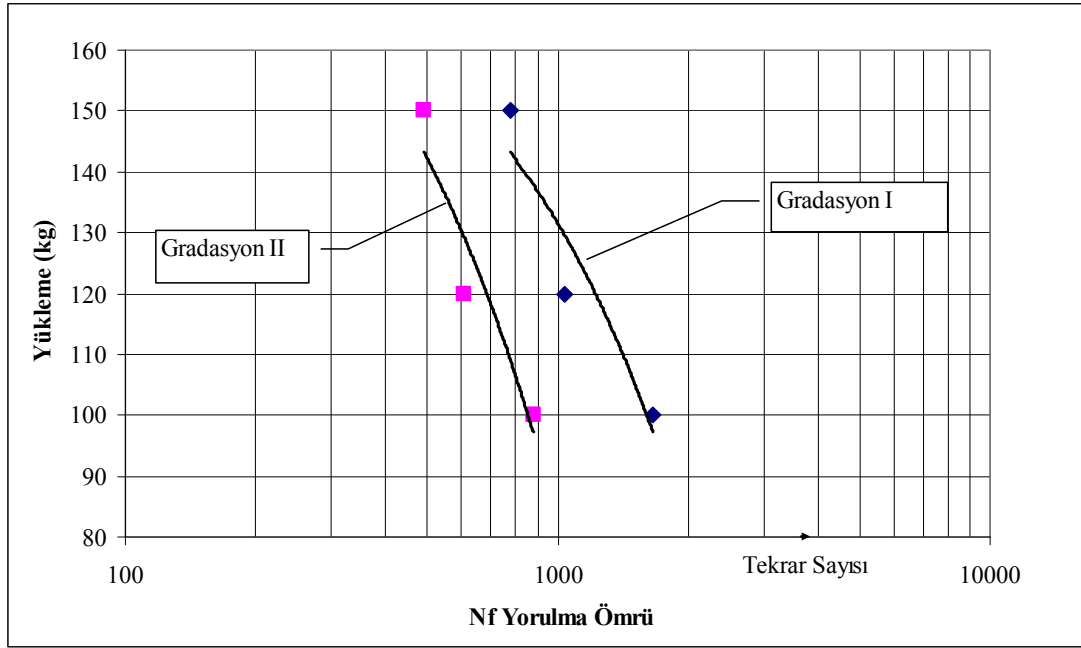
sonra yorulma testinin başlangıcından itibaren yapılan işlemler tekrarlanarak deney sona erdirilir. Bu testlerde transdüserler düşey deformasyonu ölçmektedirler.

Bilgisayar transdüserin ilk konumunu otomatik olarak algılar. Plastik deformasyon testleri 3600 yük tekrarı ile yapılmıştır. Şartlandırma yükü olarak, normal yükleme cinsinden 100 tekrar uygulanmıştır. Böylece toplamda uygulanan yük tekrarı 3700 olmuştur. Uygulanan gerilme 100 kPa 'dır. İstenen yükleme tekrarı sonucunda deney bitirilmektedir. Deneyler 40 °C' de yapılmıştır.

Yorulma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yorulma deneyleri, karışım değişkenleri belli olan numuneler için, 40 °C 'de yapılmıştır. Yükleme 100 kg, 120 kg ve 150 kg olarak uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda, her numunenin kırılması için gerekli olan yükleme adetleri kaydedilmiştir. Bu verilerden yükleme miktarı ile yorulma ömrü arasında bir bağıntı araştırması yapılmıştır.

Şekil 6 'da aynı bitüm yüzdesine sahip 1. ve 2. Grubun yorulma diyagramları verilmiştir. 1. Gruba ait numunelerin yorulma ömrü daha uzun çıkmıştır. Gradasyon I'in sürekli Gradasyon yapısında olması bununla birlikte Gradasyon II'nin açık Gradasyon özelliğinde olması yorulma ömürleri farkının açıklanmasında gerekçe olarak düşünülebilir.

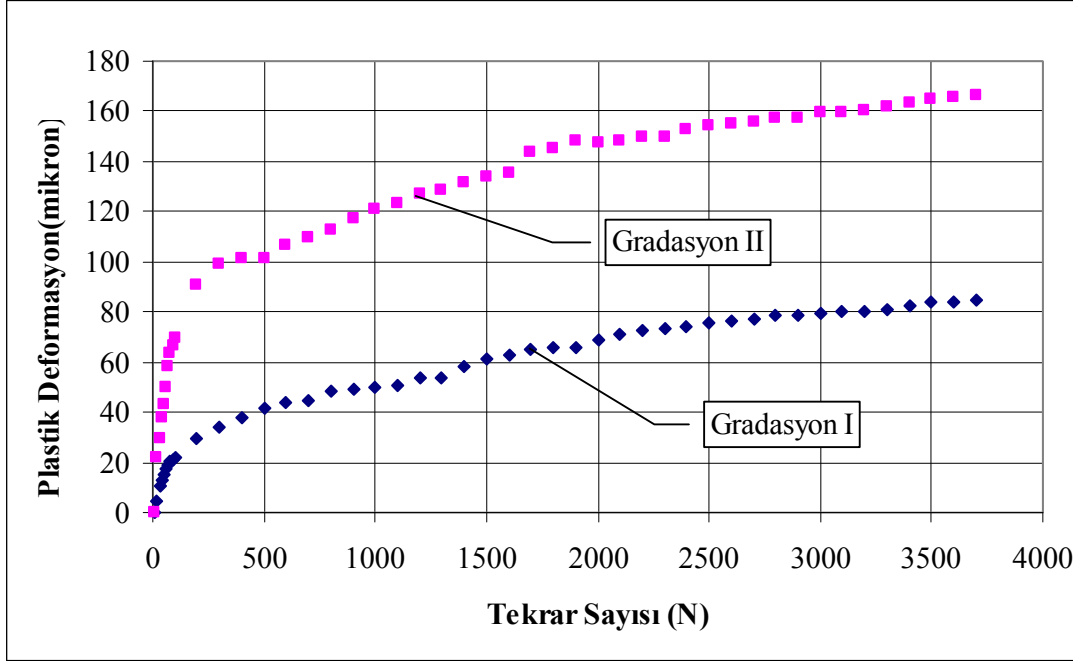


Şekil 6. %4,5 bitüm yüzdesine göre kontrollü gerilme yorulma ömrü diyagramları

Plastik Deformasyon Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Plastik deformasyon deneylerinde, hazırlanan numuneden her gruptan ikişer adet olmak üzere deneylere tabi tutulmuştur. Öncelikle daha önce yapılan çalışmalarda da tercih edilen ve numune çapından daha küçük olan yükleme platinlerinin kullanılması uygun görülmüştür. Sebebi; numune çapından daha küçük olan yükleme platinlerinin, arazi yüklemesini çevre sınırlaması yaparak, daha iyi temsil ettiği sonucuna varılmış olmasıdır. Buna göre 6.67 cm çaplı yükleme platinleri kullanılmıştır. Bu deneylerde ilk 100 yükleme tekrarı ön yükleme olarak kabul edilmiştir. Toplam yükleme tekrarı ise 3600 adettir. Yükleme dalgasını, 1sn yükleme periyodu ve 1sn dinlenme periyodu oluşturur. Deneyler numuneler 40 °C' ye sabitlenerek yapılmıştır. Deneylerin sonuçlarını gösteren grafikler, kaydedilen deformasyon değerlerine göre çizilmiştir.

Şekil 7 'de aynı bitüm yüzdesine sahip iki grup olan 1.Grup ve 2.Grup incelenmiştir ve daha kaba gradasyonlu olan 2.Grubun yüksek plastik deformasyona sahip olduğu gözlenmiştir. İri agrega miktarının artışı, daneler arası boşluk oranının da artmasını sağlamaktadır. Bu durum numunelerin yoğunluklarını da azaltır ve numunenin plastik deformasyona direncini düşürür. (Grup 1 'e ait özgül ağırlık; $d_1 = 22.832 \text{ kN/m}^3$, Grup 2 'ye ait özgül ağırlık; $d_2 = 23.136 \text{ kN/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.)



Şekil 7. %4,5 bitüm yüzdesine göre plastik deformasyon eğrileri

SONUÇ

Karayollarının her geçen gün daha fazla trafiğe maruz kalması, araçların artan yük taşıma kapasiteleri ve çevresel etkiler (iklim, coğrafik durum) günümüzde mevcut bitüm sınıflandırma sistemlerini ve Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) tasarım yöntemlerini yetersiz kılmış ve araştırmacıları problemleri çözme konusunda yeni çalışmalar yaparak, günün koşullarına uygun daha rasyonel yaklaşımları ortaya koyma yönüne itmiştir.

Sıcak iklimin esnek üstyapılar üzerindeki etkisi ve bu bölgelerde kullanılan esnek üstyapı kaplama tabakalarında performans araştırması, bu çalışmanın konusunu oluşturmuştur.

Asfalt betonunun mekanik özelliklerini belirlemek için yorulma ve plastik deformasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yorulma deneylerinde, bitüm yüzdesi, agreganın gradasyonu ve yükleme değişkenlerinin yorulma ömrünü nasıl etkilediği incelenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Dinç, E., 1999, Superpave, Türkiye Cumhuriyeti Karayolları 16. Bölge Müdürlüğü, Sivas.
2. Dinç, E., ve Yazıcı, A., 2000, "Superpave Bitüm Deneyleri ve Agrega Gradasyonu", 3. Asfalt Sempozyumu, Ankara, 161-172.
3. Öztürk, E., Çubuk, M.K., 2004, Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir Yöntem: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19 No 2, 175-184.