

## Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması

Remzi NAMLI\*  
Necati KULOĞLU\*\*

### ÖZ

Bu çalışmada, asfalt beton numuneleri Superpave ve Marshall yöntemlerine göre hazırlanmış ve onların tasarım şartnamesine göre karşılaştırılmıştır. Superpave numunelerinin hazırlanmasında Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) desteğinde yaptırılan yoğurmalı presten faydalanılmıştır. Her iki yöneme göre hazırlanan numuneler, stabilite, birim ağırlık, boşluk yüzdesi, agregalar arası boşluk yüzdesi ve akma değerleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde her iki yöntemin birbirine göre avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Superpave numunelerinin optimum asfalt içeriği, Marshall numunelerinden daha az elde edilmiştir.

### ABSTRACT

#### Experimental Comparison of Superpave and Marshall Methods

In this study, asphalt concrete specimens were prepared according to The Superpave and Marshall mix design methods, were compared according to their design specifications. Gyrotory compactor developed by The Firat University Scientific Research Project Unit (FUBAP) was used. The specimens prepared according to the stability, specific gravity, percent air void, voids in mineral aggregate and flow. In this comparison, the advantages and disadvantages of both methods were evaluated. Design binder content of Superpave specimens were determined to be less than that of Marshall specimens.

### 1. GİRİŞ

Bir çok ülkede karayolu üstyapısında daha çok asfalt esnek kaplamalar kullanılmaktadır. Esnek kaplama karışımları için çeşitli tasarım yöntemleri mevcuttur.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.09.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2007 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elazığ - rnamli@firat.edu.tr

\*\* Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ - nkuloglu@firat.edu.tr

### *Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması*

Bunlar içinde en yaygın olarak kullanılanı Marshall tasarım yöntemidir. Bu yöntemin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır.

Yol üzerindeki çeşitli bozulmalar, hava ve iklim şartlarına göre kaplamanın gerçek performansını koruyamaması, analiz ve uygulama sırasındaki sıkıştırma tekniklerinin farklı olması nedeniyle başta gelişmiş ülkeler olmak üzere pek çok ülkeyi yeni tasarım yöntemleri geliştirmeye sevk etmiştir. Bu çalışmalardan bir bölümü, mevcut tasarım yöntemlerini karşılaştırmak suretiyle en uygun olanını bulmaktan ibarettir. Bunların neticesinde yeni tasarım yöntemleri de ortaya çıkmaktadır. Bu tasarım yöntemlerinden birisi de Superpave (**Superior Performing Asphalt Pavements**) olarak isimlendirilen “üstün performanslı kaplama” yöntemidir. “Superpave” yöntemi, A.B.D.’deki “Strategic Highway Research Program” (SHRP) “Stratejik Yol Araştırmaları Programı” tarafından geliştirilmiştir. Temsilciler Meclisi, 1987 yılında yaptıkları kongrede, yolların durabilitesini ve performansını arttırmak ve her türlü iklim şartlarında kaplamanın kalitesini koruyabilmek için bir programın başlatılması ve desteklenmesi için karar almıştır. 150 milyon dolarlık bu programın; 50 milyon dolarını asfalt araştırmaları için, kalan kısmını da bir deneme yolu yaparak kaplamanın davranışını incelemek için kullanmışlardır [1].

Superpave yöntemini Marshall’dan ayıran en önemli fark sıkıştırma sistemidir. Marshall yönteminde analiz aşamasında standart bir tokmakla belli sayıda darbe numuneye uygulanmaktadır. Halbuki arazide karışım yola serilip sıkıştırılırken silindirlerle sıkıştırma yapılmaktadır. Sıkıştırma durumundaki bu farklılık arazideki şartları gerçek manada temsil etmediği birçok uzman tarafından kabul edilmektedir. Superpave yönteminde ise yoldaki durumu temsil etmesi bakımından sıkıştırma, laboratuvar ortamında yoğunmalı bir şekilde yapılmaktadır.

### **LİTERATÜR ÖZETİ**

Dünyada Superpave yöntemi ile önceki yöntemleri karşılaştıran çeşitli uluslar arası çalışmalar da yapılmıştır. Çeşitli tasarım yöntemlerini karşılaştırmak için bir deney programı geliştirilmiştir. Bu programda 6 farklı karışım; 50 darbelik Marshall, 75 darbelik Marshall, Pine ve Troxler yoğunmalı preslerinin kullanıldığı Superpave yöntemi, ordu mühendislik grubunun geliştirdiği (GTM) kesme direncini belirleyen yoğunmalı pres ile sıkıştırılarak karşılaştırılmıştır. Burada hem %4, hem de % 4.5’luk hava boşluk oranında optimum bitüm oranı belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda optimum bitüm oranları bakımından en fazla fark, 75 darbelik Marshall tokmağıyla sıkıştırılan numuneler ile GTM sonucunda sıkıştırılan numuneler arasında bulunmuştur. Her iki tipteki Superpave yoğunmalı presleri ile elde edilen optimum asfalt içerikleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Superpave presleri ile sıkıştırılan numunelerden elde edilen optimum asfalt içerikleri %4 hava boşluğunda 75 darbe ile sıkıştırılan Marshall numunelerinden %0.3 ile %0.2 daha az bulunmuştur. 75 darbelik Marshall numunelerinin 50 darbelik Marshall numunelerine göre optimum asfalt içeriği %0.1 ile % 0.5 daha az elde edilmiştir [2].

Affan Habib ve arkadaşları (1998) tarafından Kansas’da düşük hacimli yollar için Superpave ve Marshall yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, 80 kN eşdeğer tek dingil yüküne göre beş farklı karışım oluşturulmuştur. Agregalı malzemesi olarak kırılmış kireçtaşı, kaba ve ince doğal kum ile bir miktar da kırılmış kum kullanılmıştır. Superpave yöntemine göre 19 mm nominal maksimum boyut agregalı grubu için AC-10 (PG 58-22) bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Numuneler hem Marshall tokmağı hem de Superpave yoğunmalı presi ile sıkıştırılmıştır. Elde edilen optimum asfalt

muhteviyatı, hava boşluğu yüzdesi, agregalar arası boşluk ve boşlukların asfaltla doldurulma yüzdeleri hesaplanmıştır. Bunların neticesinde aynı dizayn agrega yapısında Superpave ile elde edilen numunelerdeki optimum asfalt yüzdesi, Marshall ile elde edilenlerden % 0.7 daha az bulunmuştur. Superpave karışımlarındaki agregalar arasındaki boşluk ve bunların asfaltla doluluk yüzdeleri de Marshall numunelerinden daha az elde edilmiştir [3].

Sıkıştırma yöntemlerini karşılaştırmak için başka bir çalışma da Suudi Arabistan'da yapılmıştır. Laboratuvar ve arazideki sıkıştırma durumunu karşılaştırmak için temelde iki farklı sıkıştırma yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi Marshall otomatik tokmağı ile Marshall el tokmağı, diğeri de Kaliforniya yoğurmalı presi, 1.25 derece açılı yoğurmalı pres ile 6 derece açılı yoğurmalı prestir. Bu çalışmada dört farklı bölgeden seçilen malzemelerle elde edilen numuneler kullanılmıştır. Karşılaştırmada elastisite modülü, hacim özgül ağırlığı gibi durumlar da dikkate alınmıştır. Malzeme olarak yerel kireçtaşı agrega ile 60/70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan 1.25 derecelik yoğurmalı presle sıkıştırılan numuneler, arazideki numunelerle en büyük benzerliği göstermiştir. İkinci en iyi benzerliği 6 derecelik yoğurmalı presle elde edilen numuneler vermiştir. Marshall otomatik tokmağı ile sıkıştırılan numuneler, arazideki numunelere göre en farklı değerleri vermiştir. Marshall el tokmağı ile elde edilen değerler beklenenden daha iyi çıkmıştır. Kaliforniya Yoğurmalı Presle elde edilen numuneler de hava boşluğu bakımından araziden alınan numunelere yakın sonuç vermiştir [4].

Amerika Birleşik Devletleri'nde Asfalt Teknoloji Programı çerçevesinde Marshall ve Superpave tasarım yöntemlerinin karşılaştırılması için bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hafif, orta ve ağır trafikli yolların dizaynı dikkate alınmıştır. 19.0 mm nominal maksimum boyut çap agrega grubu için Superpave özellikleri kullanılarak Marshall yöntemi ve Marshall özellikleri kullanılarak Superpave yöntemi ile deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar alınmıştır.

- Çok yönlü karşılaştırmalar neticesinde yüksek trafikli yollara ait karışımlar düşük trafikli yollara ait karışımlara göre daha büyük tekerlek izi direnci göstermiştir.
- Çalışmalar, Superpave yönteminin çeşitli zorlukları nedeniyle Marshall yönteminin, müteahhitler tarafından tercih edildiğini göstermiştir [5].

9.5 mm nominal boyut Superpave karışımı için Marshall kıyaslanmasını içeren başka bir çalışma daha yapılmıştır. Bu çalışma neticesinde Marshall karışımlarının performansı Superpave'ye göre daha iyi çıkmıştır. %100 kireçtaşı ve % 13 kum kullanılarak yapılan Marshall karışımları Superpave'ye göre daha yüksek tekerlek izi direnci göstermiştir. Yüksek trafikli yollarda karışımda doğal kum miktarının fazla olması tekerlek izi potansiyelini arttıracaktır. İki karışım yöntemindeki asfalt muhteviyatları arasındaki farklılık %0.2 ile %0.8 arasındadır. %100 kireçtaşından yapılan Superpave karışımlarında daha yüksek asfalt muhteviyatı çıkmıştır. %13 kum ihtiva eden karışımlarda Marshall numuneleri daha fazla asfalt içeriği göstermiştir [6].

Colorado Üniversitesi'nde Ray Brown [7], bazı bilim adamları tarafından yapılan Marshall ve Superpave yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmaları derlemiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

## Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması

Tablo 1. Marshall ve Superpave Yöntemlerinin Çeşitli Özelliklerinin Karşılaştırılması [7].

Özellik	Anderson ve diğ.		D'Angelo ve diğ.		Gouda ve diğ.	
	75 darbe Marshall	126 yoğurmalı pres	75 darbe Marshall	126 yoğurma SGC	75 darbe Marshall	126 yoğurmalı pres
Asfalt muhteviyatı	4.5	4.5	5.1	4.1	5.1	4.1
%Va	4.9	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0
%VMA	13.5	12.1	15.5	11.5	15.5	11.5

Çeşitli asfalt dizayn yöntemlerinin karşılaştırıldığı başka bir çalışma da Virginia Üniversitesi'nde yapılmıştır. Bu çalışmada altı farklı karışım numunesi Marshall ve Superpave yöntemleri ile hazırlanarak Marshall otomatik tokmağı ve 1.25 derecelik yoğurmalı presle sıkıştırılmıştır. Burada Marshall deneyinde hem 50 darbe hem de 75 darbe vurularak hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Bütün numuneler için %4 hava boşluğunda elde edilen dizayn asfalt içerikleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan bütün numunelerde %4 hava boşluğunda Superpave yöntemi ile hazırlananlar 75 darbe Marshall ile olanlara kıyasla daha az dizayn asfalt içerikleri vermiştir [8,9].

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada asfalt betonu numunelerinin Superpave ve Marshall yöntemlerine göre karışım tasarımları yapılmıştır.

Superpave yönteminin öngördüğü yoğurmalı sıkıştırma için Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) destekli proje vasıtasıyla yoğurmalı pres yaptırılmıştır. Superpave numuneleri bu presle sıkıştırılmış ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Pres, Superpave şartnamesinin öngördüğü şekilde 600 kPa sabit basınç altında, 150 mm çaplı kalıpların 1.25 derece açı altında dakikada 30 devir dönecek şekilde sıkıştırılması esasına dayanır. Sıkıştırma esnasında basınç devamlı sabit kalır. Kalıp içindeki numune yoğurmalı şekilde sıkıştırılırken yüksekliği azalır. Bu yükseklikler her devirde belirlenir. Numunenin ağırlığı ve kalıp çapı sabit olduğundan her devirdeki yoğunluk hesaplanabilir. Bu yoğunluklar vasıtasıyla gerekli hesaplamalar yapılır.

Superpave yöntemi, 12.5 mm nominal maksimum boyut agrega grubu için yapılmıştır. Deneysel çalışmada kalker türü agrega kullanılmıştır. Bu agreganın Superpave ve Marshall şartnamesine uygun olup olmadığını belirlemek için gradasyonları ve fiziksel özellikleri bulunmuştur.

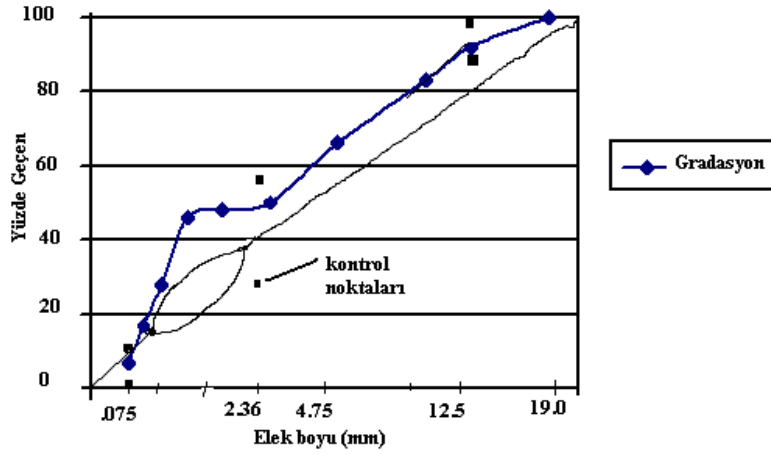
Hem Marshall hem de Superpave numunelerinde gradasyon olarak Superpave yönteminde kullanılan gradasyon kullanılmıştır. Marshall yöntemi ile hazırlanan numunelerde Superpave gradasyonunun kullanılmasının amacı bu iki yöntem ile yapılan karışımları daha iyi karşılaştırmak içindir.

Tablo 2'de deneylerde kullanılmak üzere Superpave şartnamesine uygun olarak seçilen agrega gradasyonu verilmiştir.

Tablo 2. Seçilen Agrega Gradasyonu

Elek No (mm)	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.600	0.300	0.150	0.075
% Geçen	100	92	83	66	50	48	46	28	17	7

Bu gradasyona göre çizilen agrega gradasyon eğrisi Şekil 1’de verilmiştir. Seçilen gradasyon, Superpave şartnamesinin öngördüğü şekilde, kontrol noktaları arasında ve yasaklanmış bölgenin dışında kalmıştır.



Şekil 1. Deneylerde Kullanılan Gradasyon Eğrisi

Yapılan testlerden agrega kırılmışlık yüzdesi 96/92, yassı ve uzun danelerin oranı ise %8 olarak bulunmuştur. Agreganın fiziksel özelliklerini belirlemek için bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde her iki yöntem için deneysel çalışmada kullanılacak agreganın fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Tablo 3’de çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. Agrega Fiziksel Özellikleri

Özellik	Agrega		
	Kaba	İnce	Filler
Aşınma kaybı (%) (Los Angeles) (ASTM DC-131)	27	-	-
Donma kaybı (%) (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile) (ASTM C-88)	8,15	-	-
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) (ASTM C-127)	2,714	-	-
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) (ASTM C-128)	-	2,626	-
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) (ASTM D-854)	-	-	2,900

## Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması

Deneylerde kullanılacak agreganın mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiş ve bunların Superpave yönteminin şart koyduğu kriterleri sağladığı görülmüştür. Agregada karışımında %34 kaba agregada, %59 ince agregada ve %7 filler malzemesi kullanılmıştır.

### 2.1. Superpave Yöntemi İçin Deneysel Çalışma

Superpave yöntemi için 12.5 mm nominal maksimum agregada boyutuna göre karışım numuneleri hazırlanmıştır. Trafik sayısı olarak 15 milyon eşdeğer tek dingil yükü tekerrür sayısı kullanılmıştır.

Deneysel çalışma Elazığ'da yapıldığı için dizayn bölgesi olarak 46. enlem dikkate alınmıştır. Superpave yöntemi, tasarım sırasında son 20 yıldaki en sıcak 7 günün ortalaması ve en soğuk bir günün değerini kullanmaktadır. Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınan bilgiye göre son 20 yıldaki en yüksek 7 günün sıcaklık değeri ortalaması 37 derece, en soğuk 1 günün değeri de -25 derece alınmıştır. Standart sapma 2 °C'dir. Buna göre kaplama yüzeyinden 20 mm alttaki en yüksek kaplama sıcaklığı formül (1) ve (2) ile bulunmuştur [2].

$$T_{20mm} = 0.9545(T_{hava} - 0.00618En^2 + 0.2289En + 42.2) - 17.78 \quad (1)$$

$T_{20mm}$  = Kaplamadan 20 mm alttaki sıcaklık

$T_{hava}$  = 20 yıldaki en sıcak 7 günün ortalaması

$En$  = Coğrafi enlem derecesi

$$T_{20mm} = 0.9545(37 - 0.00618 \times 46^2 + 0.2289 \times 46 + 42.2) - 17.78$$

$$T_{20mm} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kaplama yüzeyindeki en düşük sıcaklık ise;

$$T_{min} = 0.859T_{hava} + 1.17 \quad (2)$$

$$T_{min} = 0.859 \times (-25) + 1.17 = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Bu hesaplama neticesinde %98 güvenilirlikte olmak üzere Superpave şartnamesinin belirttiği şekilde bir üst sınıf sıcaklık grubu olan PG 58-28 (AC-10) bitüm sınıfı Tablo 4'e göre seçilmiştir.

Tablo 4. Marshall ve Superpave Yöntemine Göre Bitüm Sınıflandırması [10].

Bitüm Eşdeğerliği	
Marshall	Superpave
AC - 5	PG 52 - 28 (PG 52-34'de olabilir)
AC - 10	PG 58 - 28 (PG 58 - 22'de olabilir)
AC - 20	PG 64 - 22 (PG 64-28'de olabilir)

Superpave yöntemi, numune sıkıştırması esnasındaki 3 dizayn değerini kullanır. Superpave yönteminde sıkıştırma enerjisi, yoğurma sayısı  $N_d$  değerinin bir fonksiyonudur.  $N_d$ , iklim ve trafik kategorisine göre değişir.  $N_i$  sıkışabilirliği,  $N_{max}$  trafik yükleri altındaki sıkışmayı

temsil etmek için kullanılır. Bu değerler  $N_d$ 'den faydalanarak (3.) ve (4.) formülleri ile hesaplanır [2].

$$\text{Log } N_{\max} = 1.10 \text{ Log } N_d \quad (3)$$

$$\text{Log } N_i = 0.45 \text{ Log } N_d \quad (4)$$

$N_i$  = Başlangıç devir sayısı

$N_d$  = Tasarım devir sayısı

$N_{\max}$  = Maksimum devir sayısı

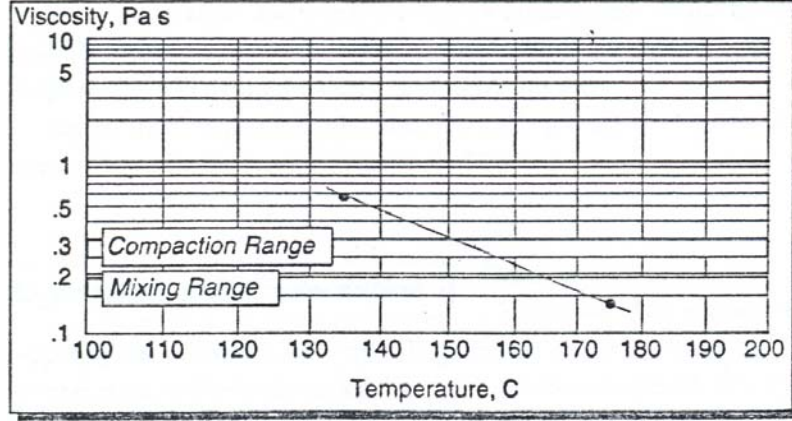
Bu çalışmada 15 milyon eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısı kullanıldığı için sıkıştırma parametreleri aşağıdaki Tablo % 5'e uygun şekilde  $N_i = 8$ ,  $N_d = 100$ ,  $N_{\max} = 160$  olarak seçilmiştir.

Tablo 5. Trafik Seviyesine Göre Sıkıştırma Parametreleri [11].

Dizayn Eşdeğer Tek Dingil Yükü Tekerrür Sayısı (milyon)	Sıkıştırma Parametreleri			Tipik Karayolu Uygulamaları
	$N_{ik}$	$N_{dz}$	$N_{max}$	
<0.3	6	50	75	Çok az trafik kapasiteli yollar
0.3 - 3	7	75	115	Orta trafikli şehir yolları
3 - 30	8	100	160	Yüksek trafikli şehir yolları ile çift yönlü, çok şeritli yollar.
> 30	9	125	205	Ağır kamyon trafiğine maruz kalan çok şeritli, ağır trafik yoğunluklu yollar.

Çalışmada PG58-28 (AC 10) bitümü seçildiği için Superpave şartnamesine göre numunenin karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları bir grafik yardımıyla belirlenir. Şekil 2'deki grafiğe göre sırasıyla  $0.17 \pm 0.02$  Pa.s ve  $0.28 \pm 0.03$  Pa.s 'ye karşılık gelen sıcaklıklar karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları olarak belirlenir. Şekile göre PG58-28 (AC - 10) bitümü için karıştırma sıcaklığı 165-172 °C, sıkıştırma sıcaklığı 151-157 °C seçilir.

*Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması*



*Şekil 2. Sıcaklık – Viskozite İlişkisi [12]*

Çalışmada 4 farklı bitüm yüzdesi kullanılmıştır. Yapılan deneme karışımlarından sonra %4.65 AC oranındaki karışım Superpave şartname sınırlarında kalmıştır. Superpave yönteminde en az dört farklı bitüm yüzdesinde numune hazırlanmalıdır. Bu nedenle elde edilen %4.65 AC oranına ilave olarak  $\pm 0.5$  AC ve  $+1.0$  AC oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Tablo 6-7-8-9'da sırasıyla %4.15, %4.65, %5.15 ve %5.65 AC için elde edilen sıkıştırma yoğunluk değerleri verilmiştir. Hesaplamalar  $N_i=8$ ,  $N_d=100$  ve  $N_{max}=160$  devirdeki verilere göre hesaplanır.

*Tablo 6. %4.15 AC için Superpave Yoğunluk Verileri*

Devir	Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	I		II		Ortalama %Gmm
					Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	
8	124	2,142	2,142	86,02	127	2,086	2,128	85,46	85,74
40	119	2,227	2,227	89,44	122	2,171	2,214	88,92	89,18
80	116	2,284	2,284	91,73	118	2,236	2,281	91,61	91,67
100	113	2,345	2,345	94,18	114	2,319	2,365	94,98	94,58
140	112	2,366	2,366	95,02	113	2,335	2,382	95,66	95,34
160	112	2,366	2,366	95,02	112	2,356	2,403	96,51	95,77
		Gmb(ölç.) = 2,366		C = 1,00	Gmb(ölç.) = 2,403		C = 1,02	V <sub>MA</sub> =15,2	
Gmm = 2,490									



Tablo 7. %4,65 AC için Superpave Yoğunluk Verileri

Devir	Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	Ortalama %Gmm
8	123	2,163	2,163	87,04	126	1,102	2,144	86,28	86,66
40	115	2,314	2,314	93,12	118	2,245	2,290	92,15	92,64
80	114	2,334	2,334	93,93	117	2,254	2,299	92,52	93,23
100	113	2,355	2,355	94,77	112	2,361	2,408	96,91	95,84
140	112	2,367	2,367	95,25	112	2,362	2,409	96,95	96,10
160	112	2,376	2,376	95,61	112	2,368	2,415	97,19	96,40
Gmb <sub>(ölç.)</sub> = 2,380		C = 1,00			Gmb <sub>(ölç.)</sub> = 2,415		C = 1,02		V <sub>MA</sub> = 15,0
Gmm = 2,485									

Tablo 8. %5,15 AC için Superpave Yoğunluk Verileri

Devir	Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	Ortalama %Gmm
8	125	2,11	2,153	87,00	128	2,079	2,100	84,85	85,93
40	120	2,213	2,257	91,19	124	2,146	2,167	87,56	89,38
80	118	2,250	2,295	92,73	122	2,181	2,203	89,01	90,87
100	114	2,329	2,376	96,00	113	2,359	2,383	96,40	96,20
140	112	2,371	2,418	97,71	112	2,376	2,399	96,93	97,32
160	112	2,371	2,418	97,71	111	2,397	2,420	97,78	97,75
Gmb <sub>(ölç.)</sub> = 2,418		C = 1,02			Gmb <sub>(ölç.)</sub> = 2,421		C = 1,01		V <sub>MA</sub> = 15,51
Gmm = 2,475									

Tablo 9. %5,65 AC için Superpave Yoğunluk Verileri

Devir	Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	Num. Boyu (mm)	Gmb (hes.)	Gmb (Düz.)	%Gmm	Ortalama %Gmm
8	125	2,136	2,200	89,40	126	2,110	2,153	87,50	88,45
40	122	2,189	2,255	91,67	121	2,204	2,248	91,38	91,53
80	119	2,244	2,311	93,94	118	2,260	2,305	93,70	93,82
100	116	2,302	2,371	96,40	115	2,30	2,366	96,20	96,30
140	115	2,322	2,392	97,24	114	2,339	2,386	96,99	97,12
160	114	2,342	2,412	98,00	113	2,360	2,407	97,85	97,93
Gmb <sub>(ölç.)</sub> = 2,412		C = 1,03			Gmb <sub>(ölç.)</sub> = 2,407		C = 1,02		V <sub>MA</sub> = 16,40
Gmm = 2,460									

*Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması*

- $G_{mb(hes)}$  = Hesaplanan hacim özgül ağırlığı  
 $G_{mb(düz)}$  = Düzeltilecek hacim özgül ağırlığı  
 $G_{mb(ölç)}$  = Ölçülen hacim özgül ağırlığı  
 $\%G_{mm}$  = Teorik maksimum özgül ağırlığı  
 $C$  = Düzeltme katsayısı

Dört farklı bitüm yüzdesindeki numuneler sıkıştırılıp gerekli değerler elde edildikten sonra optimum asfalt miktarı belirlendi. Superpave yöntemine göre % 4 hava boşluğundaki AC değeri optimum asfalt miktarıdır. Bu optimum değerle %VMA ve % VFA değerleri kontrol edildi. Superpave yönteminde 12.5 mm nominal max agrega için min VMA değeri %14.0'dür. %VFA değeri ise %65-75 arasındadır.

%4 hava boşluğuna karşılık gelen optimum AC miktarı %4.75'dir. Bu değer kullanılarak %VMA ve %VFA eğrileri kontrol edildi. Bunun sonucunda %VMA, minimum değeri olan %14'ün üzerinde %15.0 ve %VFA da, % 73 ile %65-75 değeri arasında kalmıştır. Bu kontrollerden sonra karışımın Superpave koşullarını yerine getirmiş olduğu görülmüştür.

Superpave numuneleri 150 mm çapında ve yaklaşık 115 mm boyunda olduklarından bunların Marshall numunesine göre stabilite değerlerinin karşılaştırılması için boyutlarının Marshall değerlerine getirilmesi gerekir. Bu nedenle Superpave numunelerinin boyutları, karot aleti ve mermerci hızarı yardımıyla kesilerek yaklaşık olarak Marshall numuneleri boyutuna getirilmiştir. Daha sonra bunların stabilite ve akma değerleri Marshall stabilite cihazıyla bulunmuştur.

Tablo 10'da Superpave yöntemine göre hazırlanan numunelerin, Marshall stabilite cihazı kullanılarak bulunmuş stabilite ve akma değerleri verilmiştir.

*Tablo 10. Superpave Yöntemiyle Elde Edilen Katkısız Numunelere Ait Stabilite ve Akma Değerleri*

Biriket No.	Bitüm yüzdesi	Numune boyları (mm)				Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düzeltilme faktörü	Düzeltilmiş stabilite (kg)
		1	2	3	Ort.				
1	4,15	62,4	62,7	62,7	62,6	3,44	567	1,023	580
2		63,1	63,0	62,8	62,9	2,79	662	1,016	672
Ortalamalar						3,12			626
3	4,65	62,6	62,9	62,8	62,8	3,96	619	1,018	630
4		62,5	62,7	62,9	62,7	3,26	720	1,021	735
Ortalamalar						3,61			683
5	5,15	62,6	62,6	62,5	62,6	4,15	792	1,023	810
6		62,7	62,9	62,5	62,7	4,48	755	1,021	770
Ortalamalar						4,32			790
7	5,65	62,1	62,0	61,6	61,6	5,01	846	1,040	880
8		62,3	62,7	62,8	62,6	5,35	782	1,023	800
Ortalamalar						5,17			840

## 2.2. Marshall Yöntemi İçin Deneysel Çalışma

Superpave agrega gradasyonuna göre Marshall numuneleri hazırlanmış ve klasik deneylere tabi tutulmuştur. Marshall deneyi için Superpave yönteminde olduğu gibi sırasıyla %4.15 - %4.65 - %5.15 ve % 5.65 AC bitüm içeriğinde numuneler hazırlandı. Tablo 11'de 4 farklı bitüm yüzdesindeki karışımların Marshall yöntemine göre değerleri verilmiştir.

Tablo 11. Marshall Yöntemi Tasarım Değerleri

Agrega Grubu	W <sub>a</sub> (%)	W <sub>b</sub> (%)	D <sub>p</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	D <sub>t</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	V <sub>h</sub> (%)	VMA (%)	VFA (%)	Akma (mm)	Stabilite (kg)
Kalker	4,15	3,98	2,351	2,511	6,37	15,55	58,99	2,26	1532
	4,65	4,44	2,367	2,494	5,09	15,38	66,99	3,00	1762
	5,15	4,90	2,370	2,476	4,28	15,68	72,61	3,15	1826
	5,65	5,35	2,362	2,460	3,98	16,37	75,68	3,19	1750
Şartname Limitleri					3-5	-	75-85	2-4	900

- W<sub>a</sub> = Karışımdaki bağlayıcı oranı (agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak)  
W<sub>b</sub> = Bağlayıcı miktarı (karışımın ağırlıkça yüzdesi olarak)  
D<sub>p</sub> = Sıkıştırılmış numunenin hacim özgül ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
D<sub>t</sub> = Sıkıştırılmış numunenin teorik özgül ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
V<sub>h</sub> = Sıkıştırılmış karışımdaki boşluk oranı (%)  
VMA = Sıkıştırılmış karışımdaki agregalar arası boşluk (%)  
VFA = Sıkıştırılmış karışımdaki bağlayıcı ile dolu boşluk (%)

Optimum bitüm yüzdesini bulmak için boşluk yüzdesi, stabilite, pratik birim ağırlık ve asfaltla dolu boşluk yüzdelerinden faydalanıldı. Bunlardan elde edilen optimum değerler şartname kontrolü yapıldı. Asfalt betonu aşınma tabakası için değerlendirme yapılırsa; stabilite ve pratik birim ağırlık eğrilerinde en yüksek değer, boşluk oranı için şartnamede öngörülen 3-5 arası olan %4 değerine karşılık gelen değer ve asfaltla dolu boşluk oranında %75-85 olan şartname ortasındaki %80'e karşılık gelen değer kullanıldı.

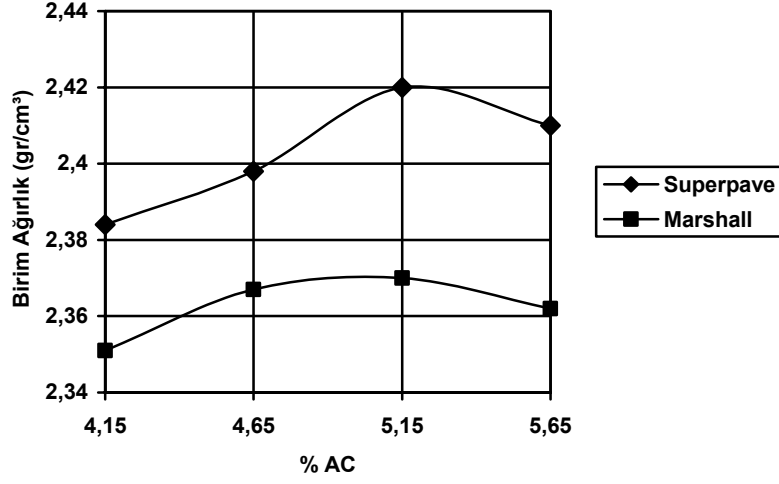
$$\text{Optimum bitüm yüzdesi} = \frac{5,15 + 5,15 + 5,65 + 5,50}{4} = 5,36 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Elde edilen bu optimum değer olan %5,36 ile akma kontrolü yapılmış ve bu değer 3.3 mm olarak bulunmuştur.

## 2.3. Superpave ve Marshall Tasarım Kriterlerinin Karşılaştırılması

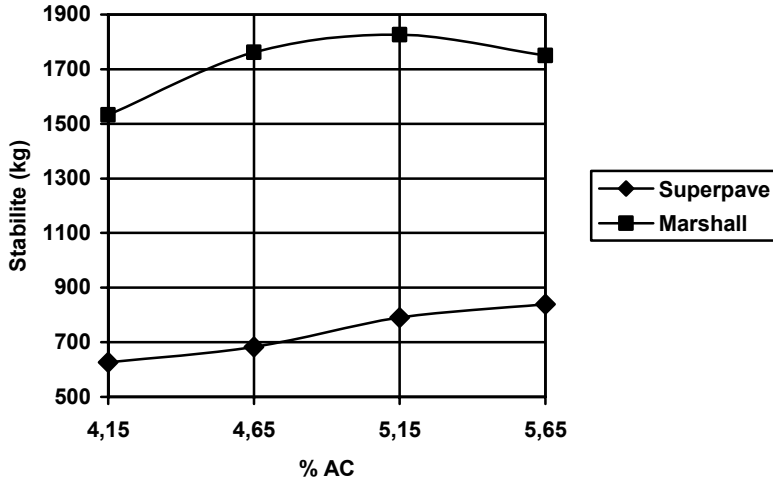
Burada her iki yöntemle hazırlanan karışımların pratik birim ağırlık, stabilite, %Va, %VMA, %VFA ve akma değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 3-4-5-6-7-8'de sırasıyla Superpave ve Marshall yöntemiyle elde edilen numunelere ait değerlerin karşılaştırılması görülmektedir.

*Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması*



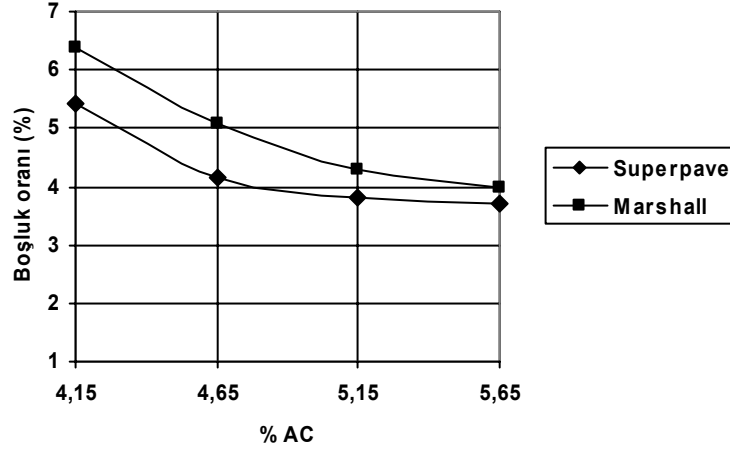
*Şekil 3. %AC – Birim Ağırlık İlişkisi*

Marshall ve Superpave numunelerine ait birim ağırlıklar incelendiğinde Superpave numuneleri daha büyük değerler vermiştir. Buradan, Superpave yönteminin kullandığı yoğunmalı sıkıştırmanın, Marshall yönteminde kullanılan darbeli sıkıştırmadan daha etkili olduğu söylenebilir.



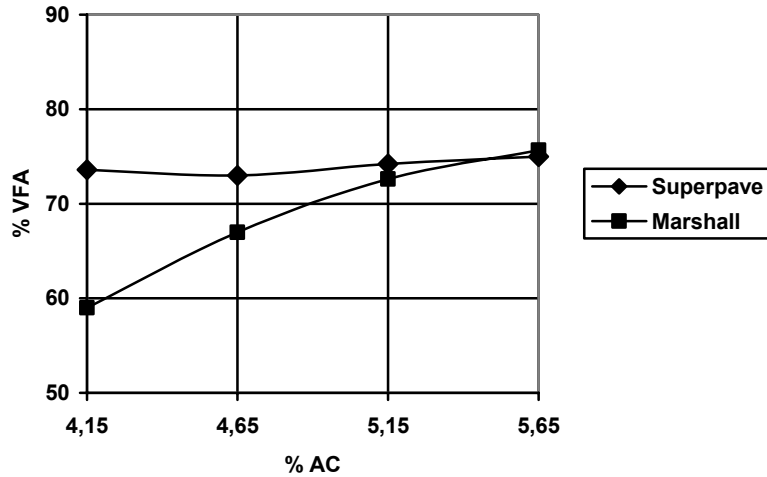
*Şekil 4. %AC – Stabilite İlişkisi*

Şekil 4 incelendiğinde Marshall numunelerinin Superpave'ye göre stabilite bakımından belirgin bir fazlalığı dikkat çekmektedir. Superpave numunelerinin daha düşük değerler vermesinin sebebi, bunları Marshall numune boyutlarına getirmek için karot aletiyle kesilmesi sırasında iç dengesinin bozulması olarak düşünülebilir.



Şekil 5. %AC - % Boşluk İlişkisi

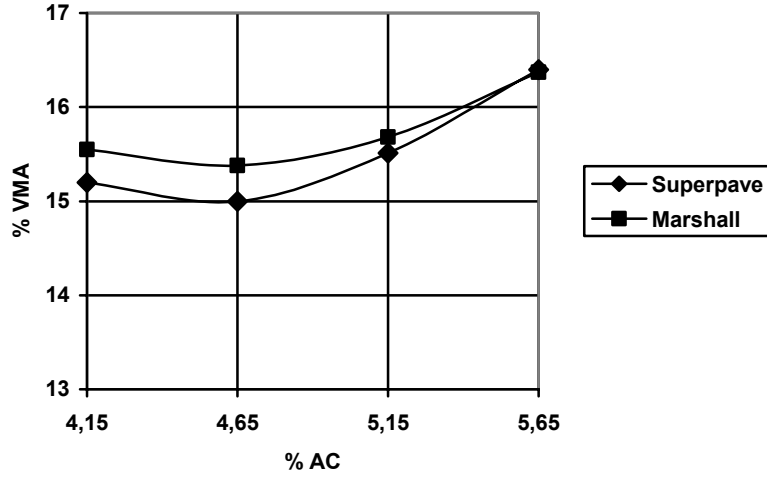
Şekil 5 incelendiğinde Superpave numunelerinin Marshall'a göre daha az boşluğa sahip oldukları görülmektedir. Marshall numunelerinde %AC'nin artışıyla boşluk oranında belirgin bir düşüş gözlenirken, Superpave numunelerinde %4.65 AC oranından sonra boşluk oranı fazla düşmemektedir. Buradan Superpave numunelerinin yoğunluğunun sıkıştırma sırasında sıkıştırmanın önemli bir kısmının ilk devirlerde olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. %AC - %VFA İlişkisi

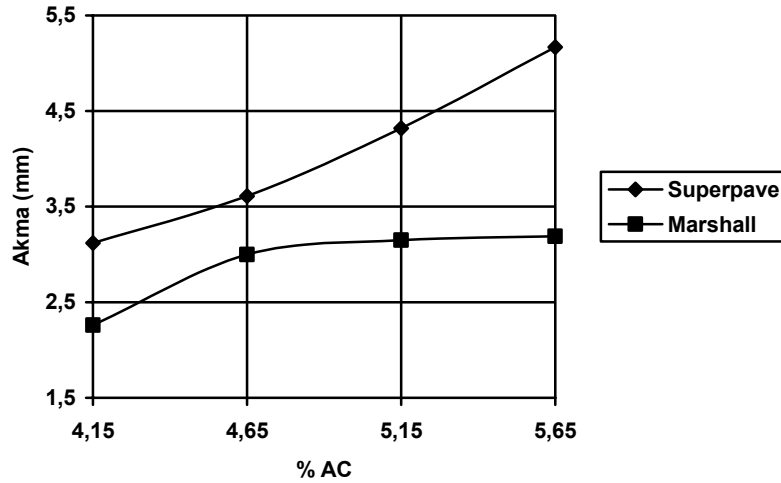
### Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması

Şekil 6'da görüldüğü gibi asfaltla dolu boşluk oranları da, % boşluk oranına uygun bir davranış göstermektedir. Marshall numunelerinde asfaltla dolu boşluk oranı, bitüm oranı arttıkça belirgin bir artış göstermektedir. Marshall numunelerinde asfaltla dolu boşluk oranı bitüm yüzdesine göre kademeli olarak artış gösterirken, Superpave numunelerinde bu değişim daha az olmaktadır.



Şekil 7. %AC - %VMA İlişkisi

Şekil 7'de agregalar arası boşluk incelendiğinde her iki numunede de %4.65 AC oranına kadar azalma, bundan sonra ise bir artış gözlenmektedir.



Şekil 8. %AC - Akma İlişkisi

Şekil 8’de %AC –Akma ilişkisinde Superpave numunelerinin Marshall’a göre bitüm oranı arttıkça daha fazla akma göstermektedir. Bu durum Superpave numunelerinin daha esnek olduğunu ortaya çıkarmaktadır. İklim koşulları bakımından daha esnek kaplamanın arzu edildiği bölgelerde Superpave yöntemi kullanılabilir.

#### 4. SONUÇLAR

1. Her iki yöntem için optimum bitüm yüzdeleri incelendiğinde Superpave numunelerinde %4.75, Marshall numunelerinde ise %5.36 AC bulunmuştur. Superpave numuneleri Marshall’a göre %0.61 daha düşük bitüm yüzdesi içermektedir.
2. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde Marshall ve Superpave yöntemleri arasındaki en büyük farklılık agrega gradasyonları, bitüm seçimi ve sıkıştırma teknikleri bakımından olmuştur. Superpave yöntemi, Marshall’in aksine sürekli gradasyonu değil, sınırlı gradasyonu kullanmaktadır. Ayrıca Superpave yönteminde bitüm seçimi Marshall’a göre daha hassas olmakta ve malzemelerin özelliklerinin yanında iklim koşulları ile coğrafi enlemi de önemli ölçüde dikkate almaktadır. Karışımların sıkıştırılması sırasında Marshall, darbeli sıkıştırma yaparken, Superpave, yoğurmalı sıkıştırma yapmaktadır.
3. Marshall yöntemi uzun yıllardır ülkemizde kullanılmaktadır. Fakat Superpave yöntemi son yıllarda dünyada kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde ise kullanılması yok denecek kadar azdır. Bu tür çalışmalar, Superpave yönteminin daha iyi öğrenilmesine ve diğer yöntemlerle farkını ortaya koymasına yardımcı olacaktır.

#### Semboller

$G_{mb(hes)}$	Hesaplanan hacim özgül ağırlığı
$G_{mb(düz)}$	Düzeltilen hacim özgül ağırlığı
$G_{mb(ölç)}$	Ölçülen toplam hacim özgül ağırlığı
$G_{mm}$	Teorik maksimum özgül ağırlık
C	Düzeltilme katsayısı
$W_a$	Karışımındaki bağlayıcı oranı (agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak)
$W_b$	Bağlayıcı miktarı (karışımın ağırlıkça yüzdesi olarak)
$D_p$	Sıkıştırılmış numunenin hacim özgül ağırlığı ( $gr/cm^3$ )
$D_t$	Sıkıştırılmış numunenin teorik özgül ağırlığı ( $gr/cm^3$ )
$V_h$	Sıkıştırılmış karışımındaki boşluk oranı (%)
VMA	Sıkıştırılmış karışımındaki agregalar arası boşluk (%)
VFA	Sıkıştırılmış karışımındaki bağlayıcı ile dolu boşluk (%)

#### Kaynaklar

- [1] Orhan, F., Asfaltın Geleceği Superpave, K.G.M. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 379-393 s, 2001.
- [2] Maupin, G.W.J., Comparison of Several Asphalt Design Methods, Virginia Department of Transportation and The University of Virginia, 1998.
- [3] Affan, H., Mustaque, H., Rasejh, K. And Glenn. A.F., Comparison of Superpave and Marshall Mixtures for Low-Volume Roads and Shoulders, Transportation Research Record No:1609, 1998.

*Superpave ve Marshall Yöntemlerinin Deneysel Karşılaştırılması*

- [4] Ziauddin, A.K., Hamad, I.A.W., İbrahim, A., Rezgallah, R., Comparative Study of Asphalt Concrete Laboratory Compaction Methods to Simulate Field Compaction, Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia, 1998.
- [5] Zaniwski, J.P., Kanneganti, V., Comparison of 19 mm Superpave and Marshall Base II Mixes in West Virginia, Asphalt Technology Program Department of Civil and Environmental Engineering, West Virginia, 2003.
- [6] Zaniwski, J.P., Nelson, J., Comparison of 9.5 mm Superpave and Marshall Wearing I Mixes in West Virginia, Asphalt Technology Program Department of Civil and Environmental Engineering, West Virginia, 2003.
- [7] Brown, R., 31st Annual Rock Mountain Asphalt Conference, Colorado State University, 2000.
- [8] Maupin, G.W.J., Comparison of Several Asphalt Design Methods, Virginia Transportation Research Council, Virginia Department of Transportation and the University of Virginia, 20 s., 1998.
- [9] Kuloğlu, N., Namlı, R., Asphalt Karışımlarının Dönel Presle Sıkıştırılması, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 17, Sayı 3, 2005.
- [10] D'Angelo, J.A., 2001, Superpave Mix Design Tests Methods and Requirements, U.S. Federal Highway Administration, 104. s.
- [11] AASHTO TP4, 1999, Standart Method for Preparing and Determining The Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens By Means of The SHRP Gyrotory Compactor, FHWA Multi-Regional Asphalt Training and Certification Group, 14 s.
- [12] Superpave Series No 2, Superpave Mix Design, 56. s., 1996.