

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAŞ MASTİK ASFALT (SMA) KAPLAMALAR için
UYGUN KARIŞIMIN ARAŞTIRILMASI ve BİR HİZMET
ÖMRÜ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

İnş. Yük. Müh. Süreyya TAYFUR

106334

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 8 Haziran 2001
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ILICALI (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Emine AĞAR (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Zerrin BAYRAKDAR (Y.T.Ü.)
Prof. Dr. Mehmet ULUÇAYLI (D.E.Ü.)
Prof. Dr. Güven ÖZTAŞ (İ.T.Ü.)

(Handwritten signatures and names of the jury members)

İSTANBUL, 2001

**TC YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
PROPAGASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTIMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. ÜSTYAPIYA GELEN ETKİLER ve BOZULMA TİPLERİ (Tayfur, 1999) ..	4
2.1 Bozulma Kriterleri	4
2.2 Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri	7
2.2.1 Oturma, Çökme, Ondülasyon ve Kabarmalar	7
2.2.1.1 Oturmalar	7
2.2.1.2 Çökmeler	7
2.2.1.3 Tekerlek İzi Oluşumu (Oluklanmalar)	8
2.2.1.4 Ondülasyonlar	9
2.2.1.5 Kabarmalar	10
2.2.2 Çatlaklar	10
2.2.3 Ayrılma, Ayrışma ve Parçalanmalar	11
2.2.4 Kayma Direnci Kaybı, Cilalanma ve Kusmalar	12
3. KALICI DEFORMASYONLARIN OLUŞUMU VE BU DEFORMASYONLARA KARŞI YÜKSEK DİRENÇLİ KARIŞIMLAR	13
3.1 Kalıcı Deformasyon Oluşumu	13
3.2 Kalıcı Deformasyonlara Dirençli Karışımlar	15
3.2.1 Fransa'da Yapılan Çalışmalar	15
3.2.2 İngiltere ve İtalya Uygulamaları	16
3.2.3 Belçika Uygulamaları	17
3.2.4 ABD'de Kullanılan Büyük Kırmataşlı Karışım Uygulamaları	18
3.2.5 SMA Tipi Karışımlar, Almanya ve Diğer Avrupa Ülkeleri Uygulamaları	19

	<u>Sayfa</u>
4. TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALAR (SMA)	20
4.1. SMA Karışımlarda Kullanılan Malzemeler	21
4.1.1 Agregâ Özellikleri	21
4.1.1.1 Kaba ve İnce Agregâ	21
4.1.1.2 Mineral Filler	23
4.1.2 Bitümlü Bağlayıcı	25
4.1.3 Katkı Malzemeleri	25
4.2 SMA Karışımların Tasarımı	27
4.2.1 Agregâ Gradasyonu	27
4.2.2 SMA Tasarım Yöntemleri	32
4.3 SMA Karışımların Performansları	38
4.3.1 Kalıcı Deformasyonlara (Tekerlek İzi Oluşumuna) Karşı Direnç	39
4.3.2 Elastisite Modülü Değerleri	40
4.3.3 Sünme Deformasyonu Özellikleri	46
5. SMA KARIŞIMLARIN ÜRETİMİ, UYGULANMASI ve YÜZEY ÖZELLİKLERİ	48
5.1 SMA Karışımların Üretimi, Serme ve Sıkıştırılması	48
5.1.1 Üretim	48
5.1.2 Serme ve Sıkıştırma	49
5.2 SMA Karışımların Yüzey Özellikleri	51
5.2.1 Kayma Direnci	53
5.2.2 Gürültü	56
5.2.3 Görünebilme ve Su Sıçramaları	58
6. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER	59
6.1 Agregalar	59
6.1.1 Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	59
6.1.2 Seçilen Gradasyon	60
6.2 Bağlayıcı	63
6.3 Kullanılan Katkı Malzemeleri	63
6.3.1 Amorf Polialfaolefin (AP)	64
6.3.2 Selülozik Elyaf (SE)	65
6.3.3 Bitümle Karıştırılmış Selülozik Elyaf (BE)	66
6.3.4 Poliolefin (PE)	68
6.3.5 Stiren-Butadiyen-Stiren (SB)	69

	<u>Sayfa</u>
7. KARIŞIMLARA UYGULANAN DENEYLER ve DENEY SONUÇLARI....	74
7.1 Marshall Tasarım Deneyi	74
7.1.1 Optimum Bitüm Oranları	76
7.1.2 Stabilite ve Akma Değerleri	77
7.1.3 Boşluk Oranı, VMA ile Vf Değeri	78
7.2 Bitüm Süzülme Deneyi	80
7.3 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi	82
7.3.1 Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar (Özen, 1999)	82
7.3.2 Deney Sonuçları	85
7.4 Dolaylı Çekme Deneyi	87
7.4.1 Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar (Özen, 1999)	87
7.4.2 Deney Sonuçları	88
7.4.3 Tekerrür Süresi ile Yükleme Hızının Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi	97
7.5 Statik Sünme Deneyi	100
7.5.1 Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar	100
7.5.2 Deney Sonuçları	103
7.6 Tekrarlı Sünme Deneyi	105
7.7 Tekerlek İzi Deneyi	107
7.8 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	115
7.8.1 Birinci Gruba Dahil Deneylerin Değerlendirilmesi	115
7.8.2 İkinci Gruba Dahil Deneylerin Değerlendirilmesi	118
8. TEKERLEK İZİ TAHMİN MODELİNİN KURULMASI	124
8.1 Literatürde Yer Alan Tekerlek İzi Tahmin Modelleri	124
8.2 Tekerlek İzi Tahmin Modelinin Kurulması	129
8.2.1 LCPC Tekerlek İzi Deneylerinden Elde Edilen Tekerlek İzi Oluşum Eğrileri Modellerinin Geliştirilmesi	129
8.2.2 Tekerlek İzi Tahmin Modelinin Kurulması	131
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	139
KAYNAKLAR	140
EKLER	144
ÖZGEÇMİŞ	221

SİMGE LİSTESİ

- A : Deneyden önce mezüre konan karışımın ağırlığı (gr)
- a : Sünme – zaman eğrisinin 1. saniyesindeki sünme deformasyonu miktarı
- A_m : Regresyon sabitleri
- A_b : Kaba agreganın su absorpsiyonu
- AC : Asfalt çimentosu
- ADT : Ortalama günlük trafik
- AP : Amorf polialfaolefin
- b : Yüzde olarak süzülen bitüm
- B : Deneyden sonra tartılan karışımın ağırlığı (gr)
- BE : Bitümlü selülozik elyaf
- C : Dinamik etki için düzeltme faktörü
- Comp : Sıkıştırma enerjisi, darbe sayısı,
- d : Yüzey defleksiyonu
- E : Elastisite Modülü
- ϵ_c : Basınç deformasyonu
- ϵ_p : Kalıcı deformasyon
- ϵ_{rt} : Tekrarlı sünme deneylerinde oluşan toplam geriye dönen deformasyon.
- ϵ_t : Çekme deformasyonu
- h : Bitümlü tabakanın kalınlığı
- m_c : Statik sünme eğrisinin doğru olduğu kesimdeki eğimi
- $\mu\epsilon$: Deformasyon
- N : Tekrarlı yük adedi
- N_{18} : 8,2 tonluk (18.000 pound) dingil yük
- NR : Katkısız karışım
- σ_{av} : Standart dingil yükü altında oluşan ve sıcaklığa göre değişen gerilme
- σ_c : Düşey basınç gerilmesi
- P_b : Dolaylı çekme mukavemeti dayanımı
- PE : Poliiolefin
- PmB : Polimer modifiye bağlayıcı
- RR : Tekerlek izi oranı
- SB : Kopolimer, stiren-butadin-stiren (SBS)

- SE** : Selülozik elyaf
- S_m** : Karışımın rijitlik modülü
- St** : Uygulanan gerilme, Mpa,
- T₁** : Yükleme süresi (sn)
- Ts** : Dolaylı çekme mukavemeti, Mpa
- Vf** : Asfaltla dolu boşluk oranı
- Vh** : Boşluk oranı
- Visc** : Karışımında kullanılan asfalt çimentosunun kinematik viskozitesi (santistok)
- VMA** : Mineral agrega içerisindeki boşluk (%)
- v** : Poisson oranı
- x** : Geri dönme yeteneği
- Δh** : Yatay yer değiştirme
- Δv** : Düşey yer değiştirme



KISALTMA LİSTESİ

- BKK** : Büyük kırmataşlı karışımlar
DÇD 5 : 5 °C'de dolaylı çekme deneyi
DÇD25 : 25 °C'de dolaylı çekme deneyi
DÇD40 : 40 °C'de dolaylı çekme deneyi
DÇE : Dolaylı çekme elastisite modülü
DÇM : Dolaylı çekme mukavemeti
FHWA : Amerikan Karayolu İdaresi (Amerikan Federal Highway Administration)
HMA : Geleneksel asfalt betonu (geleneksel yoğun gradasyonlu karışımlar)
HRA : Sıcak silindirlenmiş asfalt (Hot rolled asphalt)
KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü
LA : Aşınma değeri (Los Angeles)
LCPC : Fransa yollar laboratuvarı
LSM : Büyük kırmataşlı karışımlar (Large stone mixtures)
NAT : Test cihazı (Nottingham asphalt tester)
SCRIM : Yanal sürtünme katsayısı ölçüm cihazı (Sideways coefficient routine investigation machine)
SMA : Taş mastik asfalt (Stone mastic asphalt)
SSD 25 : 25 °C'de statik sünme deneyi
SSD 40 : 40 °C'de statik sünme deneyi
TİO : Tekerlek izinde oturma
TSD 25 : 25 °C'de tekrarlı sünme deneyi
TSD 40 : 40 °C'de tekrarlı sünme deneyi
TSE : Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Kaplama performans eğrileri	5
Şekil 3.1 Yapısal oturma örneği	13
Şekil 3.2 Tekerlek izi oluşumlarına örnekler	14
Şekil 4.1 Wohlk ve Nielsen'in mevcut önerdiği yeni SMA gradasyonu (Wohlk ve Nielsen, 1996)	32
Şekil 4.2 SMA ve yoğun gradasyonlu karışımlarda Marshall sıkıştırma enerjisinin (darbe sayısının) 4,75 mm elekten geçen kısma etkisi (Brown, 1997)	37
Şekil 4.3 Yükün uygulanma ve deformasyon şekli (NCHRP Report 338, 1991)	41
Şekil 4.4 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 5 °C).....	44
Şekil 4.5 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 25 °C)	45
Şekil 4.6 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 40 °C)	45
Şekil 4.7 40 °C'de bulunan kalıcı deformasyon eğrileri (Ali vd., 1994)	46
Şekil 4.8 40 °C'de sünme modülü değerleri (Ali vd., 1994)	47
Şekil 5.1 Laboratuvarda hazırlanan SMA briketleri ile geleneksel asfalt betonu ve geçirimli asfalt karışımlara ait briketlerin resimleri	53
Şekil 6.1 Seçilen SMA gradasyonu ve önerilen şartname limitleri	62
Şekil 6.2 Amorf polialfaolefin (AP) katkı malzemesi	65
Şekil 6.3 Selülozik elyaf (SE) katkı malzemesi	66
Şekil 6.4 Bitümlle karıştırılmış selülozik elyaf (BE)	67
Şekil 6.5 Poliolefin (PE) katkı malzemesi	68
Şekil 6.6 SBS bağ şekilleri (Vonk, 1992)	70
Şekil 6.7 Üç boyutlu SBS yapısı (Vonk, 1992)	70
Şekil 6.8 Çalışmada kullanılan SBS katkısı	71
Şekil 6.9 40 °C'de dinamik test sonuçları (Vonk, 1992)	72
Şekil 6.10 3 nokta yüklemeli yorulma test sonuçları (Vonk, 1992)	72
Şekil 6.11 Çalışmada kullanılan SBS'li modifiye bitümün, modifikasyondan sonra SBS'nin bitüm içinde dağılımını gösteren fotoğraf	73
Şekil 7.1 Karışım cinslerine göre optimum bitüm oranları	76

	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.2 Karışım cinslerine göre stabilite değerleri	77
Şekil 7.3 Karışım cinslerine göre akma değerleri	78
Şekil 7.4 Karışım cinslerine göre boşluk yüzdeleri (% Vh).....	78
Şekil 7.5 Karışım cinslerine göre agregalar arasındaki boşluk yüzdeleri (% VMA)	79
Şekil 7.6 Karışım cinslerine göre asfaltla dolu boşluk oranları (% Vf)	79
Şekil 7.7 Alman test yöntemine ait şematik gösterim	81
Şekil 7.8 Deneysel numunelerinin kodlama sistemi	90
Şekil 7.9 Elastisite modülünün sıcaklığa göre değişimi	91
Şekil 7.10 Karışımların elastisite modülleri (Sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 60 ms)	92
Şekil 7.11 Karışımların elastisite modülleri (Sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 60 ms)	92
Şekil 7.12 Karışımların elastisite modülleri (Sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 60 ms)	93
Şekil 7.13 Karışımların elastisite modülü - yükleme hız ilişkisi (5 °C)	94
Şekil 7.14 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (25 °C)	94
Şekil 7.15 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (40 °C)	95
Şekil 7.16 Karışım tiplerinin elastisite modülü değerlerinin uygunluğu	96
Şekil 7.17 Farklı sıcaklıklarda yükleme periyodunun elastisite modülü üzerinde değişim yüzdesi	98
Şekil 7.18 Farklı sıcaklıklarda yükleme hızının elastisite modülü üzerinde değişim yüzdesi	99
Şekil 7.19 Statik sünme deneyinin yapıldığı NAT cihazı ile test düzeneği	100
Şekil 7.20 Statik sünme deneyi zaman – deformasyon ilişkisi (25 °C)	104
Şekil 7.21 Statik sünme deneyi zaman - deformasyon ilişkisi (40 °C)	104
Şekil 7.22 25 °C’de elde edilen tekrarlı sünme deformasyon sonuçları	106
Şekil 7.23 40 °C’de elde edilen tekrarlı sünme deformasyon sonuçları	106
Şekil 7.24 LCPC tekerlek izi deney cihazı	108
Şekil 7.25 LCPC tekerlek izi deneyi için kullanılan sıkıştırma ekipmanı	108
Şekil 7.26 Karışımların tekerlek izinde oturma (TİO) sonuçları	112
Şekil 7.27 Yapılan tekerlek izi deneyi sonucunda numunelerin görünümü	113
Şekil 7.28 Dolaylı çekme mukavemeti ile VMA arasındaki ilişki	116
Şekil 7.29 Dolaylı çekme mukavemeti ile Vf arasındaki ilişki	116
Şekil 7.30 (25 °C) DÇE modülü ile DÇM arasındaki ilişki	117
Şekil 7.31 (25 °C) DÇD ile DÇM arasındaki ilişki	118

	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.32 VMA ile tekerlek izinde oturma (30.000 devir) arasındaki ilişki	119
Şekil 7.33 DÇM ile tekerlek izinde oturma arasındaki ilişki (1.000 devir)	120
Şekil 7.34 DÇM ile tekerlek izinde oturma arasındaki ilişki (10.000 devir)	120
Şekil 7.35 DÇM ile tekerlek izinde oturma arasındaki ilişki (30.000 devir)	121
Şekil 7.36 40 °C’de bulunan elastisite modülü ile 30.000 devirdeki TİO değerlerinin karşılaştırılması	122
Şekil 7.37 25 °C’de tekrarlı sünme deformasyon sonuçları ile 30.000 devirde bulunan TİO sonuçlarının karşılaştırılması	123
Şekil 8.1 Yük tekerrürü – tekerlek izi oranı ilişkisi	130
Şekil 8.2 Model ve deneyden bulunan A değerleri arasındaki ilişki	134
Şekil 8.3 Model ve deneyden bulunan B değerleri arasındaki ilişki	134



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Belçika’da tekerlek izine karşı kullanılan karışımlar (Verstraeten, 1995)	17
Çizelge 4.1 SMA kaplamalarda kullanılacak kaba ve ince agregaya için bazı ülkelerde istenen sınır değerler	22
Çizelge 4.2 Diabaz ve kireçtaşı SMA karışımların karşılaştırılması (Stuart, 1995)	23
Çizelge 4.3 Mineral filler gradasyonu	24
Çizelge 4.4 Mineral elyaf özellikleri	26
Çizelge 4.5 Selülozik elyaf özellikleri	26
Çizelge 4.6 Bazı ülkelerin kullandığı SMA gradasyonları.....	29,30
Çizelge 4.7 KGM taslak şartnamesi, SMA gradasyon ve tolerans sınırları.....	31
Çizelge 4.8 SMA tasarımında Marshall yöntemini kullanan ülkelerin istediği özellikler	32
Çizelge 4.9 Bazı Avrupa ülkelerinin SMA için bitüm tipi ve yüzdesi şartname değerleri	34
Çizelge 4.10 Bazı Avrupa ülkelerinin SMA için boşluk oranı ve tabaka kalınlığı şartname değerleri	35
Çizelge 4.11 SMA ve diğer karışımların hizmet ömürleri ve maliyetleri (Nunn, 1994)	39
Çizelge 4.12 Farklı penetrasyonlu bitümler ile hazırlanan SMA karışımların tekerlek izi oturma deney sonuçları	40
Çizelge 4.13 Stone mastik asfalt ve asfalt betonu elastisite modül değerleri karşılaştırılması (frekans 1 Hz) (Ali vd., 1994)	42
Çizelge 4.14 Stone mastik asfalt ve asfalt betonu elastisite modül değerleri karşılaştırılması (frekans 0,33 Hz) (Ali vd., 1994)	42
Çizelge 4.15 Elastisite modülleri (Mogawer ve Stuart, 1994)	43
Çizelge 5.1 Almanya’da kullanılan SMA kaplamalar için tabaka kalınlıkları	49
Çizelge 5.2 SCRIM ile ölçüm sonuçları (Nicholls, 1998)	54
Çizelge 5.3 Yüzey dokusu ölçüm sonuçları (Nunn, 1994)	55
Çizelge 5.4 Diğer karışım tiplerine göre SMA karışımlarda gürültü seviyesi (Heavy Duty, 1998)	56

Çizelge 5.5	İngiltere’de SMA kaplamaların, HRA kaplamalara oranla gürültü miktarları (Nunn, 1994)	57
Çizelge 5.6	İnce kaplamalar ile SMA’nın gürültü yönünden karşılaştırılması (Nicholls, 1998)	57
Çizelge 6.1	Kaba ve ince agrega özellikleri	60
Çizelge 6.2	Seçilen agrega gradasyonu ve bu gradasyona göre önerilen SMA sınır değerleri	61
Çizelge 6.3	Bitümlü bağlayıcı (AC 60-70) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları	63
Çizelge 6.4	Poliolefin özellikleri	68
Çizelge 6.5	Tekerlek izi deney sonuçları (P.R. Industries, 1999)	69
Çizelge 6.6	Çalışmada kullanılan SBS’li modifiye bitümün özellikleri	73
Çizelge 7.1	Marshall tasarım deney sonuçları özet tablosu	76
Çizelge 7.2	Bitüm süzülme deney sonuçları	82
Çizelge 7.3	Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları	86
Çizelge 7.4	Deneylerde kullanılan yükleme periyodu (tekerrür süresi) ile yükleme hızları	88
Çizelge 7.5	25 °C’de bulunan elastisite modülleri	97
Çizelge 7.6	Tekerlek izinde oturma sonuçları	111
Çizelge 7.7	Yapılan deneylere ait tüm test sonuçları	114
Çizelge 8.1	Ağır taşıt trafik hacmine göre tahmin edilen tekerlek izi değerleri (mm)	125
Çizelge 8.2	Tabakaların ortalama mekanik özellikleri (Belçika Modeli)	126
Çizelge 8.3	Yük tekerrür sayısı-tekerlek izinde oturma regrasyon analizi sonuçları	131
Çizelge 8.4	Model çalışmasında kullanılan bağımsız değişkenler	132
Çizelge 8.5	Korelasyon Matrisi	132
Çizelge 8.6	Regresyon ve deneyden bulunan A ve B katsayıları	135

ÖNSÖZ

Bu doktora çalışmasında sürekli desteğini gördüğüm, bilgi ve yol göstermesi ile bu tezi hazırlamamda en büyük katkıyı sağlayan tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa ILICALI'ya ,

Çalışmalarımı yönlendiren ve sürekli destek olan tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Emine AĞAR ve Prof. Dr. Zerrin BAYRAKDAR'a,

Tezimin oluşmasında kıymetli fikirleri ve modellerin oluşturulmasında gösterdiği yardımlardan dolayı Dr. Halit ÖZEN'e,

Bilimsel çalışmalarını daima destekleyen İSFALT A.Ş. Genel Müdürü Hasan ARPACI'ya,

İSFALT A.Ş. Laboratuvarının kıymetli personeli, Kalite Kontrol Müdürü Bekir Kadri EREN, Laboratuvar Şefi Gülağa KARADAĞ, Laboratuvar Teknisyenleri Erol TUNÇ, Levent GÜL ve Servet HAN'a,

Tezin yazılmasında büyük emeği geçen Sibel Kırılğaç ve Şeyma BULDAĞ'a,

Bu doktora tezimi bitirmem için bana sürekli destek olan babama, anneme ve tüm aileme,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Süreyya TAYFUR

ÖZET

TAŞ MASTİK ASFALT (SMA) KAPLAMALAR İÇİN UYGUN KARIŞIMIN ARAŞTIRILMASI ve BİR HİZMET ÖMRÜ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Gerek dünyada gerekse ülkemizde artan trafik hacmi ve dingil yükleri nedeni ile yollarda oluşan tekerlek izleri yani oluklanmalar, üstyapıda oluşan en önemli bozulmalardan kabul edilmektedir. Bu yüzden tekerlek izi oluşumunu azaltmak ve yolların servis ömrünü artırmak amacıyla, yüksek dane teması ve kenetlemeyi sağlayan ve yüksek bitüm oranına sahip Taş Mastik Asfalt (SMA) kaplamalar geliştirilmiştir.

Bu çalışmada SMA kaplamaların, Türkiye’de uygulanabilirliği ve uygun bir karışım araştırılması yapılmıştır. Çalışmada yapılan araştırmalar sonucu; önce en uygun bir gradasyon seçilmiş, daha sonra 5 adet farklı özellikte katkı malzemesi kullanılarak hazırlanan karışımlar üzerinde performansa dayalı deneyler yapılmıştır. Çalışmada dünyada yaygın olarak kullanılan stiren – butadiyen - stiren (SBS) elastomer polimeri, poliolefin, polialfaolefin, bitümlü selülozik elyaf ve selülozik elyaf olmak üzere 5 çeşit katkı ile ayrıca bir de katkısız karışım kullanılmıştır.

Tüm bu karışımların her birinin önce optimum bitüm miktarı bulunmuştur. Marshall tasarımı için kullanılan deneyler yanında, karışımlar üzerinde dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme, statik sünme, tekrarlı sünme, bitüm süzülme deneyi ve tekerlek izinde oturma deneyleri yapılmıştır.

Yapılan tüm bu testler sonucunda, karışımın trafik altında performansını değerlendiren tekerlek izinde oturma deneyi ile diğer tüm deney sonuçları kullanılarak en uygun katkılı karışımın saptanmasına çalışılmıştır. Ayrıca sünme deneyleri, dolaylı çekme deneyleri ve tekerlek izinde oturma deney sonuçları ve diğer parametreler kullanılarak bir yük tekerrür-kalıcı deformasyon modeli oluşturulmuştur. Böylece kurulan bu model yardımıyla, karışımların tekerlek izine karşı performansları kolayca model yardımıyla tahmin edilebilecektir.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF A SUITABLE MIXTURE OF STONE MASTIK ASPHALT PAVEMENTS AND DEVELOPMENT OF A SERVICE LIFE MODEL

Because of the increasing volume of traffic and axle load in the world and in our country, rutting that is grooving, is regarded as one of the most important damages that occur on the modern roads. For this reason as a new concept Stone Mastic Asphalt mixtures with high bitumen content, which provide high stone to stone contact was developed in order to reduce the formation of rutting and to extend the service life of the roads.

In this study, SMA mixtures and their applicability in Turkey have been investigated and a research is carried out on an appropriate mixture. As a result of the researches carried out during the this study, initially the most suitable gradation is chosen, later several experiments based on performance are carried out on mixtures which are prepared using 5 additives having different properties. Five different additives, namely styrene – butadiene - styrene (SBS) elastomer, polyolefin, polyalphaolefin, bituminous cellulose fiber and cellulose fiber, all of which are widely used in the world, were used and it is also experimented with a mixture with no additives. Firstly, the optimum bitumen amount of each of all these mixtures were determined.

Besides Marshall design test, other experiments such as indirect tensile strength, indirect tensile test, static creep, repeated creep tests, bitumen seepage and wheel tracking tests were also carried out on the mixtures.

Among all these tests the experiment made on the wheel tracking test which best evaluates the performance of the mixture under the traffic load and other experiments were evaluated and the most appropriate mixture was tried to be ascertained. Moreover, it is also tried to form a mixture performance estimation model using results of particularly the repeated creep and wheel tracking tests and other parameters.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve tüm dünyada artan taşıt trafiği ve dingil yüklerine paralel olarak yolların tahmin edilen hizmet ömürlerini doldurmadan önce bozulmaya uğradığı bilinen bir gerçektir.

Yollarda meydana gelen bozulmaların en önemlilerinden biri; özellikle ağır taşıt trafiğinin neden olduğu tekerlek izi, diğer bir ifade ile kalıcı deformasyonlardır. Bitümlü karışımlar viskoelastik davranan malzemeler olup, trafik altından uzama ve sünme özelliklerinden dolayı, sıcaklık değişmelerinden ve trafik yüklerinden oluşan küçük boyuttaki hareketleri karşılayabilme yeteneklerine sahiptir. Ancak yine de bitümlü karışımlar, yüksek sıcaklıklarda, ağır yük ve tekrarlı geçişler altında kalıcı deformasyon oluşmasına yeterli direnç gösteremezler.

Dolayısıyla bitümlü karışımların yorulma çatlaklarına ve yaşlanmaya (oksidasyona) karşı dayanıklı ve trafik için güvenli bir yüzey dokusuna sahip olması yanında, aynı zamanda kalıcı deformasyonlara karşı direnç gösterecek şekilde tasarlanmaları gerekmektedir.

Ağır dingil yükleri ile beraber, özellikle şehir içlerindeki yüksek yoğunluklu ana yollarda, araçların yavaş seyretmesinin yanında rampaların, otobüs duraklarının ve trafik ışıklarının bulunduğu kritik bölgeler, kalıcı deformasyonların ortaya çıktığı en önemli yol kesimleridir.

Son yıllarda kalıcı deformasyonu belirleyen faktörlerin anlaşılmasında, önemli gelişmeler kaydedilmiş ve artan bu tekerlek izi oluşumuna karşı dirençli karışımlar elde etmek için bağlayıcı ve agrega seçimi ile, bu bileşenlerin oranlarının saptanması yanında katkı malzemelerinin kullanımı geniş bir araştırma konusu olarak ortaya çıkmıştır.

Bu araştırmaların sonucunda, tekerlek izi oluşumuna karşı yüksek dirence sahip TAŞ MASTİK ASFALT veya STONE MASTİK ASFALT (SMA) kaplamalar geliştirilmiştir. Almanya'da uzun yıllardan beri kullanılan SMA tipi kaplamalar daha sonra Avusturya ve İskandinavya'da yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır.

Amerika ve diğer Avrupa ülkelerinde ise son 10 yıldır kullanılmakta olup, özellikle ağır taşıt trafiğinin egemen olduğu yollarda tercih edilmektedir. SMA karışımlar, 1998 yılında İsveç'teki asfalt uygulamalarının %15'ini oluştururken, bu oran Belçika'da %13, Almanya'da %11,5, Norveç'te %10 ve Hollanda'da ise %9 düzeyine gelmiştir. Yukarıdaki bilgilerden de görüldüğü gibi SMA kaplamalar, İsveç gibi soğuk ülkelere, İspanya gibi sıcak ülkelere kadar her iklimde kullanılmaktadır.

SMA karışımlarda elde edilen kaplama yüzeyi, yoğun gradasyonlu karışımlara göre kaymaya karşı daha iyi bir direnç göstermekte, aynı zamanda daha az gürültülü bir ortam sağlamaktadır.

SMA kaplamalar, serme kalınlığına ve istenilen yüzey dokusuna bağlı olarak, genellikle büyük oranda uniform boyutlu taşları içeren ve birbirine kenetlenmiş bir taş iskelete sahiptir. Agrega iskeletinin uniform boyutlu yapısı agrega parçacıkları arasında nispeten daha fazla boşluk kalmasına neden olmakta ve bu boşluklar bağlayıcı madde açısından zengin mastik harç ile doldurulmaktadır. Bu mastik harç; ince kırmataş, filler, bitüm veya modifiye bitüm ile genellikle elyaf gibi bitümün süzülmesini önleyen bir katkıdan oluşur.

Türkiye'de ise, Avrupa'nın aksine SMA çalışmalarına henüz başlanmış olup, deneme niteliğinde yapılan bu kesimlerinin performansları gözlenmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'de kullanılan agrega, bağlayıcı ve katkı malzemeleriyle, uygun bir karışım araştırılması ile SMA kaplamalar için çok önemli olan bir tekerlek izi tahmin modeli ve bu modele bağlı olarak bir hizmet ömrü modeli geliştirilmiştir.

Farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip toplam 5 ayrı katkı malzemesinin denendiği bu çalışmada, kaba agrega olarak çok sağlam yapılı volkanik bir taş olan bazalt, ince agrega olarak kalker kullanılmış, bitümlü bağlayıcı ise Tüpraş rafinerilerinden sağlanmıştır.

SMA karışımlarda çok önemli olan agrega gradasyonunun saptanması için, dünyada kullanılan gradasyonlar araştırılmış ve Türkiye'nin agrega ve üretim teknikleri de göz önüne alınarak bir gradasyon saptanmıştır.

Çalışmada katkı malzemesi olarak;

- Amorf polialfaolefin
- Selülozik elyaf
- Poliolefin
- Bitümlü selülozik elyaf
- Kopolimer, stiren-butadin-stiren, SBS

olarak adlandırılan katkıları kullanılmıştır.

Bu beş adet katkı ilave edilerek yapılan karışımların yanında bir de katkısız SMA karışımı hazırlanmıştır. Karışımlara amorf polialfaolefin ve SBS bitüm ağırlığının sırasıyla %6 ve %5'i oranında, selülozik elyaf, poliolefin ve bitümlü elyaf ise kuru agrega ağırlığının sırasıyla %0.4, %0.6, ve %0.6 oranında katılmıştır. Karışımların performanslarını ölçmek için aşağıda sıralanan toplam 7 ayrı deney yapılmıştır.

- Marshall tasarım deneyi
- Bitüm süzülme deneyi
- Dolaylı çekme mukavemeti
- Dolaylı çekme deneyi
- Statik sünme deneyi
- Tekrarlı sünme deneyi
- Tekerlek izinde oturma deneyi

Bu karışımlar için önce Marshall tasarımı yapılarak, altı farklı optimum bitüm oranı bulunmuş (5 katkılı ve 1 katkısız) ve bulunan bu optimum bitüm oranlarında hazırlanan numunelere yukarıdaki deneyler uygulanmıştır.

Yapılan çalışmalarla, en iyi performansı gösteren karışımlar incelenmiş ve deney sonuçları birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmanın sonunda %98 güvenilirlikte bir tekerlek izi modeli kurularak, SMA karışımların kalıcı deformasyonlara karşı dirençlerinin pratik laboratuvar deneyleri kullanılarak tahmin edilmesine olanak sağlanmıştır.

2. ESNEK ÜSTYAPIYA GELEN ETKİLER ve BOZULMA TİPLERİ

Yol üstyapısında, meydana gelen gerilmeler, iki gruba ayrılabilir:

- Trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmeler,
- Sıcaklık ve nemin (iklim koşullarının) değişiminden doğan gerilmeler (Umar, 1985).

Bu gerilmelerin etkisiyle, yolların performansı ilk yapıldıkları yıllara nazaran giderek düşer ve bir müddet sonra yollar kullanılamaz hale gelebilir.

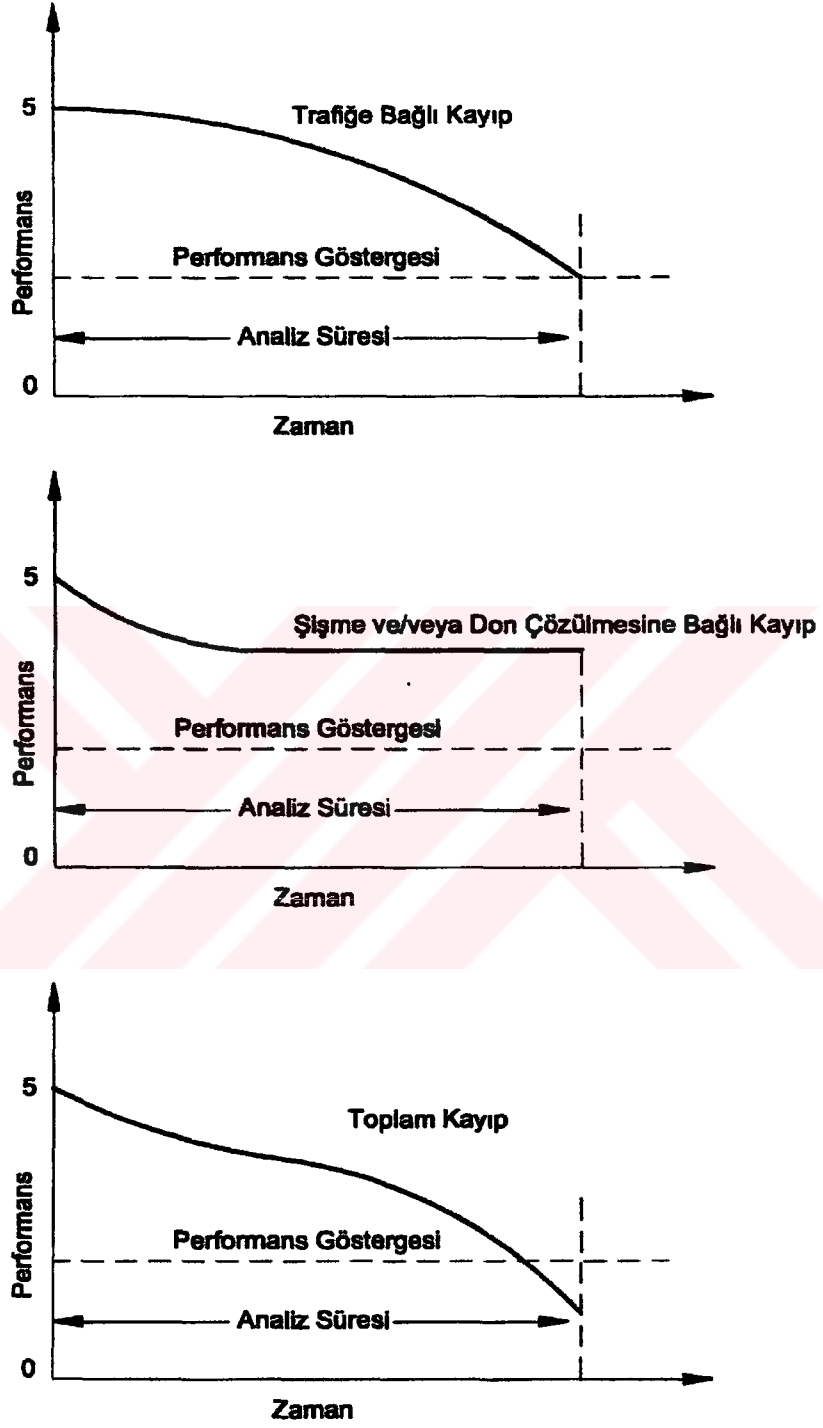
Yolların, bu bozulma sürecinde, yüksek hız ve hacimde trafiğe hizmet edebilme yetenekleri ile sahip oldukları sürüş konforu değerlendirilerek, bir servis yeteneği indeksi kavramı geliştirilmiştir. AASHTO tarafından geliştirilen bu dereceleme, yol üzerinde yapılan bir dizi fiziksel ölçümler (tekerlek izi oluşumu, çatlak uzunluğu, yama miktarı vb.) yapılarak saptanır. Yolun zamana göre performans eğrileri Şekil 2.1.'de görülmektedir (Pavement Performance, 1986) .

2.1. Bozulma Ölçütleri

Bir asfalt kaplamanın bozulmasına, üç ayrı temel bozulma şekline bakılarak karar verilir. Temel bozulmaların haricinde, soyulma gibi yüzey bozuklukları, yapısal bir bozulma tipi olmadığı için bir sonraki aşama olan değerlendirme aşamasında değerlendirilir. Aşağıda temel bozulma kriterleri açıklanmaktadır.

a) Tekerek İzi Derinliği

Tekerlek izi derinliğinin, belirli bir düzeyi aşması durumunda, o yol bozulmuş kabul edilmektedir. Tekerek izi derinliğinin büyüklüğüne göre, bakım yada onarım kararı verilmektedir. Tekerek izi oluşumu 2,5 cm'yi aşan yollarda, hemen bakım yapılması gerektiği açıktır.



Şekil 2.1 Kaplama performans eğrileri (Pavement Performance, 1986).

b) Çatlak Oluşumu

Yoldaki çatlak oluşumunun birim alana düşen miktarı, çatlama derecesini vermekte olup, bu değer belli bir sınırı aşması ile, gerekli bakım yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Genel olarak 6 mm'den büyük genişlikteki çatlakların artması ve trafik altında çatlak kenarlarının kopması, kırılması çatlak açısından yolun bakım gerektirdiğinin bir işareti olarak görülmelidir.

c) Defleksiyon

Defleksiyon; tekerlek izi gibi genel olarak tüm üstyapıyı ve tüm yol gövdesini ilgilendiren bir bozulma şeklidir. Defleksiyonun belirlenmesi için tüm dünyada birbirinden farklı ölçüm cihazları kullanılmaktadır.

Bunlardan bazıları;

- Dynaflect
- Road Rater
- Dynatest Falling Weight Deflectometer
- KVAB Falling Weight Deflectometer
- Phoenix Falling Weight Deflectometer

olarak sıralanabilir (Saltan, 1996).

Defleksiyon ölçümleri sonucunda bulunan değerlerle birlikte, üst yapı malzemesi ve diğer parametreler kullanılarak, yolun bakıma gereksinimi olup olmadığına karar verilmektedir.

2.2 Yol Üstyapısında Oluşan Bozulma Türleri

Yol üstyapısında meydana gelen bozulma türleri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

2.2.1 Oturma, Çökme, Ondülasyon ve Kabarmalar

Bu tip bozulmalar, yol sathında plan ve boy kesitindeki konumuna göre meydana gelen değişiklikler olup çökme, ondülasyon, tekerlek izi, oluk ya da çöküntü, kabarma şeklinde tanımlanırlar.

Bu bozulmalar dengeli bir yapıya sahip olmayan malzemenin kullanıldığı kaplama altındaki tabakaların oturması, çökmesi, büzülmesi ve kabarması gibi nedenlerle meydana gelir.

2.2.1.1 Oturmalar

Kaplama altındaki malzemenin oturması sonucu oluşur. Nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- Alt tabakaların yetersiz kalınlığı,
- Altyapıda oturmalar,
- Yan desteklerin olmayışı (banketlerin yetersizliği),
- Yer altı su seviyesinin yüksekliği,
- Yetersiz drenaj,
- Temel ve temel altı malzemelerinin taban zemininden gelen kille karışmasıdır.

Oturmalar, yol eksenine paralel kenar şeritlerde uzunlamasına ya da enlemesine oluşur. Oturma geniş bir yüzeyi kapsadığından, kaplama tabakası aynı şekli almaya çalışacak ve çatlamayacaktır. Ancak düşük sıcaklıklarda rijitlik modülü çok yüksek kaplamalar, alttaki tabakalarda meydana gelen oturmalara uyum gösteremeyeceğinden çatlamlar oluşabilecektir.

2.2.1.2 Çökmeler

Çökmeler, çatlakları içeren ya da içermeyen ve orijinal kaplama yüzeyine göre düşük kotta kalmış küçük çukurluklardır. Derinlikleri 2,5 cm ya da daha fazla olabilmekte ve yağmurlardan sonra içlerine su dolmaktadır. Çapları değişkendir. Çökmeler zamanla genişleyerek, yolun elden çıkmasına da neden olabilirler.

Nedenleri :

1. Temel ve alt temelin yetersiz olarak sıkıştırılması,
2. Kaplamanın yapım sırasında yetersiz olarak belirli bir bölgede sıkıştırılması,
3. Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimi,
4. Temel ve alttemel malzemelerinin kille karışması,
5. Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü ile karşılaşması.

2.2.1.3 Tekerlek İzi Oluşumu (Oluklanmalar)

Tekerlek izi oluşumu, bitümlü sıcak karışımlar ya da road-mix karışım tipi kaplamalarda, tekerlek etkisiyle oluşmaktadır.

Oluklanmalar (tekerlek izleri), kaplamanın altındaki bir ya da birden fazla tabakada, trafik etkisinin neden olduğu dansifikasyon ya da yanar hareketlerle oluşan yer değiştirmelerdir. Başka bir ifadeyle oluklanmalar, trafiğin izler boyunca meydana getirdiği kalıcı deformasyonların birikimidir.

Nedenleri Üç ana Başlık Altında Sıralanmıştır.**1. Asfalt Tabakasıyla İlgili Nedenler :**

- a. Yüksek bitüm içeriği,
- b. Filler malzemesinin fazlalığı,
- c. Yuvarlak malzemelerin karışımda kullanımı,
- d. Karışımın yetersiz sıkışması,
- e. Uygun olmayan gradasyon
- f. Ağır trafik ve tek şeritte hareket eden trafik nedeniyle kaplama tabakasının fazla sıkışması,
- g. Serim kalınlığının fazla olması,
- h. Kaplamanın taşıt trafiğine erken açılması.

2. Alt Tabakalarla İlgili Nedenler :

- a. Alt tabakaların yetersiz kalınlığı,
- b. Doğal zeminin konsolide oluşu,
- c. Doğal zeminin ve üst tabakaların yanıl hareketleri.

3. Diğer Nedenler :

- a. Ağır ve yüksek sayıda tekerrür eden yük,
- b. Sıcak iklim koşulları.

Ağır taşıt trafiği, iz ve olukların oluşumundaki en önemli etkidir. Yüksek dingil yükü, yüksek lastik basıncı, yükün sık tekrarı ve yavaş seyreden hızdaki ağır araçlar olumsuz etkilerdir.

İz ve oluklar, aşağıdaki olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olurlar.

- a. Suların toplanmasıyla, su yastığı oluşumu, kayma tehlikesinin artması ve soğuk havalarda ince buz tabakalarının oluşması,
- b. Seyir konforunun düşmesiyle birlikte, şerit değiştirmek isteyen hızlı araçlar için tehlike oluşması.

2.2.1.4 Ondülasyonlar

Yol üzerinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan ve aralıkları yaklaşık olarak eşit olan dalga şeklinde ortaya çıkan satıl deformasyonları olarak tanımlanırlar.

Ondülasyon, plastik bir hareket sonucu oluşur. Genellikle kaplama tabakası ile ilgili stabilite eksikliği ile serim anında finişer tablasının aşağı yukarı hareket etmesi ve finişerin sık sık durup, hareket etmesinden oluşur.

2.2.1.5 Kabarmalar

Satih tabakasının lokal olarak yukarıya doğru hareketidir. Genellikle doğal zeminin ve üst tabakaların şişmesiyle ortaya çıkar.

Doğal zeminin şişmesi aşağıdaki durumlarda söz konusudur.

- a. Doğal zemindeki suyun donması ve çözülmesi,
- b. Doğal zeminin, su etkisi ile şişme karakterine sahip olması.

2.2.2 Çatlaklar

Çatlaklar; aşırı dingil yüklerinden ve bunların fazla tekrarından oluşurlar. Çatlaklar, dingil yükünün kaplama tabakası altında meydana getirdiği çekme gerilmeleri, kaplama malzemesinin çekme direncini aştığı zaman oluşur.

Ayrıca araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarıyla ortaya çıkan yatay kuvvetler de çatlaklara neden olabilir.

Bu etkilerin dışında bir takım dış etkenler, kendi başlarına ya da trafik etkisiyle de çatlaklar oluşabilir. Şöyle ki;

- Sıcaklık değişimleri, su absorpsiyonu yüksek agrega kullanımı, asfalttaki uçucu maddelerin buharlaşması,
- Nem ve sıcaklık değişimleri, alt tabakalarda kireç stabilizasyonu yapılırken ya da çimento ile kür olurken doğan hacim değişikliklerinin üst tabakalara yansması.

Çatlamada, asfaltın çekme mukavemeti en önemli rolü oynar. Hızlı yüklemelerde ve soğuk havalarda çekme mukavemeti artış gösterirken yavaş yüklemelerde ve sıcak havalarda düşmektedir.

Trafik etkeni ve hacim değişiklikleri dışında, çatlamaya neden olan hususlar şunlardır:

- a. Fazla miktarda yük tekrarı (yorulma),
- b. Kaplama (sath) tabakasının yetersiz kalınlığı,
- c. Kaplama altındaki tabakaların yetersiz kalınlığı,
- d. Kaplama altındaki tabakaların yüksek deformasyonları nedeniyle, malzemelerin dağılımı ayrışımı,
- e. Yetersiz drenaj,
- f. Don tesirine duyarlı olan temel ve alttemel malzemeleri,
- g. Sath ve banketlerdeki nem farklılıkları,
- h. Yanal desteklerin (banketlerin) yetersizliği,
- i. Araçların ani hızlanma ya da yavaşlamalarından oluşan yatay kuvvetler,
- j. Karışım tipi kaplamalarda, yapım sırasında finişerin sık sık durması,
- k. Yol kaplama yapımında (ek yerlerinin) derzlerin dikkatsiz yapılması.

2.2.3 Ayrılma, Ayrışma ve Parçalanmalar

Asfalt tabakasında, agregaların hava etkisi ya da trafiğin aşındırma etkisi ile meydana gelir.

Bu tip ayrışma, parçalanma ve kopmalar çeşitli şekillerde oluşmakta ve buna uygun olarak da değişik isimler almaktadırlar. Sökülme, çanak şekilli çukurlar, bağ eksikliği (adezyon yetersizliği) ve soyulma başlıca bozulma tipleridir.

Genel nedenler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- a. Mıdır tanelerinin, trafiğin mekanik etkisiyle bitüm filminden ayrılması,
- b. Karışım kalitesinin düşüklüğü ya da sathi kaplamalarda, bitüm ve mıcırın uygun bir aşınma tabakası oluşturmamaları,
- c. Bitüm yüzdesinin düşüklüğü,
- d. Karışım tipi kaplamalarda, filler yüzdesinin çok düşük ya da çok yüksek oluşu,
- e. Kirli ve kalitesiz mıcır kullanılması,
- f. Kaplamanın asfalt betonu olması durumunda, bu tabakanın ince olması,
- g. Kil malzemesinin tabandan, alttemel ve temel malzemeleri içerisine doğru yükselmesi,
- h. Yetersiz drenaj,

- i. Sathi kaplama ve öteki bitüm tabakalarının soğuk ve yağışlı havalarda yapılarak adezyonun azalması,
- j. Sıcak karışım tipi satih tabakalarının yapımında, karışımın plentte fazla ısıtılması,
- k. Asfalt betonunun kullanılması, karışımın serilmesi ya da nakliyesi sırasında ayrışım olması,
- l. Satih tabakasıyla öteki tabakalar arasında bağ eksikliği,
- m. Su ve kil etkisiyle soyulma.

2.2.4 Kayma Direnci Kaybı, Cilalanma ve Kusmalar

a) Cilalanma

Genellikle, yüzeyde asfalt filminin oluşması ve mıcır tanelerinin zamanla trafiğin etkisiyle cilalanması şeklinde ortaya çıkar.

Bazı agregalar, özellikle kimi kalker türleri, trafik altında daha çabuk cilalı hale gelirler. Doğal olarak çıkarılan cilalı ve düzgün satihli çakıllar da kaplama yapımında kırılmadan kullanılırsa kayma tehlikesi oluştururlar. Satihleri, cilalı hale gelmiş olan bu gibi agregalar, ıslandıkları zaman tamamen kaygan hale gelirler.

b) Kusma

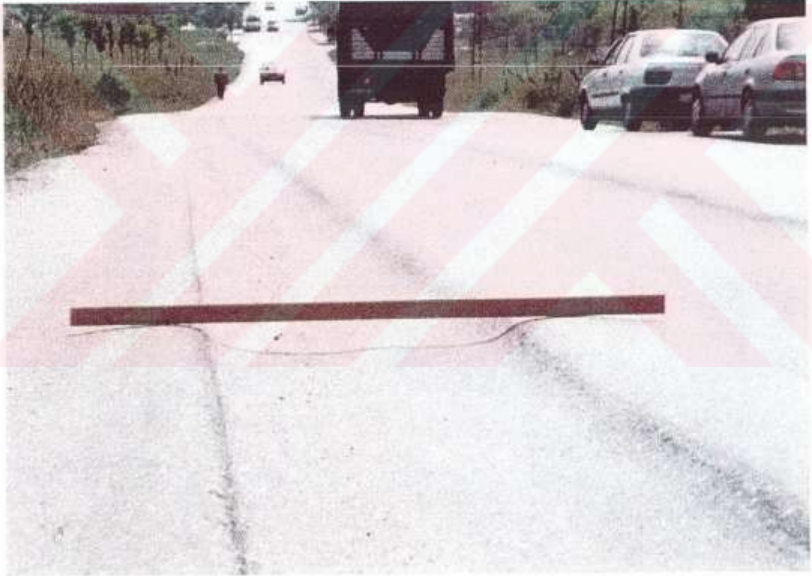
Bitümün yüzeye doğru hareketiyle oluşan asfalt filmi gözle görülebilecek biçimde oluşur. Güneş ışığı altında sathın parlaması sathın kusmaya yüz tutacağına göstergesidir. Kusma sıcak havalarda meydana gelir. Üretim aşamasında optimum bitümden çok daha fazla bitüm kullanılması durumunda ortaya çıkar.

3. KALICI DEFORMASYONLARIN OLUŞUMU VE BU DEFORMASYONLARA KARŞI YÜKSEK DİRENÇLİ KARIŞIMLAR

3.1 Kalıcı Deformasyon Oluşumu

Tekerlek izi oluşumu ile diğer yüzey bozukluklarına neden olan kalıcı deformasyon oluşumu, birkaç şekilde tanımlanabilir.

Birincisi kaplamanın altında bulunan tabakaların oturması ile meydana gelen deformasyonlar olup, yapısal oturma olarak adlandırılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Yapısal oturma örneği

İkinci kalıcı deformasyon oluşma şekli ise; bitümlü tabakaların bünyesinde oluşan deformasyonlar olup, bitümlü karışımın iç sürtünme trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmeleri karşılayamamasından meydana gelmektedir (Verstraeten, 1995). Bu tip deformasyonlara,

sürekli tekerlek izi oluşumu (flow-rutting) denir ve çoğunlukla tekerlek-kaplama temasındaki kayma gerilmelerinin yüksek olduğu rampalar ile kavşak yaklaşımları, kurplar ve otobüs duraklarında görülür (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Tekerlek izi oluşumlarına örnekler

Üçüncü bir deformasyon oluşumu ise; özellikle Kuzey Avrupa Ülkeleri ile bir zamanlar Avrupa'da kullanılan ve çivili lastik olarak tanımlanan lastiklerin meydana getirdiği aşınma ile meydana gelen tekerlek izi oluşumudur.

Yapısal deformasyon oluşumu, başta yanlış üstyapı tasarımı olmak üzere, yetersiz sıkıştırma, kötü drenaj ve özellikle temel tabakasının dayamsız olmasından kaynaklanmaktadır.

Sürekli tekerlek izi oluşumu, yapısal nedenlerden çok karışım tasarımı ile ilgilidir. Karışım dizaynının yanında bitümlü karışımın uygun bir biçimde serme ve sıkıştırma işlemi, ikinci önemli faktördür. Bu şekilde oluşan tekerlek izinin tek çözümü, kaplamanın kazılarak yerine serme yapılmasıdır. Ancak mevsim koşullarının uygun olmadığı durumlarda, yüksek yerlerin asfalt freze makinesi ile traşlanarak düzeltilmesi de bir geçici çözüm olarak kabul edilebilir.

3.2 Kalıcı Deformasyonlara Dirençli Karışımlar

Bitümlü karışımlar, bir yandan kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olacak bir şekilde tasarlanırken, diğer taraftan çatlamaya, yaşlanmaya mukavim ve yeterli sürtünme yüzeyine sahip olacak şekilde hazırlanmalıdır.

Örnek olarak, bitüm açısından çok zengin ve boşluk oranı açısından yetersiz olan bir karışım, yorulma çatlaklarına yüksek direnç gösterirken, tekerlek izi oluşumuna karşı düşük bir dirence sahip olacaktır. Benzer olarak, genel anlamda agrega ve boşluk oranı açısından zengin; fakat bağlayıcı madde içeriği düşük olan bitümlü karışımlar, tekerlek izine karşı yüksek direnç gösterirken (Önal, 1998), düşük yorulma mukavemetine sahip olacaktır. Diğer bir ifade ile bir karışımın yorulmaya karşı durabil, tekerlek izi oluşumuna karşı ise stabil olması gerekir. Ağır ve yoğun trafik yükünün mevcut olduğu yollarda, doğal olarak tekerlek izine karşı stabil bir karışım tasarımı yanında, aynı zamanda yorulmaya karşı dayanıklı tasarım yapılmalıdır. Tekerlek izi oluşumunun sıklığına, büyüklüğüne ve uygunluğuna bağlı olarak bazı ülkeler, iklim ve trafik koşullarını da göz önüne alarak, kalıcı deformasyonlara dirençli karışım tipleri geliştirmişlerdir. Aşağıda bu çalışmalar özetlenmiştir.

3.2.1 Fransa'da Yapılan Çalışmalar

Tekerlek izi oluşmaması için Fransa'da 1969 yılından beri araştırmalar sürmektedir. Fransızlar, 1969'dan, 1983'e kadar yaptıkları araştırmalar sonunda, özellikle yüksek yoğunluklu yollar için yüksek rijitlik modülüne sahip karışımlar geliştirmişlerdir. Bu yüksek modüllü karışımlar, ince veya çok ince bir aşınma tabakasının altında kullanılmaktadır.

Fransa'da, stabilite ve durabiliteyi yükseltmek için genel olarak maksimum dane boyutu fazla olmayan, ancak kaba agrega oranı yüksek karışımlar kullanılmaktadır. Bu karışımlar, hem aşınma hem de alttaki tabakalarda uygulanmaktadır. Bu yüksek rijitliğe sahip karışımlarda, %4-8 oranında boşluk bulunmakta ve karışım aşağıdaki agrega gruplarından oluşmaktadır;

- %65-72 oranında kırılmış ocak taşı,
- %28-35 arasında ince agrega,

- Bu karışımlarda bitümlü bağlayıcı oranı ise; D_{max} 14 mm için ortalama %5.4 ve D_{max} 10 için %5.6 ve %5.8 olarak uygulanmakta olup, bitümlü bağlayıcı olarak, güney bölgelerinde 40/50, kuzeyde ise 60/70 kullanılmaktadır.

Bu tip kaplamaların, eski kaplamaların üzerine ilave bir tabaka kullanımı için uygun olmadığı görüldüğünden, bakım için ince (15-25 mm tabaka kalınlığında) kaplamalar geliştirilmiştir. Özellikle yoğun ağır taşıt trafiğinin ve tekerlek izi oluşumunun fazla olduğu yerler için yukarıda sözü edilen karışımlar yerine, aynı agrega kompozisyonuna sahip ancak bitümlü bağlayıcı olarak 10-20 penetrasyonlu özel bitümler kullanılmaya başlanmıştır. Burada bitüm yüzdesi %5.6 ile %4.5 arasında kullanılmaktadır. 10-20 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcılar ile yapılan karışımlar 6 ile 12 cm kalınlığında serilebilmekte ve %3-4 oranında hava boşluğu olacak şekilde tasarımları yapılmaktadır (Verstraeten, 1995).

Yüksek rijitlik modülüne sahip bu tip karışımlar, SBS ile modifiye edilmiş bağlayıcılar ile yapılan ve yukarıda sözü edilen kaba agregalı karışımlara nazaran, daha iyi performans göstermektedirler. Bu tip sert bitümlerin, düşük sıcaklıklarda büzülme çatlakları oluşumu, 40/50 penetrasyonlu bitümlerin davranışı ile aynı olduğu görülmüştür.

Fransa'da ayrıca, kaba agregalı karışımlara, kullanılmış elektrik kablolarından elde edilen polietilen gibi atık plastik malzemeleri katılarak üretilen karışımlar da; özellikle tekerlek izi oluşma olasılığının yüksek olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

3.2.2 İngiltere ve İtalya Uygulamaları

İngiltere'de genel olarak sıcak sıkıştırılan asfalt, (hot-rolled asfalt, HRA) olarak adlandırılan karışımlar kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu yollarda, aşınma tabakası olarak %30-35'i kırmataş, %55'i ince agrega ve %10'u filler olan bir karışım kullanılmaktadır (Verstraeten, 1995).

Bu tabakanın altında %60'ı kaba kırmataş, %30'u ince agrega ve %10'u fillerden oluşan bir karışım ve en altta ise yoğun gradasyonlu makadam asfalt olarak tanımlanan ve ince malzemesi fazla olan karışımlar kullanılmaktadır.

Bu karışımlarda 50 penetrasyonlu bitüm kullanılmakta ve bitüm yüzdesi, aşınma tabakasında %8, alttaki tabakada %5.5 – 6.0 ve en alt tabakada ise %3.5 oranında kullanılmaktadır.

Ancak İngiltere’de HRA karışımlara alternatif karışım çalışmaları devam etmektedir. İtalya’da tekerlek izi oluşumunu engellemek için modifiye bitüm kullanımı (kauçuk, polietilen) oldukça yaygın olup, bağlayıcı yüzdesi %4.5 – 5.0 arasında çıkmaktadır. Agregada olarak bazalt tercih edilmektedir.

3.2.3 Belçika Uygulamaları

Belçika’da bu konuda yapılan araştırmalar sonunda, aşağıdaki karışım tasarım kriterleri ortaya çıkmıştır.

Çizelge 3.1 Belçika’da tekerlek izine karşı kullanılan karışımlar (Verstraeten, 1995).

Karışım Tipi	Tip I	Tip II	Tip III
Kaba agrega/ince agregası oranı	56/36	35/53	58/35
Bitüm penetrasyonu	50/60	40/50	50/60
Bitüm oranı (%)	5,7-7,0	8-9	4,5-5,5
Hava boşluğu (%)	2-5	2-5	2-7
Maksimum agregası boyutu (mm)	14-20	10-17	10-14

Belçika’da kullanılan eski şartnameler, durabilite yönünden iyi, ancak stabilite açısından kötü performans göstermişlerdir. Bu yüzden bu şartnameler aşağıdaki gibi yenilenmiştir (Verstraeten, 1995).

- Tasarımlar, kütle yerine hacimsel olarak yapılmıştır.
- Filler oranı azaltılarak, kaba agregası artırılmıştır.
- Kullanılacak ince malzemenin, mutlaka kırılmış olması koşulu getirilmiştir.
- 80/100 penetrasyonlu bitüm kullanımı terkedilmiştir.
- Özel bazı kesimlerde modifiye asfalt kullanılmasına izin verilmiştir.

Belçika'da; ayrıca kaba ve ince agrega için temizlik, şekil, kırılmışlık, cilalanma gibi koşullar getirilirken, filler için yoğunluk, boşluk yüzdesi ve neme hassasiyet ile kabarma için sınırlamalar getirilmiştir.

3.2.4 ABD'de Kullanılan Büyük Kırmataşlı Karışım Uygulamaları

Amerika'da tekerlek izine karşı büyük kırmataşlı karışımlar (Large stone mixtures, LSM) geliştirilmiştir. 1984 yılında WASHTO (Warburton vd., 1964) Amerikan karayollarında en önemli problemlerin başında tekerlek izi olduğunu rapor etmiştir. Daha sonra bu problemi çözmek için geliştirilen LSM karışımların iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Büyük kırmataşlı karışımlarda (B.K.K.) kalıcı deformasyonların nispeten az oluşması dane çapları büyük olan taşların kesme gerilmelerine daha fazla direnç göstermesinden kaynaklandığı kabul edilmektedir (Button, Crockford, 1994).

Büyük kırmataşlı karışımlar, yoğun gradasyonlu veya açık gradasyonlu olarak kullanılabilir. Bu karışımlarda en büyük agrega boyutu 25 mm ile 63 mm (1" ve 2½") arasında değişmektedir. B.K.K. genel olarak binder veya bitümlü temel tabakası olarak kullanıldığı gibi aynı zamanda aşınma tabakası olarak da uygulanmaktadır. En büyük agrega boyutu çok büyük olduğu için, asfalt serme kalınlığının agrega boyutunun en az iki katı olması koşulu, bu karışımlarda sağlanamamakta ve bu yüzden daha az kalınlıkta serime izin verilmektedir.

Bitüm oranları, geleneksel yoğun karışım gradasyonlara göre %30 daha az çıkmakta, boşluk oranı ise büyük taşlardan dolayı daha yüksek değere ulaşmaktadır.

Bu tip karışımlarda, karşılaşılan zorluklar aşağıda sıralanmıştır.

- Serim ve taşıma anında ortaya çıkan segregasyon,
- İri agregaların bitümlü tam sarılmaması,
- Karıştırma süresinin artması,
- Tamburda ve sürekli tip plantlerde aşırı gürültü oluşması,
- Karıştırıcı içindeki kanatların açıklığının yetersiz kalması,
- Sıkıştırma zorluğu,

- Üretim ve sıkıştırma ekipmanlarının çabuk yıpranması,
- Suya karşı hassasiyetidir.

ABD’de bir çok eyalette yukarıda sayılan olumsuzluklara rağmen, kalıcı deformasyonlara karşı yüksek mukavemetlerinden dolayı, bu tip karışımlar hâlâ kullanılmaktadır.

3.2.5 SMA Tipi Karışımlar; Almanya ve Diğer Avrupa Ülkeleri Uygulamaları

Almanya ve kuzey Avrupa ülkelerinde tekerlek izi oluşumuna karşı Taş Mastik Asfalt (Stone mastic asphalt, SMA) kaplamalar geliştirilmiştir. Bu tip karışımlar, Almanya’da yaklaşık 20 yıldan beri kullanılmaktadır. 1984’den beri tekerlek izi oluşumuna karşı bir karışım olarak geliştirilmiştir.

Almanya’da “ Splitmastix asphalt” olarak adlandırılan bu karışımlar, temel olarak kaba agregalı bir iskelete sahip bağlayıcı açısından zengin bir harç ile doldurulmuştur.

Son yıllarda sadece Almanya değil, diğer Avrupa ülkeleri ile Amerika’da da kullanılmaya başlanmıştır.

SMA karışımlar ile ilgili dünyada yapılan çalışmalar ve incelemeler, ayrıntılı olarak Bölüm 4 ve 5’te verilmektedir.

4 . TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALAR (SMA)

SMA karışımlar %70–80 oranında kaba agrega, %20–30 ince agrega ve %6–7 gibi yüksek bitüm içeren kesikli gradasyona sahip karışımlardır. Bu bölümde Taş Mastik Asfalt veya Stone Mastik Asfalt (SMA) olarak bilinen yüksek stabiliteye sahip bu kaplamaların genel özellikleri incelenecektir.

Taş Mastik Kaplamaların Ortaya Çıkışı

Taş mastik asfalt (SMA) kaplamaların kullanımı 25 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. SMA karışımlar ilk olarak 1966 yılında Almanya’da “Splittmastix asphalt” olarak, daha sonra İsveç, İsviçre, Fransa ve Hollanda’da kullanılmaya başlanmıştır (Harris ve Stuart, 1995).

SMA tipi karışımların ilk kullanım amacı; kış ikliminin ağır olduğu bölgelerde sürüş güvenliğini artırmak için kullanılan çivili lastiklerin, asfalt kaplama üzerinde meydana getirdiği aşınmayı ve tekerlek izini önlemeye yönelik olmuştur. 1975 yılında İskandinav ülkelerinin dışında çivili lastik kullanımının yasaklanması ile SMA karışımların uygulamasına Almanya’da bir müddet ara verilmiştir. Ancak ağır taşıt trafiği ile beraber dingil yüklerinin artması ile yollarda tekerlek izinin oluşması, ciddi bir problem olarak ortaya çıkmış ve yapılan incelemelerde, Almanya’da yapılan SMA karışımlarda, diğer karışımlara göre çok daha az bu tip deformasyonların olduğu gözlenmiş ve bu nedenle SMA karışımlar Almanya’da yeniden kullanılmaya başlanmış (Scherocman, 1993) olup, 1984 yılında teknik şartnamelere girmiştir. 2001 yılına kadar Almanya’da 250 milyon m² SMA uygulaması yapılmıştır.

Amerika Birleşik Devletlerinde ise, lastik iç basınçlarının 75 psi’den, 100 psi’ye çıkması ve lastik ile kaplama arasındaki temas alanının azaltılması ve bunun doğal sonucu olarak birim alana gelen lastik yükünün artması, son on yılda tekerlek izi oluşumunu hızlandırarak bu yolların en önemli sorunu haline gelmiştir.

Lastik iç basıncının yükselmesi, kaplama ve lastik arasındaki etkileşim yüzeyinin azalması ve ayrıca yasal dingil yüklerinin artması gibi nedenler geleneksel asfalt kaplamaların performansı üzerindeki olumsuzluğu artırmıştır (Scherocman, 1992b). Kalıcı deformasyonlara dirençli karışımlar için çalışmalar yapan Amerikalı uzmanlar, Almanya’da uygulanan SMA karışımları incelemiş ve bu karışımların yüksek stabiliteye sahip olduklarına kanaat

getirmeleri üzerine, 1991 yılında kendi ülkelerinde SMA uygulamalarına deneme kesimleri yaparak başlamışlardır. Alınan olumlu sonuçlardan sonra yaygın olarak kullanımına devam edilmiştir (Brown, TRR 1427).

SMA karışımların performansı, ABD’de sürekli olarak incelenmektedir. Almanya ve ABD’den başka bugün SMA; İsveç, Norveç, Danimarka, Hollanda, Belçika, Fransa, İsviçre, Japonya, Macaristan, İngiltere ve Portekiz gibi ülkelerde kullanılmaktadır.

4.1 SMA Karışımlarda Kullanılan Malzemeler

SMA karışımlarda kullanılan agrega, bitümlü bağlayıcı ve katkı malzemelerinin özellikleri ve bileşim karakteristikleri, karışımların performanslarını doğrudan etkilemektedir.

4.1.1 Agrega Özellikleri

SMA karışımlarda yüksek dane teması ve iç kenetlenmeyi sağlaması sayesinde, trafik yüklerini taşıyan agregaların karışım içinde dağılımı (gradasyonu) ve fiziksel özellikleri, kaplamanın performansını etkilemektedir.

SMA karışımlarda kullanılacak agregalar için istenen mekanik özellikler, her ülkede farklılıklar göstermekle beraber, genel olarak daha sağlam ve daha sert agregalar tercih edilmektedir.

4.1.1.1 Kaba ve İnce Agrega

SMA karışımlarda kullanılacak agregalar için ülkelerin istedikleri şartname sınır değerleri, genel olarak çok değişmemektedir. Kaba ve ince agregaların kırılma yüzdesi yüksek olmalı, ince agrega oranı ise düşük olmalıdır. Kaba agrega için kırılma yüzdesi, çoğu ülke şartnamesinde %100’dür.

Çizelge 4.1.’de bazı ülkelerde kaba ve ince agrega için istenen sınır değerleri verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği üzere; Çek Cumhuriyeti ve Portekiz gibi ülkelerde, Los Angeles (LA) aşınma değeri %20 gibi oldukça düşük değerler istenmektedir.

Bu kadar düşük LA aşınma değerinin granit, bazalt, diabaz gibi agregalar ile sağlanacağı açıktır.

Çizelgede görülen Amerikan Şartnamesi ise tavsiye niteliğinde olup, Amerikan Federal Highway Administration (FHWA) tarafından önerilmiştir. Ayrıca Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan taslak SMA şartnamesi çizelgeye eklenmiştir. SMA karışımların hizmet ömrü, bünyesindeki taşların cilalanmaya karşı direncinin büyük olmasına bağlı olup, bu yüzden bir çok ülkede cilalanma değerinin %55'den büyük olması istenmektedir. İngiltere'de kullanılan boksit (calcined bauxite) cilalanma değeri çok yüksek olup, 70'den büyük çıkmaktadır (Slatter, 1996). Boksit gibi taşların, İngiltere'nin her bölgesinde ve Avrupa'da zor bulunması nedeni ile SMA kaplamalarda kullanımı sınırlı olup, yine de cilalanma değeri %55-60 arasında olacak şekilde agrega seçimine dikkat edilmektedir.

Çizelge 4.1 SMA kaplamalarda kullanılacak kaba ve ince agrega için bazı ülkelerde istenen sınırlar

Cinsi	Özellikler	KGM	Amerika		Çek Cumh. Portekiz
			* FHWA	* İngiltere	
Kaba Agrega	Kırılma Oranı, min	100	100	100	100
	Los Angeles Aşınma, maks %	25	30		20
	NaSO ₄ Sağlamlık Deneyi, maks %	8	15		
	Cilalanma Değeri, min. %	50	-	55	55
	Su Absorpsiyonu	2,5	2,0		
	Yassılık İndeksi, maks %	25		30	
	%10 İncelik Değeri, min. KN			180	
İnce Agrega	Kırılma Oranı min %		100	50	
	Na ₂ SO ₄ Sağlamlık Deneyi, maks %		15		
	Likit Limit, maks %		25		

* Transportation Research Laboratory 314 no.lu rapordan alınmıştır.

Kullanılan agrega cinsinin, SMA karışımlarının performanslarını etkileyeceği açıktır. Bu konuda, Stuart ve Mogawer (1995) diabaz ve kireçtaşı karşılaştırmış ve kireçtaşı ile yapılan karışımların; suya karşı dayanıklılık deneyinde, çekme mukavemetinde, diametral modülü testinde, Hamburg tekerlek izi testinde olumsuz sonuçlar verdiğini bulmuştur.

Marshall deneyinden sonra yapılan gradasyon testine göre, kireçtaşı karışımların sıkıştırılmadan sonra daha çok ufalandığı ve gradasyonlarındaki değişimin diabatza göre daha çok olduğu ortaya çıkmıştır. Bu test sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Benzer olarak Brown ve Haddock (1997) traprock, granit, kireçtaşı, Florida Kireçtaşı ve silisli çakıl cinsi agregaları sıkıştırılmadan sonra gradasyonlarındaki değişimi kontrol etmiş ve Los Angeles (LA) aşınma değeri yüksek olan Florida Kireçtaşı (%36) en yüksek parçalanmayı verirken LA değeri %20'den daha düşük olan Traprock ve çakıl en az gradasyon değişimi vermiştir.

Çizelge 4.2 Diabatiz ve kireçtaşı SMA karışımların karşılaştırılması (Stuart, 1995)

Özellik	Diabatiz	Kireçtaşı
Suya dayanıklılık testi, 25 °C		-
Çekme gerilmesi (kuru), kpa	622	-
Çekme gerilmesi (yaş), kpa	616	-
Korunma oranı, %	99 (olumlu)	(olumsuz)
Diametral Modül testi, 25 °C		
Kuru modül, mpa	948	1889
Yaş modül, mpa	940	1164
Korunma oranı, % (Yaş Modül / Kuru Modül)	99,2 (olumlu)	61,6 (olumsuz)
Hamburg tekerlek izi testi		
Soyulma sonu geçiş sayısı	8523	(olumsuz)
Soyulma eğimi, geçiş/mm	739	(olumsuz)

SMA karışımlarında, bitüm süzülmesi açısından agrega cinsinin çok önemli olmadığı, gradasyonunun süzülmede daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır (Brown, 1994).

4.1.1.2 Mineral Filler

SMA tipi karışımlar, kesik gradasyonlu (gap-graded) karışımlar olduğundan, mineral filler gereksinimi yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha fazladır. SMA karışımların mastik kısmı; bağlayıcı malzeme, ince agreganın bir kısmı ve mineral fillerden oluşur.

SMA karışımlarda, mineral fillerin büyük kısmı bağlayıcı içinde asılı kalırken, kalan kısmının yük taşıyan agrega iskeleti içinde kaldığı kabul edilmektedir (Harris, 1995).

Filler olarak; taş tozu, yüksek fırın cürufu, portland çimentosu, sönmüş kireç ve uçucu kül kullanılabilir. Fillerin gradasyonu ülke şartnamelerine ve araştırmalara göre değişmektedir. Almanya'da 0,090 mm.'den geçen kısım mineral filler olarak değerlendirilirken, Mc Daniel 0,075 mm (No.200) elekten geçen kısmı %70-100 ve 0,020 mm (No.635)'den geçen kısmı %5'ten fazla olmayan malzeme olarak tarif etmektedir (Brown, 1995, TRB 1530). Amerika FHWA, 0,020 mm.'den geçen malzeme yüzdesini %30 olarak sınırlandırırken Türkiye'de Karayolları Genel Müdürlüğü'nün SMA taslak şartnamesinde mineral filler için öngördüğü elek analizi Çizelge 4.3'te verilmektedir (KGM, 1998).

Çizelge 4.3 Mineral filler gradasyonu

Elek Boyu		Geçen (%)
No	mm	
40	0,42	100
80	0,177	85-100
200	0,075	70-100

Amerika'da asfalt plantlerin filtrelerinde toplanan taş tozlarının kullanımına müsaade edilirken, Almanya'da kullanılmaması önerilmektedir (Brown, 1995, TRB 1530). ABD'de bazı eyaletlerde çimento kullanımına müsaade edilmezken, Portekiz, Hollanda ve Macaristan'da mineral filler olarak kireçtaşı kullanımı istenmektedir (Heavy Duty, 1998).

Mogawer ve Stuart (1996), Avrupa'dan getirdikleri kumtaşı, kireçtaşı ve granitten oluşan 8 ayrı fillerli, SMA karışımların performanslarını incelemişler ve bu 8 farklı mineral fillerin, karışım performanslarını etkilemediklerini ve bunların iyi veya kötü olarak tanımlanamayacağını göstermişlerdir. Ancak Brown ve Mallick, plantte filtreden elde edilen mineral filler ile mermer tozunu, bitümün süzülme açısından değerlendirmiş, filtrede tutulan fillerin, mermer tozuna göre daha olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Yüksek filler oranına sahip (%8-13) SMA karışımlar için gerekli filler temininin, kullanılan agregadan sağlanması en pratik çözüm olarak görünmekle birlikte, bu kadar yüksek filler

elde etmenin çok zor olacağı da açıktır. Ülkemizde ise en yaygın ve en kolay bulunabilen ve en ekonomik filler malzemesi, kireçtaşı tozudur.

4.1.2 Bitümlü Bağlayıcı

Bitümlü bağlayıcı olarak, tekerlek izi ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olan düşük penetrasyonlu asfalt kullanmanın doğru olacağı açıktır. KGM Taslak Şartnamesinde AC 40/50 veya AC 60/70 kullanımı önerilirken, bitümün modifiye edilmesi durumunda, bitümlü bağlayıcı KGM Modifiye Bitüm Şartnamesi içinde kalacaktır. Avrupa'da kullanılan bağlayıcı tipi ülkeden ülkeye değişmekle birlikte genel kullanım 50-85 penetrasyon-iklim farkı asfaltlardır. Bir çok ülke yoğun ağır taşıt trafiğinin bulunduğu yerlerde, modifiye asfalt kullanımını öngörmektedir. Amerika'da ise, FHWA tarafından hazırlanan şartnamede 60-80 penetrasyon asfalt kullanımı önerilirken, iklim koşullarına göre bağlayıcı tipi seçimini tasarımcıya bırakmaktadır.

4.1.3 Katkı Malzemeleri

SMA asfalt kaplamalarda, katkı malzemesi olarak, ilk uygulamalarda elyaf kullanılırken, daha sonraki uygulamalarda polimer katkılı karışımların kullanılması da gündeme gelmiştir. SMA karışımlar yüksek bağlayıcı oranına sahip oldukları için, taşıma ve yerleştirme işlemi sırasında bitümün süzülüp aşağıya doğru akmaması için stabilizer olarak da adlandırılan bitümü, agregaya boşlukları arasında tutacak katkı malzemelerinin ilavesi gerekli olmaktadır. Genel olarak, bu amaçla selülozik veya mineral elyaf kullanılmaktadır.

Elyaf Kullanımı

Stone Mastik Kaplamaların hazırlanmasında kullanılan %7 bitüm oranı ve 170 °C'ye kadar çıkan yüksek sıcaklıktan dolayı agregalar arasındaki bitümün akması ve agregalar üzerinde bitüm filminin azalması ile, malzemenin iç mukavemetinde bir azalma meydana gelerek yaşlanmaya karşı direnci de azalır. Bu olumsuzlukları önlemek için, ilk olarak Almanya'da asbest elyaflar kullanılmış, ancak daha sonra insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı yasaklanmıştır (Hamburg, 1985). Asbest elyafların kullanımının yasaklanmasından sonra, benzer özelliklere sahip selülozik elyaf kullanımı gündeme gelmiştir. Selülozik elyaf, pürüzlü ve üç boyutlu bir yapıya sahip olduğu için, çok iyi bir asfalt taşıyıcı rolü üstlenmekte ve aynı

zamanda, bitümün viskozitesini artırdığı için, yüksek sıcaklıklarda karışımın kalıcı deformasyonlara karşı mukavemetini de artırdığı kabul edilmektedir. Selülozik elyaftan sonra, SMA karışımlarda mineral elyaf kullanımı da yaygınlaşmış olup, her iki elyaf türü de benzer özellikler göstermektedir.

Avrupa, Amerika, Kanada ve diğer bir çok ülkede değişik firmalar, özel ticari isimler altında elyaf üretimi yapmakta ve pazara sunmaktadır. Ancak her elyaf, SMA'larda aynı performansı göstermemekte, özel olarak SMA karışımlar için geliştirilen elyaflar iyi sonuç vermektedir. Genel kullanım oranları, toplam karışımın %0,3 ~ %0,9'u oranındadır. Üretici firmaların önerdiği oranlarda, elyaf kullanımı da iyi sonuçlar elde etmede yardımcı olmaktadır.

Elyaflar için KGM SMA Taslak Şartnamesi ile Amerika Federal Highway Administration tarafından verilen şartname değerleri birbirlerine çok yakın olup, KGM Taslak Şartnamesinin mineral elyaf için verdiği özellikler Çizelge 4.4'te, selülozik elyaflar için verdiği ise Çizelge 4.5'de görülmektedir.

Çizelge 4.4 Mineral elyaf özellikleri

Elyaf uzunluğu (maksimum)	6 mm
No 40 (0,425 mm) elekten geçen	%95 (min)
No 200 (0,075 mm) elekten geçen	%65 (min)

Çizelge 4.5 Selülozik elyaf özellikleri

Elyaf uzunluğu (maksimum)	6 mm
No 20 (0,850 mm) elekten geçen	%85±%10
No 40 (0,425 mm) elekten geçen	%65±%10
No 100 (0,149 mm) elekten geçen	%30±%10
Kül muhtevası	%18±%5
PH	%7,5±1
Yağ absorpsiyonu	(Elyaf ağırlığının) 5±1 katı
Nem absorpsiyonu	(ağırlıkça) <%5

Polimer ve Diğer Katkı Malzemelerin Kullanımı

Ağır taşıt trafiği taşıyan yollarda, polimer katkılı karışımlar kullanmak, SMA karışımların performanslarını artırmaktadır. Polimerlerin dışında, poliolefin ve polietilen katkı karışımların kullanımı da son yıllarda yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu katkı malzemeleri, özellikle karışımların tekerlek izine karşı dirençlerini artırırken, aynı zamanda elyaflar gibi bitümün karıştırma, taşıma ve serme sırasında drene olmasını (süzülmesini) engellemektedir. Polimerler, aynı zamanda asfalt çimentosunun rijitliğini yükselterek, yüksek sıcaklıklarda ısı hassasiyetini azaltıp, düşük sıcaklıklarda ise düşük ısı özelliklerini artırmaktadır. (Scherocman, 1992a). Bazı poliolefinler, özellikle tekerlek izi oluşumuna karşı direnci artırmış olup, Bölüm 6'da kullanılan poliolefin (PE) tekerlek izi deneyinde en iyi sonuç veren ikinci katkı olmuştur. SMA karışımlarda, ayrıca atılmış taşıt lastikleri de kullanılabilir (Veizer, 1993).

4.2 SMA Karışımların Tasarımı

SMA serme kalınlığına ve istenilen yüzey dokusuna uygun ve büyük oranda kaba agregadan oluşan bir iskelete sahip olup, bünyesinde bulunan %70-%80 oranında kaba agregaya ve %6-%7 gibi yüksek bir bitüm yüzdesi ile diğer katkı türlerinden oldukça farklıdır. Kesik gradasyonlu yapısı nedeni ile agregaya iskeletinin uniform yapısından dolayı, agregalar arasında nispeten büyük boşluklar oluşmakta ve bu boşluklar, bağlayıcı malzeme açısından zengin mastik harç ile doldurulurken, aynı zamanda katkının boşluk oranının düşürülmesine özen gösterilmelidir.

SMA karışımlarda, katkının değişkenliklerinin (boşluk oranı, stabilite, katkı oranı vb.) belirlenmeden önce agreganın gradasyonunu saptamak gereklidir. SMA katkı gradasyonu, Almanya'da kullanılmaya başladığı yıl olan 1968'den beri sürekli değişikliğe uğramıştır. Bugün için halihazırda her ülke kendine özgü katkı gradasyonu kullanmaktadır.

4.2.1 Agregaya Gradasyonu

SMA tasarımının ilk adımı agregaya gradasyonunun saptanmasıdır. Agregaya gradasyonunda en belirleyici elek 4.75 mm (No.4) elektir. 2.36 mm (No.8) elek ile 75 µm (No.200) elekler de katkı gradasyonunun saptanmasında kullanılan önemli eleklerdir. En büyük agregaya boyutu

SMA'nın kalınlığına, istenen yüzey dokusuna ve trafik durumuna göre seçilir. Genel olarak 10-12 mm elekler, maksimum dane boyutu olarak kabul edilmektedir. Kaba agregayı belirleyen 4 no.lu elekten geçen agrega %27-%38, ince agrega için kullanılan elek olan No.8'den geçen kısım %18-%23 ve 200'den geçen kısım (mineral filler) için ise %8-%13 yaygın olarak kullanılan oranlardır. Burada 30-20-10 kuralı olarak yıllardan beri uygulanan bir yaklaşım olup, No.4 elekten geçen %30, No.8'den geçen %20 ve No.200'den geçen kısım ise %10 alınmaktadır (Scherocman 1993).

Dünyada kullanılan SMA karışımları için araştırma yapılmış, ancak fazla yer tutmaması için bazılarının agrega gradasyonları Çizelge 4.6'da verilmiştir (Heavy Duty, 1998). Bu Çizelge en büyük elek boyutuna göre hazırlanmış olup, maksimum elek boyutu 5 mm'den başlayıp, 20 mm'ye kadar çıkmaktadır. Amerika için verilen gradasyon değerleri FHWA'nın, Kanada için verilen gradasyon ise Ontario Ulaşım Bakanlığı'nın verdiği değerlerdir (Woodman vd., 1997).

Çizelge 4.6 nm Devamı

ELEK BOYUTU	ALMANYA				AMERİKA FHWA		HOLLANDA				İSVEÇ				İTALYA		NORVEÇ			DANİMARKA			KANADA
	0/11s	0/8s	0/8	0/5	0/19	0/11 Tip2	0/11 Tip1	0/8	0/6	0/22	0/16	0/11	0/8	0/15	0/10	0/16	0/11	0/16	0/11	0/16	0/11	0/8	
mm	No	20-25	20-	20-	30-	73-	70-	68-	63-	16-	16-	19-	20-	20-	30-	15-	20-	15-	18-	21-	20-30		
	2,00	10	25	30	40	83	80	78	73	29	29	30	30	30	36	30	32	25	30	35	15-25		
	1,00	18														12-	16-				15-25		
	0,60	30														24	27				12-20		
	0,5	35														11-	14-						
	0,43	40												10-	12-	21	24						
	0,30	50												17	20								
	0,18	80												9-15									
	0,15	100													10-							9-15	
	0,13	120													16								
	0,09	170	9-13	10-	8-13	8-13										9-15	10-						
	0,075	200															16						
	0,060	230																					
						6-10	7-11	8-	9,5-	8-13	8-13	8-13	8-13	8-13	8-13	8-13	9-14	8-13	9-14	4-15	4-18	4-21	7-12
								12	14														

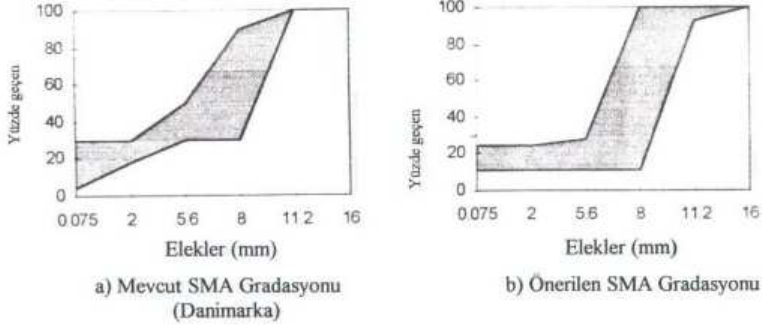
Türkiye KGM, SMA taslak şartnamesi ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 KGM taslak şartnamesi, SMA gradasyonu ve tolerans sınırları

Elek Boyu		SMA 12,5/0	SMA 9,5/0	Toleranslar
İnc	mm	Geçen %	Geçen %	%
¼"	19	100		
½"	12,5	90-100	100	+4
3/8"	9,5	50-75	90-100	+4
No.4	4,75	25-40	30-45	+3
No.10	2,00	20-30	20-30	+3
No.40	0,42	12-22	12-22	±3
No.80	0,177	9-17	9-17	±3
No.200	0,075	8-14	8-14	±2

Son yıllarda SMA karışımların gradasyonu için hazırlanan şartnamelerde, kaba agrega oranının gittikçe arttığı görülmektedir. Amerika'da, 1991 yılında yapılan uygulamalarda, No.4'den geçen kısım %40'lara kadar çıkarken, yapılan araştırmalardan sonra en iyi agrega kenetlenmesinin No.4'den geçen agrega yüzdesinin, %30'dan daha küçük değerlerde gerçekleştiğini göstermesinden sonra (Brown ve Mallick, 1994) FHWA (Federal Highway Association) No.4'den geçen yüzde değeri maksimum %28 olarak belirlenmiştir. Wohlk ve Nielsen (1996) ise, çok ağır taşıt trafiği altında hizmet verecek SMA karışımlar için 5,6 mm'den geçen malzemeyi %28 ile sınırlarken, filler miktarının %25'e kadar çıkmasını savunmaktadır. Şekil 4.1'de Wohlk ve Nielsen'in önerdiği gradasyona ait eğriler görülmektedir.

Ağır taşıt trafiğinin var olduğu yollarda, genel olarak 30-20-10 (No 4, No 8 ve No 200'den geçen yüzdelere) kuralına yakın gradasyonların, iyi bir SMA karışımının başlangıcı olacağı açıktır.



Şekil 4.1 Wohlk ve Nielsen'in mevcut önerilen yeni SMA gradasyonu (Wohlk ve Nielsen, 1996).

4.2.2 SMA Tasarım Yöntemleri

SMA karışımlar için kabul edilmiş bir tasarım yöntemi yoktur. Ancak çoğunlukla her ülkede yoğunluk, boşluk oranı ve VMA için Marshall yöntemi kullanılmaktadır. Günümüzde Türkiye, Amerika, Çek Cumhuriyeti ve Norveç'te Marshall yöntemi, SMA tasarımı için kabul edilmiştir. Bu ülkelere ait bazı şartname değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 SMA tasarımında Marshall yöntemini kullanan ülkelerin istediği özellikler

ÖZELLİKLER	KGM	Amerika FHWA	Çek Cumhuriyeti	Norveç
Stabilite, kg., min.	750	620	600	600
Akma, (mm)	2-4	2-4	-	1,5-4,0
Hava Boşlukları, (%)	2-4	3-4	3,0-4,5	2-5
Sıcak iklim bölgelerinde hava boşlukları, (%)	3-4			
Agregalar arası boşluk (VMA), min. (%)	16	17	-	-
Sıcak iklim bölgelerinde (VMA), min (%)	15,5			
Tekerlek izinde oturma * (30.000 devirde, 60 ° C'de), maksimum (%)	6	-	-	-
Fiber miktarı, %	0,3-1,5	0,3-0,4	-	-
Schellenberg bitüm süzülme deneyi, (%)	0,1-0,3	0,3	-	-

* Fransız NF P 98-2,53-1 deneyi ile tespit edilecektir.

SMA karışımların tasarımında, karışım özelliklerinin tasarım üzerinde etkisi aşağıda açıklanmaktadır.

VMA, Boşluk Oranı, Bitüm Yüzdesi Etkisi

SMA karışımların tasarımında en önemli iki bileşen, hava boşluğu ile agrega daneleri arası boşluktur (VMA). SMA da yeterli miktarda bağlayıcı ile filler karışımının oluşturacağı mastik harç için VMA değerinin belli bir yüzdenin altında kalmaması gereklidir. Bu minimum VMA değeri, ülkeden ülkeye değişmekte ancak %16 genel olarak kabul edilebilecek bir değer olarak görülmektedir.

Boşluk oranı %1,5'dan, %8'e kadar değişmektedir. Ancak Almanya gibi bazı ülkeler, tasarım için en önemli unsurun boşluk oranı olduğunu kabul etmişlerdir. Almanya'da, karışımın boşluk oranı %3-%4 arasında olacak şekilde hedeflenmekte daha sonra gradasyon ve bitüm yüzdesi saptanmaktadır.

Boşluk oranları için Çizelge 4.10'nun incelenmesinde de görüleceği üzere, en yaygın sınırlar %2-%4 arasındadır. SMA karışımlarda kullanılacak bitüm yüzdesi, özellikle agreganın cinsine ve gradasyona bağlı olacağı bir gerçektir. Kullanılacak katkı malzemesi bitüm miktarını değiştirecektir; örneğin elyafı karışımların, elyafın büyük özgül yüzey alanından dolayı, daha yüksek bitüme gereksinim duyacağı bilinmektedir. Kullanılacak bitüm yüzdesi konusunda, çoğu ülkeler %5,5-%7,5 arasında bir bitümün uygun olacağını kabul etmişlerdir.

Çizelge 4.9'da Avrupa ülkelerinin maksimum dane boyutuna göre belirledikleri bitüm yüzdeleri ve bitüm tipleri görülmektedir.

Çizelge 4.9 Bazı Avrupa ülkelerinin SMA için bitüm tipi ve yüzdesi şartname değerleri

ÜLKE	SMA NO (Maksimum Dane Boyutu)	BİTÜM TİPİ	BİTÜM YÜZDESİ
ÇEK CUM.	11	AC 65, PmB 45, PmB 65	6.5 - 7.0
	8	AC 65, PmB 45, PmB 65	6.8 - 7.2
DANİMARKA		AC 60 PmB	
FRANSA		Katkılı ve Katkısız	>5.6
ALMANYA	0/11 S	AC 65 (PmB 45)	>6.5
	0/8 S	AC 65 (PmB 45)	>7.0
	0/8	AC 80	>7.0
	0/5	AC 80 (AC 200)	>7.2
MACARISTAN	8	AC 50, AC 65, PmB-80A, PmB-80B	6.5-7.5
	12	AC 50, AC 65, PmB-80A, PmB-80B	6.0-7.5
İTALYA	10	PmB-50	5.5-7.0
	15	PmB-50	5.5-7.0
HOLLANDA	11	AC 80	7.0
	8		7.4
	6		8.0
NORVEÇ	ADT3000	AC 80 – AC 180	
	ADT5000	AC 60 – AC 85 PmB	
	ADT15000	AC 40 – AC 85 PmB	
PORTEKİZ		Sadece Modifiye Bağlayıcı	>5.0
İSVEÇ	22		5.5 - 7.2
	16	AC 85, AC 120, AC 180	5.5 - 7.2
	11	Yada Modifiye Bağlayıcı	5.7 - 7.4
	8		5.9 - 7.6
İNGİLTERE	14		6.5 - 7.5
	10		6.5 - 7.0

AC 50 : Bitümlü Bağlayıcı Tipi (50 pen).
PmB : Polimer Modifiye Bitümlü Bağlayıcı
ADT : Ortalama Günlük Trafik

Tabaka Kalınlığının Etkisi

SMA karışımların tasarımında tabaka kalınlıklarının da gözönüne almak gereklidir. Tabaka kalınlığı, maksimum agrega boyutunun yaklaşık 3 katı olmalıdır. SMA 0/6 mm için 20 mm, 0/16 mm için 50 mm tabaka kalınlığı önerilen kalınlıklardır (Heavy Duty Surfaces, 1998). Kalınlığı 20 mm olan çok ince tabakalar, özellikle yoğun ağır taşıt trafiğinin mevcut olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Bu tip tabakaların serme işlemi geleneksel serme araçları (finişer) ile yapıp sıkıştırılabilir. Çizelge 4.10'da Avrupa ülkeleri için en büyük dane boyutuna göre serilecek SMA karışım kalınlığı verilmiştir.

Çizelge 4.10 Bazı Avrupa ülkelerinin SMA için boşluk oranı ve tabaka kalınlığı şartname değerleri

ÜLKE	SMA D _{max}	BOŞLUK ORANI (%)	TABAKA KALINLIĞI (mm)
ÇEK CUM.	11		34 - 45
	8		30 - 40
DANİMARKA	8	<8	20 - 30
	11	<7	30 - 40
	16	<7	40 - 50
FRANSA		6 - 12	30 - 40
ALMANYA	11S	3 - 4	35 - 60
	8S	3 - 4	30 - 40
	8	2 - 4	20 - 40
	5	2 - 4	15 - 30
MACARİSTAN	8	2.5 - 4.5	25 - 30
	12	3.0 - 4.5	30 - 50
İTALYA	10	1 - 4	20 - 30
	15	1 - 4	40 - 50
HOLLANDA	11(2)	5.0	35
	11(1)	4.0	30 - 40
	8	4.0	20 - 30
	6	4.0	15 - 20
NORVEÇ	ADT<15000	1 - 5	
	ADT>15000	2 - 5	
PORTEKİZ	12.5	3 - 5	20 - 30
	9.5	3 - 6	15 - 20
İSVEÇ	22	2.0 - 4.2	48 - 88
	16	2.2 - 4.4	36 - 64
	11	2.7 - 4.9	24 - 44
	8	3.2 - 5.4	18 - 32

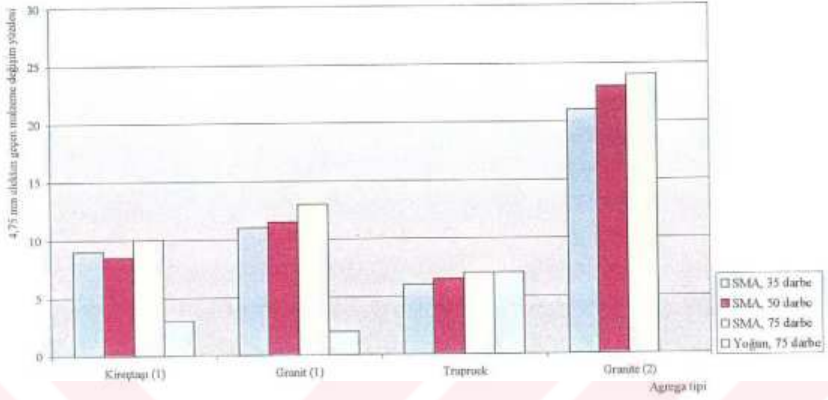
ADT : Ortalama günlük trafik

Stabilite Etkisi

SMA karışımlarda Çizelge 4.10 ve 4.11'de görüldüğü gibi, bir çok Avrupa ülkesi stabilite ve akma değeri için limit koymamışlardır. Marshall stabilitesi değeri, SMA karışımlar için sürekli tartışılan bir değer olup, yoğun gradasyonlu karışımlara göre Marshall stabilite değeri düşük çıkmaktadır. Amerika'da yaygın olarak kullanılan stabilite sınır değerleri, 12.000 N (1200 kg) ile 5000 N (500 kg) arasında değişmekte olup, SMA gradasyonunda son yıllarda kaba agrega oranının artmasından dolayı, istenen stabilite değerlerinde azalma görülmektedir. Çizelge 4.9'dan da görüleceği üzere, Amerikan FHWA, son olarak stabilitenin 620 kg olmasını önermiştir. Stabilite değerinin sonucuna göre, karışımın performansını değerlendirmek doğru bir yaklaşım olmayıp, ancak yine de çok düşük değerlerin (<400 kg) bulunması halinde, agrega kalitesi, gradasyon ve diğer parametreler gözden geçirilmelidir. Bu doktora tezi kapsamında yapılan çalışmalarda, stabilite 650~700 kg (50 darbede) şartname arasında çıkmıştır ve KGM taslak şartnamesinde istenen minimum 750 kg'lık gibi yüksek değere ulaşılmasının oldukça zor olacağı düşünülmektedir.

Darbe Sayısının Etkisi

Boşluk oranı, VMA, V_f gibi karışım tasarım özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan, Marshall briketlerinin hazırlanmasında uygulanan darbe sayısı çok önemlidir. Yoğun gradasyonlu karışımlar için, 75 darbe kullanımı yaygın iken, SMA karışımlarda 75 darbe, agregaların kırılmasına ve orijinal gradasyondan sapmalara neden olmaktadır (Brown vd., 1997). Brown vd. (1997) değişik cinsteki agregalar için, darbe adedinin karışım gradasyonuna etkisini araştırmış ve araştırma sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2 darbe adedinin 4.75 mm (No.4) elekten geçen kısım üzerinde etkisini göstermektedir. Çalışma, SMA karışımların yanında, ayrıca yoğun gradasyonlu bitümlü karışımlar içinde yapılmıştır. Şekiller incelendiğinde, 4.75 mm elekten geçen yüzde en çok 75 darbeden sonra değişmekte, bunu 50 darbede ve 30 darbedeki değişimler izlemektedir. Yoğun gradasyonlu karışımda, traprock taş dışında ciddi bir değişme gözlenmemiştir.



Şekil 4.2. SMA ve yoğun gradasyonlu karışımlarda Marshall sıkıştırma enerjisinin (darbe sayısının) 4.75 mm elekten geçen kısma etkisi (Brown,1997).

Sonuç olarak SMA karışımların, tasarım özelliklerini belirlemek için hazırlanan biriketleri sıkıştırmak için kullanılacak darbe sayısının 50 olması, agrega gradasyonunun değişmemesi açısından önemlidir.

Tekerlek İzi

SMA tipi karışımlar, özellikle tekerlek izi oluşumu ve kalıcı deformasyonları önlemek amacı ile geliştirilmişlerdir. Bu yüzden karışım tasarımında dikkat edilmesi gereken bir diğer parametre, karışımın tekerlek izi oluşumunun ölçümler sonucunda belli değerleri aşmamasıdır. Tekerlek izi oluşumunu ölçmek için, dünyada bir çok test cihazı geliştirilmiş olup, her test cihazının verdiği sonuç diğerlerinden farklıdır.

Tekerlek izini ölçen aletler pahalı olup, test işlemleri de oldukça zaman alıcı ve çok dikkatli olmayı gerektirir. Bu yüzden tekerlek izi oluşma miktarları için, çoğu ülke bir sınır değeri koymamıştır. Ancak kimi ülkeler SMA karışımları için olabilecek en büyük tekerlek izi değeri istemektedir. Örneğin, KGM taslak şartnamesinde, Fransa Köprüler ve Yollar Merkez Laboratuvarının (LCPC) geliştirdiği tekerlek izi ölçüm cihazından bulunan tekerlek izinde oturma değeri, 30.000 devirde maksimum %6 olarak verilmektedir. Bu değer, Macaristan

tarafından %15 olarak saptanırken, Fransızlar 10.000 devirde max. %15'lik bir oturmaya izin vermektedirler.

4.3 SMA Karışımların Performansları

Stone Mastik Asfalt Karışımların, kalıcı deformasyonlara karşı gösterdikleri üstün mukavemetin yanında, yolulma çatlakları ve oksidasyon gibi diğer işlevsel (fonksiyonel) karşı da yeterince dirençli olmaları beklenir. Diğer bir ifade ile SMA karışımlar, deformasyonlara karşı stabil, diğer etkilere karşı ise durabil olmalıdırlar. Gerçekte SMA karışımların, deformasyonlara karşı dirençli yapısının yanında, soyulma, yüzey çatlakları (ısı ve trafik etkisi ile oluşan) ondülasyon ve toplanma gibi bozulma mekanizmalarından etkilenmediği ortaya çıkmıştır.

Bütün bu özelliklerinden dolayı SMA karışımların, diğer karışım tiplerine göre daha uzun ömürlü oldukları, Almanya'da yaklaşık 20 yıldır hemen hemen hiç bakım gerektirmeden hizmet veren yollarda yapılan incelemelerden ortaya çıkmaktadır. SMA karışımların, yüksek bitüm yüzdesi, ilave filler gereksinimi ve yüksek sıcaklıkta üretim gibi nedenlerden dolayı, maliyetlerindeki bir miktar artış uzun hizmet ömründen dolayı tolere edilebilmektedir. Çizelge 4.11'de SMA ile birlikte gussasphalt ve geleneksel asfalt betonu, ömür ve maliyet açısından karşılaştırılması görülmektedir (Nunn, 1994). Maliyet analizinde, asfalt betonunun maliyeti baz alınarak karşılaştırılma yapılmıştır. Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi, SMA karışımların maliyeti, normal bitümlü karışıma göre %20 kadar pahalı olmasına karşın, 3 yıl daha fazla hizmet vermektedir.

Çizelge 4.11 SMA ve diğer karışımların hizmet ömürleri ve maliyetleri (Nunn, 1994).

Karışım	Hizmet Ömrü (Yıl)	Karşılaştırmalı Maliyet
Gussasphalt bold		
Standart	12-18	%200
Polimer Modifiyeli	12-18	%220
SMA		
Standart (Selülozik Elyafı)	10-15	%120
Polimer Modifiyeli	10-15	%130
Asfalt Betonu	8-12	%100

SMA karışımların performansları konusunda, gerek Avrupa ve Amerika'da gerekse Türkiye'de çalışmalar yapılmış olup, bu çalışmalar ile ilgili özet bilgiler aşağıda sunulmuştur.

4.3.1 Kalıcı Deformasyonlara (Tekerlek İzi Oluşumuna) Karşı Direnç

SMA karışımların, tekerlek izine karşı gösterdikleri dirençler, hem yolda yapılan gözlemler hem de laboratuvarda yapılan deneyler ile araştırılmıştır. Türkiye'de, SMA karışımlar ile geleneksel asfalt betonu için Fransız tekerlek izi cihazı kullanılarak yapılan test sonuçlarında, SMA karışımların, çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Örneğin, normal asfalt betonu sadece 3000 devirde %14 gibi çok yüksek bir oturma virirken, SMA karışımlar ise 30000 devirde en çok %6,56'lık bir oturma değeri vermiştir (Önal vd. 1986).

Kullanılan bağlayıcının özelliği de tekerlek izi oluşumunu etkilemektedir. Penetrasyonu düşük bitümleri kullanmanın, kalıcı deformasyonu yani tekerlek izini azalttığı, bu tez çalışmasında yapılan deneyler ile gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında 60/70 penetrasyon asfalt kullanarak hazırlanan SMA karışımlar ile, 75/100 penetrasyon asfalt kullanılarak üretilen SMA karışımlar, Fransız Tekerlek İzi Test cihazında test edilerek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada katkı olarak poliolefin ve bitümlü elyaf kullanılırken, ayrıca katkısız karışım da hazırlanmıştır. Tekerlek izi deneyi sonunda, 60/70 bitüm içeren karışımlar daha az oturma

değerleri vererek tekerlek izine daha dirençli olduklarını göstermişlerdir. Çizelge 4.12.'de ilgili deney sonuçları verilmiştir.

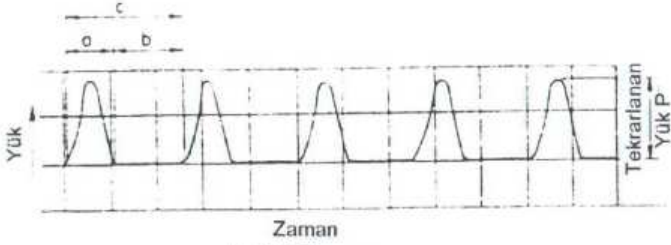
Çizelge 4.12 Farklı penetrasyonlu bitümler ile hazırlanan SMA karışımların tekerlek izi oturma deney sonuçları

Tekerlek İzi Devir Sayısı	Tekerlek İzinde Oturma %					
	Katkılı					
	Katkısız		Poliiolefin		Bitümlü Elyaf	
	AC 60/70	AC 75/100	AC 60/70	AC 75/100	AC 60/70	AC 75/100
30	okunmadı	2.2	okunmadı	1.4	okunmadı	4.6
100	okunmadı	2.9	okunmadı	2.0	okunmadı	5.7
300	okunmadı	3.8	okunmadı	2.4	okunmadı	6.5
1.000	3.15	5.0	1.98	2.8	2.85	7.4
3.000	4.25	6.2	2.27	3.2	3.72	8.4
10.000	6.82	9.9	2.65	3.8	5.18	9.7
30.000	9.14	14.0	3.24	4.2	6.77	10.7

4.3.2 Elastisite Modülü Değerleri

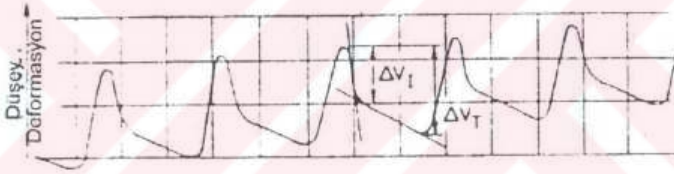
Karışımların, sıcaklık değişimleri karşısında davranışını belirleyen deneylerin başında, elastisite modül ölçümleri gelir. Elastisite modülü değerleri, malzemelerin relatif kalitesini değerlendirmenin yanında, kaplama tasarımı, karşılaştırma ve genel analizler için veri oluştururlar. Elastisite modül hesaplamalarında, ASTM 4123-82 standardı kullanılmaktadır.

Yapılan deneylerde, numunelere yanal sinüzoidal (haversin) bir formda, basınç yükü uygulanması yapılmakta ve yük silindirik asfalt numunesi üzerine düşey olarak uygulanmaktadır. Şekil 4.3'de verilen süre-yük eğrisine uygun olarak yapılan deney sonucunda, numunenin yatay deformasyonu ölçülmekte ve bir poisson oranı kabul edilerek, numunenin resilient elastisite modülü hesap edilmektedir (NCHRP Report 338, 1991).

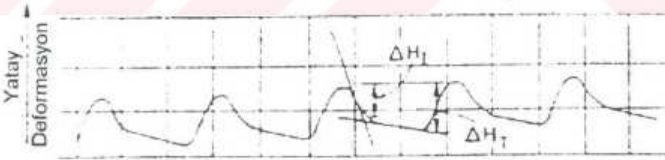


(a) Yük-Zaman

- a = Yüklü Süre
 b = Yüksüz Süre
 c = Tekrar Süresi (Periyot)



(b) Düşey deformasyon - Süre ilişkisi



(c) Yatay deformasyon - Süre ilişkisi

Şekil 4.3 Yükün uygulanma ve deformasyon şekli (NCHRP Report 338, 1991)

SMA karışımların elastisite modüllerini belirlemek için yapılan çalışmalarda bulunan sonuçlar kullanılan katkı malzemesi, agrega gradasyonu ve agrega cinsine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, Ali vd. (1994)'nin yaptıkları ve SMA karışımlar ile geleneksel asfalt betonu (HMA) karışımların karşılaştırıldığı çalışmada, elastisite modül için iki değişik yük frekansı kullanılmıştır. 1 Hz ve 0.33 Hz olarak seçilen frekanslarda, testler 0-20 ve 40 °C olarak uygulanmış ve bulunan sonuçlar, Çizelge 4.13 ve 4.14'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.13 Stone mastik asfalt ve asfalt betonu elastisite modül değerleri karşılaştırılması (Frekans 1 Hz) (Ali vd., 1994)

Karışım Tipi*	Ortalama Elastisite Modülleri (Mpa)		
	Sıcaklık °C		
	0	20	40
HMA1	13,000	1500	650
HMA2	13,500	1600	625
SMA1	13,600	2250	1000
SMA2	13,800	2300	1350

Çizelge 4.14 Stone mastik asfalt ve asfalt betonu elastisite modül değerleri karşılaştırılması (Frekans 0,33 Hz) (Ali vd., 1994)

Karışım Tipi*	Ortalama Elastisite Modülleri (Mpa)		
	Sıcaklık °C		
	0	20	40
HMA1	7,000	890	360
HMA2	7,500	1010	460
SMA1	7,000	1400	920
SMA2	7,700	1500	1080

* HMA1, HMA2 farklı iki gradasyonda geleneksel asfalt betonunu,

* SMA1, SMA2 ise farklı SMA karışımlarını temsil etmektedir.

Tablolardan da görüleceği gibi 0 °C'de SMA ve HMA karışımları arasında elastisite modülü açısından bir fark yok iken, 20 °C ve 40 °C'de SMA karışımların elastisite modülleri daha yüksek çıkmıştır. Ancak bu durum, tüm benzer araştırmalar tarafından doğrulanmamış olup, bir çok araştırma SMA elastisite modülü değerlerinin HMA'lar ile aynı hatta biraz düşük olduğunu göstermektedir. Örneğin Brown ve Manglorkar (1993), 25 °C ve 40 °C geleneksel yoğun gradasyonlara (HMA) göre, SMA'ların daha düşük elastisite modülüne sahip olduklarını ortaya koymuştur.

Mogawer ve Stuart (1994) ise; Dmax 9,5 mm ve 12,5 mm'lik SMA ve HMA karışımları incelemiş ve Dmax 9,5 mm karışımlarda, SMA'yı elastisite modül değerleri açısından %5-10 kadar düşük bulurken, Dmax 12,5 mm'de bu fark %30-40'lara kadar çıkmıştır (Çizelge 4.15). Deneylerde katkı olarak bir selülozik elyaf olan Arbocel kullanılmıştır.

Çizelge 4.15 Elastisite modülleri (Mogawer ve Stuart, 1994)

Sıcaklık		SMA 0/9,5		SMA 0/12,5	
°C	(°F)	D 9,5	Arbocel	D 0/12,5	Arbocel
-32	(-25.6)	45 640	43 208	51 450	43 580
-24	(-11.2)	43 550	42 670	45 470	36 300
-16	(3.2)	38 850	36 230	43 420	32 710
-8	(17.6)	34 040	30 830	36 690	26 940
0	(32.0)	17 670	16 030	21 620	15 420
5	(41.0)	12 300	10 610	14 390	9 870
16	(60.8)	4 160	3 890	4 900	3 310
25	(77.0)	1 480	1 410	1 870	1 240
32	(89.6)	650	660	860	550
40	(104.0)	340	320	430	260

1 pf / in² = 145.03 Mpa.

Bu doktora tezi çalışmasında ise kullanılan katkı maddelerinin cinsine göre elastisite modül değerlerinin değiştiği saptanmış olup, 25 °C ve 40 °C'de en iyi sonuçları, SBS'li SMA'nın verdiği görülmüştür.

5 °C'de ise, katkısız karışım çok yüksek elastisite modülü verirken, (Şekil 4.4) diğer katkı malzemelerinin sonuçları birbirine yakındır. Bu deneylere ait sonuçlar, Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da görülmektedir. Burada;

NR, katkısız karışımlar

AP, amorf polialfaolefin

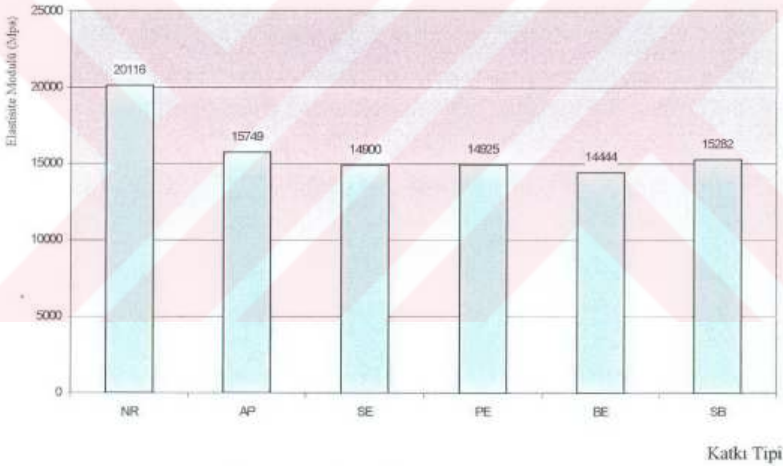
SE, selülozik elyaf

BE, bitümlü selülozik elyaf

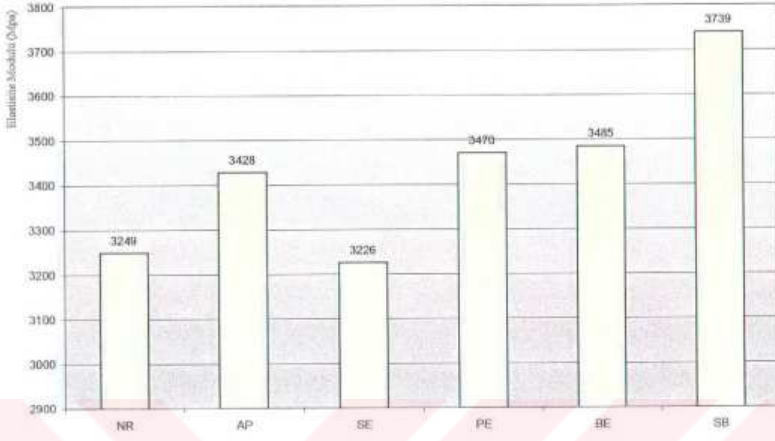
PE, poliolefin

SB, Kopolimer, stiren - butadiyen – stiren, SBS.

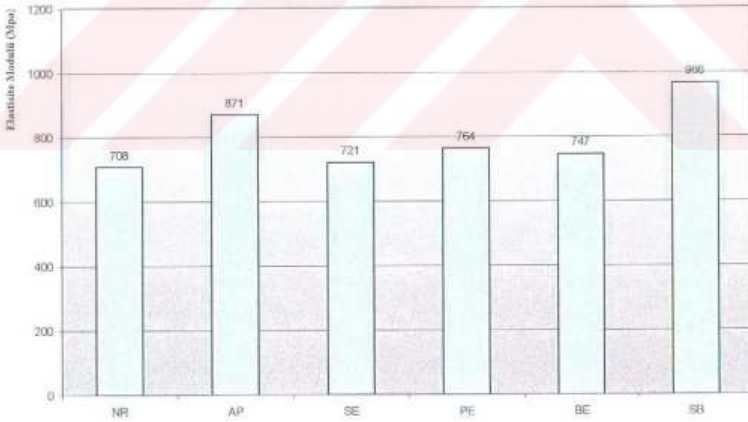
katkı malzemeli SMA karışımlarını göstermektedir.



Şekil 4.4 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 5 °C)



Şekil 4.5 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 25 °C)



Şekil 4.6 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 40 °C)

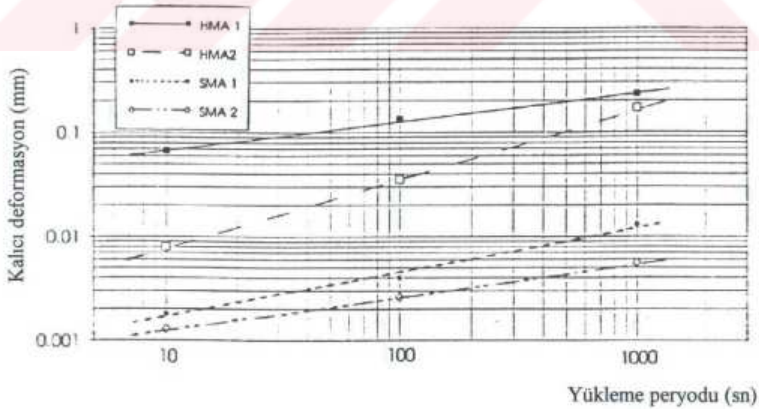
Genel olarak, SMA karışımların elastisite modülleri, kullanılan katkılarına göre değişmekle birlikte, yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha düşüktür. Ancak bu düşük elastisite modülleri kritik düzeyde değildir (bkz. Şekil 7.16).

4.3.3 Sünme Deformasyonu Özellikleri

Sünme deneyleri, bitümlü karışımların kalıcı deformasyonlara karşı performansını ölçmek için kullanılır. Sünme deneylerinde, numune yatay biçimde tekrarlı veya sabit yük etkisinde bırakılır, oluşan düşey deformasyonlar ölçülerek, bilgisayara kaydedilir.

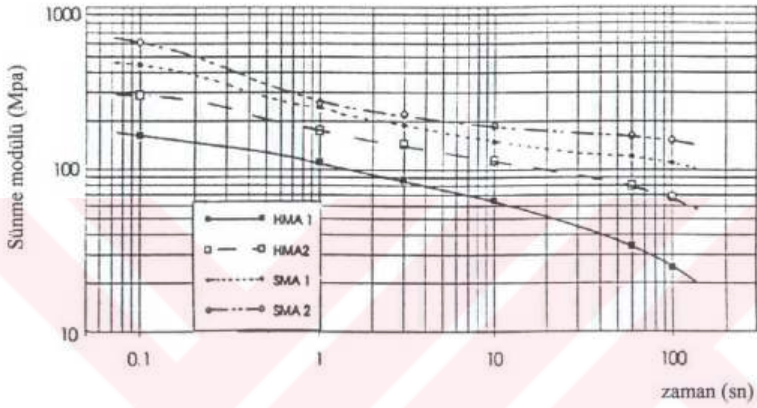
Özellikle yüksek sıcaklıklarda, kalıcı deformasyonlara karşı performansı yüksek olan SMA tipi karışımların, sünme deformasyonları daha düşük çıkmakta ve daha yüksek rijitlik modülleri elde edilmektedir.

Ali vd.(1994)'nin yaptıkları laboratuvar çalışmasında, kalıcı deformasyon ve sünme modülü açısından SMA'ların, HMA karışımlara göre daha iyi (az deformasyon, yüksek modül) sonuçlar verdikleri görülmüştür. Şekil 4.7'de, 40 °C'de bulunan kalıcı deformasyon eğrileri, Şekil 4.8'de ise sünme modülleri gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği gibi SMA karışımlar, düşük deformasyon ve yüksek sünme modülüne sahiptir.



Şekil 4.7 40 °C'de bulunan kalıcı deformasyon eğrileri (Ali vd., 1994).

Şekillerde, HMA1 ve HMA2 farklı iki gradasyonlu geleneksel asfalt betonunu göstermekte, SMA1 ve SMA2 farklı iki gradasyondaki Stone Mastik Asfalt karışımlarını temsil etmektedir.



Şekil 4.8 40 °C'de sünme modülü değerleri (Ali vd., 1994).

5. SMA KARIŞIMLARIN ÜRETİMİ, UYGULANMASI VE YÜZEY ÖZELLİKLERİ

Stone Mastik Asfalt kaplamalar; tasarımıdan, yola uygulanmasına kadar, her aşamada azami dikkat gerektiren bir karışım türüdür. Karışımın üretimi, nakli, serme ve sıkıştırmasında gösterilen özen ve kalite kontrolü, SMA kaplamaların performansı ile doğrudan ilgilidir.

5.1 SMA Karışımların Üretimi, Serme ve Sıkıştırılması

Bitümlü sıcak karışımlar gibi SMA karışımlarda üretim, plantlerde yapılmakta ve serme işlemleri finişerler ile gerçekleştirilmektedir. Burada SMA karışımların üretimleri ile yola uygulamalarında önemli görülen bazı bilgiler verilecektir.

5.1.1 Üretim

SMA karışımların istenen kalitede ve hassasiyette üretimi, karışımın iyi performansı için ilk aşamadır. SMA karışımlar, harman (batch) tip ve sürekli tip (drum-mix) karıştırıcılarda üretilebilir. Elyaf ve diğer katkı malzemeleri ile filler ilavesinden dolayı, hassas tartılabilen harman tipi plantlerin kullanımı daha uygundur.

Asfalt betonu karışım sıcaklığı olarak genelde Amerika'da, Avrupa'da uygulanan karışım sıcaklığından daha düşük sıcaklıklar kullanılmaktadır. Aynı durum, SMA karışımlar içinde geçerli olup, polimer viskoziteyle yüksek katkılı SMA'larda 150 °C, elyafli SMA'larda 165 °C yeterli bir karıştırma sıcaklığı olarak kabul edilir (Scherocman, 1992b). Karışım sıcaklığının kontrolü sürekli yapılmalıdır. Ani sıcaklık artışlarında, agregaya yüzeyinden elyafın akması kaçınılmaz olur. Agregalar, plantte kurutucu (dryer) veya tambur içinde iken üretimin durdurulması halinde, üretime yeniden başlandığında karışımın ısısında ciddi artışlar meydana gelmektedir. Geleneksel asfalt betonunda bu artış çok önemli olmayabilir, ancak yüksek bitüm içeren SMA kaplamalarda bu durum bitümün agregadan ayrılmasına ve süzülmesine neden olabilir. Bu yüzden yolda serim hızı, plantte üretimi aksatmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Ani ısı yükselmelerinde bitümün, agregadan süzülmesi ve elyafın işlevini görmemesinden dolayı yolda, bitüm kusmasına ve benzer bölgelerin ortaya çıkmasına neden olacaktır (Scherocman, 1992b).

SMA'ların karıştırma süresi, geleneksel asfalt betonlara oranla, katkı malzemelerinin daha iyi karışması için 10-15 saniye daha uzundur.

SMA karışımlarda, mineral filler ilavesi, üretimde en önemli sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Harman tipi plantlerde, mineral filler ayrıca tartularak, agregaya ile beraber miksera gönderildiği için, sürekli tip plantlere göre filler ilavesi daha kontrollü ve hassastır. Genelde agregalardan gelen filler, gereksinimi karşılamadığı için, dışarıdan filler ilavesi gerekmekte olup, bunun için filler silosu ve hassas tartı sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

SMA karışımlarda katkı malzemelerinin doğrudan karışıma ilavesi de ayrıca önemli bir işlemdir. Katkı malzemelerini karışıma ilave etmek için, plantlerde hava veya ağırlık sistemine göre çalışan düzeneklerin olması gerekmektedir.

5.1.2 Serme ve Sıkıştırma

SMA tipi karışımların serme ve sıkıştırılması geleneksel bitümlü karışımlar ile aynıdır.

Serme kalınlığı, SMA karışımlarının maksimum boyutu ile ilgili olup, genel olarak 2 ~ 7 cm arasında bir serme kalınlığı uygulanır. Çizelge 5.1'de örnek olarak Almanya'da uygulanan serme kalınlıkları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1 Almanya'da kullanılan
SMA kaplamalar için tabaka kalınlıkları

Kaplama Tipi	Kalınlık
Asfalt Betonu 0/8 Stone Mastik Asfalt 0/8	3,0 ~ 4,0 cm 2,0 ~ 4,0 cm
Asfalt Betonu 0/11 Stone Mastik Asfalt 0/11	4,0 ~ 5,0 cm 3,0 ~ 6,0 cm

SMA karışımların sıkıştırılmasında demir bandajlı silindirler kullanılmaktadır. Lastik tekerlekli silindirler, polimer modifiye bitümlü karışımlarda lastik yüzeye yapıştığı için

toplanmalara neden olmaktadır. SMA karışımlarda vibrasyon kullanılması tartışmalı bir konudur. Vibratör kullanılmadığı durumlarda yetersiz sıkıştırma problemi doğarken, kullanıldığında agrega kırılma riski ortaya çıkmaktadır. FHWA taslak şartnamesi, ilk geçiş sıkıştırmasından sonra sadece belirli bir süre vibratör çalıştırılabilmesine izin vermektedir. Silindirlerde vibrasyon kullanılırken, yüksek frekans ve düşük genlik modu uygulandığında agregaların kırılma riskinin çok azaldığı, bir çok SMA uygulamasından saptanmıştır. Vibrasyonlu modda, statik sıkıştırmaya göre daha iyi bir sıkıştırma elde edilmektedir (Scherocman, 1993).

Sıkıştırmada kullanılacak silindir ağırlığı 6 ton'dan, 12 ton'a kadar değişebilir. İnce serilen SMA kaplamalar için Nicholls (1998), 6 tonluk tandem silindir in en az iki geçişini önerirken, KGM taslak şartnamesi, minimum ağırlığı 10 ton olan en az iki adet demir bandajlı silindir istemektedir. Diğer bazı uygulamalarda ağırlığı 8-10 ton (Nunn, 1994) veya 10-12 ton (Kennepohl ve Davidson 1992) ağırlığında silindirler de kullanılmıştır.

SMA karışımlar genel olarak katkı malzemeleri kullanılarak üretildiği için, serim yerinde çabuk soğurlar, bu yüzden sıcaklıkları düşmeden hızlı bir şekilde sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırmaya başlamadan önce, karışım sericiye verildiği anda minimum sıcaklığı KGM SMA taslak şartnamesi 145 °C olarak verirken, Nunn (1995) sericiye verilecek minimum sıcaklığı 140 °C olarak belirlemekte ve 150 °C'nin hedeflenmesini önermektedir. Silindirleme bitirildiği anda kaplama sıcaklığı en az 80 °C olmasını öngören şartnamelerin yanısıra (Nicholls, 1998), KGM taslak şartnamesinde bu değer 115 °C olarak verilmiştir. Ayrıca İngiliz şartnamesinde serim için minimum hava sıcaklığı 5 °C iken, KGM şartnamesinde ise 10 °C'dir.

SMA karışımlar, asfalt betonu karışımlara göre daha yoğun oldukları için, sıkıştırılmadan önce ve sıkışmış haldeki kalınlıkları arasındaki fark çok fazla olmayıp, SMA karışımlarda sıkıştırıldıktan sonraki kalınlık farkı yoğun gradasyonlu karışımların ancak yarısı kadardır.

SMA karışımların, serme ve sıkıştırılmasında karşılaşılan güçlükler, aşağıda özetlenmiştir (Nicholls, 1998).

- SMA'nın kaba agregalı yapısı derz kesimini zorlaştırmakta ve derzler tam kapanmamaktadır.

- Son silindireleme öncesi malzemenin yetersiz olduğu bölgelere ilave SMA karışım atılması ve yayılması durumunda, segregasyon ortaya çıkmakta ve yüzeyde malzeme sürüklenmesi gözlenmektedir.
- Karışımın elle serimi ve düzeltilmesi zorluk çıkarmaktadır.
- Hızlı soğumasından dolayı, yetersiz sıkışma söz konusu olmaktadır.
- Aşırı silindiremeden (zengin bitümden) dolayı, yüzeyde asfalt yoğunlaşması ve kusmalar oluşmaktadır.
- Lastiklere yapışmasından dolayı, modifiye bitüm kullanılması halinde lastik tekerlekli silindirler kullanılmamalıdır.

SMA karışımlarda, arazide gerekli sıkışma oranı için istenen min. oran, ülkeden ülkeye değişmektedir. Örneğin Türkiye (KGM), Çek Cumhuriyeti ve Danimarka minimum % 97 oranında sıkışma isterken, Norveç ve Hollanda %98'lik bir sıkışma oranını öngörmektedir (Heavy Duty, 1998). SMA teknik komitesinin, FHWA'ya hazırladığı raporda, teorik birim hacim ağırlığının %94'üne kadar bir sıkışmaya izin verilmektedir.

Genelde şartnameler, yoldaki karışımların %6-12 gibi yüksek boşluk içermesine izin verirler. Bu istenen boşluk oranları, ülkeden ülkeye değişmekte olup, iklim koşulları ve izin verilen dingil yükleri, bu oranların belirlenmesinde etkili olmaktadır. Soğuk ve yağışlı iklimlerde daha düşük, kurak ve sıcak iklimlerde ise daha fazla boşluk oranı tercih edilmekte ve daha az bitüm kullanılmaktadır. %1'den, %12'ye kadar kabul edilebilen boşluk oranları vardır. Genellikle serimden sonra %6-8 oranında bir boşluk normal olarak kabul edilir (Heavy Duty, 1998). Nitekim KGM taslak şartnamesinde bu oran maksimum %6 olarak alınmıştır.

5.2 SMA Karışımların Yüzey Özellikleri

SMA karışımlar, daha önceki bölümlerde anlatılan avantajları yanında, yüzeysel performansı açısından da çok iyi özelliklere sahiptir.

Yüzey özellikleri açısından;

- Yüksek sürtünme,
- Tekerlek izine karşı direnç,
- Azaltılmış gürültü düzeyi,

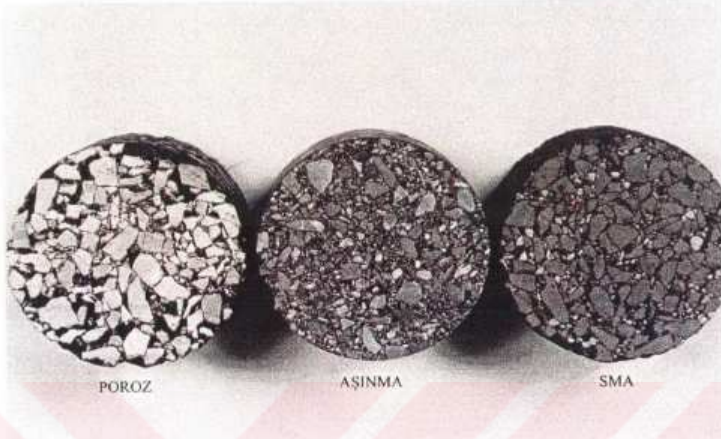
- Yağışlı havalarda arttırılmış görünürlük düzeyi,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık

gibi üstünlükleri, SMA kaplamaların tercih edilmesinde önem teşkil etmektedir.

SMA'ların genel olarak geleneksel asfalt karışımlara (HMA) üstünlükleri, aşağıdaki gibi verilebilir (Woodman ve vd., 1997). Bu karşılaştırma Kanada'da yapılan SMA kaplamaların incelenmesi ile elde edilmiştir.

Özellik	SMA'ların, HMA'lara göre durumu
Kesme mukavemeti	Çok daha iyi
Aşınmaya karşı direnç	Çok daha iyi
Dayanıklılık (durabilite)	Çok daha iyi
Yük dağılımı	daha az uniform
Kaymaya karşı direnç	daha iyi
Su sıçratması	Eşit / daha iyi
Işık yansımaları	daha az
Gürültü düzeyi	Eşit / daha iyi

Yapısında bulunan büyük oranda kaba agregadan ve kesikli gradasyondan dolayı SMA kaplamaların yüzey özellikleri, sıcak asfalt kaplamalara ve geçirimli (poroz) asfaltlara göre farklıdır. Şekil 5.1'de, bu tez çalışmasında, laboratuvarında hazırlanan SMA biriketleri ile geleneksel asfalt betonu ve geçirimli asfalt karışımlara ait briketlerin resimleri görülmektedir.



Şekil 5.1 Laboratuvarda hazırlanan SMA briketleri ile geleneksel asfalt betonu ve geçirimli asfalt karışımlara ait briketlerin kesitleri

5.2.1 Kayma Direnci

SMA karışımların kayma dirençleri, tasarım kriterlerine bağlı olarak değişik seviyelerde elde edilebilir.

Kayma direnci, başlıca iki ana faktöre bağlıdır;

- agrega tipi,
- yüzey dokusunun tasarımı.

Agregaların cilalanma değerinin yüksek olması, uzun süreli kayma direnci sağlar. Aynı agrega cinsi kullanılarak yapılan değişik çalışmalarda, SMA'nın geleneksel asfalt kaplamalara göre eşit ya da daha yüksek performans gösterdiği saptanmıştır.

Tekerlek ile yol yüzeyindeki su dağılımı ve tekerlek dişlerinin yol yüzeyindeki boşluklara girmesi açısından yüzey dokusu çok önemlidir. Büyük boyutlu (0/14, 0/16) agregalar ile yapılan SMA karışımları, kum yüksekliği deneyinde 1,5-2,0 mm derinlikte yapı oluştururken,

daha küçük boyutlu agregalar ile yapılan karışımlarda ise yüzey derinliği daha az olur. Bir çok ülkede, yüksek ve düşük hızdaki trafik için uygulanan yüzey dokusu kriterlerine göre, tasarım yapmak mümkündür. Tasarım yapılırken, boşlukların tamamen asfalt harcı ile dolmaması gerekmektedir (Heavy Duty, 1998). SMA karışımlar, yeni trafiğe açıldıklarında yüzeyde bulunan kalın bitüm tabakasından dolayı, kayma dirençlerinin beklenenden az olacağı kaygısını uyandırmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar, bu durumun çok büyük sorun olmadığını ve bir müddet sonra, SMA karışımların oldukça yüksek bir kayma direncine sahip olduklarını göstermiştir.

Bazı uygulamalarda, özel kesimlerde çok yüksek kayma direnci sağlamak için SMA karışımlar üzerine ince agrega serilebilmektedir (Verberbach, 1997).

Kayma direnci için İngiltere’de yapılan SMA karışımı yollarda, SCRIM (Sideways Coefficient Routine Investigation Machine, Yanal Sürtünme Katsayısı Ölçüm Cihazı) ile bulunan ölçüm sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 SCRIM ile ölçüm sonuçları (Nicholls, 1998).

Dane çapına göre SMA tipi	Ölçüm yeri	SCRIM katsayısı
0/6 mm SMA	1	0,61
	2	0,59
	3	0,62
	ortalama	0,61
0/10 mm SMA	1	0,63
	2	0,66
	3	0,64
	ortalama	0,64
0/14 mm SMA	1	0,61
	2	0,62
	3	0,63
	ortalama	0,62

Yeni serilen SMA karışımlarda bulunan SCRIM değerleri, şartnamenin verdiği minimum değerlerin üzerindedir. Bu değerler, SMA karışımlar için 0,62 civarında iken, İngiltere’de boşluklu karışımlar için 0,49 – 0,58 arasında bulunmuştur ve buna göre, SMA karışımlar daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kum yama yöntemi ile yapılan yüzey doku derinliği ölçümleri ise, Çizelge 5.3’te verilmiştir. Yeni serilen yollarda, İngiltere’de istenen minimum değer 1,5 mm olduğu için bu şartı sadece 14 mm maksimum agrega boyutlu SMA sağlamaktadır. Sorfass (1992), 2 ay sonra yüzeyde 0,1 mm iyileşme olduğunu ve zamanla yüzeyin istenen düzeye geldiğini savunmaktadır (Nunn, 1994). İngiltere’de son yıllarda yapılan yüzey ölçümlerinde, genel olarak SMA yüzey dokusunun, sıcak silindirlenen asfalt (Hot Rolled Asphalt, HRA) kaplamalara göre, kaymaya karşı daha dirençli olduğu bulunmuştur (Nicholls, 1998).

Çizelge 5.3 Yüzey Dokusu Ölçüm Sonuçları (Nunn, 1994)

Test Yöntemi	Yüzey Doku Derinliği		
	0/14 SMA	0/10 SMA	0/6 SMA
Kum Yama Testi	1,65 mm	1,27 mm	0,50 mm
Test Adedi	12	18	6
Standart Sapma	0,23	0,12	0,06
Mini-Texture Metre	1,17	0,91	0,51

KGM Taslak Şartnamesi ise, Kum Yama Yöntemi (Sand Patch Method) ile ölçülen doku derinliği, SMA 12,5/0 için 1,0 mm’den fazla ve SMA 9,5/0 için ise 0,8 mm’den fazla olma şartını getirmiştir.

5.2.2 Gürültü

SMA'larda gürültü düzeyi, ülkelerin hazırladıkları tasarım kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Çizelge 5.4'te ülkelerin, SMA karışımlarda yaptıkları gürültü ölçümleri ile bu değerlerin geleneksel bitümlü karışımlar ile karşılaştırılması görülmektedir. Çizelgede (+) değerler gürültüdeki artmayı, (-) değerler ise gürültüdeki azalmayı göstermektedir.

Çizelge 5.4 Diğer karışım tiplerine göre SMA karışımlarda gürültü seviyesi
(Heavy Duty, 1998)

Ülke	SMA Tipi	Gürültüde Azalma dB(A)	Karşılaştırılan Karışım
Almanya ^a V= 50 km/h	0/5, 0/8	-2,0~+2,0 ^b	Asfalt Beton 0/11
İtalya V= 110 km/h	0/15	-5,0~-7,0	Asfalt Beton 0/15
Hollanda V= 60-100 km/h	0/6	-1,4~-1,6	Asfalt Beton 0/16
	0/8	-0,2~-0,6	
	0/11	-0,0~+2,0 ^b -0,8~+0,5 -1,0~+3,0 ^b	
İngiltere V= 70-90 km/h	0/6	-5,3~-5,2	Sıcak silindirlenmiş Asfalt (HRA)
	0/10	-3,5~-3,2	
	0/14	+2,7	

(a) Hesaplanan değer

(b) Yüzeğe ayrıca 2 mm'den büyük agrega uygulandıktan sonraki ölçüm.

Tablodan da görüldüğü gibi, SMA kaplamalarda bulunan gürültü düzeyi diğer kaplamalara göre genel olarak daha azdır. Özellikle SMA gibi aynı doku özelliğine sahip HRA, pürüzlü beton gibi kaplamalara kıyasla, SMA karışımlar daha az gürültü üretirler. Yine araştırmalarda, diğer karışımlarda olduğu gibi, SMA karışımlarda da dane boyutu küçüldükçe gürültünün azaldığı ortaya çıkmıştır.

Nunn (1994), İngiltere’de SMA uygulanan yollarda yapılan ölçümlerde, HRA’ya göre 6 mm SMA’nın 5,3 dB(A), 14 mm SMA’nın ise 2,7 dB(A) daha az gürültü ürettiğini gösterirken (Çizelge 5.5), Nicholls (1998) ise ince serilen kaplamalara göre, SMA’nın 1 - 6 dB arasında daha az gürültü yaydığını saptamıştır (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.5 İngiltere’de SMA kaplamaların, HRA kaplamalara oranla gürültü miktarları (Nunn, 1994)

Yüzey Tipi	Gürültü Düzeyi dB (A)	
	70 km/h	90 km/h
6 mm SMA	70,6	74,5
10 mm SMA	72,4	76,5
14 mm SMA	73,2	77,0
HRA (Hot Rolled Asphalt)		
Ortalama	75,9	79,7
Değişim	75,0-76,9	78,9-80,7

Çizelge 5.6 İnce kaplamalar ile SMA’nın gürültü yönünden karşılaştırılması (Nicholls, 1998)

Kaplama Tipi	Hafif Taşıt dB (A)	Ağır Taşıt dB (A)
14 mm Stone Mastic Asphalt	77,4	84,2
10 mm UL-M	78,3	84,7
14 mm Safepave	79,9	85,4
10 mm Safepave	80,9	86,3
Surphalt	82,0	-
Rolled Asphalt	82,1	87,3
Pürüzlü Beton	82,9	87,9

5.2.3 Görünebilme ve Su Sıçramaları

Makro doku yapısı yüksek SMA'lar, kaplama içinde, yüzeydekenden daha fazla su tutmaktadırlar. Böylece, geceleri araç farlarından gelecek gözü kamaştıracak ışık yansımaları az olur, yol işaretlerinin görünürlüğü artar. Benzer şekilde, yüksek makro dokudan dolayı su, yüzeyde kalmamakta ve sürüş anında su sıçraması da geleneksel yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha az olmaktadır. Nicholls (1998), ince serilen değişik kaplamalar üzerinde yaptığı hidrolik geçirgenlik testinde SMA kaplamaların, İngilizlerin geleneksel kaplamaları HRA (Hot Rolled Asphalt)'tan daha geçirgen olduğunu bulmuştur. SMA karışımlarda, yüksek bitüm yüzdesi ve geçirimsiz yapıya rağmen, yüzeyde az su kalmasının en önemli nedeninin, boşluklu yüzeyin suyu hızla uzaklaştırması olarak açıklanabilir.

6 . DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

Bu bölümde; deneysel çalışmalarda SMA karışımların üretimi için kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri açıklanmıştır.

Çalışmada kullanılan malzemeler iki ayrı tipte agregaya, bir adet bağlayıcı ve beş adet katkıyı içermektedir.

6.1 Agregalar

Çalışmada; kaba agregaya olarak, Çorlu – Karatepe bazaltı, ince agregaya ve filler olarak ise Gebze yaşlı kalker kullanılmıştır.

SMA karışımlarda kaba agregaya yüksek dane temasını ve iç kenetlenmeyi sağlayarak trafik yükünü karşıladığı için, kaba agregaya olarak, doğadaki en sert taşlardan biri olan bazalt kullanılmıştır. İstanbul'a en yakın bazalt taş ocağı Çorlu'da işletilmekte olup, İstanbul'a sadece 120 km uzaklıktadır. Türkiye'nin diğer bölgelerinde de, kırmataş ocağının jeolojik yapısına bağlı olmakla birlikte bazalt ocağı bulmak mümkündür.

6.1.1 Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Karışımlar için bazalt kırmataş ocağından 1 no.lu (5 mm – 12,5 mm arası) agregaya ile kalker ocağından 0 no.lu (0 – 5 mm) agregaya alınmıştır. Agregalara özgül ağırlık, elek analizi, sağlamlık (Los Angeles), dona karşı dayanıklılık (sodyum sülfat deneyi), yassılık indeksi, su absorpsiyonu ve soyulma mukavemeti deneyleri yapılmış ve deney sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Bulunan deney sonuçları, KGM'nin taslak SMA şartnamesindeki kaba agregaya şartlarına uymaktadır. Sonuçlar incelendiğinde Çorlu – Karatepe ocağı bazaltının %13 Los Angeles, %4 dona karşı dayanıklılık ve %1,0 su absorpsiyonu değerleri ile, mükemmel bir üst yapı agregası olduğu açıktır.

Çizelge 6.1 Kaba ve ince agrega özellikleri

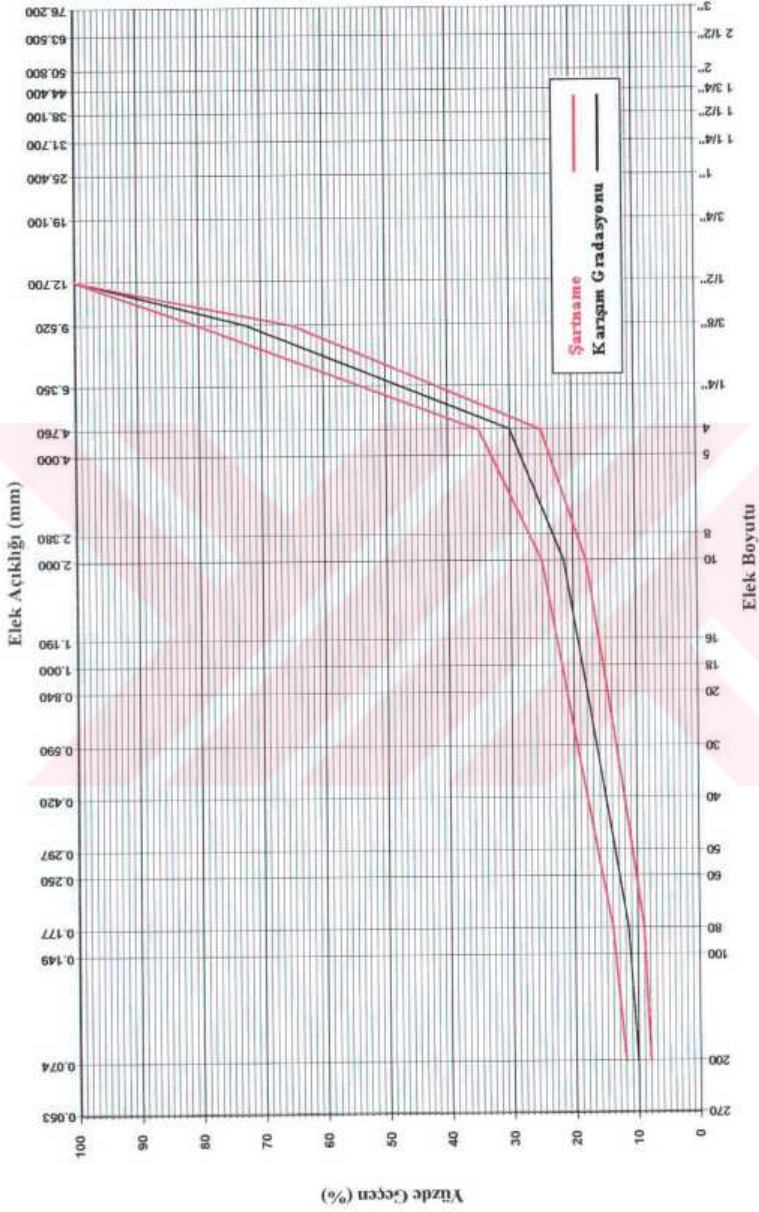
KABA AGREGA		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	SONUÇ
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)	TS - 3694 (ASTM C - 131)	13,0
Na ₂ SO ₄ ile Sağlamlık Deneyi (%)	TS - 3655 (ASTM C - 88)	4,47
Yassılık İndeksi (%)	BS - 812 Kısım - 105	10,8
Soyulma Mukavemeti (%)	Nicholson	60 - 70
Su Absorpsiyonu (%)	TS - 3526 (ASTM C - 127)	0,86
Cıfalanma	BS 812	0,60
İNCE AGREGA		
ÖZELLİKLER	DENEY YÖNTEMİ	SONUÇ
Plastisite İndeksi	TS - 1900	(N.P.) Plastik Değil

6.1.2 Seçilen Gradasyon

Deneylerde, dünyada uygulanan SMA gradasyonları ve son yıllarda ortaya çıkan gelişmeler ve ülkemiz koşulları gözönüne alınarak, Çizelge 6.2'de verilen gradasyon seçilmiştir. SMA gradasyonunda en önemli elek olan No.4 (4.76 mm)'den geçen yüzde % 30, No.10 (2.0 mm)'dan geçen yüzde ise 21,5 olarak saptanmıştır. Seçilen gradasyon için oluşturulan şartname limitleri; Şekil 6.1'de görülmektedir.

Çizelge 6.2 Seçilen agrega gradasyonu ve bu gradasyona göre önerilen SMA sınırlar

Elek		Seçilen SMA Gradasyonu	Önerilen SMA Şartnamesi
No.	mm		
1/2"	12,7	100	100
3/8"	9,52	72,5	65 - 80
4	4,76	30	25 - 35
10	2	21,5	18 - 25
40	0,42	15	12 - 18
80	0,177	11,5	9 - 14
200	0,074	10	8 - 12



Şekil 6.1 Seçilen SMA gradasyonu ve önerilen şarınama limitleri

6.2 Bağlayıcı

SMA karışımlarda, daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi 75/100 veya 60/70 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyon oluşumu, penetrasyonu yüksek bitümlerde daha fazla olduğu bilinen bir gerçektir (Matthews ve Monismith, 1993). Bu çalışmada, İstanbul'un iklim koşullarına en uygun olması açısından Türkiye Petrol Rafineleri Anonim Şirketinin İzmit Rafinerisinde ürettiği 60/70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır.

Bitümlü bağlayıcı üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Bitümlü bağlayıcı (AC 60-70) üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları

DENEYİN ADI	BİRİM	DENEY YÖNTEMİ	LİMİT	DEĞERİ
Penetrasyon (25 °C)	1/10 mm	TSE-118	60 - 70	64,0
Düktilite (25 °C)	cm	TSE-119	Min.100	100 cm'de kopmadı
Yumuşama Noktası	°C	TSE-120	45 - 55	55,0
Elastik Geri Dönme	%			5,00
Parlama Noktası (Cleveland)	°C	TSE-123	Min.230	300,0
Özgül Ağırlık (25 °C)	gr/cm ³	TSE-1087		1,024
Isıtma Kaybı - 163 °C	%	TSE-121	Max. 0,8	0,05
Isıtma Kaybından Sonraki Penetrasyon (25 °C)	%	TSE-118	Min. 54	57,8
Isıtma Kaybından Sonraki Düktilite (25 °C)	Cm	TSE-119	Min. 50	51,5 cm'de koptu

6.3 Kullanılan Katkı Malzemeleri

Deneylerde, SMA karışımlar için tüm dünyada yaygın olarak kullanılan katkılar seçilmiştir. Ayrıca katkısız SMA karışımları üzerinde de çalışılmıştır. Katkı seçiminde katkıların Türkiye'de kolayca elde edilebilir ve nispeten farklı kimyasal özelliklere sahip olmaları gözönüne alınmıştır. Seçilen 5 ayrı katkı malzemesi ve bu malzemeler için kullanılan simgeler aşağıda verilmiştir.

- Amorf polialfaolefin (AP)
- Selülozik elyaf (SE)
- Poliolefin (PE)
- Bitümlü selülozik elyaf (BE)
- Kopolimer, Stiren – Butadin – Stiren, SBS (SB)

6.3.1 Amorf Polialfaolefin (AP)

Plastomer grubunda yer alan bu ürün, etan – propan – buten’den oluşan bir amorf polialfaolefindir(AP). Bu özel üretilmiş polimerin bitüm ile oluşturduğu kombinasyonlarından dolayı 15 yılı aşkın bir süredir yol yapımında asfalt karışımlara katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Brown, 1992). Malzeme granüler halde olup, karışıma mikserde doğrudan ilave edilmektedir.

Bu malzeme karışıma giren bitümün ağırlıkça % 5-7’si oranında katılmaktadır. Bu çalışmada polialfaolefin karışıma bitümün %6’sı oranında katılmıştır. Bu oran üretici firmanın da tavsiye ettiği ve en yaygın kullanım oranıdır. Amorf polialfaolefinin penetrasyonu (100 g, 5 sn, 25 °C) 16-22, yumuşama noktası değeri 98-110 °C ve viskozitesi ise 5000-12000 Mpas olarak bulunmuştur (Hüls UK Limited). Şekil 6.2’de amorf polialfaolefin (AP) görülmektedir. Almanya’da geliştirilen bu katkı malzemesi, Amerika’da ilk SMA uygulamalarında da kullanılmıştır (J.A., Scherocman, 1993). Amorf polialfaolefin bağlayıcının ısıya karşı hassasiyetinde bir iyileştirme sağladığı gibi (Marl, 1996), yüksek sıcaklıklarda (40 °C) katkısız geleneksel karışımlara göre daha iyi performans göstermektedir (Özen, H., 1999).



Şekil 6.2 Amorf polialfaolefin (AP) katkı malzemesi

6.3.2 Selülozik Elyaf (SE)

SMA karışımların, plentten serim yerine taşınması sırasında, bitümün süzülmesini engellemek için kullanılan elyaflar, dünyada değişik ticari isimler altında üretilmektedir.

Bu çalışmada, Kanada ve Almanya'da üretilen iki ayrı selülozik elyaf kullanılmıştır. Kanada'da üretilen elyaf Almanya'da üretilene göre daha ucuzdur. Belçika'da SMA üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılan bu elyaf, taşımada ortaya çıkacak bitümün taşıyıcı aracın alt kısmına birikmesini engellediği gibi, serim anında bitümün karışım içinde homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır. Selülozik elyaf kullanım kılavuzunda tavsiye edildiği gibi, toplam agreganın %0,4 oranında katılmıştır. Selülozik elyafın resmi Şekil 6.3'de görülmektedir.



Şekil 6.3 Selülozik Elyaf (SE) katkı malzemesi

6.3.3 Bitümle Karıştırılmış Selülozik Elyaf (BE)

Almanya'da üretilen ve özellikle SMA karışımlar için kullanılan bu elyaf, Avrupa ülkelerinde ve Amerika'da en yaygın olarak kullanılan selülozik elyafır (Şekil 6.4). Son yıllarda elyaf bitüm ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Böylece elyafın karışım içinde topaklanmadan ve homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Burada %67 elyaf %33 bitüm ile karıştırılmıştır.

Elyafın fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir (Rettenmaier, J., – Söhne GmBA)

Selüloz içeriği	%80 ±5
Ortalama lif uzunluğu	110 µm
Selüloz lif kalınlığı	45 µm
Yoğunluğu	20-40 g/l
Kül muhtevası (850 °C, 4h)	% 15 ±5
Ph değeri	7,5 ±1

Bitümlü karıştırılmış elyafın (BE) özellikleri ise,

Görünümü	Gri renkli, silindirik topaklar halinde
Elyaf Oranı	%63-67
Ortalama topak boyu	2-8 mm
Ortalama topak kalınlığı	4 ± 1 mm
Özgül ağırlık	520 ± 50 g/l
Elek analizi	3,55 mm.'den küçük kısmı max. %5

şeklinde olup, malzeme zehirsiz ve sağlığa zararsızdır.



Şekil 6.4 Bitümlü karıştırılmış selülozik elyaf (BE)

Bitümlü elyaf, toplam bitümlü karışım ağırlığının %0.6'sı oranında katılmıştır. Selülozik elyafta olduğu gibi BE'de plentte miksere doğrudan karıştırılmaktadır.

6.3.4 Poliolefin (PE)

Çalışmada kullanılan poliolefin, siyah renkte 0/5 m daneli olarak redevanjere poliolefinidir. Plant kapasitesine göre 7-12 kg.'lık torbalarda üretilmektedir. Karışımında genelde %0,4 -%1,0 oranında kullanılır. Burada poliolefin, toplam agreganın %0,6 oranında katılmıştır.

Poliolefin özellikleri Çizelge 6.4'te, görünümü ise Şekil 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Poliolefin özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	gr/cm ³	0,21-0,965
Ergime Noktası	°C	110-140
Gradasyon	mm	0/5
Ekler	%	<5
Poleolefinler	%	>95



Şekil 6.5 Poliolefin (PE) katkı malzemesi

Fransa'da geliştirilen bu poliolefin katkı, karışımların özellikle tekerlek izine karşı mukavemetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca düşük sıcaklıklarda karışımın esnekliğini ve kohezyonunu iyileştirerek, yorulmaya karşı direncini de geliştirmektedir. Aşağıda (Çizelge 6.5) bu poliolefin katkının katıldığı ve katılmadığı karışımlara ait tekerlek izi deney sonuçları görülmektedir (P.R. Industries, 1999).

Çizelge 6.5 Tekerlek izi deney sonuçları (P.R. Industries, 1999)

Ürün	% Katkı	Bitüm	Bitüm Oranı	Tekerlek İzinde Oturma (%)			
				Tekerlek Geçiş Sayısı			
				1.000	3.000	10.000	30.000
Katkısız	x	50/70	6	7,1	10,3	21	çok yüksek
Poliolefin	0,6	50/70	6	2,8	3,3	4,3	5,6

Deney sonuçlarında da görüldüğü gibi 30.000 devirde oluşan tekerlek izinde oturma katkısız karışımda ölçülemeyecek kadar yüksek iken, poliolefinli katkıda bu oran sadece %5,6'da kalmıştır.

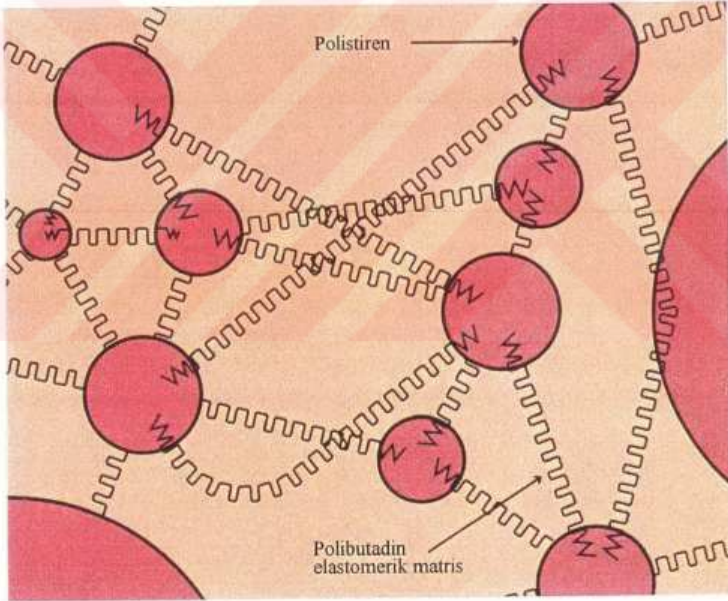
6.3.5 Stiren-Butadiyen-Stiren (SB)

Karışımına ilave edilen son katkı stiren-butadien-stiren (SBS) elastomeridir. Katılan polimer SBS blok kopolimeridir.

Termoplastik elastomer veya stirenik blok kopolimerler, Amerika Birleşik Devletlerinde kurulu Shell Firmasında çalışan Dr. N. Reginald Legge tarafından bulunmuştur. Stirenik kopolimerler SBS, SIS ve SE/BS olarak üç ana bölüme ayrılırlar. Burada bitüm ile en iyi bağ kurabilen SBS kopolimeri seçilmiştir. Şekil 6.6'da SBS'in lineer ve radyal bağ şekli ile, Şekil 6.7'de SBS'in üç boyutlu yapısı görülmektedir. Şekil 6.8'de ise kullanılan SBS'in resmi gösterilmiştir.



Şekil 6.6 SBS bağ şekilleri (Vonk, 1992).



Şekil 6.7 Üç boyutlu SBS yapısı (Vonk, 1992).

SBS çalışmada kullanılan diğer katkı maddelerinden farklı olarak, bitüme önceden (yüksek kesme mukavemeti uygulayarak) karıştırılır. Karıştırma yüksek sıcaklıklarda ve özel modifiye

bitüm tesislerinde gerçekleştirilir ve sıcak asfalt plentlerinde modifiye bitüm olarak karışıma ilave edilir.

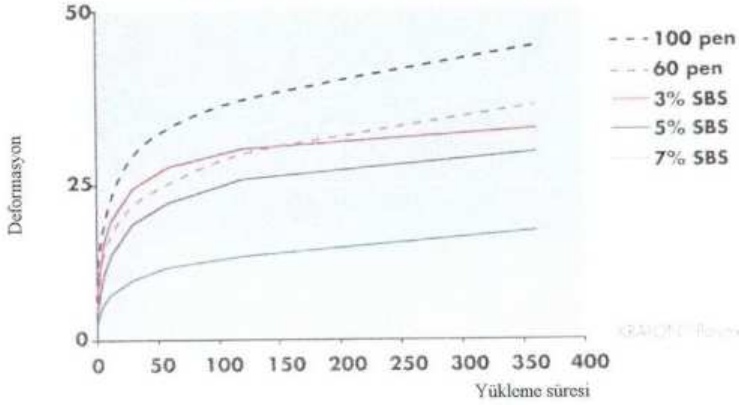
Bitümün SBS ile modifiye edilmesi ile, bitüm üzerinde olumlu etkiler ortaya çıkmaktadır. Bunlardan bazıları, elastik geri dönme yeteneğinin artması, düşük sıcaklıklarda yüksek düktilite, çekme mukavemetinde artış, ısı hassasiyetinde azalma ve yorulma ömründe artma olarak sayılabilir (Ternel ve Epps, 1989 b).



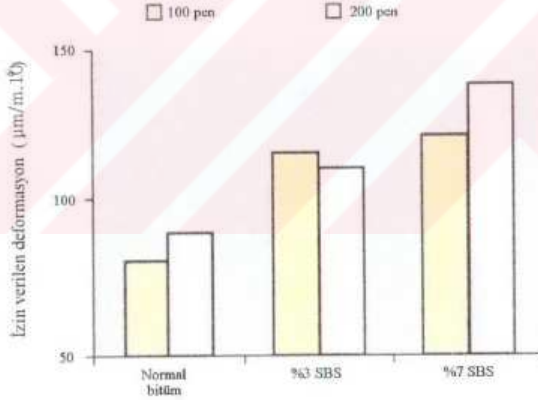
Şekil 6.8 Çalışmada kullanılan SBS katkısı

SBS özellikle, SMA gibi özel sıcak asfalt kaplamalarda iyi sonuç vermektedir (Uluçaylı, 1998).

SBS ile modifiye edilmiş asfalt karışımları, normal bitümlü bağlayıcı karışımlara göre daha iyi performans göstermektedir. Özellikle plastik deformasyon ve yorulma çatlakları oluşumuna karşı gösterdikleri dirençten dolayı son yıllarda modifiye edilmiş bitümlerin kullanımında ciddi bir artış meydana gelmiştir. Şekil 6.9'da SBS'li karışımlara ait dinamik sünme testi ve şekil 6.10'da ise 3 nokta yüklemeli yorulma test sonuçları verilmiştir (Vonk, 1992).



Şekil 6.9 40 °C'de dinamik test sonuçları (Vonk, 1992)



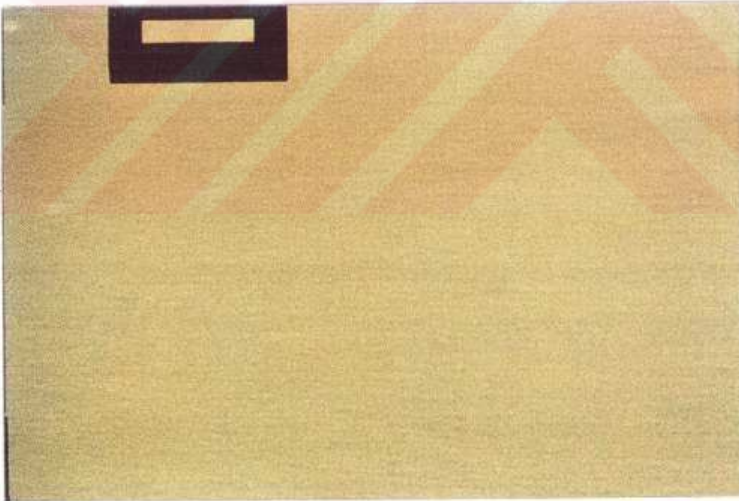
Şekil 6.10 3 nokta yüklemeli yorulma test sonuçları (Vonk, 1992)

SBS bitüme, bitümün ağırlıkça yüzdesi olarak, %3 ile %7 arasında karıştırılabilir. Bu çalışmada 60/70 penetrasyonlu bitüme %5 oranında katılmıştır. Karıştırma yüksek devirli karıştırıcılar ile gerçekleştirilmiş ve bu şekilde üretilen modifiye karışıma ait deney sonuçları Çizelge 6.6'da verilmektedir. Bu çizelge incelendiğinde, elde edilen modifiye bitümün KGM Modifiye Bitüm Şartnamesinde verilen Tip 3 grubuna girdiği görülmektedir. Yapılan modifikasyondan sonra

büyütülmüş fotoğrafla Şekil 6.11'de verilmiştir. Fotoğraf incelendiğinde çok homojen bir karışım elde edildiği kolayca görülmektedir.

Çizelge 6.6 Çalışmada kullanılan SBS'li modifiye bitümün özellikleri

Test Adı	Standard No	KGM Şartname (Tip3)	Ölçülen Değer
Penetrasyon	TS 118	Min 40	50
Düktilite	TS 119	Min 80 cm	110 cm
Yumuşama noktası	TS 120	Min 55 °C	84 °C
Frass kırılma	TS 11758	Min -15 °C	-18 °C
Elastik geri dönüş	-	Min %50	% 85



Şekil 6.11 Çalışmada kullanılan SBS'li modifiye bitümün, modifikasyondan sonra SBS'nin bitüm içinde dağılımını gösteren fotoğraf.

7. SMA KARIŞIMLARA UYGULANAN DENEYLER ve DENEY SONUÇLARI

Bölüm 6'da açıklanan gradasyon, bağlayıcı ve katkı malzemelerinin seçiminden sonra SMA karışımlarının laboratuvarıda üretilmesine ve üretilen bu karışımlar üzerinde gerekli performans deneylerin yapımına geçilmiştir. Çalışmada karışımların performansları, çatlak oluşumuna karşı mukavemet (yorulma), plastik deformasyon, tekerlek izi oluşumu ile stabilite açısından değerlendirilmiş ve bunun için karışımlar üzerinde yedi farklı deney yapılmıştır. Aşağıda yapılan deneylerin isimleri verilmiştir.

- 1- Marshall tasarımı
- 2- Bitüm süzülme deneyi
- 3- Dolaylı çekme mukavemeti deneyi
- 4- Dolaylı çekme deneyi
- 5- Statik sünme deneyi
- 6- Tekrarlı sünme deneyi
- 7- Tekerlek izinde oturma deneyi

Bu deneyler için toplam 216 adet briket üretilmiş olup, ayrıca tekerlek izi deneyi için 240 kg karışım hazırlanmıştır. Tüm çalışmalar için Çorlu ve Gebze'den toplam 2000 kg agregaya getirilmiştir.

7.1 Marshall Tasarım Deneyi

Daha önce de açıklandığı gibi, SMA asfalt karışımlarının optimum bitüm içeriğinin belirlenmesinde Marshall tasarımı, bir yaklaşım olarak kabul edilmekte olup, diğer performans testleri ve özellikle tekerlek izinde oturma deneyi sonuçları kullanılarak bulunan optimum bitüm içeriğinin doğruluğu değerlendirilmektedir. Marshall deneyi ASTM D-1559 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bölüm 4.3'te anlatıldığı gibi sıkıştırma enerjisinin 75 darbe olarak uygulanması, agregaların kırılmasına ve gradasyon değişikliğine neden olduğu için sıkıştırma enerjisi 50 darbe olarak uygulanmıştır.

Kullanılan katkı malzemesi, karışımın stabilite, akma ve diğer özelliklerini doğrudan etkilediğinden, her bir karışım için optimum bitüm içeriği saptanması için deneyler ayrı ayrı yapılmıştır. Başka bir ifade ile; katkısız, polialfaolefin, selülozik elyaf, bitümlü selülozik elyaf, poliolefin ve SBS katkılı karışımların her biri için optimum bitüm içeriği bulunmuştur.

Deneylerde kullanılan bitüm oranı aralığı, her bir karışımın bitüm talebine göre ayarlanmıştır. Örnek olarak; SBS'li ve selülozik elyafı karışımlarda tasarımlara %4,0 ile başlanırken, diğer 4 deneyde %5 ile başlanmıştır. Marshall deneyleri için toplam 108 adet briket üretilmiştir.

Yapılan deneyler sonunda, pratik özgül ağırlık, stabilite, asfaltla dolu boşluk oranı ve boşluk oranı kullanılarak optimum bitüm yüzdesi bulunmuştur. Burada pratik özgül ağırlık ve stabilite değerini en büyük yapan bitüm oranı alınırken, asfaltla dolu boşluk yüzdesini %80, boşluğu ise %3 veren bitüm yüzdeleri alınmış ve bu bitüm yüzdelерinin aritmetik ortalaması optimum bitüm yüzdesi olarak saptanmıştır.

Yapılan bu hesaplamalardan sonra karışımların optimum bitüm yüzdeleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

- Katkısız (NR)	%5,96
- Amorf polialfaolefin (AP)	%6,13
- Selülozik elyaf (SE)	%6,98
- Bitümlü selülozik elyaf (BE)	%6,60
- Poliolefin (PE)	%6,50
- Kopolimer, Stiren – Butadin – Stiren (SBS)	%6,69

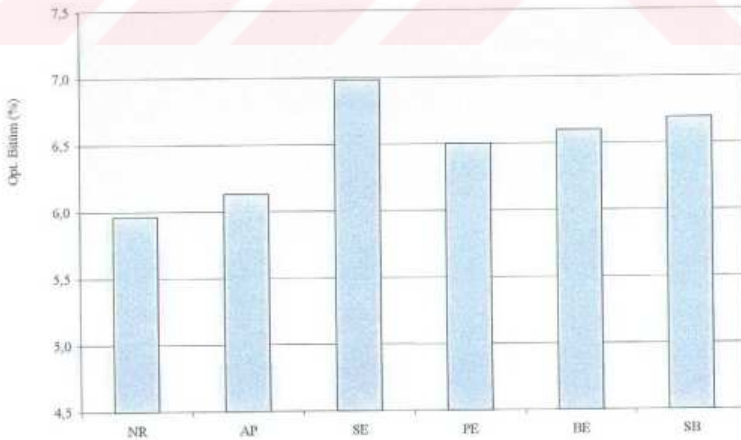
Çizelge 7.1'de Marshall deney sonuçları toplu olarak verilmektedir. Marshall tasarımına ait briket tanımları, hesaplamaları, optimum bitüm içeriğinin saptandığı grafikler ve diğer tüm sonuçlar çok yer tutmaması amacıyla Ek-A'da verilmiştir.

Çizelge 7.1 Marshall tasarım deney sonuçları özet tablosu

	NR	AP	SE	PE	Bİ	SB
OPT. BİTÜM %	5,96	6,13	6,98	6,50	6,60	6,69
STABİLİTE (Kg)	675	650	695	730	690	690
PRA. ÖZGÜL AĞIRLIK (D_p) gr/cm ³	2,474	2,472	2,440	2,450	2,468	2,458
BOŞLUK YÜZDESİ (V _h)	4,20	4,10	3,90	4,40	3,60	3,80
AKMA (mm)	3,10	3,00	4,35	3,65	3,00	3,90
ASFALTLA DOLU BOŞLUK % (V _F)	75,00	76,00	79,00	76,00	79,00	79,00
MAKS. TEORİK ÖZGÜL AĞIRLIK (D_t)	2,583	2,577	2,546	2,564	2,560	2,557
AGR. ARASINDAKİ BOŞL. % (VMA)	16,95	17,20	18,60	18,14	17,64	18,00

7.1.1 Optimum Bitüm Oranları

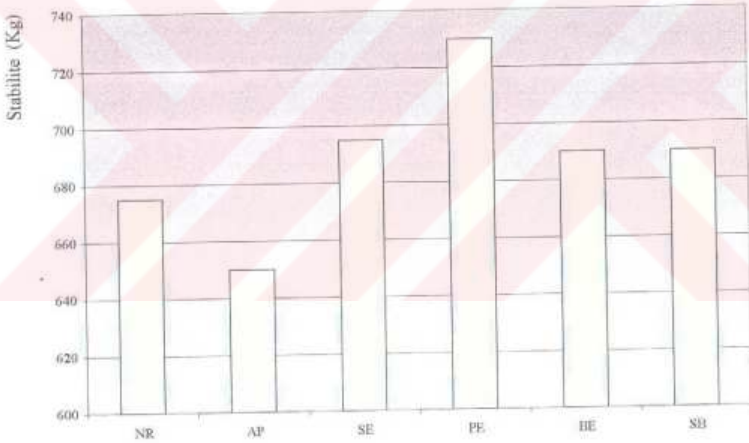
Şekil 7.1'de, karışımların optimum bitüm yüzdeleri grafik olarak gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, elyafların optimum bitüm yüzdeleri diğer karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu beklenen bir sonuç olup, çok büyük yüzey alanına sahip elyafların, daha fazla bitüme gereksinim duyacağı açıktır (Scherocman, Y, 1993).



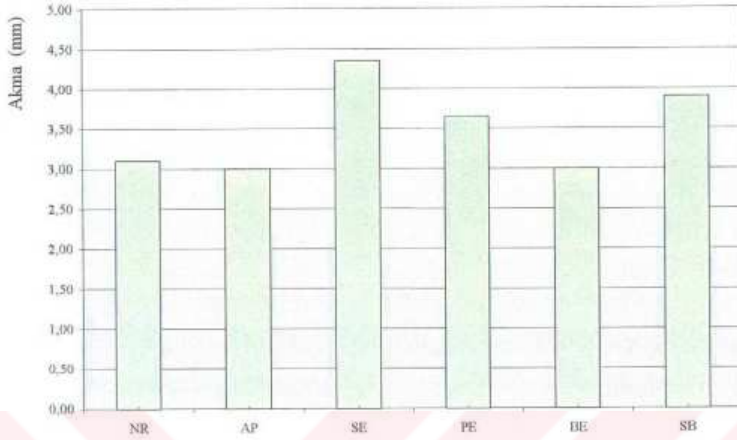
Şekil 7.1 Karışım cinslerine göre optimum bitüm oranları

7.1.2 Stabilite ve Akma Değerleri

Şekli 7.2 ve Şekil 7.3'te ise karışımların stabilite ve akma sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Stabilite değerleri incelendiğinde bulunan stabilite değerlerinin 650 kg ile 730 kg arasında değiştiği, bu değerlerin incelenen ülke şartnamelerinde istenen değer üzerinde olduğu görülmektedir. Örneğin Amerikan FHWA 620 kg (Guidelines of SMA, FHWA), Scheroman 540 kg (Scheroman, 1992), Norveç Karayolları İdaresi ve Çek Cumhuriyeti 600 kg'ı minimum değer olarak vermektedir (Heavy Duty Surfaces, 1998). KGM Taslak Şartnamesinde stabilite minimum 750 kg olarak verilmiştir. Bu kadar yüksek bir değere, SMA karışımlarında her zaman ulaşmak oldukça güç olduğu, KGM tarafından yapılan tasarımlarda da görülmektedir. Bu değer 600 – 650 kg'a indirilmesi şartname limitlerine uyulması açısından faydalı olacaktır.



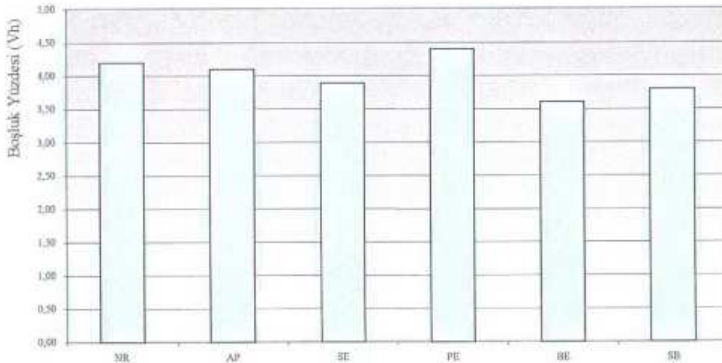
Şekil 7.2 Karışım cinslerine göre stabilite değerleri



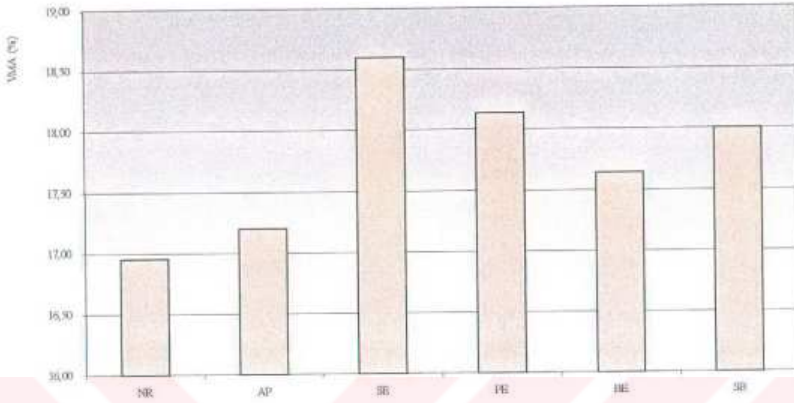
Şekil 7.3 Karışım cinslerine göre akma değerleri

7.1.3 Boşluk Oranı, VMA ile VF Değeri

Şekil 7.4, 7.5, 7.6' da yapılan deneylerden hesaplanan karışımların boşluk yüzdeleri (V_h), VMA ve Vf değerleri verilmiştir. Karışımlarda boşluk yüzdeleri, genelde %4 civarında bulunmuş olup, bu değer en dar aralıklı boşluk yüzdesine sahip Alman şartnamesinin istediği %3-%4 koşulunu bile sağlamaktadır (Dav, 1996).

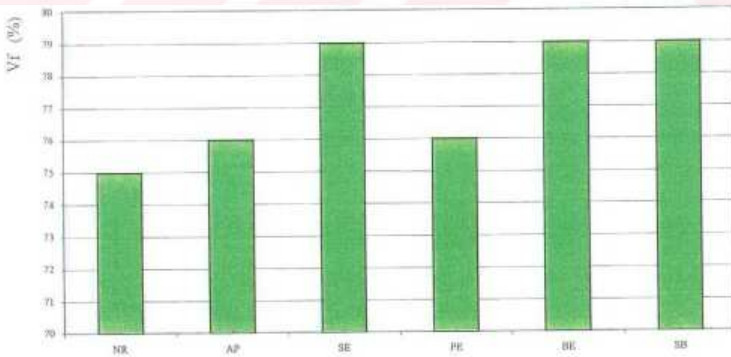


Şekil 7.4 Karışım cinslerine göre boşluk yüzdeleri (% V_h)



Şekil 7.5 Karışım cinslerine göre agregalar arasındaki boşluk yüzdeleri (% VMA)

SMA kaplamalar için çok önemli bir parametre olan VMA değeri ise, en düşük 16,95 en yüksek ise %18,60 olarak bulunmuştur ve bir çok şartnamede VMA değeri minimum 16 veya 17 olarak verilmektedir. Asfaltla dolu boşluk oranları, değerleri incelendiğinde, bitüme gereksinimi fazla olan elyaflar ile SBS'li karışımlarda Vf yüksek, diğer karışımlarda ise Vf'ler nispeten düşük olarak bulunmuştur. Bu da optimum bitüm içeriği ile VMA, Vf ilişkisinin doğal bir sonucudur.



Şekil 7.6 Karışım cinslerine göre asfaltla dolu boşluk oranları (% Vf)

7.2 Bitüm Süzülme Deneyi

Bu deney, karışımın plentte üretimi, serim yerine kadar taşınması ve serilmesi sırasında yüksek bitüm yüzdesinden dolayı, bitümün agregalar arasından süzülerek belli bölgelerde birikme derecesini ölçmek amacıyla yapılır. SMA karışımların bitüm süzülme deneyi için uluslararası kabul görmüş bir deney yöntemi bulunmamakla beraber, yaygın olarak kullanılanları, Alman Test Yöntemi, Açık Gradasyonlar için Bitüm Süzülme Deneyi ve 2,36 mm Elek Testi'dir (Mogawer, TRB 1454). Bu çalışmada 2,36 mm Elek Deneyi ve Alman test yöntemi kullanılmıştır. 2,36 mm (No.8) Elek Deneyinde her bir karışım için optimum bitüm muhtevasında 1000'er gram numune hazırlanmıştır. Hazırlanan her numune 2,36 mm elek üzerine konularak üzeri alüminyum folyo kağıdı ile kapatılarak 170 °C'de 1 saat süre ile etüvde bekletilmiştir (Amerika'da bu sıcaklık 170 °C yerine 143 °C olarak kullanılmaktadır). Daha sonra etüvden çıkarılan numunelerin elek altlığı tartılarak süzülen bitüm saptanmıştır. Yapılan bu deney sonucunda denenen hiçbir karışımda, bitümde süzülme gözlenmemiştir.

Bu deneyde en üst sınır %0,3 olarak kabul edilmektedir (Mogawer, TRB 1454).

Daha sonra yapılan Alman test yönteminde ise, 800 ml'lik cam beher kullanılmaktadır. Bu test için yine her bir karışım için optimum bitüm oranında 1000 gram numune hazırlanmıştır. 1000 gramlık karışım cam beher içine konularak üzeri alüminyum folyo ile kapatılarak 170 °C'de 1 saat bekletilmiş ve 1 saat sonra cam beher ters çevrilerek içindeki karışım boşaltılmıştır. Cam behere yapışan agrega temizlendikten sonra cam beher yapışmış bitüm ile tekrar tartılmış ve süzülen bitüm aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$b = \frac{A-B}{A} \times 100$$

Burada;

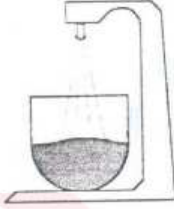
b : yüzde olarak süzülen bitüm

A: deneyden önce behere konulan karışımın ağırlığı (gr)

B: deneyden sonra tartılan karışımın ağırlığı (gr)

Alman test yöntemi prosedürüne ilişkin şematik gösterim Şekil 7.7'de verilmiştir (Hüls VK Limited).

Karışımın Hazırlanması



Cam Mezür 800 ml
 Ø 58 mm
 H 135 mm

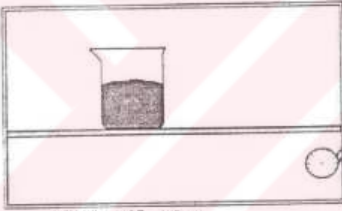


170°C

Yaklaşık 1 Kg
 Asfalt Karışımı



135°C
 ± 5°C



170°C ± 1°C 1 Saat



< 0.2 %
 iyi



0.2 - 0.3 %
 Kabul Edilebilir



> 0.3 %
 Kabul Edilemez

Şekil 7.7 Alman test yöntemine ait şematik gösterim

Çizelge 7.2'de her iki deney sonuçları gösterilmiştir. Alman yöntemine göre bulunan tüm değerler yine kabul edilebilir nitelikte olup, üst sınır olan %0,3'e hiçbir karışımda ulaşılmamıştır.

Çizelge 7.2 Bitüm süzülme deney sonuçları

Karışım Tipi	NR	AP	SE	BE	PE	SB
2,36 mm (No.8) Elekten Süzülme Miktarı (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alman Test Yöntemine göre Süzülme Miktarı (%)	0,2	0,015	0,010	0,011	0,013	0,016

7.3 Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi

Bu deney asfalt karışımların özellikle yorulmaya karşı gösterdiği direncin bir göstergesi olup, numunelere bozuluncaya kadar bir basınç yükü uygulanır.

7.3.1 Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar (Özen, 1999)

Marshall Tasarım Deneyine uygun olarak üretilen numunelerin deney öncesinde birim hacim ağırlıkları tespit edilir.

- Numuneler istenen sıcaklıkta ± 1 °C sıcaklık kontrollü bir hücreye yerleştirilir ve deney sıcaklığına gelinceye kadar beklenir. Eğer numunelerin gerçek sıcaklıkları ölçülemiyor ise numuneler sıcaklık kontrollü hücrede 12 saat boyunca bekletildikten sonra deneye tabii tutulurlar.
- Numuneler deney ekipmanına yerleştirilir.

- Ön hazırlık amacıyla numunelere yarı sinüzoidal yük uygulanır ve numunelerin yük doğrultusuna dik eksenleri işaretlenir.
- Ön hazırlık deney sonucunda yatay eksen boyunca oluşan deformasyonlar ölçülür ve numunelerin elastisite modülleri tesbit edilir.
- Deney esnasında yük, deformasyon miktarı 25 °C sıcaklık ve daha üzerindeki sıcaklıklarda dakikada 2" (5 cm) ve 10 °C ve daha düşük sıcaklıklarda ise dakikada 0,05" ve 0,065" (1,27 ve 1,65 cm) olacak şekilde uygulanır.
- Deney esnasında numuneye uygulanan yük, yatay ve düşey doğrultuda oluşan deformasyonlar yüklemeye zamanının tamamında kaydedilir. Yatay ve düşey deney ekipmanında bir bozulmanın oluşmaması için numunenin kırılmasından önce deneyin durdurulması önerilir.
- Hesaplamalar

$$St = \frac{Pf}{h} \times 0,156$$

Dolaylı Çekme Mukavemeti St (psi)

Pf = Numunenin bozulduğu andaki yük (pound)

h = Numune yüksekliği (inch)

Poisson Oranı γ

$$\gamma = \frac{DR \times 0,0673 - 0,8954}{DR \times (-0,2494) - 0,156}$$

$$DR = \frac{Yt}{Xt}$$

Yt = Düşey deformasyon

Xt = Yatay deformasyon

Elastisite Modülü (E)

$$E = \frac{Sh}{Xt} \times (0,2692 + \gamma \times 0,9974)$$

$$Sh = \frac{P}{Xt}$$

Çekme Deformasyonuna ϵ_t (mikron)

$$\epsilon_t = \Delta h \times \left[\frac{0,03896 + \gamma \times 0,1185}{0,0673 + \gamma \times 0,2496} \right]$$

Δh = Toplam yatay deformasyon

Basınç Deformasyonu ϵ_c (mikron)

$$\epsilon_c = \Delta v \times \left[\frac{-0,1185 - \gamma \times 0,03896}{-0,8954 + \gamma \times 0,156} \right]$$

Δv = Toplam düşey deformasyon

7.3.2 DeneY Sonuçları

Burada yapılan deneylerin sonuçları izelge 7.3'te gösterilmiştir. Dolaylı ekme Mukavemeti sonuçları (izelge 7.3) incelendiğinde en yüksek değer 917 kpa (133 psi) ile PE'li karışımlarda elde edilmiştir. İkinci sırada ise, 898 kpa ile SBS'li karışım gelmektedir. İki selülozik elyaf katkılı karışım, SBS'den sonra gelmekte en sonda ise, beklenildiği gibi katkısız karışım yer almaktadır. Asfalt kaplamaların düşük sıcaklıklarda ve trafik yükleri altında oluşan çekme gerilmelerine karşın direncinin bir göstergesi olan bu deney (NCHRP Report 338) poliolefin ve stiren-butadiyen-stiren karışımların diğer karışımlara göre çekme gerilmelerine karşı daha dirençli olduklarını göstermiştir.



Çizelge 7.3 Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları

Karşınım Tipi	Numune			Yer Değiştirme			Deformasyon		Çekme	Çekme
	No	Yükseklik h		Dayanım Pb	Düsey Δv	Yatay Δh	Çekme et	Basınç ec	Muk. St	Muk. St
		mm	in.		(in.)x10 ³	(in.)x10 ³	(in./in.)x10 ⁴	(in./in.)x10 ⁴	PSI	KPA
NR	1	60,8	2,39	1526	121,3	22,3	115,93	190,38	99,4766	686
	2	59,7	2,35	1520	110,2	20,3	105,39	173,07	100,862	695
	3	60,3	2,37	1479	124,0	22,8	118,57	194,70	97,1993	670
	ort						113,30	186,05	99,1793	683
AP	1	60,5	2,38	1571	102,4	18,8	97,86	160,71	102,91	71
	2	60,5	2,38	1587	114,2	21,0	109,16	179,25	103,945	717
	3	61	2,40	1511	124,0	22,8	118,57	194,70	98,1283	677
	ort						108,53	178,22	101,663	701
SE	1	61,4	2,42	1825	126,0	23,2	120,45	197,80	117,80	812
	2	61,1	2,41	1922	142,5	26,2	136,26	223,76	124,646	859
	3	61,7	2,43	1643	145,7	26,8	139,27	228,70	105,533	727
	ort						131,99	216,75	115,993	799
PE	1	62,2	2,45	2109	114,2	21,0	109,16	179,25	134,33	926
	2	62,2	2,45	2014	97,6	18,0	93,35	153,29	128,313	885
	3	61,8	2,43	2127	101,6	18,7	97,11	159,47	136,351	940
	ort						99,87	164,01	132,997	917
BE	1	61,1	2,41	1895	107,5	19,8	102,76	168,74	122,90	847
	2	61,4	2,42	1751	102,4	18,8	97,86	160,71	113,012	779
	3	59,9	2,36	1729	98,4	18,1	94,10	154,53	114,355	788
	ort						98,24	161,33	116,754	805
SB	1	61,2	2,41	1980	106,3	19,5	101,63	166,89	128,23	884
	2	60,8	2,39	1951	111,0	20,4	106,15	174,31	127,166	877
	3	61,4	2,42	2093	109,4	20,1	104,64	171,83	135,063	931
	ort						104,14	171,01	130,152	898

7.4 Dolaylı Çekme Deneyi

Bitümlü karışımların özellikle düşük sıcaklıklarda yorulma çatlaklarına karşı direncini belirleyen dolaylı çekme deneyi, 5 °C, 25 °C ve 40 °C olmak üzere üç ayrı sıcaklıkta ve tekrarlı yük etkisi altında yapılmaktadır.

7.4.1 Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar (Özen, 1999)

- Numuneler sıcaklık kontrollü hücreye yerleştirilerek belirlenen sıcaklığa gelmesi için 24 saat beklenir. Numunelerin istenen sıcaklığa gelip gelmediği kukla numune içerisine yerleştirilen bir derece ile tespit edilir.
- Numuneler deney ekipmanına yerleştirilir.
- Ön hazırlık yüklemesi yapılarak numunenin yerleşmesi sağlanır.
- Numuneye dolaylı çekme mukavemeti değerinin %10'u ile 50'si arasında değişen bir yük belirlenen bir periyot boyunca beş kez yarısinüzoidal (haversin) olarak uygulanır ve numune içerisinde oluşan yatay ve düşey deformasyonlar ölçülür.
- Deney aşamasında yük tekrarründe 0,33, 0,5 ve 1 Hz'lik frekansların uygulanması önerilmektedir.
- Elastisite modülü değeri için bir numuneye iki defa deney uygulanır. İlk deney tamamlandıktan sonra numune 90° döndürülerek ikinci kez deneye tabii tutulur ve elastisite modülü değeri olarak iki deney sonucunun ortalaması alınır.
- Deneyin tahribatsız olması nedeniyle, bir numuneye birden daha fazla deney yapılması imkanı vardır. Bu nedenle numunede kalıcı deformasyonları azaltmak için deneye en düşük sıcaklıklarda, en kısa yükleme süresi ve en düşük yük ile başlanmalıdır.

- Hesaplamalar

Her bir deney sonucu için Elastisite modülü değerleri, daha önceden de bahsedildiği şekilde;

$$E = \frac{P \times (\gamma + 0,27)}{h \times \Delta h}$$

E = Elastisite modülü (Mpa)

P = Uygulanan yük (kN)

γ = Poisson oranı

h = Numune yüksekliği (in.)

Δh = Geri dönen deformasyon

7.4.2 Deney Sonuçları

Burada her bir sıcaklık ve yükleme periyodu için numunelere ait elastisite modülleri bulunmuştur. Deney ASTM D-4123-82 standardına uygun olarak ve Şekil 7.8'de verilen akış şemasına göre yapılmıştır.

Her bir karışım cinsi için üretilen briketler 5 °C, 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarda ve 1000 ms (1,00 Hz), 2000 ms (0,50 Hz), ve 3000 ms (0,33 Hz) yükleme periyodunda deneylere tabi tutulmuşlardır. Her bir yükleme periyodunda üç farklı yükleme hızı seçilerek, yükleme hızının deney sonuçlarına etkisi de saptanmaya çalışılmıştır. Çizelge 7.4'de yükleme periyodu ile yükleme hızı deney programı görülmektedir.

Çizelge 7.4 Deneylerde kullanılan yükleme periyodu (tekerrür süresi) ile yükleme hızları

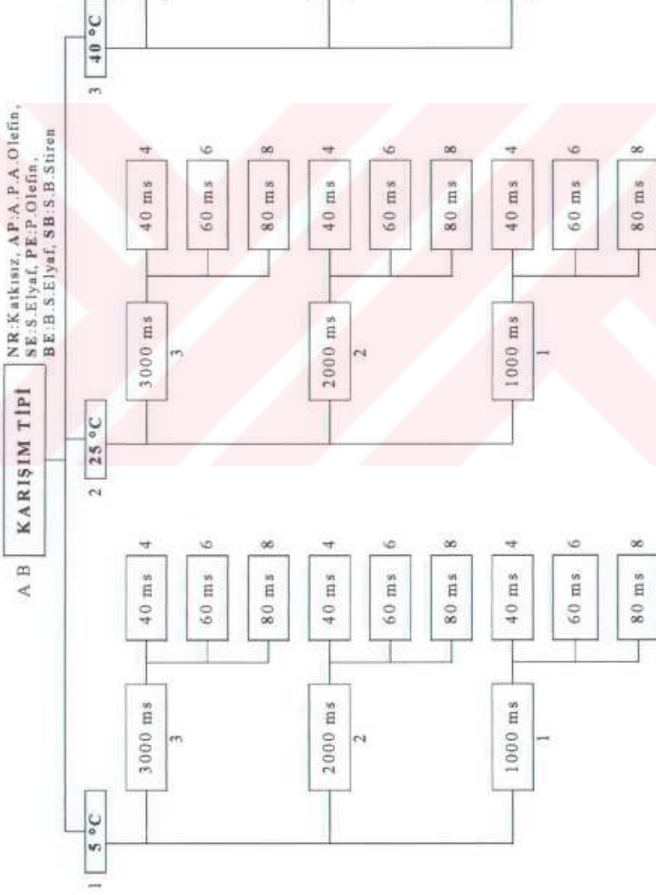
Yükleme Periyodu		Yükleme Hızı (ms)
Hız.	Tekerrür Süresi (ms)	
0,33	3000	40,60,80
0,50	2000	40,60,80
1,00	1000	40,60,80

Çizelgede görülen tekerrür süresi, trafik yoğunluğunu, yükleme hızı ise dingil geçiş hızının bir göstergesidir. Diğer bir ifade ile, yüksek tekerrür süresi düşük yoğunluklu trafiği, yüksek yükleme hızı ise düşük taşıt geçiş hızını göstermektedir. Deney yükü olarak, ASTM 4123'te önerildiği gibi, dolaylı çekme mukavemetinde bulunan ortalama kırılma yükünü yaklaşık % 20'si olan 1500 N alınmıştır.

Üç farklı sıcaklık ve üçer farklı yükleme periyodu ve hızı için yapılan deneylerin sonuçları toplu olarak EK-B'de verilmiştir. Bu deneye ait hesaplanan parametreler aşağıda açıklanmaktadır.



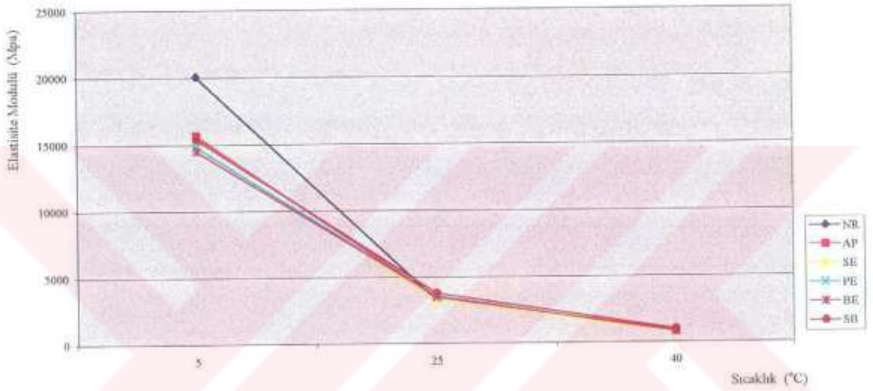
A	B	C	D	E
N	R	1	3	4
A	P	2	2	6
S	E	3	1	8
P	E		4	
B	E			
S	B			



Şekil 7.8 Dency numunderinin kodlama sistemi

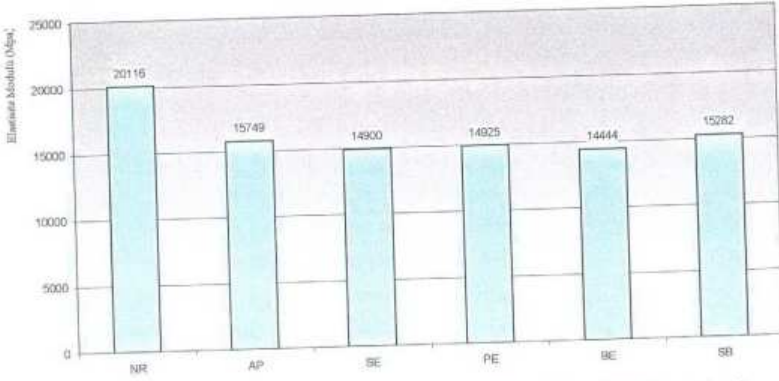
- Elastisite Modülleri

Şekil 7.9'da görüldüğü gibi, elastisite modülü değerleri tüm karışımlarda en yüksek 5 °C'de, en düşük 40 °C'de bulunmuştur. Bulunan bu değerler, viskoelastik olarak davranan malzemelerin davranışı ile uyumludur (Whitoak, 1991).



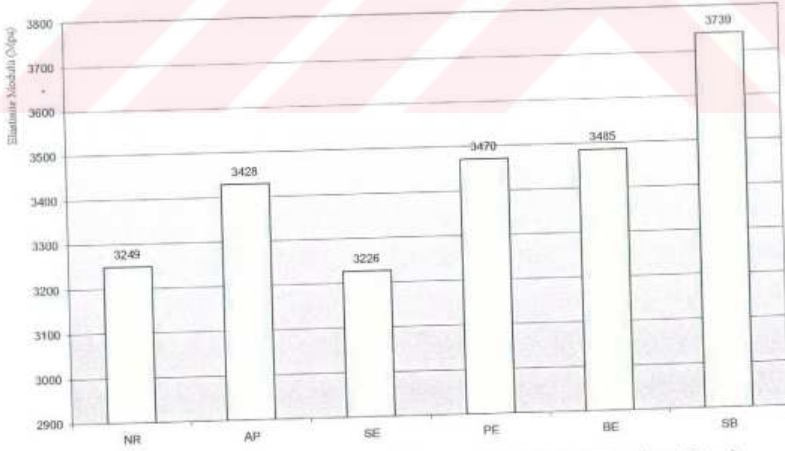
Şekil 7.9 Elastisite modülünün sıcaklığa göre değişimi

Şekil 7.10'dan, Şekil 7.12'e kadar elastisite modül değerlerinin karışım cinslerine göre değişimleri görülmektedir. Burada 5 °C'de en yüksek elastisite modülünün 20.116 Mpa ile normal karışımlarda bulunduğu, diğer değerlerin 15.749 Mpa ile 14.444 Mpa arasında olmak üzere bu sıcaklıkta birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Katkısız karışımlarda 5 °C gibi düşük sıcaklıkta bulunan bu yüksek elastisite modülünün, katkısız karışımların düşük sıcaklıklarda çatlak oluşmasına karşı nispeten daha az dirençli oldukları söylenebilir (Şekil 7.10).



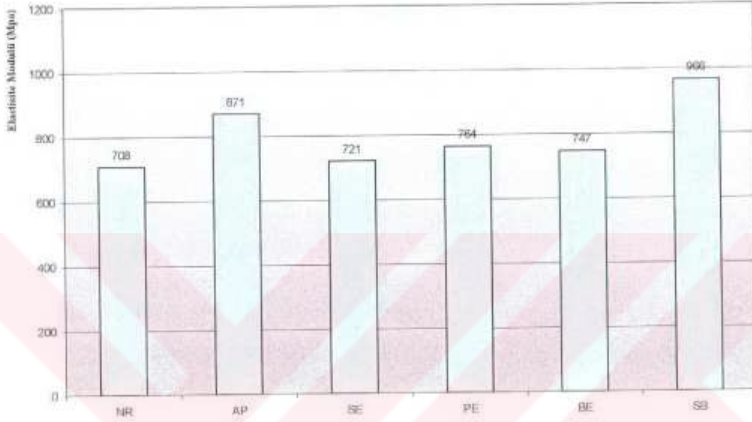
Şekil 7.10 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 60 ms)

Şekil 7.11'de görüldüğü gibi 25 °C en yüksek elastisite modülü 3739 Mpa ile SBS'li karışımda bulunmuş aynı sıcaklıkta BE, PE ve AP karışımları birbirlerine çok yakın elastisite modüllerine sahip olarak (3485, 3470 ve 3428 Mpa) SBS'i takip etmiş en düşük elastisite modülleri ise NR ve SE'de bulunmuştur (3249, 3226 Mpa).



Şekil 7.11 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 60 ms)

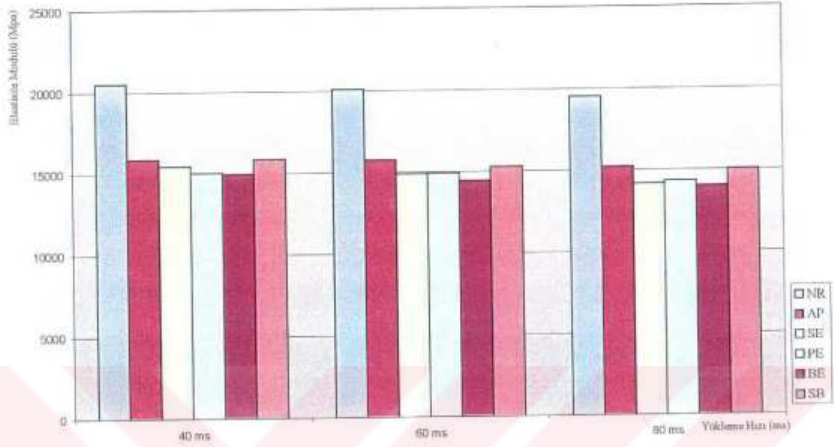
40 °C'de bulunan sonuçlar Şekil 7.12'de gösterilmiştir. Burada en yüksek elastisite modülleri 966 Mpa ile SB, daha sonra 871 Mpa ile AP'de bulunmuştur. Diğer karışımların 40 °C'de gösterdikleri elastik performans birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür.



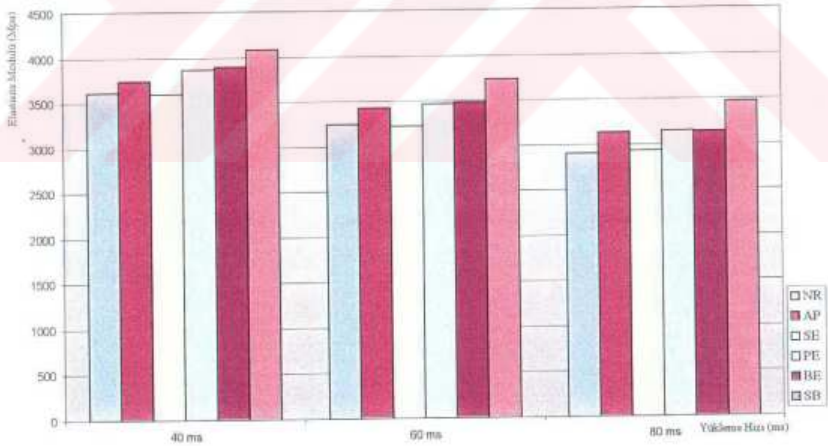
Şekil 7.12 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 60 ms)

Yüksek sıcaklıklarda yüksek elastisite modüllerine sahip karışımların, bu sıcaklıklarda çatlak oluşumuna karşı en dirençli karışımlar olduğu söylenebilir.

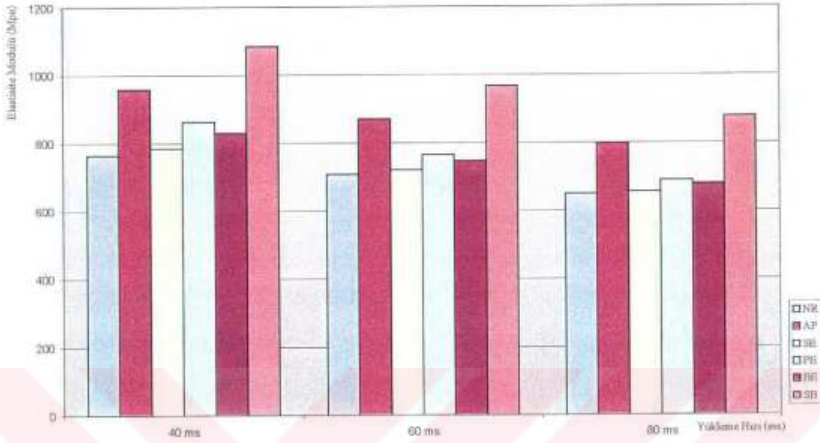
Şekil 7.13, 7.14 ve 7.15'de ise, her bir sıcaklıkta elastisite modüllerinin yükleme hızlarına bağlı olarak değişimleri verilmiştir.



Şekil 7.13 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (5 °C)

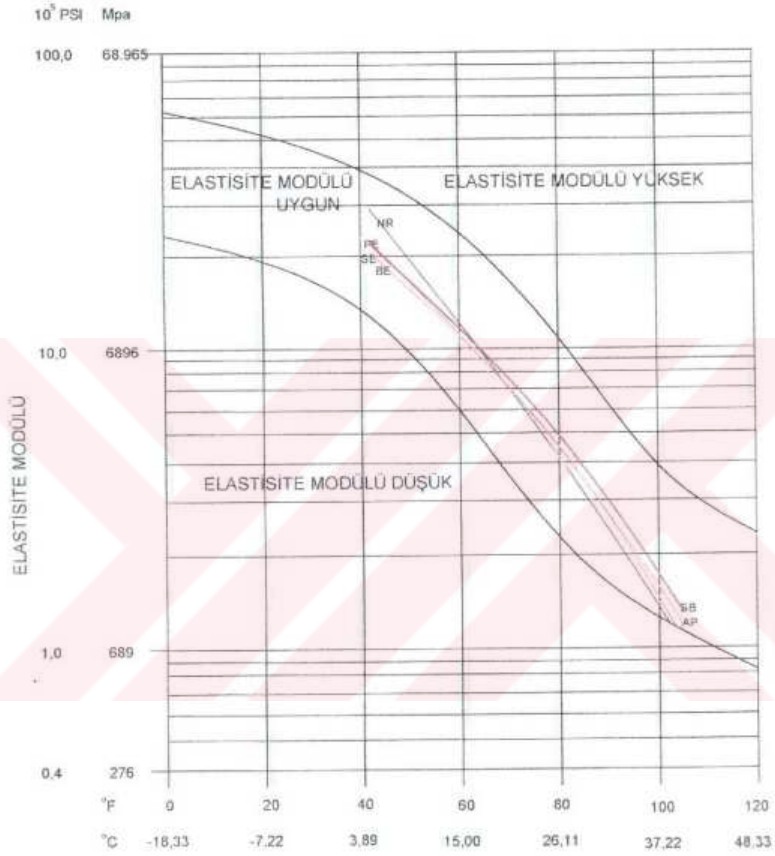


Şekil 7.14 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (25 °C)



Şekil 7.15 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (40 °C)

Bulunan tüm bu elastisite modülleri sonuçlarını değerlendirmek ve doğal olarak karışımların istenilen nitelikte olup olmadıklarını ölçmek amacıyla; NLHRP Report 338'de (AAMAS) verilmiş olan nomogram kullanılarak çizilen elastisite modülü eğrileri incelendiğinde, deneylerde bulunan elastisite modüllerinin her sıcaklık için uygun olduğu ve kullanılan tüm SMA karışımlarının yorulmaya karşı yeterli direnç göstereceği söylenebilir (Şekil 7.16).



SICAKLIK (°F, °C)



Şekil 7.16 Karışım tiplerinin elastisite modülü değerlerinin uygunluğu

7.4.3 Tekerrür Süresi ile Yükleme Hızının Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi

Daha önce belirtildiği gibi 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms tekerrür sürelerinin her biri için 40 ms, 60 ms ve 80 ms yükleme hızlarında deneyler yapılmıştır. Şekil 7.17 ve şekil 7.18'de karışım tiplerine göre elastisite modülünün tekerrür süresine ve yükleme hızına göre değişimi verilmiştir. Yani tekerrür süresinin 1000 ms'den 3000 ms'ye inmesi ve yükleme hızının 80 ms'den 40 ms'ye çıkması durumunda elastisite modülündeki en fazla değişim (artış veya azalış) bulunmuş ve bu hesaplama aşağıdaki gibi yapılmıştır. Örnek olarak; Poliolefin (PE) karışım için, 25 °C'de bulunan elastisite modülleri Ek-B Çizelge B1, B2, B3'den alınarak Çizelge 7.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 25 °C'de bulunan elastisite modülleri

Tekerrür Süresi (ms)	3000			2000			1000		
	Yükleme Hızı (ms)	40	60	80	40	60	80	40	60
Elastisite Modülü (mpa)	3920	3492	3106	3838	3439	3158	3857	3479	3184

Burada elastisite modülünün, tekerrür süresine göre ortalama değişim miktarı;

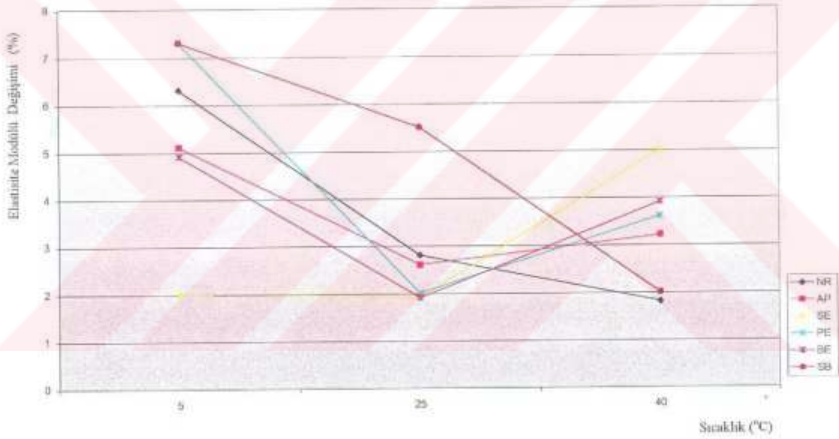
$$\text{Elastisite Modülü Değişim} = \frac{3920 + 3492 + 3184}{3838 + 3439 + 3106} - 1 = \frac{10596}{10383} - 1 = \% 2,1$$

Benzer olarak yükleme hızının elastisite modülü üzerindeki ortalama değişim miktarı ise;

$$\text{Elastisite Modülü Değişim} = \frac{3920 + 3838 + 3857}{3106 + 3158 + 3184} - 1 = \frac{11615}{9448} - 1 = \% 22,9$$

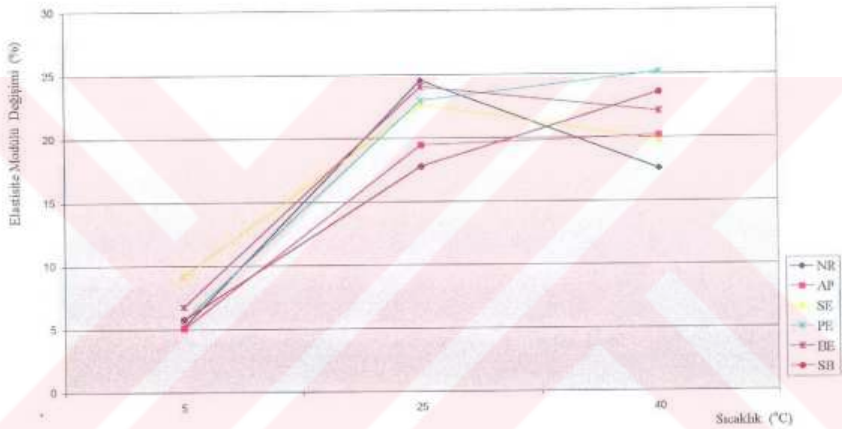
olarak bulunmuştur.

Bu şekilde her karışım türü için hesaplanan elastisite modülünün tekerrür süresi ve yükleme hızına göre ortalama değişim miktarları Şekil 7.17 ve Şekil 7.18'de gösterilmiştir. Şekil 7.17'den de görüleceği gibi yükleme periyodunun 3000 ms (0,33 Hz)'den 1000 ms (1 Hz)'e çıkması durumunda en fazla değişim 5 °C'de ort. %4,25 kadar olup, bu değişim 25 °C'de ort. %2,8'e inmiş, 40 °C'de ise %3,2'ye çıkmıştır. Bu değişimler her katkı türünde aynı oranda olmayıp, örneğin SBS'li karışımda yükleme periyodunun etkisi 5 °C'de %7,4'e kadar çıkarken 40 °C'de bu değişim %2 gibi ihmal edilebilir bir değere düşmüştür. Diğer bir ifade ile 40 °C'de, SBS'li karışımlarda trafik yoğunluğunun artması ile malzemenin elastik davranışında ciddi bir değişiklik gözlenmemektedir. Diğer karışımlar için bu durum benzer olmakla birlikte, sadece selülozik elyaflı karışımlarda 40 °C'de elastisite modül değerlerinde %5'e kadar bir değişim meydana gelmiştir.



Şekil 7.17 Farklı sıcaklıklarda yükleme periyodunun elastisite modülü üzerinde değişim yüzdesi

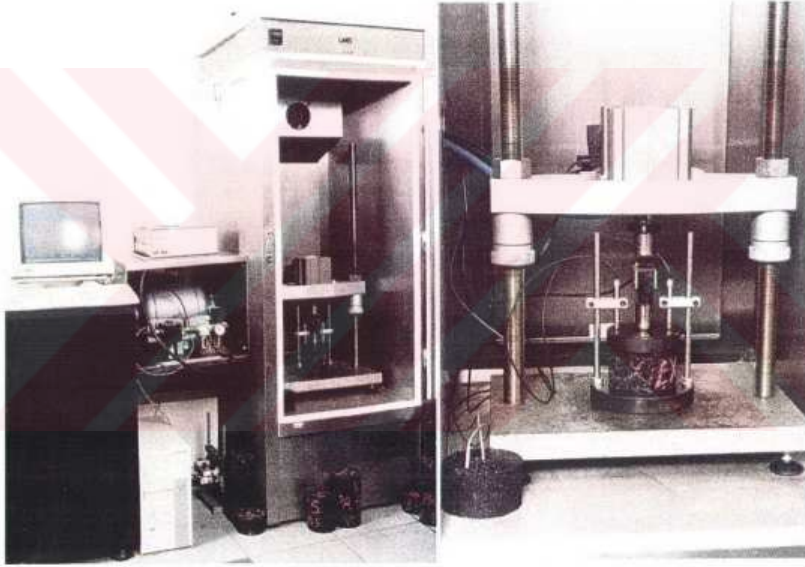
Yükleme hızının karışımların elastisite modülleri üzerindeki değişimlerini gösteren Şekil 7.18 incelendiğinde yükleme periyoduna göre, yükleme hızındaki değişim elastisite modüllerinde % 25'lere varan değişimler görülmektedir. Burada düşük sıcaklıkta (5 °C) yükleme hızı, elastisite modülünü ortalama %7 oranında değiştirirken, 25 °C'de ortalama %21,6 ve 40 °C'de % 21,2 oranında değiştirmektedir. Diğer bir ifade ile yükleme hızı orta ve yüksek ısılarda elastisite modülünü düşük sıcaklıklara nazaran daha fazla değiştirmektedir.



Şekil 7.18 Farklı sıcaklıklarda yükleme hızının elastisite modülü üzerinde değişim yüzdesi

7.5 Statik Sünme Deneyi

Statik sünme deneyi, bitümlü karışımların kalıcı deformasyonlara karşı performansını ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada deneyler Nottingham Asphalt Tester (NAT) test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Statik sünme deneyinde numune yatay olarak sabit bir yük altında basınca tabi tutulur ve düşey deformasyon belli aralıklarla sürekli ölçülür. LVDT'ler yardımıyla yapılan ölçümler bilgisayarda kaydedilir. Statik sünme deneyinde 1 saatlik (3600 sn) bir ölçüm malzeme karakteristiğini belirlemek için yeterli görülmektedir. Statik sünme deneyinin yapıldığı NAT cihazı ile test düzeneği Şekil 7.19'da görülmektedir.



Şekil 7.19 Statik sünme deneyinin yapıldığı NAT cihazı ile test düzeneği

7.5.1 Deneyin Yapılışı ve Hesaplamalar

Marshall Tasarım Deneyine uygun olarak üretilen numunelerin deney öncesinde birim hacim ağırlıkları tespit edilir.

- Numuneler istenen sıcaklıkta ± 1 °C sıcaklık kontrollü bir hücreye yerleştirilir ve deney sıcaklığına gelinceye kadar beklenir. Eğer numunelerin gerçek sıcaklıkları ölçülemiyor ise numuneler sıcaklık kontrollü hücrede 12 saat bekletildikten sonra deneye tabi tutulur.
- Sabitlenmiş olan numunenin bozulmasına sebep olan yükün %5 ile %25 arasındaki basınç yükü uygulanır.
- Yarı sinüzoidal ön hazırlık gerilmesi 1 sn'lik periyotta 0,1 rise time, 0,9 rest time olacak şekilde uygulanır.
- Ön hazırlık sonunda geri dönen düşey deformasyon ölçülür ve buradan da elastisite modülü hesaplanır.
- Ön hazırlık yükünün sıfıra inmesi ile, ± 2 'lik hata ile sabitlenmiş yük uygulanır.
- Tüm yükleme süresince düşey deformasyonlar kaydedilir. Yük 60 dakika ± 15 sn boyunca uygulanır.
- Sabitlenmiş yükün 60 dakika boyunca uygulanmasının ardından, geri dönen deformasyonun ölçülmesi için ilave bir 60 dakika yük uygulanmaksızın düşey yer değiştirmeler ölçülür.

- Hesaplamalar

Her bir numunenin 1, 10, 100, 1000 ve 3600 sn'deki Sünme Modülü Değerleri hesaplanır. İlave olarak karışımların değerlendirilmesi için deformasyon-süre eğrisi de çizilebilir.

Tek eksenli basınç numunelerine ait hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$Ecq(t) = \frac{\sigma_c}{\epsilon_c(t)}$$

$Ecq(t)$ = t anındaki sünme modülü (psi)

σ_c = Numunelere uygulanan basınç gerilmesi (psi)

$\epsilon_c(t)$ = t anında tek eksenli oluşan deformasyon (in/in)

$$\varepsilon_c(t) = \frac{\Delta v(t)}{l}$$

l = Numune yüksekliği (in.)

$\Delta v(t)$ = t anında düşey yönde oluşan yer değiştirme (in.)

- Dolaylı Çekme Gerilmesi Numunelerine Ait Hesaplamalar Aşağıda Verilmiştir.

$$E_{ct}(t) = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1(t)}$$

σ_1 = Numuneye uygulanan dolaylı çekme gerilmesi değeri

$$\sigma_1 = \frac{P}{h} \times 0,156$$

P = Numuneye uygulanan yük

$\varepsilon_1(t)$ = Sünme deformasyonu (in/in)

$$\varepsilon_1(t) = \Delta h(t) \times \frac{(0,03896 + \gamma \times 0,1185)}{(0,0673 + \gamma \times 0,2494)}$$

$\Delta h(t)$ = t anındaki yatay yer değiştirme (in)

γ = Poisson oranı

X = Numunenin geriye dönüş kabiliyeti

$$X = \frac{\Delta r(3600)}{\Delta v_h(3600)}$$

$\Delta r(3600)$ = Deney sonunda tek eksenli basınç deneyinde geriye dönen düşey deformasyon veya dolaylı çekme deneyi için geriye dönen yatay deformasyon (yükün uygulandığı 2. 3600 sn'deki)

$\Delta v_h (3600) =$ Tek eksenli deneydeki düşey veya dolaylı çekme deneyindeki yatay deformasyon.
Yüklü sürenin yani 1.3600 sn'nin sonundaki deformasyonlar.

7.5.2 Deney Sonuçları

Burada yapılan deneylerde kullanılan sıcaklık, yük miktarı ve diğer parametreler aşağıda verilmiştir.

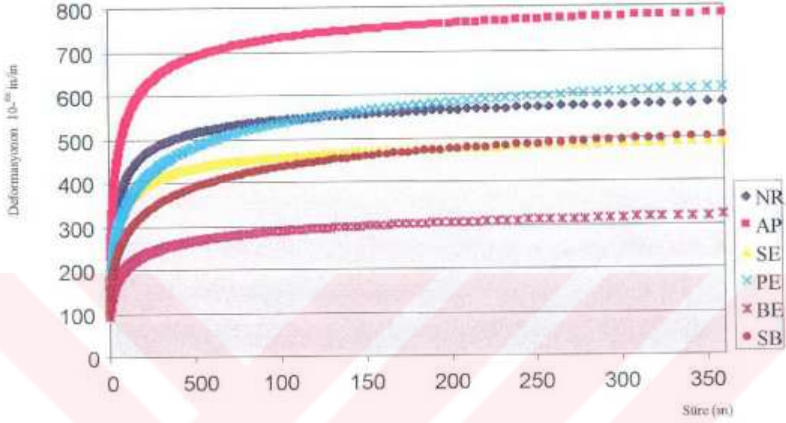
Deney sıcaklıkları	25 °C ve 40 °C
Yük uygulama süresi	3600 sn
Uygulanan basınç	425 kpa (0,4 mpa)

Kalıcı deformasyonların ağır yük altında ve yüksek sıcaklıklarda oluşum olasılığının fazla olmasından dolayı, deneyler 25 °C ve 40 °C'de 0,4 Mpa gibi yüksek bir yük altında yapılmıştır. Bu yük, özellikle ağır trafik altında yüksek sünme modülüne sahip SMA tip karışımlara göre seçilmiştir.

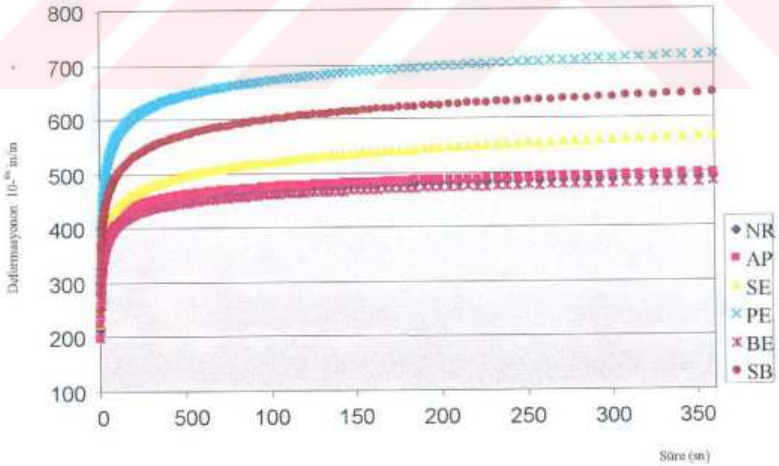
Statik sünme deney sonuçları Şekil 7.20 ve Şekil 7.21'de gösterilmiştir. Statik sünme sonuçları incelendiğinde 25 °C ve 40 °C en düşük ve en yüksek deformasyon veren katkı malzemeleri farklı olup, aynı zamanda deformasyonlar arasındaki farklar da dikkat çekmektedir.

Diğer deformasyon testlerinde (dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme deneyi, tekrarlı sünme, tekerlek izi) en iyi sonuçları veren SBS'li karışım ile kalıcı deformasyonlar için üretilmiş olan poliolefin katkılı karışım, statik sünme testinde aynı sonuçları vermemiştir. Valkering ve Vonk bu çalışmada bulunan değerler gibi çok değişken ve diğer deneyler ile uyumsuz sonuçlar (Valkering, 1992) bulurken, bazı araştırmacılar statik sünme testi ile tekerlek izi ve dolaylı çekme deneyi arasında bir ilişki olduğundan söz etmişlerdir (Zawadaki, J., 1997, Habib, S.A., 1997).

Statik sünme ile ilgili diğer bilgiler EK-D' de görülmektedir.



Şekil 7.20 Statik sünme deneyi zaman – deformatyon ilişkisi (25 °C)



Şekil 7.21 Statik sünme deneyi zaman – deformatyon ilişkisi (40 °C)

Şekiller incelendiğinde her iki sıcaklıkta en iyi sonucu yani en az deformasyonu BE ve normal (NR) verirken, diğerlerinin sıralaması çok değişkendir.

7.6 Tekrarlı Sünme Deneyi

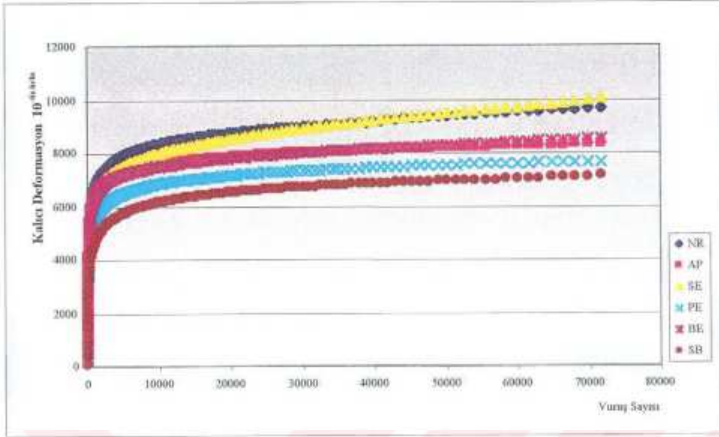
Tekrarlı sünme deneyi bitümlü karışımları plastik deformasyonlara karşı gösterdiği mukavemeti ölçmek için kullanılan en önemli deneylerden biridir. Deney düzeneği ve deformasyon ölçüm şekli statik sünme testinde olduğu gibidir. Ancak burada hareketli trafik yükünü temsil etmek için tekrarlı olarak yük uygulaması yapılmaktadır. Tekrarlı sünme deneyi özellikle katkı cinsleri arasındaki performans farkını göstermesi açısından çok önemli bir deney olup, plastik deformasyonlara karşı yüksek direnç gösteren SMA karışımlar için yapılan önemli testlerden biridir.

Tekrarlı sünme deneyi, plastik deformasyonların oluşma olasılığının fazla olduğu 25 °C ve 40 °C'de yapılmıştır. Deneyde vuruş periyodu 1000 ms, başlangıç yüklemesi 780 N (100 kpa) olarak belirlenmiş olup, test süresince uygulama yükü ortalama 1100 N (138 kpa) olarak alınmış ve test 20 saat boyunca sürmüştür (72.000 yük). 20 saatten sonra deformasyonlardaki artış oranı çok küçük kaldığı için, 20 saatlik bir yük uygulama süresi yeterli görülmüştür.

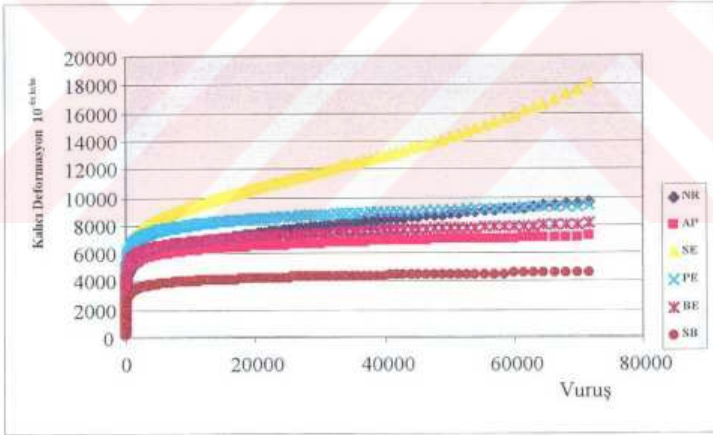
Daha önceki deneylerde olduğu gibi tekrarlı sünme deneyi de bir katkısız ve beş katkılı olmak üzere 6 farklı SMA karışımı üzerinde yapılmıştır.

60 °C için yapılan testlerde, numuneler çok kısa sürede bozulduğu ve performans incelenmesi için istenilen veri elde edilemediği için, bu sıcaklıkta yapılan deneyler değerlendirilememiştir.

Tekrarlı sünme deney sonuçları Şekil 7.22, 7.23'te gösterilmiştir. Şekil 7.22'de 25 °C'de bulunan deney sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, yük arttıkça bütün katkılarda deformasyonlarda önemli artışlar meydana geldiği açıktır. Şekil 7.23'te ise 40 °C'de oluşan deformasyonlar görülmektedir. Gerek 25 °C gerekse 40 °C'deki sonuçlar incelendiğinde, en az deformasyon değerine sahip karışım SBS'li karışımlar olup, daha sonra poliolefinli karışım ardından AP, BE gelmekte ve en fazla deformasyon veren karışımlar ise normal ve elyaflı karışım olmuştur. Özellikle elyaflı karışımlar, bu deneyde en yüksek deformasyonu vererek, yüksek sıcaklıklarda ağır taşıt trafiğine dirençli olmadıklarını göstermişlerdir. Tekrarlı sünme deneylerine ait detaylı sonuçlar Ek-E' de Çizelge Ek-E1 ve Çizelge Ek-E2'de verilmiştir.



Şekil 7.22 25 °C'de elde edilen tekrarlı sünme deformasyon sonuçları



Şekil 7.23 40 °C'de elde edilen tekrarlı sünme deformasyon sonuçları

7.7 Tekerlek İzi Deneyi

Bitümlü karışımlarda dingil yükleri altında meydana gelen kalıcı deformasyonları ve tekerlek izi oluşumunu göstermek için tekerlek izi deney aletleri geliştirilmiştir.

Laboratuvar ortamında karışımların tekerlek izi (rutting) açısından performanslarını bulmaya yarayan deney araçlarından dünyada en yaygın olarak kullanılanları

- LCPC, Köprüler ve Yollar Merkez Laboratuvarının (Fransa) geliştirdiği ölçüm cihazı;
- Almanya (Hamburg) tekerlek izi ölçüm cihazı;
- Transportation Research Laboratory test aleti;
- Amerikan Georgia tekerlek izi ve yorulma cihazı;
- Amerikan Purdue Üniversitesi tekerlek izi ölçüm cihazı;
- Güney Amerika MML53 test ekipmanı

olarak sıralanabilir (Cooley vd., 2000).

Bu test yöntemlerinin her biri farklı bir sistemde asfalt numuneleri üzerinde iz oluşturduğundan birbirlerinden farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin Almanya'da metal tekerlek kullanılırken İngiltere, Fransa ve Amerika'da lastik tekerlek kullanılmaktadır.

Türkiye'de LCPC Fransa Yollar Laboratuvarının geliştirdiği test cihazı KGM Araştırma Başmühendisliği tarafından kullanılmakta olup bu deney, bu cihazla ANKARA'da KGM Laboratuvarlarında yapılmıştır.

LCPC test cihazı ısı ayarlı ve tekerlek izi deneyinin yapıldığı ana ünite ile, sıkıştırma cihazı olmak üzere iki ayrı ekipmandan oluşmaktadır.

Şekil 7.24'de kumanda paneli ile birlikte ana ünite, Şekil 7.25'de ise bitümlü karışım malzemesinin sıkıştırıldığı sıkıştırma cihazı görülmektedir.



Şekil 7.24 LCPC tekerlek izi deney cihazı



Şekil 7.25 LCPC tekerlek izi deneyi için kullanılan sıkıştırma ekipmanı

Tekerlek izi deneyi Türkiye için yeni bir deney olup, aşağıda yapım şekli ve hesap yöntemi anlatılmaktadır.

LCPC deney ekipmanında numuneler, 500 mm uzunluğunda, 180 mm genişliğinde ve 100 mm kalınlığında hazırlanmaktadır. Test sıcaklığı 60 °C olup, test başlamadan 12 saat önce numuneler bu sıcaklıkta muhafaza edilmelidir. Her bir tekerlek 5000 N yük uygulayacak şekilde tasarım edilmiş olup, tekerleklerin lastik basıncı 0,6 Mpa (87 psi) olarak korunmalıdır.

Numuneler daha önce belirlenmiş bir sıkışma derecesine kadar sıkıştırılmalıdır. Burada numuneler SMA karışımlar için minimum arazi sıkışma değeri olan %98 yoğunluğa kadar Şekil 7.25'de görülen ekipmanda sıkıştırılmışlardır. Deney ortamı 60 °C'ye getirilmeden önce, numunelere 1000 devirlik bir ön sıkıştırma uygulanır. Daha sonra sıcaklık ayarlanarak ölçümler alınmaya başlanır. Ölçümler 100, 300, 1000, 3000, 10000, 30000 ve mümkünse 50000 ve 100000 devirlerde yapılır. Ölçümler yapıldıktan sonra tekerlek izinde oturma miktarları aşağıdaki gibi bulunur (Pavement Rutting Tester, 1989).

$$Y=A\left[\frac{N}{1000}\right]^B$$

Burada;

Y= N devirde oturma (TIO)

A= 1000 devirde oturma

B= Logaritmik koordinatlarda doğrusal hattın eğimi

Bu çalışmada, her bir karışım tipi için Marshall tasarımından bulunan maksimum yoğunluğun % 98'ne göre sıkıştırılmış numuneler üzerinde, KGM Araştırma Laboratuvarında tekerlek izi deneyleri yapılmış ve sonuçlar, Çizelge 7.6'da verilmiştir. Burada, her bir karışım için 500 mm x 180 mm x 100 mm boyutunda, iki adet numune hazırlanmış ve her iki numune sonucunun ortalama değerleri Çizelge 7.6'da gösterilmiştir.

Şekil 7.26'da ise bulunan tekerlek izinde oturma (TIO) sonuçları grafik olarak görülmektedir. Burada yatayda devir sayısı logaritmik olarak gösterilmiştir.

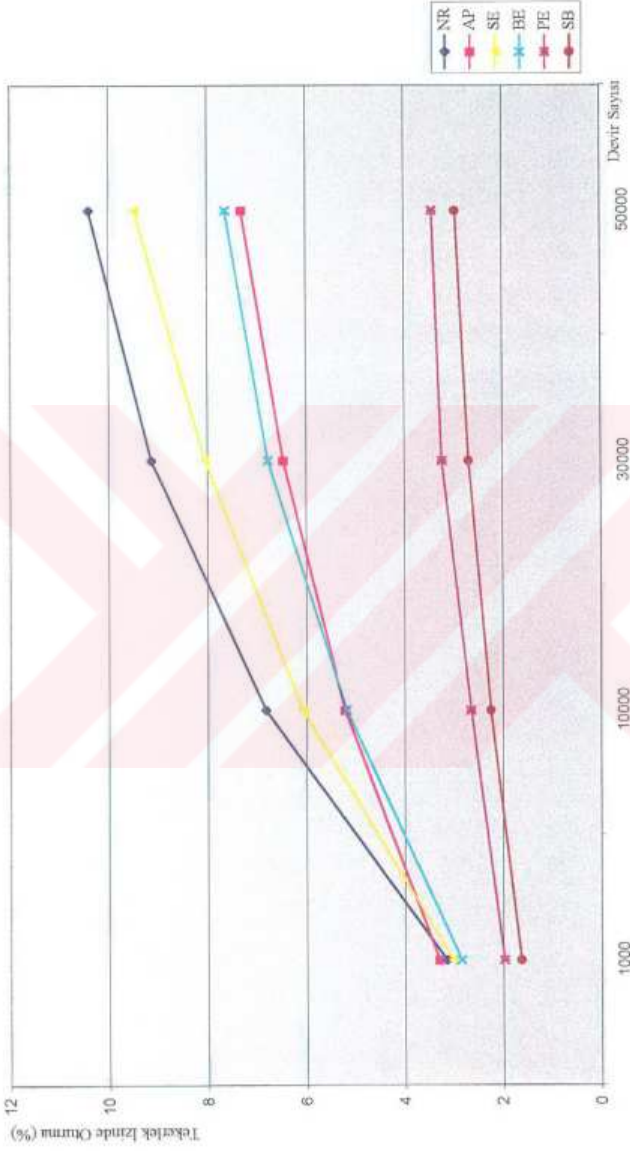
Tekerlek izinde genel olarak 30000 devirde bulunan oturma değeri kullanılmaktadır (KGM, SMA Taslak Şartnamesi, 1998).

Çizelge 7.6 incelendiğinde, 30000 devirde en iyi sonucu %2,69 ile SBS daha sonra %3,24 ile PE gelmektedir. Daha sonra benzer sonuçlar ile AP ve BE'li karışımlar gelmektedir (6,46 ve 6,77). Elyafı (SE) karışımın tekerlek izinde oturma yüzdesi 6,05, katkısız (NR) karışımda ise 9,14 bulunmuştur. SBS ve PE karışımlarda elde edilen 2,69 ve 3,24 değerleri oldukça düşük bir değer olup, bulunan optimum bitüm değerleri ile seçilen gradasyonun ve bağlayıcının isabetli olduğunu göstermektedir. Türkiye'de daha önce yapılan gerek SMA ve gerekse diğer karışımlarda ve optimum bitüm oranında bu kadar küçük oturma elde edilmemesi SBS (SB)'li, poliolefin (PE)'li, SMA karışımlarının mükemmel bir agrega kenetlemesi ve malzeme optimizasyonu gerçekleştirdiğini göstermektedir. Daha önce Türkiye'de yapılan çalışmalarda optimum bitümde bu kadar düşük tekerlek izinde oturma değeri bulunmamıştır (Önal, M.A., vd, 1998, Önal, M.A. vd, 2000). Benzer olarak Amerika'da Mogawer ve Stuart (1995, TRR 1492) burada bulunan tekerlek izi oturma değerlerinden çok yüksek sonuçlar bulmuştur.

Şekil 7.27'de ise, yapılan tekerlek izi deneylerinden sonra numunelerin durumu görülmektedir.

Çizelge 7.6 Tekerlek içinde oturma sonuçları

KARIŞIMLAR ÜZERİNDE YAPILAN TEKERLEK İZİNDE OTURMA DENEYLERİ SONUÇLARI							
KARIŞIM TİPİ	NR	AP	SE	BE	PE	SB	
Bitüm %'si	5,96	6,13	6,98	6,6	6,5	6,69	
Katki %'si	-	%6,0	%0,4	%0,6	%0,6	%5,0	
Dp	2,416	2,410	2,402	2,425	2,398	2,425	
1000	3,15	3,30	3,02	2,85	1,98	1,64	
3000	4,25	4,04	4,00	3,72	2,27	1,90	
5000	5,08	4,53	4,72	4,26	2,61	2,10	
10000	6,82	5,22	6,07	5,18	2,65	2,25	
30000	9,14	6,46	8,05	6,77	3,24	2,69	
50000	10,40	7,31	9,48	7,63	3,43	2,96	



Şekil 7.26 Karışımların tekerlek izinde oturma (TIO) sonuçları

KGM taslak şartnamesinde, tekerlek izinde oturma değeri 30.000 devirde en çok %6 olarak verilmiştir. Çalışmada kullanılan karışımlar içinde bu değeri aşan katkısız ve selülozik elyaflı karışım olmuştur. Polialfaolefin ve bitümlü elyaflı karışımlar sınırdaki kalmıştır. Ancak yurtdışında genel olarak kabul edilen sınır değeri %10 olduğu göz önüne alındığında katkısız karışımın dahi kullanılabilir durumda olduğu görölmektedir (Rioux, N., 1995; Cooley, vd. 2000).



şekil 7.27 Yapılan tekerlek izi deneyi sonucunda numunelerin görünümleri

Çizelge 7.7’de ise yapılan deneylere ait tüm test sonuçları görölmektedir.

Çizelge 7.7 Yapılan deneylere ait tüm test sonuçları

Katılı Cinsleri	NR (Katkısız)	AP (A.P.A.Olefin)	SE (S.Etyaf)	PE (P.Olelefin)	BE (B.Etyaf)	SB (SBS)	
Optimum Bitüm (%)	5,96	6,13	6,98	6,50	6,60	6,69	
Stabilite (Kg)	675	650	695	730	690	690	
Pratik Özgül Ağırlık (Dp) gr/cm ³	2,474	2,472	2,440	2,450	2,468	2,458	
Boşluk Yüzdesi (Vh)	4,20	4,10	3,90	4,40	3,60	3,80	
Akma (mm)	3,10	3,00	4,35	3,65	3,00	3,90	
Azaltılabilir Boşluk (%VD)	75,00	76,00	79,00	76,00	79,00	79,00	
Max. Teorik Özgül Ağırlık (D _t)	2,583	2,577	2,546	2,564	2,560	2,557	
Agregalar Arası Boşluk (%VMA)	16,95	17,20	18,60	18,14	17,64	18,00	
Dolaylı Çekme Deneyi	5 °C (pr)	7,830	9,883	10,311	10,426	10,620	10,021
	5 °C (E) Mpa	20059,9	15623,2	14844,2	14762,8	14472,1	15392,9
	25 °C (pr)	48,164	45,233	47,152	43,463	44,000	40,790
	25 °C (E) Mpa	3255,2	3436,0	3255,2	3496,8	3508,4	3765,4
	40 °C (pr)	220,310	176,692	213,972	198,630	206,734	158,618
	40 °C (E) Mpa	707,9	875,6	720,1	772,0	752,4	976,0
Dolaylı Çekme Mukavemeti (Kpa)	683	701	799	717	805	898	
Statik Sınır Deformasyonu (m.m.) 25 °C	1 sn	1187,5	1268	1113	1482	906	925
	3 sn	1563,5	1742	1446	1884	1091	1158
	10 sn	2241,5	2649	2025	2592	1414	1563
	30 sn	3084,5	3826	2707	3456	1832	2070
	100 sn	4097	5318	3503	4640	2411	2778
	1000 sn	5415	7293	4562	7012	3566	4337
	3600 sn	5778,5	7824	4890	7904	4073	5016
Statik Sınır Deformasyonu (m.m.) 40 °C	1 sn	2133	1973	2233	2585	1983	2503
	3 sn	2611	2431	2688	3186	2430	2982
	10 sn	3257	3096	3317	4086	3080	3668
	30 sn	3756	3660	3843	4900	3587	4284
	100 sn	4180	4160	4356	5672	4041	4942
	1000 sn	4702	4744	5195	6712	4592	5985
	3600 sn	4921	4964	5659	7159	4814	6437
Tekrarlı Sınır Deformasyonu (25 °C)	1. Vuruş	186	149	447	312	206	90
	3. Vuruş	638	553	1094	843	671	475
	10. Vuruş	1516	1353	1963	1624	1508	1132
	30. Vuruş	2597	2360	2840	2353	2555	1850
	100. Vuruş	4023	3746	3992	3272	3973	2719
	1000. Vuruş	6655	6316	6295	5345	6311	4542
	10000. Vuruş	8336	7570	7968	6827	7470	6137
	71706. Vuruş	9669	8301	10006	7653	8480	7115
Tekrarlı Sınır Deformasyonu (40 °C)	1. Vuruş	384	414	820	662	466	152
	3. Vuruş	864	919	1569	1407	979	456
	10. Vuruş	1692	1769	2764	2509	1881	969
	30. Vuruş	2596	2704	3953	3615	2886	1531
	100. Vuruş	3542	3749	5122	4782	4001	2191
	1000. Vuruş	5023	5171	6898	6599	5617	3221
	10000. Vuruş	6592	6128	9236	7977	6761	3954
	71706. Vuruş	9596	7139	17995	9331	8036	4517
Tekerlek İzinde Oturma (Rutting)	1000	3,15	3,30	3,02	1,98	2,85	1,64
	3000	4,25	4,04	4,00	2,27	3,72	1,90
	5000	5,08	4,53	4,72	2,61	4,26	2,10
	10000	6,82	5,22	6,07	2,65	5,18	2,25
	30000	9,14	6,46	8,05	3,24	6,77	2,69
	50000	10,40	7,31	9,48	3,43	7,63	2,96

7.8 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

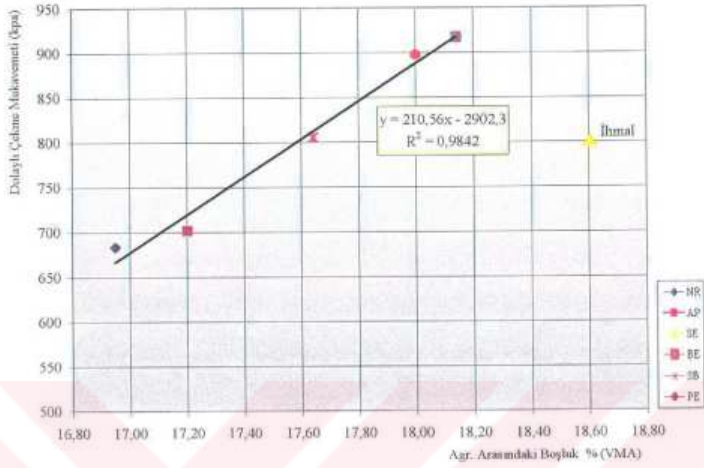
Daha önceki bölümlerde karışımların performansını ölçmek için yapılan deneyler ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Burada sonuçlar arasında ilişki kurularak karışımların performans değerlendirilmesi yapılacaktır.

Performanslar gruplandırılarak iki kategoriye ayrılmıştır. Birinci grup; Marshall Tasarımı, Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Dolaylı Çekme Deneyleri arasındaki ilişkiyi, ikinci grup ise Tekerlek İzi Deneyi ile Marshall Tasarımı, Dolaylı Çekme ve Sünme Deneyleri arasındaki ilişkileri kapsamaktadır.

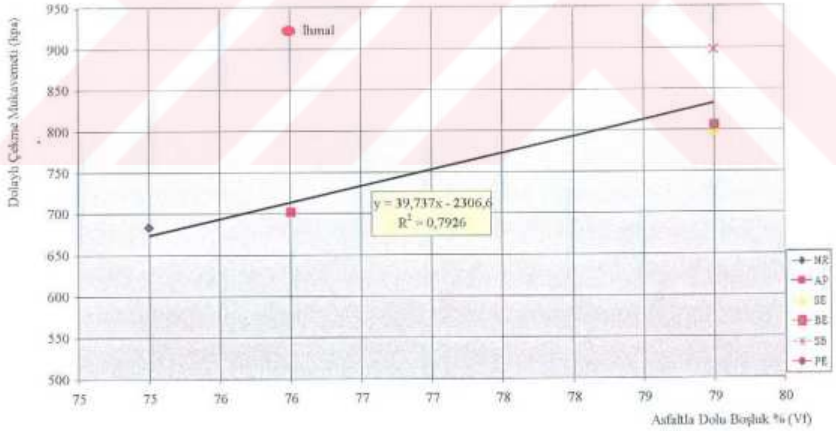
7.8.1 Birinci Gruba Dahil Deneylerin Değerlendirilmesi

Karışımların çekme ve basınç gerilmesine karşı gösterdikleri davranışların deneysel olarak bir göstergesi olan dolaylı çekme mukavemeti sonuçları incelendiğinde, bu sonuçların Marshall Deneyi, Dolaylı Çekme Deneyi ve Tekerlek İzi Deneyi sonuçları arasında ciddi bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır.

Şekil 7.28'de karışımların VMA değerleri ile dolaylı çekme mukavemetleri (DÇM) arasındaki ilişki, Şekil 7.29'da ise dolaylı çekme mukavemeti ile Vf arasındaki ilişki gösterilmiştir. Her iki şekil incelendiğinde, agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) ile DÇM arasında SE'li karışım dışarı alındığında doğrusal bir ilişkinin varlığı görülmektedir. Aynı durum asfalt ile dolu boşluk yüzdesi (Vf) incelendiğinde de geçerli olup, burada PE'li karışımlar haricinde doğrusal bir ilişki ortaya çıkmaktadır. Başka bir ifade ile VMA ve Vf'nin artması ile dolaylı çekme mukavemeti değeri de artmaktadır. Burada DÇM ile VMA arasında 0,9842'lik bir güvenilirlik ile $y = 210,56 x - 2902,3$ olarak tanımlanan bir bağıntı bulunmuştur. Benzer olarak DÇM ile Vf arasında da 0,7986 bir güvenilirlik ile $y = 39,737 x - 2306,60$ olan bir bağıntı bulunmuştur. DÇM ile Dolaylı Çekme Deneyi sonuçları arasında da bir dikkat çeken bir ilişki bulunmaktadır.

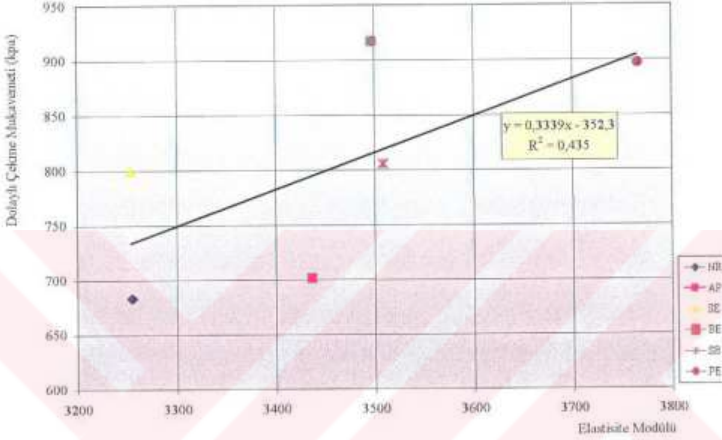


Şekil 7.28 Dolaylı çekme mukavemeti ile VMA arasındaki ilişki



Şekil 7.29 Dolaylı çekme mukavemeti ile Vf arasındaki ilişki

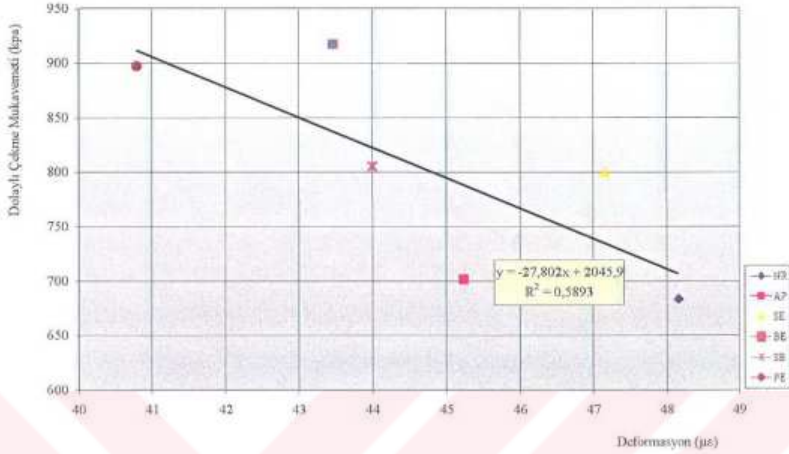
Şekil 7.30'da, 25°C'de 2000 periyot ve 60 ms'de bulunan elastisite modülü ile DÇM deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır. Burada ortalama bir değer olarak 2000 periyot ve 60 ms alınmış olup, diğer yükleme periyodu ve yükleme hızları arasında da benzer bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 7.30 (25 °C) DÇE modülü ile DÇM arasındaki ilişki

Şekil 7.30 incelendiğinde; elastisite modülü ile dolaylı çekme mukavemeti arasında yine doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Burada da elastisite modülü ile mukavemet arasında Lineer bir ilişki olduğu açıktır.

Benzer ilişki deformasyon ile DÇM arasında da görülmektedir (Şekil 7.31).

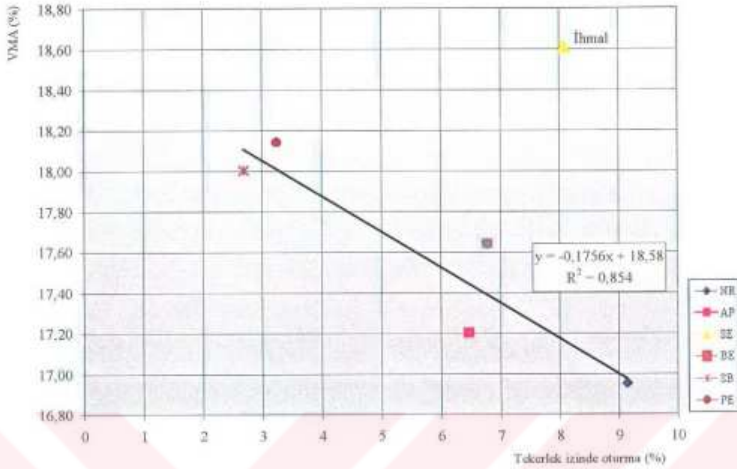


Şekil 7.31 (25 °C) DÇD ile DÇM arasındaki ilişki

7.8.2 İkinci Gruba Dahil Deneylerin Değerlendirilmesi

LCPC, Köprüler ve Yollar Merkez Laboratuvarının (Fransa) geliştirdiği tekerlek izi ölçüm cihazı ile yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler ile diğer deney sonuçları arasında ciddi bir ilişki olduğu görülmektedir.

Şekil 7.32'de VMA ile tekerlek izinde oturma (TIO) arasındaki ilişki görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, yüksek VMA'larda, TIO değerleri düşük, düşük VMA'larda ise TIO değerleri yüksek bulunmuştur.

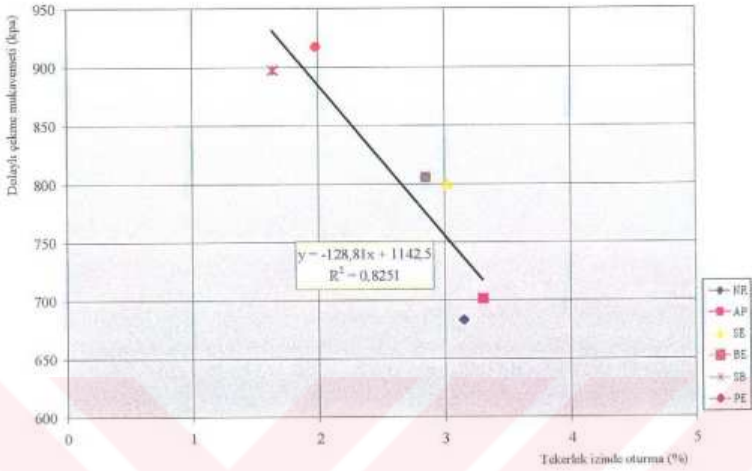


Şekil 7.32 VMA ile tekerlek izinde oturma (30.000 devir) arasındaki ilişki

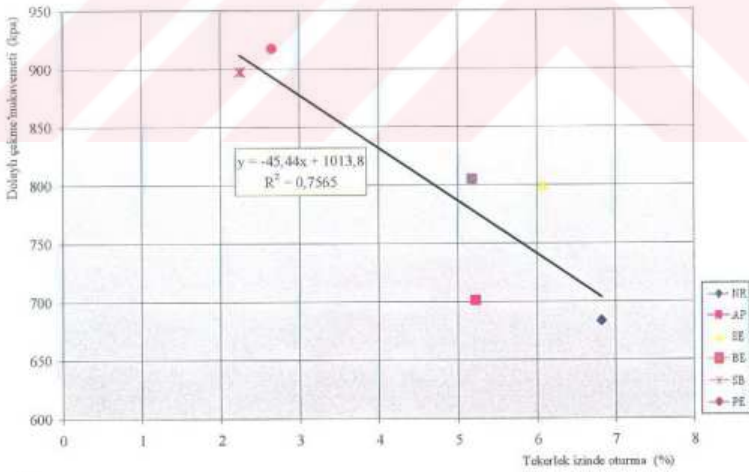
Şekil 7.33, 7.34 ve 7.35'de, 1000 devirde, 10.000 devirde ve 30.000 devirde bulunan TIO'lar ile DÇM arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Üç grafikten de görüldüğü gibi, karışımların dolaylı çekme mukavemetleri ile tekerlek izinde oturma arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Karışımların DÇM'si arttıkça, tekerlek izinde oturma değerleri düşmektedir. Bu ilişki özellikle 30.000 devirdeki test sonuçlarında açıkça görülmekte olup, AP'li karışımın verdiği sonuç dışında diğer tüm sonuçlar yüksek güvenilirlikte doğrusal bağıntıyı doğrulamaktadır ($y = a + bx$). Aşağıda TIO değerleri ile VMA ve DÇM arasında bulunan doğrusal ilişkilerin bağıntıları verilmiştir.

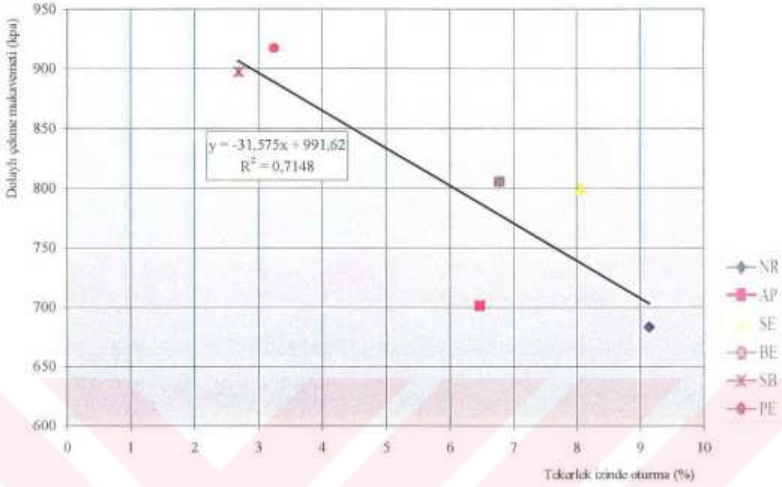
- TIO – VMA : $y = -0,1756x + 18,58$ ($R^2=0,854$)
- TIO (1.000) – DÇM : $y = -128,81x + 1142,5$ ($R^2=0,8251$)
- TIO (20.000) – DÇM : $y = -45,44x + 1013,8$ ($R^2=0,7565$)
- TIO (30.000) – DÇM : $y = -31,575x + 991,62$ ($R^2=0,7148$)



Şekil 7.33 DÇM ile tekerlek izinde oturma arasındaki ilişki (1000 devir)

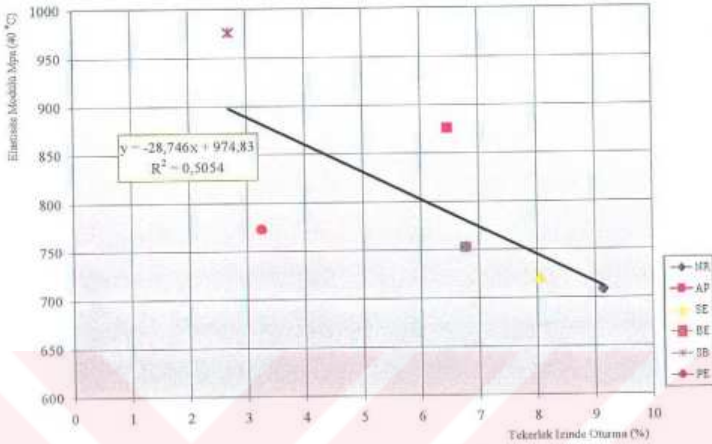


Şekil 7.34 DÇM ile tekerlek izinde oturma arasındaki ilişki (10.000 devir)



Şekil 7.35- DÇM ile tekerlek izinde oturma arasındaki ilişki (30.000 devir)

Tekerlek izi deney sonuçları ile dolaylı çekme deneyinde bulunan elastisite modülü arasında yine doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 7.36'da 40 °C'de elde edilen elastisite modülleri ile 30.000 devirde bulunan TİO değerlerinin bir karşılaştırılması görülmektedir. Burada 40 °C'de bulunan elastisite modülleri ile 30.000 devirdeki tekerlek izinde oturma değerleri arasında ciddi bir doğrusal ilişki mevcut olup, yüksek sıcaklıklarda yüksek elastisite modülüne sahip karışımların, yine yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olduklarının bir sonucu olduğu söylenebilir.

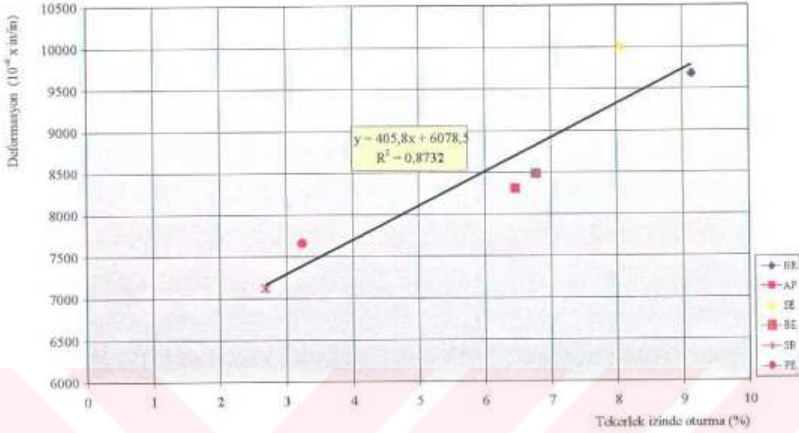


Şekil 7.36 40 °C'de bulunan elastisite modülü ile 30.000 devirdeki TIO değerlerinin karşılaştırılması

Tekerlek izi sonuçlarının diğer bir değerlendirilmesi ise tekrarlı sünme sonuçları ile yapılmıştır. Şekil 7.37'de 25 °C'de bulunan tekrarlı sünme sonuçları ile 30.000 devirde bulunan TIO değerleri karşılaştırılmıştır. Kalıcı deformasyonun ölçümü için kullanılan tekrarlı sünme deneyi ile yine kalıcı deformasyonun ölçümünde kullanılan tekerlek izi test sonuçları arasında çok uyumlu bir ilişki olduğu açıktır.

En düşük TIO değerini veren SBS'li karışımlardan her iki tekerlek sünme testinde, yine en küçük deformasyonu vermiştir. TIO deneyinde en yüksek oturmalara meydana geldiği katkısız ve selülozik fiberli karışımlarda, tekrarlı sünme test sonucunda yine en yüksek deformasyon değerleri ortaya çıkmıştır.

25 °C'de (Şekil 7.37) bulunan tekrarlı sünme ile TIO değerleri arasında $R^2=0,8732$ ve $y=405,8x+6078,5$ ile formüle edilen yakın bir ilişkinin bulunduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile tekerlek izinde elde edilen karışımların iyiden kötüye sıralanması, tekrarlı sünme de bulunan deformasyonların sıralanması ile iki karışım hariç aynı çıkmıştır.



Şekil 7.37 25 °C'de tekrarlı sünme deformasyon sonuçları ile 30.000 devirde bulunan TIO sonuçlarının karşılaştırılması

En düşük TIO değerini veren SBS'li karışımlar tekrarlı sünme testinde yine en küçük deformasyonu vermiştir. TIO deneyinde en yüksek oturmalara meydana geldiği katkısız ve selülozik fiberli karışımlarda tekrarlı sünme test sonucunda yine en yüksek deformasyon değerleri ortaya çıkmıştır.

Özellikle 25 °C'de (Şekil 7.37) bulunan tekrarlı sünme ile TIO değerleri arasında $R^2=0,90$ yakın bir ilişkinin bulunduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile tekerlek izinde elde edilen karışımların iyiden kötüye sıralaması, tekrarlı sünme de bulunan deformasyonların sıralaması ile iki karışım hariç aynı çıkmıştır.

Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, en güçlü ilişki Dolaylı Çekme Mukavemeti ile VMA arasında ($R^2=0,9842$) ve 25 °C Tekrarlı Sünme ve Tekerlek İzinde Oturma arasında bulunmuştur. Ayrıca Tekerlek İzinde Oturma ile VMA arasında ($R^2=0,654$) ve yine Tekerlek İzinde Oturma ile Dolaylı Çekme Mukavemeti arasında çok güçlü ilişki olduğu yapılan deneylerden anlaşılmaktadır.

8. TEKERLEK İZİ TAHMİN MODELİNİN KURULMASI

Son yıllarda artan ağır taşıt trafiği ve dingil yüklerine bağlı olarak gerek şehir içlerinde gerekse şehirler arası yollarda tekerlek izi oluşumu ciddi bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı tekerlek izi oluşumu bozulma kriterleri arasında çok önemli bir yere sahiptir ve bu değerin belli bir limiti aşması durumunda yol bozulmuş olarak kabul edilir. SMA karışımlar gibi tekerlek izi oluşumuna karşı geliştirilen karışımların hizmet ömürleri doğrudan doğruya kaplamada oluşacak tekerlek izlerine bağlıdır. Bu yüzden SMA karışımların tekrarlı yükler altında tekerlek izi oluşum miktarını gösteren bir model yardımıyla tahmin etmekle, karışımın hizmet ömrü ve servis düzeyi de ortaya çıkmaktadır.

Bu bölümde çalışmada kullanılan deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılarak, katli regresyon yöntemi ile bir model geliştirilmiştir.

8.1. Literatürde Yer Alan Tekerlek İzi Tahmin Modelleri

Tekerlek izi tahmini için yapılan bir çok araştırmada farklı tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Shell Modeli (Loo, 1992)

Shell modeli hizmet ömrü sonundaki trafiğin oluşturacağı tekerlek izini, karışımın sünme deneylerinden elde edilen rijitlik modülü ile bitümün rijitlik modülünü kullanarak tahmin etmeye çalışmaktadır.

Tekerlek izi tahmini, aynı zamanda bitümlü tabakanın kalınlığı, ortalama gerilme ve karışımın rijitlik modülüne bağlıdır. Yükün dinamik hareketinin temsili için 1 ile 2 arasında değişen bir katsayı kullanılmaktadır.

Burada tekerlek izi derinliği aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\Delta h = C \cdot h \frac{\sigma_{av}}{S_m}$$

C : Dinamik etki için düzeltme faktörü.

h : Bitümlü tabakanın kalınlığı.

σ_{av} : Standart dingil yükü altında oluşan ve sıcaklığa göre değişen gerilme.

S_m : Karışımın rijitlik modülü.

Belçika Yol Araştırma Merkezi Modeli (Verstraeten, 1995)

Burada tasarım ömrü boyunca geçecek trafik, standart dingil yüküne çevrilerek bulunmakta ve modelde en sıcak mevsim göz önüne alınmaktadır.

Tekerlek izi oluşumu ile hizmet ömrü veya diğer bir ifade ile geçecek taşıt sayısı arasındaki ilişki aynı zamanda temel tabakalarının kalınlığına da bağlıdır. Çizelge 8.1'de tahmin edilen tekerlek izi derinliği ile bu tekerlek izi oluşumu için geçecek ağır taşıt sayıları görülmektedir. (Verstraeten, 1992).

Çizelge 8.1 Ağır taşıt trafik hacmine göre tahmin edilen tekerlek izi değerleri (mm).

	Temel Kalınlığı (cm)	Ağır Taşıt Cinsinden Hizmet Ömrü			
		$N_c = 5 \times 10^4$	$N_c = 5 \times 10^5$	$N_c = 5 \times 10^6$	$N_c = 5 \times 10^7$
Esnek Üstyapı	10	8	10,3	10,8	13,6
	20	5,5	7,7	9	12,2
	40	3,8	5,5	6,4	8,8
Yarı Esnek Üstyapı	10	3,7	4,4	6,7	12,6
	20	2,8	3,7	5,6	8,7
	40	1,6	3,4	3,6	6,5

Tüm yol kesiti için kalıcı deformasyon aşağıdaki şekilde bulunmaktadır.

$$D = \sum \Delta h_i f_i(N)$$

Burada D; toplam kalıcı deformasyonu, Δh_i ; her tabaka için oluşan deformasyon olup, Odemark yaklaşım yöntemi veya elastik çoklu tabaka yöntemi ile hesap edilmektedir. Bu model için kullanılan ve malzemelerin ortalama mekanik özelliklerini gösteren değerler Çizelge 8.2'de görülmektedir.

Çizelge 8.2 Tabakaların ortalama mekanik özellikleri (Belçika Modeli)

Malzeme	f(N)	Modül (Mpa)
Bitümlü bağlayıcı tabakalar	$4,49 N^{0,25}$	5000
Kırmataş temel	$h < 12 \text{ cm ise } 2N^{0,3}$ $h > 12 \text{ cm ise } 2N^{0,2}$	500
Granüler alttemel	$2N^{0,3}$	200
Yol tabanı	$1+0,7 \log N$	Parametre olarak 5,10,20,40

Von Quintus Model (NCHRP Report, 338, 1991)

Bu modelde kalıcı deformasyon aşağıda şekilde verilmektedir.

$$\text{Log } \varepsilon_p = \text{log } A + m * \text{log } N$$

ε_p = Kalıcı deformasyon

N = Tekrarlı yük adedi

A, m = Regresyon sabitleri

A ve m sabitleri statik sünme testinden bulunmuş ve aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir.

$$A = a * (t_1)^{m_c} - \epsilon_{rt}$$

$$m = \frac{\log_a + 3,5563 * m_c + \log(1-x) - \log [a * (0,1)^{m_c} - \epsilon_{rt}]}{4,5563}$$

m_c = Statik sünme eğrisinin doğru olduğu kesimdeki eğimi.

a = Sünme – zaman eğrisinin 1. saniyesindeki sünme deformasyonu miktarı.

t_1 = Yükleme süresi (sn) ϵ_{rt} = Tekrarlı sünme deneylerinde oluşan toplam geriye dönen deformasyon.

x = Geri dönme yeteneğidir.

Zahw vd.'lerinin Geliştirdiği Model (Habip ve Zahw, 1997)

Bu model, kaplamanın çekme ve kesme mukavemetlerine bağlı olarak geliştirilen bir yöntemdir.

$$\text{Tekerlek İzi} = 61,525 - 50,695 \text{ Ab} - 0,0226 \text{ Visc} - 0,315 \text{ Comp} + 23,562 \text{ St} - 11,688 \text{ Ts}$$

Burada;

Ab : Kaba agreganın su absorpsiyonu,

Visc : Karşımda kullanılan asfalt çimentosunun kinematik viskozitesi (santistok),

Comp : Sıkıştırma enerjisi, darbe sayısı,

St : Uygulanan gerilme, Mpa,

Ts : Dolaylı çekme mukavemeti, Mpa.,

Fernando, vd. (1997) Modeli

Burada;

Tekerlek izi derinliği : 279 x (kümülatif kesme deformasyonu) olarak verilmiştir. Burada deformasyon ölçümleri sabit yükseklikte tekrarlı basit kayma deneyinden (repetitive simple shear at constant height RSS-CH) bulunmuştur.

Yük tekrarına bağlı olarak yukarıda verilen tekerlek izi derinliği için bulunacak eşdeğer dingil yükü ise;

$\log_{10}(\text{RSS} - \text{HT test yük tekrarı}) = -4,36 + 1,24 \log_{10}(\text{ESAL})$ olarak verilmektedir. Burada ESAL, 8,2 ton eşdeğer dingil yükünü göstermektedir.

Saraf vd. (1976) ise

152 mm'den daha az kalınlıktaki kaplamalarda;

$\log \text{RR} = -5,617 + 4,343 \log d - 0,167 \log (N_{18}) - 1,118 \log \sigma_c$ ve 152 mm'den daha fazla kalınlıklardaki kaplamalarda ise;

$\log \text{RR} = -1,173 + 0,717 \log d - 0,658 \log (N_{18}) + 0,666 \log \sigma_c$ formüllerini geliştirmiştir.

Burada;

RR : Tekerlek izi oranı = 25,4 nm (1×10^{-6} in) / tekerrür,

d : Yüzey defleksiyonu = 25,4 μm (1×10^{-3} in)

N_{18} : 8,2 tonluk (18.000 pound) dingil yükünü

σ_c : Düşey basınç gerilmesi = 6,9 kpa

8.2. Tekerlek İzi Tahmin Modelinin Kurulması

Bu çalışmada, Tekerlek İzi (LCPC, Fransız Yollar Laboratuvarı Tekerlek İzi Ekipmanı) Statik Sünme, Tekrarlı Sünme, Dolaylı Çekme Deneyi ve Dolaylı Çekme Mukavemeti ve Marshall Tasarımı deneylerinin sonuçlarından yararlanılarak, farklı katkı malzemeleri ile hazırlanmış olan SMA karışımlarına ait değerlendirme yapılmaktadır. Bu çalışma sonucunda Tekerlek İzi Deneyi yapılmaksızın SMA karışımlarının tekerlek izi oluşumu performansları değerlendirilmektedir.

8.2.1 LCPC Tekerlek İzi Deneylerinden Elde Edilen

Tekerlek İzi Oluşum Eğrileri Modellerinin Geliştirilmesi

Tekrarlı dingil yükleri altında asfalt betonu karışımına ait yük tekrür sayısı ile tekerlek izi arasındaki ilişkiyi gösteren eğrinin denklemini tahmin etmek amacıyla, farklı katkı malzemeleri kullanılarak hazırlanmış olan SMA karışımlarına uygulanan; yukarıda isimleri geçen deney sonuçlarından yararlanılarak bir model kurulmuştur.

Hazırlanan karışımlara tekrarlı yükler nedeniyle oluşan tekerlek izi oranı ile yük tekrürü arasındaki ilişki Şekil 8.1'de gösterilmiştir. Şekil 8.1'in incelenmesinden de görülebileceği gibi yük tekrürü-tekerlek izi oranı arasında;

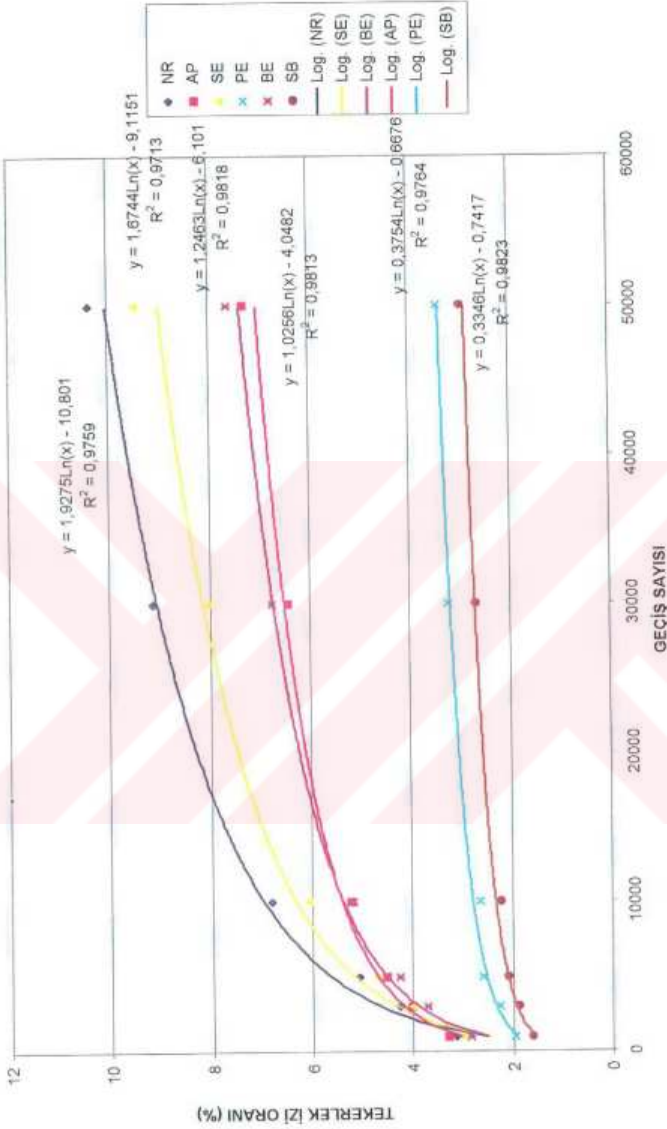
ϵ_p : Tekerlek İzi Oranı

N : Yük tekrür sayısı

A, B : Sabitler olmak üzere,

$$\epsilon_p = A * \ln(N) - B$$

şeklinde bir matematiksel ilişkinin var olduğu görülmektedir. Bu bağlamda yer alan A ve B katsayılarının belirlenmesi için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda elde edilen A ve B katsayıları ve yapılan regresyon analizi çalışmasının deneyden bulunan değerleri ne derecede doğru yansıttığı hakkında fikir veren Korelasyon Katsayıları Çizelge 8.3'de verilmiştir.



Şekil 8.1 Yük Tekerrürü – Tekerlek İz Oranı İlişkisi

Çizelge 8.3 Yük tekerrür sayısı-tekerlek izinde oturma regresyon analizi sonuçları

SMA KARIŞIMI	Regresyon Katsayıları		Korelasyon Kts.
	A	B	R ²
NR	1,9275	10,801	0,9759
AP	1,0256	4,0482	0,9713
SE	1,6744	9,1151	0,9818
PE	0,3754	0,6676	0,9813
BE	1,2463	6,1010	0,9764
SB	0,3346	0,7417	0,9823

Çizelge 8.3 ve Şekil 8.1'den de görüleceği gibi yük tekerrürü ile TIO arasında yeteri derecede yakın bir ilişki bulunmaktadır.

8.2.2 TekerteK İzi Tahmin Modelinin Kurulması

Yukarıda verilen bağıntı ile deneylerde kullanılan bazı karışım değişkenleri arasındaki ilişkiyi bulmak amacıyla kullanılan bağımsız değişkenler Çizelge 8.4'de verilmiştir.

Çizelgede gösterilen bağımsız değişkenler aşağıda verilmiştir.

- DÇM : Dolaylı çekme mukavemeti
- DÇD 5 : 5 °C'de dolaylı çekme deneyi
- DÇD25 : 25 °C'de dolaylı çekme deneyi
- DÇD 40 : 40 °C'de dolaylı çekme deneyi
- SSD 25 : 25 °C'de statik sünme deneyi
- SSD 40 : 40 °C'de statik sünme deneyi
- TSD 25 : 25 °C'de tekrarlı sünme deneyi
- TSD 40 : 40 °C'de tekrarlı sünme deneyi
- VMA : Agregalar arası boşluk oranı

Çizelge 8.4. Model çalışmasında kullanılan bağımsız değişkenler

SMA KARIŞIMI	DÇM (Kpa)	DÇD5 (Mpa)	DÇD25 (Mpa)	DÇD40 (Mpa)	SSD25 (in./in.)	SSD40 (in./in.)	TSD25 (in./in.)	TSD40 (in./in.)	VMA (%)
NR	683	20059	3255	708	5179	4921	9669	7596	16,95
AP	701	15623	3436	876	7824	4964	8301	7139	17,2
SE	799	14844	3253	720	4890	5659	10006	17995	18,6
PE	917	14763	3497	772	7904	7159	7653	9331	18,14
BE	805	14472	3508	752	4073	4814	8480	8036	17,61
SB	898	15393	3765	976	5016	6437	7115	4517	18,0

Ayrıca, çalışmada kullanılan değişkenlere ait korelasyon matrisi de Çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8.5 Korelasyon Matrisi

	DÇM	DÇD5	DÇD25	DÇD40	SSD25	SSD40	TSD25	TSD40	VMA
DÇM	1,00								
DÇD5	0,64	1,00							
DÇD25	0,66	0,45	1,00						
DÇD40	0,25	0,28	0,84	1,00					
SSD25	0,05	0,05	0,06	0,13	1,00				
SSD40	0,87	0,37	0,46	0,30	0,34	1,00			
TSD25	0,65	0,43	0,93	0,79	0,28	0,57	1,00		
TSD40	0,14	0,07	0,76	0,70	0,17	0,06	0,80	1,00	
VMA	0,73	0,69	0,52	0,008	0,21	0,63	0,06	0,52	1,00
A	0,78	0,56	0,86	0,73	0,35	0,75	0,96	0,59	0,31
B	0,74	0,58	0,85	0,73	0,40	0,71	0,96	0,60	0,27

Model çalışmasında STORM paket programından yararlanılarak katlı regresyon analizi yapılmıştır. Katlı regresyon analizinde, bağımlı değişkenler olan A ve B ile bağımsız değişkenler arasında;

$$A = f(\text{DÇM}, \text{DÇD5}, \text{DÇD25}, \text{DÇD40}, \text{SSD25}, \text{SSD40}, \text{TSD25}, \text{TSD40}, \text{VMA})$$

$$B = f(\text{DÇM}, \text{DÇD5}, \text{DÇD25}, \text{DÇD40}, \text{SSD25}, \text{SSD40}, \text{TSD25}, \text{TSD40}, \text{VMA})$$

gibi bir ilişkinin olduğu kabul edilmiştir. Yapılan regrasyon analizi sonucunda ise;

$$A = f(\text{TSD25}, \text{SSD40})$$

$$B = f(\text{DÇM}, \text{SSD25}, \text{TSD25}, \text{TSD40})$$

şeklinde olduğu bulunmuştur. Bu sonuca göre, A ve B katsayılarına ait denklemler;

$$A = -1,597552 + (0,456 * \text{TSD25} - 0,2115 * \text{SSD40}) * 10^{-3}$$

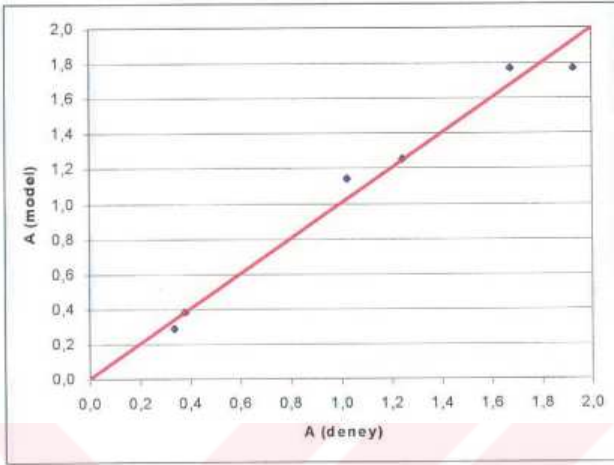
$$B = -42,64181 + (7,116 * \text{DÇM} + 5,697 * \text{TSD25} - 0,55 * \text{TSD40} - 0,212 * \text{SSD25}) * 10^{-3}$$

olarak bulunmuş olup,

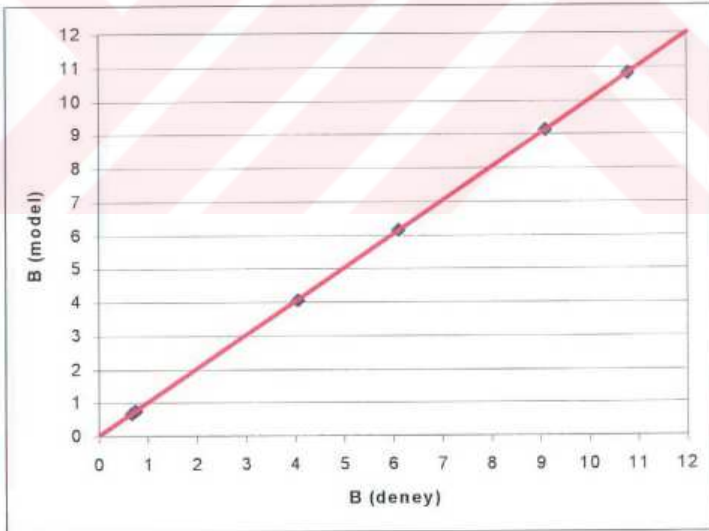
A : Tekerlek İzi Oranı -Yük tekerrürü ilişkisi çarpan katsayısı

B : Tekerlek İzi Oranı -Yük tekerrürü ilişkisi sabitidir.

Korelasyon katsayıları ise A için $r^2=0,97$ ve B için ise $r^2=0,99$ olarak bulunmuştur. Yapılan değerlendirmelerden modelden hesaplanan ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen A ve B katsayılarının uygunluğunu göstermek amacıyla Şekil 8.2 ve Şekil 8.3 çizilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi modelden bulunan değerler ile gerçek değerler arasında çok yüksek bir ilişki bulunmaktadır. Şekillerde görülen ve her iki köşeyi birleştiren diyagonal çizgiden sapmalar, modelin güvenilirliğini gösterme olup, özellikle 0,99 güvenilirliğe sahip B değerlerinde hiç sapma olmaması beklenen bir durumdur.



Şekil 8.2 Model ve deneyden bulunan A değerleri arasındaki ilişki



Şekil 8.3 Model ve deneyden bulunan B değerleri arasındaki ilişki

Modelden hesaplanan ve deneylerden bulunan A ve B katsayıları Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Çizelge 8.6 Regresyon ve Deneyden Bulunan A ve B Katsayıları

	A		B	
	DENEY	MODEL	DENEY	MODEL
NR	1,9275	1,7707	10,801	10,7998
AP	1,0256	1,1378	4,0482	4,0522
SE	1,6744	1,7683	9,1151	9,1141
PE	0,3754	0,3781	0,6676	0,675
BE	1,2463	1,2512	6,101	6,1139
SB	0,3346	0,2858	0,7417	0,7348

Aşağıda kurulan model kullanılarak tekrarlı yüklere göre bir tekerlek izinde oturma tahmin örneği verilmiştir.

Örnek olarak bir adet SMA karışımına ait Marshall tasarım sonuçları ile diğer test sonuçları aşağıda verilen değerler olduğu kabul edilerek;

SMA KARIŞIMI NO	DÇM Kpa	DÇD5 Mpa	DÇD25 Mpa	DÇD40 Mpa	SSD25 in/in	SSD40 in/in	TSD25 in/in	TSD40 in/in	VMA (%)
No.1	788	14,700	3.130	735	7.850	5.740	9.880	15.300	17,8

Kurulan modelde;

$\epsilon_p = A * \ln(N) - B$ bağıntısına göre;

$$A = -1,597552 + (0,456 \times \text{TSD25} - 0,2115 * \text{SSD40}) * 10^{-3}$$

$$B = -42,64181 + (7,116 \times \text{DÇM} + 5,697 * \text{TSD25} - 0,55 * \text{TSD40} - 0,212 * \text{SSD25}) * 10^{-3}$$

olup bu durumda ϵ_p bağıntısı;

$$\epsilon_p = 1,694 \times (\ln N) - 9,173 \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Model parametreler kullanılarak tekerrür sayılarına göre bulunan Tekerlek İzinde Oturma değerleri aşağıda verilmiştir.

SMA KARIŞIM NO	GEÇİŞ SAYISI					
	1.000	3.000	5.000	10.000	30.000	50.000
NO.1	2,527	4,388	5,25	6,42	8,29	9,15

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu doktora tez çalışmasında; Türkiye’de henüz sadece deneme çalışmaları yapılan, ancak Avrupa’da son 10 yıldır kullanılan taş mastik asfalt (SMA) karışımlar araştırılmış, 5 ayrı katkı malzemesi ve katkısız olarak hazırlanan 6 tip karışım üzerinde 7 farklı performans deneyi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar yardımıyla, tekerrür sayısına bağlı bir tekerlek izi tahmin modeli kurulmuştur. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1- Karışımlarda kullanılan Amorf Polialfaolefin (AP), selülozik elyaf (SE), poliolefin (PE), bitümlü selülozik elyaf (BE) ve stiren – bütadiyen – stiren, SBS (SB) katkıları karışımında homojen olarak dağılmış ve kullanılan hiçbir katkıda, topaklanma ve karışma zorluğu ortaya çıkmamıştır. Kullanılan bitümlü bağlayıcı ve SBS karışımı üzerinde yapılan deney sonucunda, homojen dağılım, mikroskop yardımı ile çekilen fotoğraf ile saptanmış ve modifiye edilmiş bağlayıcının, Karayolları Modifiye Bitüm Şartnamesinde verilen Tip 3’e uygun olduğu görülmüştür.

2- Marshall tasarımı sonucunda bulunan optimum bitüm oranlarında, en yüksek bitüm oranı, selülozik elyaf ile yapılan karışımında elde edilmiştir. Özgül yüzey alanları oldukça büyük olan ve doğal olarak bitüm gereksinimi fazla olan elyaf karışımların yüksek optimum bitüm oranlarına sahip olması beklenen bir sonuçtur.

SMA kaplamalar için önemli bir parametre olan VMA değeri ise, tüm karışımlarda %17 değerine ulaşmış ve bazı karışımlarda %18,60’a kadar yükselmiştir. Birçok şartnamede sınır değeri olarak verilen %17 değerini, katkısız (NR) karışımlar dahil, sağlamış ve karışımın bünyesinde bağlayıcı için yeterli boşluk olduğu ortaya çıkmıştır.

3- Boşluk yüzdesi, değeri en düşük sınır değerlerini veren Alman Şartnamesi’ni dahi sağlayarak, SE’li karışımlar hariç diğer karışımlarda %3-4 arasında kalmıştır.

4- SMA karışımlarda, üretim taşıma ve serme sırasında bitümün süzülmesi ve belli bölgelerde birikmesi ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmasına rağmen bu çalışmada iki farklı yöntemle göre yapılan bitüm süzülme deney sonuçlarına göre; hiçbir karışım %0.3 olan sınır değerine

yaklaşmamış ve karışımların bu açıdan uygulanabilirliğinin bir problem teşkil etmeyeceği görülmüştür.

5- Dolaylı çekme deneyi sonuçlarına göre; katkısız karışımlar 5 °C'de diğer karışımlara göre; %35 oranında yüksek bir elastisite modülüne sahip olarak, çatlak oluşumuna karşı daha az dirençli olduklarını göstermişlerdir. 40 °C'de ise, en yüksek elastisite modülüne SBS'li karışımlar ulaşmış ve yüksek sıcaklıklarda, çatlak oluşumuna en dirençli karışımlar olarak bulunmuşlardır. Ancak tüm karışımların elastisite modülleri, her sıcaklık için Asphalt Aggregate (1991)'de verilen sınır değerleri arasında kalmıştır (Mixture Analysis System (AAMAS), NLHRP Report 338).

6- Daha önceki çalışmalarda bulunduğu gibi, yükleme aralığında veya trafik yoğunluğundaki değişime; elastisite modüllerinde her sıcaklık için en fazla %8'e kadar çıktığı halde, yükleme hızında değişime; elastisite modüllerinde özellikle 25°C ve 40°C'de; %25'e varan farklara neden olmaktadır. Diğer bir ifade ile trafik yoğunluğu karışımların elastisite modülleri üzerinde ciddi bir farklılığa neden olmazken trafik hızı elastisite modüllerini %25'e kadar değiştirmektedir.

7- Tekrarlı sünme deneyi sonunda; en düşük deformasyonu SBS'li karışımlar verirken, en yüksek deformasyonlar selülozik elyaf'lı karışımda bulunmuştur. 25 °C ve 40 °C yapılan tekrarlı sünme sonuçlarında, katkılarının performans sıralamasında ciddi bir değişiklik ortaya çıkmamıştır.

8- Karayolları Genel Müdürlüğü Merkez Laboratuvarında yapılan tekerlek izinde oturma (TIO) deneyleri sonunda, beklenildiği gibi en iyi sonuçlar SBS'li karışım ile, tekerlek izinin oluşmasını engellemek amacı ile geliştirilen PE'li karışımlarda bulunmuştur. Bulunan 2,69 – 3,24 değerleri çok düşük değerler olup, Türkiye'de yapılan denemelerde bulunan en iyi oturma değerleridir. Yani, SBS ve PE katkıları ile üretilen SMA karışımlar diğer karışımlara göre hizmet ömürleri daha uzun, servis düzeyleri ise daha yüksektir.

9- Genel olarak test sonuçlarının değerlendirilmesinde; dolaylı çekme mukavemeti sonuçları ile VMA ve Vf arasında ciddi bir ilişkinin varlığı ortaya çıkmaktadır. Aynı ilişki 25 °C'de bulunan dolaylı çekme deneyi ile de görülmektedir. Diğer bir ifade ile dolaylı çekme mukavemeti arttıkça VMA, Vf ve elastisite modülleri de lineer olarak artmaktadır.

10- Benzer olarak tekerlek izinde oturma deneyi sonucunda bulunan değerler ile VMA, dolaylı çekme mukavemeti ve tekrarlı sünme deneyleri arasında çok ciddi bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tekerlek izinde oturma değeri arttıkça, VMA değeri düşmekte ve benzer olarak dolaylı çekme mukavemeti değerleri de azalmaktadır. Ayrıca gerek 25 °C'de ve gerekse 40 °C'de yapılan tekrarlı sünme test sonuçlarına göre, sünme deformasyon değerleri ile tekerlek izi oturma sonuçları arasında doğrusal bir ilişki bulunmakta, sünme deformasyonu arttıkça, tekerlek izinde oturma değeri de artmaktadır.

11- Yapılan bütün deneylerden sonra karışımlar içinde en iyi performansı, dolaylı çekme deneyleri sonucunda bulunan elastisite modülleri, sünme deneyleri deformasyon sonuçları ve tekerlek izinde oturma sonuçlarına göre SBS'li karışımlar göstermiştir. Diğer karışımlar farklı deneylerde birbirlerine göre üstünlük sağlamışlar ise de, SMA'lar için en önemli kriter olan tekerlek izinde oturma değerini SBS'li karışımdan sonra PE'li karışım vermiştir.

12- Tüm bu deney sonuçları kullanılarak, tekerrür yüklerine göre bir tekerlek izi tahmini modeli yüksek bir güvenilirlik ile geliştirilmiştir. Böylece tekerlek izi deneyini yapmadan, diğer performans deneyleri kullanılarak tüm SMA karışımlar için yük tekerrürüne bağlı olarak %98 güvenilirlikle tekerlek izi hesaplanabilecektir.

Sonuç olarak, Avrupa ve Amerika'da tekerlek izi oluşumuna karşı geleneksel asfalt kaplamalara alternatif karışımlar geliştirilmiştir. Ülkemizde de artan ağır taşıt trafiği, projelendirmede ve uygulamada yapılan hatalar geleneksel kaplamaların performansları üzerinde olumsuz etki yapmakta ve bu tip kaplamalar beklenen hizmet ömründen çok daha önce bozulmaktadır. Bu doktora çalışmasında ayrıntılı olarak incelenen SMA karışımlarının kullanılmasının yaygınlaştırılması, taslak halinde olan KGM'nin ilgili standardının netleştirilmesi, yollarımızdaki hizmet ömrünü artırarak ekonomik katkı sağlayacağı, yol güvenliği ve görüş konforunu artıracığı tahmin edilmektedir. Bundan sonra; Amerika'da tekerlek izi oluşumuna karşı geliştirilen Büyük Kırmataşlı Karışımlar (Large Stone Mixes) ile Avrupa'da kullanılan ince kaplamaların (Thin Courses) Türkiye'de uygulanabilirliğinin araştırılması ve detaylı ekonomik analizler içeren çalışmaların yapılması, ülkemizde bu konuda atılmış önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

Ali, N., Chan, J., S. S., Hozyen, H., Bushman, R. (1994), "Mechanistic Evaluation of Stone Matrix Asphalt Concrete Mixtures", Mechanistic Evaluation of Stone Matrix Asphalt, 508-523.

ASTMD 4123-82, "Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures".

Birlikler, R.Y., (1998), "Bitümlü Karışımlara Eklenebilecek Katkılar ile Bu Tip Bitümlü Karışımların Davranışlarının Araştırılması ve Bir Yorulma Eğrisi Tahmini Modeli", Doktora Tezi, İstanbul.

Brown, E. R., Haddock, J. E., Crawford C., (1995), "Investigation of Stone Matrix Asphalt Mortars", Transportation Research Record 1530, 95-102.

Brown, E. R., (1992), "Experience with Stone Matrix Asphalt in the United States", National Asphalt Pavement Association.

Brown, E. R., Haddock, J. E., (1997) "A Method to Ensure Stone-On-Stone Contact in Stone Matrix Asphalt Paving Mixtures", National Center For Asphalt Technology, Report, 97-2.

Brown, E. R., Mallick, R. B., "Laboratory study on Draindown of Asphalt Cement in Stone Matrix Asphalt", Transportation Research Board 1454, 25-38.

Brown, E. R., Mallick, R. B., Haddock, J. E., Bukowski, J., (1997) "Performance of Stone Matrix Asphalt SMA Mixtures in The United State of America", NLAT Report, 97-1.

Brown, E. R., Mallick, R.B., (1994), "Stone Matrix Asphalt-Properties Related to Mixture Design", NLAT Report, 94-2.

Brown, E. R., Manglorkar, H., (1993), "Evaluation of Laboratory Properties of SMA Mixtures", NLAT Report, 93-5.

Brown, E.R., Haddock, J.E., Mallick R.B., Lynn T.A., (1997), "Development of A Mixture Design Procedure for Stone Matrix Asphalt (SMA)", NLAT Report N. 97-3.

Button, J. W., Crockford (1994), W. W. ve Fernando, E. G., "Laboratory Study of Large Stone Asphalt Paving Mixtures", Materials For The Millennium Large Stone Mixtures, 603-611.

Cooley, L.A., Kandhal, P. S., vd., (2000), "Loaded Wheel Testers in the United States: States of the Practice", Transportation Research, E. Circular No. E. C016.

Cooley, L. A., Kandhal, P. S., Buchanan, M. S., Fee, F., Epps, A., (2000), Loaded Wheel Testers in The United States: State of The Practice", Transportation Research E-Circular No.E-C016.

Çakıroğlu, M., (1996), "Yol Esnek Üstyapıda Oluşan Bozulmalar", I. Ulusal Asfalt Sempozyumu, İstanbul.

Dav, (1996), "Asphalt für Schwerste Beanspruchungen", Bonn.

Fernando, E. G., Button, J. W., Crockford W. W., (1997), "Rut Susceptibility of Large Stone Mixtures", Journal of Transportation Engineering.

Habib B. A., Zahw M. A., (1997), "A Study on Evaluation of Permanent in Hot Asphalt Concrete Mixes", Rilem.

Hamburg, A.G. (1985), "Long Term Experience with Split Mastic Asphalt in the Federal Republic of Germany", Euro Bitumen Symposium.

Harris, B. M. ve Stuart, K. D., (1995), "Analysis of Mineral Fillers and Mastics Used in Stone Matrix Asphalt", Association of Asphalt Paving Technologists, Vol 64.

Harvey, J., Lee, T., Sousa, J., Pak, J., ve Monismith C. L., "Evaluation of Fatigue and Permanent Deformation Properties of Several Asphalt-Aggregate Field Mixes Using Strategic Highway Research Program A-003A Equipment", Transportation Research Record 1492, 123-133.

Heavy Duty Surfaces, (1998), "The Arguments for SMA, EAPA, The Netherlands".

Hüls UK Limited, "Vestoplast S. A Binder Modifier for Clause", 943.

Industries, P. R., "Pr Plast b.", France.

Kennepohl, G. J. ve J.K. "Introduction of Stone Mastic Asphalts (SMA) in Ontario", Asphalt Paving, 519-534.

KGM, SMA Karışım Taslak Şartnamesi, 1998.

Loo, V. P. J., (1976), "Practical Approach to the Prediction of Rutting in Asphalt Pavements: the Shell Method", Transportation Research Board.

Marl, A. K., (1996), "Vestoplast-ein Thermoplastischer Kunststoff zur Polymermodifizierung, Asphalt", 9/96.

Mathews, J.M. ve Monismith, C.L., (1993), "Investigation of Laboratory Fatigue Testing Procedures for Asphalt Aggregate Mixtures", Journal of Transportation Engineering, Vol 119.

Mogawer, W. S., Stuart, K. D., (1994), "Evaluation of Stone Matrix Asphalt Versus Dense-Graded Mixtures", Transportation Research Board 1454, 58-65.

Mogawer, W. S., Stuart, K. D., "Effects of Mineral Fillers on properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures", Transportation Research Record 1530, 86-94.

Mogawer, W. S., ve Stuart K. D., (1995), "Effect of Coarse Aggregate Content on Stone Matrix Asphalt Rutting and Draindown", Transportation Research Record 1492, 1-11.

Mohammad, L.N., Paul, H.R., "Permanent Deformation and fatigue Characteristics of SMA Mixtures", Materials For The Millennium SMA Mixtures, 623-630.

NCHRP Report 338, (1991), "Asphalt Aggregate Mixture Analysis System (AAMAS)".

Nicholls, J.C., (1998), "Road Trials of Stone Mastic Asphalt and Other Thin Surfacing", TRL Report 314.

Nunn, M.E., (1994), "Evaluation of Stone Mastic Asphalt (SMA): A High Stability Wearing Course Materials", TRL Project Report 65.

Önal, M. A., Aray, S., Orhan, F., (1998a), "Polimer ile Modifiye Edilmiş Sıcak Karışımların Bitüm Yüzdesi Değişiminin Karışımlara, Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi", 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu.

Önal, M.A., Aray S., Aşık, İ., (1998b), "Bitümlü Sıcak Karışımların Plentte Modifiye Edilmesinde Kullanılan Katkıların Karışımların Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi", 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu.

Özen, H., (1999), "Bitümlü Karışım Değişkenlerinin Performans Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Hizmet Ömrü Tahmini için Bir Model Kurulması", Doktora Tezi, İstanbul.

Partl, M. N., Vinson, T.S., Hicks R.G., "Mechanical Properties of Stone Mastic Asphalt", Infrastructure Repair Methods, 849-859.

Partl, M. N., Vinson, T. S., Hicks, R. G. ve Younger, K., "Performance-Related Testing of Stone Mastic Asphalt", Stone Mastic Performance, 96-129.

Pavement Performance Trends, (1986), AASHO Guide for Design of Pavement Structure, Washington D.C.

Pavement Rutting Tester, Operating Manual, 1989.

Rettenmaier, J. ve Söhne Gmbh + Co, "Viatop Fibre Pellets for Road Construction", Germany.

Rioux, N., (1995), "New Techniques for Pavements Strengthening and Maintenance", Canada Report, XXth World Road Congress, Montreal.

Saltan, M., Karahahin, M., (1996), "Esnek Üstyapıların Değerlendirilmesinde Tahribatsız Test Yöntemlerinin İncelenmesi", 1. Ulusal Asfalt Sempozyumu, İstanbul.

Saraf, C. L., Smith, W. S., Finn, F. N., (1976), "Rut Depth Prediction", Transportation Research Board, 616.

Scherocman, J. A., (1992a), "Construction of Stone Mastic Asphalt Test Section in The U.S", European Technology Symposium.

Scherocman, J. A., (1992b), "The Design and Construction of Stone Mastic Asphalt Pavements", Annual Meeting of the American Association.

Scherocman, J. A., (1993), "Mix Design, Production and Placement and Compaction of Stone Mastic Asphalt Pavements", 1-16.

Selim, A. A., Taha, R., Bayomy, F., "Laboratory performance of quartzite based stone matrix asphalt mixtures (SMAM)", *Infrastructure Repair Methods*, 635-642.

Slater, K., Phillips, P., Woodside, A.R. ve Woodward, W. D. H., (1996), "Assesing the Performance of SMA As a Surfacing in Urban Enviroment", *Euroasphalt&Eurobitumen Congress 1996*.

Sma Technical Working Group, (1994), "Guidelines for Materials, Production and Placement of Stone Matrix Asphalt (SMA), FHWA.

Stuart, K. D., ve Mogaver, W. S., (1995), "Effect of Coarse Aggregate Content on Stone Matrix Asphalt Durability and Low-Temperature Cracking", *Transportation Research Record 1492*, 26-35.

Tayfur, S., (1999), "İSFALT A.Ş. Seminer Notları".

Ueberbach, K. O., (1997), "Vario Exact Spreader For SMA Applications", *XIIIth IRF World Meeting Toronto/Ontario*.

Uluçaylı, M., (1998), "Modifiye Bitüm ve Modifikasyon Katkılarının Kullanımı", *2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara*.

Umar, F., Ağar, E., (1985), "Yol Üst Yapısı", *İTÜ, İstanbul*.

Valkering, C. P., Vonk, W.C., (1992), "Cariflex TR in Bitumen for Asphalt Mixes: Improved Elastic Recovery and Higher Performance, Thermoplastic Rubbers, Technical Manual", *TR 823*.

Veizer, R., (1993), "Design of a Crumb Rubber Modified Asphalt Pavement Using The Stone Mastic Asphalt Concept", *Master of Engineering*.

Verstraeten, J., (1992), "The use of Bitumous Mixes in Road Construction and Measures Against Rutting, Fatigue and Thermal Cracking", *Contribution to the Jh's program*.

Verstraeten, J., (1995), "Bituminous Materials with A High Resistance to Flow Rutting, *Piarc Technical Committee on Flexible Roads*", Paris.

Whiteoak, C. D., (1999), "Deformation resistant Hot Rolled asphalt for Heavily Trafficked Roads", *Shell Research*, 1-8.

Whiteoak, D., (1991), "The Shell Bitumen Handbook", *Surrey, UK*.

Wohlk, C. J., Nielsen, C. B., (1996), "Heavy Duty Stone Mastic Asphalt", *Euroasphalt&Eurobitumen Congress 1996*.

Woodman, C., Burlie R. ve Emery J., (1997), "Stone Mastic Asphalt Technology For Urban Pavemenets", *XIIIth IRF World Meeting Toronto/Ontario*.

Zawadaki, J., (1997), "Adaptation of a Creep Test for Evaluation of the Permanent Deformation of Bituminous Mixes", *Rilem*.



**EK A Marshall Tasarım Deneyi
Sonuçları**

Çizelge A.1 Katkısız (NR) karışım için Marshall Tasarımı

Bir. No	Bilinen			Bilinen Yüklülüğü			Havacılık Ağırl. (gr)	Sutukel Ağırl. (gr)	Doğ. Yu. K. Ağırl. (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Oranları (%)	Max. Tere. Ölç. Ağırlık DT	İstisnak %	VMA %	Ard Dolu Bantlık %	Akma (mm)	Stabilite (ba)	Düzeltim Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite (kg)	FORMÜLLER	
	%	W _b	W _s	1	2	3															Orç.
1	4.0	3.85	44.0	61.7	1142.4	676.7	1151.2	474.5	2.408			2.609	9.30	17.49	46.82	2.60	3.14	1.047	352	$V = B - C$	
2	4.0	3.85	44.0	61.0	1139.8	675.7	1147.7	472.0	2.415							2.30	6.79	1.067	370	$D_p = \frac{A}{V}$	
3	4.0	3.85	44.0	61.3	1143.7	679.3	1153.9	474.6	2.414							2.10	6.54	1.059	706	$D_p = \frac{A}{V}$	
ORTALAMA																					
4	4.5	4.31	49.5	60.8	1143.5	680.0	1150.0	470.0	2.433							2.40	6.51	1.059	746	$D_p = \frac{A}{V}$	
5	4.5	4.31	49.5	61.5	1146.3	679.8	1152.9	473.1	2.423			2.639	7.86	17.21	54.32	2.90	7.65	1.073	837	$D_p = \frac{A}{V}$	
ORTALAMA																					
6	4.5	4.31	49.5	61.3	1146.0	683.8	1154.4	470.6	2.439							2.20	6.92	1.096	742	$D_p = \frac{A}{V}$	
7	5.0	4.76	55.0	60.4	1150.7	683.8	1152.9	469.1	2.453							2.80	6.50	1.076	759	$D_p = \frac{A}{V}$	
8	5.0	4.76	55.0	60.2	1148.1	681.5	1150.6	469.1	2.447			2.620	6.48	16.99	61.86	2.80	6.68	1.090	742	$D_p = \frac{A}{V}$	
9	5.0	4.76	55.0	60.7	1150.9	682.8	1152.7	469.9	2.460							2.60	6.92	1.076	759	$D_p = \frac{A}{V}$	
ORTALAMA																					
10	5.5	5.21	60.5	60.3	1152.2	687.8	1153.1	465.7	2.474							3.00	6.39	1.088	709	$D_p = \frac{A}{V}$	
11	5.5	5.21	60.5	61.1	1153.0	686.4	1154.5	468.1	2.463			2.601	5.10	16.78	69.60	2.90	6.66	1.064	722	$D_p = \frac{A}{V}$	
12	5.5	5.21	60.5	60.3	1154.2	687.0	1153.0	468.0	2.466							2.80	6.50	1.088	721	$D_p = \frac{A}{V}$	
ORTALAMA																					
13	6.0	5.66	66.0	60.4	1158.1	691.6	1158.7	467.1	2.479							3.20	6.19	1.076	679	$D_p = \frac{A}{V}$	
14	6.0	5.66	66.0	60.5	1158.5	691.2	1159.5	468.3	2.474			2.582	4.06	16.87	75.92	3.30	5.85	1.062	645	$D_p = \frac{A}{V}$	
15	6.0	5.66	66.0	60.7	1162.2	693.8	1162.9	469.1	2.478							3.20	6.19	1.076	679	$D_p = \frac{A}{V}$	
ORTALAMA																					
16	6.5	6.10	71.5	59.7	1149.3	684.5	1150.2	465.7	2.487							3.13	5.38	1.107	697	$D_p = \frac{A}{V}$	
17	6.5	6.10	71.5	58.9	1149.5	684.2	1149.6	465.4	2.470			2.561	3.57	17.42	79.53	3.40	5.79	1.100	649	$D_p = \frac{A}{V}$	
18	6.5	6.10	71.5	60.1	1167.1	696.6	1167.5	470.9	2.478							3.20	5.79	1.094	668	$D_p = \frac{A}{V}$	
ORTALAMA																					
Birimler Ölç. Ağı. (Orç)	=	1,025																			
Birimler Frenleme (v ₉₀)	=	66.70					70.0														
Agr. İstisna Abs. (P ₉₀)	=	0.38					20.0														
Agr. Kar. Ölç. Ağı (Orç)	=	2.841					2.811														
Birimler Ölç. Ağı. (Orç)	=	2.668					2.668														
Optimum Rutubet (%)	=	5.96					5.96														
Optimum Rutubet (Opt. Rutubet) (%)	=	6.78					6.78														
Pratik Ölçöl. Aşılabilir Bölgeslik (%)	=	4.20					4.20														
ASMA	=	3.10					3.10														
ASMA	=	76.00					76.00														
MAXİMİZLENDİRİLMİŞ ASMA	=	2.583					2.583														

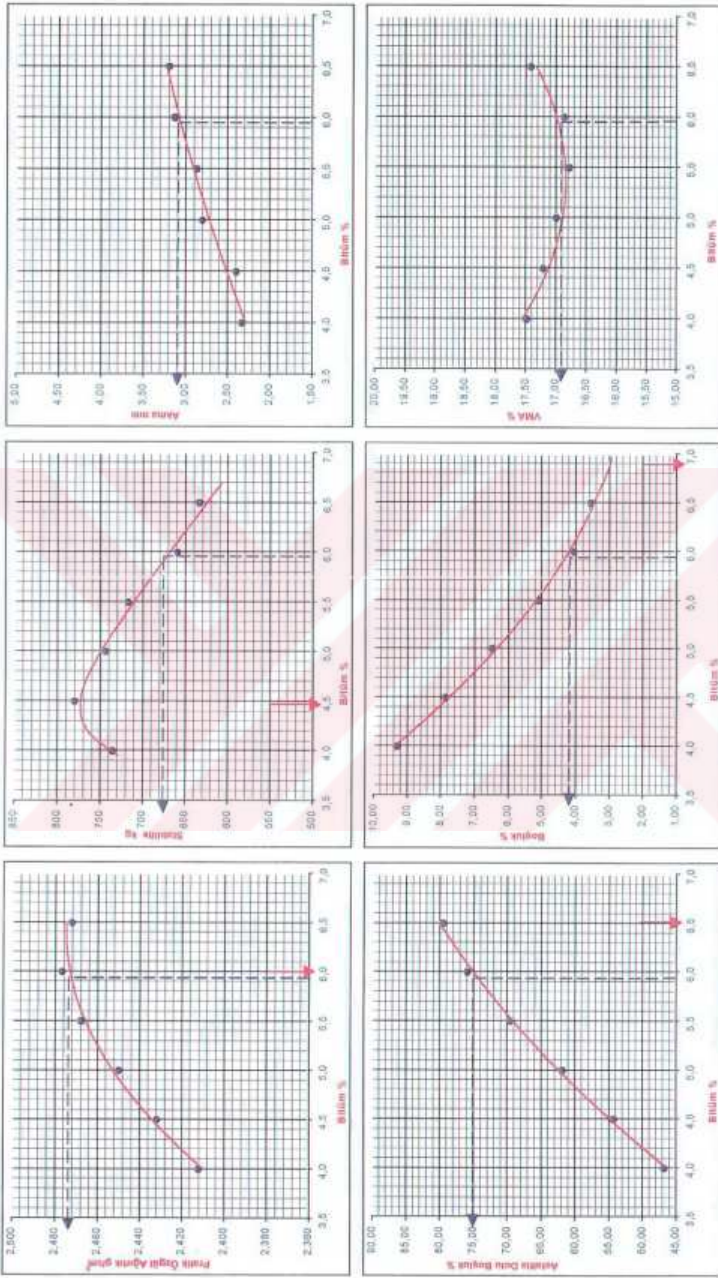
$$G_{sb} = \frac{K_v \% P_v}{G_k G_g} + \frac{P_v}{G_f}$$

$$VMA = 100 - \frac{D_p * (100 - P_b)}{G_{sb}}$$

$$G_f = \frac{VMA - V_h * 100}{(G_{ef} - G_{sb}) * G_{sb}}$$

$$P_b = 100 * \frac{(G_{ef} * G_{sb})}{(G_{ef} * G_{sb})}$$

DENEY MONUCULARI =	5.96
OPTIMUM RUTUBE (%)	6.78
OPTIMUM RUTUBE (OPT. RUTUBE) (%)	6.78
PRATİK ÖLÇÖL. AŞILABİLİR BÖLGESLİK (%)	4.20
ASMA	3.10
ASMA	76.00
MAXİMİZLENDİRİLMİŞ ASMA	2.583



Şekil A.1 Katsız (NR) karışımın grafiği

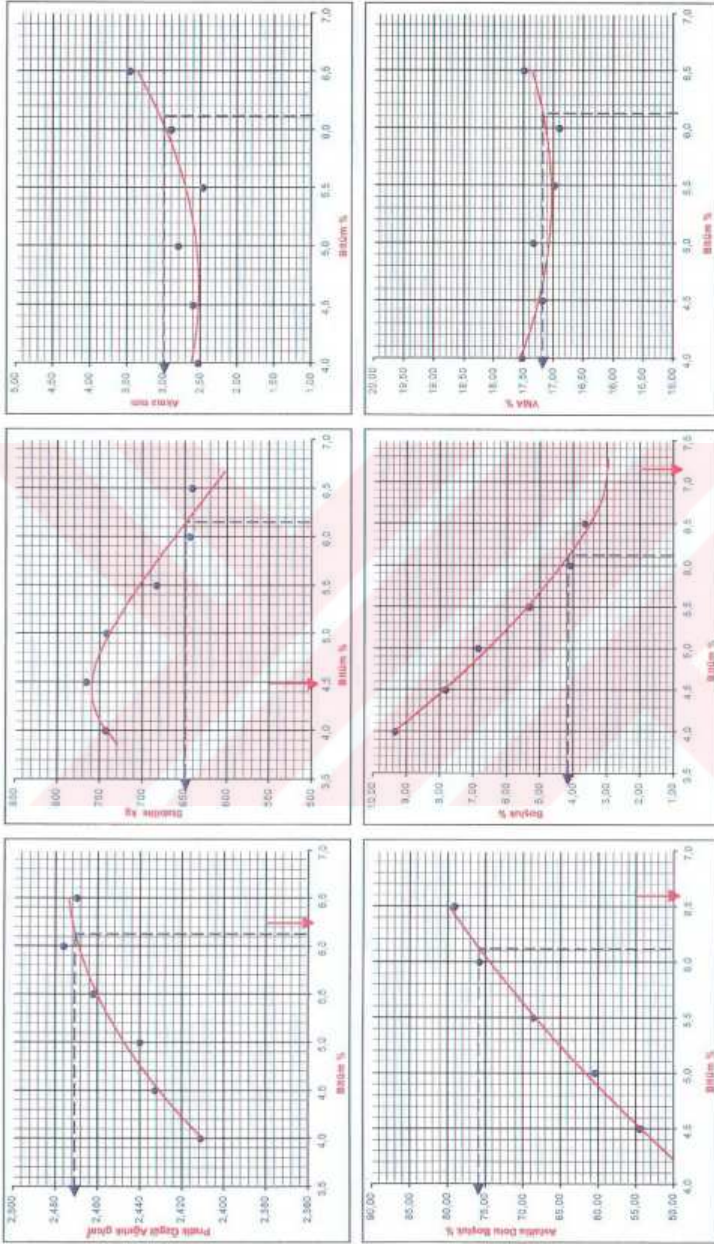
Çizelge A.2 Amorf polialfa olefin (AP) için Marshall Tasarımı

AMORF POLİALFA OLEFİN (AP)															FORMÜLLER								
Bzr. No	Bütünleşme		Bireysel Yıllama			Havalandırma Ağırlığı (gr)	Havalandırma Hacmi (cm ³)	Dış Yüz. K. Ağırlığı (gr)	Dış Yüz. Hacmi (cm ³)	Hac. Ceq. Ağırlığı (gr)	Hac. Ceq. Hacmi (cm ³)	Max. Yüz. Ceq. Ağırlığı (gr)	Max. Yüz. Ceq. Hacmi (cm ³)	YMA %	Birek %	Birek Hac. Ceq. Ağırlığı (gr)	Birek Hac. Ceq. Hacmi (cm ³)	Aç/Doku Birek Hac. Ceq. Ağırlığı (gr)	Aç/Doku Birek Hac. Ceq. Hacmi (cm ³)	Stabilite (Dok)	Dış Yüz. Faldırma	Dış Yüz. Hacmi (cm ³)	
	%	Wb	Wp	1	2																		3
1	4.0	3.85	44.0			81.3	1146.4	676.2	1121.3	473.1	2.413	2.659	9.34	17.32	2.70	7.13	1.053	46.70	2.50	2.50	7.13	1.053	767
2	4.0	3.85	44.0			81.1	1144.8	674.4	1116.6	473.2	2.409				2.40	6.64	1.044		2.40	2.40	6.64	1.044	734
3	4.0	3.85	44.0			81.8	1147.5	676.9	1132.8	473.9	2.411				2.40	6.64	1.044		2.40	2.40	6.64	1.044	707
ORTALAMA																							743
4	4.5	4.31	49.5			81.3	1145.0	678.2	1149.0	470.8	2.432				2.60	7.50	1.059		2.60	2.60	7.50	1.059	810
5	4.5	4.31	49.5			81.2	1150.1	682.0	1154.3	472.3	2.435	2.639	7.83	17.19	2.80	7.02	1.082	54.42	2.80	2.80	7.02	1.082	760
6	4.5	4.31	49.5			81.3	1147.0	680.0	1151.9	471.9	2.431				2.60	6.74	1.059		2.60	2.60	6.74	1.059	728
ORTALAMA																							764
7	5.0	4.76	35.0			80.3	1152.9	681.3	1154.2	472.9	2.438				2.620	6.86	1.076		2.620	2.620	6.86	1.076	766
8	5.0	4.76	35.0			81.3	1153.7	682.6	1153.6	473.0	2.439	2.601	5.33	16.98	2.60	6.86	1.076	88.02	2.60	2.60	6.86	1.076	854
9	5.0	4.76	35.0			80.8	1153.7	683.6	1155.9	472.3	2.440				2.60	6.37	1.073		2.60	2.60	6.37	1.073	697
ORTALAMA																							742
10	5.5	5.21	60.5			80.0	1152.6	687.0	1156.9	469.9	2.450				2.70	6.47	1.059		2.70	2.70	6.47	1.059	698
11	5.5	5.21	60.5			80.7	1157.1	688.3	1158.6	470.3	2.460				2.40	5.96	1.076		2.40	2.40	5.96	1.076	854
12	5.5	5.21	60.5			80.8	1161.8	691.3	1162.4	471.1	2.466				2.40	5.37	1.073		2.40	2.40	5.37	1.073	697
ORTALAMA																							743
13	6.0	5.66	66.0			80.7	1160.2	692.8	1161.2	468.4	2.477				2.382	4.09	1.090		2.382	2.382	4.09	1.090	688
14	6.0	5.66	66.0			81.3	1150.4	683.6	1151.0	465.4	2.472				2.564	3.65	1.124		2.564	2.564	3.65	1.124	662
15	6.0	5.66	66.0			80.3	1164.0	693.6	1165.4	469.8	2.480				2.468	3.78	1.082		2.468	2.468	3.78	1.082	637
ORTALAMA																							744
16	6.5	6.10	71.5			80.2	1156.4	690.0	1158.5	468.9	2.470				2.471	3.78	1.082		2.471	2.471	3.78	1.082	603
17	6.5	6.10	71.5			80.5	1160.6	694.4	1167.1	472.7	2.468				2.468	3.78	1.082		2.468	2.468	3.78	1.082	637
18	6.5	6.10	71.5			80.9	1167.1	699.0	1168.3	472.3	2.471				2.471	3.78	1.082		2.471	2.471	3.78	1.082	603
ORTALAMA																							745

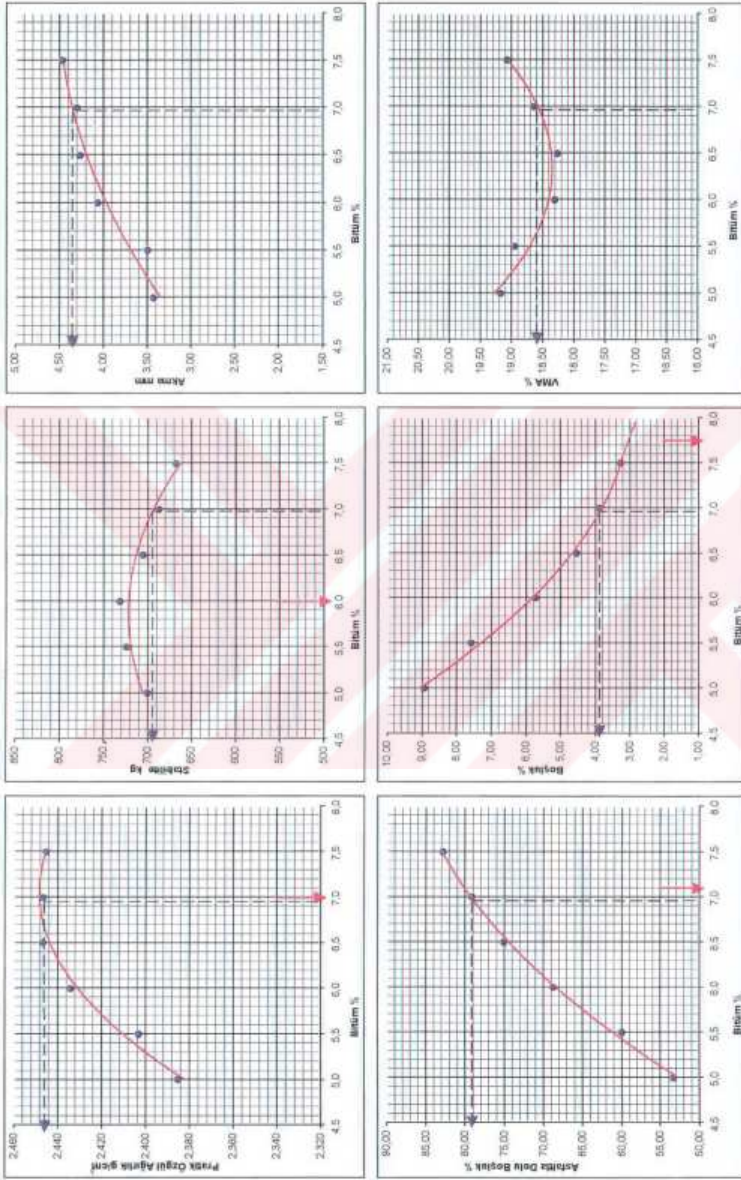
$V = B - C$	$D_p = \frac{A}{V}$	$D_T = \frac{(100 + W_d)}{100 \cdot \frac{W}{a}}$	$V_f = \frac{G_b}{G_f} \cdot G_b$	$V_f = \frac{D_T - D_p}{D_T} \cdot 100$	$G_b = \frac{100}{\frac{K\%}{G_f} + \frac{P\%}{G_b}}$	$G_k = \frac{G_f}{G_f + G_b}$	$VMA = 100 - \frac{D_p \cdot (100 - W_b)}{G_b}$	$G_f = \frac{VMA \cdot V_h}{100}$	$P_{bd} = 100 \cdot \left(\frac{G_f}{G_f + G_b} \right) \cdot \left(\frac{G_b}{G_f + G_b} \right)$
-------------	---------------------	---	-----------------------------------	---	---	-------------------------------	---	-----------------------------------	--

DENEY SONUÇLARI =	4.13
OPTİMİZASYON % SE	658
(CUP) BİTİMİNE =	2.472
PRATİK ÖZGÜL AĞIRLIK	4.18
BOĞULME % SE	3.08
ASMA	7.00
ASFALTLA DOLU BOĞ	2.577
MAKROBİK ÖZ AĞIRLIK	2.577

Kuru Ağırlık Oran (%) =	2.668
Yer Ağırlık Oran (%) =	2.676
Yer Ağırlık Oran (%) =	2.710
Boğulme Oran (%) =	1.180
Birek Hac. Ceq. Ağırlığı (gr) =	2.811
Birek Hac. Ceq. Hacmi (cm ³) =	70.0
Birek Hac. Ceq. Hacmi (cm ³) =	20.0
Birek Hac. Ceq. Hacmi (cm ³) =	10.0
Birek Hac. Ceq. Hacmi (cm ³) =	2.811



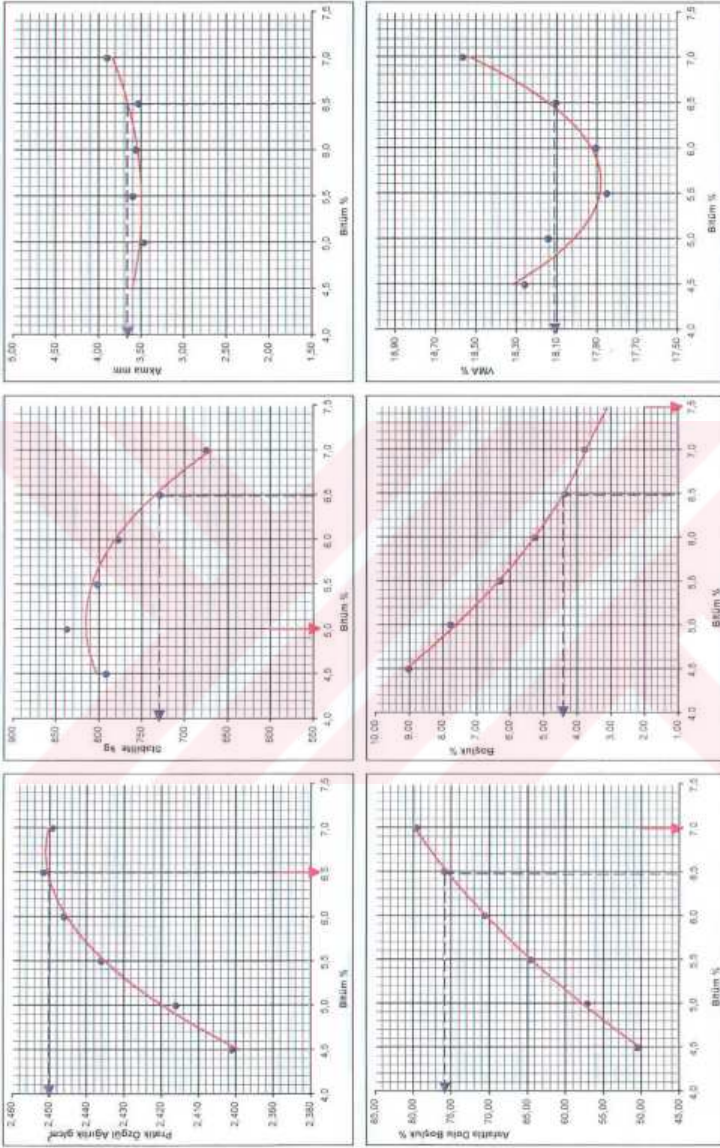
Şekil A.2 Amorf polietilen (AP) karışımın grafiği



Şekil A3 Seliütozik Elyaf (SE) karışımın grafiği

Çizelge A.4 Poli olefin (PE) için Marshall Tasarımı

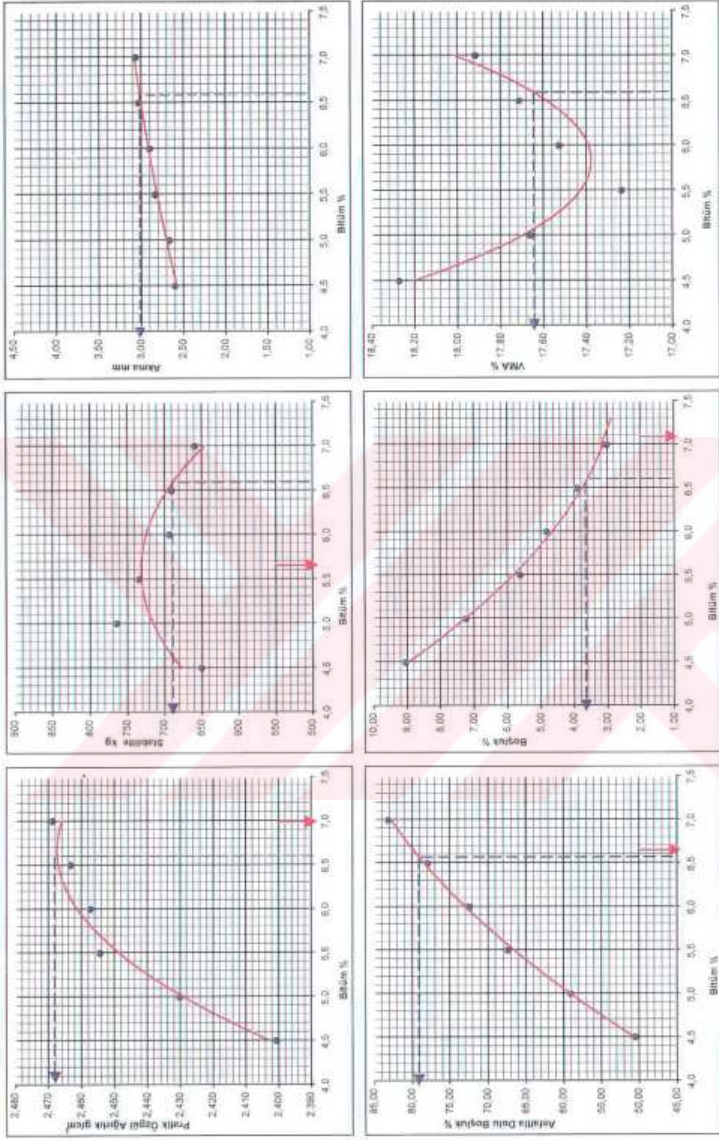
Bir No	Bilinen			Bilinen Yasa			Her Sekil			Doys. Ysa.			Hicin (cm)		Max. Tm. Ölç. Ağırlık		VMA		A/C Oran		AKASA (mm)	Sıcaklık (00)	Dış Dökme FARKI	Dış Dökme Sıcaklığı (00)	FORMÜLLER					
	Wk %	Wt (07)	Wt	1	2	3	Orn.	1	2	3	A	B	C	K	L	A	B	Toplak %	%	YF										
1	4,2	4,31	49,5	42,1	110,3	879,0	1156,3	478,3	2,422							2,639	9,03	18,28		30,24	2,50	7,94	3,018	819	$V = B - C$					
2	4,5	4,31	49,5	42,3	113,3	878,4	1159,1	480,7	2,402												2,40	7,20	3,018	746	$D_p = \frac{A}{V}$					
3	4,5	4,31	49,5	42,3	113,9	882,0	1163,4	481,4	2,401												2,58	7,71	3,008	791	$D_T = \frac{100 + W_a}{C_{ef} + G_b}$					
DİTALAMA																														
4	5,0	4,78	55,0	42,7	114,9	880,3	1139,9	478,3	2,415							2,620	7,79	18,14		37,14	3,50	8,42	3,021	876	$D_T = \frac{100 + W_a}{C_{ef} + G_b}$					
5	5,0	4,78	55,0	42,3	113,4	883,9	1184,1	489,2	2,414												3,00	7,82	3,018	810	$V_h = \frac{D_T - D_p}{D_T} \cdot 100$					
6	5,0	4,78	55,0	42,3	117,0	882,1	1160,8	478,3	2,419												3,30	7,88	3,021	826	$G_{sb} = \frac{100}{D_p \cdot (100 - W_h)}$					
7	5,3	5,21	62,5	42,1	114,7	886,0	1184,4	477,8	2,433							2,801	6,32	17,85		64,59	3,50	7,79	3,038	821	$G_k = \frac{K\%}{G_k} + \frac{F\%}{G_f}$					
8	5,3	5,21	62,5	41,6	116,9	888,4	1182,3	476,9	2,434												3,50	7,18	3,020	768	$VMA = 100 - G_{sb}$					
9	5,3	5,21	62,5	41,8	119,0	889,2	1165,7	476,5	2,441												3,60	7,67	3,044	818	$G_f = \frac{VMA - V_h}{VMA}$					
DİTALAMA																														
10	6,0	5,66	68,0	41,9	116,5	899,8	1187,4	477,8	2,440												3,40	7,27	3,040	771						
11	6,0	5,66	68,0	41,6	117,8	893,6	1189,0	476,8	2,450												3,50	7,13	3,020	763						
12	6,0	5,66	68,0	41,3	120,2	893,3	1171,2	478,1	2,448												3,60	7,44	3,023	789						
DİTALAMA																														
13	6,5	6,10	71,5	42,2	118,5	899,8	1193,0	473,4	2,458												3,37	7,44	3,090	718						
14	6,5	6,10	71,5	41,6	120,8	893,6	1171,2	478,1	2,469												3,50	7,06	3,020	736						
15	6,5	6,10	71,5	42,7	120,8	898,8	1176,7	479,8	2,451												3,60	8,25	3,078	718						
DİTALAMA																														
16	7,0	6,54	77,0	41,2	119,1	896,7	1185,5	474,8	2,454												3,30	6,24	3,222	673						
17	7,0	6,54	77,0	41,7	117,4	899,3	1179,8	480,2	2,453												4,00	6,37	3,047	701						
18	7,0	6,54	77,0	41,3	117,4	892,2	1172,8	480,6	2,459												3,00	6,02	3,079	630						
DİTALAMA																														
Bilinen Ölç. AM (00)	=		1,023	Kabı Ağırlık %		=		70,0			Kabu Ağırlık Ölç. Ağı (03)		=		3,868	OPTİMUM RİTİM % Sİ				=		8,30								
Bilinen Pnömetim	=		68,70	İst. Ağırlık %		=		20,0			İst. Ağırlık Ölç. Ağı (08)		=		2,676	STABİLİTE						=		730	(OPP BİTİMDE) =					
Ağırlık AM (P8)	=		0,28	Filtre %		=		10,0			Filtre Ölç. Ağı (07)		=		2,710	PRATİK ÖZÜLÜ AĞIRLIK						=		2,400	(* *) =					
Ağırlık B1 Ölç. Ağı (04)	=		2,811	Ağırlık Ölç. Ağı (04)		=		2,811			Biberonlu Ağırlık Ölç. Ağı		=		1100	BOĞULUK % Sİ						=		4,40	(* *) =					
																								=		3,85	(* *) =			
																										=		76,00	(* *) =	
																										=		2,804	(* *) =	
DEFNEY SONUÇLARI =																														



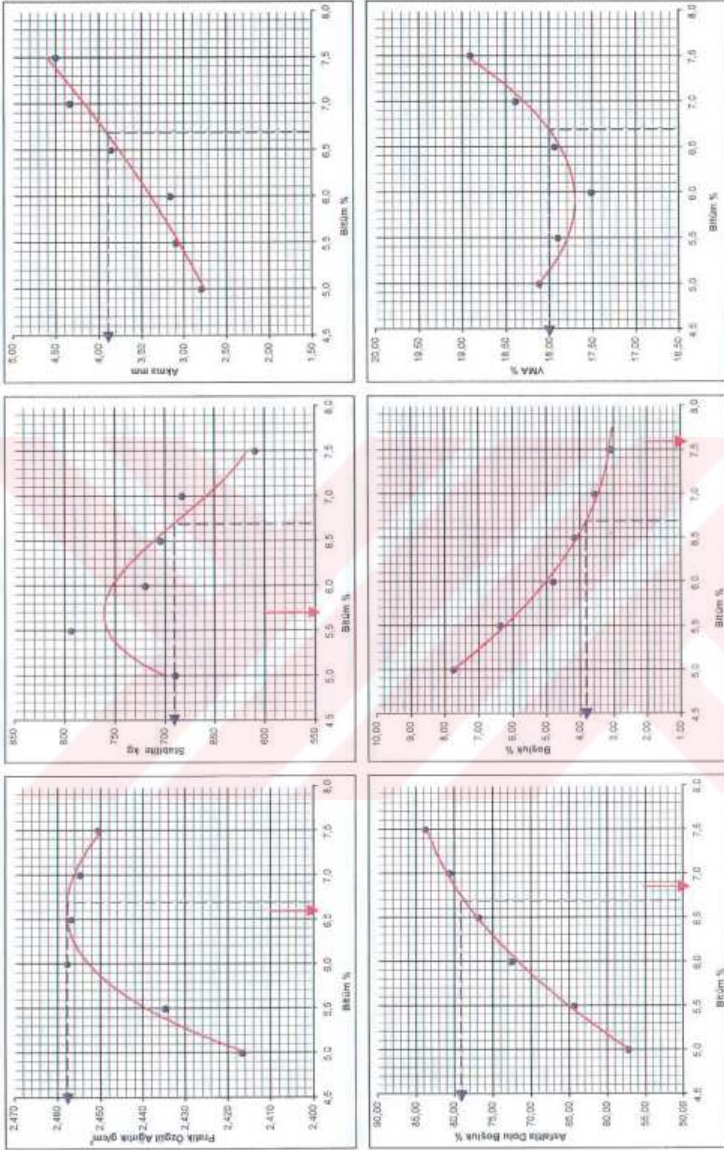
Şekil A.4 Poli Olefin (PE) karışımın grafiği

Çizelge A.5 Bitümlü Selülozik Elyaf (BE) için Marshall Tasarımı


BITÜMLÜ SELÜLOZİK ELYAF (BE)													DENENİMLER					
Bir	İhtilaf		Birikimli Üstlük			Hesab		Hesab		Max. Fre.	VMA		AC. Dışı	Alman	Stabilite	Ortalama	Dinamik	FORMÜLLER
No	%	Wb	(PP)	1	2	3	Ort.	Dep. Yık.	Dep. Yık.	Ort. Ağırlık	%	%	Bitişik %	(mm)	(kg)	Faktör	Stabilite	
W _s	W _b	W _b	(PP)	1	2	3	Ort.	K. Ağırlık (g)	K. Ağırlık (g)	Ağırlık	%	%	%				Ort.	
1	4.5	4.31	49.5	65.1	114.9	187.8	115.6	479.6	2.308				2.90	6.27	1.011	6.48		$V = B - C$
2	4.5	4.31	49.5	62.7	115.64	184.2	114.3	461.1	2.404	2.039	9.34	18.28	3.513	6.29	1.021	6.55		$D_p = \frac{A}{V}$
3	4.5	4.31	49.5	62.9	115.53	184.8	114.9	460.6	2.400				2.66	6.28	1.018	6.95		$D_p = \frac{A}{V}$
ORTALAMA																		
4	5.0	4.76	55.0	60.8	115.57	182.2	115.8	474.4	2.431				2.60	6.27	1.011	6.80		$D_p = \frac{A}{V}$
5	5.0	4.76	55.0	61.2	115.69	186.0	116.2	475.2	2.435	2.620	7.24	17.66	3.034	7.05	1.017	7.12		$D_p = \frac{A}{V}$
6	5.0	4.76	55.0	60.4	115.43	181.0	115.0	476.6	2.423				2.59	7.03	1.083	7.18		$D_p = \frac{A}{V}$
ORTALAMA																		
7	5.5	5.21	60.5	61.1	115.95	188.5	116.04	472.1	2.456				2.66	7.06	1.064	7.06		$D_p = \frac{A}{V}$
8	5.5	5.21	60.5	60.5	116.62	188.5	116.13	472.8	2.454	2.601	5.02	17.24	67.40	6.32	1.082	7.19		$D_p = \frac{A}{V}$
9	5.5	5.21	60.5	61.8	115.99	189.1	116.09	472.8	2.453				2.90	6.73	1.044	7.16		$D_p = \frac{A}{V}$
ORTALAMA																		
10	6.0	5.66	66.0	61.1	116.59	190.3	116.41	473.8	2.474				2.60	6.56	1.064	7.12		$D_p = \frac{A}{V}$
11	6.0	5.66	66.0	61.4	116.83	191.3	116.9	475.6	2.476	2.582	4.82	17.53	72.30	6.27	1.058	6.75		$D_p = \frac{A}{V}$
12	6.0	5.66	66.0	60.8	116.43	189.0	116.50	473.0	2.462				2.90	6.34	1.073	6.93		$D_p = \frac{A}{V}$
ORTALAMA																		
13	6.5	6.10	71.5	60.8	116.58	191.0	116.3	473.3	2.463				2.90	6.28	1.073	6.87		$D_p = \frac{A}{V}$
14	6.5	6.10	71.5	60.8	116.72	191.8	116.7	473.9	2.463	2.564	3.51	17.11	77.24	6.36	1.073	6.98		$D_p = \frac{A}{V}$
15	6.5	6.10	71.5	60.4	117.0	196.4	117.1	475.3	2.464				2.90	6.23	1.085	6.89		$D_p = \frac{A}{V}$
ORTALAMA																		
16	7.0	6.54	77.0	60.6	117.3	199.7	117.3	473.8	2.474				2.90	6.14	1.079	6.75		$D_p = \frac{A}{V}$
17	7.0	6.54	77.0	61.0	117.6	197.8	117.0	475.1	2.465	2.546	3.02	17.92	83.15	5.86	1.067	6.97		$D_p = \frac{A}{V}$
18	7.0	6.54	77.0	61.1	117.8	200.5	117.9	477.4	2.467				2.90	6.13	1.084	6.85		$D_p = \frac{A}{V}$
ORTALAMA																		
BİTÜMLÜ SELÜLOZİK ELYAF (BE) için Marshall Tasarımı													OPTİMİZASYON		OPTİMİZASYON		OPTİMİZASYON	
													STABİLİTE		STABİLİTE		STABİLİTE	
													BİTÜMLÜSELÜLOZİK ELYAF (BE) için Marshall Tasarımı		BİTÜMLÜSELÜLOZİK ELYAF (BE) için Marshall Tasarımı		BİTÜMLÜSELÜLOZİK ELYAF (BE) için Marshall Tasarımı	
													ASFALTLA DOLU DÖŞ		ASFALTLA DOLU DÖŞ		ASFALTLA DOLU DÖŞ	
													MANTERİK DÖŞ		MANTERİK DÖŞ		MANTERİK DÖŞ	
													6.60		6.60		6.60	
													2.608		2.608		2.608	
													2.676		2.676		2.676	
													2.710		2.710		2.710	
													1.100		1.100		1.100	
													ASMA		ASMA		ASMA	
													7000		7000		7000	
													2.580		2.580		2.580	



Şekil A.5 Bitümlü Sülözük Elyaf (BE) karışımın grafiği



Şekil A.6 Stiren-Bütadiyen-Stiren (SB) karışımın grafiği



EK B. Dolaylı Çekme Deneyi
Sonuçları

Çizelge B1 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (5 °C, 3000 ms)

		3000 (3)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		µε	E	µε	E	µε	E
NR110	1	8,3904	18552	8,9424	17232	8,8872	17669
NR119	1	8,004	19248	8,8872	17409	9,1632	16846
NR210	2	7,728	19999	7,452	20686	7,6728	20180
NR219	2	8,216	17656	8,5008	18094	9,2184	16688
NR310	3	6,1823	24857	6,8448	22583	6,8999	22569
NR319	3	8,556	18142	7,6728	20078	7,0656	21978
NR ort		7,84611667	19742,3333	8,05	19347	8,15118333	19321,6667
AP110	1	9,108	16798	9,66	15860	9,6047	16005
AP119	1	9,8808	15511	9,7704	15743	9,9912	15420
AP210	2	10,212	14898	8,9424	17077	9,2736	16666
AP219	2	11,095	13841	10,598	14482	11,316	13615
AP310	3	10,598	14650	10,819	14363	10,764	14331
AP319	3	10,156	15228	10,764	14392	11,205	13785
AP ort		10,1749667	15154,3333	10,0923	15319,5	10,3590833	14970,3333
SE110	1	8,2799	18236	9,3288	16248	9,384	16161
SE119	1	9,384	16075	8,9424	16797	9,5496	15913
SE210	2	9,1631	16449	9,3288	16261	11,486	13286
SE219	2	11,812	12789	11,812	12866	12,364	12283
SE310	3	11,371	13350	11,095	13586	11,316	13397
SE319	3	10,212	14705	10,598	14158	11,15	13576
SE ort		10,037	15267,3333	10,1841667	14986	10,8749333	14102,6667
PE110	1	9,1631	16640	8,7768	17387	8,9424	17028
PE119	1	10,432	14526	9,4944	15843	9,936	15324
PE210	2	9,6048	15675	9,5495	15688	10,432	14489
PE219	2	11,647	12834	11,757	12840	11,812	12784
PE310	3	11,536	12992	11,868	12676	12,199	12393
PE319	3	11,923	12676	12,144	12373	12,916	11684
PE ort		10,71765	14223,8333	10,5982833	14467,8333	11,0395667	13950,3333
BE110	1	11,704	13240	11,426	13494	11,978	12877
BE119	1	11,15	13779	11,205	13742	11,812	13051
BE210	2	10,322	14827	10,819	14225	11,095	13775
BE219	2	11,868	12800	11,702	13019	12,033	12702
BE310	3	9,3288	16174	9,7152	15561	9,7704	15571
BE319	3	9,6048	15697	10,322	14664	9,9911	15069
BE ort		10,6629333	14419,5	10,8648667	14117,5	11,11325	13840,8333
SB110	1	8,6112	17756	9,0528	16763	9,528	16702
SB119	1	10,267	14765	10,764	14110	10,598	14412
SB210	2	11,536	13182	12,033	12676	12,254	12502
SB219	2	10,432	14618	10,929	13876	11,26	13596
SB310	3	10,377	14863	10,267	14907	9,936	15538
SB319	3	9,7704	15580	10,101	15109	10,54	14500
SB ort		10,1656	15127,3333	10,5244667	14573,5	10,686	14541,6667

Çizelge B2 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (5 °C, 2000 ms)

		2000 (2)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		µε	E	µε	E	µε	E
NR110	1	8,3904	18525	8,3901	18408	8,9424	17365
NR119	1	8,556	18102	9,3288	16611	9,384	16524
NR210	2	7,2312	21186	7,1208	21785	7,3968	20865
NR219	2	8,0592	19137	8,4455	18155	8,8872	17342
NR310	3	6,7896	22788	7,0655	21847	7,3415	21209
NR319	3	6,7344	22926	6,2928	24462	6,7896	22908
NR	ort	7,6268	20444	7,77391667	20211,3333	8,12358333	19368,8333
AP110	1	8,6664	17620	9,3839	16206	9,4944	16075
AP119	1	9,66	15836	9,66	15767	10,101	15192
AP210	2	8,556	17866	8,556	17877	9,2184	16627
AP219	2	10,432	14758	10,764	14216	10,764	14254
AP310	3	9,936	15609	9,936	15492	10,322	14937
AP319	3	9,7703	15874	9,9359	15455	10,432	14702
AP	ort	9,50345	16260,5	9,70596667	15835,5	10,0553	15297,8333
SE110	1	8,3903	18026	9,3288	16246	9,4392	16049
SE119	1	8,3352	18227	9,108	16629	9,0528	16809
SE210	2	10,488	14563	11,095	13662	11,04	13672
SE219	2	10,929	13830	11,536	13020	11,923	12612
SE310	3	10,929	13903	10,598	14219	11,536	13094
SE319	3	10,212	14797	10,819	13954	11,868	12734
SE	ort	9,88058333	15557,6667	10,41413333	14621,6667	10,80983333	14161,6667
PE110	1	8,7215	17337	8,9423	16888	9,108	16648
PE119	1	8,28	18214	8,28	18297	8,832	17252
PE210	2	9,1079	16458	9,8255	15370	10,156	14947
PE219	2	11,426	13112	10,874	13811	11,868	12746
PE310	3	11,592	12994	11,757	12834	12,42	12163
PE319	3	12,033	12515	11,868	12632	12,088	12437
PE	ort	10,1934	15105	10,2578	14972	10,74533333	14365,5
BE110	1	10,488	14725	10,874	14270	11,757	13184
BE119	1	11,205	13765	11,812	13085	11,536	13382
BE210	2	9,7152	15644	10,432	14754	10,984	14018
BE219	2	10,764	14210	11,592	13192	11,868	12870
BE310	3	9,2184	16422	9,6048	15702	9,66	15650
BE319	3	9,5495	15730	9,936	15154	10,322	14631
BE	ort	10,15668333	15082,6667	10,7084667	14359,5	11,0211667	13955,8333
SB110	1	8,6664	17487	8,8872	16971	9,0528	16692
SB119	1	10,322	14832	10,046	15047	10,819	14029
SB210	2	10,322	14709	11,26	13501	11,371	13419
SB219	2	10,101	15188	10,488	14572	10,819	14056
SB310	3	8,2248	18623	8,7766	17479	8,5008	18158
SB319	3	9,4944	16139	10,101	15122	10,377	14782
SB	ort	9,52176667	16163	9,92646667	15448,6667	10,1566	15189,3333

Çizelge B3 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (5 °C, 1000 ms)

		1000 (1)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		µε	E	µε	E	µε	E
NR110	1	8,1696	19050	8,5008	18183	9,108	17052
NR119	1	8,832	17610	8,7768	17500	9,0528	17010
NR210	2	7,176	21613	6,9552	22137	7,0656	21688
NR219	2	8,0039	19148	8,4456	18159	9,108	16864
NR310	3	6,1272	25424	6,6791	23112	6,4583	24117
NR319	3	6,072	25578	6,0168	25649	6,8448	22731
NR	ort	7,39678333	21403,8333	7,56238333	20790	7,93958333	19910,3333
AP110	1	8,556	17746	8,556	17820	9,2736	16427
AP119	1	10,046	15247	9,6048	15939	10,377	14758
AP210	2	8,7215	17611	8,663	17746	9,3839	16287
AP219	2	10,156	15024	10,708	14493	10,653	14404
AP310	3	9,4392	16246	9,9912	15464	10,267	15067
AP319	3	9,648	16093	10,212	15085	10,101	15166
AP	ort	9,42778333	16327,8333	9,6225	16091,1667	10,00925	15351,5
SE110	1	8,3904	18196	8,7216	17292	9,2184	16358
SE119	1	8,3352	18287	8,6112	17424	9,1632	16448
SE210	2	10,598	14418	10,432	14433	11,26	13446
SE219	2	10,874	13849	11,26	13417	11,371	13299
SE310	3	10,597	14294	10,653	14177	10,984	13021
SE319	3	10,543	14317	10,929	13804	11,647	12923
SE	ort	9,8896	15560,1667	10,1011333	15091,1667	10,6072667	14249,1667
PE110	1	8,6664	17454	8,6111	17461	9,1632	16540
PE119	1	7,5072	20024	7,8936	19090	8,6663	17497
PE210	2	8,9423	16922	9,3288	16047	9,8255	15378
PE219	2	10,874	13792	10,984	13685	11,095	13583
PE310	3	11,15	13452	11,702	12819	12,309	12215
PE319	3	11,481	13156	11,592	12908	11,923	12663
PE	ort	9,77015	15800	10,0185833	15335	10,497	14646
BE110	1	10,432	14717	10,819	14236	11,15	13826
BE119	1	11,15	13919	10,929	14134	12,033	12820
BE210	2	9,6599	15802	10,156	14931	10,212	14971
BE219	2	10,708	14276	10,874	14003	11,702	12988
BE310	3	8,9424	16856	9,2736	16160	9,6048	15619
BE319	3	8,9975	16681	9,7704	15667	9,8808	15230
BE	ort	9,98163333	15375,1667	10,3036667	14855,1667	10,7637667	14242,3333
SB110	1	8,6664	17431	8,7768	17133	9,0528	16702
SB119	1	9,8808	15425	9,8256	15316	10,322	14707
SB210	2	10,212	14968	11,26	13484	11,371	13379
SB219	2	10,598	14410	10,543	14413	11,481	13220
SB310	3	7,728	19909	8,1695	18699	8,1696	18758
SB319	3	9,6048	15951	9,5496	15902	10,046	15151
SB	ort	9,44833333	16349	9,68741667	15824,5	10,0737333	15319,5

Çizelge B4 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (25 °C, 3000 ms)

		3000 (3)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		µε	E	µε	E	µε	E
NR120	1	47,527	3263	52,881	2929,4	60,609	2542,5
NR129	1	44,491	3465,3	49,485	3090,4	55,696	2758,3
NR220	2	44,546	3443,9	49,404	3091,3	56,524	2715,1
NR229	2	42,614	3633,4	48,148	3226,7	54,261	2854,2
NR320	3	36,156	4287,6	39,744	3872,5	44,822	3444,2
NR329	3	39,633	3925,3	42,89	3617,5	47,416	3269,6
NR	ort	42,4945	3669,75	47,092	3304,63333	53,2213333	2930,65
AP120	1	39,744	3858,8	43,497	3529,8	49,128	3141,6
AP129	1	40,296	3790,7	45,153	3406,4	49,514	3096,8
AP220	2	39,633	3859,3	43,056	3548,4	46,975	3247,9
AP229	2	47,14	3243	52,44	2918,4	57,463	2669,3
AP320	3	38,308	3994,9	41,51	3737,3	44,491	3495,4
AP329	3	42,945	3565,4	46,478	3299,9	52,219	2937
AP	ort	41,3443333	3718,68333	45,3556667	3406,7	49,965	3098
SE120	1	39,136	3839,1	44,822	3330,9	50,728	2956
SE129	1	40,903	3696,5	44,656	3361,8	47,472	3164,1
SE220	2	44,877	3404,2	50,618	3009,8	55,586	2728,7
SE229	2	46,699	3240,7	53,985	2801,7	60,609	2485,6
SE320	3	41,896	3610,3	42,78	3476,4	45,705	3276,3
SE329	3	39,633	3778,3	45,76	3306,1	52,164	2905,5
SE	ort	42,1906667	3594,85	47,1035	3214,45	52,044	2919,36667
PE120	1	36,045	4184	40,296	3766,7	44,436	3415,5
PE129	1	38,584	3917,8	43,276	3488,2	50,011	2998,4
PE220	2	39,744	3796,9	43	3494,4	47,196	3162,2
PE229	2	37,812	3989,3	43,884	3420,3	50,949	2932
PE320	3	40,296	3741,4	44,712	3352,7	48,796	3066,3
PE329	3	38,584	3892,2	43,497	3429,5	48,907	3060
PE	ort	38,5108333	3920,26667	43,1108333	3491,96667	48,3825	3105,73333
BE120	1	40,848	3749,8	45,429	3386,9	50,508	3032,2
BE129	1	42,172	3622	49,9	3063,1	54,482	2806,4
BE220	2	39,744	3848,4	43,552	3472,3	48,3	3148
BE229	2	36,266	4223,7	40,903	3744,6	45,098	3376,9
BE320	3	39,081	3879,1	43,608	3492,3	49,514	3069,1
BE329	3	35,272	4293,7	39,523	3831,7	44,491	3387,8
BE	ort	38,6971667	3936,11667	43,8191667	3498,48333	48,7321667	3136,73333
SB120	1	41,62	3656,6	44,601	3411,4	48,134	3172,6
SB129	1	39,909	3809,8	44,436	3471,9	47,527	3200,5
SB220	2	39,633	3848	42,559	3554,9	46,092	3293,2
SB229	2	34,72	4398,4	39,026	3908,4	41,731	3660
SB320	3	38,75	3959,7	40,848	3730,1	43,387	3519,9
SB329	3	37,094	4144,1	40,627	3771,6	44,16	3463,8
SB	ort	38,621	3969,43333	42,0161667	3641,38333	45,1718333	3385

Çizelge B5 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (25 °C, 2000 ms)

		2000 (2)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		µs	E	µs	E	µs	E
NR120	1	48,41	3192,2	53,599	2884,5	59,726	2596,7
NR129	1	41,565	3719,8	47,251	3271,9	53,378	2887,8
NR220	2	45,429	3371,3	52,384	2930,8	58,401	2635,3
NR229	2	43,166	3572,4	48,576	3164,8	55,144	2785,3
NR320	3	37,646	4131,7	41,51	3725,6	46,533	3318,5
NR329	3	41,952	3726,9	46,036	3392,3	52,936	2934,7
NR	ort	43,028	3619,05	48,226	3228,31667	54,353	2859,71667
AP120	1	40,292	3754,7	44,822	3444,4	49,072	3154
AP129	1	39,854	3835,4	44,656	3426,9	49,238	3124,9
AP220	2	39,909	3838,5	43,276	3546,1	47,748	3213,5
AP229	2	47,251	3254,5	53,047	2896,2	57,408	2676,5
AP320	3	38,419	4040,4	41,731	3708,3	44,215	3483,7
AP329	3	43,939	3510,1	45,374	3389,8	50,618	3052,8
AP	ort	41,6106667	3705,6	45,4843333	3401,95	49,7165	3117,56667
SE120	1	40,24	3721,4	45,595	3304,1	50,342	2997,1
SE129	1	42,393	3567,2	46,312	3288,7	50,121	3024,9
SE220	2	44,436	3403,5	49,072	3085,5	54,758	2768,2
SE229	2	49,569	3055,9	55,696	2707,2	61,658	2448,6
SE320	3	35,935	4197,8	40,296	3729,7	44,049	3416,2
SE329	3	42,945	3527,8	48,962	3094	54,868	2750,5
SE	ort	42,5863333	3578,93333	47,6555	3201,53333	52,6326667	2900,91667
PE120	1	36,818	4135,5	40,848	3729,8	43,994	3437,6
PE129	1	40,461	3731,9	46,036	3281,7	50,949	2957
PE220	2	37,922	3966,4	42,007	3560,7	43,828	3424,7
PE229	2	38,86	3828,8	43,497	3395,2	49,68	3032,2
PE320	3	41,068	3626,5	45,319	3312,3	48,686	3068,3
PE329	3	40,24	3735,9	44,767	3351,5	49,68	3027,5
PE	ort	39,2281667	3837,5	43,7456667	3438,53333	47,8028333	3157,88333
BE120	1	40,903	3754,3	44,877	3400,5	49,017	3123,3
BE129	1	44,436	3481,8	49,735	3089,3	55,089	2794
BE220	2	39,247	3918,7	43,773	3457,8	48,079	3165,8
BE229	2	38,364	4017	41,952	3633,3	47,748	3191,9
BE320	3	39,744	3813	44,325	3411,4	49,017	3088,7
BE329	3	36,652	4133	40,682	3717,5	45,54	3304,8
BE	ort	39,891	3852,96667	44,224	3451,63333	49,0816667	3111,41667
SB120	1	39,633	3845,1	43,497	3496,5	41,731	3639,7
SB129	1	39,578	3825,4	43	3504,3	47,968	3165,5
SB220	2	38,088	4005,4	41,234	3679,3	44,546	3394,7
SB229	2	35,052	4380,4	38,253	3953	40,903	3696,9
SB320	3	36,1	4247,1	38,916	3911,9	42,448	3590,4
SB329	3	37,536	4117,9	40,516	3788,9	43,994	3480,7
SB	ort	37,6645	4070,21667	40,9026667	3722,31667	43,5983333	3494,65

Çizelge B6 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (25 °C, 1000 ms)

		1000 (1)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		µs	E	µs	E	µs	E
NR120	1	47,085	3295,8	51,777	2961,7	57,518	2690,2
NR129	1	43,608	3546,6	47,195	3245,8	52,329	2940,2
NR220	2	46,754	3302,9	52,495	2931,2	57,96	2656,1
NR229	2	44,029	3484,4	49,68	3076	54,648	2794,9
NR320	3	37,922	4089,1	41,455	3721,4	46,312	3323,3
NR329	3	43,111	3614,6	46,368	3344,4	50,121	3091,2
NR	ort	43,7515	3555,56667	48,1616667	3213,41667	53,148	2915,98333
AP120	1	40,13	3792,6	43,994	3487,4	47,748	3201,8
AP129	1	40,075	3830	43,663	3519,7	48,024	3215,3
AP220	2	39,578	3894,7	42,393	3616,9	46,036	3335,9
AP229	2	46,368	3307,6	51,446	2994,3	55,752	2767,7
AP320	3	36,763	4199	39,964	3851,6	43,663	3543,2
AP329	3	40,185	3831,4	45,65	3382	50,287	3082,6
AP	ort	40,5165	3809,21667	44,5183333	3475,31667	48,585	3191,08333
SE120	1	40,572	3738,7	44,877	3362,9	49,128	3077,5
SE129	1	43,663	3478,7	46,809	3251,3	50,508	3013,5
SE220	2	42,117	3600,9	47,085	3218,2	51,598	2925,6
SE229	2	45,981	3285,5	51,888	2923,2	57,297	2650,9
SE320	3	35,714	4263,6	39,633	3804,8	43,221	3497,2
SE329	3	44,932	3383,6	50,232	3016,3	55,696	2722,5
SE	ort	42,1631667	3625,16667	46,754	3262,78333	51,2413333	2981,2
PE120	1	37,26	4065,6	39,302	3828,6	43,497	3471,9
PE129	1	41,234	3686,1	45,54	3317,1	50,839	2985,7
PE220	2	36,045	4182,6	40,572	3700,6	43,884	3418,7
PE229	2	40,13	3785,6	44,546	3354,6	49,183	3087,2
PE320	3	40,682	3726,3	44,822	3361,2	49,348	3059,7
PE329	3	40,958	3695,2	45,484	3311,2	49,017	3078,9
PE	ort	39,3848333	3856,9	43,3776667	3478,88333	47,628	3183,68333
BE120	1	40,296	3859,1	44,104	3505,7	48,134	3197,1
BE129	1	44,215	3515,8	49,404	3120,8	53,93	2860,7
BE220	2	38,86	3975,5	43,442	3509,9	47,416	3216,1
BE229	2	38,971	3950,4	42,283	3581,4	46,699	3250,5
BE320	3	38,364	3975,8	42,504	3566,7	47,085	3215,4
BE329	3	36,763	4159,2	40,24	3749,1	45,429	3320,2
BE	ort	39,5781667	3905,96667	43,6628333	3505,6	48,1155	3176,66667
SB120	1	35,438	4303,6	39,523	3847,3	43,056	3528,2
SB129	1	39,688	3842,5	41,896	3607,3	46,92	3239
SB220	2	37,37	4087,6	40,406	3771,6	44,436	3419,4
SB229	2	34,665	4449,9	37,922	4032,3	40,903	3730,5
SB320	3	34,444	4413,6	38,088	4017,4	41,289	3709,4
SB329	3	36,376	4230,2	39,468	3849,2	42,945	3557,1
SB	ort	36,3301667	4221,23333	39,5505	3854,18333	43,2581667	3530,6

Çizelge B7 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (40 °C, 3000 ms)

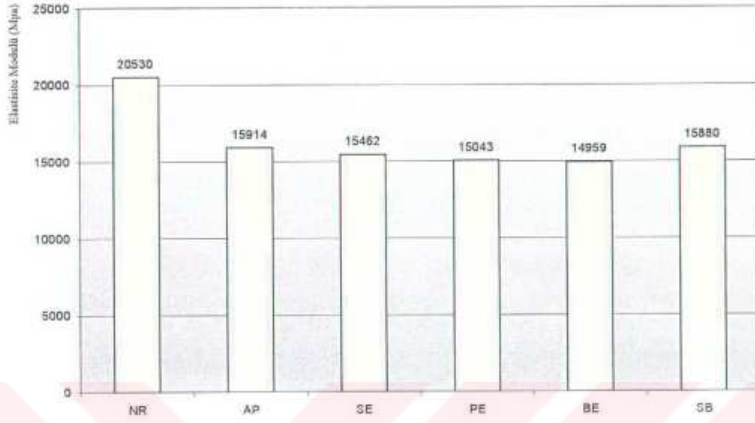
		3000 (3)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		µε	E	µε	E	µε	E
NR130	1	198,05	780,97	219,14	697,53	223,33	687,52
NR139	1	227,09	675,64	243,7	626,12	256,79	589,82
NR230	2	223,61	688,56	237,41	649,68	257,01	592,68
NR239	2	207,99	747,86	227,31	687,01	249,5	609,96
NR330	3	172,33	902,93	191,98	808,26	212,07	731,55
NR339	3	177,08	879,98	195,96	793,56	230,23	665,99
NR	ort	201,025	779,323333	219,25	710,36	238,155	646,253333
AP130	1	147,6	1032,9	161,12	948,22	181,16	848,17
AP139	1	163,77	929,58	179,06	862,36	194,96	790,01
AP230	2	155,27	985,4	175,53	875,2	195,29	789,25
AP239	2	169,02	894,09	186,85	819,51	216,27	712,54
AP330	3	157,09	977,47	177,24	881,49	192,2	801,94
AP339	3	144,45	1067,7	170,62	909,69	177,46	870,87
AP	ort	156,2	981,19	175,07	882,745	192,89	802,13
SE130	1	199,43	764,3	228,91	661,04	262,91	575,47
SE139	1	203,79	741,47	243,26	618,3	266,56	558,17
SE230	2	219,14	687,09	246,79	623,28	261,7	573,85
SE239	2	176,19	862,31	202,91	749,52	219,3	688,3
SE330	3	165,21	910,87	173,05	883,55	193,42	786,68
SE339	3	166,2	914,83	179,84	846,68	162,16	697,17
SE	ort	188,326667	813,478333	212,46	730,395	236,675	646,606667
PE130	1	149,09	1007	172,16	874,1	191,54	790,08
PE139	1	147,99	1021	173,32	859,2	191,76	779,94
PE230	2	188,17	791,69	212,96	709,83	240,56	625,34
PE239	2	183,15	836,51	221,29	671,03	237,02	623,42
PE330	3	162,56	920,98	177,9	851,24	209,7	705,5
PE339	3	189,88	793,31	217,26	695,16	237,85	636,19
PE	ort	170,14	895,081667	195,815	776,76	218,071667	693,411667
BE130	1	161,18	954,23	210,64	736,96	230,95	670,12
BE139	1	212,46	718,67	241	642,28	268,05	571,61
BE230	2	158,47	967,06	186,02	825,96	200,81	767,29
BE239	2	191,37	797,11	215,88	716,8	233,99	660,79
BE330	3	169,9	897,13	187,12	801,83	211,52	703,84
BE339	3	166,7	905,79	187,73	816,35	208,32	724,47
BE	ort	176,68	873,331667	204,731667	756,696667	225,606667	683,02
SB130	1	143,24	1059,1	163,39	933,27	182,1	838,12
SB139	1	155,33	976,12	170,34	878,18	185,8	810,11
SB230	2	142,58	1081,8	161,68	931,43	176,97	845,94
SB239	2	150,08	1028,4	165,32	916,28	185,36	824,92
SB330	3	122,15	1258,9	140,31	1113,1	152,46	996,59
SB339	3	136,62	1135,1	153,78	987,79	170,62	896,35
SB	ort	141,666667	1089,90333	159,136667	960,008333	175,551667	868,671667

Çizelge B8 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (40 °C, 2000 ms)

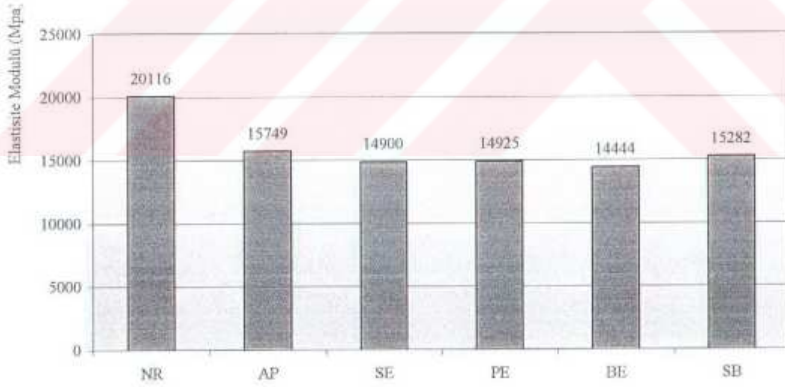
		2000 (2)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		μE	E	E	E	μE	E
NR130	1	198,72	767,88	215,05	720,03	233,44	664,78
NR139	1	220,91	686,09	229,35	669,22	239,34	639,65
NR230	2	208,15	741,06	225,38	686,61	245,3	632,89
NR239	2	219,36	706,31	236,31	648,54	256,62	602,74
NR330	3	180,72	851,52	200,32	782,6	225,82	688,57
NR339	3	197,39	794,62	215,99	725,95	239,34	653,43
NR	ort	204,208333	757,913333	220,4	705,491667	239,976667	647,01
AP130	1	155,11	983,44	157,64	876,17	188,23	816,02
AP139	1	181,82	850,05	196,56	777,64	209,15	734,01
AP230	2	161,34	945,08	175,26	873,87	192,81	798,07
AP239	2	171,94	880,46	190,32	808,43	210,25	730,39
AP330	3	160,9	946,78	178,57	859,72	191,48	803,81
AP339	3	148,32	1038,1	163,28	942,68	186,41	838,88
AP	ort	163,238333	940,651667	176,938333	856,418333	196,388333	786,863333
SE130	1	215,39	690,77	238,18	640,87	252,31	594,95
SE139	1	222,12	672,68	237,36	641,65	257,39	590,26
SE230	2	187,79	811,16	199,05	763,75	227,36	669,17
SE239	2	186,24	818,19	203,24	744,05	219,19	696,65
SE330	3	188,01	802,15	206,72	818,79	208,6	734,64
SE339	3	188,23	801,18	199,21	755,38	196,95	771,91
SE	ort	197,963333	766,021667	213,96	727,415	226,966667	676,263333
PE130	1	157,98	958,18	181,33	844,12	199,1	772,06
PE139	1	160,08	955,87	180,5	837,36	200,65	765,44
PE230	2	189,17	790,23	210,64	721,7	233,16	640,83
PE239	2	183,98	814,44	211,91	719,07	227,7	663,29
PE330	3	179,45	837,36	209,26	730,73	230,68	647,6
PE339	3	195,46	762,1	218,42	689,65	243,21	620,37
PE	ort	177,686667	853,03	202,01	757,105	222,416667	684,931667
BE130	1	190,1	807,33	215,94	719,16	235,42	662,68
BE139	1	228,14	677,75	259,49	599,9	278,26	546,62
BE230	2	167,2	907,27	180,72	853,37	205,12	744,47
BE239	2	200,26	764,99	215,99	705,1	227,2	674,73
BE330	3	175,97	848,57	189,72	798,94	215,5	709,61
BE339	3	177,07	850,83	195,96	779,69	209,76	721,92
BE	ort	189,79	809,456667	209,636667	742,693333	228,543333	676,671667
SB130	1	150,47	1022,7	168,02	913,67	181,71	829,45
SB139	1	154,33	978,2	173,71	886,43	186,07	815,31
SB230	2	141,75	1070,9	163,94	944,61	178,57	854,71
SB239	2	151,68	1015,8	168,24	897,41	185,14	827,59
SB330	3	123,15	1239	137,66	1107,9	150,14	1027,8
SB339	3	135,62	1118	156,54	987,43	171	902,64
SB	ort	142,833333	1074,1	161,351667	956,241667	175,438333	876,25

Çizelge B9 Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları (40 °C, 1000 ms)

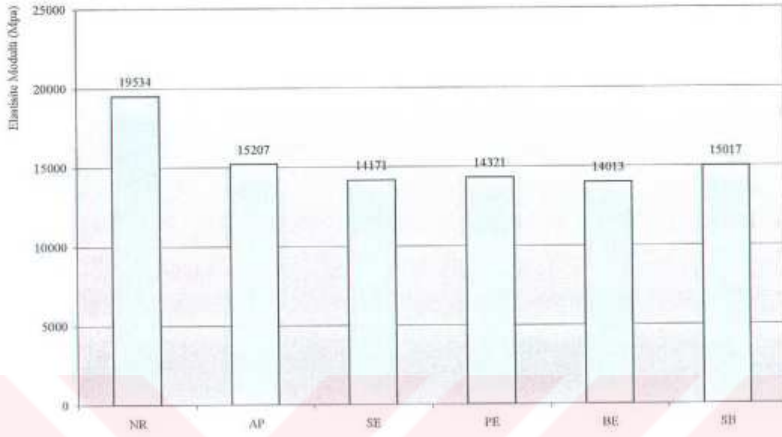
		1000 (1)					
		40 (4)		60 (6)		80 (8)	
		$\mu\epsilon$	E	$\mu\epsilon$	E	$\mu\epsilon$	E
NR130	1	201,92	753,98	211,74	731,88	231,12	663,6
NR139	1	205,84	745,82	219,03	706,89	232,28	673,08
NR230	2	208,04	746,76	221,4	687,94	237,58	646,36
NR239	2	221,46	698,31	240	645,82	268,82	592,69
NR330	3	189,11	809,98	207,6	747,97	225,27	696,04
NR339	3	197,22	791,61	212,13	728,48	228,08	680,26
NR	ort	203,931667	757,743333	218,65	708,163333	237,191667	658,671667
AP130	1	155,06	981,52	168,24	897,84	181,38	840,18
AP139	1	178,29	863,09	192,09	797,06	204,79	750,38
AP230	2	157,92	962,17	172,94	878,36	186,18	823,56
AP239	2	174,15	872,75	195,46	793,08	209,76	728,06
AP330	3	158,81	960,26	174,21	893,11	190,6	806,73
AP339	3	142,36	1079,6	159,74	977,53	175,03	879,8
AP	ort	161,098333	953,231667	177,113333	872,83	191,29	804,785
SE130	1	206,88	729,54	221,4	686,38	237,02	638,82
SE139	1	220,24	687,46	236,31	639,73	262,8	569,23
SE230	2	194,63	792,13	222,67	673,33	241	634,21
SE239	2	190,27	786,29	206,77	734,01	243,87	621,69
SE330	3	184,64	825,16	200,54	764,37	216,16	704,68
SE339	3	184,92	818,12	204,9	731,71	221,35	685,28
SE	ort	196,93	773,116667	215,431667	704,921667	237,033333	642,318333
PE130	1	162,95	932,75	176,08	846,45	198,88	763,67
PE139	1	163	930,32	179,17	844,35	202,14	754,22
PE230	2	186,74	808,01	207,55	729,52	226,98	663,99
PE239	2	183,15	818,85	200,37	744,77	216,93	696,74
PE330	3	187,79	808,51	210,69	716,24	232,61	651,52
PE339	3	200,81	740,49	226,76	667,07	246,57	609,48
PE	ort	180,74	839,821667	200,103333	758,066667	220,685	689,936667
BE130	1	188,23	817,04	211,74	728,71	229,46	677,8
BE139	1	228,03	667,58	252,31	617,57	275,33	560,58
BE230	2	171,56	882,02	195,13	786,97	206	735,77
BE239	2	194,19	776,65	216,21	708,23	234,48	661,45
BE330	3	176,75	852,05	189,83	792,73	210,42	715,01
BE339	3	179,06	853,1	187,51	813,65	207,49	731,77
BE	ort	189,636667	808,073333	208,788333	741,31	227,196667	680,396667
SB130	1	145,5	1030,8	163,11	942,78	185,03	830,87
SB139	1	154,44	996,4	169,35	888,9	183,65	826,32
SB230	2	139,93	1080,1	157,59	982,13	176,14	865,31
SB239	2	150,47	1021,9	165,48	921,46	181,93	847,51
SB330	3	121,88	1273	135,51	1139,5	148,04	1032,1
SB339	3	134,68	1134,8	152,07	1017,3	164,71	924,2
SB	ort	141,15	1089,5	157,185	982,011667	173,25	887,718333



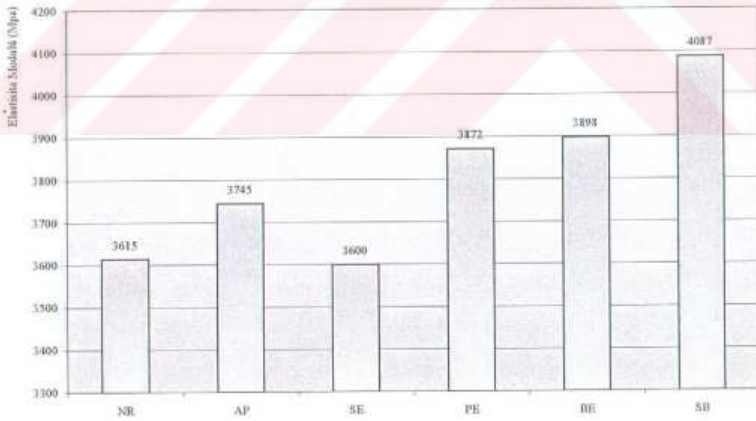
Şekil B.1 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 40 ms)



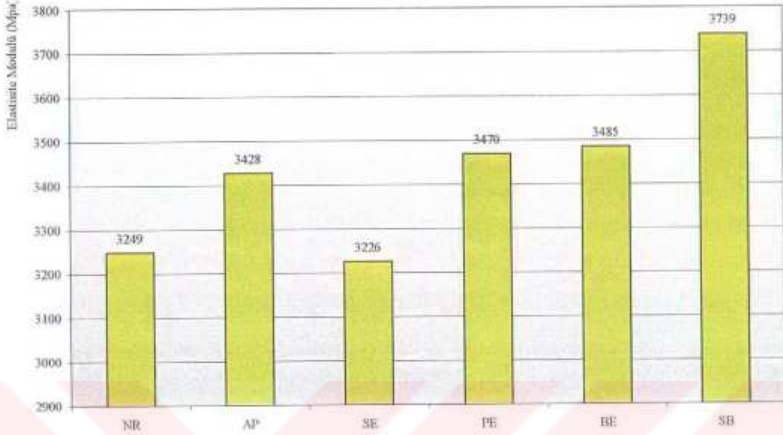
Şekil B.2 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 60 ms)



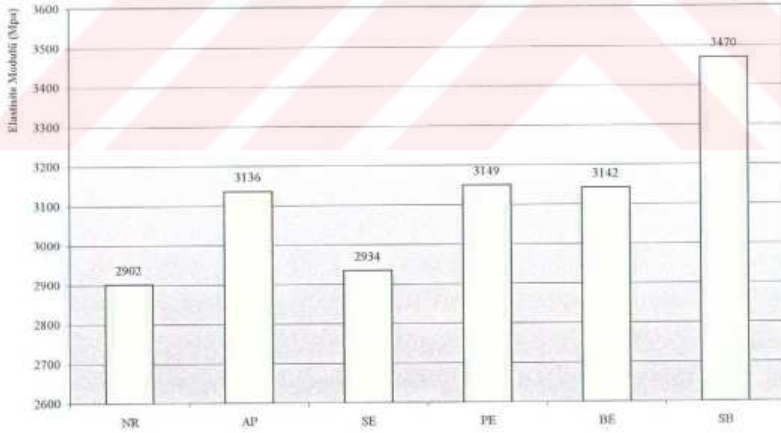
Şekil B.3 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 80 ms)



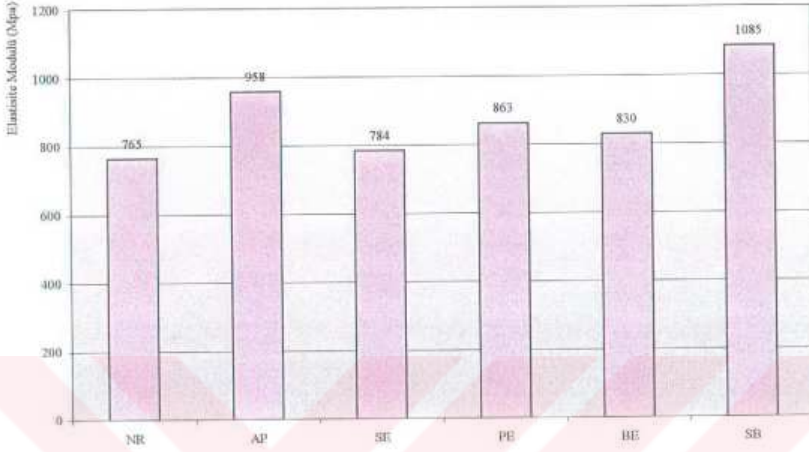
Şekil B.4 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 40 ms)



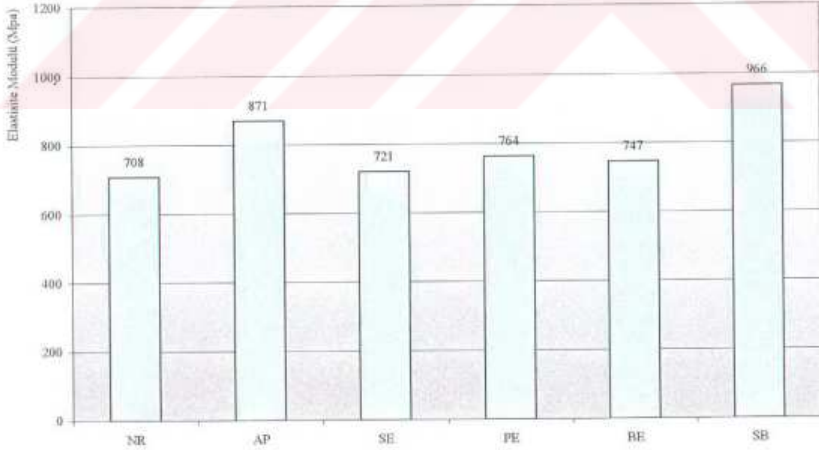
Şekil B.5 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 60 ms)



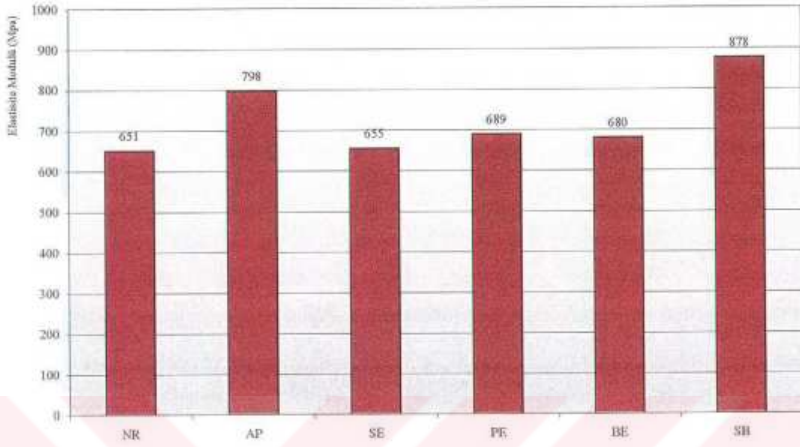
Şekil B.6 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 80 ms)



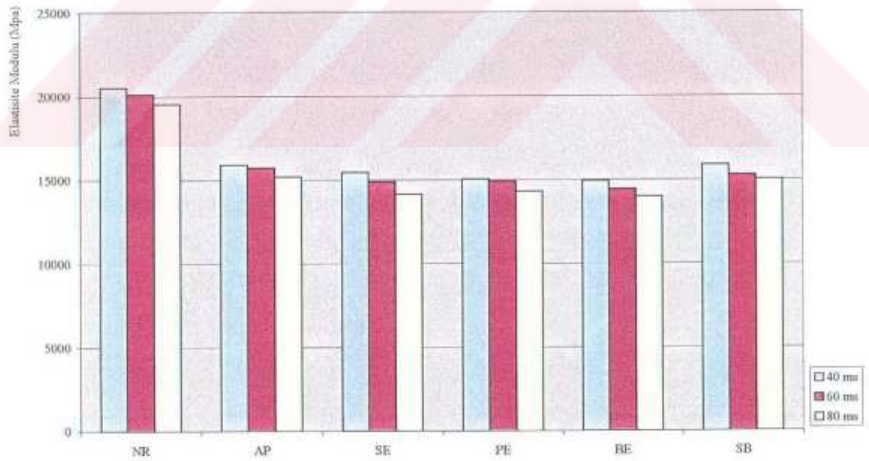
Şekil B.7 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 40 ms)



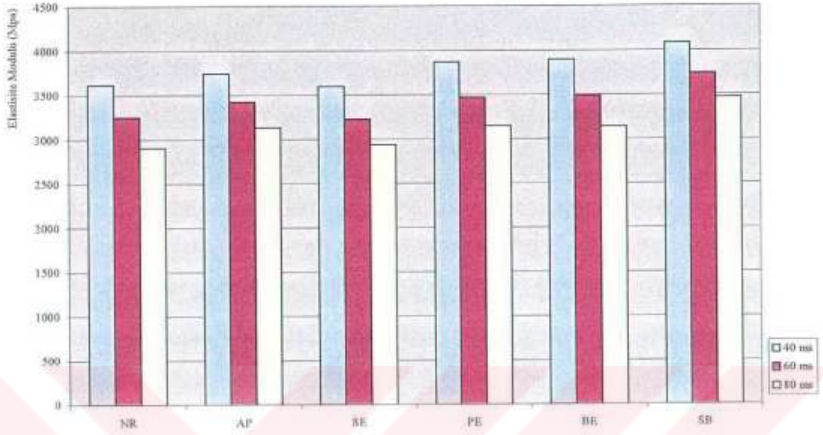
Şekil B.8 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 60 ms)



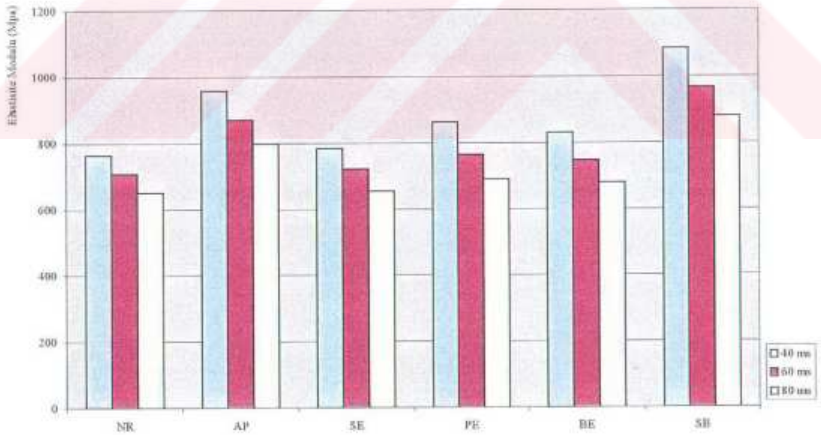
Şekil B.9 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 80 ms)



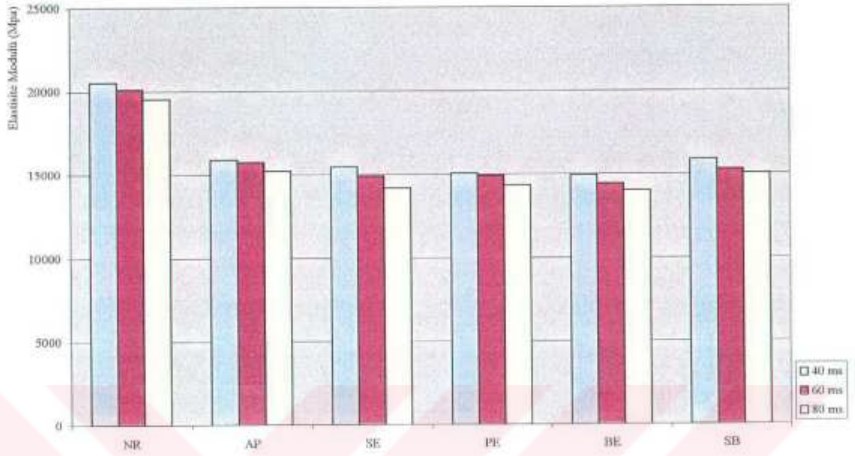
Şekil B.10 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 5 °C)



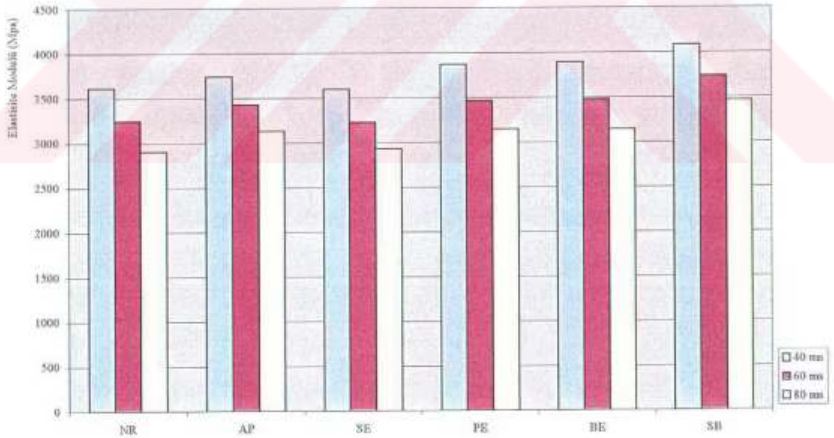
Şekil B.11 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 25 °C)



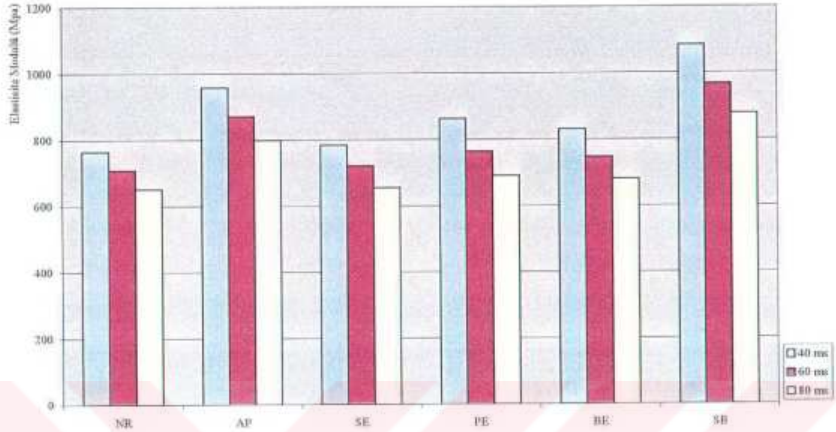
Şekil B.12 Karışımların elastisite modülleri (sıcaklık 40 °C)



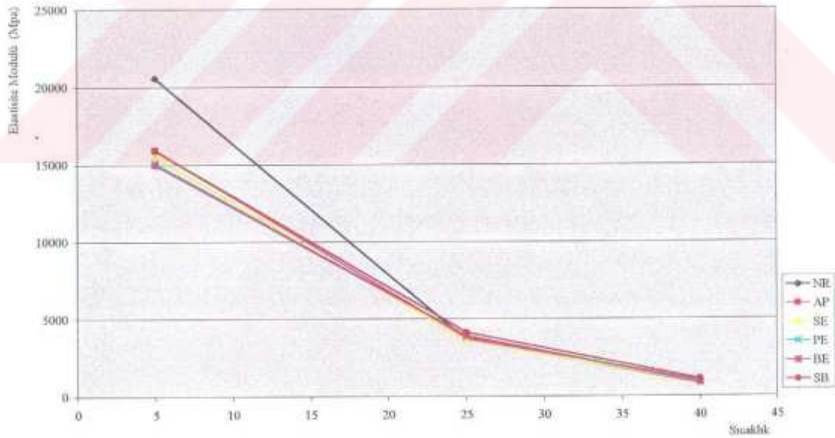
Şekil B.13 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (5 °C)



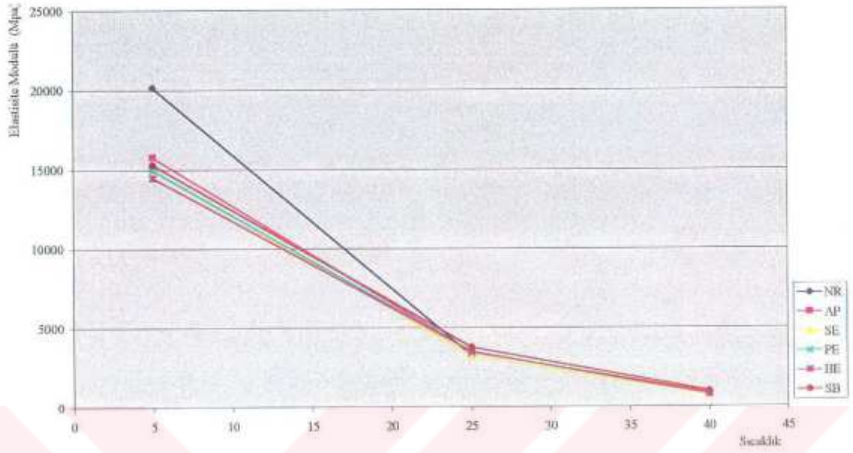
Şekil B.14 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (25 °C)



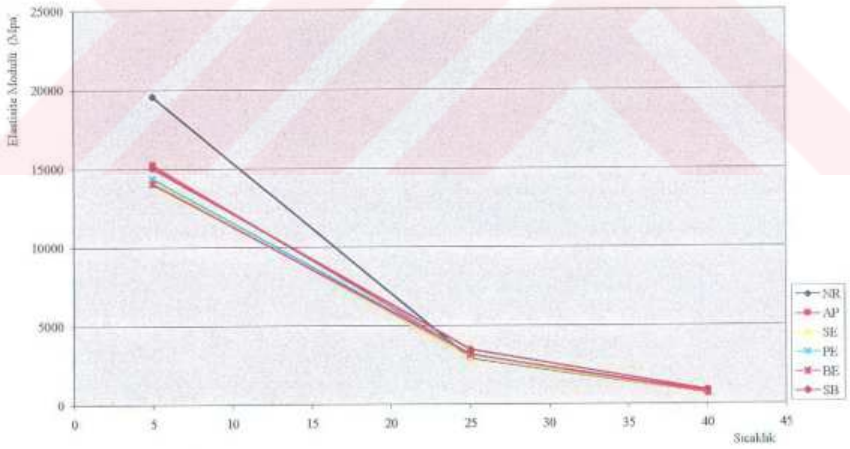
Şekil B.15 Karışımların elastisite modülü – yükleme hız ilişkisi (40 °C)




Şekil B.16 Elastisite modülünün sıcaklık üzerindeki etkisi (40 ms)



Şekil B.17 Elastisite modülünün sıcaklık üzerindeki etkisi (60 ms)

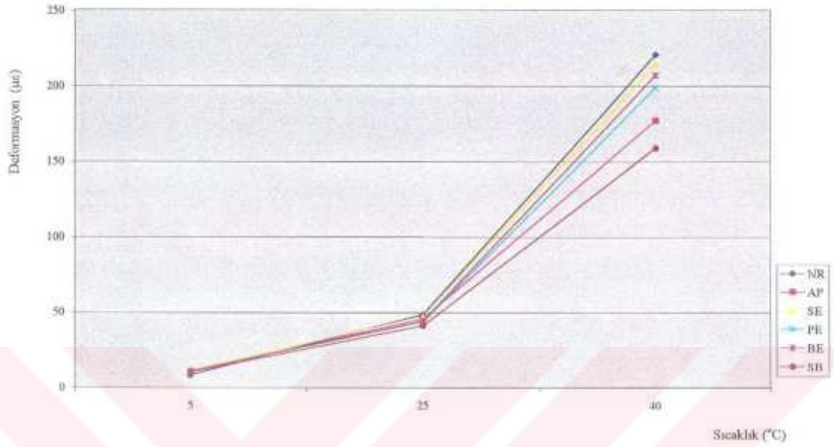


Şekil B.18 Elastisite modülünün sıcaklık üzerindeki etkisi (80 ms)

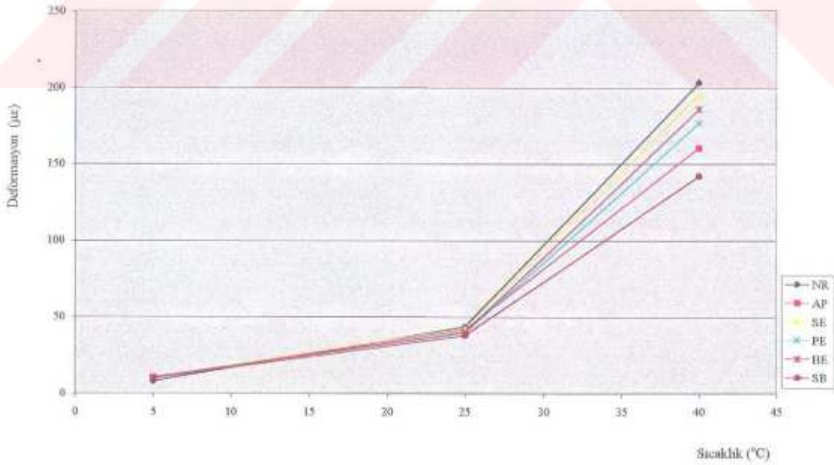


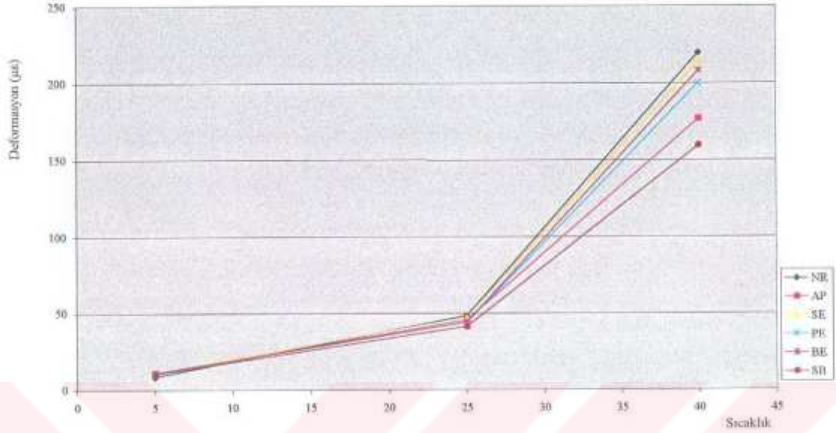
**EK C. Dolaylı Çekme Deneyi
Deformasyon Sonuçları**

Şekil C.1 Deformasyonun sıcaklığa göre değişimi

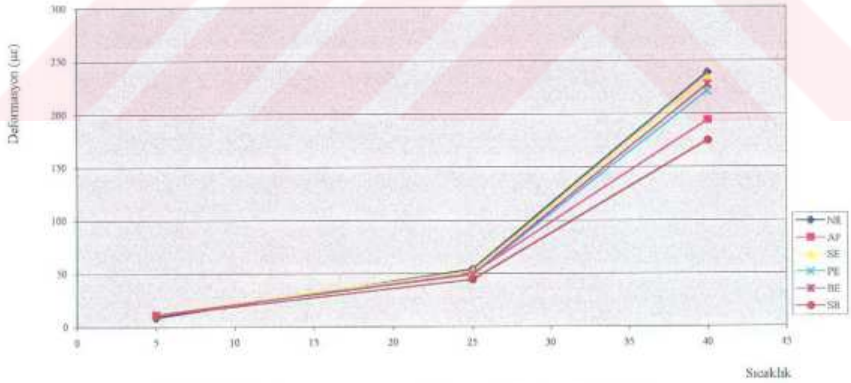


Şekil C.2 Deformasyonun sıcaklık üzerindeki etkisi (40 ms)

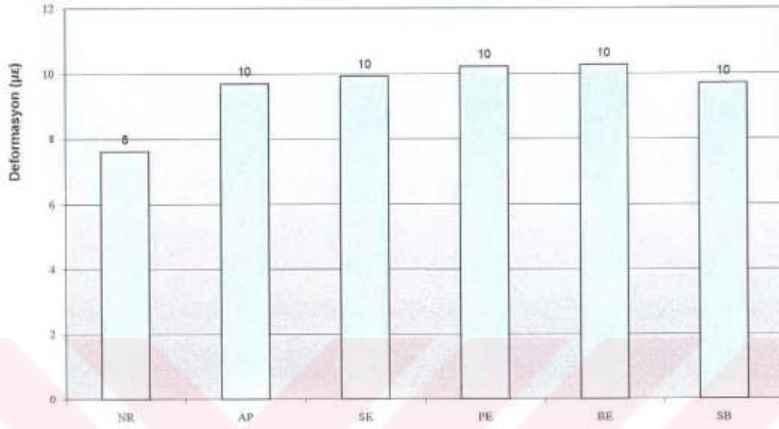




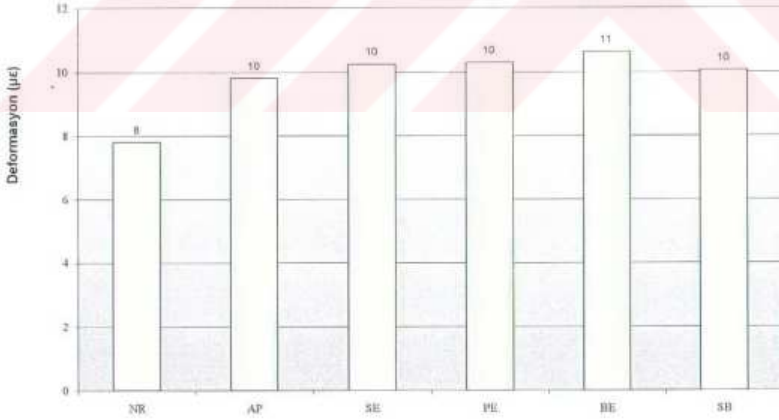
Şekil C.3 Deformasyonun sıcaklık üzerindeki etkisi (60 ms)



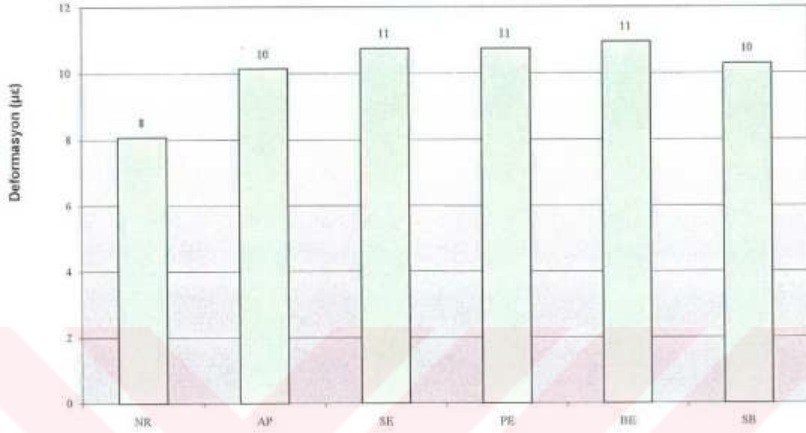
Şekil C.4 Deformasyonun sıcaklık üzerindeki etkisi (80 ms)



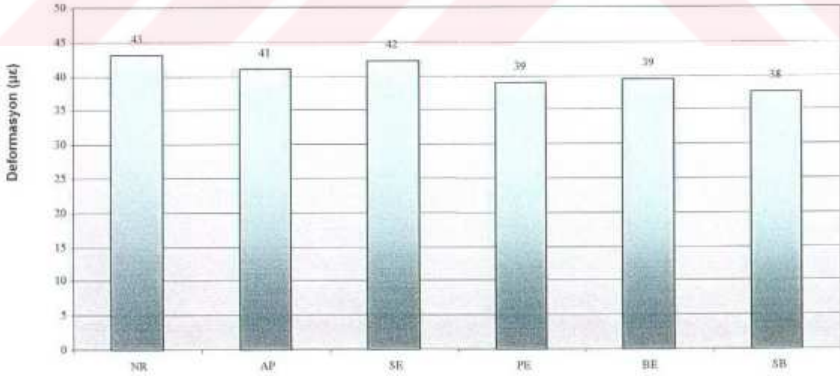
Şekil C.5 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 40 ms)



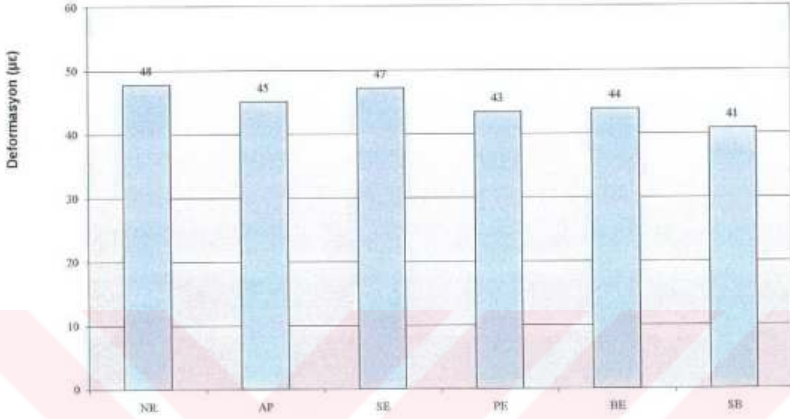
Şekil C.6 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 60 ms)



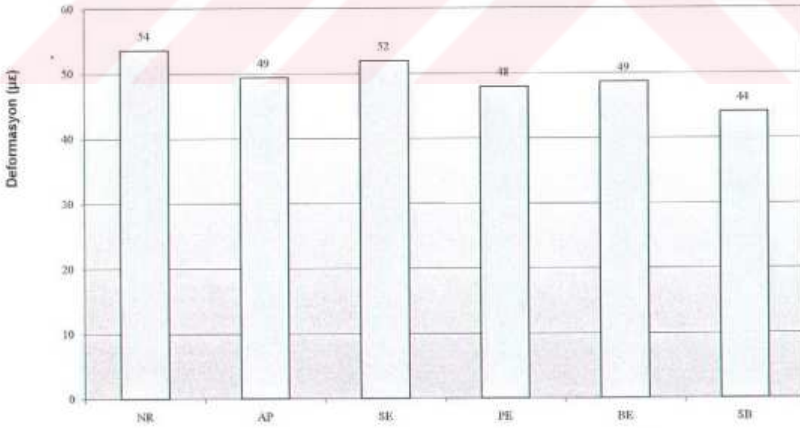
Şekil C.7 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 5 °C, yükleme hızı 80 ms)



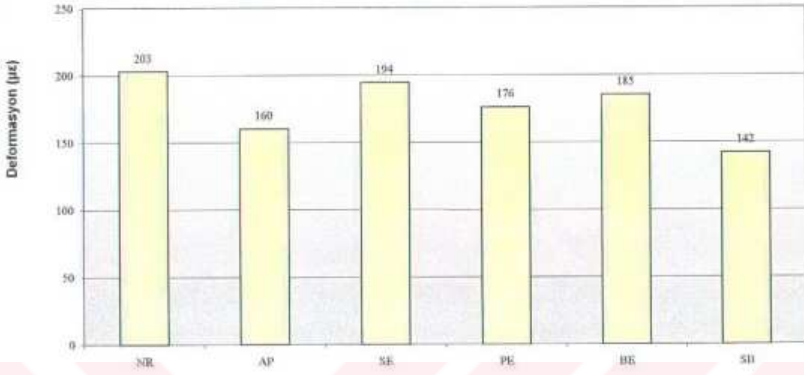
Şekil C.8 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 40 ms)



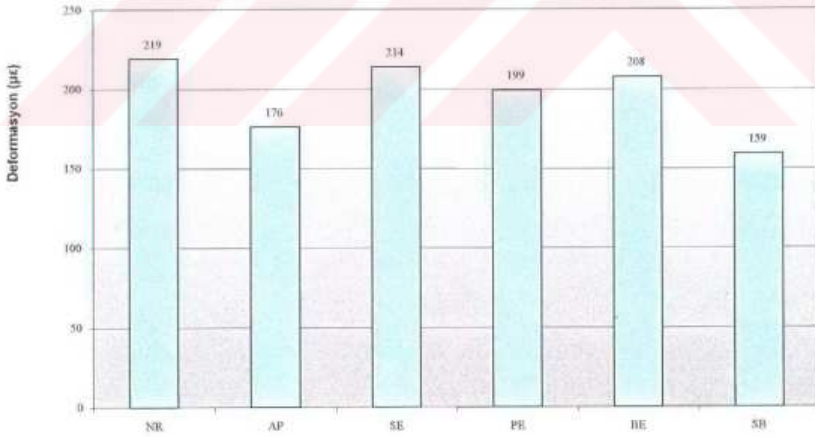
Şekil C.9 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 60 ms)



Şekil C.10 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 25 °C, yükleme hızı 80 ms)



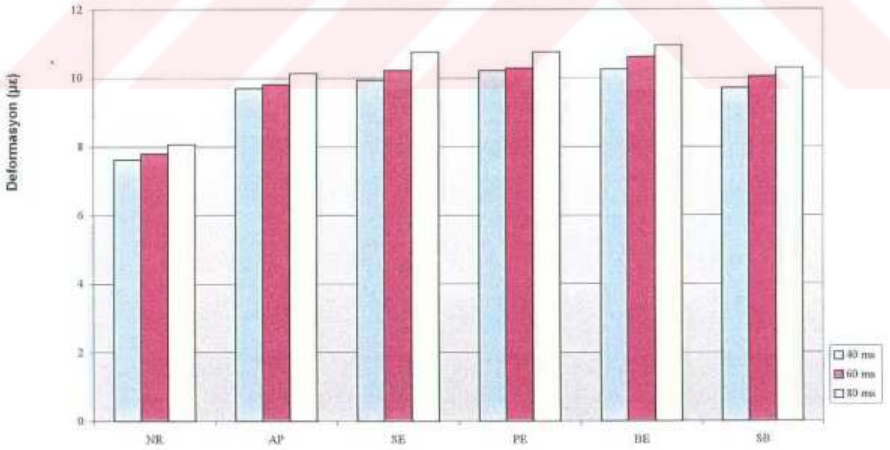
Şekil C.11 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 40 ms)



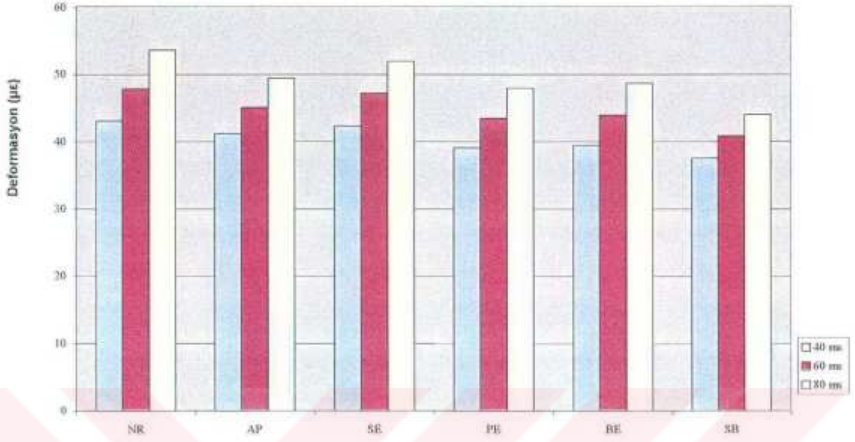
Şekil C.12 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 60 ms)



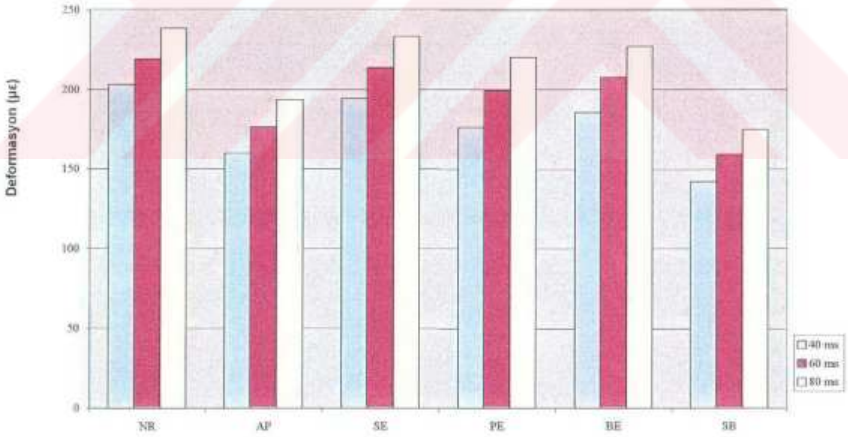
Şekil C.13 Karışımların deformasyonu (sıcaklık 40 °C, yükleme hızı 80 ms)



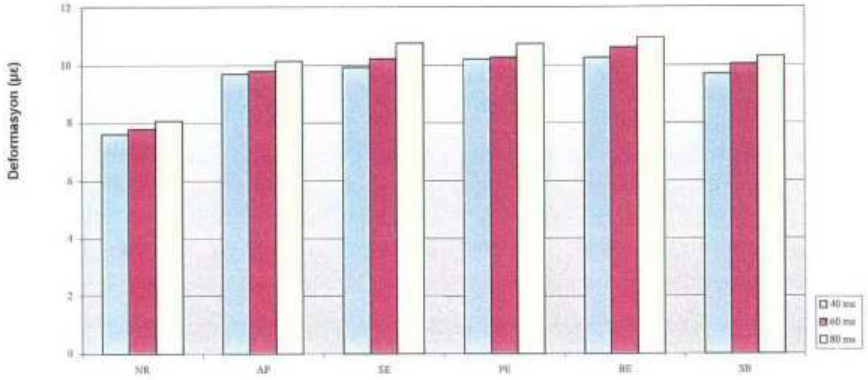
Şekil C.14 Karışımların deformasyonları (sıcaklık 5 °C)



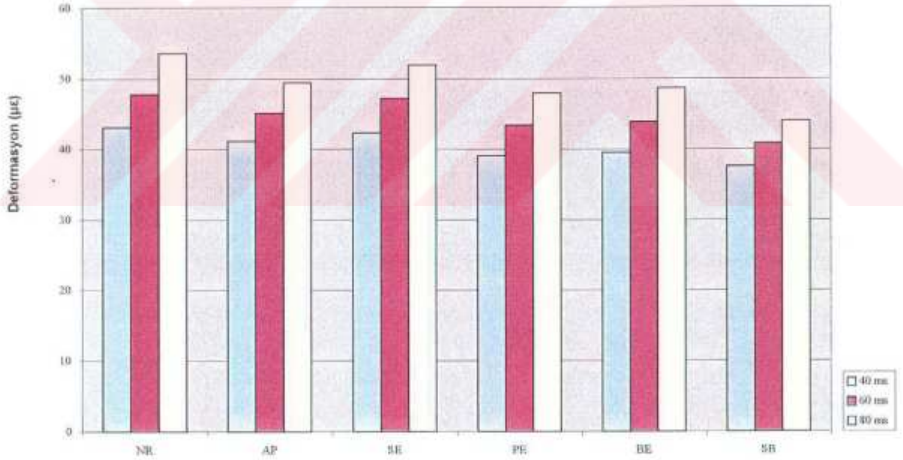
Şekil C.15 Karışımların deformasyonları (sıcaklık 25 °C)



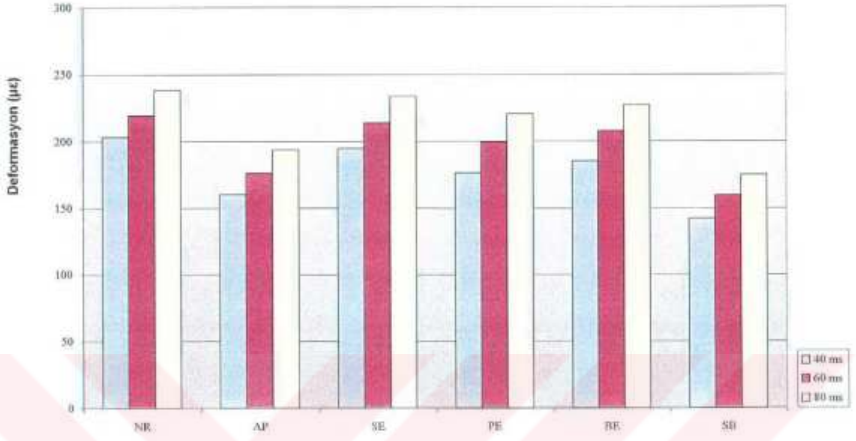
Şekil C.16 Karışımların deformasyonları (sıcaklık 40 °C)




Şekil C.17 Karışımların deformasyon – yükleme hız ilişkisi (sıcaklık 5 °C)



Şekil C.18 Karışımların deformasyon – yükleme hız ilişkisi (sıcaklık 25 °C)



Şekil C.19 Karışımların deformasyon – yükleme hız ilişkisi (sıcaklık 40 °C)



**EK D. Statik Sünme Deneyi
Sonuçları**

Çizelge D.1 (25 °C) Statik Sunme Deformasyonu (10⁻⁶xin/in)

Süre (sn)	Katkı Cinsi											
	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1	SB2
1	961	1414	1286	1250	1221	1005	1286	1678	726	1085	928	922
2	1158	1656	1580	1505	1436	1168	1483	1939	824	1199	1051	1052
3	1305	1822	1798	1686	1601	1291	1624	2144	893	1289	1158	1158
4	1429	1963	1983	1842	1724	1397	1755	2300	952	1362	1232	1240
5	1535	2097	2160	1982	1840	1479	1878	2430	1011	1419	1305	1313
6	1634	2196	2303	2113	1931	1552	1962	2553	1050	1468	1355	1370
7	1716	2288	2437	2229	2021	1626	2037	2660	1090	1525	1412	1427
8	1798	2388	2555	2336	2104	1691	2122	2758	1129	1566	1461	1476
9	1864	2463	2672	2426	2170	1748	2207	2848	1168	1599	1511	1525
10	1946	2537	2782	2516	2244	1806	2263	2921	1188	1639	1552	1574
11	2003	2612	2891	2599	2310	1855	2320	3003	1218	1688	1593	1623
12	2069	2679	2983	2689	2360	1895	2386	3069	1247	1713	1634	1664
13	2118	2737	3059	2763	2417	1944	2452	3142	1267	1746	1667	1697
14	2176	2804	3143	2829	2467	1985	2480	3200	1287	1778	1700	1729
15	2225	2862	3218	2895	2517	2018	2518	3265	1316	1811	1732	1762
16	2266	2903	3286	2952	2550	2059	2585	3314	1326	1827	1749	1778
17	2315	2953	3353	3018	2599	2092	2613	3355	1346	1852	1782	1811
18	2356	2995	3412	3076	2632	2124	2651	3404	1366	1876	1806	1843
19	2397	3045	3479	3125	2665	2157	2698	3453	1385	1900	1831	1860
20	2430	3078	3529	3183	2698	2181	2745	3494	1395	1917	1847	1892
21	2463	3120	3597	3232	2731	2222	2783	3543	1415	1949	1872	1909
22	2504	3153	3639	3289	2756	2239	2802	3576	1435	1966	1897	1925
23	2537	3195	3689	3339	2789	2271	2849	3617	1445	1982	1913	1958
24	2570	3228	3748	3380	2822	2296	2897	3658	1464	2007	1938	1974
25	2603	3261	3798	3429	2847	2312	2916	3691	1474	2031	1954	1998
26	2635	3295	3840	3462	2880	2345	2944	3732	1484	2047	1970	2023
27	2668	3328	3882	3512	2904	2369	2973	3764	1504	2064	1995	2039
28	2685	3353	3924	3553	2929	2386	3011	3797	1514	2088	2011	2055
29	2718	3386	3975	3586	2946	2418	3030	3830	1523	2104	2028	2072
30	2750	3419	4017	3635	2979	2435	3058	3854	1543	2121	2044	2096
31	2775	3444	4050	3668	3003	2459	3096	3887	1553	2137	2061	2121
32	2800	3478	4101	3709	3028	2475	3125	3920	1563	2153	2077	2137
33	2824	3502	4134	3742	3045	2492	3144	3944	1573	2170	2094	2145
34	2849	3527	4176	3775	3069	2516	3163	3969	1583	2186	2102	2162
35	2874	3552	4210	3816	3086	2533	3201	4002	1593	2194	2126	2170
36	2906	3569	4244	3849	3102	2549	3229	4034	1602	2210	2135	2186
37	2923	3602	4277	3882	3127	2565	3239	4051	1622	2227	2151	2219
38	2947	3619	4311	3914	3152	2582	3258	4083	1632	2235	2167	2235
39	2972	3644	4345	3947	3168	2606	3296	4100	1642	2251	2176	2235
40	2989	3669	4370	3980	3185	2623	3324	4133	1642	2268	2192	2251
41	3005	3686	4403	4013	3201	2639	3334	4149	1652	2276	2209	2268
42	3030	3710	4437	4038	3218	2655	3353	4182	1661	2292	2217	2284
44	3071	3744	4496	4095	3243	2680	3410	4214	1681	2316	2241	2308
45	3095	3777	4513	4128	3259	2696	3429	4247	1691	2333	2258	2316
46	3112	3785	4546	4153	3276	2712	3438	4264	1701	2341	2266	2333
47	3128	3810	4571	4178	3292	2729	3476	4280	1711	2357	2274	2349
48	3144	3827	4597	4211	3309	2737	3495	4313	1721	2374	2291	2365

Süre (sn)	Katkı Cinsi											
	NR1	NR2	API	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SBI	SB2
50	3177	3860	4655	4260	3333	2770	3524	4345	1731	2390	2315	2382
51	3194	3877	4672	4276	3350	2786	3552	4370	1740	2406	2323	2398
52	3210	3894	4714	4309	3358	2794	3562	4386	1740	2406	2340	2406
54	3243	3927	4748	4350	3391	2827	3600	4427	1760	2439	2356	2431
55	3259	3952	4782	4383	3391	2827	3619	4444	1770	2439	2365	2447
56	3276	3960	4798	4400	3408	2843	3628	4468	1780	2455	2381	2455
58	3300	3985	4832	4449	3441	2868	3676	4501	1800	2471	2397	2471
59	3317	4002	4857	4465	3441	2884	3695	4517	1800	2488	2406	2480
61	3350	4027	4908	4515	3474	2900	3704	4550	1809	2504	2430	2504
63	3383	4052	4950	4556	3490	2925	3761	4583	1819	2520	2447	2529
64	3383	4068	4958	4572	3498	2933	3761	4607	1839	2537	2455	2537
66	3415	4101	5000	4605	3523	2958	3799	4632	1839	2553	2471	2553
68	3448	4118	5034	4655	3540	2966	3828	4664	1859	2569	2496	2577
69	3456	4135	5050	4671	3548	2982	3828	4681	1859	2577	2496	2586
71	3481	4151	5092	4704	3564	2998	3875	4714	1878	2602	2512	2602
73	3506	4176	5118	4745	3589	3015	3894	4738	1878	2610	2529	2618
75	3522	4201	5151	4778	3606	3031	3933	4771	1898	2635	2545	2635
77	3547	4226	5176	4811	3630	3047	3942	4795	1918	2651	2562	2659
79	3571	4243	5210	4844	3639	3072	3980	4820	1918	2667	2578	2667
81	3588	4260	5244	4877	3663	3088	3989	4853	1937	2675	2594	2684
83	3604	4285	5277	4910	3672	3105	4027	4869	1937	2692	2611	2700
85	3637	4309	5294	4942	3680	3113	4036	4902	1957	2708	2627	2716
87	3654	4326	5328	4967	3696	3129	4074	4926	1957	2716	2635	2732
90	3670	4359	5370	5008	3721	3154	4093	4967	1976	2732	2660	2757
92	3695	4359	5395	5041	3746	3170	4131	4984	1976	2757	2668	2765
95	3719	4393	5429	5082	3762	3186	4169	5025	1996	2773	2685	2798
97	3736	4409	5454	5115	3771	3203	4178	5041	2015	2790	2701	2806
100	3760	4434	5487	5148	3787	3219	4206	5074	2015	2806	2726	2830
102	3785	4443	5513	5164	3795	3235	4225	5106	2035	2814	2734	2838
105	3810	4476	5546	5206	3812	3252	4254	5139	2045	2830	2759	2863
107	3810	4493	5563	5230	3828	3268	4291	5155	2054	2838	2759	2879
110	3842	4509	5597	5263	3845	3284	4310	5188	2064	2863	2783	2887
113	3859	4526	5622	5296	3861	3301	4329	5213	2074	2879	2800	2912
116	3883	4551	5647	5329	3870	3317	4367	5245	2093	2896	2816	2928
119	3908	4567	5681	5362	3894	3333	4405	5270	2093	2912	2833	2945
122	3924	4592	5706	5395	3903	3342	4424	5303	2113	2928	2849	2961
125	3941	4609	5731	5428	3919	3358	4433	5327	2113	2945	2865	2977
129	3966	4626	5756	5461	3936	3382	4471	5360	2132	2961	2882	2993
132	3982	4642	5790	5493	3952	3399	4509	5385	2142	2977	2898	3010
135	3998	4659	5815	5518	3969	3415	4528	5417	2162	2985	2915	3026
139	4023	4684	5840	5559	3985	3431	4556	5450	2171	3002	2931	3042
143	4048	4700	5874	5584	4002	3440	4584	5483	2181	3018	2947	3075
146	4064	4717	5891	5609	4010	3456	4603	5507	2191	3034	2964	3083
150	4080	4734	5916	5641	4018	3472	4622	5532	2201	3051	2980	3108
154	4097	4759	5941	5674	4035	3489	4650	5565	2220	3067	2997	3116
158	4122	4775	5966	5707	4051	3497	4688	5589	2220	3083	3013	3140
162	4146	4792	6000	5740	4068	3513	4707	5614	2240	3100	3038	3157
166	4163	4809	6017	5757	4076	3529	4735	5646	2250	3116	3046	3173
171	4179	4825	6042	5798	4092	3554	4773	5679	2259	3132	3071	3189
175	4195	4842	6067	5822	4101	3562	4792	5712	2279	3148	3079	3214
180	4220	4859	6092	5855	4117	3587	4839	5745	2298	3165	3103	3230

Süre (sn)	Katkı Cinsi											
	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1	SB2
184	4236	4875	6118	5888	4134	3595	4858	5769	2298	3181	3120	3246
189	4253	4892	6134	5921	4142	3611	4886	5794	2318	3197	3136	3263
194	4269	4908	6168	5938	4158	3627	4905	5827	2318	3206	3153	3279
199	4294	4925	6185	5970	4175	3636	4934	5859	2337	3214	3169	3295
204	4310	4942	6210	6003	4183	3652	4971	5892	2347	3230	3186	3312
210	4327	4958	6227	6036	4200	3668	4981	5917	2357	3246	3202	3344
215	4351	4975	6244	6053	4208	3685	5019	5941	2376	3263	3218	3361
221	4360	4992	6277	6086	4224	3693	5038	5974	2396	3279	3235	3377
226	4384	5008	6294	6110	4233	3709	5057	5998	2396	3295	3251	3393
232	4401	5025	6319	6143	4249	3725	5104	6031	2415	3312	3268	3409
238	4417	5042	6336	6168	4257	3734	5122	6056	2425	3328	3284	3426
244	4433	5050	6353	6192	4266	3750	5150	6080	2435	3344	3300	3442
251	4450	5075	6378	6225	4274	3766	5188	6121	2444	3361	3325	3467
257	4466	5075	6387	6242	4282	3775	5197	6137	2454	3361	3342	3483
264	4483	5092	6420	6275	4299	3791	5216	6170	2474	3377	3358	3499
271	4499	5108	6437	6308	4307	3807	5253	6203	2483	3393	3374	3524
278	4516	5125	6454	6340	4315	3824	5281	6227	2503	3409	3399	3540
285	4532	5141	6471	6357	4332	3824	5300	6260	2503	3426	3415	3556
292	4548	5158	6487	6382	4332	3840	5338	6293	2522	3442	3424	3573
300	4557	5175	6513	6414	4348	3856	5356	6309	2542	3458	3448	3597
308	4573	5183	6529	6439	4365	3864	5384	6342	2542	3475	3465	3613
316	4589	5191	6546	6464	4373	3881	5422	6375	2561	3483	3481	3630
324	4606	5208	6563	6488	4381	3889	5441	6399	2581	3491	3498	3646
332	4622	5216	6580	6513	4398	3905	5469	6432	2591	3507	3514	3662
341	4631	5241	6605	6538	4414	3922	5497	6457	2600	3524	3530	3679
350	4655	5250	6630	6563	4414	3930	5515	6489	2610	3540	3547	3711
359	4663	5266	6647	6587	4431	3946	5553	6514	2620	3548	3563	3728
368	4672	5275	6664	6612	4431	3946	5562	6538	2639	3564	3580	3744
378	4688	5283	6681	6645	4447	3962	5590	6571	2649	3573	3596	3760
388	4713	5300	6697	6661	4455	3979	5618	6596	2659	3589	3612	3777
398	4721	5316	6714	6678	4464	3987	5656	6628	2678	3597	3645	3793
408	4737	5324	6723	6711	4480	4003	5684	6645	2688	3597	3654	3809
419	4754	5333	6748	6727	4488	4011	5694	6678	2698	3613	3678	3834
429	4770	5349	6756	6752	4497	4020	5722	6702	2718	3630	3686	3850
441	4778	5366	6773	6776	4505	4036	5750	6735	2727	3646	3703	3866
452	4787	5383	6790	6801	4513	4044	5769	6759	2737	3654	3719	3883
464	4803	5383	6807	6817	4521	4060	5788	6784	2757	3662	3744	3899
476	4819	5399	6815	6842	4538	4069	5825	6817	2766	3679	3760	3931
488	4836	5408	6840	6867	4546	4085	5854	6833	2776	3687	3777	3940
501	4844	5416	6849	6883	4554	4085	5873	6866	2786	3703	3793	3964
514	4860	5433	6866	6900	4554	4101	5910	6890	2805	3711	3810	3980
527	4877	5441	6874	6933	4571	4109	5920	6915	2825	3728	3826	3997
541	4885	5449	6891	6949	4579	4126	5957	6939	2825	3736	3842	4013
555	4893	5466	6908	6965	4587	4142	5976	6972	2844	3752	3859	4029
569	4910	5474	6924	6998	4604	4142	5995	6997	2864	3760	3875	4046
584	4918	5491	6941	7015	4604	4150	6023	7021	2864	3777	3892	4062
599	4934	5491	6950	7031	4612	4167	6051	7046	2883	3785	3908	4078
615	4943	5507	6958	7056	4620	4175	6080	7079	2903	3793	3924	4103
630	4959	5516	6975	7072	4637	4183	6080	7095	2903	3809	3941	4119
647	4967	5524	6992	7097	4637	4199	6127	7119	2922	3817	3966	4135
664	4975	5541	7008	7113	4645	4199	6146	7152	2932	3825	3982	4152

Süre	Katki Cinsi											
	(sn)	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1
681	4992	5541	7008	7130	4653	4216	6164	7169	2951	3842	3998	4168
698	5008	5557	7034	7146	4670	4224	6183	7193	2961	3850	4007	4192
717	5016	5566	7042	7171	4670	4232	6221	7226	2970	3866	4031	4209
735	5025	5574	7059	7188	4670	4240	6230	7242	2990	3874	4048	4217
754	5041	5582	7076	7204	4686	4257	6268	7267	2999	3883	4064	4233
774	5049	5591	7076	7220	4703	4265	6268	7291	3009	3891	4080	4258
794	5057	5599	7092	7253	4703	4273	6306	7316	3028	3899	4097	4282
814	5074	5616	7109	7253	4711	4281	6315	7340	3047	3915	4113	4299
836	5074	5624	7118	7278	4719	4289	6353	7365	3047	3923	4130	4315
857	5090	5632	7126	7294	4728	4297	6371	7390	3067	3931	4146	4331
879	5107	5641	7143	7319	4736	4314	6390	7414	3067	3948	4163	4347
902	5107	5649	7151	7336	4736	4314	6409	7430	3086	3956	4179	4364
926	5123	5649	7160	7344	4752	4330	6437	7447	3105	3964	4195	4380
950	5140	5666	7176	7368	4752	4338	6456	7480	3115	3972	4212	4396
974	5140	5682	7185	7377	4769	4338	6475	7504	3125	3980	4212	4413
1000	5148	5682	7193	7393	4769	4355	6494	7529	3134	3997	4245	4429
1025	5156	5699	7210	7410	4769	4355	6531	7537	3154	3997	4253	4445
1049	5172	5699	7218	7426	4785	4371	6541	7570	3163	4013	4278	4462
1079	5172	5715	7227	7442	4785	4379	6560	7586	3183	4013	4278	4478
1107	5189	5715	7244	7459	4802	4387	6578	7610	3192	4029	4294	4494
1136	5189	5724	7252	7475	4802	4395	6616	7635	3202	4038	4310	4511
1165	5205	5732	7261	7492	4810	4395	6626	7651	3211	4046	4327	4519
1196	5222	5740	7269	7508	4818	4412	6654	7676	3231	4062	4343	4543
1227	5222	5749	7277	7525	4818	4412	6673	7692	3240	4062	4360	4560
1258	5238	5757	7286	7541	4835	4428	6691	7709	3250	4078	4376	4576
1291	5238	5774	7303	7558	4835	4428	6701	7733	3269	4078	4392	4592
1325	5255	5774	7311	7574	4843	4444	6729	7758	3279	4095	4409	4608
1359	5255	5774	7319	7582	4851	4453	6738	7774	3289	4095	4409	4617
1394	5271	5790	7328	7590	4860	4461	6767	7799	3308	4111	4425	4633
1430	5279	5790	7336	7599	4868	4469	6795	7815	3308	4111	4442	4649
1467	5287	5807	7345	7632	4868	4469	6804	7831	3327	4127	4458	4666
1505	5296	5807	7361	7632	4884	4485	6823	7864	3347	4127	4475	4682
1544	5304	5824	7370	7648	4884	4485	6842	7881	3347	4144	4491	4698
1584	5312	5824	7378	7664	4901	4502	6861	7897	3366	4144	4507	4715
1625	5320	5832	7387	7681	4901	4502	6880	7913	3385	4160	4524	4723
1668	5328	5840	7395	7689	4901	4510	6898	7930	3385	4160	4524	4747
1711	5328	5840	7403	7697	4909	4518	6917	7946	3404	4176	4557	4763
1755	5345	5849	7412	7714	4917	4526	6936	7971	3414	4176	4557	4763
1801	5345	5857	7420	7722	4926	4534	6955	7987	3424	4192	4573	4780
1847	5361	5865	7420	7738	4934	4542	6974	8003	3443	4192	4589	4796
1895	5369	5874	7437	7747	4934	4551	6983	8020	3453	4209	4598	4812
1944	5378	5882	7437	7763	4942	4559	7002	8036	3462	4209	4614	4829
1995	5378	5882	7454	7771	4950	4559	7021	8061	3472	4217	4622	4845
2046	5386	5899	7462	7788	4950	4575	7040	8077	3482	4225	4639	4861
2100	5394	5899	7471	7804	4959	4575	7058	8093	3501	4225	4655	4878
2154	5402	5899	7479	7813	4959	4583	7077	8110	3511	4241	4663	4878
2210	5411	5915	7487	7821	4975	4592	7096	8126	3530	4241	4672	4894
2267	5411	5915	7487	7837	4975	4592	7115	8142	3530	4258	4688	4910
2326	5427	5923	7504	7837	4983	4608	7115	8159	3549	4258	4704	4918
2386	5427	5932	7504	7854	4992	4616	7134	8175	3549	4274	4721	4943
2448	5443	5940	7521	7862	4992	4616	7152	8191	3569	4274	4721	4943

Süre	Katkı Cinsi											
	(sn)	NR1	NR2	API	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1
2511	5443	5940	7521	7878	5008	4624	7171	8216	3588	4274	4729	4959
2576	5452	5940	7521	7895	5008	4632	7190	8224	3588	4290	4745	4976
2643	5460	5957	7538	7895	5008	4632	7209	8241	3607	4299	4754	4992
2712	5476	5957	7555	7911	5025	4649	7219	8265	3607	4307	4770	5000
2782	5476	5957	7555	7928	5025	4649	7238	8273	3626	4307	4778	5008
2854	5476	5973	7555	7928	5025	4649	7247	8290	3626	4315	4795	5024
2928	5493	5973	7571	7936	5041	4665	7266	8314	3646	4339	4803	5041
3004	5493	5973	7571	7944	5041	4665	7275	8322	3655	4356	4811	5057
3082	5501	5990	7588	7961	5041	4673	7294	8347	3665	4364	4828	5065
3162	5509	5990	7588	7961	5058	4681	7313	8355	3684	4372	4844	5073
3230	5509	5998	7588	7977	5058	4681	7323	8363	3694	4380	4844	5090
3328	5525	6007	7605	7993	5058	4698	7342	8380	3704	4388	4860	5098
3414	5525	6007	7605	7993	5074	4698	7351	8396	3713	4396	4877	5114
3503	5534	6015	7622	7993	5074	4706	7360	8412	3723	4396	4877	5122
3593	5534	6023	7622	8026	5074	4706	7379	8429	3733	4413	4893	5139
GD	4343	4867	6420	6768	4010	13113	5817	6972	2501	5742	6626	3964

Çizelge D.2 (40 °C) Statik Sünme Deformasyonu (10⁻⁶xin./in)


Süre (sn)	Katkı Cinsi											
	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1	SB2
1	2050	2215	1991	1955	2386	2079	2824	2345	2050	1915	2621	2385
2	2311	2530	2281	2221	2667	2340	3244	2641	2335	2160	2900	2688
3	2485	2737	2472	2389	2845	2530	3542	2829	2522	2337	3087	2877
4	2620	2905	2632	2536	2985	2671	3772	2986	2679	2474	3236	3028
5	2727	3023	2762	2645	3088	2781	3973	3114	2796	2592	3357	3161
6	2823	3142	2852	2743	3191	2871	4136	3212	2903	2661	3451	3265
7	2891	3220	2953	2822	3275	2962	4280	3310	3000	2739	3534	3359
8	2959	3310	3043	2911	3341	3032	4415	3389	3068	2827	3609	3444
9	3026	3369	3113	2960	3416	3102	4520	3458	3136	2876	3684	3510
10	3074	3439	3173	3019	3472	3162	4635	3536	3214	2945	3749	3586
11	3123	3498	3233	3077	3528	3222	4731	3595	3253	2974	3804	3643
12	3171	3538	3293	3126	3565	3262	4808	3635	3311	3014	3859	3690
13	3210	3577	3333	3166	3603	3302	4895	3684	3350	3072	3896	3737
14	3239	3617	3374	3195	3640	3332	4962	3723	3389	3092	3924	3775
15	3277	3647	3414	3234	3659	3372	5009	3762	3428	3121	3970	3813
16	3297	3676	3444	3264	3696	3402	5076	3801	3447	3151	3998	3850
17	3316	3706	3484	3293	3724	3432	5123	3831	3486	3180	4035	3888
18	3345	3726	3504	3312	3752	3452	5180	3860	3525	3190	4072	3917
19	3364	3766	3544	3342	3771	3482	5227	3900	3544	3230	4090	3945
20	3383	3785	3564	3361	3799	3501	5275	3919	3564	3259	4127	3983
21	3402	3805	3594	3391	3827	3521	5322	3959	3583	3259	4146	4002
22	3422	3825	3614	3411	3846	3551	5360	3978	3622	3279	4173	4039
23	3441	3845	3634	3430	3865	3571	5398	4008	3642	3308	4192	4058
24	3450	3865	3654	3459	3883	3591	5436	4037	3661	3328	4229	4077
25	3470	3885	3674	3479	3911	3611	5474	4057	3681	3328	4247	4106
26	3489	3894	3704	3479	3930	3621	5502	4077	3700	3367	4266	4134
27	3499	3914	3714	3499	3939	3650	5531	4096	3700	3387	4284	4153
28	3518	3924	3734	3528	3958	3660	5569	4126	3729	3377	4302	4172
29	3537	3954	3753	3538	3976	3680	5597	4145	3739	3396	4321	4191
30	3547	3964	3773	3547	3995	3690	5635	4165	3758	3416	4349	4219
31	3556	3984	3793	3567	4004	3700	5663	4184	3768	3436	4367	4238
32	3575	3984	3802	3587	4023	3720	5692	4194	3788	3426	4376	4257
33	3585	4003	3812	3587	4032	3740	5711	4204	3797	3455	4395	4276
34	3595	4023	3832	3606	4041	3750	5739	4223	3817	3465	4413	4295
35	3604	4023	3851	3626	4060	3760	5758	4243	3836	3465	4422	4304
36	3614	4043	3851	3636	4069	3769	5777	4262	3836	3485	4441	4323
37	3633	4053	3871	3646	4079	3779	5806	4282	3856	3485	4459	4342
38	3643	4063	3891	3665	4097	3799	5825	4302	3865	3514	4477	4351
39	3633	4063	3891	3665	4107	3809	5853	4302	3875	3514	4477	4370
40	3652	4083	3910	3685	4116	3819	5872	4321	3885	3514	4496	4389
41	3662	4093	3920	3685	4134	3829	5891	4331	3894	3553	4514	4398
42	3662	4103	3930	3704	4144	3849	5910	4341	3904	3553	4523	4408
44	3681	4122	3950	3724	4162	3849	5948	4370	3924	3553	4551	4446
45	3700	4122	3959	3734	4172	3869	5967	4389	3943	3573	4560	4455
46	3700	4142	3969	3744	4181	3879	5986	4399	3943	3593	4578	4465
47	3700	4142	3989	3753	4190	3889	5995	4409	3953	3583	4587	4484
48	3720	4142	3989	3753	4200	3899	6014	4419	3963	3593	4597	4493
50	3720	4162	4008	3773	4218	3918	6043	4448	3982	3612	4615	4512

Süre (sn)	Katkı Cinsi											
	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1	SB2
51	3739	4182	4028	3773	4227	3918	6062	4448	3992	3602	4633	4521
52	3739	4182	4028	3792	4227	3938	6081	4468	3992	3622	4633	4540
54	3758	4202	4028	3812	4246	3948	6109	4487	4011	3622	4661	4559
55	3758	4202	4048	3812	4255	3958	6128	4487	4021	3642	4670	4578
56	3758	4202	4067	3812	4265	3958	6128	4497	4021	3661	4670	4578
58	3777	4221	4067	3832	4283	3978	6156	4526	4040	3651	4697	4597
59	3777	4221	4077	3841	4283	3978	6175	4526	4040	3671	4707	4616
61	3787	4241	4087	3851	4302	3998	6194	4556	4060	3671	4716	4635
63	3806	4251	4107	3871	4311	4018	6223	4565	4079	3710	4734	4654
64	3806	4251	4107	3871	4321	4018	6242	4575	4079	3681	4753	4654
66	3816	4271	4126	3890	4339	4037	6251	4595	4089	3710	4753	4673
68	3825	4281	4146	3890	4348	4047	6270	4614	4099	3730	4771	4692
69	3825	4281	4146	3900	4348	4047	6289	4614	4099	3710	4789	4692
71	3845	4301	4146	3920	4367	4057	6308	4634	4118	3730	4808	4711
73	3845	4301	4165	3920	4376	4067	6317	4644	4118	3730	4808	4730
75	3864	4311	4165	3930	4386	4087	6346	4653	4138	3750	4826	4749
77	3864	4311	4185	3949	4404	4087	6365	4673	4138	3750	4844	4768
79	3883	4330	4185	3949	4404	4107	6384	4692	4157	3769	4853	4778
81	3883	4330	4205	3959	4423	4107	6393	4692	4157	3779	4872	4787
83	3893	4350	4224	3969	4423	4127	6412	4712	4176	3779	4872	4806
85	3893	4350	4224	3979	4442	4127	6431	4721	4176	3789	4890	4816
87	3902	4350	4224	3988	4442	4147	6441	4731	4195	3789	4909	4825
90	3912	4370	4244	3998	4460	4147	6460	4750	4195	3809	4927	4844
92	3912	4370	4254	4008	4479	4166	6479	4760	4205	3818	4927	4863
95	3922	4390	4264	4018	4479	4176	6507	4779	4215	3818	4945	4882
97	3931	4390	4264	4028	4497	4186	6516	4789	4224	3838	4964	4892
100	3950	4410	4283	4037	4516	4196	6535	4808	4234	3848	4973	4911
102	3950	4410	4293	4037	4516	4196	6554	4818	4234	3848	4982	4920
105	3950	4420	4303	4057	4516	4216	6573	4828	4253	3857	5000	4930
107	3950	4429	4303	4057	4535	4216	6573	4837	4253	3857	5009	4939
110	3970	4429	4313	4067	4535	4236	6592	4857	4263	3857	5028	4958
113	3970	4439	4322	4077	4553	4246	6611	4876	4272	3887	5046	4968
116	3989	4449	4332	4087	4572	4256	6620	4876	4282	3896	5046	4996
119	3989	4459	4342	4096	4572	4256	6639	4895	4292	3887	5065	5006
122	4008	4459	4352	4096	4590	4276	6658	4895	4301	3896	5065	5015
125	4008	4479	4362	4116	4590	4276	6667	4915	4311	3906	5083	5025
129	4008	4479	4371	4116	4609	4295	6695	4934	4320	3935	5101	5044
132	4008	4489	4381	4135	4618	4295	6704	4934	4320	3926	5110	5063
135	4027	4499	4381	4135	4628	4305	6714	4953	4330	3926	5120	5072
139	4027	4499	4391	4145	4637	4325	6732	4963	4340	3945	5138	5082
143	4037	4519	4401	4155	4646	4335	6751	4982	4340	3945	5147	5101
146	4047	4519	4411	4155	4656	4345	6760	4982	4359	3945	5165	5110
150	4047	4519	4421	4175	4665	4345	6779	5002	4359	3955	5165	5120
154	4056	4519	4430	4175	4684	4365	6788	5021	4369	3964	5184	5139
158	4066	4538	4430	4194	4684	4365	6807	5031	4378	3964	5202	5148
162	4066	4548	4440	4194	4702	4385	6807	5040	4378	3964	5202	5167
166	4075	4558	4450	4194	4702	4385	6826	5060	4397	3974	5221	5177
171	4075	4558	4450	4204	4721	4405	6844	5069	4397	4003	5239	5196
175	4085	4568	4460	4214	4730	4405	6854	5079	4397	4003	5239	5205
180	4095	4578	4470	4223	4739	4415	6872	5098	4417	4003	5257	5215
184	4095	4578	4470	4223	4749	4424	6891	5098	4417	4023	5266	5234

Süre (sn)	Katkı Cinsi											
	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SBI	SB2
189	4095	4588	4489	4233	4749	4434	6900	5118	4436	4023	5276	5253
194	4114	4588	4489	4243	4767	4444	6910	5127	4436	4013	5294	5262
199	4114	4598	4509	4253	4786	4454	6928	5137	4436	4023	5303	5272
204	4114	4608	4509	4253	4786	4454	6938	5147	4455	4042	5312	5291
210	4133	4618	4509	4263	4795	4474	6956	5166	4455	4042	5331	5291
215	4133	4628	4528	4273	4805	4474	6966	5166	4455	4042	5340	5310
221	4133	4628	4528	4282	4823	4494	6975	5185	4474	4071	5349	5329
226	4143	4628	4528	4292	4832	4494	6985	5205	4474	4071	5358	5338
232	4152	4647	4548	4292	4842	4514	7003	5205	4474	4071	5377	5348
238	4152	4647	4548	4302	4851	4514	7013	5224	4494	4091	5377	5367
244	4162	4647	4558	4312	4860	4524	7031	5224	4494	4071	5395	5386
251	4172	4667	4568	4322	4879	4534	7041	5243	4494	4101	5413	5386
257	4172	4667	4568	4331	4879	4544	7050	5253	4513	4091	5413	5405
264	4181	4667	4577	4331	4888	4544	7069	5263	4513	4110	5432	5414
271	4191	4677	4587	4331	4898	4563	7078	5272	4522	4110	5432	5424
278	4191	4687	4587	4351	4907	4563	7087	5282	4532	4110	5450	5443
285	4200	4687	4597	4351	4916	4583	7097	5302	4532	4120	5459	5462
292	4210	4697	4607	4361	4935	4583	7115	5311	4532	4110	5468	5462
300	4210	4697	4607	4371	4935	4603	7115	5321	4542	4149	5487	5481
308	4210	4707	4617	4371	4953	4603	7134	5330	4551	4149	5496	5490
316	4220	4717	4617	4380	4953	4613	7143	5350	4551	4149	5505	5500
324	4229	4717	4627	4380	4972	4623	7153	5350	4561	4130	5523	5519
332	4229	4727	4636	4400	4981	4623	7162	5369	4570	4169	5533	5528
341	4239	4737	4636	4400	4981	4633	7181	5369	4580	4169	5542	5538
350	4239	4737	4636	4410	5000	4653	7190	5388	4580	4169	5551	5557
359	4248	4737	4656	4410	5009	4653	7199	5408	4590	4169	5569	5566
368	4258	4746	4656	4420	5019	4653	7218	5408	4599	4149	5569	5576
378	4258	4756	4656	4420	5019	4673	7227	5427	4599	4188	5588	5595
388	4258	4756	4676	4430	5037	4673	7246	5427	4599	4208	5588	5604
398	4267	4766	4676	4439	5056	4692	7246	5447	4609	4188	5606	5614
408	4277	4776	4676	4439	5056	4692	7265	5456	4619	4208	5606	5623
419	4277	4776	4695	4449	5065	4712	7274	5466	4619	4208	5624	5633
429	4296	4786	4695	4449	5074	4712	7283	5475	4628	4227	5624	5642
441	4296	4796	4695	4459	5093	4722	7293	5485	4638	4208	5643	5661
452	4296	4806	4705	4469	5093	4732	7293	5495	4638	4247	5661	5671
464	4296	4806	4715	4469	5112	4742	7311	5505	4638	4227	5661	5680
476	4315	4806	4715	4478	5112	4742	7321	5514	4657	4247	5679	5699
488	4315	4806	4715	4488	5130	4762	7330	5533	4657	4227	5679	5709
501	4315	4826	4734	4488	5130	4762	7339	5533	4657	4247	5698	5718
514	4334	4826	4734	4488	5149	4782	7349	5553	4657	4247	5707	5728
527	4325	4826	4734	4498	5149	4782	7358	5553	4676	4247	5716	5737
541	4334	4836	4744	4508	5167	4782	7377	5572	4676	4266	5726	5756
555	4334	4845	4744	4518	5167	4802	7377	5572	4676	4286	5735	5756
569	4334	4845	4754	4518	5186	4802	7395	5592	4695	4266	5744	5775
584	4344	4855	4754	4518	5195	4821	7395	5601	4695	4266	5753	5775
599	4344	4855	4764	4528	5205	4821	7414	5611	4695	4286	5762	5794
615	4353	4855	4764	4537	5214	4831	7423	5620	4695	4286	5772	5813
630	4353	4875	4774	4537	5223	4841	7423	5630	4714	4305	5781	5813
647	4363	4875	4783	4547	5233	4851	7442	5640	4714	4286	5790	5832
664	4373	4885	4783	4547	5242	4851	7451	5659	4724	4295	5799	5851
681	4373	4895	4793	4557	5251	4871	7461	5659	4724	4305	5799	5851

Süre (sn)	Katkı Cinsi											
	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1	SB2
698	4373	4895	4793	4557	5261	4871	7470	5678	4734	4325	5818	5861
717	4373	4895	4803	4567	5270	4871	7479	5678	4734	4334	5818	5870
735	4382	4905	4803	4567	5288	4891	7489	5698	4734	4305	5836	5889
754	4392	4905	4803	4576	5288	4901	7498	5707	4743	4325	5836	5899
774	4401	4915	4823	4576	5307	4911	7507	5717	4753	4325	5855	5908
794	4401	4925	4823	4586	5307	4911	7507	5727	4753	4325	5864	5927
814	4411	4925	4823	4586	5326	4921	7526	5737	4762	4334	5873	5927
836	4411	4925	4833	4596	5326	4941	7535	5746	4762	4344	5882	5937
857	4411	4925	4842	4606	5344	4941	7535	5765	4772	4344	5892	5946
879	4420	4944	4842	4606	5344	4941	7545	5765	4772	4363	5901	5965
902	4420	4944	4842	4616	5363	4960	7554	5785	4781	4363	5910	5975
926	4420	4944	4842	4616	5363	4960	7573	5785	4781	4363	5919	5994
950	4430	4964	4862	4616	5382	4980	7573	5804	4791	4383	5929	5994
974	4439	4964	4862	4626	5382	4980	7591	5804	4791	4383	5938	6003
1000	4439	4964	4862	4626	5400	4990	7601	5823	4801	4383	5947	6022
1025	4449	4974	4872	4635	5400	5000	7601	5823	4810	4383	5956	6031
1052	4459	4974	4882	4645	5419	5010	7610	5843	4810	4383	5956	6031
1079	4449	4984	4882	4645	5428	5020	7619	5852	4820	4422	5975	6050
1107	4459	4984	4882	4645	5437	5030	7629	5862	4820	4402	5975	6059
1136	4459	4994	4891	4645	5447	5030	7638	5872	4820	4422	5993	6069
1165	4478	4994	4901	4665	5456	5050	7638	5882	4820	4402	5993	6088
1196	4478	4994	4901	4665	5465	5050	7657	5891	4829	4422	6012	6088
1227	4478	4994	4901	4665	5475	5060	7666	5910	4839	4441	6012	6107
1258	4478	5014	4911	4665	5484	5070	7675	5910	4839	4441	6021	6116
1291	4487	5014	4911	4674	5493	5080	7685	5920	4839	4451	6030	6125
1325	4478	5024	4931	4684	5503	5080	7685	5930	4858	4422	6039	6125
1359	4497	5024	4931	4684	5512	5099	7703	5949	4858	4422	6048	6144
1394	4497	5034	4931	4684	5521	5099	7703	5959	4858	4451	6058	6153
1430	4497	5034	4931	4694	5530	5119	7722	5959	4858	4451	6067	6163
1467	4516	5043	4931	4704	5549	5119	7722	5978	4867	4480	6076	6182
1505	4516	5043	4950	4704	5549	5119	7731	5978	4877	4461	6076	6182
1544	4516	5053	4950	4704	5568	5139	7741	5997	4877	4461	6095	6201
1584	4516	5053	4950	4704	5577	5139	7741	5997	4877	4461	6095	6201
1625	4516	5063	4950	4704	5586	5149	7759	6017	4877	4471	6113	6219
1668	4526	5063	4960	4714	5605	5159	7769	6017	4896	4480	6113	6229
1711	4535	5063	4970	4724	5605	5169	7769	6036	4896	4500	6122	6238
1755	4535	5083	4970	4724	5614	5178	7787	6036	4896	4480	6132	6247
1801	4535	5083	4970	4733	5624	5188	7787	6055	4896	4480	6141	6257
1847	4554	5083	4980	4743	5633	5188	7787	6065	4915	4500	6150	6266
1895	4535	5083	4980	4743	5642	5208	7806	6075	4915	4519	6159	6276
1944	4554	5093	4980	4743	5661	5208	7806	6084	4915	4509	6159	6295
1995	4554	5093	4989	4743	5661	5208	7825	6094	4915	4529	6178	6295
2046	4554	5103	4989	4763	5679	5227	7825	6094	4915	4519	6178	6313
2100	4573	5113	4999	4763	5679	5227	7834	6104	4925	4519	6196	6313
2154	4573	5113	4999	4763	5698	5237	7843	6123	4934	4539	6196	6332
2210	4573	5113	4999	4763	5707	5247	7853	6133	4934	4519	6196	6332
2267	4573	5113	5019	4773	5717	5257	7853	6142	4934	4529	6215	6351
2326	4573	5133	5019	4773	5726	5257	7871	6142	4944	4539	6224	6351
2386	4592	5133	5019	4782	5735	5276	7871	6161	4954	4529	6234	6370
2448	4592	5142	5019	4782	5754	5276	7890	6171	4954	4539	6234	6370
2511	4592	5142	5029	4782	5754	5296	7890	6181	4963	4558	6243	6389

Süre	Katkı Cinsi											
	(sn)	NR1	NR2	AP1	AP2	SE1	SE2	PE1	PE2	BE1	BE2	SB1
2576	4592	5152	5029	4792	5773	5296	7890	6181	4954	4548	6261	6398
2643	4612	5152	5038	4802	5773	5316	7909	6200	4963	4558	6261	6407
2712	4592	5152	5038	4802	5791	5316	7909	6209	4973	4548	6271	6416
2782	4612	5162	5048	4802	5791	5316	7918	6219	4973	4558	6280	6426
2854	4612	5162	5048	4802	5810	5326	7927	6228	4973	4587	6280	6435
2928	4612	5162	5048	4812	5829	5335	7927	6248	4982	4568	6299	6444
3004	4612	5172	5058	4812	5829	5345	7946	6248	4982	4568	6299	6454
3082	4631	5182	5068	4822	5848	5355	7946	6267	4992	4578	6317	6463
3162	4631	5182	5068	4822	5866	5365	7955	6267	4992	4587	6317	6472
3244	4631	5182	5068	4831	5866	5365	7965	6276	5001	4578	6317	6481
3328	4631	5192	5068	4831	5885	5384	7974	6286	5001	4587	6336	6500
3414	4650	5202	5078	4841	5894	5384	7974	6295	5001	4587	6336	6500
3503	4650	5202	5087	4841	5904	5404	7983	6315	5001	4587	6345	6509
3593	4640	5202	5087	4841	5913	5404	7993	6324	5011	4616	6354	6519
GD	3142	3756	3544	3274	4386	4008	6163	4320	3458	3111	4633	4588



**EK E. Tekrarlı Sünme Deneyi
Sonuçları**

Çizelge E.1 (25 °C) Tekrarlı Summe Deney Sonuçları

Vuruş Sayısı	KatkıCinsi																								
	NR1		NR2		AP1		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
1	83	401	288	452	0	264	297	413	548	443	735	428	624	585	0	527	229	538	183	476	180	617	0	434	
2	301	401	565	483	107	289	619	455	917	459	731	436	1094	577	146	487	515	521	424	460	469	646	131	434	
3	484	376	791	493	206	289	899	455	1178	468	1010	420	1394	585	291	487	735	513	607	418	687	616	262	410	
4	634	385	966	534	305	289	1122	446	1375	435	1215	403	1653	553	413	454	931	488	774	393	856	646	360	418	
5	776	368	1151	533	380	297	1328	422	1522	435	1379	379	1848	521	502	471	1070	472	907	401	994	627	475	402	
6	893	377	1313	522	437	322	1493	422	1653	411	1519	370	1977	513	607	422	1209	472	1015	393	1123	617	556	385	
7	1002	368	1438	552	512	306	1667	397	1776	402	1636	370	2091	488	680	430	1332	439	1131	376	1203	647	630	385	
8	1093	377	1560	522	586	306	1774	397	1866	386	1672	362	2212	480	752	422	1430	439	1231	385	1322	587	696	377	
9	1202	352	1673	522	627	322	1914	372	1939	394	1823	354	2293	464	817	414	1528	447	1323	376	1372	636	753	377	
10	1277	352	1754	522	693	306	2013	372	2021	386	1905	354	2366	464	882	406	1601	447	1414	360	1461	596	802	377	
11	1361	343	1846	522	734	314	2120	364	2095	370	1987	338	2431	456	922	414	1691	431	1489	360	1520	606	876	344	
12	1436	343	1938	491	784	306	2211	364	2132	370	2033	346	2504	456	979	406	1781	414	1556	368	1580	586	908	361	
13	1503	343	2010	501	833	306	2302	348	2218	378	2102	346	2553	440	1028	406	1838	422	1631	351	1649	585	949	361	
14	1578	343	2081	522	875	297	2384	348	2283	386	2159	346	2618	423	1068	398	1912	423	1714	335	1689	575	990	361	
15	1636	369	2132	501	916	306	2459	356	2332	353	2217	346	2658	431	1117	382	1985	414	1755	343	1749	545	1039	344	
16	1703	343	2204	481	965	289	2525	339	2373	370	2274	329	2707	407	1157	382	2042	389	1814	343	1769	585	1064	361	
17	1761	343	2265	480	998	289	2599	356	2422	370	2315	330	2747	415	1197	374	2100	406	1864	343	1828	545	1113	344	
18	1828	343	2316	480	1040	289	2682	323	2465	353	2373	313	2788	407	1230	374	2149	414	1913	352	1878	555	1137	361	
19	1870	343	2367	480	1081	297	2739	323	2512	353	2414	330	2828	399	1270	365	2206	414	1972	360	1907	545	1170	361	
20	1928	343	2418	469	1122	281	2789	323	2553	345	2438	346	2861	399	1303	382	2247	406	2022	368	1957	534	1195	369	
21	1978	327	2459	459	1155	297	2863	323	2586	362	2496	330	2885	391	1327	365	2304	406	2080	335	1977	554	1236	361	
22	2028	344	2510	469	1180	306	2913	323	2635	353	2529	321	2925	399	1375	349	2353	373	2113	352	2017	534	1268	336	
23	2078	327	2561	449	1221	273	2970	315	2668	337	2570	313	2966	383	1408	349	2402	381	2171	327	2036	534	1293	344	
24	2120	327	2581	469	1246	281	3012	311	2692	353	2603	321	2974	383	1424	357	2435	390	2205	352	2076	534	1326	336	
25	2162	335	2632	469	1279	281	3078	307	2741	345	2635	321	3015	375	1448	366	2475	390	2255	335	2096	534	1350	328	
26	2220	318	2693	448	1320	264	3119	323	2766	353	2677	321	3039	383	1489	341	2533	373	2296	335	2115	544	1367	353	
27	2245	327	2723	428	1337	289	3160	315	2799	362	2701	321	3047	391	1505	341	2549	398	2338	335	2155	514	1383	361	
28	2204	327	2754	448	1361	298	3210	307	2831	345	2734	321	3088	375	1537	341	2606	381	2363	335	2165	544	1416	344	
29	2337	318	2784	448	1394	281	3259	298	2864	345	2759	321	3104	391	1561	349	2639	373	2413	327	2214	494	1448	336	

Vürüş Sıvısı		KatkıCinsi																																			
		NRI			NR2			API			AP2			SE1			SE2			PE1			PE2			BE1			BE2			SB1			SB2		
		Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.
30	2379	318	2815	438	1419	281	3300	298	2889	337	2791	321	3128	367	1578	341	2672	373	2438	335	2234	514	1465	320													
31	2412	319	2866	438	1444	289	3333	307	2921	337	2816	321	3169	350	1610	331	2704	381	2471	335	2254	494	1481	336													
32	2446	327	2886	427	1477	273	3366	307	2938	354	2849	313	3169	375	1626	341	2737	373	2504	327	2273	513	1514	328													
33	2496	327	2906	448	1510	265	3416	315	2971	345	2882	313	3201	350	1650	333	2778	373	2537	327	2293	513	1538	320													
34	2521	310	2947	447	1526	281	3449	315	3003	337	2906	305	3225	367	1683	317	2802	381	2571	335	2333	493	1547	320													
35	2554	327	2978	417	1551	281	3490	282	3020	345	2923	330	3241	358	1683	349	2835	373	2604	335	2323	523	1555	345													
36	2596	319	2998	437	1568	298	3531	290	3044	354	2947	321	3258	358	1707	341	2868	365	2637	335	2362	484	1568	328													
37	2621	319	3038	427	1592	281	3548	307	3093	329	2980	313	3282	367	1731	333	2900	365	2671	318	2372	513	1620	320													
38	2654	319	3069	426	1617	281	3597	282	3093	345	3005	321	3290	358	1756	333	2933	348	2704	343	2392	493	1620	328													
39	2688	327	3089	416	1650	273	3614	298	3126	354	3030	313	3323	342	1780	317	2941	390	2737	327	2412	513	1637	336													
40	2721	319	3120	416	1667	281	3655	307	3142	345	3062	305	3347	334	1796	325	2982	365	2754	335	2431	503	1669	320													
41	2755	319	3140	416	1683	289	3696	290	3167	329	3079	305	3347	367	1804	333	2998	373	2787	335	2471	473	1669	320													
42	2780	327	3181	406	1700	281	3729	274	3191	329	3103	313	3363	342	1820	333	3039	357	2820	318	2461	513	1694	328													
44	2830	319	3211	416	1749	281	3779	290	3232	337	3136	322	3387	367	1861	325	3096	357	2879	318	2490	503	1727	320													
45	2863	319	3231	416	1766	281	3812	290	3257	329	3161	330	3420	358	1877	325	3113	348	2895	335	2520	493	1743	320													
46	2896	302	3272	416	1790	281	3845	265	3282	329	3194	305	3428	358	1909	309	3145	357	2928	335	2549	483	1768	312													
47	2922	310	3292	406	1815	265	3870	290	3298	329	3194	305	3428	358	1909	317	3170	357	2953	327	2530	513	1776	312													
48	2947	310	3302	416	1823	273	3903	290	3314	337	3218	305	3460	342	1926	325	3186	365	2978	335	2569	463	1792	312													
50	2997	310	3342	436	1856	281	3960	274	3355	345	3259	305	3485	342	1948	325	3227	373	3020	335	2599	453	1809	336													
51	3022	327	3383	396	1881	281	3993	274	3372	337	3276	322	3509	342	1982	301	3252	373	3045	335	2599	453	1849	304													
52	3055	310	3393	406	1906	265	4010	290	3388	337	3292	322	3525	342	1990	317	3284	365	3062	335	2618	473	1841	312													
54	3105	310	3433	436	1939	273	4059	282	3429	345	3325	305	3549	318	2015	333	3325	357	3120	327	2648	463	1882	304													
55	3122	312	3454	406	1955	273	4084	290	3445	337	3350	305	3566	334	2031	317	3342	365	3153	318	2667	463	1882	328													
56	3155	302	3474	406	1988	256	4101	290	3470	329	3358	305	3566	334	2047	301	3358	365	3153	335	2667	463	1907	312													
58	3197	302	3504	416	2005	273	4142	299	3494	329	3391	313	3598	334	2079	317	3399	357	3211	327	2687	483	1931	312													
59	3214	310	3524	406	2030	265	4183	282	3502	337	3415	305	3598	350	2095	309	3423	340	3228	335	2716	463	1939	320													
61	3247	310	3555	406	2054	273	4224	334	3535	354	3448	313	3630	334	2120	309	3456	365	3278	327	2716	463	1964	320													
63	3297	327	3615	386	2079	273	4274	265	3568	337	3481	289	3663	334	2152	293	3489	382	3311	327	2756	473	1997	312													
64	3322	302	3635	386	2104	273	4299	265	3601	321	3489	313	3671	334	2152	309	3521	365	3336	327	2775	463	2021	312													
66	3364	302	3656	396	2129	273	4315	307	3617	329	3539	305	3703	326	2184	309	3554	340	3378	319	2785	454	2021	320													
68	3397	310	3696	396	2162	281	4373	282	3658	321	3555	305	3703	342	2209	293	3587	365	3411	327	2805	473	2038	320													

KatkıCinsi

Yürüm Sırası	NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2	
	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE	Kal. Def. µE	Am Def. µE
69	3422	302	3706	406	2170	290	4406	265	3674	321	3563	305	3728	318	2225	285	1603	373	3428	335	2844	454	2062	304
71	3456	310	3736	396	2211	273	4422	290	3691	337	3596	313	3744	326	2241	301	3644	357	3469	335	2844	444	2079	295
73	3489	310	3767	386	2244	273	4455	299	3715	354	3621	313	3760	342	2265	301	3668	365	3511	335	2864	454	2095	312
75	3531	302	3797	386	2261	298	4513	282	3748	337	3654	305	3793	310	2290	293	3709	357	3544	335	2883	444	2119	312
77	3573	285	3827	396	2294	281	4538	282	3781	337	3678	322	3801	310	2306	309	3734	365	3577	335	2903	444	2152	287
79	3606	294	3858	386	2327	265	4579	274	3797	337	3695	313	3833	318	2338	276	3766	357	3602	352	2923	464	2160	295
81	3639	294	3888	396	2360	256	4612	290	3822	337	3719	313	3849	318	2354	293	3791	357	3652	310	2942	454	2177	304
83	3673	294	3908	406	2376	265	4653	290	3854	321	3752	305	3857	326	2379	293	3815	365	3669	327	2962	464	2218	279
85	3698	311	3949	386	2393	265	4686	274	3879	321	3777	313	3882	318	2395	285	3848	365	3694	335	2982	444	2218	296
87	3723	311	3969	386	2409	273	4719	274	3895	337	3801	305	3898	318	2411	301	3881	365	3735	319	3001	424	2242	296
90	3773	311	4009	376	2450	273	4769	274	3928	337	3854	297	3914	326	2443	301	3905	365	3769	335	3021	444	2275	287
92	3806	294	4040	376	2483	273	4794	282	3961	321	3859	305	3938	318	2460	301	3954	349	3810	327	3031	444	2283	287
95	3848	302	4080	386	2525	273	4843	274	3993	321	3875	314	3963	326	2492	285	3979	365	3852	319	3070	434	2324	279
100	3915	311	4130	396	2574	257	4917	266	4043	321	3941	305	4003	318	2540	285	4011	340	3877	319	3070	434	2324	279
102	3948	302	4151	376	2591	273	4950	274	4075	321	3966	297	4019	310	2557	276	4069	357	3943	319	3110	444	2365	279
105	3990	294	4191	376	2632	265	4983	282	4092	313	4007	281	4052	302	2581	285	4101	374	3977	327	3129	434	2390	296
107	4015	294	4232	355	2657	257	5017	257	4108	329	4015	305	4036	334	2597	293	4126	349	4002	327	3129	473	2406	287
110	4048	294	4262	355	2682	265	5050	274	4141	321	4048	289	4084	318	2629	285	4138	349	4043	319	3159	434	2422	304
113	4082	294	4292	365	2706	257	5091	282	4165	321	4064	314	4117	302	2646	293	4175	357	4077	327	3198	414	2455	279
116	4115	319	4302	386	2739	257	5124	274	4206	305	4080	314	4117	310	2678	277	4224	340	4101	327	3208	424	2471	279
119	4149	294	4353	365	2772	257	5165	282	4231	338	4122	314	4133	318	2694	293	4240	357	4135	327	3218	454	2488	279
122	4182	294	4383	355	2789	265	5198	282	4255	313	4138	330	4157	310	2710	293	4273	365	4168	327	3247	404	2504	287
125	4215	294	4403	366	2822	257	5248	266	4272	313	4179	297	4173	294	2751	268	4306	349	4210	310	3267	404	2529	287
129	4265	286	4434	366	2855	257	5281	274	4313	313	4204	314	4206	294	2775	268	4346	341	4251	310	3286	414	2561	279
132	4282	294	4474	375	2888	273	5314	274	4345	305	4236	297	4222	302	2782	285	4363	365	4276	319	3306	404	2578	279
135	4316	286	4504	345	2904	248	5347	291	4370	305	4252	305	4254	294	2807	285	4395	349	4309	319	3326	404	2594	287
138	4349	302	4545	345	2937	265	5396	274	4386	321	4286	305	4263	294	2840	285	4420	349	4343	310	3345	404	2627	287
143	4399	286	4575	335	2970	248	5437	266	4419	313	4319	305	4295	285	2888	285	4469	349	4376	319	3345	424	2643	279
146	4416	302	4595	365	2987	265	5462	274	4444	313	4327	322	4303	294	2944	285	4493	332	4409	302	3365	405	2660	271
150	4446	269	4636	344	3020	257	5503	274	4476	305	4368	297	4327	302	2913	285	4518	341	4443	310	3404	395	2684	263

Yürüş Soyut		KatkıCinsi																							
		NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2	
		Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.
154	4491	286	4656	344	3053	265	5553	257	4493	313	4392	314	4344	285	2937	293	4551	341	4476	311	3424	395	2700	287	
158	4508	302	4706	344	3086	265	5578	257	4517	321	4409	314	4368	285	2961	277	4583	341	4501	311	3444	395	2725	279	
162	4558	277	4706	354	3102	257	5611	266	4550	305	4458	305	4376	302	2994	277	4616	332	4542	302	3444	414	2741	271	
166	4591	286	4747	354	3135	257	5644	266	4583	296	4466	314	4408	285	3010	260	4632	349	4567	311	3463	424	2766	279	
171	4624	277	4787	333	3177	240	5693	257	4607	313	4516	297	4425	294	3042	252	4665	349	4609	302	3483	414	2799	271	
175	4658	269	4828	332	3185	265	5726	258	4640	296	4540	297	4457	277	3058	277	4690	341	4642	302	3512	405	2815	279	
180	4683	277	4868	332	3226	257	5769	249	4664	305	4551	314	4489	277	3107	268	4747	366	4700	294	3542	414	2840	271	
184	4716	277	4878	362	3234	265	5809	241	4681	296	4581	305	4489	277	3172	244	4804	349	4750	319	3601	364	2889	287	
189	4741	286	4908	342	3267	257	5825	274	4714	313	4614	305	4514	277	3139	260	4788	332	4725	302	3561	414	2889	255	
194	4783	277	4938	341	3309	257	5858	258	4738	305	4647	289	4554	269	3172	244	4804	349	4750	319	3601	364	2889	287	
199	4808	294	4978	341	3325	257	5891	282	4771	297	4663	314	4562	277	3188	260	4828	349	4784	319	3620	355	2930	263	
204	4833	277	4998	341	3358	248	5932	274	4787	313	4688	314	4579	285	3220	252	4869	316	4817	319	3630	384	2938	263	
210	4866	286	5039	330	3391	248	5974	266	4812	321	4729	314	4595	285	3236	260	4894	324	4850	294	3650	374	2954	304	
215	4908	277	5059	340	3424	232	6007	266	4845	297	4745	322	4627	269	3252	269	4926	307	4875	294	3670	364	2979	304	
221	4933	277	5118	320	3441	265	6048	258	4869	305	4803	281	4660	261	3293	269	4943	341	4917	302	3679	374	3020	271	
226	4967	269	5138	330	3474	248	6081	258	4894	305	4803	314	4660	277	3317	269	4967	349	4942	294	3699	373	3036	271	
232	4992	286	5168	320	3490	240	6114	258	4926	288	4844	297	4676	294	3350	252	5000	332	4958	319	3729	363	3061	263	
238	5025	269	5198	310	3523	248	6147	266	4943	305	4860	314	4708	269	3366	252	5025	324	4992	319	3758	353	3077	271	
244	5058	269	5228	320	3556	248	6180	266	4975	297	4893	314	4741	269	3390	260	5057	324	5017	319	3758	353	3101	271	
251	5092	269	5268	330	3589	240	6221	274	5016	288	4926	306	4765	261	3406	260	5082	341	5050	311	3787	363	3126	263	
257	5117	269	5298	310	3597	265	6254	258	5033	288	4951	314	4773	277	3439	260	5106	324	5075	302	3797	353	3126	279	
264	5142	277	5317	330	3630	257	6287	274	5057	305	4975	322	4789	277	3471	252	5123	324	5108	311	3817	372	3167	263	
271	5175	286	5357	310	3663	249	6320	266	5074	313	5000	330	4830	261	3503	236	5155	324	5133	328	3817	402	3183	279	
278	5200	277	5387	320	3696	249	6361	266	5106	288	5041	306	4830	286	3519	252	5123	366	5166	311	3856	352	3216	255	
285	5225	286	5427	320	3713	249	6386	266	5131	305	5049	322	4870	261	3552	236	5106	416	5191	319	3876	352	3232	263	
292	5259	269	5437	330	3738	257	6419	266	5147	313	5082	314	4887	261	3568	252	5221	341	5225	294	3876	382	3257	263	
300	5284	286	5487	310	3762	249	6460	266	5188	297	5123	306	4911	261	3584	252	5220	333	5241	311	3915	332	3273	263	
308	5317	286	5495	350	3795	265	6493	258	5205	305	5148	314	4927	269	3617	269	5294	333	5283	294	3915	371	3298	263	
316	5342	269	5546	300	3828	249	6518	274	5237	297	5164	322	4959	253	3633	260	5335	333	5300	311	3935	351	3322	263	
324	5384	261	5576	320	3861	265	6551	258	5254	305	5197	314	4976	261	3665	261	5359	341	5324	302	3954	371	3347	263	
332	5392	286	5606	320	3878	257	6584	258	5278	305	5230	306	4992	261	3697	244	5408	316	5358	302	3984	361	3355	271	

Vürüs Sıvısı	KatkıCinsi																								
	NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
341	5426	303	5626	330	3911	257	6625	258	5311	297	5255	314	5016	245	3722	252	5417	357	5374	311	3994	371	3388	255	
350	5459	269	5666	330	3927	257	6642	274	5336	288	5287	314	5041	253	3746	244	5474	316	5399	311	4013	361	3421	247	
359	5492	269	5705	310	3952	249	6683	283	5360	305	5312	322	5049	269	3762	269	5498	316	5433	311	4032	341	3429	263	
368	5501	277	5725	320	3985	257	6716	258	5385	288	5328	314	5073	269	3803	252	5523	316	5458	294	4052	341	3462	255	
378	5534	277	5765	310	4025	249	6782	258	5426	305	5394	322	5130	255	3859	244	5580	324	5507	302	4091	351	3311	263	
388	5559	277	5795	310	4035	249	6815	249	5458	313	5419	311	5176	261	3875	261	5588	349	5552	302	4120	332	3527	255	
408	5618	294	5855	320	4084	249	6832	266	5483	305	5452	314	5178	255	3908	244	5637	324	5566	294	4170	371	3555	263	
419	5651	261	5894	300	4117	249	6865	266	5499	313	5476	314	5194	253	3924	261	5637	341	5582	319	4149	341	3568	271	
429	5668	269	5904	310	4134	249	6898	274	5532	297	5509	314	5203	261	3940	252	5670	333	5607	311	4139	361	3576	279	
441	5693	269	5954	320	4167	249	6939	250	5556	297	5534	306	5243	253	3972	244	5694	341	5641	294	4178	331	3617	269	
452	5701	303	5984	310	4183	257	6955	266	5589	280	5558	322	5259	253	4005	244	5719	324	5649	311	4188	360	3617	279	
464	5751	278	6024	300	4216	240	6988	266	5597	289	5583	322	5276	253	4021	244	5735	349	5682	319	4198	370	3658	247	
476	5760	294	6053	300	4241	249	7021	258	5622	313	5608	331	5292	253	4053	244	5776	316	5699	311	4217	350	3682	263	
488	5793	269	6083	310	4266	249	7054	258	5646	313	5632	331	5316	261	4078	236	5801	308	5715	311	4246	360	3715	263	
501	5818	278	6113	300	4282	265	7071	274	5663	313	5665	331	5348	253	4102	244	5809	341	5749	319	4275	311	3723	285	
514	5843	278	6133	320	4315	249	7112	258	5687	313	5690	339	5365	261	4134	236	5842	324	5765	311	4285	350	3748	255	
527	5860	286	6163	310	4340	249	7129	266	5712	313	5723	314	5381	269	4142	269	5866	316	5790	328	4285	350	3773	255	
541	5876	286	6193	320	4356	257	7170	250	5728	305	5739	331	5413	253	4175	252	5882	333	5807	328	4314	349	3789	263	
555	5910	278	6233	300	4389	257	7186	283	5761	305	5764	322	5429	253	4207	244	5915	333	5824	328	4344	339	3822	247	
569	5927	286	6252	310	4414	249	7219	266	5777	305	5796	322	5446	269	4223	253	5940	333	5865	311	4344	339	3830	263	
584	5952	286	6272	341	4442	247	7236	275	5810	297	5821	322	5462	253	4248	261	5956	316	5882	328	4373	330	3871	247	
599	5977	286	6332	290	4455	257	7269	275	5827	313	5846	322	5486	261	4280	236	5972	324	5907	303	4392	349	3887	247	
615	6002	278	6352	280	4472	265	7302	258	5851	305	5862	339	5511	278	4304	253	5997	333	5932	311	4412	328	3912	255	
630	6018	286	6382	311	4488	265	7318	266	5867	313	5895	322	5535	261	4337	236	6013	324	5948	319	4431	329	3928	255	
647	6043	278	6431	290	4521	257	7351	258	5900	297	5920	339	5567	245	4361	244	6029	333	5965	311	4441	349	3969	230	
664	6077	278	6451	310	4538	265	7376	275	5917	305	5952	314	5567	269	4385	236	6062	316	5973	319	4469	329	3985	247	
681	6093	278	6471	310	4563	274	7401	258	5941	322	5977	339	5600	269	4409	244	6070	333	6007	328	4469	358	3993	263	
698	6110	294	6491	340	4587	265	7426	266	5957	322	5993	331	5616	278	4426	253	6087	341	6015	328	4489	348	4018	263	
717	6135	286	6531	300	4612	257	7450	275	5982	313	6026	314	5648	269	4450	244	6111	324	6048	311	4508	339	4051	247	
735	6160	278	6581	280	4629	257	7475	275	6007	289	6043	322	5681	237	4474	244	6144	316	6065	311	4537	339	4075	247	

Vürmüs Sıvısı		NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SBI		SB2		
		Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE
754	6177	294	6601	300	4602	240	7508	266	6023	305	6067	322	5689	261	4506	236	6144	341	6090	303	4366	329	4092	255		
774	6194	286	6630	300	4678	274	7525	275	6047	297	6092	331	5721	245	4523	253	6168	333	6098	319	4566	339	4124	247		
794	6227	269	6660	309	4711	240	7550	266	6072	297	6125	314	5737	245	4547	236	6185	349	6123	311	4585	329	4141	247		
814	6244	286	6690	299	4711	265	7583	238	6097	289	6141	331	5762	255	4579	236	6201	333	6148	303	4604	310	4157	247		
836	6260	295	6720	289	4744	257	7599	266	6105	313	6174	323	5770	261	4595	235	6225	325	6156	319	4623	329	4182	247		
857	6277	286	6740	308	4769	249	7616	275	6129	305	6199	331	5786	261	4628	236	6250	333	6181	311	4623	348	4206	247		
879	6311	278	6780	308	4777	265	7649	238	6154	305	6223	314	5818	261	4644	235	6266	325	6198	328	4662	310	4223	263		
902	6327	269	6809	297	4810	241	7673	266	6170	305	6240	331	5835	253	4668	253	6291	316	6231	311	4662	329	4255	247		
926	6344	286	6829	317	4818	265	7690	266	6187	313	6273	323	5859	245	4693	244	6299	325	6248	303	4681	348	4272	255		
950	6361	286	6859	307	4843	274	7706	283	6211	305	6297	331	5875	261	4709	253	6315	333	6248	328	4720	329	4296	247		
974	6386	286	6898	296	4868	249	7739	275	6227	322	6314	331	5891	261	4733	253	6332	316	6265	336	4720	339	4313	263		
1000	6402	286	6908	306	4876	257	7756	266	6252	313	6338	331	5916	278	4773	228	6340	350	6281	328	4739	339	4345	247		
1025	6419	286	6948	286	4901	265	7781	266	6268	305	6371	323	5940	245	4790	236	6356	341	6306	328	4758	329	4354	255		
1052	6444	295	6967	286	4917	257	7797	275	6293	297	6379	339	5956	270	4806	243	6373	341	6323	319	4758	358	4394	239		
1079	6461	286	6997	306	4934	265	7822	275	6309	313	6412	331	5989	229	4822	253	6397	333	6339	328	4777	329	4411	239		
1107	6469	286	7036	296	4950	274	7847	275	6326	313	6445	314	5989	270	4854	228	6422	325	6356	328	4816	310	4435	255		
1136	6503	286	7056	316	4967	265	7871	258	6358	297	6453	339	6021	253	4871	261	6438	316	6373	320	4816	329	4452	263		
1165	6511	295	7075	306	4983	265	7880	283	6367	313	6486	323	6037	253	4887	253	6438	358	6406	303	4854	300	4484	239		
1196	6536	278	7114	286	5000	265	7913	266	6391	305	6494	339	6070	237	4919	245	6462	325	6406	328	4835	348	4493	255		
1227	6544	303	7154	286	5033	265	7946	258	6391	330	6527	323	6094	245	4943	245	6479	341	6431	311	4874	329	4517	255		
1258	6561	286	7163	296	5050	265	7946	291	6424	314	6552	314	6102	245	4951	261	6487	350	6448	336	4874	358	4550	247		
1291	6578	303	7193	296	5066	265	7962	283	6448	305	6568	331	6126	229	4984	245	6511	333	6464	320	4912	319	4558	255		
1325	6611	278	7222	296	5083	249	7979	291	6465	305	6593	331	6151	237	5008	245	6544	350	6514	320	4931	348	4599	255		
1359	6628	286	7242	296	5099	257	8012	275	6481	305	6634	298	6159	245	5024	245	6544	325	6498	320	4931	348	4599	255		
1430	6644	303	7300	296	5132	274	8036	283	6522	305	6675	314	6199	245	5065	245	6544	350	6514	320	4960	319	4632	255		
1467	6678	278	7330	296	5149	257	8069	266	6538	305	6691	331	6216	253	5097	245	6585	325	6539	328	4989	329	4681	239		
1505	6686	286	7359	306	5157	265	8086	275	6555	322	6707	332	6232	253	5113	236	6609	333	6547	336	4999	329	4697	255		
1544	6711	278	7389	286	5182	257	8102	275	6571	305	6732	323	6264	229	5129	245	6609	325	6589	311	5037	319	4722	247		
1584	6728	278	7408	296	5190	274	8119	275	6588	314	6749	339	6280	229	5146	253	6609	350	6589	328	5056	319	4746	247		
1625	6736	303	7447	286	5215	257	8152	266	6612	305	6773	339	6280	253	5178	253	6626	350	6606	311	5047	329	4771	247		

Vürüs Savış		KatkuCinsi																										
		NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2				
		Kal.	Def.	µE	µE	Kal.	Def.	µE	µE	Kal.	Def.	µE	µE	Kal.	Def.	µE	µE	Kal.	Def.	µE	µE	Kal.	Def.	µE	µE	Kal.	Def.	µE
1668	6753	286	7467	286	5215	274	8152	275	6628	305	6806	314	6313	237	5194	236	6658	316	6622	336	5066	329	4795	239				
1711	6778	278	7477	316	5231	274	8168	275	6645	305	6806	356	6329	245	5210	245	6658	341	6639	336	5085	319	4820	230				
1755	6795	286	7516	296	5256	266	8201	258	6661	314	6839	323	6337	253	5235	245	6675	333	6656	320	5104	349	4836	255				
1801	6795	303	7535	306	5264	274	8218	266	6686	305	6864	339	6353	261	5243	269	6691	333	6672	336	5124	329	4861	255				
1847	6828	286	7575	286	5289	266	8234	275	6702	305	6897	306	6386	237	5275	245	6708	325	6681	328	5143	310	4877	239				
1895	6828	295	7584	296	5289	282	8251	275	6710	314	6913	323	6386	270	5291	245	6734	333	6697	328	5162	329	4902	239				
1944	6845	295	7614	286	5305	282	8267	275	6735	314	6921	323	6418	237	5307	261	6724	338	6714	320	5162	349	4918	247				
1995	6861	295	7633	306	5330	274	8284	275	6743	314	6946	339	6434	245	5324	253	6748	325	6722	336	5191	310	4943	247				
2046	6878	303	7663	296	5338	282	8292	283	6759	322	6954	331	6451	245	5340	269	6757	333	6740	328	5191	339	4967	239				
2100	6903	286	7702	306	5355	282	8309	283	6776	314	6979	348	6467	253	5356	261	6773	333	6755	345	5220	329	4984	239				
2154	6903	295	7702	306	5371	282	8333	275	6800	322	7011	331	6483	245	5388	245	6773	350	6764	328	5239	320	5008	272				
2210	6920	303	7741	306	5371	299	8342	283	6809	314	7011	331	6499	253	5405	253	6789	325	6789	328	5258	310	5033	239				
2267	6937	303	7770	296	5396	274	8358	283	6833	322	7036	339	6515	262	5429	261	6806	333	6814	303	5278	310	5041	255				
2326	6945	312	7800	296	5413	290	8375	275	6849	322	7069	339	6532	262	5437	253	6822	358	6830	303	5278	329	5098	239				
2386	6962	295	7810	316	5437	257	8399	283	6858	322	7085	339	6548	245	5469	253	6830	333	6814	336	5297	329	5098	239				
2448	6978	303	7849	286	5429	282	8416	267	6882	314	7094	348	6564	253	5477	253	6838	341	6847	336	5316	339	5106	255				
2511	6995	303	7868	306	5454	266	8424	283	6899	305	7126	323	6580	245	5494	245	6846	341	6864	370	5335	310	5123	255				
2576	7012	303	7888	286	5470	266	8441	275	6907	303	7143	331	6596	262	5510	253	6863	333	6872	370	5335	349	5155	247				
2643	7020	295	7908	306	5470	282	8449	292	6939	322	7167	339	6613	245	5526	269	6871	333	6880	320	5304	339	5172	247				
2712	7028	320	7937	296	5487	282	8474	275	6956	314	7176	331	6629	245	5558	245	6895	333	6897	353	5403	329	5221	239				
2782	7053	303	7947	316	5495	290	8490	275	6972	305	7200	348	6653	245	5566	245	6895	333	6897	353	5403	329	5221	239				
2854	7062	286	7996	326	5528	274	8507	292	6997	314	7241	339	6686	245	5591	269	6912	333	6938	353	5422	339	5262	239				
3004	7095	295	8015	286	5545	282	8540	267	7005	322	7274	348	6702	262	5639	261	6936	333	6947	328	5441	320	5270	247				
3082	7095	320	8054	306	5561	266	8540	283	7029	322	7258	339	6686	262	5607	261	6944	341	6972	311	5460	339	5295	247				
3162	7129	286	8074	286	5569	282	8556	275	7038	330	7315	331	6734	245	5655	245	6944	341	6980	320	5480	339	5303	255				
3244	7129	303	8084	306	5578	315	8581	275	7054	322	7340	348	6750	270	5688	253	6977	341	6988	320	5499	320	5336	247				
3328	7154	303	8103	306	5594	274	8589	283	7070	338	7340	348	6750	270	5688	253	6977	341	6988	320	5499	320	5336	247				
3414	7162	303	8142	306	5594	299	8597	283	7087	322	7356	339	6767	253	5704	253	6985	333	7022	328	5537	320	5368	255				
3503	7170	303	8162	306	5619	291	8606	300	7103	322	7389	339	6783	262	5712	261	7002	333	7038	320	5528	320	5385	255				

Vürüs Stöyis		KartkCinsi																								
		NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
		Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.	Ara	Def.	Kal.
3593	7187	320	8182	296	5627	283	8630	283	7119	322	7389	364	6791	270	5728	261	7002	341	7055	328	5517	319	5401	255		
3686	7204	320	8211	286	5635	291	8639	283	7118	322	7414	339	6815	262	5744	261	7018	350	7055	345	5557	329	5434	255		
3782	7212	312	8221	306	5652	282	8647	292	7144	339	7430	356	6823	253	5769	245	7034	333	7072	328	5586	329	5450	247		
3880	7229	295	8231	326	5668	282	8663	292	7160	330	7463	339	6848	237	5777	245	7051	331	7072	328	5595	329	5475	245		
3981	7237	295	8260	316	5677	291	8680	292	7177	339	7479	356	6872	245	5793	245	7059	325	7097	328	5634	320	5499	264		
4084	7254	312	8280	316	5693	274	8696	283	7193	330	7488	356	6872	245	5809	255	7051	350	7097	328	5634	320	5499	264		
4190	7270	320	8319	316	5701	282	8705	283	7218	314	7521	331	6888	253	5825	253	7067	341	7121	337	5653	329	5546	251		
4298	7270	312	8319	326	5718	282	8713	300	7226	314	7537	340	6904	253	5841	253	7092	325	7138	328	5672	329	5556	251		
4410	7295	312	8348	306	5718	291	8738	275	7234	330	7545	348	6921	245	5850	261	7092	333	7146	337	5672	329	5573	247		
4524	7304	303	8387	306	5734	299	8746	283	7259	339	7570	340	6921	262	5866	261	7108	333	7146	337	5701	320	5589	247		
4641	7329	303	8387	316	5751	282	8762	275	7267	330	7603	323	6937	253	5890	253	7124	330	7180	320	5711	329	5614	255		
4761	7329	303	8417	306	5751	282	8762	292	7291	322	7751	331	6953	262	5898	261	7124	350	7180	337	5730	320	5630	264		
4885	7346	303	8446	296	5767	291	8779	292	7308	322	7627	340	6969	253	5922	253	7141	333	7180	345	5730	320	5655	239		
5011	7354	320	8446	316	5784	299	8795	292	7324	322	7652	348	6994	245	5930	245	7141	341	7205	345	5749	339	5671	239		
5141	7371	303	8475	316	5792	291	8795	292	7324	339	7660	348	7002	253	5955	253	7165	350	7213	337	5768	329	5687	255		
5274	7379	312	8495	316	5809	282	8828	275	7340	339	7685	364	7002	270	5963	277	7165	333	7230	320	5788	339	5696	255		
5411	7396	320	8505	336	5809	291	8828	292	7349	339	7701	356	7034	253	5971	261	7181	350	7230	351	5788	349	5712	264		
5551	7412	303	8534	306	5833	282	8845	292	7381	322	7749	331	7034	262	5987	261	7181	341	7246	362	5807	329	5736	255		
5695	7421	303	8544	316	5842	282	8853	292	7398	322	7759	356	7050	262	5995	261	7181	350	7263	337	5816	339	5761	247		
5843	7437	303	8583	297	5858	282	8870	283	7414	322	7759	364	7066	262	6011	261	7214	341	7280	337	5855	320	5777	255		
5994	7446	312	8603	297	5858	299	8878	292	7422	322	7791	356	7075	270	6028	245	7214	341	7296	320	5855	329	5794	255		
6150	7471	303	8622	307	5866	291	8886	283	7430	339	7808	356	7099	245	6044	245	7214	350	7304	328	5874	320	5810	255		
6309	7479	303	8642	307	5889	291	8894	300	7455	322	7816	364	7115	254	6044	269	7239	342	7296	370	5893	329	5827	247		
6473	7479	320	8642	327	5891	291	8911	292	7471	322	7841	364	7123	254	6060	269	7255	342	7329	328	5913	329	5843	272		
6640	7487	329	8671	317	5908	291	8927	275	7480	330	7865	356	7147	245	6076	261	7263	333	7329	345	5932	329	5867	264		
6812	7504	320	8691	307	5916	282	8927	300	7496	330	7882	356	7147	254	6100	253	7263	350	7346	337	5932	320	5884	264		
6989	7513	320	8691	317	5924	299	8927	308	7504	339	7898	364	7164	262	6108	269	7279	367	7363	337	5961	310	5900	255		
7170	7529	312	8730	298	5932	299	8944	308	7512	347	7923	356	7172	254	6125	253	7296	358	7363	351	5970	339	5925	247		
7356	7546	320	8740	308	5949	299	8960	308	7545	322	7956	340	7196	254	6141	253	7296	358	7388	328	5990	339	5933	255		
7547	7554	312	8769	308	5949	299	8977	292	7561	322	7972	356	7204	254	6141	269	7320	350	7379	362	6009	310	5949	255		

Vürüs Söyüs	KalkıCınsı																								
	NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
7742	7571	303	8779	318	5965	282	8985	300	7570	330	7989	356	7212	262	6165	261	7320	342	7404	345	6009	329	5966	247	
7943	7588	320	8799	318	5974	291	8993	300	7578	339	8005	381	7229	262	6181	261	7337	342	7404	354	6028	329	5990	239	
8149	7604	320	8818	308	5974	307	9010	292	7602	330	8021	373	7253	245	6189	253	7353	342	7438	320	6057	310	5990	272	
8360	7604	320	8848	298	5998	291	9018	292	7610	339	8054	373	7261	245	6206	253	7353	358	7438	337	6047	349	6023	264	
8576	7613	320	8867	318	5998	291	9026	300	7627	330	8071	356	7269	254	6222	261	7377	358	7438	354	6076	329	6023	264	
8799	7629	329	8887	308	6007	291	9043	292	7635	363	8103	340	7285	262	6230	253	7377	333	7454	354	6076	339	6047	272	
9027	7646	312	8897	308	6015	299	9043	308	7668	330	8120	365	7285	270	6246	261	7386	350	7454	370	6115	310	6064	264	
9261	7654	329	8907	318	6031	316	9076	283	7684	330	8136	381	7310	245	6262	261	7394	358	7479	362	6105	349	6080	255	
9501	7663	329	8917	338	6031	316	9068	300	7684	339	8169	348	7326	245	6278	261	7418	333	7496	345	6134	349	6097	264	
9747	7679	329	8966	308	6048	299	9076	317	7700	339	8194	348	7334	254	6294	253	7435	333	7521	337	6143	339	6113	264	
10000	7696	320	8976	308	6048	299	9092	308	7725	322	8210	348	7342	262	6311	245	7418	358	7521	354	6153	320	6121	272	
10259	7705	329	8986	328	6064	299	9101	317	7741	322	8227	365	7358	254	6311	261	7443	330	7537	354	6172	319	6137	272	
10525	7721	320	8995	328	6081	299	9109	308	7758	322	8235	381	7374	254	6327	269	7435	375	7546	345	6182	339	6162	255	
10797	7730	320	9015	308	6081	299	9117	308	7774	330	8268	365	7382	254	6343	261	7459	338	7554	354	6192	348	6170	264	
11077	7746	337	9005	358	6097	282	9142	292	7774	347	8300	356	7374	278	6359	253	7459	358	7587	337	6201	339	6195	255	
11364	7755	337	9055	328	6097	316	9142	300	7799	330	8325	348	7407	254	6359	278	7484	330	7579	379	6201	339	6195	264	
11659	7771	320	9055	358	6114	299	9158	300	7807	339	8342	373	7407	270	6375	269	7484	392	7587	354	6220	339	6227	255	
11961	7771	337	9074	318	6122	307	9167	308	7815	347	8373	356	7423	262	6392	261	7500	358	7621	337	6240	329	6236	272	
12271	7796	329	9094	338	6130	307	9175	308	7848	322	8384	390	7439	262	6408	255	7500	375	7621	354	6249	348	6252	256	
12389	7813	312	9114	338	6130	299	9191	292	7864	339	8407	373	7447	262	6424	261	7541	350	7612	379	6278	338	6268	256	
12915	7821	320	9143	318	6147	299	9200	300	7864	347	8440	356	7472	254	6424	269	7541	358	7637	345	6288	329	6277	256	
13250	7838	320	9153	328	6147	316	9208	308	7881	347	8465	356	7480	254	6448	255	7557	342	7654	345	6288	338	6285	264	
13593	7838	329	9173	328	6163	299	9224	308	7897	355	8473	381	7488	270	6456	269	7557	358	7679	345	6307	357	6309	256	
13945	7846	337	9202	308	6172	291	9233	308	7913	339	8506	373	7496	262	6464	269	7582	350	7696	345	6307	357	6309	272	
14307	7863	339	9222	328	6180	299	9241	308	7930	347	8514	381	7504	270	6481	261	7598	350	7687	370	6345	338	6326	272	
14677	7871	337	9222	328	6188	299	9266	292	7946	339	8520	365	7520	262	6497	261	7598	358	7720	345	6365	338	6342	264	
15058	7888	337	9251	298	6205	307	9274	317	7971	331	8580	356	7520	370	6505	269	7606	350	7712	362	6365	338	6367	256	
15448	7903	346	9271	318	6213	299	9292	300	7987	339	8614	356	7536	262	6513	278	7666	375	7737	362	6374	328	6367	272	
15848	7913	337	9271	338	6229	299	9290	317	7995	347	8612	390	7536	278	6529	261	7631	350	7754	345	6393	338	6383	264	
16259	7930	337	9301	328	6229	316	9299	317	8020	339	8645	381	7553	270	6529	278	7631	375	7762	354	6403	358	6391	280	

Vürsüs Sürvüs		KartıkCinsi																							
		NR1		NR2		AP1		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2	
		Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı	Kal.	Arı
16681	7930	362	9320	308	6262	299	9307	308	8028	347	8670	373	7585	254	6545	278	7647	375	7779	337	6441	318	6408	272	
17113	7955	329	9340	308	6254	324	9323	308	8044	339	8695	381	7585	262	6561	261	7672	358	7787	354	6432	338	6424	272	
17556	7972	329	9350	318	6271	307	9323	308	8069	339	8719	381	7585	270	6578	261	7672	358	7779	370	6470	338	6432	264	
18011	7988	337	9370	298	6271	316	9340	308	8085	339	8752	373	7601	270	6586	286	7696	350	7804	379	6451	337	6440	272	
18478	7988	337	9370	338	6287	307	9348	317	8093	335	8760	370	7618	262	6594	302	7696	367	7812	354	6489	338	6457	272	
18957	8005	346	9389	318	6295	316	9356	308	8110	347	8810	357	7634	278	6618	269	7704	367	7837	328	6508	338	6473	280	
19448	8013	346	9419	338	6312	299	9373	308	8126	347	8818	373	7650	254	6626	269	7721	367	7845	354	6508	338	6489	264	
19952	8047	320	9409	348	6312	307	9373	308	8151	347	8859	348	7658	262	6626	286	7737	375	7854	354	6528	338	6498	280	
20469	8047	346	9439	348	6328	299	9389	325	8159	355	8853	381	7650	270	6650	269	7753	367	7870	362	6528	338	6514	272	
21000	8055	346	9458	348	6337	316	9389	325	8183	331	8908	365	7658	295	6667	269	7745	367	7879	354	6506	318	6530	256	
21544	8080	337	9478	328	6345	316	9406	317	8200	364	8924	381	7682	278	6667	278	7753	375	7895	354	6506	328	6547	256	
22102	8088	337	9488	358	6345	316	9422	308	8216	339	8966	373	7690	262	6683	278	7770	367	7895	362	6585	347	6555	280	
22675	8105	337	9508	328	6370	316	9439	307	8232	347	8997	381	7682	270	6691	286	7778	358	7928	345	6575	347	6563	280	
23263	8105	346	9527	328	6370	316	9439	317	8265	339	9031	365	7707	262	6715	269	7802	358	7928	354	6595	347	6596	280	
23865	8130	346	9537	348	6361	324	9455	300	8282	339	9039	381	7723	278	6715	278	7810	358	7953	337	6604	338	6596	280	
24488	8139	346	9567	328	6378	307	9455	325	8298	355	9059	373	7731	270	6731	278	7827	358	7962	345	6623	357	6612	264	
25118	8164	337	9577	328	6394	316	9472	317	8314	355	9113	365	7731	278	6748	261	7835	375	7970	362	6633	357	6620	264	
25769	8172	354	9596	338	6403	316	9480	309	8331	355	9130	373	7747	278	6764	269	7835	367	7978	345	6652	357	6628	280	
26437	8189	337	9626	318	6411	316	9480	317	8355	347	9154	382	7763	254	6772	269	7851	358	8003	337	6652	357	6637	272	
27122	8197	337	9606	348	6411	324	9497	309	8372	355	9187	382	7771	262	6780	278	7876	350	7995	362	6681	347	6653	272	
27825	8214	337	9646	338	6436	316	9513	309	8388	347	9236	357	7780	262	6796	286	7876	358	8020	362	6709	318	6661	272	
28546	8247	329	9655	328	6436	324	9513	325	8404	335	9261	390	7780	278	6812	269	7876	383	8028	379	6709	338	6678	272	
29286	8239	346	9655	338	6444	316	9530	309	8421	355	9302	373	7788	278	6828	270	7900	375	8053	354	6729	347	6686	280	
30045	8255	346	9695	348	6460	324	9530	325	8437	372	9335	365	7788	270	6828	286	7900	383	8070	354	6729	357	6694	280	
30823	8264	363	9705	328	6460	316	9546	309	8470	355	9365	365	7804	270	6853	270	7925	358	8070	371	6757	338	6710	272	
31622	8280	346	9715	338	6477	324	9546	317	8478	347	9409	365	7820	262	6853	294	7941	367	8070	379	6757	357	6718	280	
32442	8289	346	9734	338	6477	332	9554	325	8511	339	9433	382	7820	278	6885	270	7941	358	8103	354	6776	319	6735	280	
33282	8314	354	9794	328	6493	324	9563	317	8527	347	9438	365	7836	262	6877	286	7966	367	8103	371	6776	347	6743	290	
34145	8314	363	9774	348	6502	316	9579	309	8543	356	9499	373	7853	262	6901	261	7958	400	8120	362	6776	347	6751	280	
35030	8339	346	9784	338	6510	316	9579	317	8560	364	9524	382	7836	295	6909	286	7982	367	8136	362	6815	328	6759	272	

Vuruş Sayısı	KatkıCinsi																									
	NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2			
	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara
	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.
	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE	µE
35938	8339	346	9793	358	6526	316	9587	325	8584	356	9548	382	7869	262	6917	286	7982	392	8153	379	6815	328	6776	280		
36869	8372	337	9813	358	6526	316	9587	342	8601	364	9598	373	7869	270	6934	278	8007	367	8161	379	6834	319	6792	272		
37824	8381	346	9833	358	6535	324	9604	325	8633	347	9631	365	7869	278	6950	270	8015	375	8178	354	6834	347	6792	280		
38805	8389	337	9852	358	6551	307	9620	325	8650	356	9655	398	7885	270	6958	278	8015	400	8203	362	6843	347	6809	297		
39810	8406	346	9882	318	6551	324	9637	317	8674	347	9696	373	7885	270	6974	278	8031	375	8203	396	6863	328	6817	289		
40842	8422	346	9902	318	6568	324	9637	325	8691	364	9737	365	7901	270	6974	286	8047	375	8228	387	6863	338	6833	272		
41900	8506	320	9902	338	6568	324	9645	317	8707	356	9762	382	7909	262	6990	278	8056	383	8245	371	6882	338	6841	289		
42986	8556	312	9931	348	6584	324	9653	334	8723	356	9819	365	7917	270	7006	270	8080	367	8261	354	6891	347	6841	280		
44100	8581	329	9951	338	6601	316	9670	317	8781	347	9893	374	7934	270	7023	286	8096	375	8286	362	6910	319	6858	280		
45243	8598	346	9981	338	6601	316	9670	317	8781	347	9893	374	7934	270	7023	286	8096	375	8286	362	6910	319	6858	280		
46415	8623	329	9981	338	6601	316	9670	317	8781	347	9893	374	7934	270	7023	286	8096	375	8286	362	6910	319	6858	280		
47618	8656	337	10020	338	6617	324	9678	325	8813	372	9959	390	7950	270	7039	286	8121	392	8328	362	6930	348	6882	289		
48852	8664	346	10020	338	6634	316	9703	309	8846	356	10016	365	7958	270	7055	278	8137	375	8336	362	6968	338	6890	272		
50118	8681	346	10050	358	6634	332	9711	317	8871	347	10057	365	7966	270	7063	286	8154	375	8344	379	6987	328	6915	264		
51417	8698	346	10089	318	6650	316	9719	317	8895	356	10099	365	7974	278	7071	286	8170	384	8369	362	6987	338	6915	280		
52749	8731	337	10099	338	6658	316	9719	325	8912	372	10140	374	7990	262	7087	278	8186	384	8394	362	6977	348	6923	280		
54116	8740	337	10128	328	6658	324	9736	325	8936	364	10181	374	7998	254	7087	294	8194	384	8411	362	6997	348	6931	280		
55519	8765	346	10148	318	6675	324	9736	325	8953	380	10230	382	7998	270	7104	294	8211	384	8419	354	6997	338	6948	289		
56958	8781	337	10168	338	6683	341	9752	325	8977	364	10271	382	7998	270	7128	278	8227	384	8444	362	7016	338	6948	289		
58434	8806	337	10178	348	6681	324	9752	342	9002	356	10230	382	8015	270	7136	278	8252	359	8461	371	7035	348	6964	280		
59948	8831	337	10217	348	6708	332	9769	325	9018	364	10361	382	8023	270	7144	286	8252	375	8469	362	7044	348	6972	289		
63095	8865	346	10247	348	6724	348	9782	332	9802	317	9075	364	10468	374	8047	262	7160	278	8284	367	7092	319	6997	289		
64730	8890	354	10286	337	6741	316	9810	309	9108	347	10517	374	8055	262	7176	286	8309	375	8527	371	7102	338	7021	272		
66408	8898	371	10306	327	6741	332	9810	325	9141	364	10583	390	8063	270	7184	294	8325	367	8544	371	7102	338	7021	289		
68129	8932	346	10325	347	6749	332	9827	317	9173	364	10665	374	8071	270	7193	294	8342	359	8561	379	7111	348	7038	280		
69894	8948	354	10345	337	6766	332	9827	325	9190	364	10731	382	8079	270	7217	286	8350	359	8586	371	7131	357	7046	289		
71706	8973	354	10365	346	6766	332	9835	334	9223	364	10788	390	8088	270	7217	294	8358	359	8602	379	7159	319	7070	280		

Çizelge E.2 (40 °C) Tekrarlı Summe Deney Sonuçları

Virus Sırası	Katkı Cinsi																								
	NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
1	467	290	301	267	179	368	648	370	788	509	851	434	744	2	519	580	661	361	269	570	373	224	388	80	351
2	787	289	527	378	328	368	1006	399	1243	507	1252	444	1198	534	998	652	618	300	891	381	427	477	221	381	352
3	1024	330	704	321	536	368	1302	369	1574	517	1564	422	1513	534	1300	622	814	321	1144	370	600	414	311	382	381
4	1230	299	841	310	662	358	1516	389	1855	506	1804	432	1764	534	1554	582	990	310	1347	360	732	403	402	372	372
5	1405	298	1055	321	767	357	1720	369	2086	495	1994	442	1962	534	1749	552	1155	290	1521	360	833	392	472	392	392
6	1569	298	967	330	872	366	1873	369	2276	503	2153	462	2151	515	1904	562	1278	300	1666	331	923	392	532	392	392
7	1702	318	1143	318	946	375	2026	369	2447	521	2303	452	2285	535	2031	572	1381	320	1792	331	1003	422	593	362	362
8	1855	319	1206	338	1040	364	2138	390	2596	510	2433	452	2420	525	2167	561	1485	309	1898	341	1094	392	643	392	392
9	1937	329	1282	327	1113	363	2261	348	2755	490	2533	452	2537	495	2264	571	1567	338	1985	380	1154	402	683	382	382
10	2040	319	1344	337	1196	332	2342	368	2894	480	2633	452	2635	524	2382	531	1670	306	2091	351	1224	392	713	382	382
11	2142	318	1393	326	1248	342	2465	347	3003	470	2733	443	2725	533	2479	511	1742	306	2178	331	1274	392	743	372	372
12	2234	298	1455	326	1289	351	2536	357	3112	480	2793	472	2816	522	2557	501	1813	295	2285	331	1324	402	763	392	392
13	2316	308	1491	337	1351	353	2627	336	3211	460	2893	453	2896	512	2644	501	1884	306	2343	321	1374	382	794	382	382
14	2388	319	1542	337	1413	332	2688	356	3310	440	2963	442	2986	511	2702	501	1945	306	2401	331	1424	392	824	382	382
15	2460	318	1591	326	1444	363	2759	346	3399	430	3013	431	3048	501	2780	502	2006	306	2468	341	1464	382	854	372	372
16	2531	318	1603	357	1496	353	2820	366	3469	470	3083	440	3111	500	2828	512	2046	326	2526	331	1505	382	884	372	372
17	2593	328	1652	336	1537	342	2870	345	3528	461	3132	459	3173	490	2877	521	2118	295	2603	312	1545	392	914	362	362
18	2654	328	1689	336	1579	342	2941	345	3598	470	3202	419	3245	490	2935	521	2168	296	2652	302	1575	382	924	372	372
19	2715	307	1714	346	1620	332	2992	335	3667	479	3243	448	3292	481	3003	482	2209	296	2700	312	1623	382	964	372	372
20	2766	348	1751	335	1662	332	3042	345	3727	448	3292	447	3351	461	3062	472	2250	316	2719	351	1645	382	974	372	372
21	2807	327	1776	335	1703	332	3083	355	3786	457	3342	456	3395	500	3120	453	2300	306	2768	341	1695	392	994	372	372
22	2868	317	1801	356	1734	331	3143	345	3846	457	3402	396	3449	481	3149	492	2331	326	2826	322	1715	372	1015	382	382
23	2929	317	1850	345	1755	342	3173	345	3905	426	3451	416	3484	471	3198	472	2382	306	2874	312	1735	392	1045	361	361
24	2970	307	1862	335	1796	332	3224	345	3975	405	3461	446	3528	471	3236	492	2412	326	2922	302	1765	372	1055	361	361
25	3001	317	1887	334	1827	342	3274	325	4014	425	3520	416	3582	471	3265	492	2453	306	2951	302	1795	392	1075	371	371
26	3052	307	1911	345	1858	322	3295	345	4053	435	3549	436	3600	501	3314	472	2493	306	2990	331	1825	362	1085	361	361
27	3092	307	1949	365	1910	301	3345	325	4102	435	3589	426	3645	481	3343	482	2534	296	3009	331	1845	382	1105	351	351
28	3133	317	1949	355	1920	322	3365	356	4150	426	3618	416	3688	471	3392	452	2575	296	3067	312	1865	392	1115	361	361
29	3153	327	1974	365	1931	342	3416	325	4180	435	3658	416	3733	451	3471	452	2595	306	3106	302	1875	382	1135	361	361

Virus Sayısı		Katka Cinsi																								
		NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
		Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
30	3194	327	1998	344	1962	322	3446	325	4219	436	3687	416	3759	461	3470	442	2636	286	3135	293	1916	382	1145	361		
31	3235	327	2035	344	1993	322	3466	346	4268	446	3707	446	3796	442	3489	471	2646	316	3154	312	1925	393	1155	371		
32	3255	368	2035	334	2014	332	3517	325	4297	435	3736	436	3831	461	3508	471	2687	296	3183	332	1946	393	1165	371		
33	3296	327	2060	344	2034	342	3527	346	4327	455	3776	426	3867	461	3538	490	2707	316	3222	303	1986	372	1175	360		
34	3317	327	2083	334	2065	343	3567	336	4356	446	3795	426	3875	461	3567	480	2737	306	3270	293	1986	393	1185	360		
35	3347	326	2096	344	2086	332	3598	336	4403	455	3825	426	3910	452	3615	440	2758	306	3290	293	2006	382	1215	350		
36	3398	316	2121	344	2107	332	3618	336	4434	435	3845	446	3946	461	3654	416	3709	323	2026	323	2046	372	1215	370		
37	3408	326	2121	344	2127	332	3638	346	4464	446	3884	416	3973	452	3674	439	2819	306	3328	323	2046	372	1215	370		
38	3439	316	2144	344	2148	332	3679	325	4503	436	3904	416	3973	452	3703	449	2849	296	3357	313	2076	382	1256	360		
39	3469	326	2169	344	2169	332	3689	346	4523	446	3913	446	4009	452	3713	458	2849	304	3396	304	2096	362	1246	360		
40	3489	326	2169	344	2190	332	3739	315	4542	455	3953	426	4044	452	3742	448	2890	296	3415	304	2106	382	1276	360		
41	3510	326	2182	344	2221	311	3739	346	4581	446	3972	426	4062	452	3771	428	2910	296	3435	304	2136	372	1276	360		
42	3540	316	2206	344	2231	332	3790	305	4601	455	3992	416	4097	442	3810	418	2930	316	3445	314	2156	352	1286	360		
43	3591	326	2230	344	2262	342	3800	346	4660	436	4022	426	4133	462	3829	467	2991	296	3512	304	2196	372	1306	360		
44	3611	326	2255	365	2283	332	3850	315	4680	455	4061	416	4151	452	3848	457	3012	296	3532	304	2216	362	1316	360		
45	3631	326	2255	344	2303	332	3850	346	4719	436	4081	416	4177	462	3877	448	3032	286	3551	294	2226	362	1335	340		
46	3652	326	2267	344	2314	322	3870	315	4738	446	4090	426	4222	432	3906	419	3032	316	3561	314	2256	362	1335	360		
47	3682	326	2291	344	2334	332	3911	325	4748	456	4110	436	4222	471	3934	399	3063	306	3561	353	2246	392	1345	360		
48	3713	346	2316	323	2365	332	3931	335	4807	436	4150	426	4275	431	3954	448	3113	275	3639	304	2287	372	1345	360		
49	3733	326	2316	344	2397	322	3961	315	4826	426	4159	446	4302	431	3982	428	3134	286	3639	314	2297	362	1365	370		
50	3753	326	2353	323	2397	332	3982	334	4856	416	4179	426	4319	421	4002	438	3134	296	3668	294	2327	362	1385	360		
51	3794	306	2353	365	2428	332	4002	324	4905	406	4218	407	4338	450	4040	419	3174	286	3707	304	2337	362	1385	360		
52	3804	316	2377	332	2448	332	4032	314	4925	406	4228	437	4355	430	4059	428	3174	306	3716	314	2347	362	1395	350		
53	3824	326	2377	334	2448	332	4052	324	4914	436	4238	407	4418	430	4107	399	3235	286	3775	304	2367	382	1415	350		
54	3865	326	2389	355	2490	311	4062	343	4964	416	4287	417	4418	430	4107	399	3235	286	3794	314	2387	382	1425	360		
55	3875	326	2439	334	2490	332	4103	313	4993	396	4287	446	4426	439	4117	448	3256	286	3794	314	2387	382	1425	360		
56	3895	346	2439	344	2521	332	4123	333	5022	416	4346	407	4453	439	4165	389	3276	296	3823	294	2417	361	1445	340		
57	3936	336	2463	334	2541	332	4153	312	5032	456	4356	437	4506	429	4184	438	3296	316	3862	294	2437	351	1455	360		
58	3956	326	2450	365	2562	322	4174	322	5052	436	4376	417	4506	448	4213	409	3316	296	3872	304	2437	381	1455	360		
59	3976	326	2488	334	2593	311	4194	322	5101	396	4396	417	4542	409	4232	418	3357	306	3881	353	2457	381	1495	320		
60	4017	326	2500	344	2614	322	4224	332	5130	416	4435	407	4577	428	4270	409	3377	316	3930	294	2477	381	1485	370		
61	4017	316	2524	323	2635	311	4224	332	5140	416	4435	417	4586	438	4270	409	3388	326	3940	294	2477	361	1505	340		

Vuruş Sayısı		Kartko Cinsi																							
		NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SBI		SE2	
		Kal. µε	Ara Def.	Kal. µε	Am Def.	Kal. µε	Ara Def.	Kal. µε	Am Def.	Kal. µε	Ara Def.	Kal. µε	Am Def.	Kal. µε	Am Def.	Kal. µε	Ara Def.	Kal. µε	Am Def.	Kal. µε	Ara Def.	Kal. µε	Am Def.	Kal. µε	Ara Def.
71	4047	326	2549	324	2635	332	4274	312	5169	406	4455	437	4613	418	4299	409	3418	296	3979	294	2487	381	1515	350	
73	4067	336	2549	344	2686	311	4284	322	5179	436	4484	417	4639	428	4337	389	3449	306	3979	324	2527	351	1535	350	
75	4098	346	2586	344	2707	390	4294	332	5228	406	4504	437	4666	418	4347	438	3479	285	4017	304	2547	371	1555	360	
77	4118	357	2586	344	2718	390	4334	342	5238	425	4534	407	4683	418	4376	409	3489	285	4047	294	2577	371	1545	360	
79	4138	336	2586	365	2748	290	4354	322	5277	406	4563	407	4700	427	4395	409	3520	285	4066	314	2577	371	1545	340	
81	4159	357	2634	344	2780	331	4404	322	5326	386	4592	417	4762	427	4424	418	3540	295	4095	294	2587	380	1555	360	
83	4179	336	2647	334	2800	300	4404	322	5336	426	4602	427	4779	417	4481	380	3571	304	4134	324	2607	370	1588	360	
85	4209	336	2672	324	2831	290	4433	332	5355	415	4632	417	4815	436	4481	428	3591	304	4144	314	2637	360	1595	350	
87	4240	316	2672	324	2831	290	4433	332	5355	415	4632	417	4815	436	4481	428	3591	304	4144	314	2637	360	1595	350	
90	4250	347	2683	334	2852	310	4454	342	5405	395	4652	437	4832	416	4529	409	3631	304	4192	304	2657	360	1595	360	
95	4311	326	2708	334	2893	300	4523	312	5424	445	4701	417	4885	406	4577	389	3682	293	4231	304	2677	380	1625	350	
97	4321	336	2733	324	2904	310	4514	322	5473	405	4711	437	4921	406	4587	428	3702	293	4260	294	2687	370	1625	350	
100	4351	336	2733	355	2934	300	4564	302	5493	405	4750	426	4929	415	4635	389	3723	303	4279	324	2717	350	1665	350	
102	4361	346	2756	334	2945	300	4564	322	5512	415	4760	427	4964	415	4654	389	3723	313	4299	324	2727	360	1665	350	
105	4392	336	2756	355	2976	289	4573	352	5542	405	4790	417	4982	396	4683	370	3763	293	4328	314	2747	370	1685	340	
107	4412	336	2781	355	2986	310	4613	312	5542	435	4799	416	5000	424	4702	379	3773	303	4338	333	2756	370	1685	340	
110	4432	336	2794	355	2996	310	4633	322	5591	405	4819	426	5035	385	4721	398	3803	293	4377	304	2776	350	1695	350	
113	4452	336	2817	355	3017	310	4653	322	5610	395	4839	426	5061	395	4740	389	3833	293	4396	314	2776	380	1705	350	
116	4473	336	2830	344	3048	310	4653	332	5620	415	4878	396	5061	414	4779	379	3843	313	4415	314	2816	350	1705	370	
119	4503	326	2842	365	3068	320	4683	342	5630	425	4888	416	5096	414	4798	379	3864	323	4445	324	2816	360	1715	350	
122	4503	346	2879	324	3089	289	4713	322	5689	385	4898	436	5122	414	4798	399	3884	303	4483	275	2846	350	1754	340	
125	4544	336	2879	334	3109	289	4723	322	5698	405	4917	416	5139	395	4836	406	3904	303	4503	314	2876	359	1774	340	
129	4564	336	2903	344	3130	300	4763	322	5718	425	4947	406	5157	414	4856	398	3944	303	4503	314	2876	359	1774	340	
132	4584	336	2928	344	3140	300	4773	322	5737	435	4977	416	5191	404	4894	379	3964	283	4532	314	2876	359	1774	340	
135	4604	315	2903	345	3171	289	4793	332	5776	365	4986	406	5191	424	4894	408	3988	293	4571	294	2906	359	1774	370	
139	4625	335	2953	324	3182	289	4813	322	5776	405	5006	426	5244	395	4932	388	3994	313	4590	334	2926	339	1814	330	
143	4645	335	2965	345	3212	289	4833	322	5806	425	5026	425	5270	405	4961	368	4004	313	4600	334	2906	399	1824	330	
146	4665	335	2965	345	3212	310	4853	322	5806	425	5045	435	5279	414	4951	407	4024	323	4629	294	2946	359	1824	350	
150	4686	335	2989	345	3254	279	4883	312	5845	405	5085	415	5305	395	4999	378	4065	293	4639	324	2956	359	1834	350	
154	4706	325	3001	345	3354	300	4883	312	5864	405	5105	405	5322	395	5018	388	4065	313	4658	324	2976	349	1834	340	
158	4726	335	3014	345	3354	320	4903	332	5903	385	5124	395	5340	414	5028	407	4105	313	4687	314	2976	369	1854	340	

Vnus Savisi		Katko Cinsi																							
		NR1		NR2		AP1		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2	
		Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.	Kal. µE	Ara Def.
162	4736	355	3039	345	3284	320	4933	292	5923	385	5134	395	5374	376	5076	359	4125	303	4707	324	2995	359	1864	330	
166	4756	335	3051	334	3305	310	4933	322	5943	385	5164	395	5383	414	5076	407	4125	313	4736	314	3005	379	1874	340	
171	4787	345	3075	345	3326	310	4953	332	5962	395	5183	405	5409	404	5114	368	4165	313	4765	314	3045	359	1894	330	
175	4807	325	3051	325	3346	309	4993	302	5982	405	5243	415	5435	395	5133	407	4185	323	4784	334	3065	349	1924	330	
180	4817	345	3100	344	3356	309	5013	312	6011	396	5203	425	5453	395	5133	407	4185	323	4784	334	3065	349	1924	330	
184	4837	345	3112	355	3377	309	5013	312	6011	415	5242	385	5479	385	5172	388	4205	334	4823	314	3075	359	1934	310	
189	4857	335	3136	355	3398	309	5023	322	6040	396	5242	415	5505	405	5200	368	4246	293	4833	324	3085	359	1934	310	
194	4878	335	3136	355	3418	319	5043	332	6060	396	5262	424	5523	405	5219	378	4246	313	4852	314	3105	359	1944	330	
199	4898	345	3161	344	3449	288	5063	352	6099	385	5281	424	5548	405	5249	407	4266	313	4891	294	3124	359	1944	330	
204	4918	335	3186	323	3459	299	5083	332	6109	385	5321	394	5566	395	5248	397	4286	303	4901	314	3144	339	1964	340	
210	4938	335	3198	334	3470	319	5103	311	6109	425	5330	404	5592	395	5277	407	4306	313	4940	294	3154	369	1974	340	
215	4948	335	3209	344	3501	309	5133	301	6138	415	5330	434	5601	414	5305	388	4326	313	4940	314	3154	369	1984	320	
221	4978	345	3222	334	3521	288	5133	331	6148	425	5369	424	5618	395	5344	368	4366	293	4979	304	3174	359	1994	330	
226	4988	335	3222	354	3521	309	5153	331	6167	435	5379	414	5644	395	5344	397	4366	344	4969	334	3174	379	2004	340	
232	5009	335	3259	344	3542	298	5173	311	6206	405	5399	433	5679	376	5372	378	4386	313	5008	314	3204	349	2024	330	
238	5029	325	3259	354	3562	319	5193	321	6226	396	5428	414	5697	395	5382	378	4407	303	5027	304	3204	389	2034	330	
244	5049	335	3295	333	3593	288	5213	311	6236	396	5448	394	5705	395	5420	349	4417	313	5037	324	3224	359	2044	330	
257	5069	355	3332	343	3613	309	5233	331	6285	385	5487	394	5749	395	5458	359	4447	334	5095	294	3263	359	2064	330	
264	5089	335	3332	343	3634	319	5243	341	6294	435	5487	433	5766	414	5477	368	4487	293	5105	294	3263	389	2094	320	
271	5130	324	3345	375	3654	319	5263	351	6334	376	5526	414	5792	385	5506	359	4507	303	5124	314	3293	339	2094	330	
278	5130	355	3368	343	3675	298	5283	341	6344	405	5526	433	5810	405	5525	359	4507	323	5144	314	3303	369	2124	320	
285	5150	354	3393	343	3685	309	5293	341	6373	386	5565	384	5844	376	5545	358	4517	334	5163	324	3303	369	2124	320	
292	5180	334	3406	343	3706	319	5343	311	6412	375	5585	423	5897	376	5583	368	4568	293	5212	304	3333	369	2134	330	
308	5200	354	3418	364	3726	309	5343	321	6402	445	5605	423	5889	395	5592	388	4588	303	5221	314	3353	349	2134	340	
316	5220	344	3429	364	3747	309	5363	331	6431	415	5644	394	5914	405	5611	398	4588	334	5241	314	3353	359	2153	330	
324	5220	363	3454	353	3777	298	5382	311	6471	396	5663	393	5923	405	5640	378	4598	324	5241	334	3382	349	2153	340	
332	5241	333	3479	343	3777	298	5382	311	6480	416	5663	413	5957	376	5678	349	4628	313	5279	304	3382	349	2173	340	
341	5281	333	3479	353	3798	309	5412	331	6520	396	5692	413	5984	386	5659	417	4658	303	5289	324	3392	379	2183	330	
350	5281	353	3504	353	3818	309	5412	331	6520	425	5712	394	5984	405	5707	378	4668	313	5328	295	3402	369	2193	340	
359	5301	342	3527	353	3829	319	5452	291	6529	416	5722	403	6010	385	5726	358	4678	313	5328	314	3422	349	2193	350	

Katkı Cinsi

Vurus Sayısı	NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2	
	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.	Kal.	Ara Def.
368	5301	353	3527	364	3849	309	5472	301	6579	386	5741	403	6036	386	5735	407	4698	313	5338	324	3432	359	2203	340
378	5331	352	3540	353	3870	298	5462	321	6588	386	5751	433	6036	424	5764	359	4708	324	5377	304	3442	359	2223	330
388	5351	342	3552	364	3890	298	5482	331	6608	405	5790	394	6071	386	5783	368	4738	313	5386	323	3462	359	2233	320
398	5382	342	3577	343	3890	319	5512	321	6627	435	5819	413	6106	414	5831	349	4759	313	5425	294	3442	349	2273	310
408	5382	342	3600	333	3911	299	5512	321	6627	435	5819	413	6106	414	5831	349	4759	313	5425	294	3442	349	2273	310
419	5392	372	3613	322	3921	309	5522	351	6666	406	5839	403	6140	376	5841	388	4779	334	5445	313	3492	359	2263	330
441	5432	331	3650	333	3952	309	5581	291	6686	425	5868	413	6158	395	5879	369	4799	314	5493	313	3511	369	2283	350
452	5452	351	3650	333	3972	309	5562	331	6706	425	5868	413	6158	395	5879	369	4799	314	5493	313	3511	369	2283	350
464	5462	351	3674	333	3982	309	5581	331	6735	416	5897	423	6201	405	5927	349	4819	314	5503	322	3541	369	2313	320
476	5472	351	3686	364	3993	309	5581	351	6754	416	5926	404	6228	386	5936	369	4849	324	5512	332	3551	359	2313	330
488	5492	341	3698	353	4034	299	5611	321	6764	416	5946	413	6236	386	5955	378	4859	314	5522	332	3561	349	2323	320
501	5512	351	3710	353	4034	319	5631	311	6794	406	5956	423	6253	395	5984	369	4879	314	5531	321	3581	349	2323	340
514	5532	341	3734	343	4034	319	5641	321	6823	416	5995	384	6272	395	6013	349	4889	314	5571	311	3591	359	2353	320
527	5532	341	3734	353	4064	288	5631	361	6843	406	5995	413	6289	395	6022	379	4919	293	5571	311	3591	369	2353	330
541	5552	351	3771	343	4075	299	5661	331	6852	416	6014	413	6297	395	6022	389	4929	314	5600	340	3611	359	2373	320
555	5572	352	3784	333	4075	340	5671	321	6872	406	6043	404	6332	376	6061	369	4919	334	5610	349	3621	359	2363	340
569	5572	361	3784	353	4105	309	5701	321	6892	416	6053	423	6332	395	6070	369	4970	303	5639	320	3640	339	2383	340
584	5601	352	3796	353	4105	340	5701	321	6901	425	6073	403	6384	386	6108	359	4970	324	5658	309	3640	359	2393	340
599	5612	361	3820	353	4126	319	5711	311	6941	386	6092	413	6384	386	6108	369	4980	334	5677	328	3640	379	2403	330
615	5621	372	3832	364	4146	319	5731	321	6960	406	6112	403	6402	395	6137	359	5010	304	5697	319	3660	359	2433	310
630	5651	341	3857	343	4146	319	5751	331	6970	425	6131	394	6420	395	6156	349	5020	314	5706	338	3670	369	2413	340
647	5661	352	3857	385	4177	309	5751	331	6989	416	6151	413	6428	386	6166	379	5030	324	5726	308	3680	369	2443	330
664	5681	361	3880	353	4198	299	5751	331	7019	406	6160	423	6446	405	6185	379	5050	304	5745	308	3690	369	2453	330
681	5701	341	3905	353	4198	319	5791	331	7029	425	6190	403	6483	386	6204	378	5050	324	5745	328	3710	359	2463	330
698	5701	352	3905	374	4198	319	5811	311	7038	425	6199	433	6480	405	6233	359	5070	334	5774	318	3730	349	2463	330
717	5731	352	3930	353	4228	309	5830	311	7058	425	6229	403	6497	395	6252	359	5090	314	5793	308	3730	359	2463	350
735	5731	361	3953	343	4228	329	5820	331	7087	425	6248	414	6515	386	6252	388	5090	344	5812	317	3730	379	2483	330
754	5751	352	3966	343	4249	309	5840	311	7127	396	6248	414	6515	386	6252	369	5110	334	5812	317	3750	369	2483	330
774	5751	372	3966	364	4259	309	5840	321	7156	376	6287	394	6567	357	6300	379	5110	344	5821	337	3750	379	2493	330
794	5771	361	3990	353	4269	319	5870	321	7156	416	6297	404	6567	395	6319	379	5141	304	5840	337	3769	359	2513	330
814	5791	352	4014	343	4280	319	5860	341	7175	396	6326	414	6576	386	6328	379	5151	334	5859	327	3779	349	2523	349

NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
Vurus Sayısı	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.	Kal. Def.	Ara Def.		
836	5821	341	4026	364	4310	319	5870	361	7195	406	6326	433	6602	376	6348	388	5171	324	5878	308	3779	369	2533	339
857	5821	351	4039	354	4321	309	5900	311	7205	436	6346	414	6602	395	6376	379	5171	334	5878	346	3799	369	2533	349
879	5831	382	4051	374	4310	340	5900	351	7244	396	6365	443	6628	385	6396	359	5171	324	5898	327	3809	359	2543	349
902	5861	352	4076	354	4341	319	5920	341	7234	436	6385	433	6645	385	6415	379	5201	334	5926	317	3819	379	2563	339
926	5871	362	4087	354	4341	329	5940	321	7254	446	6424	414	6671	385	6424	369	5231	314	5935	327	3839	369	2563	339
950	5891	341	4100	354	4361	340	5940	351	7293	396	6434	423	6681	385	6443	379	5221	334	5945	327	3859	369	2563	339
974	5891	382	4112	385	4382	299	5940	351	7313	416	6463	414	6698	375	6482	359	5241	324	5973	308	3859	349	2582	339
1000	5911	362	4136	364	4402	299	5940	361	7313	445	6483	414	6715	375	6482	379	5251	334	5983	308	3859	349	2582	349
1025	5931	341	4160	364	4413	299	5980	321	7361	396	6522	404	6720	385	6491	398	5281	334	6012	327	3879	349	2602	329
1052	5940	352	4160	374	4413	340	6000	341	7401	396	6541	433	6750	385	6549	359	5302	314	6031	308	3879	369	2632	319
1079	5960	352	4210	343	4413	340	6000	341	7401	396	6541	433	6750	385	6549	359	5302	314	6031	308	3879	369	2632	319
1107	5960	382	4197	364	4433	329	6000	361	7420	406	6580	414	6776	404	6578	369	5322	334	6040	346	3918	359	2632	338
1136	5990	362	4210	354	4433	329	6009	371	7430	396	6580	414	6776	404	6578	369	5322	334	6040	346	3918	359	2632	338
1165	6000	341	4222	354	4474	309	6029	351	7450	436	6580	424	6803	384	6587	388	5322	354	6078	308	3908	389	2642	338
1196	6020	362	4246	354	4474	319	6049	331	7459	445	6619	414	6820	375	6616	369	5342	334	6069	327	3918	369	2652	338
1227	6020	382	4258	364	4474	339	6049	351	7479	466	6639	414	6828	384	6625	398	5362	314	6078	346	3928	369	2662	338
1258	6040	341	4283	364	4515	308	6069	331	7509	445	6638	414	6837	394	6635	388	5362	334	6116	308	3958	349	2672	328
1291	6060	362	4283	374	4495	339	6089	331	7538	406	6678	414	6872	375	6645	379	5382	334	6107	356	3958	359	2692	328
1325	6070	372	4306	364	4525	308	6109	321	7557	426	6697	414	6881	375	6673	379	5382	354	6145	317	3968	349	2692	318
1359	6080	371	4318	364	4546	298	6089	361	7567	416	6717	414	6889	394	6683	388	5422	313	6145	327	3968	349	2692	348
1394	6100	372	4331	374	4546	318	6109	351	7597	415	6736	424	6906	384	6712	369	5412	344	6145	337	3978	359	2702	338
1430	6110	362	4356	364	4546	329	6109	371	7606	435	6766	414	6924	374	6722	378	5432	343	6173	317	3988	359	2702	348
1467	6130	372	4367	364	4546	339	6119	351	7616	435	6785	424	6933	384	6770	349	5442	373	6192	346	3998	389	2752	328
1505	6150	342	4392	374	4587	318	6139	361	7656	405	6814	414	6950	384	6770	349	5442	373	6192	346	3998	389	2752	328
1544	6160	361	4416	364	4587	339	6149	341	7675	385	6834	415	6958	394	6779	359	5462	333	6221	317	4027	349	2752	328
1584	6170	362	4416	374	4607	328	6179	331	7685	425	6844	434	6985	384	6779	388	5472	363	6221	327	4018	369	2752	338
1625	6180	372	4452	343	4607	339	6179	331	7705	415	6873	415	6985	384	6808	389	5493	323	6240	337	4018	379	2752	357
1668	6190	362	4452	364	4628	318	6199	331	7734	415	6892	425	7002	403	6817	388	5503	333	6259	337	4037	359	2762	347
1711	6210	382	4452	384	4628	328	6199	331	7744	435	6922	415	7019	394	6846	359	5503	353	6249	346	4047	359	2781	347
1755	6230	382	4477	374	4638	328	6208	341	7764	434	6931	425	7037	384	6846	389	5533	333	6278	346	4067	349	2801	318
1801	6250	362	4502	373	4659	318	6219	341	7783	415	6951	435	7045	374	6885	359	5523	353	6306	317	4057	379	2801	337
1847	6270	372	4513	384	4679	308	6239	341	7812	415	6970	445	7045	413	6885	379	5523	332	6306	317	4057	369	2801	347

NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SBI		SB2		
																								Kal.
Vuruş Sayısı	Kal.	Ara	Def.	µε	Kal.	Ara	Def.	µε	Kal.	Ara	Def.	µε	Kal.	Ara	Def.	µε	Kal.	Ara	Def.	µε	Kal.	Ara	Def.	µε
1895	6270	382	4538	363	4659	349	6239	361	7832	405	6990	425	7080	374	6904	388	5573	322	6316	327	4067	399	2811	327
1944	6290	372	4562	363	4679	338	6239	371	7852	414	7029	426	7089	384	6913	398	5573	342	6335	327	4087	379	2821	337
1995	6299	372	4562	383	4700	338	6258	361	7881	414	7048	426	7106	384	6942	378	5573	342	6354	327	4097	369	2821	347
2046	6330	372	4586	352	4720	318	6268	361	7911	404	7068	426	7131	384	6971	359	5593	342	6373	318	4107	359	2851	327
2100	6330	382	4586	383	4710	338	6288	331	7911	444	7097	436	7141	374	6990	379	5613	332	6373	346	4107	359	2851	337
2154	6349	372	4623	352	4740	318	6288	331	7950	404	7107	426	7161	384	6999	369	5623	342	6392	318	4107	379	2861	337
2210	6369	362	4623	383	4740	318	6308	321	7950	424	7136	416	7125	394	7009	369	5633	332	6392	346	4127	359	2871	337
2267	6379	382	4648	393	4740	338	6308	351	7989	414	7156	445	7192	365	7019	379	5653	341	6411	337	4137	369	2871	337
2326	6389	382	4659	383	4771	318	6308	371	7989	454	7195	455	7192	394	7038	379	5663	351	6430	337	4137	369	2881	337
2386	6409	382	4684	383	4771	318	6318	361	8018	434	7186	435	7202	403	7067	359	5673	331	6439	337	4147	379	2881	347
2448	6429	372	4709	362	4771	359	6348	341	8057	404	7235	435	7219	394	7076	379	5683	341	6439	337	4156	349	2901	337
2511	6449	372	4709	362	4791	338	6368	321	8076	415	7254	425	7227	413	7115	368	5713	331	6468	346	4176	359	2910	327
2576	6459	382	4732	372	4791	338	6348	361	8116	395	7264	435	7237	413	7076	398	5683	351	6458	346	4176	359	2910	317
2643	6469	372	4744	382	4812	318	6378	351	8116	424	7303	425	7262	394	7124	378	5703	361	6487	337	4186	368	2910	357
2712	6489	372	4769	361	4822	328	6378	371	8135	424	7323	435	7262	413	7134	388	5723	331	6506	346	4196	359	2920	347
2782	6519	362	4781	372	4832	338	6388	371	8165	434	7362	415	7296	384	7163	368	5723	351	6525	318	4196	368	2940	357
2854	6519	382	4794	371	4842	338	6418	341	8213	405	7411	424	7314	384	7201	387	5763	351	6534	346	4216	349	2950	347
2928	6539	371	4805	382	4863	328	6418	361	8213	405	7431	434	7296	394	7182	358	5743	351	6534	346	4216	349	2950	337
3004	6559	381	4830	382	4863	338	6418	361	8223	434	7431	434	7331	394	7191	416	5773	341	6553	346	4216	378	2960	347
3082	6559	391	4855	381	4863	338	6437	341	8262	404	7450	424	7337	374	7221	387	5783	341	6572	337	4236	348	2970	357
3162	6579	371	4860	371	4883	338	6457	341	8282	414	7480	424	7366	375	7230	377	5793	351	6582	347	4236	338	2980	337
3244	6609	371	4860	381	4883	338	6457	341	8311	434	7499	444	7375	403	7249	377	5803	361	6601	347	4256	338	2989	347
3328	6619	371	4915	361	4903	338	6477	351	8321	444	7529	434	7383	383	7278	367	5813	351	6601	366	4246	378	2999	327
3414	6639	361	4927	371	4924	318	6467	382	8340	434	7548	444	7400	394	7278	387	5833	331	6601	366	4256	378	2999	347
3503	6639	390	4938	361	4924	348	6477	361	8389	424	7578	444	7417	384	7288	396	5833	351	6629	347	4266	388	3019	337
3593	6659	370	4963	381	4924	348	6487	362	8399	414	7626	424	7435	384	7316	376	5853	351	6629	366	4276	378	3029	327
3686	6679	360	4975	381	4944	338	6507	351	8419	434	7636	424	7444	394	7345	366	5863	351	6667	347	4276	368	3029	347
3782	6679	410	5011	371	4934	359	6507	371	8438	454	7675	424	7452	384	7355	376	5883	351	6667	347	4295	338	3049	327
3880	6719	370	5023	381	4954	339	6547	351	8477	424	7695	434	7469	384	7374	376	5903	341	6686	347	4295	378	3049	357
3981	6728	390	5023	402	4954	348	6547	351	8497	434	7714	434	7487	375	7383	386	5903	341	6705	337	4305	368	3059	337
4084	6739	369	5059	381	4975	338	6547	341	8516	424	7753	414	7496	403	7412	356	5903	351	6705	337	4305	368	3068	347
4190	6759	369	5083	361	4995	338	6567	361	8555	404	7783	434	7521	384	7403	385	5923	341	6724	356	4325	368	3068	347

NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
																								Kal.
Virus Sayısı	Kal.	Ara	Def.	µE	Kal.	Ara	Def.	µE	Kal.	Ara	Def.	µE	Kal.	Ara	Def.	µE	Kal.	Ara	Def.	µE	Kal.	Ara	Def.	µE
4298	6779	379	5108	361	4985	369	6567	351	8575	434	7812	434	7521	403	7422	385	5923	361	6734	356	4325	378	3078	347
4410	6798	359	5108	392	5015	318	6587	371	8585	433	7831	444	7539	403	7441	395	5943	351	6753	347	4335	368	3078	347
4524	6808	369	5146	371	5015	338	6607	351	8624	413	7831	463	7536	384	7460	385	5972	341	6762	347	4335	378	3078	367
4641	6818	379	5156	371	5036	369	6627	361	8643	433	7890	434	7573	384	7479	376	5963	371	6772	366	4345	368	3098	357
4761	6848	368	5168	381	5036	359	6647	341	8683	403	7919	424	7582	394	7488	385	5972	361	6772	356	4345	378	3118	347
4885	6868	368	5192	381	5036	359	6627	361	8683	452	7958	424	7591	403	7517	376	5992	361	6791	356	4365	358	3128	327
5011	6878	378	5216	391	5036	338	6656	371	8722	422	7968	444	7608	403	7526	385	6002	341	6800	366	4365	378	3128	347
5141	6888	368	5241	371	5077	359	6647	371	8761	422	7997	463	7608	403	7545	385	6052	331	6819	356	4365	388	3138	347
5274	6908	388	5264	371	5077	338	6667	381	8780	451	8036	434	7634	394	7545	403	6032	351	6838	366	4375	378	3147	347
5411	6927	368	5301	360	5077	349	6676	351	8790	441	8066	434	7652	413	7583	376	6042	361	6838	356	4385	368	3157	347
5695	6947	398	5325	370	5087	349	6706	371	8858	440	8134	454	7678	403	7602	385	6072	351	6895	337	4404	378	3177	367
5843	6967	398	5337	381	5097	359	6716	372	8888	440	8173	444	7686	394	7621	385	6072	351	6876	366	4404	378	3177	367
5994	6987	388	5361	391	5117	349	6716	361	8888	460	8192	444	7703	394	7621	395	6082	371	6895	366	4404	388	3197	367
6150	6997	398	5385	370	5127	338	6736	372	8927	430	8232	444	7713	403	7650	385	6102	351	6914	356	4414	378	3207	347
6309	7016	388	5397	391	5138	349	6736	361	8966	420	8261	444	7738	384	7669	376	6122	351	6933	356	4424	378	3207	347
6473	7036	398	5434	370	5148	338	6746	372	9005	420	8290	434	7738	403	7688	376	6112	361	6962	337	4434	388	3217	357
6640	7056	398	5446	390	5148	359	6776	372	9015	439	8319	444	7773	384	7707	376	6142	341	6962	366	4444	368	3246	347
6812	7066	398	5470	380	5168	338	6766	381	9053	420	8349	464	7773	423	7726	414	6142	361	6981	356	4444	378	3246	377
6989	7105	378	5494	380	5189	359	6816	341	9073	420	8388	454	7782	423	7745	386	6161	351	6981	366	4464	358	3246	347
7170	7125	368	5506	380	5168	359	6796	381	9111	429	8427	444	7799	394	7745	385	6181	341	7000	356	4464	378	3246	367
7356	7125	408	5542	380	5189	379	6826	351	9131	420	8466	444	7816	394	7764	395	6191	351	7009	366	4473	378	3266	347
7547	7145	388	5567	369	5209	388	6816	381	9169	420	8515	434	7825	404	7773	414	6181	371	7028	366	4473	378	3276	347
7742	7164	388	5590	369	5209	359	6846	372	9208	440	8544	454	7834	404	7792	395	6221	341	7038	385	4473	407	3276	347
7943	7184	398	5614	380	5229	349	6856	381	9237	420	8583	454	7851	413	7830	386	6231	341	7066	347	4503	358	3286	367
8149	7194	408	5639	369	5229	349	6866	372	9257	420	8612	464	7868	384	7830	386	6231	351	7066	356	4493	378	3286	367
8360	7224	378	5662	369	5229	359	6866	402	9276	440	8651	454	7886	394	7850	405	6241	361	7095	356	4503	378	3315	347
8576	7234	388	5674	380	5250	369	6885	381	9315	420	8700	444	7903	403	7859	395	6251	361	7104	356	4513	368	3315	347
8799	7253	388	5710	370	5280	318	6895	362	9353	420	8739	444	7920	384	7878	386	6281	351	7114	366	4523	378	3315	347
9027	7273	378	5734	380	5270	359	6915	372	9392	420	8768	463	7928	394	7897	386	6291	341	7133	366	4523	378	3325	357
9261	7303	398	5734	400	5280	379	6905	381	9411	430	8817	444	7928	432	7907	405	6301	381	7143	366	4523	407	3335	347
9501	7322	378	5782	380	5301	349	6935	372	9460	419	8876	433	7955	404	7935	386	6301	371	7171	356	4543	378	3335	367

Katkı Cinsi

Vuruş Savışı	NR1		NR2		AP1		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SBI		SBI2	
	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara
Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.	Def.
µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε	µε
9747	7332	388	5819	370	5311	338	6935	372	9499	410	8895	462	7963	413	7954	395	6311	361	7171	395	4543	378	3355	347
10000	7342	418	5842	359	5301	359	6955	372	9518	429	8954	442	7980	394	7973	395	6341	361	7180	385	4552	388	3355	357
10259	7372	398	5854	390	5331	349	6965	372	9547	428	9003	460	7998	404	7992	386	6341	371	7199	366	4562	378	3365	357
10525	7382	388	5890	390	5341	338	6975	372	9566	438	9022	469	8013	413	7992	386	6360	361	7218	356	4572	368	3375	367
10797	7421	378	5914	380	5341	349	6995	371	9615	438	9091	448	8024	404	8011	405	6360	371	7228	356	4572	388	3375	367
11077	7431	388	5939	411	5352	349	6985	381	9644	427	9130	457	8032	404	8040	386	6380	381	7257	366	4592	388	3404	347
11364	7461	378	5962	390	5362	359	7025	361	9683	427	9198	436	8059	413	8059	395	6400	351	7276	347	4592	388	3384	347
11659	7481	388	5986	400	5372	338	7025	352	9721	446	9247	445	8076	394	8059	395	6400	371	7285	347	4602	378	3404	357
12261	7500	398	6022	390	5402	379	7043	381	9760	426	9324	445	8093	384	8097	386	6430	351	7285	366	4592	388	3424	367
12589	7520	388	6070	390	5403	338	7045	381	9798	426	9429	474	8093	404	8097	386	6430	361	7304	376	4602	388	3424	357
12589	7540	388	6082	411	5413	338	7054	391	9827	445	9391	435	8128	384	8116	386	6430	381	7323	356	4612	388	3424	357
12915	7550	418	6106	390	5423	338	7094	371	9885	426	9429	464	8120	413	8144	395	6480	381	7342	356	4612	408	3444	347
13250	7589	388	6142	390	5413	359	7084	381	9904	445	9477	464	8137	413	8144	395	6480	361	7352	366	4622	397	3444	347
13593	7599	408	6178	390	5433	349	7094	381	9942	436	9544	445	8172	394	8173	386	6490	371	7371	366	4631	397	3463	347
13945	7629	388	6214	390	5443	359	7114	371	9980	445	9592	455	8189	384	8192	395	6500	361	7390	366	4641	397	3463	347
14307	7648	378	6238	390	5453	359	7124	371	10028	426	9658	464	8189	404	8220	386	6520	371	7409	356	4641	387	3463	347
14677	7668	398	6286	390	5474	349	7124	381	10076	416	9697	464	8206	404	8220	405	6530	361	7409	366	4651	388	3473	357
15058	7698	408	6309	400	5464	359	7154	370	10105	426	9754	464	8224	394	8230	395	6539	351	7428	376	4651	397	3483	367
15448	7708	418	6346	390	5484	359	7164	360	10143	436	9830	445	8232	413	8238	386	6549	381	7456	347	4671	388	3493	357
15848	7737	398	6394	390	5494	369	7174	370	10191	426	9869	455	8249	394	8258	405	6549	391	7456	366	4671	388	3493	357
16259	7767	398	6406	390	5525	338	7174	370	10210	445	9936	464	8266	394	8287	376	6589	351	7475	356	4691	388	3493	367
16681	7796	378	6454	380	5525	359	7194	370	10258	445	9993	474	8293	394	8297	405	6599	361	7485	366	4691	388	3513	357
17113	7806	398	6478	390	5525	369	7223	360	10315	436	10079	445	8301	385	8325	386	6609	371	7504	366	4681	407	3523	347
17556	7836	398	6526	380	5535	369	7223	370	10354	446	10137	435	8301	414	8344	385	6639	361	7523	366	4701	397	3513	377
18011	7866	388	6561	370	5545	358	7243	370	10421	426	10203	455	8336	385	8344	424	6649	361	7523	375	4710	407	3523	367
18478	7885	398	6598	380	5555	379	7263	389	10469	417	10270	435	8345	414	8382	385	6669	341	7551	366	4720	397	3542	357
18957	7915	408	6621	401	5576	348	7283	349	10526	417	10356	465	8362	414	8382	404	6679	371	7570	346	4740	377	3533	367
19448	7935	398	6669	401	5586	358	7263	379	10564	427	10423	465	8362	424	8420	375	6689	371	7589	366	4740	407	3572	347
19952	7954	398	6705	401	5596	358	7283	359	10622	417	10500	445	8388	405	8429	366	6709	371	7599	366	4730	387	3562	367
20469	7994	388	6741	401	5596	368	7293	389	10680	436	10557	474	8414	405	8449	385	6728	361	7618	375	4760	387	3552	387
21000	8024	388	6790	380	5616	368	7313	369	10718	446	10624	465	8414	405	8477	375	6748	351	7646	346	4740	397	3582	357
21544	8033	408	6825	401	5616	358	7323	379	10785	427	10720	465	8439	395	8487	385	6758	361	7646	375	4760	377	3582	357

Virus/Sayis	Katko Cinsi																								
	NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
22102	8073	398	6873	390	5637	358	7353	359	10833	446	10796	445	8457	405	8506	385	6778	361	7675	365	4760	377	3602	357	
22675	8093	418	6921	401	5637	378	7353	388	10900	436	10873	435	8474	405	8515	375	6798	361	7694	365	4770	377	3612	347	
23263	8122	389	6957	380	5637	378	7363	369	10948	446	10930	474	8483	405	8525	394	6798	371	7694	384	4770	387	3612	347	
23865	8152	398	6981	401	5678	358	7382	378	11005	466	11026	455	8501	415	8553	384	6828	361	7713	384	4790	387	3612	367	
24484	8172	388	7041	390	5678	358	7382	388	11073	427	11102	474	8509	415	8572	384	6838	351	7751	346	4780	397	3621	357	
25118	8201	379	7065	401	5688	368	7412	368	11140	427	11179	474	8535	406	8591	394	6858	351	7760	375	4799	377	3621	377	
25769	8241	389	7113	411	5698	368	7432	368	11197	446	11284	474	8545	406	8610	384	6858	391	7779	374	4799	377	3641	377	
26437	8241	418	7161	390	5708	358	7432	388	11264	436	11380	454	8570	387	8629	384	6888	361	7789	374	4799	397	3641	377	
27132	8280	389	7209	380	5718	378	7452	378	11312	445	11456	473	8570	416	8667	364	6898	361	7817	384	4799	407	3661	337	
27825	8300	418	7257	390	5729	368	7472	368	11379	435	11561	463	8587	406	8686	364	6908	381	7826	374	4809	397	3661	367	
28546	8330	409	7293	390	5739	368	7491	378	11437	444	11657	453	8596	416	8705	374	6927	361	7865	345	4819	387	3681	347	
29286	8369	399	7329	400	5769	357	7511	378	11504	454	11771	443	8622	396	8705	403	6927	381	7874	365	4829	387	3681	367	
30045	8399	389	7377	389	5749	398	7531	358	11580	434	11857	463	8639	416	8743	364	6947	371	7893	355	4829	397	3700	347	
30823	8419	418	7425	409	5769	378	7541	358	11656	434	11981	492	8640	416	8752	393	6967	371	7902	364	4839	387	3700	347	
31622	8448	399	7472	409	5790	357	7550	348	11713	454	12095	463	8665	406	8781	384	6967	371	7912	364	4849	406	3700	357	
32442	8488	399	7532	398	5800	367	7560	388	11799	435	12219	453	8683	406	8790	393	6987	371	7950	355	4849	397	3710	357	
33282	8498	409	7580	398	5810	367	7590	358	11866	444	12324	463	8683	425	8809	422	6997	371	7950	364	4859	397	3720	347	
34145	8537	399	7627	398	5830	367	7590	378	11942	454	12457	444	8718	406	8828	393	7007	381	7959	374	4869	387	3740	347	
35030	8567	399	7663	408	5840	347	7639	348	12028	435	12553	482	8746	406	8837	413	7027	371	7988	374	4888	377	3740	367	
35938	8586	408	7723	408	5830	367	7639	388	12114	454	12686	483	8753	396	8885	364	7047	391	7988	383	4869	396	3740	367	
36869	8616	398	7795	387	5840	368	7649	368	12199	444	12820	492	8761	406	8904	393	7057	361	8016	374	4888	387	3750	357	
39810	8725	398	7949	407	5871	357	7718	358	12447	454	13239	483	8814	406	8951	394	7107	361	8073	355	4888	396	3779	337	
40842	8754	398	8019	387	5871	378	7718	378	12542	454	13401	464	8841	396	8970	394	7117	371	8073	393	4908	376	3789	337	
41900	8764	427	8068	407	5891	357	7738	378	12638	454	13554	481	8848	396	8970	384	7117	371	8092	364	4908	396	3779	347	
42986	8814	397	8126	397	5901	368	7747	368	12742	446	13726	479	8848	416	8999	393	7156	381	8111	354	4928	376	3809	337	
44100	8843	387	8187	397	5911	357	7767	378	12837	455	13905	459	8875	406	9017	374	7176	351	8120	355	4938	376	3809	337	
45243	8883	407	8257	407	5921	368	7797	338	12942	475	14075	469	8883	416	9027	393	7186	360	8149	355	4938	376	3809	357	
46415	8922	397	8316	407	5932	357	7797	398	13076	446	14253	489	8918	397	9055	394	7196	380	8168	364	4928	396	3809	357	
47618	8952	407	8388	397	5952	337	7806	378	13199	447	14479	461	8944	387	9074	374	7216	380	8168	364	4948	376	3819	347	
48852	8981	417	8458	397	5952	357	7816	368	13314	467	14686	461	8961	387	9084	374	7226	370	8205	355	4948	386	3819	357	

Vuruş Sayısı		NR1		NR2		API		AP2		SE1		SE2		PE1		PE2		BE1		BE2		SB1		SB2		
		Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.	Ara	Kal.
50118	9020	407	8530	397	5962	357	7846	368	13449	467	14931	481	8979	377	9093	374	7246	370	8196	364	4948	406	3819	357		
51417	9050	407	8589	407	5972	357	7856	348	13583	457	15176	481	8979	406	9131	383	7266	369	8215	374	4967	396	3809	377		
52749	9089	417	8661	407	5982	357	7856	388	13707	487	15459	472	9014	397	9150	364	7276	389	8243	374	4987	376	3849	337		
54116	9138	397	8731	397	5992	357	7895	348	13832	487	13732	481	9032	416	9150	374	7316	369	8253	364	4977	386	3829	377		
55519	9168	387	8791	438	6003	368	7915	348	14014	448	16034	472	9058	387	9169	383	7345	359	8272	355	4987	396	3858	337		
56958	9197	407	8874	407	6003	368	7915	358	14167	467	16345	482	9083	387	9188	383	7355	369	8300	384	5007	386	3868	357		
58434	9227	407	8957	408	6033	357	7915	368	14330	497	16646	482	9093	397	9225	392	7385	358	8309	374	5017	376	3878	347		
59948	9266	397	9016	408	6033	357	7944	378	14541	457	16976	492	9110	416	9225	383	7405	358	8338	384	5027	386	3878	347		
61501	9286	397	9087	417	6063	347	7944	378	14724	474	17325	482	9136	406	9263	383	7425	368	8357	374	5037	386	3898	347		
63095	9315	417	9182	406	6094	357	7964	368	14925	453	17682	489	9179	397	9273	393	7445	358	8385	374	5056	386	3908	377		
64730	9374	397	9253	415	6084	388	8004	378	15105	472	18036	488	9188	406	9311	373	7465	368	8395	374	5056	376	3908	357		
66408	9413	397	9360	403	6134	357	8023	358	15332	471	18419	467	9188	426	9311	392	7504	368	8423	374	5076	376	3918	347		
68129	9453	397	9453	394	6155	347	8053	358	15588	451	18859	468	9223	397	9358	382	7524	368	8442	374	5066	386	3947	357		
69894	9492	417	9547	404	6155	388	8063	378	15824	480	19347	478	9232	406	9367	401	7544	387	8480	345	5076	386	3947	357		
71706	9541	397	9652	424	6175	368	8102	348	16098	470	19891	466	9267	377	9396	401	7583	358	8489	384	5086	386	3947	357		

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	: 02.12.1961
Doğum Yeri	: Bayburt
İlkokul	: Kùltür Kurumu İlkokulu, Erzurum, 1972.
Ortaokul	: Atatürk Ortaokulu, Erzurum, 1975.
Lise	: Erzurum Lisesi, Erzurum, 1978.
Lisans	: Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 1982.
Yüksek Lisans	: İstanbul Teknik Üniversitesi, 1984.

Yaptığı Görevler

- 1982 – 1984 : Akardaş İnşaat,
Kaldırınmoğlu İnşaat.
- 1984 – 1986 : Araştırma Görevlisi
Yıldız Teknik Üniversitesi.
- 1986 – 1987 : Bolton Higher Education, İngiltere.
- 1987 – 1989 : Ankara Üniversitesi,
Öğretim Görevlisi.
- 1989 – 1995 : Edirne Kınalı Otoyolu,
Kalite Kontrol Şefi.
- 1995 – : İsfalt A.Ş., Genel Müdür Yardımcısı.