

127152

**NUMUNE YÜKSEKLİĞİ VE SIKIŞTIRMA ENERJİSİNİN
MARSHALL STABİLİTESİ İLE DOLAYLI ÇEKME
MODÜLÜNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mehmet Tahir DENİZ
(501001557)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2002

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Abdullah Hilmi LAV

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Emine AĞAR

Prof.Dr. Mustafa ILICALI (Y.T.Ü.)

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımın her aşamasında değerli bilgilerinden yararlandığım ve yardımlarını aldığım tez danışmanım Doç. Dr. Abdullah Hilmi LAV'a,

Deneysel çalışmalarda imkanlarımı seferber eden İstanbul Büyükşehir Belediyesi İsfalt A.Ş. Genel Müdürü, Genel Müdür Yardımcısı, Kalite Kontrol Müdürü ve başta merkez laboratuvar personeli olmak üzere, tüm değerli çalışanlarına,

Tez hazırlama çalışmalarımda ve diğer konularda değerli tecrübelerinden istifade ettiğim hocalarıma,

Maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme,

En içten şükranlarımı sunarım.

Mehmet Tahir DENİZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. AGREGALAR	4
2.1. Yol İnşaatında Kullanılan Agregalar Çeşitleri	4
2.1.1. Doğal agregalar	4
2.1.1.1 Magmatik (püskürük) kayalar	5
2.1.1.2 Tortul kayalar	5
2.1.1.3 Metamorfik kayalar	6
2.1.2 Yapay agregalar	6
2.2. Bitümlü Karışımlar Yönünden Agregalar	6
2.2.1. Kaba agregalar	7
2.2.2. İnce agregalar	7
2.2.3. Mineral filler	7
2.3. Agregalara Uygulanan deneyler	8
2.3.1. Aşınma (Los Angeles) deneyi	8
2.3.2. Donmaya karşı dayanıklılık testi	8
2.3.3. Yassılık indeksi deneyi	9
2.3.4. Soyulma deneyi	9
2.3.5. Cilalanma deneyi	9
2.3.6. Özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyon) deneyi	10
2.3.7. Birim hacim ağırlık deneyi	10
2.3.8. Elek analizi	11
2.4. Agregaların Fiziksel Özellikleri	11
2.4.1. Stabilitate	11
2.4.2. Dayanıklılık (durabilite)	12
2.4.3. Yapışma (adezyon)	12

3. BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR	14
3.1. Asfalt	14
3.1.1. Asfalt çimentosu (AC)	15
3.1.2. Okside asfaltlar	15
3.1.3. Sıvı petrol asfaltları (katbek asfaltlar)	16
3.1.4. Asfalt emülsiyonları	16
3.2. Katran	18
3.3. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler	18
3.4. Asfalt Çimentosu (AC) Üzerine Uygulanan Bazı Deneyler	21
4. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR	22
4.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Uygulama Alanları	22
4.1.1. Bitümlü Temel Tabakası	22
4.1.2. Binder Tabakası	22
4.1.3. Aşınma Tabakası	23
4.2. Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri	23
4.2.1. Stabilite	23
4.2.2. Durabilite (Dayanıklılık)	24
4.2.3. Rijitlik	25
4.2.4. Esneklik (Fleksibilite)	28
4.2.5. Yorulma mukavemeti	28
4.2.6. Geçirimsizlik	29
4.2.7. Kayma direnci	29
4.2.8. İşlenebilirlik	30
4.3. Bitümlü Sıcak Karışımların Dizaynı	31
4.3.1. Hubbard - Field metodu	31
4.3.2. Hveem metodu	31
4.3.3. Marshall metodu	32
4.3.3.1 Asfalt enstitüsü metodu	32
4.3.3.2 Yüzey alanı metodu	33
4.3.3.3 Fransız metodu	33
4.3.3.4 TEM metodu	34
5. YOL ÜSTYAPILARI	39
5.1. Karayolu Üstyapıları	39
5.1.1. Rijit üstyapılar	39
5.1.2. Yarı rijit üstyapılar	40
5.1.3. Esnek üstyapılar	40
5.1.3.1 Yüzeysel kaplamalar (sathi kaplamalar)	40
5.1.3.2 Karışım tipi esnek kaplamalar	41

6. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	44
6.1. Agrega	44
6.1.1. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri	49
6.2. Asfalt Çimentosu AC 60-70	58
6.3. Traslı Çimento (TÇ 32,5)	59
7. NUMUNE HAZIRLAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	61
7.1. Deney Malzemeleri İle Deney Gereçlerinin Temini	61
7.1.1. Agrega temini	61
7.1.2. Bağlayıcı temini	61
7.1.3. Filler temini	61
7.1.4 Özel kalıp temini	61
7.2. Numunelerin Üretilmesi	63
7.2.1. Agreganın elenmesi	63
7.2.2. Malzemenin yıkanması ve kurutulması	63
7.2.3. Agrega tartımları	63
7.2.4 Karışımın hazırlanması	63
7.2.5. Numunelerin sıkıştırılması	64
7.2.6. Numunelerin kalıptan çıkarılması ve kodlanması	64
7.3. Deneysel Uygulamalar	68
7.3.1. Dolaylı (İndirekt) çekme testleri	68
7.3.1.1 Dolaylı çekme deneyi	69
7.3.1.2 Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi	72
7.3.1.3 Deney sonuçlarının değerlendirilmesi	72
7.3.2. Marshall stabilite testleri	85
7.3.2.1 Karışımın hazırlanması ve sıkıştırılması	85
7.3.2.2 Numunelerin test edilmesi	86
7.3.2.3 Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi	87
7.3.3 Deneyin yapılışı	87
7.3.4 Deney sonuçlarının değerlendirilmesi	88
7.4. Genel Değerlendirme	96
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	121
KAYNAKLAR	124
EKLER	126
ÖZGEÇMİŞ	153

KISALTMALAR

AC	: Asfalt Çimentosu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
LVDT	: Lineer Variable Differential Transduser
TÇ	: Tralı Çimento
RC	: Çabuk Kür Olan Sıvı Petrol Asfaltları
MC	: Orta Hızda Kür Olan Sıvı Petrol Asfaltları
SC	: Yavaş Kür Olan Sıvı Petrol Asfaltları
RS	: Çabuk Kesilen Anyonik Asfalt Emülsiyonları
MS	: Orta Hızda Kesilen Anyonik Asfalt Emülsiyonları
SS	: Yavaş Kesilen Anyonik Asfalt Emülsiyonları
CRS	: Çabuk Kesilen Katyonik Asfalt Emülsiyonları
CMS	: Orta Hızda Kesilen Katyonik Asfalt Emülsiyonları
CSS	: Yavaş Kesilen Katyonik Asfalt Emülsiyonları
RT	: Yol Katranı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1	Sıvı petrol asfaltları.....	16
Tablo 3.2	Asfalt emülsiyonları	17
Tablo 3.3	Yol malzemesi olarak bitüm sınıflandırması	19
Tablo 4.1	Hveem izafi stabilite limitleri	32
Tablo 4.2	Marshall dizayn kriterleri	37
Tablo 4.3	Minimum VMA değeri	38
Tablo 6.1	Aşınma tabakası tip2 gradasyonu ve optimum bitüm yüzdesi	45
Tablo 6.2	Aşınma tabakası tip4 gradasyonu ve optimum bitüm yüzdesi	47
Tablo 6.3	Binder tabakası tip3 gradasyonu ve optimum bitüm yüzdesi.....	49
Tablo 6.4	Aşınma tabakası tip2 kaba agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu	51
Tablo 6.5	Aşınma tabakası tip2 ince agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu	52
Tablo 6.6	Aşınma tabakası tip4 kaba agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu	53
Tablo 6.7	Aşınma tabakası tip4 ince agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu	54
Tablo 6.8	Binder tabakası tip3 kaba agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu	55
Tablo 6.9	Binder tabakası tip3 ince agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu	56
Tablo 6.10	1No'lu agrega yassılık indeksi tayini	57
Tablo 6.11	2No'lu agrega yassılık indeksi tayini	58
Tablo 6.12	Asfalt çimentosu AC 60-70 özellikleri	59
Tablo 7.1	Standart ve yüksek numune kalıp ebatları	62
Tablo 7.2	Aşınma tabakası tip2 standart ve yüksek numune özellikleri	65
Tablo 7.3	Aşınma tabakası tip4 standart ve yüksek numune özellikleri	66
Tablo 7.4	Binder tabakası tip3 standart ve yüksek numune özellikleri	67
Tablo 7.5	Dolaylı çekme deneyi test değişkenleri	71
Tablo 7.6	Aşınma tabakası tip2 yüksek numune dolaylı çekme deneyi	73
Tablo 7.7	Aşınma tabakası tip4 yüksek numune dolaylı çekme deneyi sonuçları	75
Tablo 7.8	Binder tabakası tip3 yüksek numune dolaylı çekme deneyi sonuçları	77
Tablo 7.9	Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune dolaylı çekme deneyi sonuçları	79
Tablo 7.10	Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune dolaylı çekme deneyi sonuçları	81

Tablo 7.11	Binder tabakası tip3 bölünmüş numune dolaylı çekme deneyi sonuçları	83
Tablo 7.12	Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune stabilite deneyi sonuçları	88
Tablo 7.13	Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune stabilite deneyi sonuçları	90
Tablo 7.14	Binder tabakası tip3 bölünmüş numune stabilite deneyi sonuçları	92
Tablo 7.15	Binder tabakası tip3 yüksek numune stabilite deneyi sonuçları	94
Tablo A.1	Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune Marshall değerleri	127
Tablo A.2	Aşınma tabakası tip2 standart numune Marshall değerleri	129
Tablo A.3	Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune Marshall değerleri	130
Tablo A.4	Aşınma tabakası tip4 standart numune Marshall değerleri	132
Tablo A.5	Binder tabakası tip3 yüksek ve bölünmüş numune Marshall değerleri	133
Tablo A.6	Binder tabakası tip3 standart numune Marshall değerleri	134
Tablo B.1	Aşınma tabakası tip2 yüksek numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	136
Tablo B.2	Aşınma tabakası tip2 standart numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	137
Tablo B.3	Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	138
Tablo B.4	Aşınma tabakası tip4 yüksek numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	140
Tablo B.5	Aşınma tabakası tip2 standart numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	141
Tablo B.6	Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	142
Tablo B.7	Binder tabakası tip3 yüksek numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	144
Tablo B.8	Binder tabakası tip3 standart numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	145
Tablo B.9	Binder tabakası tip3 bölünmüş numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri	146
Tablo C.1	Marshall stabilite düzeltme katsayıları	146

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1	: Marshall dizaynı grafikleri ve optimum a/c'nin tayini	36
Şekil 6.1	: Aşınma tabakası tip2 gradasyonu ve şartname sınırları	46
Şekil 6.2	: Aşınma tabakası tip4 gradasyonu ve şartname sınırları	48
Şekil 6.3	: Binder tabakası tip3 gradasyonu ve şartname sınırları	50
Şekil 7.1	: Marshall standart ve yüksek numune kalıpları	62
Şekil 7.2	: Dolaylı çekme testi	68
Şekil 7.3	: Dolaylı çekme testi numune yerleştirme mekanizması	70
Şekil 7.4	: Aşınma tabakası tip2 gradasyonu dolaylı çekme değerleri	74
Şekil 7.5	: Aşınma tabakası tip4 gradasyonu dolaylı çekme değerleri	76
Şekil 7.6	: Binder tabakası tip3 yüksek numune dolaylı çekme değerleri.....	78
Şekil 7.7	: Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune dolaylı çekme değerleri	80
Şekil 7.8	: Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune dolaylı çekme değerleri	82
Şekil 7.9	: Binder tabakası tip3 bölünmüş numune dolaylı çekme değerleri	84
Şekil 7.10	: Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune stabilite değerleri	89
Şekil 7.11	: Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune stabilite değerleri	91
Şekil 7.12	: Binder tabakası tip3 bölünmüş numune stabilite değerleri	93
Şekil 7.13	: Binder tabakası tip3 yüksek numune stabilite değerleri	95
Şekil 7.14	: Dolaylı çekme testi ön bilgi ekranı	97
Şekil 7.15	: Dolaylı çekme testi LVDT ayarlama ekranı	97
Şekil 7.16	: Bölünmüş ve standart numune stabilite değerleri	98
Şekil 7.17	: Yüksek numune elastisite modülü değerleri	99
Şekil 7.18	: Yüksek numune deformasyon değerleri	100
Şekil 7.19	: Yüksek ve bölünmüş numune elastisite modülü değerleri	101
Şekil 7.20	: Yüksek ve bölünmüş numune deformasyon değerleri	102
Şekil 7.21	: Bölünmüş numunelerin stabilite değerleri	103
Şekil 7.22	: Bölünmüş numunelerin akma değerleri	104
Şekil 7.23	: Bölünmüş numune elastisite modülü değerleri	105
Şekil 7.24	: Bölünmüş numune deformasyon değerleri	106
Şekil 7.25	: Yüksek, standart ve bölünmüş numune elastisite modülü değerleri	107
Şekil 7.26	: Yüksek, standart ve bölünmüş numune deformasyon değerleri ..	108
Şekil 7.27	: Aşınma tabakası tip2 elastisite modülü değerleri (50-95 darbe)	109
Şekil 7.28	: Aşınma tabakası tip2 elas. deformasyon değerleri (50-95 darbe)	110
Şekil 7.29	: Aşınma tabakası tip4 elastisite modülü değerleri (50-95 darbe)	111
Şekil 7.30	: Aşınma tabakası tip4 elas. deformasyon değerleri (50-95 darbe)	112
Şekil 7.31	: Binder tabakası tip3 elastisite modülü değerleri (50-95 darbe)	113
Şekil 7.32	: Binder tabakası tip3 elas. deformasyon değerleri (50-95 darbe)	114
Şekil 7.33	: Aşınma tabakası tip2 Marshall stabilite değerleri (50-95 darbe)	115

Şekil 7.34	: Aşınma tabakası tip2 akma değerleri (50-95 darbe)	116
Şekil 7.35	: Aşınma tabakası tip4 Marshall stabilite değerleri (50-95 darbe)	117
Şekil 7.36	: Aşınma tabakası tip4 akma değerleri (50-95 darbe)	118
Şekil 7.37	: Binder tabakası tip3 akma değerleri (50-95 darbe)	119
Şekil 7.38	: Binder tabakası tip3 Marshall stabilite değerleri (50-95 darbe)	120
Şekil C.1	: Dolaylı çekme testi bilgisayar çıktı örnekleri	151
Şekil C.2	: Dolaylı çekme testi bilgisayar çıktı örnekleri	152



SEMBOL LİSTESİ

A	: Kesit alanı
a	: Kaba agrega yüzdesi
B	: Taşıma kapasitesi
b	: İnce agrega yüzdesi
C_v	: Agrega hacimsel yoğunluğu
c	: Filler yüzdesi
D_p	: Bitümlü sıcak karışım pratik yoğunluğu
E	: Elastisite modülü
F	: Akma
h	: Numune yüksekliği
K	: Asfalt içeriği indeksi
P, S	: Marshall stabilitesi
S_{bit}	: Asfalt rijitliği
λ	: Tekil yük
Q_o	: Zemin akma gerilmesi
Q_T	: Plağı etkileyen bileşke yayılı yük
S_{bit}	: Asfalt rijitliği
SG_{agr}	: Agrega karışımı özgül ağırlığı
S_{mix}	: Karışım rijitliği
S_N	: Rijitlik modülü
V_f	: Bitümlü sıcak karışım hava boşluğunun asfaltla doluluk yüzdesi
VMA	: Agrega boşluk hacmi
σ_B	: Serbest basınç mukavemeti
α	: Düzeltme faktörü
Δh	: Geri dönen deformasyon
μ	: Poisson oranı

NUMUNE YÜKSEKLİĞİNİN VE SIKIŞTIRMA ENERJİSİNİN MARSHALL STABİLİTESİ İLE DOLAYLI ÇEKME MODÜLÜNE ETKİSİ

ÖZET

Gerek dünyada gerekse ülkemizde yol üstyapısı kaplamalarında temel amaç uzun ömürlü ve ekonomik bir kaplama tasarımı yapmak ve bunu uygulanabilir hale getirmektir. Bu amaçla bitümlü sıcak karışımlar için değişik projelendirme yöntemleri ve tasarım metotları geliştirilmiştir.

Ülkemizde en yaygın şekilde kullanılan tasarım yöntemi ise Marshall metodudur. Marshall metodunda agreganın maksimum dane boyutu, gradasyonu, ve absorpsiyonu göz önüne alınarak optimum bitüm yüzdesi tespit edilir. Optimum bitüm yüzdesi tespiti için, bitümlü sıcak karışımlardan standart ebatlı numuneler (briket) üretilir ve Marshall stabilite aletinde yük uygulanarak kırılırlar.

Bu çalışmada standart numune ebatları değiştirilerek, farklı kaplama tabakaları (Aşınma ve Binder tabakaları) ve bunların farklı tipleri (Aşınma tabakası tip2, tip4 ve Binder tabakası tip3 gradasyonları) için “yüksek numuneler” üretildi. Bu numunelerin üretiminde İstanbul Büyükşehir Belediyesi İsfalt A.Ş. merkez laboratuvarlarında Mahmutbey Asfalt Plenti için geliştirilmiş olan tasarımlar esas alındı.

Farklı sıkıştırma enerjisi (50-95 darbe) uygulanarak 3'lü gruplar halinde üretilen numunelere yükseklikleri, hacimleri ve özgül ağırlıkları tespit edildikten sonra dolaylı çekme deneyi uygulandı. Dolaylı çekme deneyinden sonra yüksek numuneler ortadan ikiye bölünerek “bölünmüş numuneler” elde edildi. Bölünmüş numuneler de dolaylı çekme testine tabi tutulduktan sonra Marshall stabilitesi testi ile kırıldı.

Test sonuçlarını karşılaştırmak ve iyi bir değerlendirme yapabilmek için aynı tip karışım gradasyonlarından üretilen standart numuneler (kontrol grubu) de dolaylı çekme deneyine tabi tutularak Marshall stabilite testi ile kırıldı.

Deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirildi ve grafiklere (yüksek, bölünmüş ve standart numune sonuçları şeklinde) yansıtılarak sunuldu. Üstyapı kaplama tabakalarının farklı tip gradasyonları için değişik sıkıştırma enerjileri uygulanarak üretilecek daha az sayıdaki yüksek numuneyle tasarımların yapılabileceğine yönelik veriler elde edildi.

EFFECT OF SAMPLE LENGHT AND ENERGY APPLIED ON INDIRECT TENSILE MODULUS AND MARSHALL STABILITY

ABSTRACT

The main aim of the pavement design in the world and in our country is to construct a long life and an economic layer design and to make it an applicable coating. In this manner various methods has been improved for projections and for designing of hot mix design.

The most useful and applicable design method in our country is Marshall method. The optimum bitumen amount is determined by Marshall design method in according to maximum aggregate size, gradation, absorption and other properties. Standard sized Marshall Specimens were prepared and broken in the Marshall testing machine to determine the optimum asphalt content.

In this study, standard specimens sizes were changed and “long specimens” prepared for using different gradations suitable for binder and wearing coarse (wearing coarse type2 and type4, binder coat type3). The grading choosen were prepared for Mahmutbey Asphalt Plent in Istanbul Municipality Isfalt A.Ş. developed by İsfalt A.Ş. central laboratory.

After determination of their length, volume and specific gravity, the indirect tensile modulus test were applied to the specimens prepared with different compaction energy (50 to 95 blows). The long specimens were split into two equal parts and named as “half specimens”. Those “half specimens” were tested by Marshall apparatus after determining indirect tensile modulus test.

A group of standard specimens were prepared from the same type of gradations to make a comparative analises of the test results and those specimens broken down after applying of indirect tensile modulus test.

The testing results were analised and presented in grapic dispaly (as long specimen, standard specimen and half specimen samples) comparatively. A general trend of making Marshall design was observed when less amount of long specimens are used for various pavement layers with different compacted energy.

1. GİRİŞ

Ulaşım talebinin hızla artması ve bu talebin büyük ölçüde karayolu üzerinden gerçekleşmekte olması yol tasarımında, yol üstyapısı malzemelerinin ve bitümlü karışımlarda kalitenin önemini arttırmaktadır. İyi bir yol üstyapısının ömrü üstyapıda kullanılan malzeme ve yapım kalitesinin yanı sıra, serilecek tabaka kalınlıklarıyla da doğrudan ilgilidir. Ülkemizde yol üstyapısı projelendirmeleri için AASHTO-72 (American Association of State Highway and Transportation Officials – Amerikan Devlet Karayolları Ulaşım Görevlileri Birliği) üstyapı tasarım metodu kullanılmaktadır. AASHTO-72 temel olarak matematiksel bir modelin deneme yolundan alınan sonuçlara göre elde edilen katsayıların kullanılması esasına dayanır.

Yol üstyapısı projelendirilmesinde temel amaç, trafik yükleri ve diğer dış etkilere karşı yolun hizmet ömrü süresince dayanabileceği en uygun üstyapı ile en uygun tabaka kalınlıklarını ve en uygun malzeme kullanımını saptamaktır. Esnek üstyapılar taban zemini üzerine serilmiş granüler veya stabilize alttemel ve temel tabakaları üzerine bitümlü tabakaların serilmesi ile inşa edilir.

Alttemel, temel tabakasını taşımak üzere taban zemini üzerine yerleştirilen granüler malzemeden oluşmuş bir üstyapı tabakasıdır. Temel, kaplama tabakasından gelen gerilmeleri alt tabakalara yaymak, don etkisini azaltmak ve drenaja yardımcı olabilmek amacıyla alttemel veya taban zemini üzerine belirli kalınlıkta inşa edilen üstyapı tabakasıdır. Kaplama tabakası ise trafik etkilerine ve iklim koşullarına direnç gösterebilecek şekilde inşa edilen en üst tabakadır. Bu tabaka kendi içinde Bitümlü Temel, Binder ve Aşınma olmak üzere üç farklı kısımdan oluşabilir.

Kaplama tabakalarında kullanılan bitümlü karışımların tasarımı, ülkemizde en yaygın kullanılan Marshall metodu ile yapılmaktadır. Bu metot, Marshall kompaktörü yardımıyla bitümlü karışımlardan hazırlanan silindirik numunelerin yanal yüzeylerine deformasyon kontrollü yükleme yapılarak, plastik akmaya karşı direncin ölçümünü kapsar.

Bu tezdeki deneysel çalışmada, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) standartlarına uygun olarak binder tabakası agrega gradasyonu için tip3 ve aşınma tabakası agrega gradasyonları için de tip2 ve tip4 esas alınarak Marshall numuneleri hazırlanmış, bu numunelerin Marshall stabilitesi ve dolaylı çekme modüllerinin numune yüksekliğiyle ilişkisi irdelendi.

Bu nedenle, 63,5 mm ($\pm 1,3$ mm) yüksekliğindeki standart Marshall numunesi kullanmak yerine, ortalama yükseklikleri 80,13 mm ile 85,65 mm arasında değişen “standart dışı” özel numuneler üretildi. Söz konusu yüksek Marshall numunelerini hazırlamak için amaca uygun sıkıştırma kalıpları ve kalıp üst yakaları özel olarak yaptırıldı.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak numuneler, her bir tabaka tipi (aşınma tip2, tip4 ve binder tip3) için 3'er adet olmak üzere, otomatik Marshall kompaktörü kullanılarak hazırlandı. Numunelerin her bir yüzüne uygulanan darbe sayısı, her bir 3'lü grup için 50 ile başlatılarak ve her kademede 5'er adet arttırılarak 95'e kadar çıkartıldı (her gradasyon için toplam 30 adet numune üretildi). Böylelikle, çalışmada kullanılan üç değişik tip gradasyon için üretilen toplam numune sayısı 90 adettir.

Standart dışı yüksek numunelerle kıyaslama yapabilmek için, her bir gradasyondan standart boyut ve darbe sayısı ile 3'er adet numune üretildi. Bu standart yükseklikte hazırlanan numunelere de “kontrol grubu” adı verildi. Böylece toplam olarak 99 adet (90 adet yüksek ve farklı darbe uygulanan, 9 adet standart boyut ve standart enerji uygulamalı) numune üretilmiş oldu.

Çalışma, daha net ve kıyaslanabilir olması için İstanbul'da halen kullanılmakta olan bir bitümlü sıcak karışım uygulamasına paralel olarak yürütüldü. Bunun sonucu olarak, agra gradasyonları ve diğer tasarım değerleri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İsfalt A.Ş. (İstanbul Asfalt Fabrikaları San. ve Tic. A.Ş.) merkez laboratuvarlarında, Mahmutbey Asfalt Plenti için tasarlanmış ve halen uygulanmakta olan bitümlü sıcak karışım tasarımının aynısıdır.

Üretilen numunelerin tümü kodlanarak, ölçüleri ve test öncesi belirlenmesi gereken diğer özellikleri kaydedildikten sonra, dolaylı çekme testine tabi tutuldu. Dolaylı çekme testi her tip gradasyon için hem yüksek numunelere, hem de kontrol grubuna uygulanarak, sonuçlar bölümünde değerlendirilmek üzere kaydedildi.

Yüksek numuneler daha sonra hassas mermer kesme cihazlarıyla ortadan ikiye bölünerek, yeniden kodlandı. Ortalama yükseklikleri ve diğer özellikleri kaydedilerek testlere hazır hale getirilen bu numuneler “bölünmüş numuneler” olarak adlandırıldı. Kesilerek hazırlanan bu numunelere de dolaylı çekme testi uygulanarak, sonuçları kaydedildi. Dolaylı çekme testi tamamlandıktan sonra, bölünmüş numuneler, Marshall deneyine tabi tutularak stabilite ölçüldü. Sadece binder tabakası tip3 numunelerinin her bir grubundaki 3 adet numunenin 1 tanesi kesilmeden Marshall testine tabi tutuldu.

Aynı çalışma, 3'er adet standart boyutta üretilen (kontrol grubu) Marshall numuneleri üzerinde de tekrarlandı. Kontrol grubu numuneleri de dolaylı çekme testi uygulandıktan sonra, Marshall testine tabi tutuldu.

Sonuç olarak, bu çalışmanın temel amacı, laboratuvar ortamında oldukça zahmetli olan numune hazırlama işlemini kolaylaştırmak (yüksek numuneleri ikiye bölmek suretiyle toplam numune sayısını iki katına çıkarmak) ve sıkıştırma enerjisi değişiminin Marshall stabilitesi ile dolaylı çekme modülü üzerindeki etkisini incelemektir.

2. AGREGALAR

Yol üstyapısında kullanılan ana malzeme agregadır. Kum, kırılmış çakıl, kırılmış taş, cüruf, taş tozu gibi kaplama yapımında kullanılan sert ve sağlam malzeme mineral agregası olarak adlandırılır. Mineral agreganın asıl görevi, üstyapının yük taşıma kapasitesini sağlamaktır [1,4] .

Üretilen sıcak karışımların yaklaşık %95'ini agregaların oluşturduğu göz önüne alındığında, agreganın ne kadar büyük önem taşıdığı belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Agregası üstyapıda yola etki eden yüklerin oluşturduğu gerilmelere karşı önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle yol projelendirmelerinde agregası tiplerinin karakteristiklerinin bilinmesi çok önemlidir. Agregada dikkat edilmesi gereken temel özellikler dane şekilleri, sertlik, zararlı madde içermeme ve dayanıklılıktır.

2.1 Yol İnşaatında Kullanılan Agregası Çeşitleri

Agregalar yol inşaatının kaplama karışımlarını oluşturan iki malzemeden biri ve hem ağırlıkça hem de hacimsel olarak en büyüğüdür. Yol üstyapılarında kullanılan gregalar, orijinlerine göre doğal agregalar ve yapay agregalar olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.1 Doğal Agregalar

Doğal agregalar doğal olarak oluşmuş kayalardan fiziksel yolla doğrudan elde edilen agregalardır. Kayalar değişik yapılarda bir araya gelmiş olan mineral tane ve kristallerden oluşur. Kayaların özellikleri mineraller, mineraller arasındaki bağ cinsi ve doku gibi kaya orijinine dayalı olan özelliklere bağlıdır. Doğal agregalar karayolu üstyapısında değişik kaya türlerinin ya doğal etkilerle parçalanması ve sürüklenmesi sonucu oluşan çakıl ve kum ya da dere, teras ve taş ocaklarından çıkartılarak konkasörlerde istenilen boyutlara küçültülebilen kırma taş şeklinde kullanılır.

Çakıl doğal kayaların parçalanmasından sonra akarsular tarafından taşınarak yığın hale getirilen kaba malzemedir. Çakılın en önemli özelliği, kaya türü göz önüne alınmadan, düzgün satırlı ve yuvarlakça irili ufaklı parçalardan oluşmuş olmasıdır.

Kum ise kayaların parçalanıp ayrışmasından sonra defalarca aşınma-birikme işleminden geçmiş olan kalıntılardır. Kumun dane boyutu 2mm'den başlayarak toz inceliğine kadar gitmektedir.

Doğal kayalar da magmatik (püskürük), tortul ve metamorfik kayalar olmak üzere üç gruba ayrılır.

2.1.1.1 Magmatik (Püskürük) Kayalar

Püskürük kayalar olarak ta bilinen magmatik kayalar, yeryüzünün derinliklerinden yüzeye fişkırmış olan magmanın soğuyup, kristalleşmesi sonucu oluşan kayalardır. Magma, yer kabuğunun derinliklerinde bulunan çok sıcak, viskoz ve karmaşık bileşimli doğal eriyiktir.

Magmatik kayalar, yeryüzü kabuğunu oluşturan bütün kaya kitlesinin kaynağı olarak kabul edilir.

Orta büyüklükteki dokuya sahip magmatik kayalar, kristallerin iç içe karışması nedeniyle en iyi yol agregası olabilme özelliğine sahiptir.

2.1.1.2 Tortul Kayalar

Tortul kayalar, değişik kayaların parçalanması, aşınması ve dağılan parçaların katı ya da eriyik halde rüzgar veya su gibi etkilerle sürüklenmesi, deniz ya da göl dibi gibi sedimentasyon havzalarında tortullaşması ve daha sonra bunların katılaşmasıyla oluşan taşlardır. Tortul kayaların başlıca özelliği, tabakalı olmaları ve içlerinde fosil ve canlıların izlerinin bulunabilmesidir.

Tortul kayalar da oluşum tarzlarına göre Klasik Tortul kayalar, Kimyasal Tortul Kayalar ve Organik Tortul kayalar gibi değişik isimler alırlar.

2.1.1.3 Metamorfik Kayalar

Metamorfik kayalar, magmatik ya da tortul kayaların yüksek ısı, yüksek basınç, su buharı etkisi ya da mekanik olarak şekil değiştirmesiyle değişik bileşimler kazanması sonucunda oluşan kayalardır.

Metamorfik kayalar esas olarak kristal bünyeli kayalar olup, magmatik kayalar gibi bunların da dane boyutları inceden iriye doğru (Şist-Granülit vb.) değişir.

2.1.2 Yapay Agregalar

Yapay agregalar, endüstriyel işlemler sonucu elde edilen agregalardır. İşlem görmüş agregalar, kırılmış ve elenmiş doğal çakıl veya taşları kapsar. Kırma işlemi, danelerin yüzey yapısını değiştirir, yuvarlak şekilli taneleri köşeli hale getirir ve dane boyutu dağılımını iyileştirerek malzemenin kalitesini artırır. Klinker, cüruf ve çimento yapay agrega grubuna giren maddelerdendir.

Cüruf, demir-çelik endüstrisinde artık madde olarak yüksek fırınlardan elde edilen bir agrega çeşididir. Yüksek fırın cürufu olarak yol üstyapısının çeşitli tabakalarında kullanılabilir.

Klinker, fırınların bir artığı olup, küllerin eriyerek topaklar haline gelmesinden oluşur. Şartnamelere uygun hazırlanmış klinker de yol üstyapısı malzemesi olarak kullanılabilir.

Çimento üstyapıda agrega bileşiminde yalnızca filler olarak görev görür. Çimentoların filler olarak kullanılmalarının nedeni ise bağlayıcı özelliklerinden yararlanmak değil, standart gronülometrik bileşimlerinin ve bitümlü bağlayıcılarla uyum içinde olmalarından ötürüdür.

2.2 Bitümlü Karışımlar Yönünden Agrega

Bitümlü kaplamalarda kullanılan agreganın kökeni ve yapısı ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen özellikleri sağlaması gerekir. Bitümlü karışımlar açısından agregalar kaba agrega, ince agrega ve mineral filler olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Bu üç grup malzemenin her biri bitümlü karışımın ayrı ayrı karışım özelliklerini kontrol eder. Bitümlü karışımındaki iri agregaya yüzdesi % 40-50'ye çıkarılırsa iki agregaya karışımın mekanik direncini arttıran bir iskelet oluşturur. İnce agregaya ise iri agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak daha yoğun bir karışımın elde edilmesini sağlar [14,16] .

Mineral filler toplam agreganın çok küçük bir yüzdesini oluşturmaya karşın karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar.

2.2.1 Kaba Agregaya

Agrega karışımlarının No. 4 (4,76 mm.) elek üzerinde kalan kısmına kaba agregaya adı verilir. Bitümlü karışımında oluşturduğu iskelet için ihtiyaç duyulan iri agregaya oranı, kullanılacak agreganın dane şekli ve dokusu ile doğrudan ilgilidir. Beton asfalt kaplamalarda %55 oranında iri agregaya içeren karışımların, %25 oranında iri agregaya içeren karışımlardan daha az deformasyona tespit edilmiştir.

2.2.2 İnce Agregaya

Agrega karışımlarının No. 4 (4,76 mm.) ile No. 200 (0,074mm.) elekler arasında kalan kısmına ince agregaya denir. İnce agreganın yüzey dokusu, karışımlarda maruz kalınan deformasyona karşı gösterdiği direnç açısından büyük önem arz etmektedir.

2.2.3 Mineral Filler

No. 200 (0,074mm.) elekten geçen agregaya mineral filler adı verilir. Taş tozu, kireç tozu ya da çimento filler olarak kullanılabilir. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalı ve bitümlü bağlayıcıyla herhangi bir reaksiyona girmemelidir. Çimento, standart granülometrik bileşime sahip olduğu ve asfalt çimentosu ile herhangi bir reaksiyona girmediği için filler olarak, kullanılmaya çok uygundur [1,16].

Mineral fillerde tanelerin şekli de önemlidir. 0,074 mm'den daha ince olan bütün malzemeler filler görevini görmezler. Yassı, düz ve uzun tanelerin yüzdesinin artması fillerin özelliğini düşürür. Mineral filler kil, toprak, organik ve diğer zararlı maddeler kapsamamalıdır.

2.3 Agregalara Uygulanan Deneyler

Agregaların yol inşaatında kullanılabilmesi için özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Agregalı malzemesi genel olarak bitümlü kaplamanın ağırlıkça %88 – 96'sını, hacimce ise %75'ten fazlasını oluşturur. Dolayısıyla bu malzemenin kalite kontrol deneyleri ile denenmesi ve uygun özellikte olanların kabul edilmesi çok önemlidir. Bu amaçla agrega malzemesine aşağıdaki deneyler uygulanır.

2.3.1 Aşınma (Los Angeles) Deneyi

(ASTM C131-55; AASHTO T-96)

Aşınma deneyi agregaların aşınma direncinin belirlenmesi için yapılır. Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agregalar kompaksiyon sırasında ve trafik yükleri altında kırılmaya ve aşınmaya maruz kalırlar. Agregaların bu etkilere karşı direnç göstermesi gerekir.

Bu deney Los Angeles makinasıyla yapılır. Alet iki ucu kapalı iç çapı 71 cm ve iç uzunluğu 51 cm olan içi boş çelik bir silindir cihazdır. Aşındırma yükleri ise 4,68 cm çapında dökme demir ya da çelik kürelerden oluşur.

Şartnamelerde belirtilen biçimde hazırlanan deney numunesi ve aşındırma yükleri Los Angeles aşındırma makinasına konur ve makinanın ağzı sıkıca kapatılır. Makine dakikada 30-33 devir hızla döndürülerek, numune miktarına göre 500 veya 1000 devir yaptırılır. Daha sonra numune makinadan çıkartılarak elenir ve yıkanarak kurutulur. Tartılan numunenin ilk ağırlığı cinsinden bulunan yüzde, malzemenin aşınma kaybı olarak kaydedilir.

2.3.2 Donmaya Karşı Dayanıklılık Deneyi

(ASTM C88; AASHTO T-104)

Agregaların donmaya karşı dayanıklılıklarını, donma-çözülme etkisiyle ufalanmaya karşı dirençlerini ölçmek amacıyla yapılır. Deneyde doymuş sodyum sülfat ya da magnezyum sülfat çözeltisi kullanılır. Elenmiş ve kurutulmuş agrega çözeltiye daldırılarak, çözelti içinde kalan ufalanmış agrega miktarı ölçülerek donmaya karşı dayanıklılık tespit edilir.

2.3.3 Yassılık İndeksi Deneyi

(BS 812)

Bir agrega numunesinin yassılık indeksi, yassı danelerin denenen numunelerin ağırlığına oranı olarak ifade edilir. Yassılık indeksi deneyi 2 1/2 in. (63,5 mm) elek üzerinde kalan agrega ile 1/4 in. (6,35 mm) elekten geçen agregaya uygulanmaz. Yassı agrega danelerinin en küçük boyutunun anma boyutuna oranının 0,6'dan küçük olması şeklinde tanımlanır.

Anma boyutu, iki elek arasında kalan dane için bu iki elek boyutunun aritmetik ortalamasıdır.

2.3.4 Soyulma Deneyi

(Nicholson Yöntemi)

Soyulma, suyun ve trafiğin bir arada etki etmesiyle bağlayıcı madde bitümün agrega üzerinden ayrılması demektir. Üstyapı kaplamalarının ömrü geniş ölçüde agreganın suyun etkisine karşı yapışma kabiliyetine bağlıdır.

Kırılmış agrega numunesinin 9,5 - 4,75mm ya da 4,75 - 3,35mm'lik elekler arasında kalan kısmından yaklaşık 200gr alınarak deneye başlanır. Tekrarlı işlemler neticesinde yandan verilen bir ışık altında karışımın özellikle üst yüzü gözlenir.

Deney sonunda soyulmuş yüzeyin bütün yüzeye oranı, soyulmaya karşı dayanıklılık olarak tespit edilir.

2.3.5 Cilalanma Deneyi

(BS-812)

Cilalanma deneyi, kaplama tabakalarında kullanılacak agreganın trafiğin aşındırma etkisiyle oluşacak cilalanmaya karşı direncini tespit etmek amacıyla yapılır. Agreganın cilalanma değeri ile kaymaya karşı olan direnci arasındaki ilişki, trafik koşulları, kaplamanın tipi gibi faktörlere bağlı olarak değişir.

Cilalanma deneyi hızlandırılmış cilalanma makinası ile yapılır. Hızlandırılmış cilalanma makinası, 14 adet numunenin yerleştirilebileceği, dakikada 315 - 325 devir hızla dönen 40,6 cm çapında demir tekerlek ile numunelerin üzerinde dönen 20,3 cm çapında, 5 cm genişliğinde, 3,16 kg/cm² basınçla şişirilmiş ve numunelerin yerleştiği demir tekerleğe 40kg'lık yük uygulanan bir lastik tekerlektir.

Şartnamelere uygun olarak hazırlanan 14 adet numune, belirli bir kür uygulandıktan sonra üzerlerine istenen hızda zımpara tozu ve su akıtılarak hızlandırılmış cilalanma makinasında 6 saat süreyle cilalanmaya uğrattılır. Her numunenin deney sonucunda eriştiği cilalanma değeri, kayma direncini ölçme cihazının ıslatılmış lastik pabucuyla ıslatılmış numune yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı göstergeden okunarak kaydedilir. Numune ortalamaları cilalanma katsayısı olarak belirlenir.

2.3.6 Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorbsiyon)Deneyi

(ASTM C127-59; TS 3526)

Özgül ağırlık ve su emme deneyi, bitümlü karışımındaki boşluk yüzdesini hesaplamak ve agreganın hacim-ağırlık ilişkilerini saptamak amacıyla yapılır. Özgül ağırlık belirli hacimdeki numune ağırlığının aynı hacimdeki + 4 °C'deki suyun ağırlığına oranıdır. Özgül ağırlık deneyleri kaba ve ince agregalar için ayrı ayrı yapılır.

Deney iki numune üzerinde uygulanır ve iki deneyin ortalaması sonuç değeri olarak alınır. Her bir agrega grubu için deney sonuçları arasındaki fark 0,02 ya da daha küçük olmalıdır.

2.3.7 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

(TS 3529)

Birim hacim ağırlık deneyi agregaların sıkışık ya da gevşek birim ağırlıklarını belirleyebilmek amacıyla yapılır. Deneyde kullanılacak ölçü kabı boyutları ile numune miktarı agreganın maksimum dane boyutuna göre değişiklik göstermektedir. Birim hacim ağırlık deneyi, hacmi bilinen ve şekli kolayca deforme olmayan herhangi bir kapta da yapılabilir.

Deney en az iki kez tekrarlanır ve sonuç olarak deney ortalaması alınır. Her iki deney sonucu arasındaki fark %1'den fazla olmamalıdır.

2.3.8 Elek Analizi

(ASTM C136; AASHTO T-11, T-27)

Elek analizi, standartlarda özellikleri verilmiş olan elekler kullanılarak, agregada dane büyüklüğünün dağılımının saptanması amacıyla yapılır. Agregada gruplarının her birinden alınacak temsili numunelerine elle ya da eleme makinesiyle eleme işlemi uygulanarak elek analizi yapılır.

Elek analizine girecek numune miktarı, kullanılacak en büyük dane boyutuna göre seçilir. Numuneler elekler üzerinde en az 2 dakika sarsılır.

Deney, kullanılan elek serisi içindeki her bir elekten geçen miktarın, toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak hesaplanıp, grafik olarak gösterilmesiyle tamamlanır.

2.4 Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziksel özellikleri yol kaplamalarının gerek stabilite ve gerekse performansları üzerinde çok büyük rol oynamaktadır. Agregaların stabilitesi, durabilitesi ve adezyonu yol kaplamalarının tüm özelliklerine doğrudan veya dolaylı olarak etki etmektedir.

2.4.1 Stabilité

Agregaların stabilitesi, trafik yüklerinden veya zeminin hacim değiştirmesinden dolayı oluşacak deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Yol kaplamalarının mukavemet ve deformasyon direncine en fazla etki eden unsur ise içsel sürtünme açısıdır. Agregaların içsel sürtünme açısı aşağıdaki özellikler arttıkça büyüyecek ve stabilitenin artmasını sağlayacaktır.

- Agregada danelerinin yüzey pürüzlülüğü
- Agregada danelerinin yoğun ve sürekli gradasyonu
- Agregaların CBR değeri

- Agreganın çapı
- Daneler arası kilitleme direnci

Agreganın maksimum % 6 - 8 filler ihtiva ediyorsa, dane şekli kübik ve açısal ise ve yoğun gradasyona sahip ise CBR değeri ve stabilitesi maksimum değere ulaşır.

2.4.2 Dayanıklılık (Durabilite)

Agreganın danelerinin durabilitesi, kırılma, aşınma ve parçalanmalara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Agregalar kompaksiyon ve trafik yükleri altında mekanik etkilerle kırılmaya maruz kaldığından, üstyapı kaplamalarında kullanılan agregaların alt tabakalarda kullanılan malzemeye nazaran daha dayanıklı olması gerekir.

Agregaların dayanıklılığı Los Angeles aşınma, dona karşı dayanım ve darbelere karşı ufalanma testleriyle saptanabilmektedir.

Agregaların aşınması sonucunda durabilite değerinin düşmesi aşağıda sıralanan nedenlere bağlı olarak hızlanır.

- Trafik yüklerinin büyüklüğü ve tekrür sayısı
- Agreganın bünyesinde bulunan killi kısımların suda çözülmesi
- Zeminin agreganın boşluklarına nüfuz etmesi
- Donma-çözülme ile ıslanma-kuruma periyotları ve sıklığı
- Suyun dren süresinin yükselmesi

Agreganın malzemesinde aşınma neticesinde ince malzeme miktarında artış olacağından, agreganın gradasyonunda bozulma ve bunun sonucunda da dren kabiliyetinde zayıflama meydana gelecektir.

2.4.3 Yapışma (Adezyon)

Yol üstyapı kaplamalarında kullanılan tüm malzemeler, suyla temas halinde olduklarından, bitümle kaplı agreganın danelerinin suyun etkisi ile soyulmaması için agreganın ile bağlayıcı arasındaki adezyonun (bağ kuvvetinin) yüksek olması gerekir.

Agregaların adezyon kabiliyeti aşağıdaki faktörlere bağlı olarak artış göstermektedir.

- Agreg a yüzey pürüzlülüğü arttıkça,
- Asfalt viskozitesi arttıkça,
- Agreg a yüzey alanı arttıkça veya dane çapı küçüldükçe,
- Agreg a nem oranı azaldıkça,
- Porozluk ve absorbsiyon arttıkça,
- Agreg a yüzeyi temizliğı arttıkça.

Agregaların iyi bir adezyona sahip olmaları için ayrıca büyük agreg a parçalarının arasındaki kil kümeleri, ince uzun parçalar, mika vb. diğer yabancı maddelerin bulunmaması gerekir [1,12,14,16,18] .

3. BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR

Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle oluşan ergime sonucu meydana gelen) hidrokarbonların bir karışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup, çok kez bunların gaz, sıvı, yarı katı ya da katı halde olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbondisülfürde tamamen çözülebilen madde olarak tanımlanır. Bitümlü bağlayıcılar üretim kaynaklarına göre asfaltlar ve katranlar olmak üzere iki grupta incelenir. Ham petrolün bitümlü ürünlerinin element analizleri sonucuna göre bitümlerin kompozisyonu Şekil 3.3'te gösterilmiştir [1,4,11] .

3.1 Asfalt

Kırılması güç anlamına gelen asfalt, koyu kahve renkten siyaha kadar değişen, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, kıvamlılık bakımından katı, yarı katı veya sıvı olabilen, doğal halde bulunan veya ham petrolün arıtılmasından elde edilen ve başlıca hidrokarbonlardan oluşan bir maddedir.

Asfaltlar kaynaklarına göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal asfaltlar genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Doğal asfaltların başlıcaları, doğada %35 kadar mineral malzeme barındıran göl asfaltları ile %2-3 civarında asfalt barındıran kaya asfaltlarıdır. Kaya asfaltları asfaltın yanı sıra kumtaşı, kalker, kil ve benzeri minerallerle karışım halinde bulunur.

Yapay asfaltlar ham petrolün arıtılmasından elde edilirler. Petrolün arıtılması, petrol türevlerinin her birinin sahip olduğu değişik kaynama noktalarına kadar ısıtılıp, buharlaştırılması ve daha sonra ayrı ayrı yoğunlaştırılarak petrol ürünlerinin elde edilmesidir. Bu işlemde en altta kalan maddelerden fuel-oil ayrıştırılarak, asfalt elde edilir.

Asfaltlar, Asfalt Çimentosu (AC), Okside Asfaltlar, Sıvı Petrol Asfaltları (RC, MC, SC) ve Asfalt Emülsiyonları olarak gruplandırılabilir.

3.1.1 Asfalt Çimentosu (AC)

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır. Akıcı ve işlenebilir hale gelmesi için ısıtılması gereken asfalt çimentosu, AC sembolü ile gösterilir.

AC ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10 – 300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar [9,11] .

Sıvı Petrol Asfaltları ile Asfalt Emülsiyonlarının ana maddesi olan asfalt çimentoları penetrasyon derecelerine göre şu sınıflara ayrılırlar:

10 – 20 Penetrasyonlu AC (AC 10 – 20)

20 – 30 Penetrasyonlu AC (AC 20 – 30)

30 – 40 Penetrasyonlu AC (AC 30 – 40)

40 – 50 Penetrasyonlu AC (AC 40 – 50)

60 – 70 Penetrasyonlu AC (AC 60 – 70)

75 – 100 Penetrasyonlu AC (AC 75 – 100)

120 – 150 Penetrasyonlu AC (AC 100 – 150)

150 – 200 Penetrasyonlu AC (AC 150 – 200)

200 – 300 Penetrasyonlu AC (AC 200 – 300)

Petrolün damıtılması sırasında belirli koşulların yerine getirilmesiyle elde edilen bu derecelendirme, asfalt çimentosunun uygulama alanında iklim şartlarına bağlı olarak farklı seçilmesinde kullanılmaktadır.

3.1.2 Okside Asfaltlar

Blown asfalt olarak ta bilinen okside asfaltlar, asfaltın ısıtılarak içerisine hava üflenmesiyle elde edilirler. Bu işlem için normal damıtma, kalıntı henüz sıvı iken kesilir. Böylece çok sert olan okside asfalt elde edilir.

Okside asfaltlar, penetrasyonları düşük olduğundan, yol inşaatında kullanılmaz. Bu asfaltlar daha çok tecrit amaçlı, elektrik, otomobil ve boya sanayii gibi özel amaçlı alanlarda kullanılır

3.1.3 Sıvı Petrol Asfaltları (Katbek Asfaltlar)

Sıvı petrol asfaltları, asfalt çimentosuyla kaynama noktası düşük bir çözücü (benzin, nafta vb.) karıştırılarak elde edilir. Sıvı petrol asfaltları, çabuk kür olan RC sınıfı, orta hızda kür olan MC sınıfı ve yavaş kür olan SC sınıfı olmak üzere üç gruba ayrılır. Gruplandırmada her sınıf kendi içinde, kinematik viskozite değerlerine göre ayrıca tiplere ayrılır. RC, MC ve SC harflerinden sonra gelen rakamlar o tipin kinematik viskozitesinin alt sınırını gösterir. Bu sayılar asfalt kıvamlılığının artmasıyla (viskozitenin artmasıyla) büyür.

Sıvı petrol asfaltlarının kıvamlılık derecesi, asfalt çimentosuna katılan çözücünün miktarının azalmasına bağlı olarak artar. Sıvı petrol asfaltları ile ilgili sınıflandırma Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Sıvı petrol asfaltları

Yavaş Kür Olan	Orta Hızda Kür Olan	Çabuk Kür Olan
	MC - 30	
SC – 70	MC - 70	RC - 70
SC – 250	MC - 250	RC - 250
SC - 800	MC - 800	RC - 800
SC - 3000	MC - 3000	RC - 3000

3.1.4 Asfalt Emülsiyonları

Asfalt emülsiyonları, asfalt çimentosunun çok küçük partiküller halinde parçalanıp suda dağılması sonucu akıcı hale gelmesiyle elde edilir. Emülsiyon, birbiri içinde çözünemeyen iki sıvıdan birinin diğeri içerisinde küre tanecikleri halinde

dağılmasıdır. Asfalt küreciklerinin birbirine yapışarak sudan ayrılmasını önlemek için emülgatör denilen katkı maddeleri (gliserin, sabun hammaddesi vb.) kullanılır.

Asfalt emülsiyonları kullanılan emülgatör cinsine göre iki gruba ayrılır.

- Anyonik asfalt emülsiyonları
- Katyonik asfalt emülsiyonları

Asfalt emülsiyonu agregayla karıştırıldığı ya da yol yüzeyine püskürtüldüğü zaman, emülsiyon kesilir. Asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agreganın üzerine yapışır. Yol kaplamalarında kullanılan asfalt emülsiyonları kesilme hızlarına göre üç gruba ayrılır.

- Çabuk kesilen RS asfalt emülsiyonları
- Orta hızda kesilen MS asfalt emülsiyonları
- Yavaş kesilen SS asfalt emülsiyonları

Asfalt emülsiyonlar, sathi kaplamalarda, Penetrasyon makadam yol kaplamalarında, Yama ve onarım işleri gibi değişik alanlarda kullanılmaktadır.

Asfalt emülsiyonlarının viskozitelerine göre gruplandırılması Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Asfalt emülsiyonları

Emülgatör Tipi	Yavaş Kesilen	Orta Hızda Kesilen	Çabuk Kesilen
Anyonik Asfalt Emülsiyonları	SS - 1	MS - 1	RS - 1
	SS – 1h	MS – 2	RS – 2
		MS – 2h	
Katyonik Asfalt Emülsiyonları	CSS - 1	CMS – 2	CRS - 1
	CSS – 1h	CMS – 2h	CRS – 2

3.2 Katran

Katran kömürün ve odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan katranın kömür kökenli olması tercih edilir. Yol katranları RT sembolü ile gösterilir.

RT sembolüyle gösterilen yol katranları, kıvamlılık durumlarına göre RT-1, RT-2, RT-3, ... , RT-12 ve RTCB-5, RTCB-6 olmak üzere 14 gruba ayrılır. RT sembolünün yanına yazılan sayılar, kıvamlılığın artmasına bağlı olarak büyür.

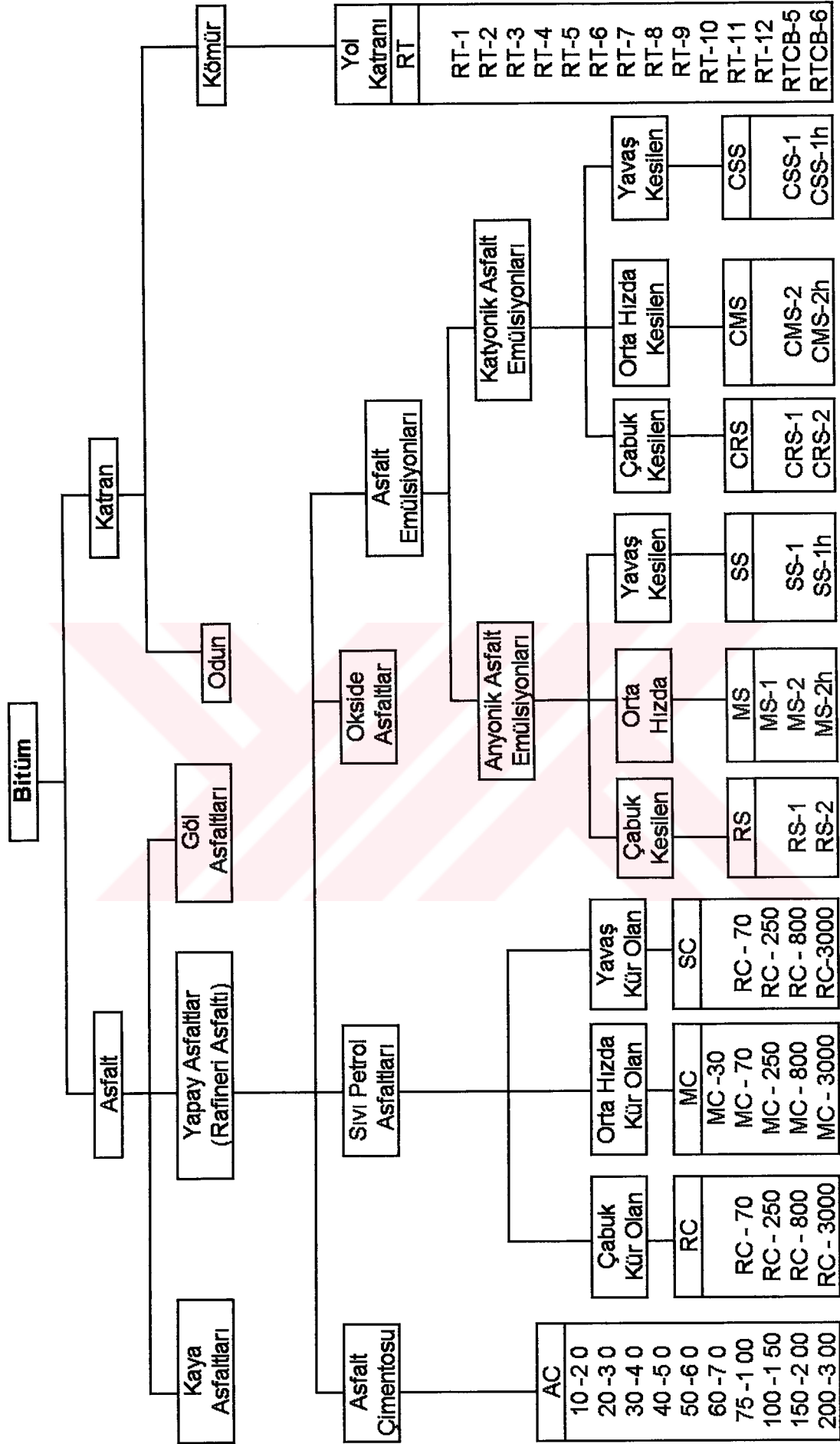
3.3 Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler

Bitümlü bağlayıcılara uygulanan deneyler, bağlayıcının teknik şartnamelerde istenilen kurallara uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yapılır.

Asfaltın fiziksel özelliklerini belirlemek için kullanılan deneyler, asfalt tipine göre değişmektedir.

- Asfalt Çimentosu (AC) üzerinde uygulanan deneyler:
 - Penetrasyon (TS 118)
 - Düktilite (TS 119)
 - Yumuşama Noktası (TS 120)
 - Parlama Noktası (TS 123)
 - Isıtma Kaybı (ASTM D6-AASHTO T47)
 - Isıtma Kaybı sonrası Penetrasyon ve Düktilite (sünme)
 - İnce film halinde Isıtma Kaybı sonrası Penetrasyon ve Düktilite
 - Leke (1089)
 - Özgül Ağırlık
 - Çözünürlük (TS 1090)

Tablo 3.3 Yol malzemesi olarak bitüm sınıflandırması



- Sıvı Petrol Asfaltları üzerinde uygulanan deneyler:
 - Distilasyon (TS 122)
 - Su Yüzdesi (TS 124)
 - Viskozite (TS 117 – 1093)
 - Parlama Noktası (TS 1080)
 - Distilasyon (Damıtma) kalıntısı üzerinde Penetrasyon, Düktilite, Çözünürlük
 - Yüzme (ASTM D139 – AASHTO T50)
- Asfaltlar Emülsiyonları üzerinde uygulanan deneyler:
 - Viskozite (TS 117)
 - Çökme (TS 132)
 - Stabilite (TS 132)
 - Kesilme (TS 132)
 - Örtme Kabiliyeti (TS 132)
 - Partikül Yüğü (TS 132)
 - Elek Deneyi (TS 132)
 - Çimento ile Karıştırma (TS 132)
 - Distilasyon (TS 132)
 - Distilasyon kalıntısı üzerinde Penetrasyon, Düktilite, Çözünürlük
 - Kül Yüzdesi (TS 135)

Bitümün mekanik özellikleri çelik, çimento, agrega ve diğer inşaat malzemelerine göre çok daha komplekstir. Yapılan deneyler bitümün mekanik özelliklerinin katı maddelerin elastisite modülüyle benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

3.4 Asfalt Çimentosu (AC) Üzerine Uygulanan Bazı Deneyler

- Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon deneyi, Asfalt çimentosu (AC) kıvamlığının ve AC sınıfının tayini için uygulanır. Deneyde 100 gr. ağırlığındaki standart bir iğnenin 5 saniye süre ile 25°C'deki asfalt numunesine batma miktarı ölçülmektedir.

Her 0,1 mm batma miktarı 1 penetrasyon olmak üzere toplam batma miktarı ölçülerek asfaltın penetrasyon değeri saptanır.

- Düktilite Deneyi

Düktilite deneyi, Asfalt çimentosu (AC)'nin uzama kabiliyetini tayin etmek amacıyla uygulanır. Düktilite, standart bir kalıp içinde şekillendirilen asfalt numunesinin düktilite cihazı ile, belirli bir ısıda ve belirli bir hızla çekilerek, sünmeye tabi tutulduğunda, kopmanın olduğu andaki uzunluk miktarının cm cinsinden ifadesidir.

- Isıtma Kaybı Deneyi

Isıtma Kaybı deneyi, Asfalt çimentosu (AC) bünyesinde bulunan uçucu maddelerin oranını ve AC'nin yaşlanmaya karşı direncini tespit etmek için uygulanır. Asfalt numunesi belirli bir ısıda belirli bir süre bırakılarak ağırlıkça kaybı tayin edilir. Böylece asfalt çimentosunun ısı etkisiyle sertleşme miktarı tahmin edilebilmektedir.

- Parlama Noktası Deneyi

Parlama noktası deneyi, uygulamalar sırasında asfaltın yanmadan hangi ısıya kadar emniyetle ısıtılabilceğinin tespit edilmesi için yapılır. Parlama noktası, ısınan asfalt buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya başlamadığı en düşük ısıdır.

- Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül ağırlık deneyi, karışım hesaplarında kullanılmak üzere yapılır. 25 °C'de hacmi bilinen bir bitüm numunesinin aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesinden elde edilir [5,11,12,18,19] .

4. BİTÜMLÜ KARIŞIMLAR

Bitümlü karışımlar, agrega ile bitümlü bağlayıcıların sıcak olarak karıştırılıp serilmesine veya sıvı asfaltlar (emülsiyon, katbek) ile soğuk olarak sıkıştırılmasına göre Bitümlü Sıcak Karışımlar ya da Bitümlü Soğuk Karışımlar adını alırlar.

Bitümlü soğuk karışımlar daha çok asfalt plentinin bulunmadığı veya ekonomik olmadığı yerlerde kullanılmaktadır. Bu karışımlar düşük stabiliteli olduğundan fazla yaygın değildir [1-3,7,8,13] .

Bitümlü sıcak karışımlar ise, gerek ülkemizde ve gerekse dünyada çok yaygın olarak kullanılan karışımlardır. Bitümlü sıcak karışımlar hazırlanırken, agregaların kurutulması ve ısıtılması gerekmektedir. Aynı şekilde, agregaların asfalt çimentosuyla karıştırılabilmesi ve işlenebilmesi için de asfalt çimentosunun ısıtılması gerekir. Yeterli asfalt akışkanlığının sağlanabilmesi ve iyi bir karışım performansı için karışımda kullanılacak agrega ve asfalt çimentosu 150 – 160 °C ısıtılmalıdır.

4.1 Bitümlü Sıcak Karışımların Uygulama Alanları

Bitümlü sıcak karışımlar, üstyapı kaplama tabakaları olarak bilinen Aşınma, Binder ve Bitümlü Temel tabakalarında kullanılmak üzere üretilirler.

4.1.1 Bitümlü Temel Tabakası

Bitümlü temel tabakası, çok dikkatli şekilde oranları saptanmış iri agrega, ince agrega ve filler ile asfalt çimentosunun sabit karıştırma tesislerinde sıcaklık, nem ve bileşim bakımından kontrol altında karıştırılmasıyla elde edilen ve temel üzerine ilk tabaka olarak serilen kaplama tabakasıdır.

4.1.2 Binder Tabakası

Binder tabakası, bitümlü temel tabakasına göre maksimum dane boyutu daha küçük olan iri agrega, ince agrega ve filler ile asfalt çimentosunun, sabit karıştırma

tesislerinde sıcaklık, nem ve bileşim bakımından kontrol altında karıştırılmasıyla elde edilen ve bitümlü temel tabakası üzerine serilen kaplama tabakasıdır.

4.1.3 Aşınma Tabakası

Yuvarlanma Tabakası olarak ta bilinen aşınma tabakası, asfalt betonu kaplamalarının en üst tabakasıdır. Bağlayıcı oranı binder ve bitümlü temel tabakalarına göre daha fazla, iri agregası maksimum dane boyutu ise daha küçüktür.

4.2 Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri

Asfalt çimentosu – agregası karışımının yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için belirli bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu koşullar kaplamalarla ilgili teknik şartnamelerde yer almaktadır.

Fiziksel ve mekanik özellikler dikkate alınarak, uzun servis ömürlü sıcak karışım dizaynları yapılabilmektedir. Dikkate alınması gereken fiziksel ve mekanik özellikler aşağıda sıralanmıştır.

4.2.1 Stabilite

Asfalt kaplamaların stabilitesi, bitümlü sıcak karışımlardan imal edilen yol kaplamalarının trafik yükü altında oluşacak deformasyonlara karşı gösterdikleri dirençtir. Stabilite deformasyonları karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilite, çok sert bir karışım anlamına geldiğinden, trafik yükleri altında oluşan deformasyonlara uyamayıp, çatlakların oluşmasına neden olabilir. Dolayısıyla düşük stabilite istenmediği gibi, çok yüksek stabilite de tercih edilmemektedir.

Stabilite agregalar arası içsel sürtünmeye ve bitüm ile agregası kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arası içsel sürtünme agregası danesinin şekli ve yüzey yapısıyla, kohezyon ise asfaltın yapışma özelliğiyle ilgilidir.

Yükleme hızı ve asfalt viskozitesi arttıkça ve kaplama ısısı azaldıkça kohezyon artar. Ayrıca asfalt yüzdesinin bir düzeye kadar artmasıyla da kohezyon artış gösterir. Bitüm oranı belli bir noktadan daha fazla arttırıldığında ise içsel sürtünme ile birlikte stabilite de azalır.

Kohezyon agregayla asfalt arasındaki adezyon kuvvetini ve asfaltın deformasyona karşı gösterdiği direnci ifade eder. Kohezyon, genellikle aşağıdaki özelliklerin artmasına bağlı olarak artış gösterir.

- Agreganın absorpsiyonu ve porozluğu,
- Optimum miktarı yakalayınca kadar, asfalt miktarı,
- Asfaltın viskozluğu,
- Yükleme hızı,
- Karışım ve serme ısısı.

Stabilite, bitümlü karışımların kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olduğundan, kalıcı deformasyonların tespit edilmesi gerekir. Kaplama kalınlıkları tabakalara ayrılarak deformasyonlar hesaplanabilir. Hesaplamalarda toplam deformasyon miktarı göz önüne alınmalıdır. Ancak stabilite değerini net olarak belirleyebilmek mümkün olamamaktadır. Uygulamada bazı testler (Marshall, Hveem, vb.) kullanılarak rölatif bir stabilite değeri tayin edilmektedir.

4.2.2 Durabilite (Dayanıklılık)

Bitümlü sıcak karışımların durabilitesi, trafik ve çevre şartlarının aşındırma etkisine karşı direnç göstermesidir. Dayanıklılık aynı zamanda asfalt özelliklerinin değişmesi, agreganın kırılması ve asfaltın soyulması gibi etkilere karşı dayanıklılık göstermesi demektir [1,7,9,16] .

Durabilite genel olarak, aşağıdaki durumlara bağlı olarak artış gösterir;

- Yüksek asfalt oranı,
- Sert asfalt ve kalın film tabakası,
- Yüksek soyulma direnci,
- İyi sıkışma,
- Yoğun gradasyon.

Sıralanan bu şartlar sağlandığında geçirimsizlik artacağından, karışımın içine daha az su ve hava girecek ve dolayısıyla durabilite artacaktır. Hava ve su asfaltın oksidasyonunu hızlandırarak, sertleşmesine neden olmaktadır.

Ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda, durma ve kalkmaların yoğun olduğu kavşak, durak gibi yerlerde stabilitesi ve durabilitesi yüksek bitümlü sıcak karışımların kullanılması gerekir.

4.2.3 Rijitlik

Rijitlik, bitümlü sıcak karışımların yükleme süresi veya hızı ve ısı etkisi altında gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkinin ifadesidir. Bitümlü sıcak karışımlar viskoelastik malzemelerdir. Mekanik özelliklerini belirlemek için “Rijitlik Modülü” kullanılmaktadır.

Bitümlü sıcak karışımların rijitliği genel olarak aşağıdaki özelliklerin artmasına bağlı olarak artış gösterir.

- Yükleme hızı,
- Karışım yoğunluğu,
- Asfaltın viskozitesi.

Bitümlü sıcak karışımların rijitliği aşağıdaki test metodlarıyla saptanabilir

- Sünme Testi
- Serbest Basınç Testi
- Dinamik Modülü Testi (ASTM D 3497)
- Esneklik Modülü Testi (Üç Eksenli test)
- Dolaylı Çekme Testi (ASTM D 4123)

Geliştirilen cihazlar yardımıyla yapılan bu testler, farklı yaklaşım ve yöntemlerle rijitlik modülü hakkında bir fikir elde etmeyi sağlamaktadır.

Nijboer Yaklaşımı, Goetz-Metcalf Yaklaşımı ile Heukelom ve Klomp Yaklaşımı bu yaklaşımlardandır.

Nijboer Yaklaşımı

Marshall numunelerine uygulanarak, rijitlik modülünü tespit etme yaklaşımlardan biri olan Nijboer yaklaşımında, uygulanan yükün numunenin maksimum kesit alanı üzerinde üniform olarak yayıldığı ve uygulama yükünün dikey yönde gelişen deformasyonla doğrudan ilişkili olduğu kabul edilir.

Rijitlik modülü aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$S_N = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{Akma}{4}} = \frac{\frac{P}{10}}{\frac{F}{4}} \quad (4.1)$$

A : Kesit alanı (4 x 2,5 = 10 in², veya 10,16 x 6,35 = 64,52 cm²)

$$S_N = 04 \frac{P}{F} \text{ psi} \quad (4.2)$$

$$= 1,6 \frac{P}{F} \text{ kg/cm}^2 \quad (4.3)$$

Burada;

S_N : Rijitlik Modülü (kg/cm²)

P : Marshall Stabilesi (kg)

F : Akma (Kırılma anındaki dikey deformasyon, mm)

Goetz-Metcalf Yaklaşımı

Goetz-Metcalf yaklaşımı, Marshall testi başlığının eğriliği nedeniyle serbest basınç tipi bir test olmadığı, Marshall akma değerinin karışımın içsel sürtünmesinin bir ölçüsü olduğu ve Marshall testi sonuçları ile karışıma ait iki ayrı mekanik özelliğin

“Taşıma Kapasitesi” ve “Serbest Basınç Mukavemeti” ile saptanabildiği esasına dayanır.

$$\text{Taşıma Kapasitesi (B)} = \frac{\text{Marshall Stabilitesi}}{F} \times \frac{120 - F}{100} = \frac{P(120 - F)}{100F} \quad (4.4)$$

$$\text{Serbest Basınç Mukavemeti } (\sigma_B) = \frac{P}{100} \left[8 - \frac{1}{2} \left(\frac{30 - F}{10} \right)^2 \right] \quad (4.5)$$

Burada;

B ve σ_B : psi (= 0,0703 kg/cm²) olarak mukavemet

P : lb (= 0,454 kg) Marshall stabilitesi

F : 1/100" (= 25,4/100 mm) olarak Marshall akma değeri

Bu iki eşitlik 60 °C ısı için güvenilir ve iyi sonuçlar vermektedir. Nijboer ve Metcalf,

S = 3,5B olacağını önermektedir.

Heukelom ve Klomp Yaklaşımı

Heukelom ve Klomp yaklaşımında bitümlü karışımların rijitliği aşağıdaki formülle elde edilmektedir.

S_{mix} : Karışım rijitliği (kg/cm²)

S_{bit} : Asfalt rijitliği (kg/cm²)

C_v : Agregat hacimsel yoğunluğu (Agregat hacmi / (Agregat + Asfalt hacmi))

n : $0,83 \log (4 \times 10^6 / S_{bit})$

Elastik rijitlik karışımın kritik deformasyonları ve viskoz rijitlik ise karışımın deformasyonlara karşı direnci için bilinmelidir [16,21] .

4.2.4 Esneklik (Fleksibilite)

Bitümlü sıcak karışımların esnekliği, zeminin ve temel tabakasının uzun dönemli oturma ve hareketlerine karşı çatlamaya neden olmadan uyum sağlayabilme kabiliyetidir. Genel olarak bitüm yüzdesi yüksek ve açık gradasyonlu karışımlar, bitüm yüzdesi düşük ve yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha esnektirler.

Düşük Fleksibiliteli karışımlar, oluşabilecek aşırı çatlamalar nedeniyle kütlenin parçalanmasına, dolayısıyla da stabilitenin düşmesine neden olurlar. Çok yüksek fleksibiliteli kaplamalarda da stabilite düşüş gösterir.

4.2.5 Yorulma Mukavemeti

Bitümlü Sıcak karışımların yorulma mukavemeti, kaplamada çatlamalar oluşmadan tekerrür eden yükler etkisinde eğilmeye karşı koyma yeteneğidir. Karışımdaki boşluk yüzdesi ve asfaltın viskozitesi yorulmaya karşı direnç üzerinde çok etkilidir.

Yetersiz sıkışma, yüksek boşluk yüzdesi, asfaltın yaşlanması ve sertleşmesi yorulma direncinin azalmasına yol açar.

Genel olarak aşağıdaki özelliklere bağlı olarak yorulma mukavemetinde de artış görülmektedir.

- Rijitlik arttıkça,
- Gradasyon ve yoğunluk arttıkça,
- Asfalt penetrasyonu arttıkça,
- Asfalt miktarı arttıkça,
- Kaplama kalınlığı arttıkça.

Bitümlü sıcak karışımların diğer mekanik özelliklerinde olduğu gibi, kaplamaların yeterli sıkışması yorulma mukavemetini de artırır. Üstyapının mukavemeti ve taban zemininin taşıma gücü üstyapı ömrünü etkileyen diğer faktörlerdendir.

4.2.6 Geçirimsizlik

Bitümlü sıcak karışımlarda geçirimsizlik, asfalt kaplamanın hava ve su geçişine olan direncidir. Kaplamadaki boşluk miktarı ile boşlukların irtibatı, kaplamanın üstünden altına kadar su, hava ve su buharının geçmesi için gerekli koridorları oluşturur. Genel olarak, asfalt miktarı, agrega gradasyonu ve karışım yoğunluğu ile sıkıştırma arttıkça geçirimsizlik artış gösterir.

Agrega daneleri arasında asfalt için minimum % 12 - 14 oranında boşluk bırakılması gerekir. Stabilité için bu boşluğun bitümlü temel tabakasında ortalama % 55'i, binder tabakasında ortalama % 70'i ve aşınma tabakasında ortalama % 80'i asfaltla doldurulmalıdır.

Bitümlü sıcak karışımların minimum boşluk oranı asfaltın sıcak ortamlarda genişlerken terleme ve kuma ile kaplama yüzeyine çıkmasını önlemek ve trafik yükleri altında sıkışmaya yol açarak degradasyona engel olmak için gereklidir.

Bitümlü temel tabakalarında boşluk oranı % 5 - 9, binder tabakalarında % 4 - 6 ve aşınma tabakalarında da % 3 - 5 arasında olması gerekir. Bunun temel nedeni ise geçirimsizliği sağlamak ve yoğunluğunu arttırmaktır. Buna karşılık, kaplama yüzeyinin geçirimsizliği arttıkça kayma direnci, dolayısıyla sürüş emniyeti de azalmaktadır.

4.2.7 Kayma Direnci

Bitümlü sıcak karışımların kayma direnci, kaplama yüzeyinde özellikle yağışlı havalarda araç tekerleğinin kaymasına karşı oluşan dirençtir. Araçların frenleme sırasında emniyetle durabilmesi ve kurbalarda merkezkaç kuvvetinden ötürü savrulmaması için tekerlek ile kaplama arasında gerekli sürtünme kuvvetinin bulunmasıdır.

Kayma direncinin yüksek olması için, hem agrega sert ve pürüzlü olmalı, hem de asfalt kaplama yüzeyi pürüzlü olmalıdır. Maksimum dane boyutu 1/2 in. veya 3/8 in. olan açık gradasyonlu karışımların kayma direnci yüksek olur.

Bitümlü sıcak karışımların kayma direnci genel olarak aşağıdaki durumlara bağlı olarak artış göstermektedir.

- Düşük asfalt miktarı,
- Cilalanma direnci yüksek agrega miktarı,
- Kırmataş ve pürüzlü yüzeyli agrega miktarı,
- Açık ve kaba gradasyonlu karışım miktarı.

Optimum asfalt miktarından daha fazla konulacak asfalt hem stabiliteyi düşürür, hem de terleme-kusma ile kaplama yüzeyine çıkan asfaltın oluşturduğu film tabakasıyla kayma direncini azaltır.

Özellikle aşınma tabakalarında agregaların cilalanma direncinin yüksek olması ve asfalt miktarının da en fazla optimum miktarı kadar olması gerekir.

4.2.8 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın serim ve sıkıştırma esnasında gösterdiği kolaylığın ölçüsü olarak tanımlanır. Karışımındaki agrega danelerinin yer değiştirmeye (iç hareketlilik) karşı gösterdiği dirençtir. Genel olarak işlenebilirlik aşağıdaki durumlarda azalma gösterir.

- Kaba agrega miktarı arttıkça,
- Maksimum dane boyutu arttıkça,
- Kırmataş agrega kullanımı,
- Karışım ıslısı düştükçe,
- Asfalt penetrasyonu düştükçe,
- Filler miktarı aşırı arttıkça,
- Ara boyutlu malzeme miktarı aşırı arttıkça.

Düşük işlenebilirliğe sahip karışımlar ile genellikle homojen olmayan kaplamalar elde edilir. İşlenebilirliği çok yüksek kaplamalar ise genellikle içsel sürtünmesi az olan dere malzemesi agregalar ve yüksek penetrasyonlu asfaltlar ile üretildiklerinden stabiliteyi de düşük olmaktadır. Agreganın biçimi, kırılmış agregadan seçilmiş

olması, yüzey alanı ve yüzey yapısı gibi özellikleri ile asfaltın viskozluğu işlenebilirlik üzerinde önemli rol oynamaktadır.

4.3 Bitümlü Sıcak Karışımların Dizaynı

Agregaların gerek fiziksel özellikleri ve gerekse gradasyon limitleri şartnamelerde belirlenmiştir. Bitümlü sıcak karışımların ana malzemesi agregaya katılacak bitüm miktarının tayin edilmesi için de hem ülkemizde hem de dünyada en yaygın kullanılan dizayn metodu Marshall Dizaynı metodudur. Marshall metodunun yanı sıra Hubbard-Field ve Hveem metodları da kullanılan diğer metodlar arasında yer almaktadır.

4.3.1 Hubbard – Field Metodu

Hubbard-Field dizaynı bir makaslama deneyidir. Bu deney için çapı 15cm, ve yüksekliği 7,5cm olan silindirik numuneler hazırlanır. Hazırlanan numuneler dairesel çapı 14,33cm olan Hubbard-Field cihazına yerleştirilerek, piston hızı 1mm/sn olacak şekilde yük uygulanır. Uygulanan yük etkisiyle numune itilerek delikten çıkarılır.

Numunenin çıkmasını sağlayan maksimum yük değeri karışımın Hubbard-Field stabilite değeri olarak alınır. Yükleme sırasında numune sıcaklığının 60°C olması gerekir.

Hubbard-Field metodunda şehir içindeki ağır trafik değerleri 1800–2700kg, şehir dışındaki karayollarında ise 1350–2700kg olarak belirlenmiştir.

4.3.2 Hveem Metodu

Hveem metodunda kullanılan numuneler 10cm çapında ve 6,35cm yüksekliğindedir. Numuneler özel bir karıştırıcıda hazırlanarak, elastik bir zarf içerisinde Hveem stabilometresindeki sıvı içine yerleştirilir. Numuneye alttan ve üstten 1 mm/dakika yükleme hızıyla basınç uygulanır.

Deney sırasında sıvıda oluşan yanal basınçlar manometreden okunur. Okunan değerlerden yararlanılarak izafi stabilite bulunur. Deneye başlamadan önce numune sıcaklığının 60°C olması gerekir. Trafik cinsine göre bitümlü sıcak karışımların Tablo 4.1’de gösterilen izafi stabilite değerlerine sahip olmaları gerekir.

Tablo 4.1 Hveem izafi stabilite limitleri

Trafik Cinsi	Minimum İzafi Stabilite (kg/cm ²)
Hafif Trafik	30
Orta Trafik	35
Ağır Trafik	37

4.3.3 Marshall Metodu

Ülkemizde bitümlü sıcak karışımlara Marshall stabilite dizaynı uygulanır. Bu metod esas olarak bir serbest basınç deneyidir. Deneye agreganın maksimum dane boyutu, absorpsiyonu, gradasyonu ve diğer özellikleri göz önüne alınarak ön optimum bitüm yüzdesi tayin edilerek başlanır. Ampirik formüller ile optimum asfalt tayini aşağıdaki yöntemlerden biri ile yapılabilir.

4.3.3.1 Asfalt Enstitüsü Metodu

Asfalt Enstitüsü metodunda ağırlıkça bitüm yüzdesi aşağıda yazılı formülle tespit edilmektedir.

$$P = (0,04 a + 0,07 b + 0,12 c) F \quad (4.6)$$

P : Karışımın bitüm yüzdesi (ağırlıkça)

a : Kaba agreganın yüzdesi

b : İnce agreganın yüzdesi

c : Filler yüzdesi

F : Faktör sayısı (genellikle 1 olarak alınır)

4.3.3.2 Yüzey Alanı Metodu

Yüzey alanı metodunda ağırlıkça bitüm yüzdesi aşağıdaki formülle tespit edilmektedir.

$$P = 0,035 a + 0,045 b + n c + F \quad (4.7)$$

P : Karışımın bitüm yüzdesi (ağırlıkça)

a : Kaba agreg a yüzdesi

b : İnce agreg a yüzdesi

c : Filler yüzdesi

Filler miktarı;

%11 – 15 ise $n = 0,15$

%6 – 10 ise $n = 0,18$

< %5 ise $n = 0,20$

F : Faktör sayısı (0,7 – 1,0 arasında değişir)

4.3.3.3 Fransız Metodu

Fransız metodunda ağırlıkça bitüm yüzdesi aşağıda yazılı formülle hesaplanır.

$$P = K \sqrt[3]{S} \quad (4.8)$$

K : Katsayı

Pist için $K = 3,85$

Ağır trafik için $K = 3,75$

Hafif trafik için $K = 4$

S : Yüzey alanı, m^2/kg ($= 0,17 a + 0,33 b + 2,30 c + 12 d + 13 f$)

a : Agreg a yüzdesi , D > 10mm

b : Agreg a yüzdesi , D = 5-10mm

c : Agreg a yüzdesi , D = 3,5-5mm

d : Agreg a yüzdesi , D = 0,8–0,3mm

f : Filler yüzdesi , D = 3,5-5mm

4.3.3.4 TEM Metodu

TEM metodunda ise ağırlıkça bitüm yüzdesi aşağıda yazılı formülle hesaplanır.

$$P = \alpha K \sqrt[5]{A} \quad (4.9)$$

α : Düzeltme faktörü

$SG_{agr} = 2,65$ ise $\alpha = 1$, aksi halde $\alpha = 2,65 / SG_{agr}$ (SG_{agr} : Agreg a karışımının özgül ağırlığı)

K : Asfalt içeriği indeksi

Aşınma ve binder tabakaları için K = 3,45-3,95,

Bitümlü temel tabakası için K =2-2,5

A : Yüzey alanı, m² /kg [= 1/100(0,25 G + 2,3 C + 12 F + 135 f)]

G : Agreg a yüzdesi , D > No. 4

C : Agreg a yüzdesi , D = No. 50 – No. 4

F : Agreg a yüzdesi , D = No. 200 – No. 50

f : Filler yüzdesi

Bu yöntemlerden biri ile ön optimum asfalt yüzdesi belirlendikten sonra, belirlenen bu yüzdenin %0,5 ve %1,0 üstünde ve altında olmak üzere 5 ayrı asfalt yüzdesiyle 5x3=15 adet numune üretilir. Her bir numunede kullanılacak agreg a, belirlenen

gradasyona uygun elek üstü miktarları tartılarak ayrı kaplar içerisinde etüvlere yerleştirilir [13,15,16,22] .

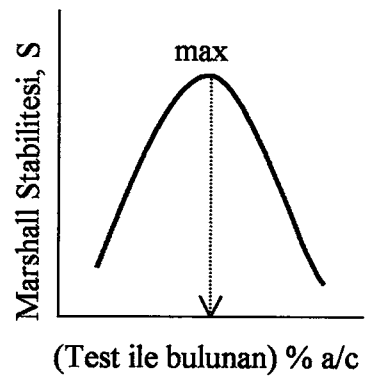
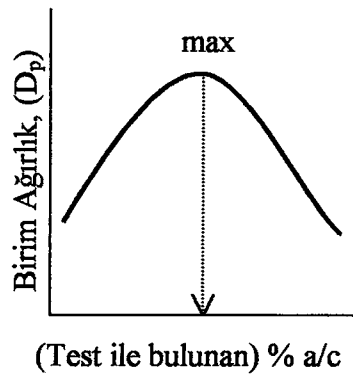
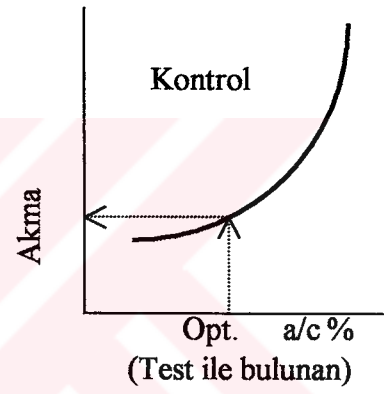
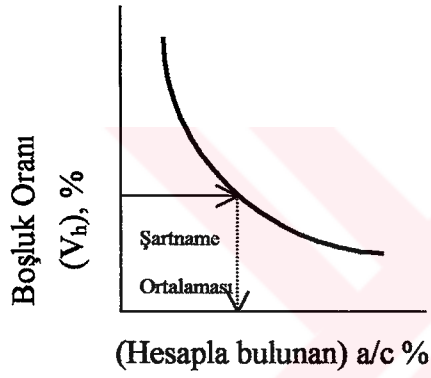
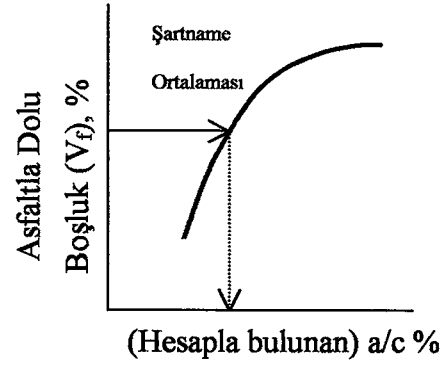
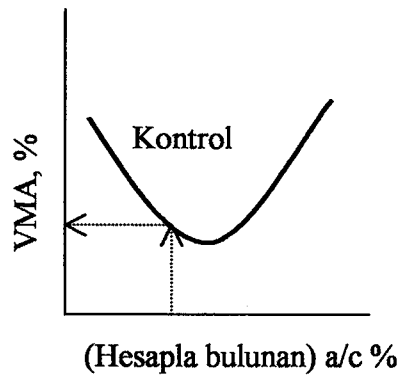
Karışımında kullanılacak asfalt, 85 ± 10 san Sybolt Furol viskozluğa kadar ısıtılarak akışkanlığı sağlanır. Viskozite değeri ölçülemiyorsa 40–50 ve 60-70 Penetrasyon AC için $145 - 160$ °C'ye kadar ısıtılır ve $150 - 160^{\circ}\text{C}$ ısıtılmış bulunan agreganın üzerine dökülüp karıştırılarak sıcak karışım hazırlanır.

Sıkıştırmada kullanılacak kalıp ve tokmaklar $95 - 150^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtıldıktan sonra hazırlanan karışım kalıplara konur ve spatula ile karıştırılır. Karışımın üzerine 4,536kg ağırlığındaki tokmak 45,72cm yükseklikten düşürülerek dizayn kriterinde belirtilen darbe sayısında bir yüzü sıkıştırılır ve daha sonra kalıp ters çevrilerek numunenin diğer yüzü aynı darbe sayısında bir defa daha sıkıştırılarak 5 ayrı asfalt içeriğindeki 5 x 3 adet karışım numunesi hazırlanır. 101,6 mm (4 in.) çapındaki kalıp içerisinde sıkıştırılan numunenin sıkışmış kalınlığı 63,5 mm (2,5 in.) olmalıdır. Farklı kalınlıktaki numuneler için düzeltme faktörü kullanılarak test sonuçları düzeltilir.

Numuneler soğuduktan sonra kalıptan çıkarılır ve 24 saat bekletilerek kür edilir. Yoğunlukları saptanan numuneler daha sonra 60 °C'lik su banyosunda 30-40 dakika bekletilir ve Marshall stabilite aletine konarak, 2in./dak (50,8 mm/dak) hızla yük uygulanır. Numunenin yük altında kırılma anındaki stabilitesi ve akma (düşey deformasyon) değeri ölçülür. Stabilite kg , akma ise mm olarak kaydedilir.

Test sonundaki ölçüm ve hesaplamalar neticesinde Şekil 4.1 grafikleri çizilir.

Maksimum yoğunluğa, maksimum stabiliteye, şartname boşluk yüzdesi ortalamasına ve şartname asfaltla dolu boşluk yüzdesi ortalamasına tekabül eden asfalt yüzdeleri Şekil 4.1'den okunup optimum asfalt miktarı (optimum a/c) Formül 4.10'da olduğu gibi ortalama alınarak saptanmış olur.



Şekil 4.1 Marshall dizaynı grafikleri ve optimum a/c'nin tayini

$$\text{Optimum a/c} = \frac{\text{MaxD}_p (a/c) + \text{MaxS}(a/c) + \text{Ort.V}_h (a/c) + \text{Ort.V}_f (a/c)}{4} \quad (4.10)$$

Formülde verilen değerler sonucu hesapla bulunan optimum asfalt içeriği aşağıdaki şartları sağlıyorsa karışımın asfalt içeriği uygun demektir.

- Opt. a/c'deki akma değeri Tablo 4.2'deki dizayn kriterlerinde belirtilen minimum (min) ve maksimum (max) akma sınırları arasında olmalıdır. (KGM - Yollar Fenni Şartnamesi)
- Opt. a/c'deki VMA (Agrega Boşluk Hacmi) değeri Tablo 4.3'te belirtilen minimum değerden (Min VMA) fazla olmamalıdır.
- Filler / Bitüm oranı şartname üst sınırından fazla olmamalıdır.
- Marshall stabilitesi (kg) / Akma (mm) oranı 300 ile 400 arasında olmalıdır.

Tablo 4.2 Marshall dizayn kriterleri

Özellikler	Hafif ve Orta Trafikli Yollar				Ağır Trafikli Yollar ve Otoyollar			
	Binder		Aşınma		Binder		Aşınma	
	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak
Darbe Sayısı	50	-	50	-	75	-	75	-
Marshall Stabilitesi (kg)	600	-	600	-	750	-	900	-
Boşluk (%)	4	6	3	5	4	6	3	5
V _f (%)	65	75	75	85	65	75	75	85
Akma (mm)	2,5	4,6	2,5	4,6	2	4	2	4
Asfalt (%)	3,5	6,5	4,0	7,0	3,5	6,5	4,0	7,0
Filler / Bitüm	-	-	-	-	-	1,4	-	1,5

Nominal D_{max} için agrega karışımının gradasyon eğrisinden %90 geçen elek çapı alınabilir.

D_p : Bitümlü sıcak karışımın pratik yoğunluğu

S : Marshall stabilitesi

V_h : Bitümlü sıcak karışımındaki hava boşluğu

V_f : Bitümlü sıcak karışımındaki hava boşluğunun asfaltla doluluk yüzdesi

VMA : Agrega boşluk hacmi

Opt.a/c : Optimum asfalt miktarını göstermektedir.

Tablo 4.3 Minimum VMA Değeri

Nominal D_{max}	Min VMA, %
1"	13,0
3/4"	14,0
1/2"	15,0
3/8"	16,0

Bitümlü sıcak karışımın bu şekilde optimum asfalt bağlayıcı miktarı saptandıktan sonra şantiyede üretimi için işyeri karışım formülü hazırlanır. İşyeri karışım formülüyle hangi grup agregadan yüzde kaç oranında kullanılacağı ve 100 kg agregaya ne kadar asfalt bağlayıcı katılacağı belirtilmiş olur [1,16] .

5. YOL ÜSTYAPILARI

5.1 Karayolu Üstyapıları

Karayolu üstyapıları, trafik yükünü taşımak üzere tesviye yüzeyine yerleştirilen tabakalı yol yapısı olarak tanımlanır. Üstyapılar kullanılan malzeme durumuna göre üç gruba ayrılır. Bunlar Rijit Üstyapılar, Yarı Rijit Üstyapılar ve Esnek Üstyapılardır [2,16] .

5.1.1 Rijit Üstyapılar

Rijit üstyapılar taban zemini üzerine serilmiş granüler temel veya alttemel üzerine grobeton ve onun üzerine de donatılı veya donatısız, anolar halinde serilmiş beton plaklardan oluşur. Beton kaplamalar olarak ta bilinen rijit üstyapılar, çok yüksek trafik hacmine ve ağır trafiğe sahip karayolları ile havaalanlarında uygulanır. Rijit üstyapıların esnek üstyapılara göre en önemli üstünlüğü, trafik yüklerini zemin üzerinde daha geniş alana yayabilmeleri ve daha fazla mukavemet gösterebilmeleridir [5-7] .

Rijit üstyapıların diğer üstyapılara göre bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Mekanik özellikleri (mukavemet, yorulma vb.) daha yüksek olduğundan, daha az kalınlıkta yapılır ve daha uzun ömürlüdür.
- Bakım ve onarım ihtiyaçları azdır.
- Üretimi dışa bağımlı olmaksızın gerçekleştirilebilir.
- Üretimi daha kolay ve kontrolü daha azdır.
- Yağışlı havalarda kayma dirençleri daha fazladır.
- Gece görünimleri daha kolaydır.

5.1.2 Yarı Rijit Üstyapılar

Yarı rijit üstyapılar, taban zemini üzerine granüler temel veya alttemel yerine, çimento bağlayıcılı granüler temel veya çimento ile stabilize edilmiş alttemel serilerek yapılan üstyapılardır. Bu serimin üzerine bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları serilir. Trafik değerleri çok yüksek otoyollarda bu tür üstyapılar kullanılmaktadır.

5.1.3 Esnek Üstyapılar

Esnek üstyapılar, taban zemini üzerine serilmiş granüler alttemel ve temel tabakaları üzerine bitümlü kaplamaların serilmesi şeklinde inşa edilirler. Esnek üstyapılar, taşıtlar için gerekli performansa (sürüş konforu, sürüş emniyeti vb.) ve meydana gelen gerilmelere karşı stabilitelerine göre farklı yöntemlerle üretilirler. Esnek üstyapıların rijit üstyapılara göre bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Daha ekonomik ve daha çabuk inşa edilirler.
- Bakım ve onarım işleri daha kolaydır.
- İmal edildikten kısa süre sonra (karışımın ortam ısısına kadar soğumasını müteakip) yol trafiğe açılabilir.
- Kademeli inşaat olarak yapılabildiklerinden, trafik durumuna göre kaplama kalitesi ve kalınlığı arttırılabilir.
- Trafik için diğer kaplamalara göre daha az gürültülü bir yüzeye sahiptirler

Esnek üstyapılar genel olarak Yüzeysel Kaplamalar ve Bitümlü Sıcak Kaplamalar olmak üzere iki grupta incelenir.

5.1.3.1 Yüzeysel Kaplamalar (Sathi Kaplamalar)

Yüzeysel kaplamalar, yol yüzeyine ince bir film halinde asfalt veya katran ya da ikisinin karışımını sermek ve bu serimin üstünü tabaka halinde agrega ile örtmek suretiyle yapılan kaplama şeklidir. Düşük standartlı kaplamalar olarak ta bilinen yüzeysel kaplamalar, trafik hacminin düşük olduğu (günlük ağır taşıt trafiğinin

500'den az olan) yollarda ekonomiktir ve yeterli performansı sağlayabilmektedir. Yüksek standartlı yollarda ise bitümlü sıcak kaplamalar kullanılmaktadır.

Düşük standartlı esnek kaplamalar da uygulamaları ve kalite seviyelerine bağlı olarak değişik gruplara ayrılırlar.

- Stabilize Kaplamalar (bağlayıcısız kaplamalar)
- Makadam Temeller

Makadam temeller düşük trafik hacimli yollarda stabilize kaplamaların ıslah edilmesi sonucu elde edilen düşük kaplamalardır.

- Sathi Kaplamalar
- Koruyucu Satih Tabakası Kaplamalar

Koruyucu satih kaplamaları daha çok esnek kaplama onarımlarında kullanılmaktadır.

5.1.3.2 Karışım Tipi Esnek Kaplamalar

Yüksek standartlı esnek kaplamalar olarak ta bilinen karışım tipi esnek kaplamalar, çok tabakalı kaplamalardır. Karışım tipi esnek kaplamalar Alttemel, Temel ve Kaplama tabakalarından oluşurlar.

▪ Alttemel Tabakası

Alttemel tabakası esnek kaplamaların en alt tabakasıdır. Bu tabaka, taban yüzeyi ile temel tabakası arasına yerleştirilen sıkıştırılmış daneli malzeme veya uygun bir bağlayıcı malzemeyle stabilize edilmiş malzeme tabakasıdır. Alttemel tabakası inşa edilerek, düşük maliyetle daha kalın bir tabaka meydana getirilir. Gradasyon limitleri geniş aralıklı ve maksimum dane boyutu daha büyük olan alttemel tabakası daha ekonomik olmasının yanı sıra, dren kabiliyeti yüksek bir tabakadır.

▪ Temel Tabakası

Temel tabakası kaplama tabakasının hemen altına yerleştirilen, daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzeme tabakasıdır. Bir veya birden fazla tabaka halinde inşa edilen temel tabakalar, Mekanik Stabilizasyon temel, Plentmiks temel ve

Çimento Stabilizasyon temel tabakaları gibi farklı isimler ve uygulama şekilleri kapsamaktadır. Temel tabakası kaplama tabakasına dayanak sağlayarak üstyapının yük taşıma kabiliyetini artırır.

Alttemel ve Temel tabakalarının başlıca işlevleri şu şekilde sıralanabilir;

- Kaplamadan gelen yükleri zemine yaymak,
- Deformasyonlara karşı direnç göstermek,
- Zeminlerde meydana gelen hacim değişikliğine karşı koymak,
- Don etkilerini önlemek,
- Üstyapı inşaat maliyetini düşürmek,
- Kaplama inşaatı için düzgün platform oluşturmak.

▪ **Kaplama Tabakası**

Kaplama tabakası, üstyapının trafiğe doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede meydana geldiği kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek bir elastisite modülüne sahip olmalıdır.

Kaplama tabakasının başlıca işlevleri şu şekilde sıralanabilir;

- Taşıtlar için düzgün ve pürüzsüz yüzeyleri ile sürüş konforu ve sürüş sürtünme dirençleri sağlar.
- Trafik ve diğer aşındırma etkilerine karşı direnç sağlar.
- Deformasyonlara karşı direnç sağlar.
- Trafik yüklerini alt tabakalara ve zemine ileterek kalıcı deformasyona karşı direnç sağlar.

Kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yol direnci artar, temel tabakalarına iletilen basınç ve kayma gerilmeleri azalır.

Yüksek standartlı esnek üstyapı kaplamaları imalatı için bitümlü sıcak karışımlar kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar beton asfalt, sıcak bitümlü karışım, sıcak asfalt karışım, asfalt çimentolu karışım, sıcak asfalt betonu, asfalt kaplama vb. isimlerle de anılmaktadır.



6. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada üretilen numunelerde aşağıda özellikleri belirtilen doğal agrega, asfalt çimentosu AC 60–70 ve Traslı Çimento (filler olarak) kullanılmıştır.

6.1 Agrega

Çalışmada kullanılan agrega, Cebeci Taş Ocağından temin edilmiştir. KGM Aşınma Tabakası Tip2, Tip4 ve Binder Tabakası Tip3 şartnamesine uygun agrega karışımı hazırlanmıştır.

Cebeci bölgesi yoğun taş ocaklarının bulunduğu, Alibeyköy barajı batısında yer alan bir bölgedir. Bu bölgede bulunan karbonifer yaşı kireçtaşları koyu renkli olup, yer yer grafitli seviyeler içerir. Grafitli seviyelerde kireçtaşlarının rengi fazla koyulaşır, hatta siyahlaşır.

Bitümlü sıcak karışımlarda agrega türleri farklı fiziksel özellikler gösterdiğinden yapılan tasarım sonuçlarına göre bulunan optimum bitüm yüzdeleri de farklılık göstermektedir. İstanbul çevresinde bulunan taş ocaklarında yapılan çalışmalarda Cebeci, Gebze ve Ömerli bölgelerinden çıkartılan agregaların bitümlü karışım tasarımı sonucunda diğer bölgelerden elde edilen agregalara göre daha az optimum bitüm yüzdesine gerek duyulduğu görülmüştür. Çatalca bölgesinden elde edilen agreganın kireçtaşı olmasına rağmen yüksek absorpsiyona sahip olduğu yine aynı çalışmalar neticesinde görülmektedir [2,8] .

Söz konusu çalışmalar sonucunda, aşınma tabakası tip2 agrega gradasyonu için optimum bitüm miktarının %5 civarında olduğu tespit edilmiştir.

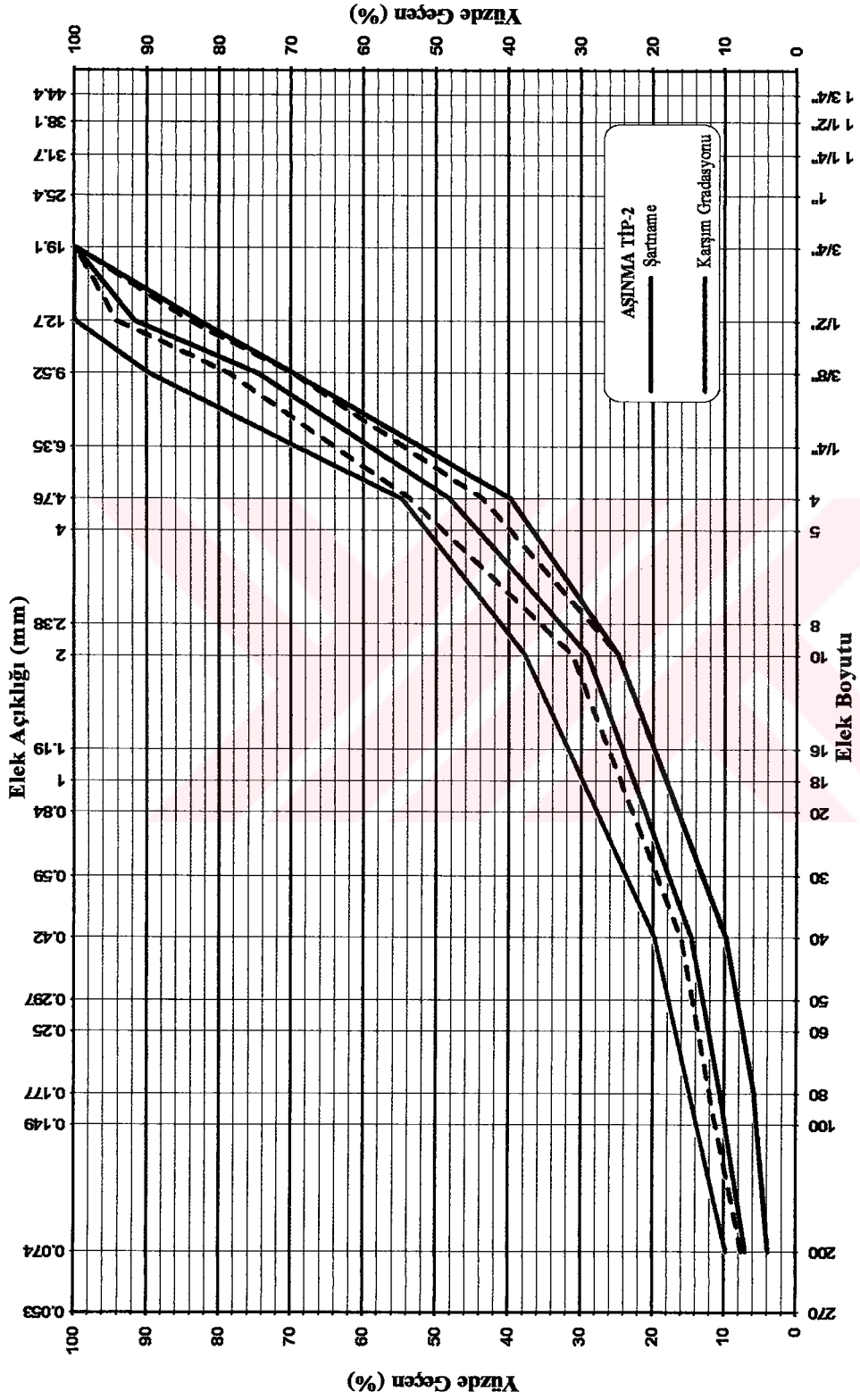
Aşınma tabakası tip2 agrega gradasyonu ile bitüm yüzdesi değerleri Tablo 6.1’de, seçilen gradasyon ve şartname sınırları da Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Aşınma tabakası tip 2 gradasyonu ve optimum bitüm yüzdesi

Elek No	mm	Aşınma Tip 2 (Şartname)	Aşınma Tip 2 (Dizayn)	Kalan %	Elekler Arası	
					%	Gr
1"	25,400					
3 / 4"	19,100	100	100,0	0	11	162
1 / 2"	12,700	83 – 100	89,3	10,7	15	232
3 / 8"	9,520	70 – 90	73,9	26,1	25	377
No. 4	4,760	40 – 55	48,9	51,1	22	325
No. 10	2,000	25 – 38	27,4	72,6	14	228
No. 40	0,425	10 – 20	12,3	87,7	4	60
No. 80	0,180	6 – 15	8,3	91,7	3	38
No. 200	0,075	4 - 10	5,8	94,2	6	88
Toplam					100	1510
Optimum Bitüm Yüzdesi, %					5,06 ± 0,3	

Agrega gradasyonu İstanbul Büyükşehir Belediyesi İsfalt A.Ş. merkez laboratuvarlarında Mahmutbey Asfalt Plenti için yapılan bitümlü sıcak karışım tasarımı esas alınarak tespit edilmiş ve çalışmada kullanılacak yüksek numuneleri hazırlamak için gereken miktarın 1510 gr olacağı hesaplanmıştır.

Aynı çalışmalar aşınma tabakası tip4 gradasyonu için de benzer şekilde yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.2’de gösterilmiştir. Çalışmada seçilen gradasyon ve şartname sınırları ise Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

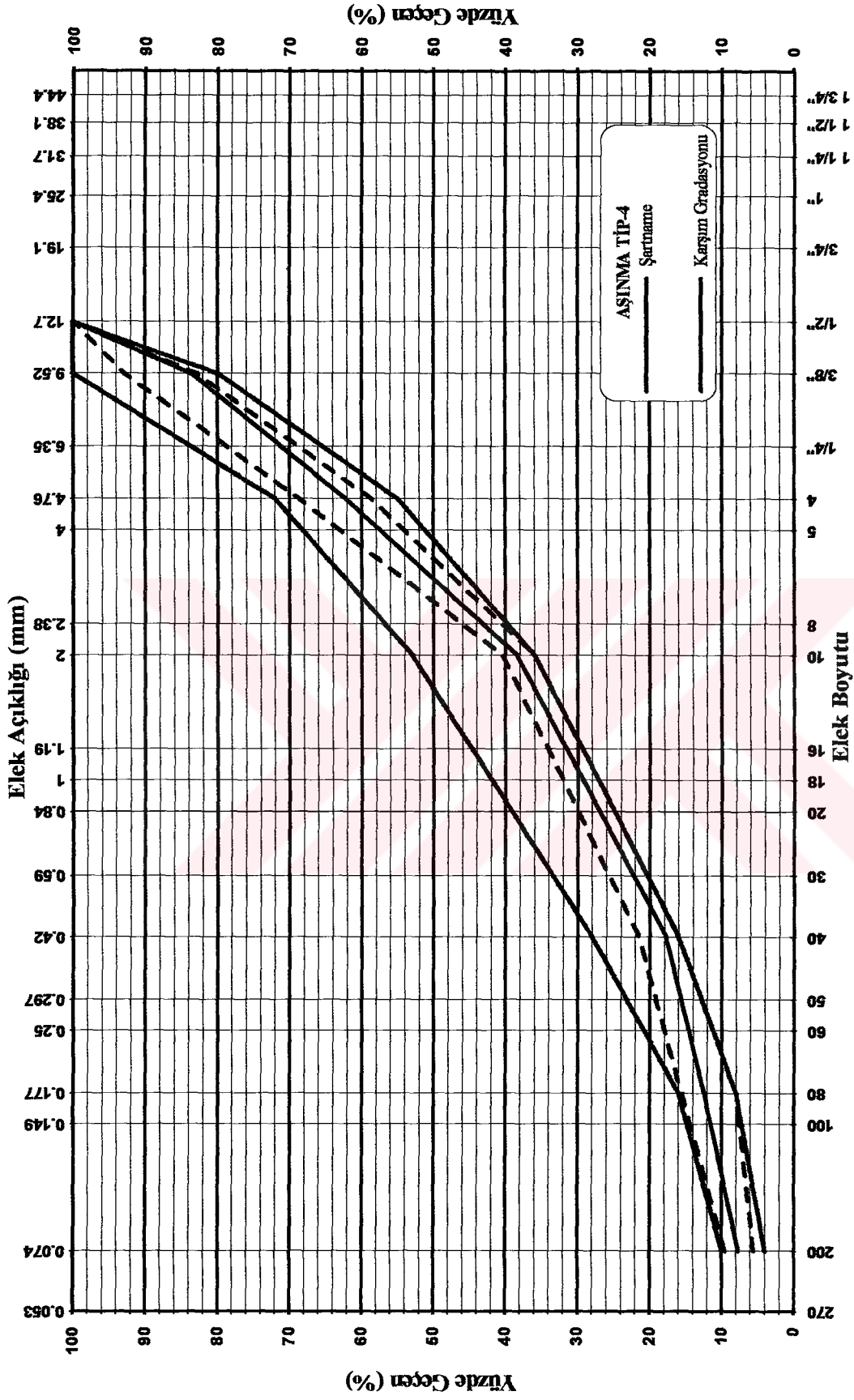


Şekil 6.1 Aşınma tabakası tip2 gradasyonu ve şartname sınırları

Tablo 6.2 Aşınma tabakası tip 4 gradasyonu ve optimum bitüm yüzdesi

Elek No.	mm	Aşınma Tip 4 (Şartname)	Aşınma Tip 4 (Dizayn)	Kalan %	Elekler Arası	
					%	gr
1"	25,400					
3 / 4"	19,100					
1 / 2"	12,700	100	100,0	0	11	232
3 / 8"	9,520	80 – 100	89,4	10,6	22	377
No. 4	4,760	55 – 72	67,8	32,2	28	325
No. 10	2,000	36 – 53	39,0	61	21	228
No. 40	0,425	16 – 28	17,5	82,5	6	60
No. 80	0,180	8 – 16	11,8	88,2	4	38
No. 200	0,075	4 - 10	8,2	91,8	8	88
Toplam					100	1510
Optimum Bitüm Yüzdesi, %					5,13 ± 0,3	

Tablo 6.3'te de yer aldığı gibi, binder tabakası tip3 gradasyonu için yapılan sıcak karışım dizaynlarında kullanılan optimum bitüm yüzdesinin aşınma tabakalarına göre daha az olduğu görülmektedir. Optimum bitüm yüzdesi aşınma tabakaları tip2 ve tip4 için 5,06 ile 5,13 civarında iken, binder tabakası tip3 için ise 4,66 civarında hesaplanmıştır. Bunun temel nedeni binder tabakası tip3'te kullanılan gradasyonda iri agrega miktarının daha fazla olması ve maksimum dane boyutunun büyüklüğüdür. Yüksek numune üretiminde binder tabakası tip3 için seçilen gradasyonu ve şartname sınırları Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



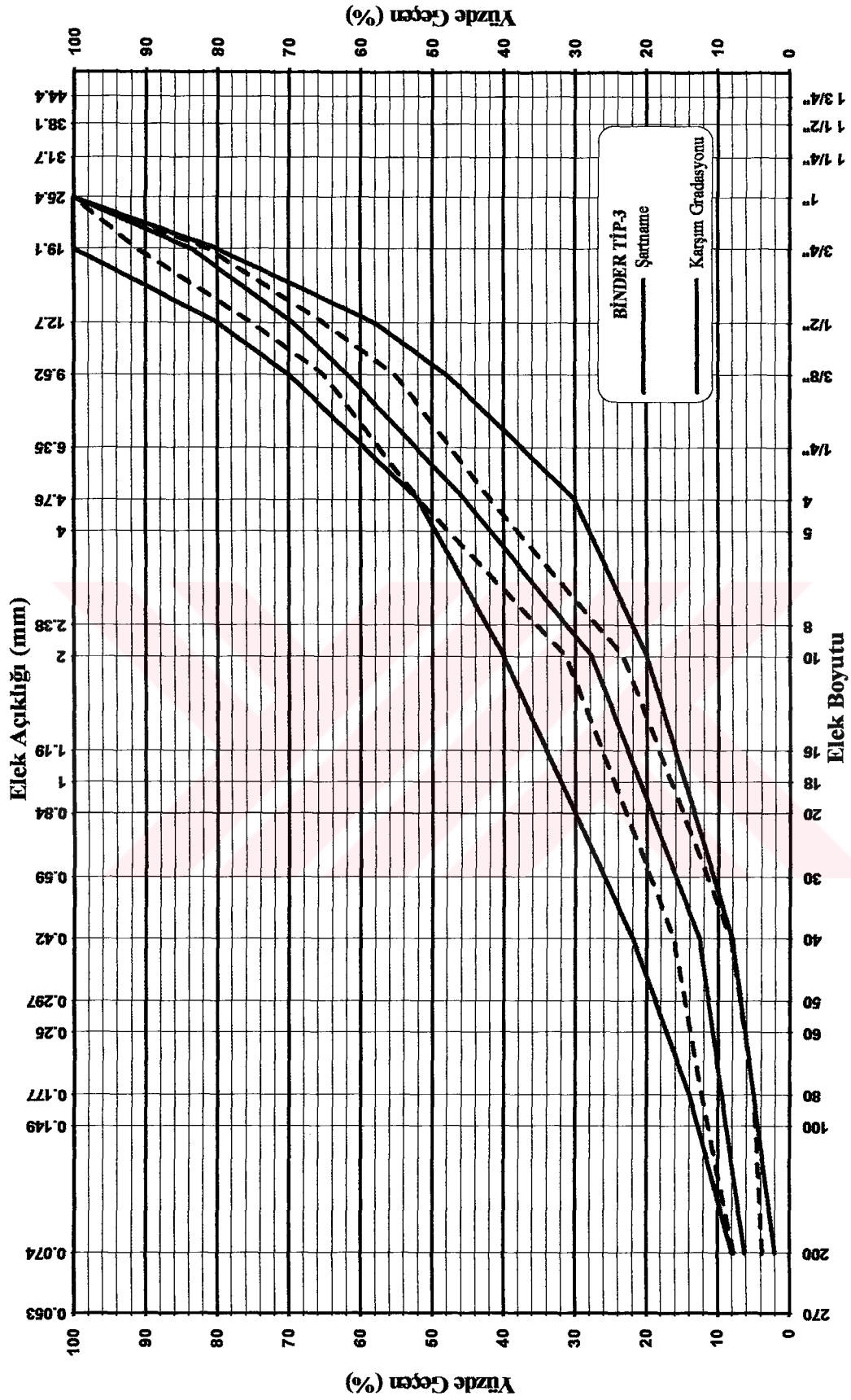
Şekil 6.2 Aşınma tabakası tip4 gradasyon ve şartname sınırları

Tablo 6.3 Binder tabakası tip 3 gradasyonu ve optimum bitüm yüzdesi

Elek No.	mm	Binder Tip 3 (Şartname)	Binder Tip 3 (Dizayn)	Kalan %	Elekler Arası	
					%	gr
1"	25,400	100	100,0	0	14	208
3 / 4"	19,100	80 – 100	86,2	13,8	16	242
1 / 2"	12,700	58 – 80	70,2	29,8	10	151
3 / 8"	9,520	48 – 70	60,2	39,8	13	201
No. 4	4,760	30 – 52	46,9	53,1	20	295
No. 10	2,000	20 – 40	27,3	72,7	15	228
No. 40	0,425	8 – 22	12,2	87,8	4	59
No. 80	0,180	5 – 14	8,3	91,7	3	38
No. 200	0,075	2 - 8	5,8	94,2	5	88
Toplam					100	1510
Optimum Bitüm Yüzdesi, %					4,66 ± 0,3	

6.1.1 Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Çalışmada kullanılan agregalar daha önce de belirtildiği gibi cebeci bölgesindeki taş ocaklarından temin edilmiştir. Karışımda kullanılan iri ve ince agreganın özgül ağırlıkları ve su absorpsiyon deneyleri karışımlar hazırlanmadan önce her tipinde kullanılacak agregalara ayrı ayrı yapılarak bulunan sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir. Aşınma tabakası tip2 kaba agregalar özgül ağırlık ve su absorpsiyon değerleri Tablo 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3 BİNDER tabakası tip3 gradasyonu ve şartname sınırları

Tablo 6.4 Aşınma tabakası tip2 kaba agregâ özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu

Sembol	Açıklama	Deney 1	Deney 2	Ortalama
A	Kurutulmuş Malzeme Ağırlığı (gr)	988,1	981,9	
B	Doygun Kuru Yüzeyli Malzeme Ağırlığı (gr)	991,1	985,0	
C	Suya Doymun Malzemenin Sudaki Ağırlığı (gr)	622,7	619,5	
A / (B-C)	Hacim Özgöl Ağırlığı (Kuru)	2,682	2,686	2,684
B / (B-C)	Hacim Özgöl Ağırlığı (Doygun Kuru Yüzeyli)	2,690	2,695	2,693
A / (A-C)	Zahiri (Görünür) Özgöl Ağırlık	2,704	2,709	2,707
(B-A)/A*100	Su Absorpsiyonu (%)	0,304	0,316	0,3

Özgöl ağırlık ve su emme (absorpsiyon) değerleri ASTM C 127-59 ve TS 3526 'ye uygun olarak yapılan çalışmalar sonucunda elde edildi. İri agregâ için yapılan çalışmada, yıkanmış ve kurutulmuş malzemenin 4,0 mm'lik elek üzerinde kalan kısmından etüvden çıkmış haldeki kuru ağırlığı (A, gr), doymun yüzey kuru durumundaki ağırlığı (B, gr) ve sudaki ağırlığı (C, gr) saptandı.

Kuru haldeki hacim özgöl ağırlığı, doymun yüzeyli hacim özgöl ağırlığı, zahiri özgöl ağırlığı ve su emme yüzdesi önceden tespit edilmiş miktarlar ilgili formüllerde yerine konarak hesaplandı.

Yapılan çalışmalar iki defa tekrarlanarak ortalamaları esas alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda çıkan iki değer karşılaştırılarak aradaki farkın şartnamelerde belirtilen limitleri aşmadığına dikkat edildi (Bu farkın 0,02 ya da daha küçük bir değer olması gerekmektedir).

Tablo 6.5 Aşınma tabakası tip2 ince agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu

Sembol	Açıklama	Deney 1	Deney 2	Ortalama
A	Kurutulmuş Malzeme Ağırlığı (gr)	491,4	492,2	
B	Doygun Kuru Yüzeyli Malzeme Ağırlığı (gr)	500,0	500,0	
C	Volumetrik Kap, Su ve İnce Agrega Ağırlığı (gr)	1002,58	1006,86	
D	Volumetrik Kabin Su Dolu Ağırlığı (gr)	690,25	693,25	
E	Volumetrik Kabin Boş Ağırlığı (gr)	192,25	195,55	
$A / (B+D-C)$	Hacim Özgül Ağırlığı (Kuru)	2,618	2,641	2,630
$B / (B+D-C)$	Hacim Özgül Ağırlığı (Doygun Kuru Yüzeyli)	2,664	2,683	2,674
$A / (A+D-C)$	Zahiri (Görünür) Özgül Ağırlık	2,744	2,756	2,750
$(B-A)/A*100$	Su Absorpsiyonu (%)	1,75	1,58	1,7

Kaba agrega çalışmalarında bu fark hem aşınma tabakası tip2 ve tip4 hem de binder tabakası tip3 için belirtilen şartları sağlamaktadır.

Aşınma tabakası tip 4 kaba ve ince agrega özgül ağırlığı ve su emme (absorpsiyon) değerleri Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de gösterilmiştir.

İnce agrega için yapılan çalışmalar kapsamında, yıkanmış ve kurutulmuş ince malzemeden 500 gr alınıp, ince agrega özgül ağırlığı piknometresine konarak birlikte tartıldı.

Tablo 6.6 Aşınma tabakası tip4 kaba agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu

Sembol	Açıklama	Deney 1	Deney 2	Ortalama
A	Kurutulmuş Malzeme Ağırlığı (gr)	987,8	996,4	
B	Doygun Kuru Yüzeyle Malzeme Ağırlığı (gr)	991,0	999,7	
C	Suya Doygun Malzemenin Sudaki Ağırlığı (gr)	623,4	628,0	
A / (B-C)	Hacim Özgül Ağırlığı (Kuru)	2,687	2,681	2,684
B / (B-C)	Hacim Özgül Ağırlığı (Doygun Kuru Yüzeyle)	2,696	2,690	2,693
A / (A-C)	Zahiri (Görünür) Özgül Ağırlık	2,711	2,705	2,708
(B-A)A*100	Su Absorpsiyonu (%)	0,324	0,331	0,3

Daha sonra piknometre yarısına kadar suyla doldurularak 24 saat bekletildi. Bu süre sonunda piknometre vakuma bağlanarak 30 dakika süreyle havası emildi. Kendi haline bırakılan malzemenin iyice çöktüğü gözlemlendikten sonra piknometre taşınca kadar suyla doldurularak hava kabarcığı kalmayacak şekilde kapağı kapatıldı. Bu şekilde 90 dakika 25°C'lik su banyosunda bekletildikten sonra piknometre iyice kurutularak 0,1 gr duyarlı terazide tartıldı.

Bulunan değerler ilgili formüllerde yerine konarak hesaplar yapılarak özgül ağırlık değeri bulunmuş oldu.

Bu çalışmalar iki kez tekrar edildi ve ortalaması ince agreganın özgül ağırlığı olarak kaydedildi. Bu iki çalışma sonuçları arasındaki fark şartnamelerde belirtilen sınırlar içerisinde kalmaktadır.

Tablo 6.7 Aşınma tabakası tip4 ince agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu

Sembol	Açıklama	Deney 1	Deney 2	Ortalama
A	Kurutulmuş Malzeme Ağırlığı (gr)	493,5	493,9	
B	Doygun Kuru Yüzeyle Malzeme Ağırlığı (gr)	500,0	500,0	
C	Volumetrik Kap, Su ve İnce Agrega Ağırlığı (gr)	999,43	956,00	
D	Volumetrik Kabin Su Dolu Ağırlığı (gr)	685,95	641,00	
E	Volumetrik kabin Boş Ağırlığı (gr)	188,00	143,75	
$A / (B+D-C)$	Hacim Özgül Ağırlığı (Kuru)	2,635	2,670	2,652
$B / (B+D-C)$	Hacim Özgül Ağırlığı (Doygun Kuru Yüzeyle)	2,681	2,703	2,692
$A / (A+D-C)$	Zahiri (Görünür) Özgül Ağırlık	2,762	2,761	2,761
$(B-A)A*100$	Su Absorpsiyonu (%)	1,75	1,24	1,5

İnce agregaların özgül ağırlığının hesabı için yapılan çalışmada, piknometre önce boş olarak tartıldı ve gram cinsinden kaydedildi. Piknometre suyla doluyken tartılarak ağırlık gram cinsinden kaydedildi. Daha sonra piknometre içindeki kuru numuneyle birlikte tartılarak ağırlığı gram cinsinden yazıldı.

Son işlem olarak ta içinde numune bulunan piknometrenin, numune üzerinde kalan kısmı suyla doldurulduktan sonra ağırlığı gram cinsinden yazılarak tartım işlemi tamamlanmış oldu. Binder tabakası tip3 gradasyonu için iri agrega ve ince agreganın özgül ağırlığı ile su absorpsiyonu değerleri Tablo 6.8 ile Tablo 6.9'da, aşınma ile binder tabakaları filler özgül ağırlığı ise Tablo 6.10'da gösterilmiştir.

Tablo 6.8 Binder tabakası tip3 kaba agregâ özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu

Sembol	Açıklama	Deney 1	Deney 2	Ortalama
A	Kurutulmuş Malzeme Ağırlığı (gr)	995,4	993,3	
B	Doygun Kuru Yüzeyli Malzeme Ağırlığı (gr)	999,0	996,9	
C	Suya Doygun Malzemenin Sudaki Ağırlığı (gr)	628,7	626,8	
A / (B-C)	Hacim Özgül Ağırlığı (Kuru)	2,688	2,684	2,686
B / (B-C)	Hacim Özgül Ağırlığı (Doygun Kuru Yüzeyli)	2,698	2,694	2,696
A / (A-C)	Zahiri (Görünür) Özgül Ağırlık	1,714	1,710	1,712
(B-A)A*100	Su Absorpsiyonu (%)	0,36	0,36	0,4

İnce agreganın su emme (absorpsiyon) yüzdesi, numunenin doygün yüzey kuru haldeki ağırlığıyla kuru ağırlığı arasındaki farkın numunenin kuru ağırlığına bölünmesiyle bulunur. Doygun yüzey kuru hali ince agreganın koyu (ıslak) renkten açık (kuru) renge geçmeye başladığı andan sonrasidir.

Gözle karar verilemeyen durumlarda ise kesik koni ve kesme yöntemleri uygulanır. (TS 3526) Kesik koni yönteminde ince agregâ konik kabın içine yerleştirilerek üzeri 25 kez tokmaklanır. Kalıp dik olarak kaldırıldığında nem fazlaysa ince agregâ konik şeklini muhafaza eder. Bu durumda kurutma işlemi sürdürülür.Konikliğin serbestçe bozulması agreganın doygün yüzey kuru hale geldiğini ifade eder. Bozulma anında malzemenin tartılması halinde doygün yüzey kuru ağırlık elde edilmiş olacaktır.

Özgöl ağırlık değerleri hesaplama ile çıkan üç ondalık hanesi olan rakamlar ile rapor edilir. Absorbsiyon değeri ise bir ondalıklı yüzde değer olarak (% 0,1 hassasiyetinde) rapor edilmektedir [5,9,11] .

Yüksek numune üretimi amacıyla Cebeci bölgesindeki taş ocaklarından alınan agregalardan 1 No.'lu (5mm – 14mm arası) agrega, ile 2 No.'lu (14mm - 19 mm arası) agrega yassılık indeksi tayini Tablo 6.10 ve Tablo 6.11'de gösterilmiştir.

Tablo 6.9 Binder tabakası tip3 ince agrega özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu

Sembol	Açıklama	Deney 1	Deney 2	Ortalama
A	Kurutulmuş Malzeme Ağırlığı (gr)	490,8	491,5	
B	Doygun Kuru Yüzeyli Malzeme Ağırlığı (gr)	500,0	500,0	
C	Volumetrik Kap, Su ve İnce Agrega Ağırlığı (gr)	1004,82	940,62	
D	Volumetrik Kabin Su Dolu Ağırlığı (gr)	692,84	625,36	
E	Volumetrik K2,688abın Boş Ağırlığı (gr)	194,90	130,32	
$A / (B+D-C)$	Hacim Özgöl Ağırlığı (Kuru)	2,610	2,660	2,635
$B / (B+D-C)$	Hacim Özgöl Ağırlığı (Doygun Kuru Yüzeyli)	2,659	2,707	2,683
$A / (A+D-C)$	Zahiri (Görünür) Özgöl Ağırlık	2,745	2,789	2,767
$(B-A)A*100$	Su Absorpsiyonu (%)	1,87	1,73	1,8

Tablo 6.10 1 No.'lu agrega yassılık indeksi tayini

Elek No.	Kalan (gr.)	Agrega Boyu	Şablon Boyu (mm)	Şablondan Geçen (gr)	Şablonda Kalan
3/4"		1" - 3/4"	13,34 x 63,0		
1/2"		3/4" – 1/2"	9,50 x 50,0		
3/8"	554,2	1/2" - 3/8"	6,70 x 37,5	171,6	382,6
1/4"	788,4	3/8" - 1/4"	4,75 x 25,0	164,1	624,3
Toplam : 1342,6				A	B
				335,7	1006,9
Yassılık İndeksi = $A/(A+B) \times 100$ = $335,7/(335,7 + 1006,9) \times 100 = 25$ Yassılık İndeksi : % 25					

Elek analizi uygulanan malzeme, Tablo 6.10 ve Tablo 6.11'de yer alan elekler kullanılarak, her elek arasından şartnamelerde belirtilmiş miktarda malzeme alındı.

Bu malzemenin ait olduğu elek açıklığından geçip geçmediği elle denenerek tespit edildi. Her grup malzemenin yassı danelerinin ağırlığı tartılarak kaydedildi.

Hesaplamalar için her bir grup malzemeye ait yassı dane yüzdesi, o grubun düzeltilmiş gradasyon yüzdesi ile çarpılarak, gerçek yüzde bulunmuş olur. Elek üstü malzeme, toplama göre %5'ten az ise dikkate alınmaz.

Malzeme gruplarına ait düzeltilmiş yassı dane yüzdeleri toplamı, malzemenin yassılık indeksi olarak tespit edilir (Deney Metodu : BS – 812) .

Tablo 6.11 2 No.'lu agrega yassılık indeksi tayini

Elek No.	Kalan (gr)	Agrega Boyu	Şablon Boyu (mm)	Şablondan Geçen (gr)	Şablonda Kalan
1"					
3/4"		1" - 3/4"	13,34 x 63,0		
1/2"	1010,9	3/4" – 1/2"	9,50 x 50,0	340,5	670,4
3/8"	676,6	1/2" - 3/8"	6,70 x 37,5	123,5	553,1
1/4"	127,8	3/8" - 1/4"	4,75 x 25,0	18,8	109,0
Toplam : 1815,3				A	B
				482,8	1332,5
Yassılık İndeksi = $A/(A+B) \times 100$ $= 482,8/(482,8 + 1332,5) \times 100 = 26,6$ Yassılık İndeksi : % 26,6					

6.2 Asfalt Çimentosu AC 60-70

Çalışmada kullanılan Asfalt Çimentosu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İsfalt A.Ş. merkez laboratuvarlarında Mahmutbey Asfalt plenti bitümlü sıcak karışımlar tasarımı için kullanılan, özellikleri ve optimum karışım yüzdesi söz konusu laboratuvarlarda önceden tespit edilmiş AC 60-70 asfalt çimentosudur [1,11,12] .

Bu laboratuvarlarda bitümlü sıcak karışım dizaynı için kullanılan AC 60-70 asfalt çimentosuna uygulanan deneyler ve sonuçları Tablo 6.12'de gösterilmiştir.

Tablo 6.12 Asfalt çimentosu AC 60 -70 özellikleri

Deneyin Adı	Birim	Deney Metodu	Şartname	Değeri
Özgöl Ağırlık (25 °C)		TSE-1087		1,028
Parlama Noktası (Cleveland)	°C	TSE-123	Min. 230	260
Penetrasyon (25 °C, 100gr)	0,1 mm	TSE-118	60 - 70	62
Yumuşama Noktası	°C	TSE-120	45 - 55	51,0
Düktilite (25 °C, 5cm/dak)	cm	TSE-119	Min. 100	+ 100
Isıtma Kaybı (163 °C, 3,2mm, 5 saat)	%	TSE-121	Max. 0,8	0,1
Isıtma Kaybından Sonraki Penetrasyon (25 °C)	%	TSE-118	Min. 54	74,0
Isıtma Kaybından Sonraki Düktilite (25 °C)	cm	TSE-119	Min. 50	+ 100

6.3 Traslı Çimento (TÇ 32,5)

(TS 26)

Çalışmada filler olarak, taş tozu yerine saflığı, granülometrik bileşimi ve asfalt çimentosuyla uyumu nedeniyle, Traslı Çimento kullanılmıştır.

Ülkemizde Türk Standartlarına göre çok değişik tipte çimento üretilmektedir. Traslı çimento, Portland çimentosu, Cürüflu çimento ve Puzolanik çimento bu tiplerden sadece bazılarıdır.

Doğal puzolan olarak ta bilinen Tras kelimesi, Almanyadaki Tras bölgesinden çıkarılan malzemelere atıf yapılarak genelleştirilmiş bir isimdir. Doğal puzolanların hemen hepsi volkanik kökenli malzemelerdir ve ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Traslı çimentonun bazı özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

- 28 günlük mukavemeti 32,5 N/mm²
- Barındırdığı klinker miktarı % 60-80
- Barındırdığı doğal puzolan miktarı % 20-40

Doğal puzolanlar kendi başlarına bağlayıcı olmamakla birlikte, kireç ve suyla birleştiklerinde hidrolik bir bağlayıcı olabilmektedirler [16] .

Numune üretiminde filler olarak kullanılan Traslı çimento, herhangi bir deneysel işleme tabi tutulmadan, bitümlü sıcak karışım tasarımı gradasyonunda belirlenen miktarlar esas alınarak karışıma katıldı.

7. NUMUNE HAZIRLAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Deney Malzemeleri ile Deney Gereçlerinin Temini

7.1.1 Agregâ Temini

Marshall yüksek briket numunesi hazırlamak için Cebeci Taş Ocaklarından No.1 (5mm - 14 mm.) agregâ, No.2 (14 mm. –19 mm.) Agregâ, No.3 (19 mm. – 25 mm.) agregâ ile taştözu (0 – 5mm.) olarak, toplam yaklaşık 1350 kg. malzeme temin edilerek, numune ön hazırlığı yapıldı.

Malzemenin tamamı aynı taş ocağından aşama aşama alınarak deneysel çalışmalarla paralellik teşkil edildi.

7.1.2 Bağlayıcı Temini

Bağlayıcı olarak Tüpraş (Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.) İzmit Rafinerisinde üretilen ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi İsfalt A.Ş. plantlerinde kullanılmak üzere getirtilen bitüm sınıflarından asfalt çimentosu AC 60 -70 temin edildi.

7.1.3 Filler Temini

Filler olarak kullanılmak üzere, bir adet (50 Kg.'lık) torba Traslı Çimento TÇ 32,5 (32,5 N/mm²) temin edildi.

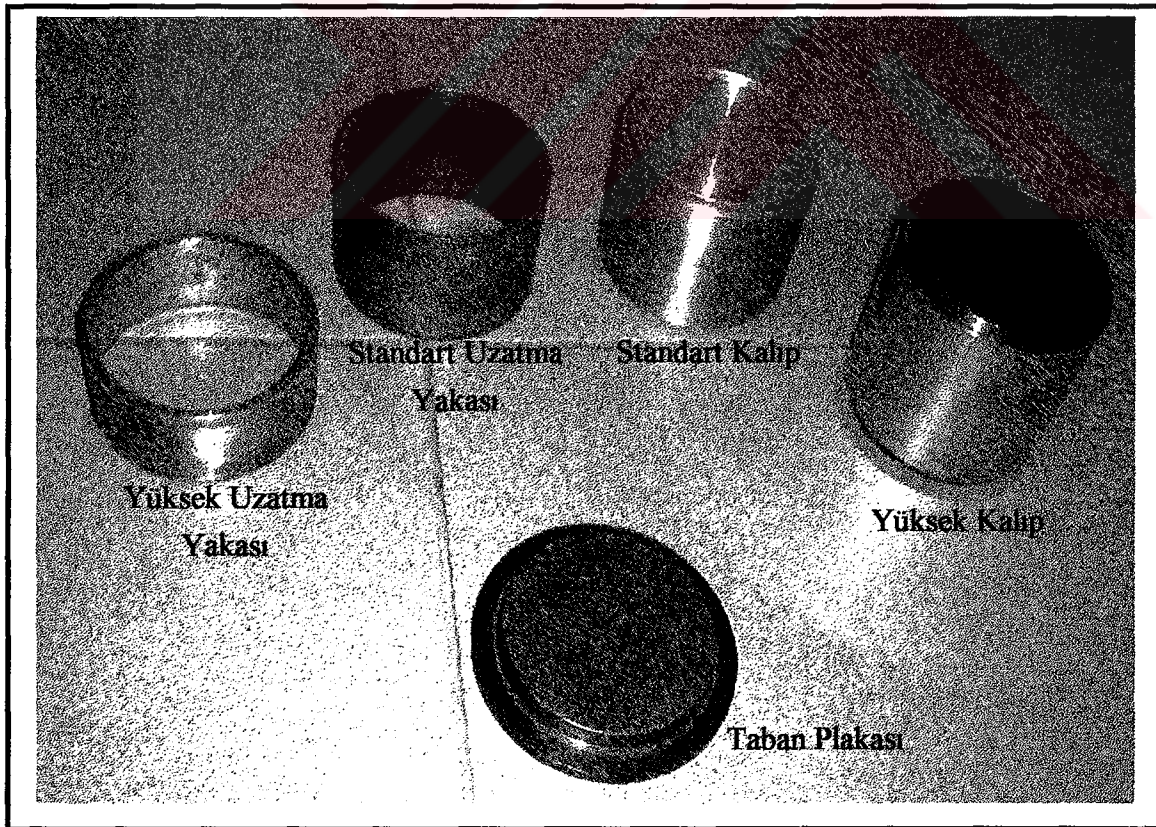
7.1.4 Özel Kalıp Temini

Standart yükseklikte olmayan numune üretimi için çapı 101,6mm, yüksekliği 107mm olan özel kalıplar ile buna uygun yükseklikte uzatma yakası (çapı 105mm, yüksekliği 45mm) imal edildi. İmal edilen özel kalıp ve uzatma yakası ile standart kalıp (çapı 101,6 mm, yüksekliği 76 mm) ve standart uzatma yakası (çapı 105 mm, yüksekliği 70 mm) ebatları Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

Tablo 7.1 Standart ve yüksek numune kalıp ebatları

Kalıp Şekli	Yükseklik (mm)	Çap (mm)
Standart Numune Kalıbı	76	101,6
Standart Numune Uzatma Yakası	70	105
Yüksek Numune Kalıbı	107	101,6
Yüksek Numune Uzatma Yakası	45	105

Özel kalıplarından 10 adet imal edilerek, numune üretim çalışmaları için hazır hale getirildi. Özel kalıpların Marshall kompaktörüne (otomatik kompaktör) sığabilmesi için uzatma yakaları standart uzatma yakalarından daha kısa imal edilmiştir. Standart kalıp, standart uzatma yakası ile yüksek numune kalıp ve uzatma yakası Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Marshall numuneleri standart ve yüksek kalıpları

7.2 Numunelerin Üretilmesi

Yüksek ve standart numune üretimi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İsfalt A.Ş. merkez laboratuvarlarında, aşağıdaki adımlar takip edilerek, aynı malzemelerin eşit şartlarda karıştırılması ile gerçekleştirildi.

7.2.1 Agreganın Elenmesi

Temin edilen malzeme İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı laboratuvarları ile İ.T.Ü. Kimya Mühendisliği laboratuvarlarında elenerek, istenen gradasyonlara göre tasnif edildi. Bu tasnif KGM Binder tabakası agrega karışım gradasyonlarından tip3 ile KGM Aşınma tabakası agrega karışım gradasyonları tip2 ve tip4 esas alınarak yapıldı. Agregada gradasyonları ve diğer özellikleri 6. bölümde geniş bir şekilde grafik ve tablolarda yer almıştır.

7.2.2 Malzemenin Yıkınması ve Kurutulması

Çalışmada kullanılan iri ve ince agrega malzeme itina ile yıkanarak, agrega içerisinde bulunması muhtemel zararlı maddeler ve taş tozlardan arındırıldı. Böylelikle bitümlü karışımların performansında önemli bir rol oynayan filler malzemesinin (Traslı Çimento) karışımında hassas bir şekilde yer alması sağlandı.

Yıkanan malzeme, sıcaklığı kontrol edilebilir etüvlerde 24 saat süreyle bekletilerek, kurutuldu ve numune üretimi için hazır hale getirildi.

7.2.3 Agregada Tartımları

Yüksek numune üretimi için gradasyona uygun miktarlar standart numunelere göre orantılı bir şekilde arttırılarak belirlendi. Toplam ağırlığı 1510 gr olacak şekilde, her bir elek üstünde kalan agrega miktarları hesaplanarak tartım işlemi tamamlandı. Her bir tip için kullanılan miktarlar Tablo 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

7.2.4 Karışımın Hazırlanması

Aşınma tabakası tip2, tip4 ve binder tabakası tip3 gradasyon değerlerine uygun olarak belirlenmiş bulunan kaba agrega, ince agrega ve filler malzemesi her bir numune için ayrı bir tepside karıştırılarak, önceden 160 °C ısıtılmış olan etüve

yerleştirildi. Karışım oranları farklı kaplama tabakaları tiplerine göre önceden tespit edilmiş bulunan asfalt çimentosu AC 60–70 malzemesi de ısıtılmak üzere ısıtma plakası üzerine yerleştirildi.

Isıtma plakası üzerinde 160 °C'ye kadar ısıtılan asfalt çimentosu (AC 60–70) aynı sıcaklıktaki agrega ile birlikte bir mikser içerisinde, şartnamelere uygun olarak, karıştırılıp sıcak kalıplara dökülmek üzere hazır hale getirildi.

7.2.5 Numunelerin Sıkıştırılması

Hazır haldeki karışımın tümü, önceden şartnamelere uygun olarak ısıtılmış kalıplara bir düzen içerisinde dökülerek, sıcak spatula yardımıyla karıştırıldı ve yüzeyi düzeltildi. Malzemenin yapışmaması için, kalıbın dibine ve üstüne uygun şekilde kesilmiş kağıtlar yerleştirildi.

Kalıp içinde düzeltilmiş olan karışımlar daha sonra sıkıştırma tabanı üzerine yerleştirildi ve gruplarına bağlı olarak, değişik sayıda (50 darbe ile 95 darbe arası, 45,72 cm yükseklikten düşürülen 4,536 kg ağırlığındaki) tokmak darbesi, uygulanarak sıkıştırıldı [2,9] .

Taban plakası ve üst yaka (uzatma yakası) çıkarılarak kalıp ters çevrildi ve yeniden sıkıştırma tabanı üzerine yerleştirilip aynı darbe sayısı uygulandı. Böylece sıkıştırma işlemi tamamlanarak, numune hazır hale getirilmiş oldu.

7.2.6 Numunelerin Kalıptan Çıkarılması ve Kodlanması

İki yüzüne eşit darbe sayısı uygulanan numune, sıkıştırma tabanından alınarak, şartnamelere uygun olarak belirli bir süre kalıp içerisinde bekletildi. Süresi tamamlanan numuneler numune çıkarıcısına yerleştirilerek dikkatlice kalıptan çıkartıldı. Çıkarılan numuneler tabi tutuldukları darbe sayıları ile tabaka ve tip sınıflarına göre kodlanarak, uygun gruplara ayrıldı. Daha sonra yükseklikleri üç farklı yerden ölçülerek kaydedildi ve testlere tabi tutulmak üzere, temiz bir yere yerleştirildi. Yüksek numuneler ile standart numunelerin, yükseklikleri, özgül ağırlıkları ve diğer özellikleri Tablo 7.2, Tablo 7.3 ve Tablo 7.4'te gösterilmiştir.

Tablo 7.2 Aşınma tabakası tip2 numune yükseklikleri ve özgül ağırlıkları

SIRA NO:	Nümune Kodu	Agrega Ağırlığı (Gr.)	Bitüm Yüzdesi (%)	Darbe Sayısı (Ad.)	NÜMUNE YÜKSEKLİĞİ (mm)				NÜMUNE AĞIRLIĞI (Gr.)		V (A - B) Nümune Hacmi (cm ³)	I (A/V) Pratik Özgül Ağırlık (Gr/cm ³)
					1	2	3	ORT.	(A) Havada	(B) Suda		
STANDART BOYUTLU NÜMUNELER KONTROL GRUBU												
1	K01-4	1150	5,06	50	64,50	64,60	65,20	64,77	1198,90	694,50	504,40	2,377
2	K01-5	1150	5,06	50	64,00	64,10	64,60	64,23	1200,10	698,20	501,90	2,391
3	K01-6	1150	5,06	50	65,00	64,10	64,80	64,63	1203,70	697,20	506,50	2,377
YÜKSEK BOYUTLU - DEĞİŞKEN DARBELİ NÜMUNELER TEST GRUBU												
4	201-4	1510	5,06	50	85,70	85,65	85,60	85,65	1573,80	907,76	666,04	2,363
5	201-5	1510	5,06	50	85,00	85,20	84,80	85,00	1577,90	910,50	667,40	2,364
6	201-6	1510	5,06	50	85,05	85,35	85,65	85,35	1576,80	910,84	665,96	2,368
7	202-4	1510	5,06	55	85,25	85,00	85,50	85,25	1575,60	908,78	666,82	2,363
8	202-5	1510	5,06	55	84,85	84,80	84,90	84,85	1571,90	907,92	663,98	2,367
9	202-6	1510	5,06	55	84,80	84,90	84,45	84,72	1576,00	913,36	662,64	2,378
10	203-4	1510	5,06	60	85,00	84,95	85,65	85,20	1576,40	910,20	666,20	2,366
11	203-5	1510	5,06	60	84,60	84,65	84,80	84,68	1574,50	907,84	666,66	2,362
12	203-6	1510	5,06	60	84,15	83,65	84,00	83,93	1570,00	911,48	658,52	2,384
13	204-4	1510	5,06	65	83,65	84,20	83,80	83,88	1578,10	916,12	661,98	2,384
14	204-5	1510	5,06	65	83,40	83,50	83,85	83,58	1569,10	908,56	660,54	2,375
15	204-6	1510	5,06	65	83,55	84,20	83,95	83,90	1575,80	911,40	664,40	2,372
16	205-4	1510	5,06	70	82,45	82,00	82,60	82,35	1577,60	923,74	653,86	2,413
17	205-5	1510	5,06	70	83,70	82,50	82,60	82,93	1578,20	921,58	656,62	2,404
18	205-6	1510	5,06	70	83,15	82,95	82,90	83,00	1576,60	918,72	657,88	2,396
19	206-4	1510	5,06	75	83,15	82,85	83,00	83,00	1574,80	914,16	660,64	2,384
20	206-5	1510	5,06	75	83,00	83,00	82,80	82,93	1578,70	889,60	689,10	2,291
21	206-6	1510	5,06	75	84,00	83,80	83,65	83,82	1578,10	913,74	664,36	2,375
22	207-4	1510	5,06	80	81,45	81,75	82,15	81,78	1572,50	921,08	651,42	2,414
23	207-5	1510	5,06	80	81,00	81,00	81,35	81,12	1573,80	924,32	649,48	2,423
24	207-6	1510	5,06	80	81,55	81,20	81,85	81,53	1572,40	921,06	651,34	2,414
25	208-4	1510	5,06	85	80,80	80,55	80,75	80,70	1570,20	925,50	644,70	2,436
26	208-5	1510	5,06	85	81,30	80,75	81,15	81,07	1564,70	917,74	646,96	2,419
27	208-6	1510	5,06	85	81,25	80,65	80,70	80,87	1569,10	920,88	648,22	2,421
28	209-4	1510	5,06	90	81,05	80,75	80,55	80,78	1568,80	922,82	645,98	2,429
29	209-5	1510	5,06	90	80,45	80,75	80,85	80,68	1573,40	926,66	646,74	2,433
30	209-6	1510	5,06	90	81,00	81,65	81,30	81,32	1574,70	922,90	651,80	2,416
31	210-4	1510	5,06	95	82,35	81,85	82,35	82,18	1574,10	922,94	651,16	2,417
32	210-5	1510	5,06	95	82,10	82,20	82,45	82,25	1578,70	927,08	651,62	2,423
33	210-6	1510	5,06	95	82,20	81,95	82,25	82,13	1574,00	921,12	652,88	2,411

Tablo 7.3 Aşınma tabakası tip4 numune yükseklikleri ve özgül ağırlıkları

SIRA NO	Numune Kodu	Agrega Ağırlığı (Gr.)	Bitüm Yüzdesi (%)	Darbe Sayısı (Ad.)	NUMUNE YÜKSEKLİĞİ (mm.)				NUMUNE AĞIRLIĞI (Gr.)		V (A - B) Numune Hacmi (cm³)	I (AV) Pratik Özgül Ağırlık (Gr/cm³)
					1	2	3	ORT.	(A)	(B)		
									Havada	Suda		
STANDART BOYUTLU NÜMUNELER KONTROL GRUBU												
1	K01-1	1150	5,13	50	84,00	83,50	83,70	83,73	1203,00	898,80	604,20	2,386
2	K01-2	1150	5,13	50	84,10	83,50	83,20	83,60	1201,80	898,50	605,10	2,379
3	K02-3	1150	5,13	50	84,00	83,20	84,10	83,77	1199,50	893,70	605,80	2,371
YÜKSEK BOYUTLU - DEĞİŞKEN DARBELİ NÜMUNELER TEST GRUBU												
4	201-1	1510	5,13	50	83,20	83,00	83,80	83,27	1577,20	917,50	659,70	2,391
5	201-2	1510	5,13	50	84,15	83,80	84,35	84,10	1577,20	911,90	665,30	2,371
6	201-3	1510	5,13	50	83,75	84,15	83,85	83,85	1577,90	912,40	665,50	2,371
7	202-1	1510	5,13	55	82,80	83,25	82,70	82,92	1579,80	920,10	659,70	2,395
8	202-2	1510	5,13	55	84,25	83,65	84,35	84,08	1580,10	917,70	662,40	2,385
9	202-3	1510	5,13	55	83,00	83,05	83,25	83,10	1579,90	921,90	658,00	2,401
10	203-1	1510	5,13	60	81,90	82,00	82,10	82,00	1572,60	918,30	654,30	2,403
11	203-2	1510	5,13	60	81,75	81,65	82,20	81,87	1577,10	925,50	651,60	2,420
12	203-3	1510	5,13	60	82,30	82,45	82,00	82,25	1579,30	925,30	654,00	2,415
13	204-1	1510	5,13	65	82,80	82,35	82,00	82,32	1576,10	924,10	652,00	2,417
14	204-2	1510	5,13	65	82,35	81,90	81,60	81,95	1580,00	928,30	651,70	2,424
15	204-3	1510	5,13	65	81,35	82,90	81,70	81,98	1574,30	925,00	649,30	2,426
16	205-1	1510	5,13	70	82,00	81,55	82,15	81,90	1578,20	928,80	651,60	2,422
17	205-2	1510	5,13	70	81,75	82,35	82,50	82,20	1580,90	928,10	652,80	2,422
18	205-3	1510	5,13	70	81,75	82,80	81,95	82,17	1575,90	925,40	650,50	2,423
19	206-1	1510	5,13	75	81,35	80,90	81,35	81,20	1575,70	928,20	647,50	2,434
20	206-2	1510	5,13	75	80,75	81,80	80,85	81,07	1575,40	927,40	648,00	2,431
21	206-3	1510	5,13	75	81,20	81,95	81,15	81,43	1578,50	928,90	649,60	2,430
22	207-1	1510	5,13	80	81,35	81,05	81,40	81,27	1579,80	934,90	644,70	2,450
23	207-2	1510	5,13	80	81,15	81,45	81,10	81,23	1574,90	929,20	645,70	2,439
24	207-3	1510	5,13	80	81,75	81,80	82,00	81,78	1574,80	928,10	646,50	2,436
25	208-1	1510	5,13	85	81,20	82,05	81,75	81,67	1577,80	929,20	648,60	2,433
26	208-2	1510	5,13	85	80,55	81,00	80,70	80,75	1575,70	928,70	647,00	2,435
27	208-3	1510	5,13	85	81,00	80,25	81,00	80,75	1576,00	930,40	645,60	2,441
28	209-1	1510	5,13	90	81,10	80,65	81,35	81,03	1576,70	928,20	648,50	2,431
29	209-2	1510	5,13	90	81,00	81,20	81,90	81,37	1577,10	929,80	647,30	2,436
30	209-3	1510	5,13	90	82,20	80,45	81,25	81,30	1574,70	930,10	644,60	2,443
31	210-1	1510	5,13	95	81,80	81,15	81,10	81,28	1575,80	926,60	649,00	2,428
32	210-2	1510	5,13	95	81,00	80,85	81,55	81,13	1575,10	928,70	646,40	2,437
33	210-3	1510	5,13	95	80,55	81,00	80,85	80,80	1578,10	931,30	646,80	2,440

Tablo 7.4 Binder tabakası tip3 numune yükseklikleri ve özgül ağırlıkları

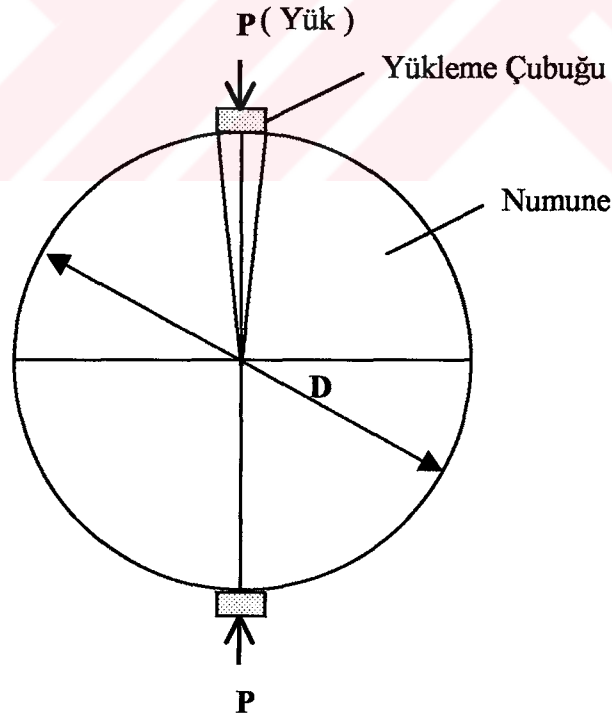
SIRA NO	Nümune Kodu	Agrega Ağırlığı (Gr.)	Bitüm Yüzdesi (%)	Darbe Sayısı	NÜMUNE YÜKSEKLİĞİ (mm.)				NÜMUNE AĞIRLIĞI (Gr.)		V (A - B) Nümune Hacmi (cm³)	I (A/V) Pratik Özgül Ağırlık (Gr/cm³)
					1	2	3	ORT.	(A)	(B)		
									Havada	Suda		
STANDART BOYUTLU NÜMUNELER KONTROL GRUBU												
1	K01-7	1150	4,66	50	62,00	62,50	62,00	62,17	1198,60	710,60	488,00	2,456
2	K01-8	1150	4,66	50	62,50	62,20	62,80	62,50	1193,30	703,50	489,80	2,436
3	K01-9	1150	4,66	50	63,20	63,00	62,30	62,83	1199,20	706,10	493,10	2,432
YÜKSEK - DEĞİŞKEN DARBELİ NÜMUNELER TEST GRUBU												
4	201-7	1510	4,66	50	82,30	82,60	82,25	82,38	1573,80	921,00	652,80	2,411
5	201-8	1510	4,66	50	83,05	83,05	82,95	83,02	1572,00	920,40	651,60	2,413
6	201-9	1510	4,66	50	83,00	83,45	83,55	83,33	1570,80	918,90	651,90	2,410
7	202-7	1510	4,66	55	82,70	82,75	82,95	82,80	1571,40	924,90	646,50	2,431
8	202-8	1510	4,66	55	82,85	83,00	82,80	82,88	1570,70	921,00	649,70	2,418
9	202-9	1510	4,66	55	83,05	82,80	83,10	82,98	1569,90	920,40	649,50	2,417
10	203-7	1510	4,66	60	80,60	81,10	80,55	80,75	1570,20	927,50	642,70	2,443
11	203-8	1510	4,66	60	81,20	82,00	81,60	81,60	1570,30	929,40	640,90	2,450
12	203-9	1510	4,66	60	82,00	81,35	81,55	81,63	1570,10	925,90	644,20	2,437
13	204-7	1510	4,66	65	81,85	81,35	81,05	81,42	1571,10	930,50	640,60	2,453
14	204-8	1510	4,66	65	81,65	82,50	82,45	82,20	1572,90	930,80	642,10	2,450
15	204-9	1510	4,66	65	81,00	80,90	80,80	80,90	1565,60	928,50	637,10	2,457
16	205-7	1510	4,66	70	80,00	80,05	80,35	80,13	1569,30	933,00	636,30	2,466
17	205-8	1510	4,66	70	81,15	80,95	81,35	81,15	1568,30	931,80	636,50	2,464
18	205-9	1510	4,66	70	80,35	80,75	80,00	80,37	1572,00	933,10	638,90	2,460
19	206-7	1510	4,66	75	81,25	81,45	81,60	81,43	1570,00	928,30	641,70	2,447
20	206-8	1510	4,66	75	81,35	81,00	81,50	81,28	1572,70	929,60	643,10	2,445
21	206-9	1510	4,66	75	81,60	82,20	81,70	81,83	1571,10	930,20	640,90	2,451
22	207-7	1510	4,66	80	82,75	82,70	82,50	82,65	1561,30	914,40	646,90	2,414
23	207-8	1510	4,66	80	82,00	81,40	81,75	81,72	1573,10	926,60	646,50	2,433
24	207-9	1510	4,66	80	82,20	81,50	82,15	81,95	1569,40	927,50	641,90	2,445
25	208-7	1510	4,66	85	82,35	82,10	82,00	82,15	1570,40	926,20	644,20	2,438
26	208-8	1510	4,66	85	82,30	82,05	82,35	82,23	1573,80	926,70	647,10	2,432
27	208-9	1510	4,66	85	82,40	82,60	82,85	82,62	1569,50	920,30	649,20	2,418
28	209-7	1510	4,66	90	84,00	84,65	84,05	84,23	1566,30	913,10	653,20	2,398
29	209-8	1510	4,66	90	83,75	84,35	84,00	84,03	1566,80	914,60	652,20	2,402
30	209-9	1510	4,66	90	83,20	82,80	82,95	82,98	1573,60	923,50	650,10	2,421
31	210-7	1510	4,66	95	80,80	81,20	81,00	81,00	1572,40	931,20	641,20	2,452
32	210-8	1510	4,66	95	81,05	81,20	81,50	81,25	1574,00	931,00	643,00	2,448
33	210-9	1510	4,66	95	82,45	82,25	83,35	82,68	1571,40	928,50	642,90	2,444

7.3 Deneysel Uygulamalar

7.3.1 Dolaylı (İndirekt) Çekme Testleri

(ASTM D - 4123)

Dolaylı çekme deneyi, laboratuarlarda hazırlanmış veya yol kaplamalarından karot kesme cihazıyla alınmış bitümlü karışım numunelerinin esneklik modülü değerlerinin saptanması amacıyla yapılır. Deney farklı sıcaklıklar, yükler, yükleme frekansları ve yükleme süreleri altında yapılır. Silindirik Marshall numunesinin çap düzlemi boyunca tekrarlı yük uygulanarak yapılan dolaylı çekme sonucu meydana gelen yatay deformasyon ölçülerek esneklik modülü tespit edilir. Elastisite modülü ile elastik deformasyon değerlerinin tespiti için Marshall numunelerine dolaylı çekme testi uygulanır. Sıcaklık, yükleme miktarı ve yükleme süresi önceden tespit edilerek deneye başlanır. Elastisite modülü değerleri, malzemelerin rölatif kalitesini değerlendirmeye, kaplama tasarımında veri elde etmeye ve analizler için girdi üretmeye yaramaktadır. Şekil 7.2’de dolaylı çekme testi gösterilmiştir [7,11,17,23] .



Şekil 7.2 Dolaylı çekme testi

Esneklik modülünün tespitinde yatay deformasyonlar sonucu tahmin edilen Poisson oranından yararlanır. Esneklik Poisson oranı, geri gelen yatay ve düşey yöndeki deformasyonların ölçülmesiyle de hesaplanabilir.

Deneyde her bir sıcaklık ve yükleme süresi için numunelere ait elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri ayrı ayrı belirlenir. Tahribatsız bir deney olduğundan kullanılan numuneler daha sonra Marshall deneyine tabi tutulabilir.

Elastisite modülü değerleri, malzemelerin rölatif kalitesini belirlemeye, kaplama tasarımında veri elde etmeye ve analizler için girdi üretmeye yaramaktadır. Bununla birlikte, esnek üstyapı kaplamaları mükemmel elastik ve homojen malzemeler olmadığı için, elastik teoriler ile yapılan analizler tam ve kesin sonuçlar vermeyebilir. Ancak bazı analizlerde üstyapının, tek tabakalı, homojen, izotropik, elastik vb. ön kabuller (Boussinesq) yapılarak hesaplama yoluna gidilir.

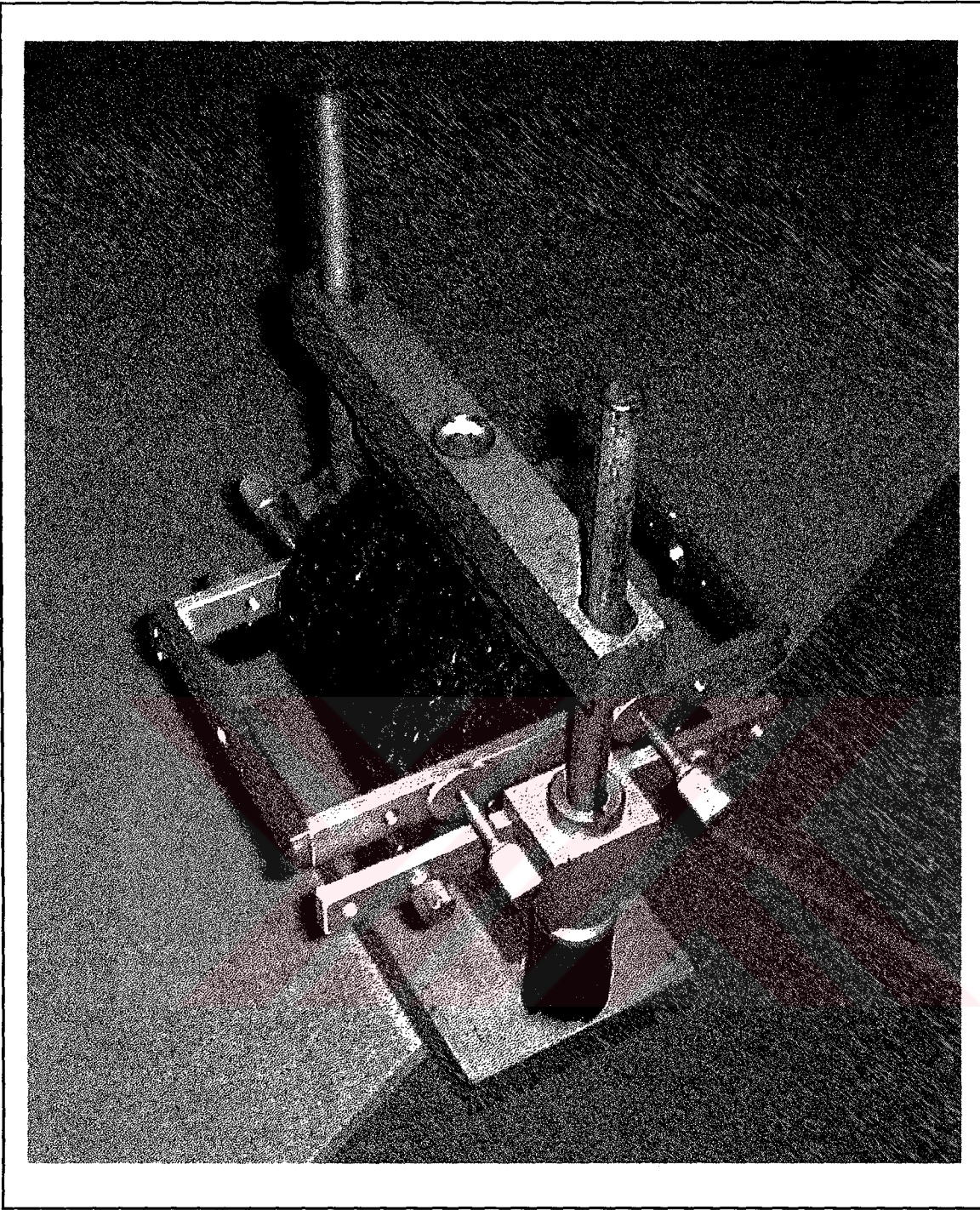
7.3.1.1 Dolaylı Çekme Deneyi

Bitümlü malzemelere, dolaylı çekme gerilmesi deneyi, yarı sinüzoidal (haversin) türünde basınç yükü uygulanarak yapılır. Yük silindirik asfalt numunesinin yan yüzeyine düşey olarak uygulanır ve deformasyon ölçümleri yükleme düzlemine dik düzlem üzerinde yapılır. Dolaylı çekme deneyinde uygulanan yükleme mekanizması Şekil 7.3'te gösterilmiştir.

Deformasyonlar Lineer Variable Differential Transducer (lineer değişken diferansiyel transdüser) (LVDT) yardımıyla ölçülür. Deney operatörü tarafından ayarlanabilir yükleme süresi genellikle 3 saniye arayla 5 ardışık yükleme yapılacak şekilde uygulanır.

Bu çalışmada değişken yükseklikteki (yüksek ve bölünmüş) numunelere aynı sıcaklık, yük, tahmini Poisson değeri ve yükleme periyodu gibi koşullar altında test uygulandı.

Deneyine ait test sıcaklığı, numune boyutları, uygulanan yük, yükleme periyotları ve diğer bilgiler Tablo 7.5'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3 Dolaylı çekme testi numune yerleştirme mekanizması

Yüklemeler sonucu okunan değerler kaydedilerek, numune 90 derece döndürülür ve aynı yükleme tekrar uygulanır. İki değer ortalaması elastisite modülü değeri olarak tespit edilir.

Deneyin tahribatsız olması nedeniyle, bir numuneye birden fazla dolaylı çekme deneyi farklı yük, süre veya sıcaklıklarda uygulanabilir.

Tablo 7.5 Dolaylı çekme deneyi test değişkenleri

Numune Yüksekliği (mm)	Değişken (yüksek – 84, bölünmüş – 38)
Numune Çapı (mm)	101,6
Deney Sıcaklığı (°C)	25
Tahmini Poisson Oranı	0,35
Yükleme Periyodu (Tekerrür Süresi, ms)	3000
Ön Yüklem Periyodu (ms)	1000
Yüklem Frekansı	5
Yüklem Hızı (ms)	80
Yük (N)	1500

Deneye başlamadan önce numunelerin yüzeyleri üzerine birbirine dik iki işaret çizgisi çizildi. İşaretlenen numuneler daha sonra tek tek otomatik ısı ayarlı bir hücreye yerleştirilerek, istenen sıcaklığa (25 °C) gelmesi için 24 saat bekletildi. Sıcaklık ölçümleri hücre içerisinde bulunan kukla (dummy) numune üzerindeki derece yardımıyla tespit edildi [11,13,14,17] .

İstenen sıcaklığa erişen numuneler deney ekipmanına yerleştirilerek sabitlendi ve ön hazırlık yüklemesi yapıldı. Ön yüklemeyle numunenin tam yerleşmesi ve hassas ayarların yapılabilmesi sağlanmaktadır. Numuneye 1500 N'luk bir yük, 300 ms boyunca, beş kez yarı sinüzoidal (haversin) olarak uygulandı. Yük uygulaması sonunda numuneye ait elastisite modülü ve elastik deformasyonlar ölçülerek hesaplandı. Dolaylı çekme deneyinden elde edilen elastisite modülü ve elastik deformasyon sonuçları Tablo 7.5, Tablo 7.6 ve Tablo 7.7'de gösterilmiştir.

Bu değerlerin tespiti için her numuneye iki kere dolaylı çekme deneyi uygulandı. İlk uygulama tamamlandıktan sonra, numune 90° döndürülerek, deney uygulaması

tekrarlandı. Elastisite modülü değeri olarak, bu iki uygulama sonucu okunan değerlerin ortalaması alındı.

Dolaylı çekme gerilmesi deneyi yüksek numunelerine uygulandıktan sonra numuneler ikiye bölünerek her bir bölünmüş numune yeniden test edildi.

Ortadan ikiye bölünmüş numunelerin her bir parçasına uygulanan dolaylı çekme deney sonuçları Ek B’de detaylı olarak, bilgisayar çıktı örnekleri ise Ek C’de ayrıca gösterilmiştir.

7.3.1.2 Hesaplama ve Sonuçlarının Gösterilmesi

Dolaylı çekme test sonunda elastisite modülü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E = \frac{P \times (\gamma + 0,27)}{h \times \Delta h} \quad (7.1)$$

E : Elastisite modülü (Mpa)

P : Uygulanan yük (kN)

γ : Poisson oranı

h : Numune yüksekliği (in)

Δh : Geri dönen deformasyon

Poisson oranı 25 °C’ deki deneyler için 0,35 alınır.

7.3.1.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yüksek numunelere uygulanan dolaylı çekme testleri sonunda, aşınma tabakası tip2 karışım gradasyonu elastisite modülünün sıkıştırma enerjisinin artışına bağlı olarak arttığı, 65-70 darbe seviyesinde maksimum değere ulaştığı ve bu değerden sonra tekrar düştüğü, 90 darbe seviyesinde tekrar yükseliş, 95 darbe seviyesinde ise düştüğü görülmektedir.

Aşınma tabakası tip 2 gradasyonu dolaylı çekme deney sonuçları Tablo 7.6’da, dolaylı çekme değerleri ise Şekil 7.4’te gösterilmiştir.

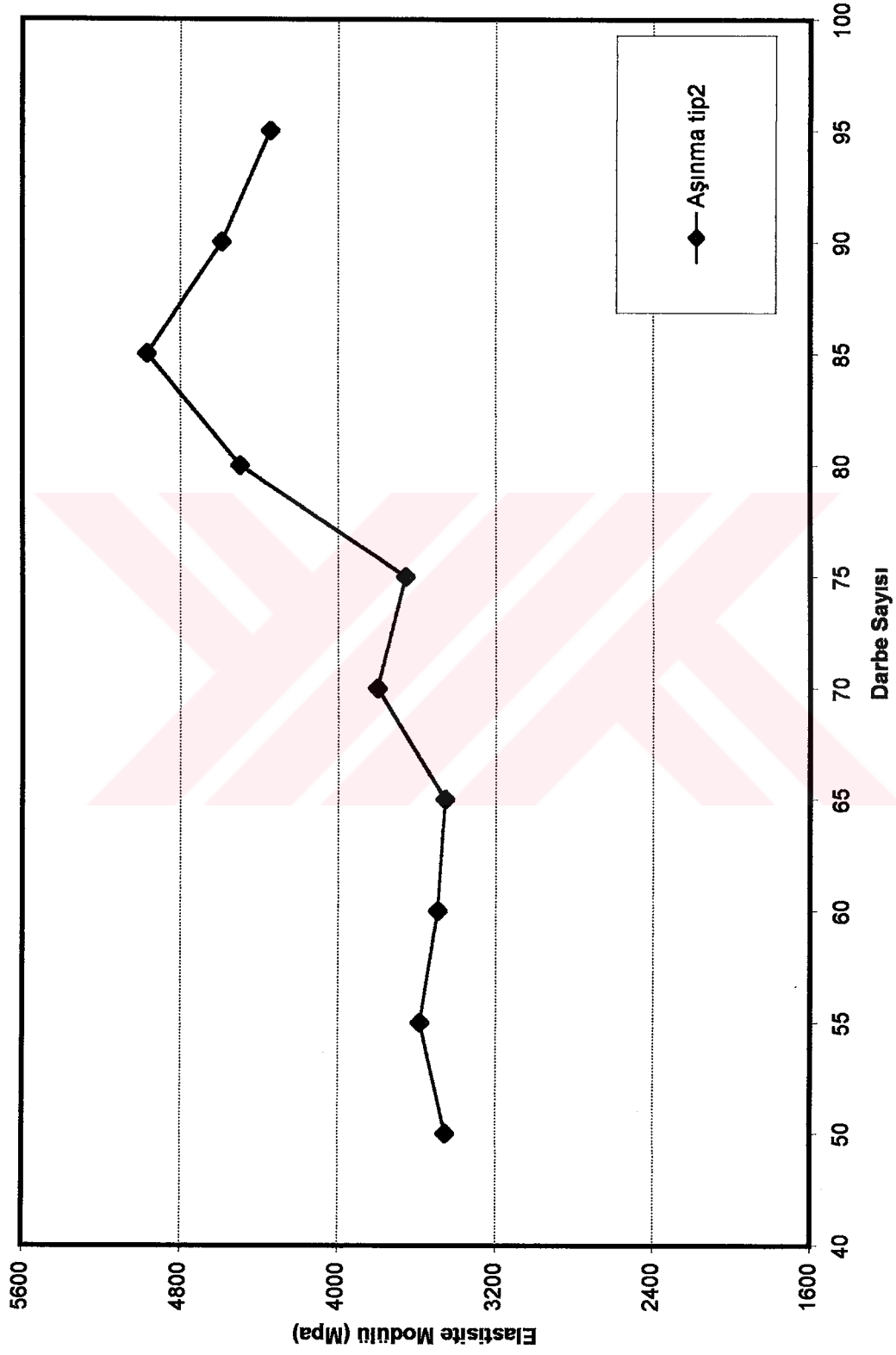
Tablo 7.6 Aşınma tabakası tip2 yüksek numune dolaylı çekme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastisite Modülü (Mpa)	Elastik Deformasyon ($\mu\epsilon$)
A2-50	50	85,3	3457	31
A2-55	55	84,9	3587	29
A2-60	60	84,6	3497	31
A2-65	65	83,8	3459	31
A2-70	70	82,8	3803	29
A2-75	75	83,3	3659	30
A2-80	80	81,5	4495	25
A2-85	85	80,9	4972	22
A2-90	90	80,9	4589	24
A2-95	95	82,2	4340	25

Aşınma tabakası tip4 gradasyonunda elastisite modülü değerleri sıkıştırma enerjisine bağlı olarak yükselmektedir. Bu artış 85 darbe seviyesinde maksimum değere ulaştıktan sonra enerji seviyesi arttıkça elastisite modülü değeri düşmektedir.

Aşınma tabakası tip4 gradasyonu dolaylı çekme deney sonuçları Tablo 7.7’de ve Şekil 7.5’te gösterilmiştir.

Binder tabakası tip3 gradasyonunda ise 65 darbe seviyesine kadar elastisite modülü değerleri enerji artışına bağlı olarak bir artış göstermektedir. Bu seviyeden sonra artış ve düşüş devam ederek, 90 darbe seviyesinde minimum bir düzeye indikten sonra yeniden yükselmektedir.



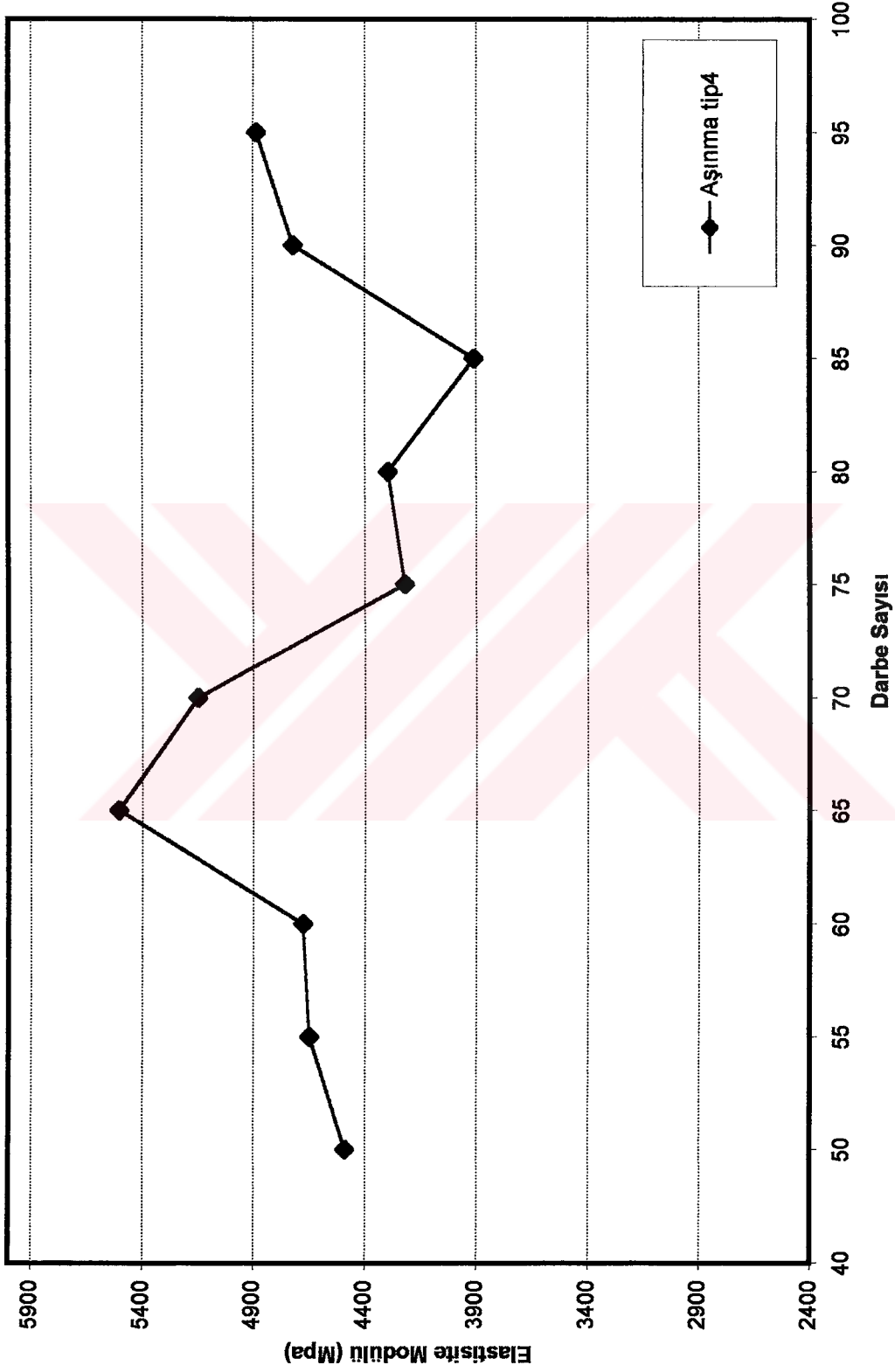
Şekil 7.4 Aşınma tabakası tip2 yüksek numune dolaylı çekme değerleri

Tablo 7.7 Aşınma tabakası tip4 yüksek numune dolaylı çekme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastisite Modülü (Mpa)	Elastik Deformasyon ($\mu\epsilon$)
A4-50	50	83,7	4490	24
A4-55	55	83,4	4649	23
A4-60	60	82,0	4679	23
A4-65	65	82,1	5507	20
A4-70	70	82,1	5150	21
A4-75	75	81,2	4221	27
A4-80	80	81,4	4298	26
A4-85	85	81,1	3910	28
A4-90	90	81,2	4721	24
A4-95	95	81,1	4886	23

Sıkıştırma enerjisinin her safhasında aşınma tabakası tip4 gradasyonu elastisite modülü değeri aşınma tabakası tip2 ve binder tabakası tip3 gradasyonuna göre daha yüksektir.

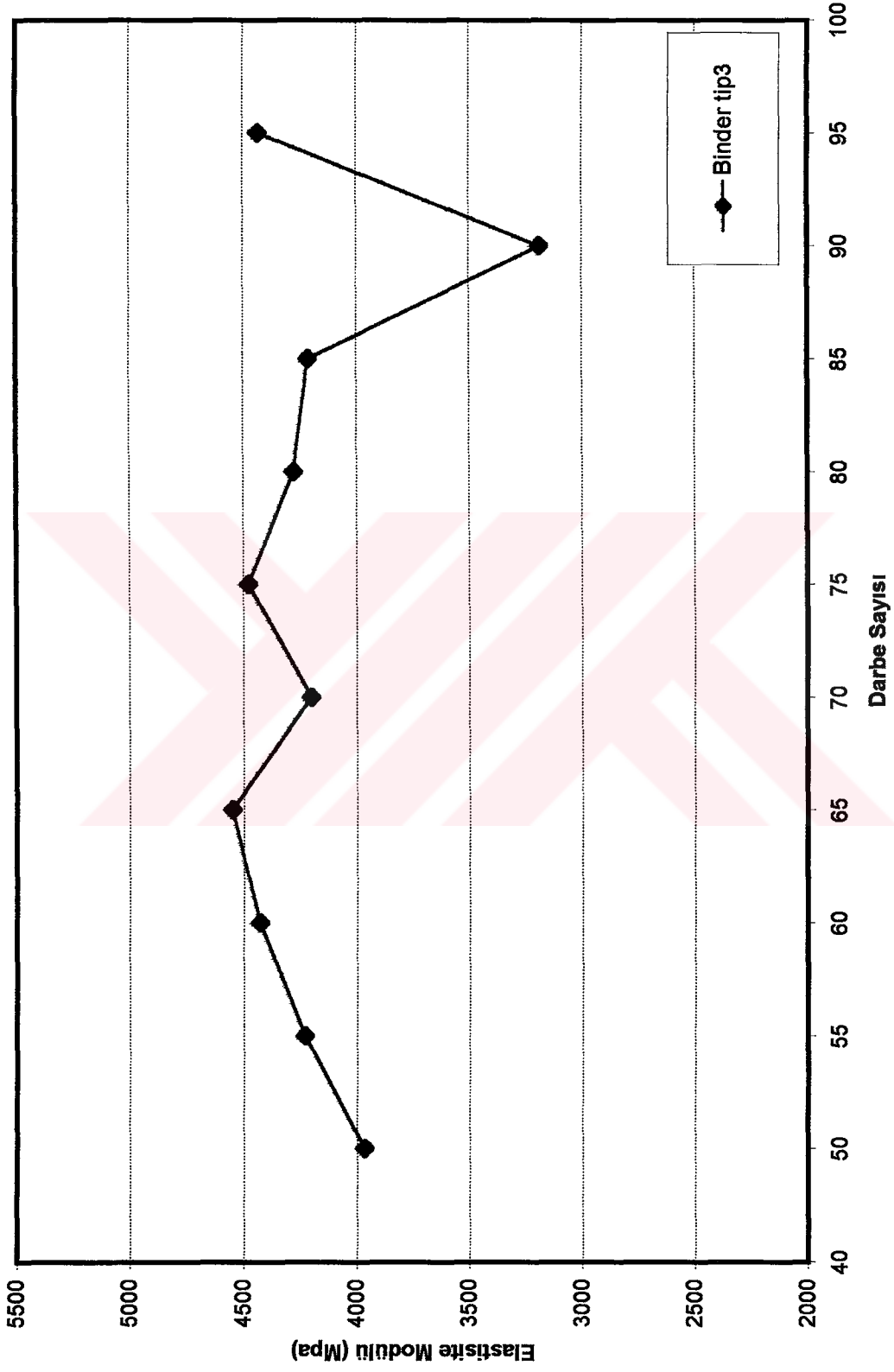
Elastik deformasyon değerlerinde ise aşınma tabakası tip4 gradasyonu binder tabakası tip3 ve aşınma tabakası tip2'den daha yüksektir. Her bir tip gradasyon için elastisite modülü değerlerinin artış veya düşüş gösterdiği sıkıştırma enerji seviyelerinde tersi yönde bir ilerleme gözlenmektedir. Şekil 7.5'te sıkıştırma enerjisine bağlı olarak deformasyon değerleri gösterilmiştir.



Şekil 7.5 Aşınma tabakası tip4 yüksek numune dolaylı çekme değerleri

Tablo 7.8 Binder tabakası tip3 yüksek numune dolaylı çekme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastisite Modülü (Mpa)	Elastik Deformasyon ($\mu\epsilon$)
B3-50	50	85,3	3967	27
B3-55	55	84,9	4231	25
B3-60	60	84,6	4428	24
B3-65	65	83,8	4552	24
B3-70	70	82,8	4200	26
B3-75	75	83,3	4477	24
B3-80	80	81,5	4280	24
B3-85	85	80,9	4211	24
B3-90	90	80,9	3189	33
B3-95	95	82,2	4433	26



Şekil 7.6 Binder tabakası tip3 yüksek numune dolaylı çekme değerleri

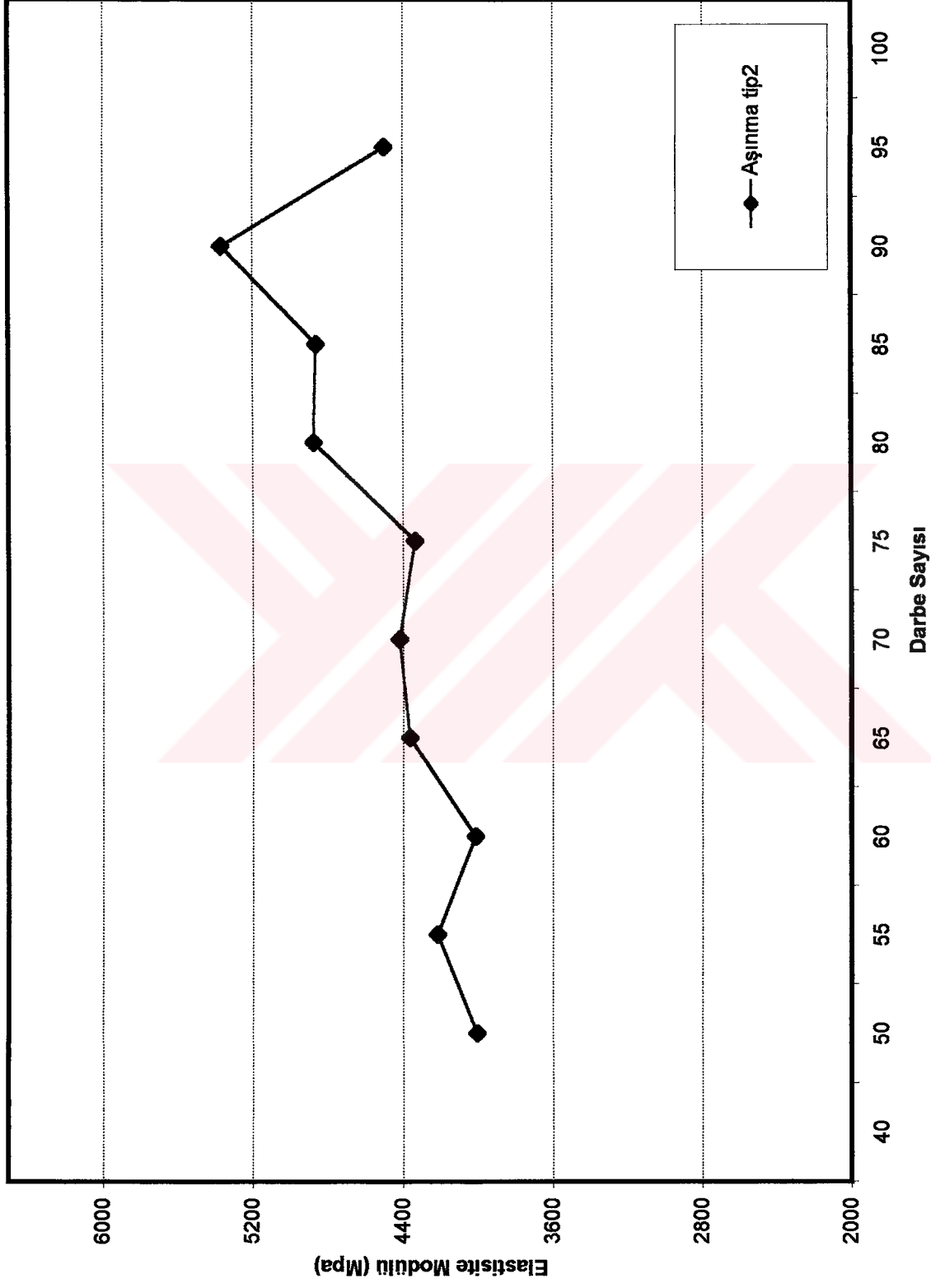
Bölünmüş numuneler üzerinde yapılan dolaylı çekme testlerin sonuçlarına göre aşınma tabakası tip2 gradasyonu elastisite modülü değerleri sıkıştırma enerjisine bağlı olarak artış göstermektedir. Bu yükseliş 90 darbe seviyesinde maksimum bir değere ulaştıktan sonra düşmektedir.

Aşınma tabakası tip2 gradasyonu için bölünmüş numune dolaylı çekme testleri sonucu Tablo7.9'da ve Şekil 7.6'da gösterilmiştir.

Tablo 7.9 Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune dolaylı çekme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastisite Modülü (Mpa)	Elastik Deformasyon ($\mu\epsilon$)
A22-50	50	40,7	4004	57
A22-55	55	40,4	4216	53
A22-60	60	39,9	4014	57
A22-65	65	40,0	4364	53
A22-70	70	39,8	4419	52
A22-75	75	40,0	4336	56
A22-80	80	38,9	4875	49
A22-85	85	38,5	4860	50
A22-90	90	39,0	5371	44
A22-95	95	38,0	4499	55

Elastisite modülü değerleri aşınma tabakası tip4 gradasyonunda 70 darbe seviyelerinde bir maksimum değere ulaşp düşüş göstermektedir. Bu düşüş 85 darbe seviyesinde yükselerek 90 darbe seviyesinde maksimum değere ulaştıktan sonra tekrar düşüş göstermektedir.



Şekil 7.7 Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune dolaylı çekme değerleri

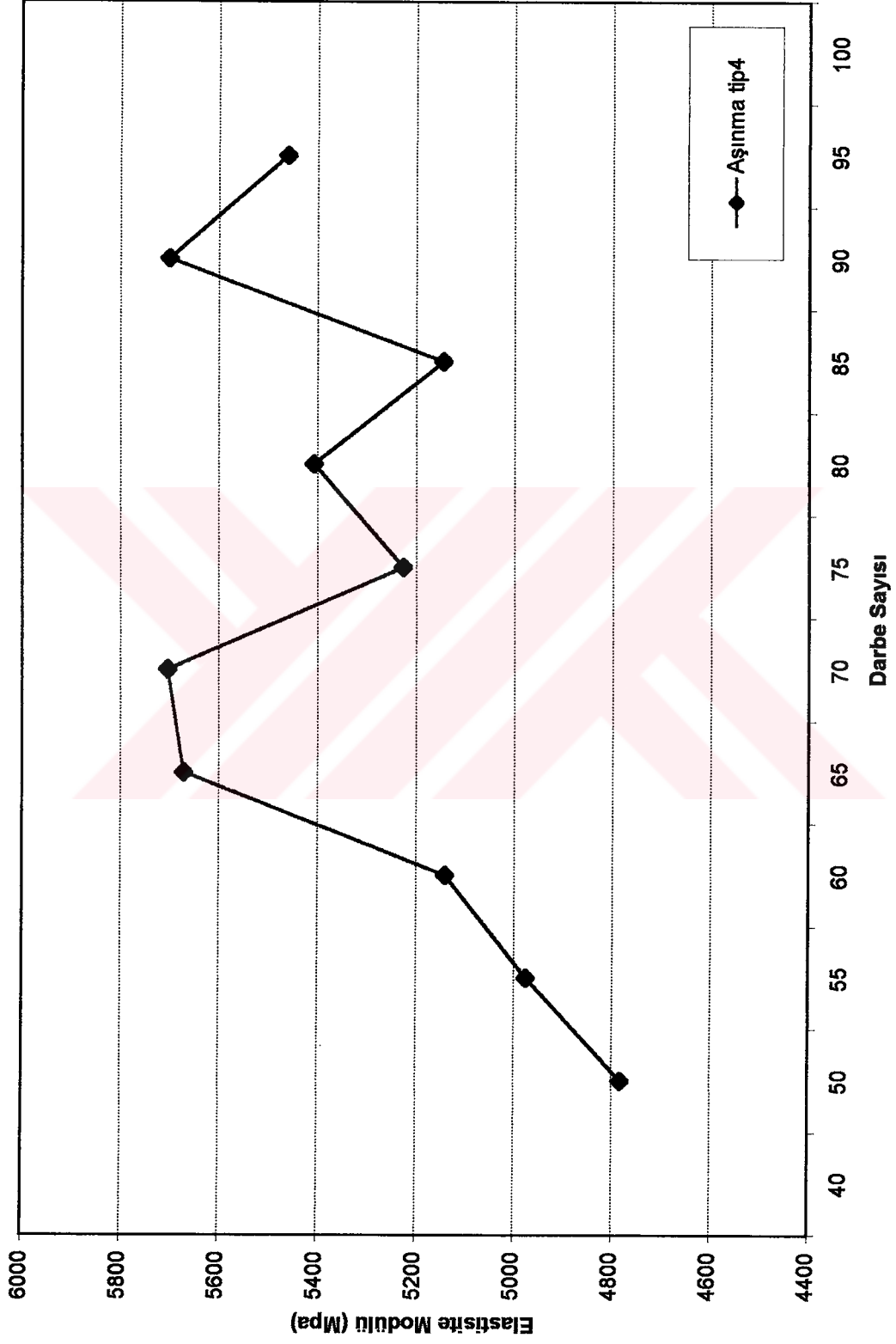
Aşınma tabakası tip4 gradasyonu için bölünmüş numune dolaylı çekme testleri sonucu Tablo 7.10’da ve Şekil 7.8’de gösterilmiştir.

Tablo 7.10 Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune dolaylı çekme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastisite Modülü (Mpa)	Elastik Deformasyon ($\mu\epsilon$)
A42-50	50	40,1	4784	48
A42-55	55	39,8	4976	46
A42-60	60	39,2	5142	46
A42-65	65	39,4	5672	41
A42-70	70	39,0	5705	41
A42-75	75	38,7	5227	46
A42-80	80	38,6	5407	44
A42-85	85	38,5	5145	44
A42-90	90	38,8	5701	40
A42-95	95	38,8	5461	42

Binder tabakası tip3 gradasyonu elastisite değerleri ise belli bir düzen içinde kalmayıp, yükselme ve düşme göstermektedir.

Binder tabakası tip3 gradasyonu bölünmüş numune elastisite ve elastik deformasyon değerleri Tablo 7.11’de ve Şekil 7.9’da gösterilmiştir.



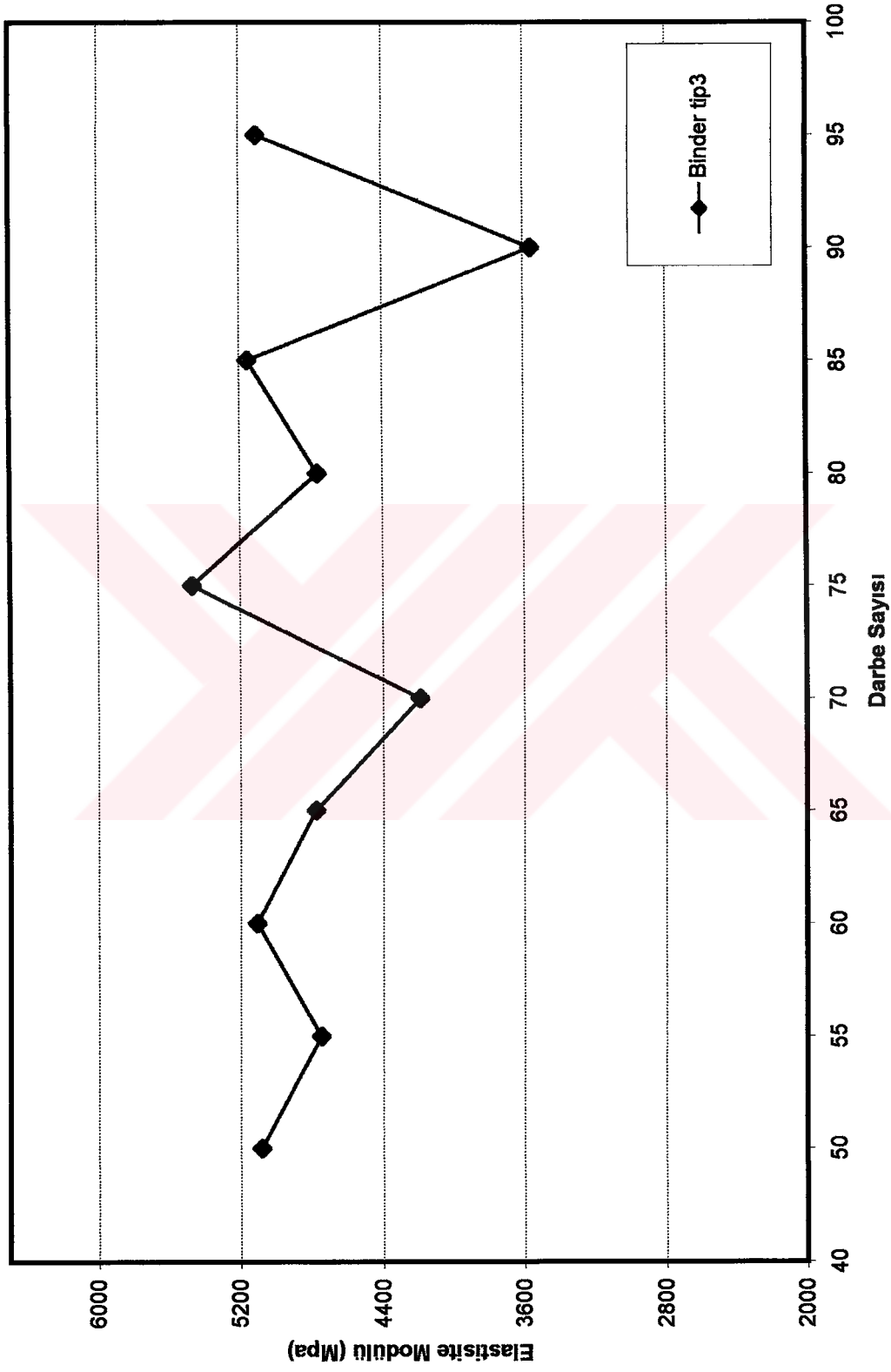
Şekil 7.8 Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune dolaylı çekme değerleri

Tablo 7.11 Binder tabakası tip3 bölünmüş numune dolaylı çekme deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastisite Modülü (Mpa)	Elastik Deformasyon ($\mu\epsilon$)
B32-50	50	39,4	5084	46
B32-55	55	40,4	4749	48
B32-60	60	38,8	5110	46
B32-65	65	39,3	4777	49
B32-70	70	38,4	4189	57
B32-75	75	38,9	5477	43
B32-80	80	39,6	4764	48
B32-85	85	39,2	5158	46
B32-90	90	40,3	3558	64
B32-95	95	39,2	5103	46

Elastik deformasyon değerlerinin, yüksek numunelerde olduğu gibi, elastisite modüllerinin yüksek olduğu enerji seviyelerinde düşük, düşük oldukları seviyelerde ise yüksek olduğu görülmektedir.

Bölünmüş numunelerin değişik tip gradasyonlarla ilgili elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri Tablo 7.8’de ve Şekil 7.6’da gösterilmiştir.



Şekil 7.9 Blinder tabakası tip3 bölünmüş numune dolaylı çekme değerleri

7.3.2 Marshall Stabilite Testleri

(ASTM D – 1559)

Bu deney esas olarak bir serbest basınç deneyidir. Marshall kompaktörü yardımıyla bitümlü karışımlardan hazırlanan silindirik numunelerin yanıl yüzeylerine gerilme kontrollü yükleme yapılarık, plastik akmaya karşı dirençleri ölçülür. Deney öncesinde iri agrega, ince agrega ve fillere ait granülometrik analizler yapılmış ve özgül ağırlıklar tespit edilmiş olmalıdır. Ayrıca kullanılan bağlayıcı (bitüm) özgül ağırlığı ile numune ait ağırlık, hacim vb. bilgilerin de belirlenmiş olması gerekir [1,14,18,20] .

7.3.2.1 Karışımın Hazırlanması ve Sıkıştırılması

Karışım sıcaklığına kadar ısıtılmış agrega kuru olarak karıştırılır. Agrega karışımı homojen hale getirildikten sonra ortasına bir çukur açılarak karışım sıcaklığına kadar ısıtılmış bitümlü bağlayıcıdan gerekli miktar, açılan çukura aktarılarak, agrega bitümlü malzemeyle iyice kaplanıncaya kadar tekrar karıştırılır. Karıştırma tamamlanınca sıkıştırmaya geçilir.

Karışımın sıkıştırılması işlemine başlamadan önce numune kalıplarının ve tokmağın sıkıştırma kafasının temizlenerek, artık malzemedan arındırılmasına özen gösterilmelidir. Önceden kalıp çapına göre daire şeklinde filtre kağıdı veya uygun bir kağıt, malzeme konmadan önce numune kalıbının dibine yerleştirilir. Hazırlanmış karışım, ayrışma olmamasına dikkat edilerek, sıcak bir spatula veya mala yardımıyla kalıba aktarılır. 15 defa kenarı ve 10 defa ortası spatula yardımıyla şişlenir. Kalıp tutucusu (uzatma yakası) yerine yerleştirilir. Üstüne filtre kağıdı veya uygun bir kağıttan hazırlanmış kağıt disk yerleştirilir. Sıkıştırma tokmağı 457 mm'den serbest olarak düşürölerek 50 darbelik sıkışma yapılır.

Özel olarak belirtildiğinde sıkıştırma darbe sayısı 50'den fazla olabilir. Daha sonra numune ters çevrilir ve öbür yüzüne de aynı sıkıştırma yapılarık briket haline getirilir. Yeterli stabiliteye erişmesi ve silindirik şekli bozulmaması için, numuneler sıkıştırmadan hemen sonra kalıptan çıkarılmaz. Çabuk soğuma istendiğinde bir vantilatör kullanılabilir.

Numuneler kalıptan bu iş için özel olarak hazırlanmış bir cihaz yardımıyla çıkartılır ve bir gece laboratuvar sıcaklığında bekletilir. Havada ve 25 °C’de sudaki tartımları alınır ve yüksekliği 3 farklı yerden ölçülür.

7.3.2.2 Numunelerin Test Edilmesi

Asfalt çimentosuyla hazırlanmış briket numuneler, sıcaklığı 60 °C $\pm$ 1 °C olan su banyosuna yerleştirilerek, 30 – 40 dakika bekletilir. Su banyosu yerine hava banyosuna yerleştirilirse, aynı sıcaklıkta 2 saat bekletilmelidir. Sıvı petrol asfaltı ile yapılan deney numuneleri 25 °C $\pm$ 1 °C sıcaklığındaki hava banyosuna yerleştirilir ve en az 2 saat tutulur.

Kırma kafasının içi, kılavuz çubukları silinerek deney için hazır duruma getirilir. Kılavuz çubuk yağlanarak üst kalıbın çabuk takılıp çıkarılması ve yük altında kayması sağlanır.

Kırma kafası su veya hava banyosunda tutularak, kırma kafası sıcaklığının, kırılacak numunelerin sıcaklığına bağlı olarak 20 °C - 40 °C arasında olması sağlanmalıdır.

Hazırlanmış silindirik, 100 mm çapında, ve 63,5 mm yüksekliğinde numuneler, çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Üst segman sabit, alt segmanın yükselme hızı ise 51 mm/dakikadır. Basınç uygulandıkça stabilometrede okunan değer artarak sonuçta bir maksimum değere ulaşır ve düşmeye başlar. Düşmeye başladığı anda numune deforme olmuş kabul edilir ve deney tamamlanır. Stabilometrede okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü sıcak karışımın stabilitesi saptanır. “Marshall Stabilitesi” adı verilen bu değer, numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Numuneyi su banyosundan çıkarma, kırma kafasına yerleştirme, kırma kafasını yükleme aygıtına koyma, flowmetreyi sıfıra ayarlama ve numunenin kırılması için en büyük yüke erişme işlemlerinin tümü 30 sn içinde bitirilmelidir [1,11,21,23] .

Kırılma esnasında numunede meydana gelen plastik deformasyon da eşzamanlı olarak ölçülür. Ölçülen bu değere “Akma” adı verilir. Bir numuneye Marshall deneyi uygulanınca stabilize ve akma değerlerinin yanı sıra, numunenin birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agreganın boşluğu yüzdesi de saptanır.

Deney sonunda 63,5 mm yüksekliğindeki numuneler için bulunan değerler gerçek değerlerdir. Bu yükseklikten farklı numuneler için “Marshall stabilite düzeltme faktörleri” kullanılmalıdır.

7.3.2.3 Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin havadaki ve sudaki ağırlığı tespit edilerek, hacmi bulunur. Pratik özgül ağırlığı hesaplanarak deney formuna işlenir. Briket numunelerin kırılma yüklerinin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark 120kg’dan fazla değil ise üçünün ortalaması Marshall stabilitesi olarak alınır. Eğer fark bu değerden fazla ise aralarındaki fark 60kg’dan fazla olmayan iki değer ortalaması Marshall stabilitesi olarak kabul edilir.

Aynı bitüm yüzdesindeki üç numunenin akma değerlerinin ortalaması alınarak deney formuna işlenir.

7.3.3 Deneyin Yapılışı

Standartlara uygun (6 in derinliğinde, termostatik kontrollü) su banyosu sıcaklığı 60°C’ye ayarlanarak, hazır hale getirildi. Önceden hazırlanmış silindirik yüksek numunelerin istenilen sıcaklığa gelmesini sağlamak için 30 dakika su banyosunda bekletildi. Deney aletinde kılavuz çubuğu ile deney kafaları iyice temizlenerek, hareket rahatlığı sağlandı. Briket su banyosundan çıkarılarak kırma kafasının alt bölümüne yerleştirildi. Kafanın üst parçası briketin üzerine yerleştirilerek, bir halkanın iki segmanı arasında tam olarak oturacak şekilde düzeltildi.

Deneyin sağlıklı sonuçlar vermesi için, numunenin su banyosundan alındıktan sonra, deney sonucu elde edilinceye kadar geçen zamanın 30 saniyeden az olmasına dikkat edildi.

Dakikada 50.8 mm (2 in) hızla yükleme yapılarak, maksimum yük kaydedildi. Maksimum yükün boşaldığı andaki deformasyon değeri saptanarak, plastik akma kaydedildi. Numune yüksekliği standart yükseklik olan 63,5 mm’den (2 1/2 in) farklı olduğundan, Marshall Stabilite Düzeltme Katsayıları kullanılarak, okunan yük değerine düzeltme faktörü uygulandı. Marshall Stabilitesi adıyla bilinen bu değer, kg

cinsinden toplam yük miktarı olarak tespit edildi. Toplam yük miktarının tespit edilmesiyle deney tamamlanmış oldu.

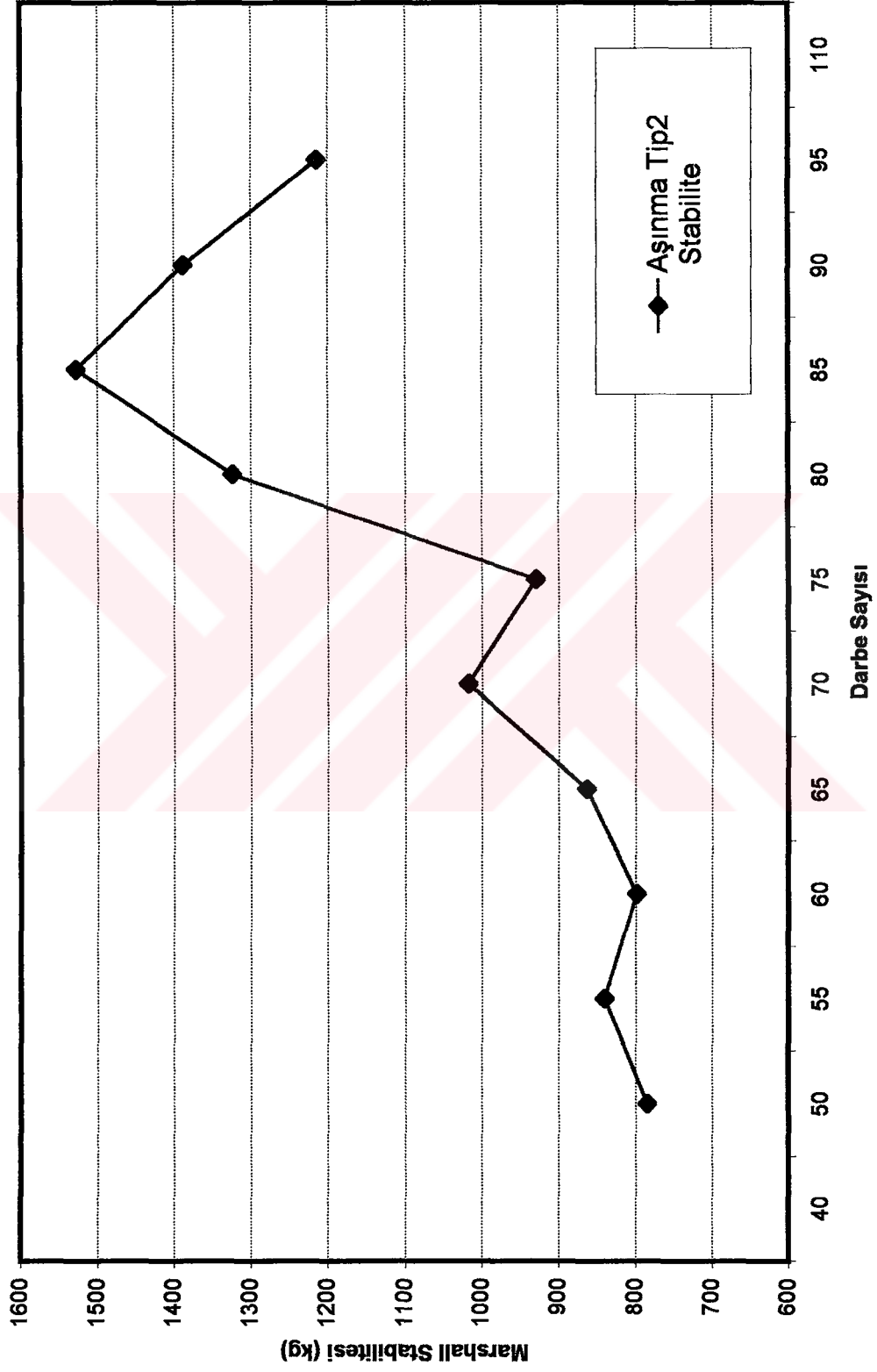
7.3.4 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Marshall stabilite test uygulamasında bölünmüş numunelerde aşınma tabakası tip2 gradasyonunda stabilite değerlerinin sıkıştırma enerjisine bağlı olarak arttığı, 85 darbe seviyesinde maksimum değere ulaşıldıktan sonra düşmeye başladığı görülmektedir.

Bölünmüş numunelerin stabilite ve akma ortalama değerleri (aşınma tabakası tip2 gradasyonu için) Tablo 7.12 ve Şekil 7.10'da gösterilmiştir.

Tablo 7.12 Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune stabilite deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Marshall Stabilitesi (kg)	Akma (mm)
A22-50	50	40,7	785	2,47
A22-55	55	40,4	841	2,45
A22-60	60	39,9	799	2,58
A22-65	65	40,0	864	2,18
A22-70	70	39,8	1018	2,08
A22-75	75	40,0	930	2,37
A22-80	80	38,9	1324	2,13
A22-85	85	38,5	1528	1,94
A22-90	90	39,0	1388	1,93
A22-95	95	38,0	1215	1,89



Şekil 7.10 Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune Marshall stabilite değerleri (50-95 Darbe)

Stabilite değerlerinin aşınma tabakası tip4 gradasyonu grafiğinde de sıkıştırma enerjisine bağlı olarak artış görülmektedir. Bu artış 70 darbe seviyesinden sonra düşme göstermekte, ancak enerji artışına paralel olarak yeniden yükselmektedir.

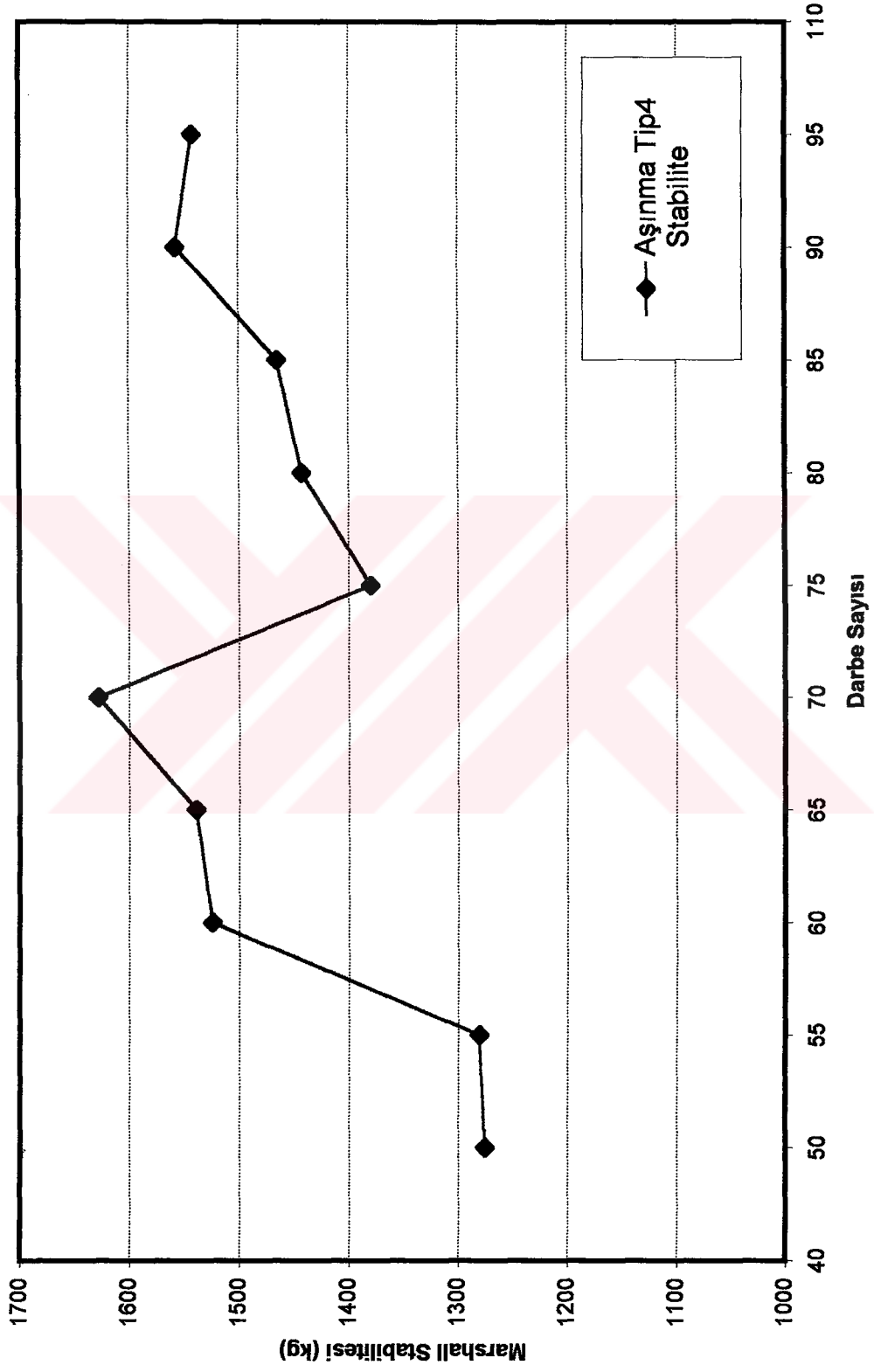
Aşınma tabakası tip4 gradasyonu için Bölünmüş numunelerin stabilite ve akma ortalama değerleri Tablo 7.13 ve Şekil 7.11’de gösterilmiştir.

Tablo 7.13 Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune stabilite deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Marshall Stabilitesi (kg)	Akma (mm)
A42-50	50	40,1	1276	2,10
A42-55	55	39,8	1281	2,21
A42-60	60	39,2	1525	2,90
A42-65	65	39,4	1539	2,80
A42-70	70	39,0	1628	2,25
A42-75	75	38,7	1380	2,50
A42-80	80	38,6	1443	2,12
A42-85	85	38,5	1465	2,90
A42-90	90	38,8	1558	2,10
A42-95	95	38,8	1542	

Binder tabakası tip3 gradasyonunda ise 65 darbe seviyesinde maksimum düzeye ulaşan marshall stabilite değerleri daha sonra düşmeye başlamakta ve 90 darbe seviyesinde minimum bir değere ulaştıktan sonra yeniden yükselmektedir.

Binder tabakası tip3 gradasyonu için Bölünmüş numunelerin stabilite ve akma ortalama değerleri Tablo 7.14 ve Şekil 7.12’de gösterilmiştir.



Şekil 7.11 Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune Marshall stabilite değerleri (50-95 Darbe)

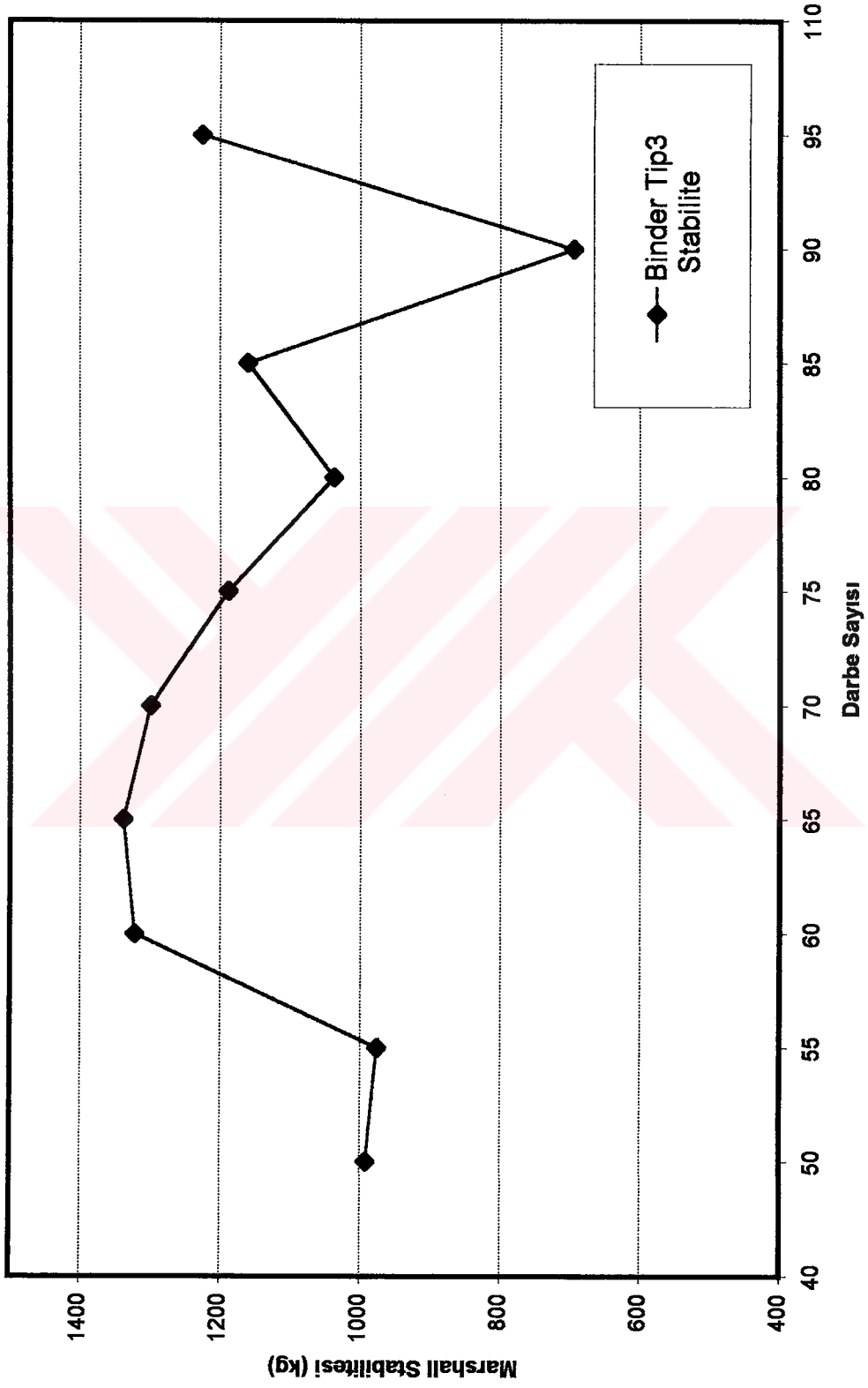
Tablo 7.14 Binder tabakası tip3 bölünmüş numune stabilite deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Marshall Stabilitesi (kg)	Akma (mm)
B32-50	50	39,4	992	2,00
B32-55	55	40,4	976	2,28
B32-60	60	38,8	1322	2,21
B32-65	65	39,3	1338	2,69
B32-70	70	38,4	1299	2,13
B32-75	75	38,9	1188	2,27
B32-80	80	39,6	1038	2,33
B32-85	85	39,2	1160	2,53
B32-90	90	40,3	695	2,78
B32-95	95	39,2	1225	2,31

Genel olarak bölünmüş numunelerde aşınma tabakası tip4 gradasyonu stabilite değerlerinin diğer tip gradasyonlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Aşınma tabakası tip2 gradasyonu akma değerleri genel eğilim olarak sıkıştırma enerjisi arttıkça düşüş göstermektedir. Aşınma tabakası tip4 gradasyonunda belli bir düzeyde artış ve düşüş gösteren akma değerleri, 90 darbe seviyesinden sonra yükselmeye başlamaktadır. Binder tabakası tip3 gradasyonunda ise dalgalı düşüş ve yükselişler görülmektedir.

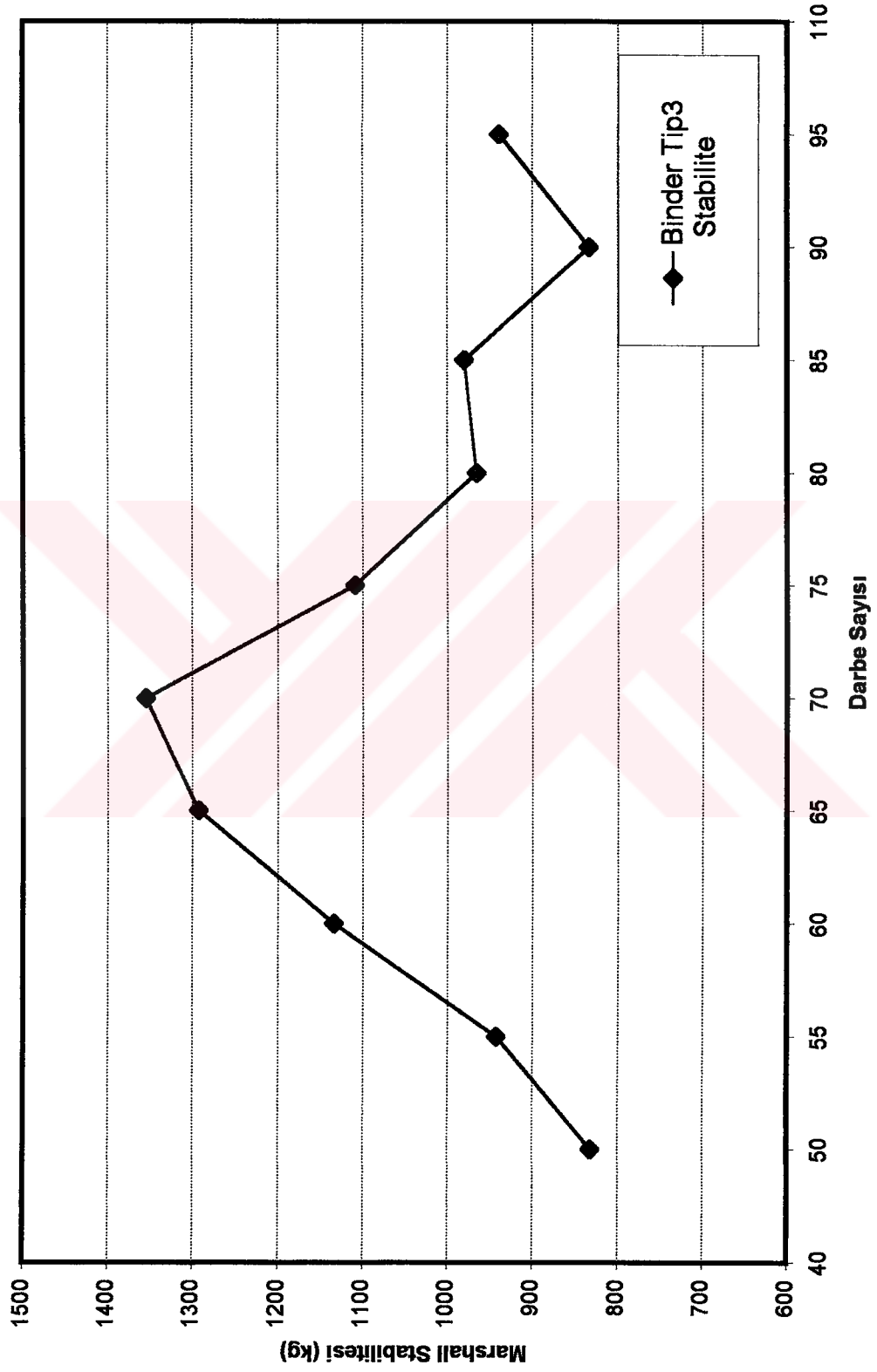
Bölünmüş numunelerin stabilite ve akma değerleri Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'te gösterilmiştir.



Şekil 7.12 Binder tabakası tip3 bölünmüş numune Marshall stabilite değerleri (50-95 Darbe)

Tablo 7.15 Binder tabakası tip3 yüksek numune stabilite deneyi sonuçları

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Marshall Stabilitesi (kg)	Akma (mm)
B3-50	50	83,3	832	3,38
B3-55	55	83,0	943	3,88
B3-60	60	81,6	1134	4,00
B3-65	65	80,9	1293	4,13
B3-70	70	80,4	1355	3,38
B3-75	75	81,8	1109	3,13
B3-80	80	82,0	966	2,88
B3-85	85	82,6	980	4,38
B3-90	90	83,0	834	3,63
B3-95	95	82,7	939	3,75



Şekil 7.13 Binde tabakası tip3 yüksek numune Marshall stabilesi değeri (50-95 Darbe)

Marshall stabilite test sonuçları toplamında da bölünmüş numunelere ait stabilite değerlerinin standart numunelere göre daha yüksek olduğu, akma değerlerinde ise ters bir ilişki sergilediği gözlenmektedir. Stabilite değerleri aşınma tabakası tip4 gradasyonunda aşınma tabakası tip2 ve binder tabakası tip3 gradasyonlarına göre daha yüksektir. Akma değerleri ise her üç tip gradasyonunda birbirine yakın görülmektedir. Bölünmüş numunelere ait toplam stabilite ve akma değerleri Şekil 7.15 ve Şekil 7.16'da gösterilmiştir.

7.4 Genel Değerlendirme

Tez çalışmaları Marshall stabilitesi ile esneklik modülünün numune yüksekliğiyle ilişkisi konusunda yapıldı. Bu çalışmada standart numuneler ile özel kalıplar imal edilerek üretilen yüksek numuneler kullanıldı. Çalışmaya başlamadan önce yapılan tahminlerin çalışma sonunda deneysel veriler ışığında değerlendirilebilmesi için veriler analiz edildi ve grafik gösterimle kıyaslama kolaylığı sağlandı.

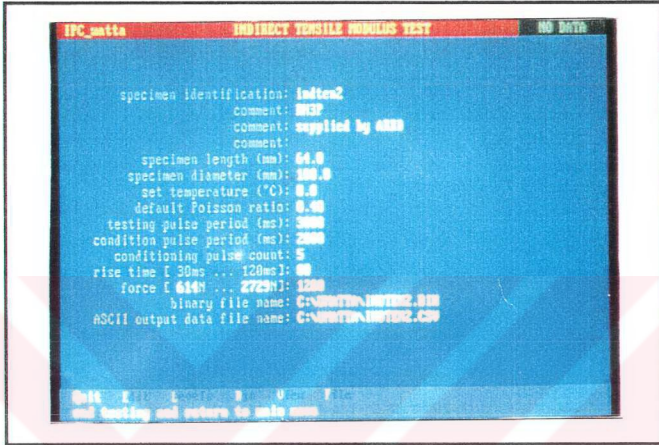
Deney sonunda gerek aşınma tabakası tip2, tip4 ve gerekse binder tabakası tip3 için farklı sıkıştırma enerjisine göre farklı sonuçlar elde edildi. Bu sonuçlar sıkıştırma enerjisinin artışına bağlı olarak lineer olmayan bir artış gösterdi.

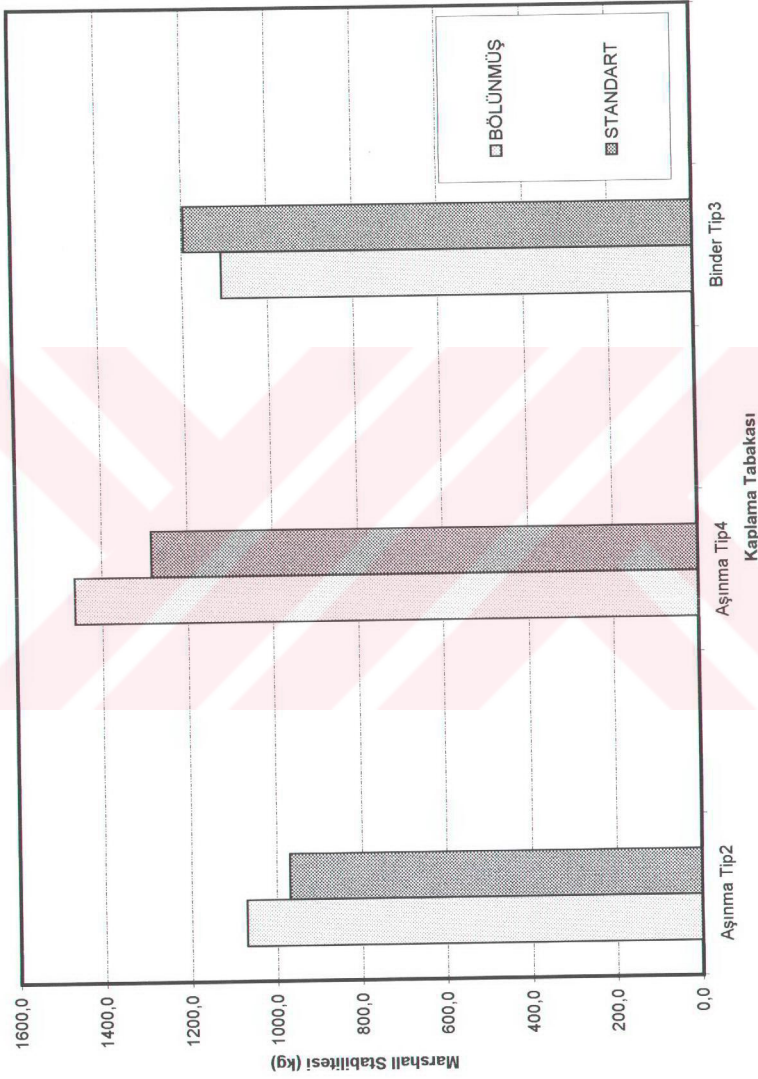
Elastisite modülü ve stabilite değerleri aynı kaplama tabakalarının farklı tip gradasyonları için de farklılıklar gösterdi. Karışım gradasyonunda maksimum dane boyutunun büyüklüğünün de sonuçlar üzerinde önemli bir rol oynadığı gözlemlendi. Karışım dayanıklılığı üzerinde büyük etkisi olan agreganın aynı ocaktan alınmış olmasına ve aynı koşullarda karıştırılıp üretilmiş olmasına rağmen, yüksek numunelerin belirli sıkıştırma enerjilerinde standart numunelere göre daha yüksek stabilite değerleri verdiği görüldü.

Bölünmüş numuneler ile yüksek numuneleri elastisite modülü değerleri karşılaştırıldığında aşınma tabakası tip4 gradasyonu sonuçlarının diğer tip gradasyonlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Elastik deformasyon değerleri incelendiğinde ise, her tip gradasyonda, yüksek numune değerlerinin belirgin bir şekilde bölünmüş numunelerden düşük olduğu görülmektedir. Bölünmüş numuneler ile yüksek numunelere ait elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri Şekil 7.17 ve Şekil 7.18'de gösterilmiştir.

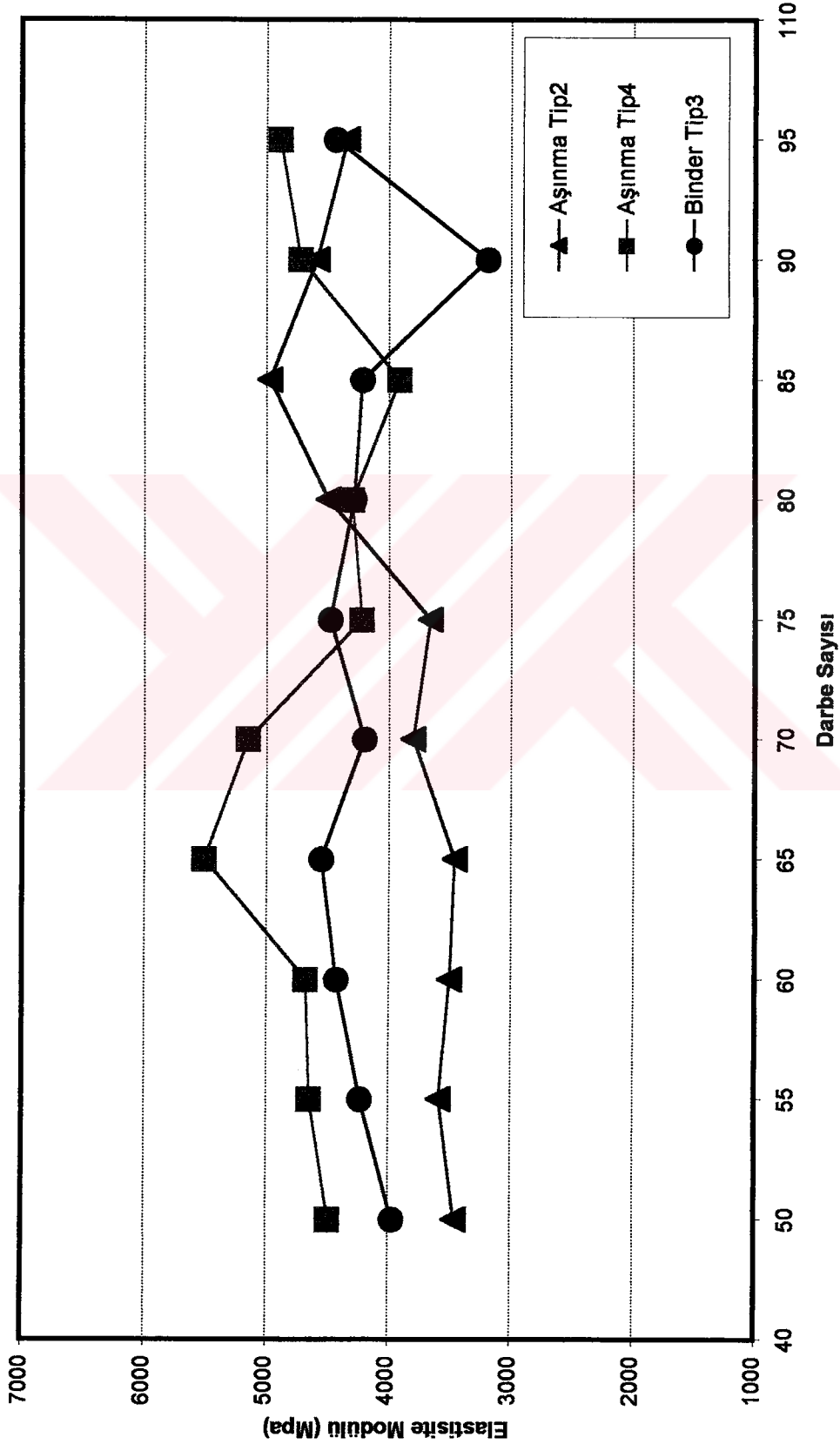
Dolaylı çekme deneyinde deney öncesi veri tablosu ile LVDT transdüserlerin hassas ayarlama ekranları aşağıda Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'te verilmiştir.

Test sonuçlarıyla ilgili diğer grafikler ise Şekil 7.16 – Şekil 7.38'de gösterilmiştir.

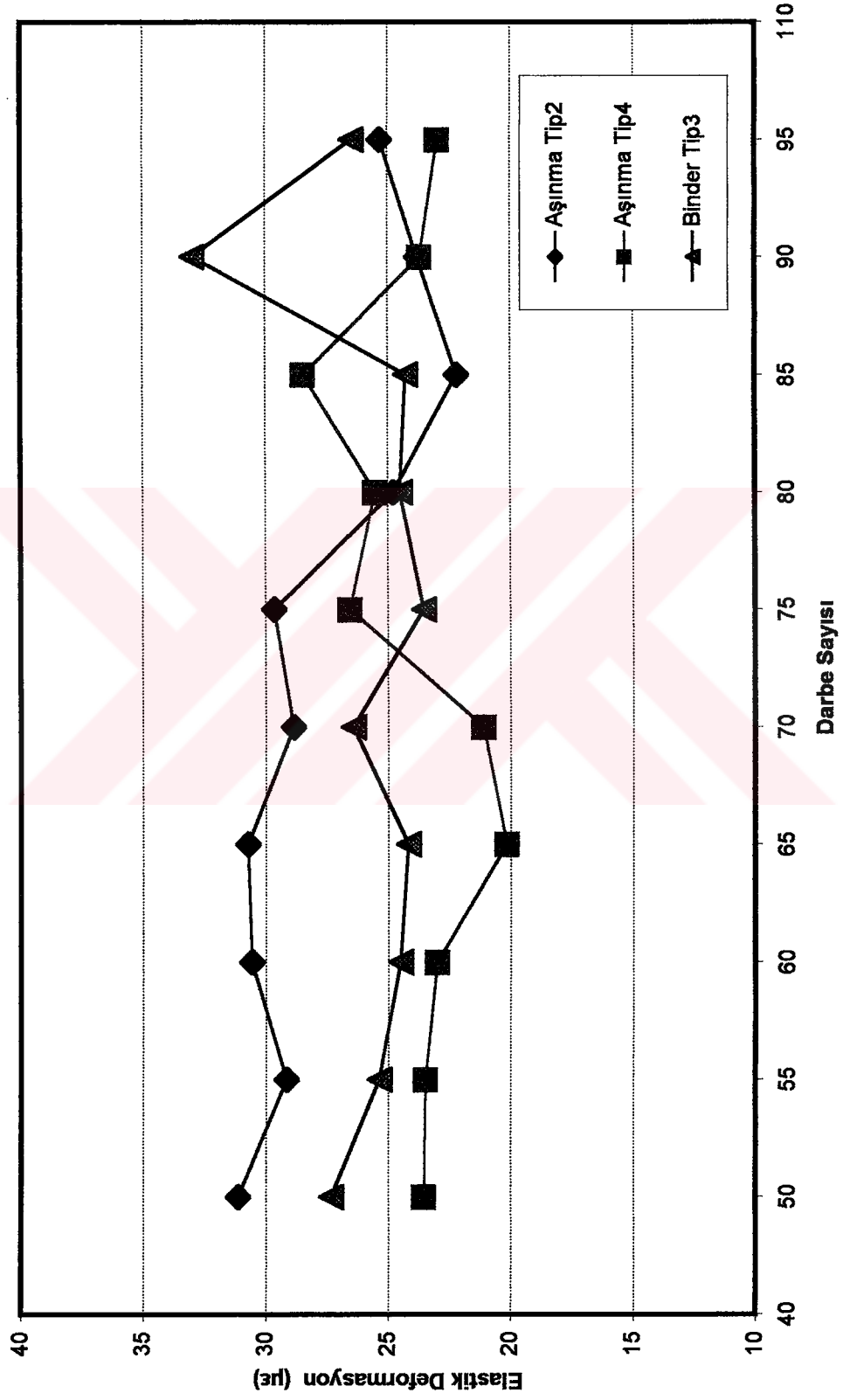




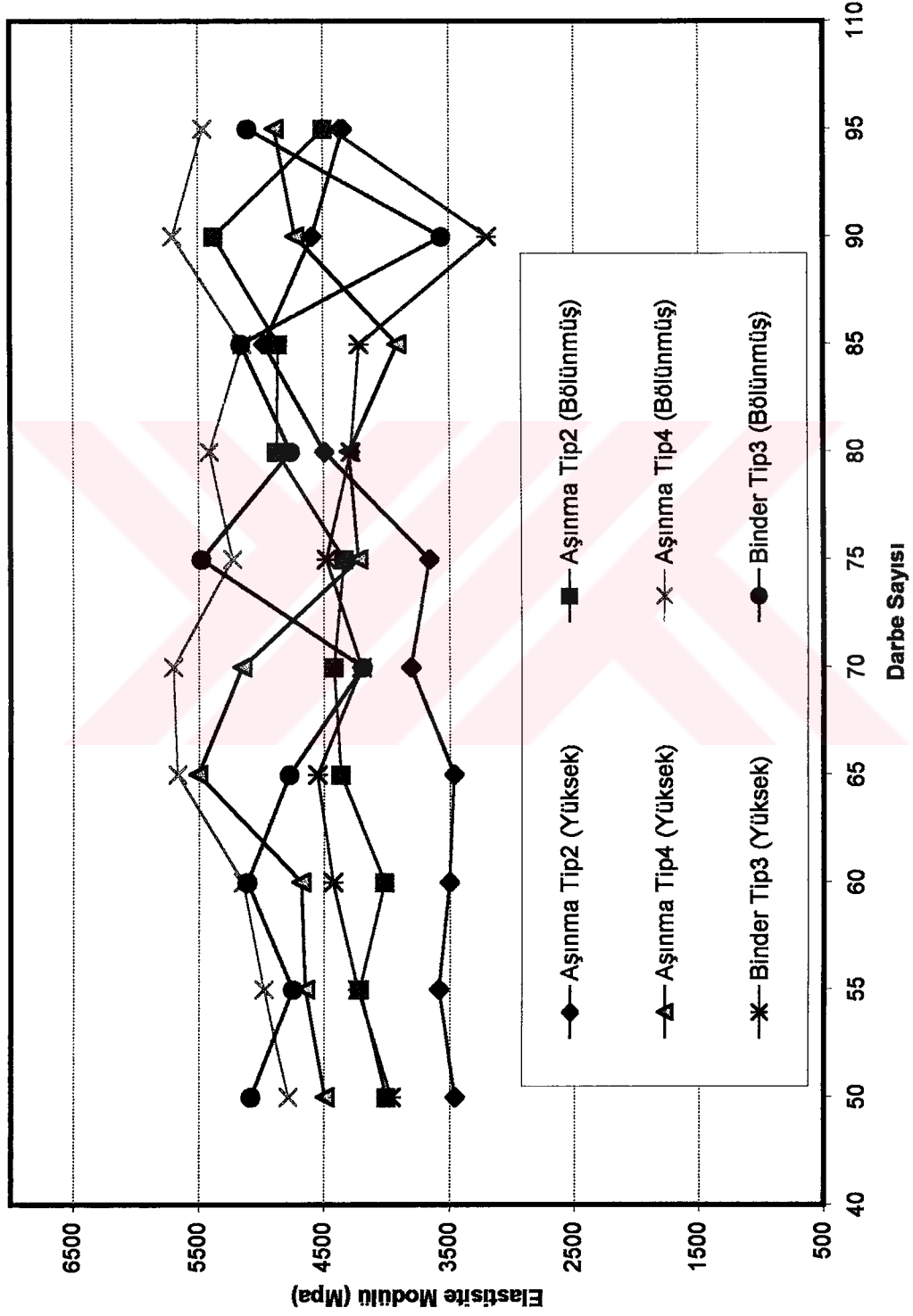
Şekil 7.16 Bölünmüş ve standart numune stabilite değerleri



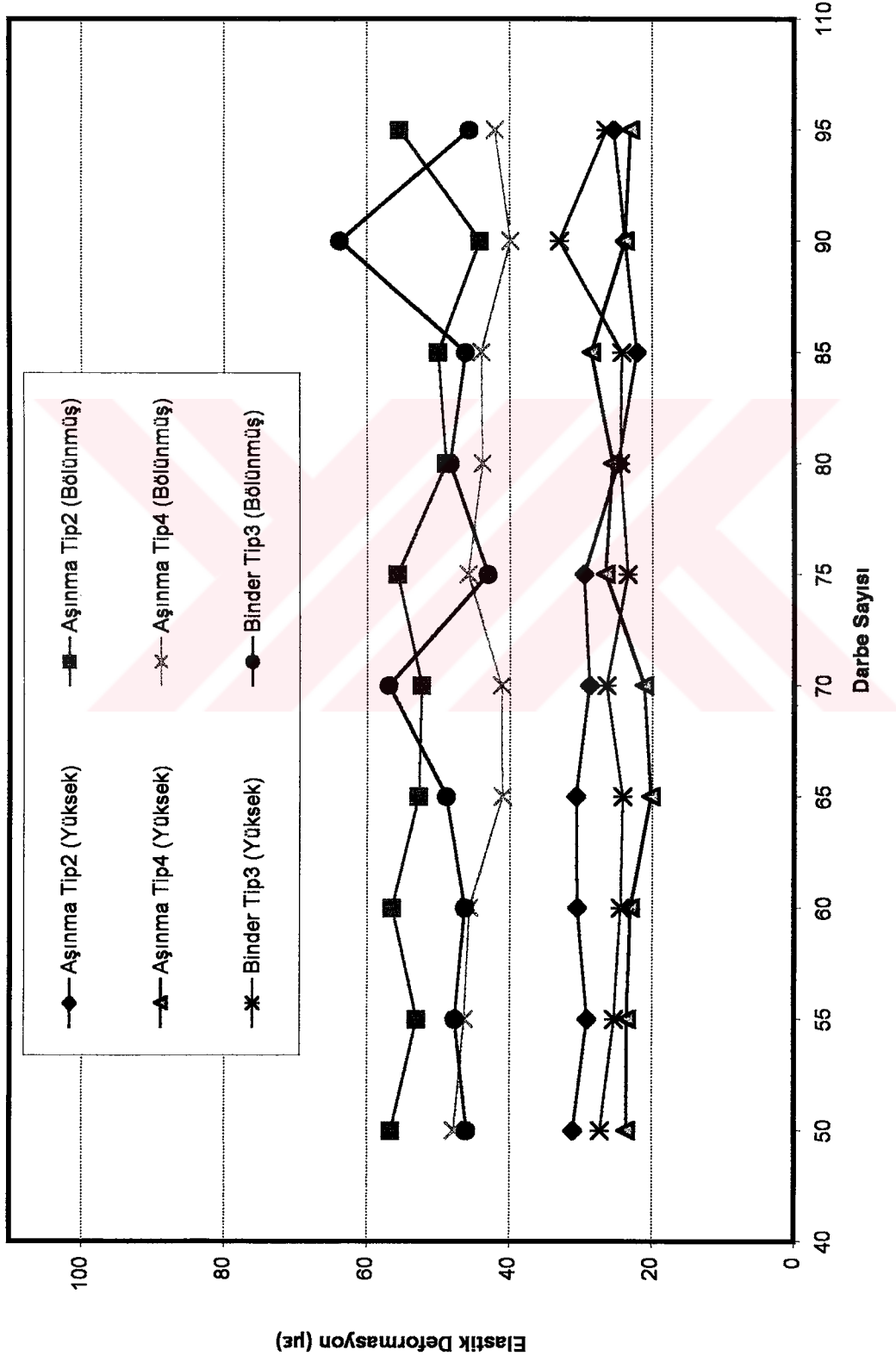
Şekil 7.17 Yüksek numune elastisite modülü değerleri



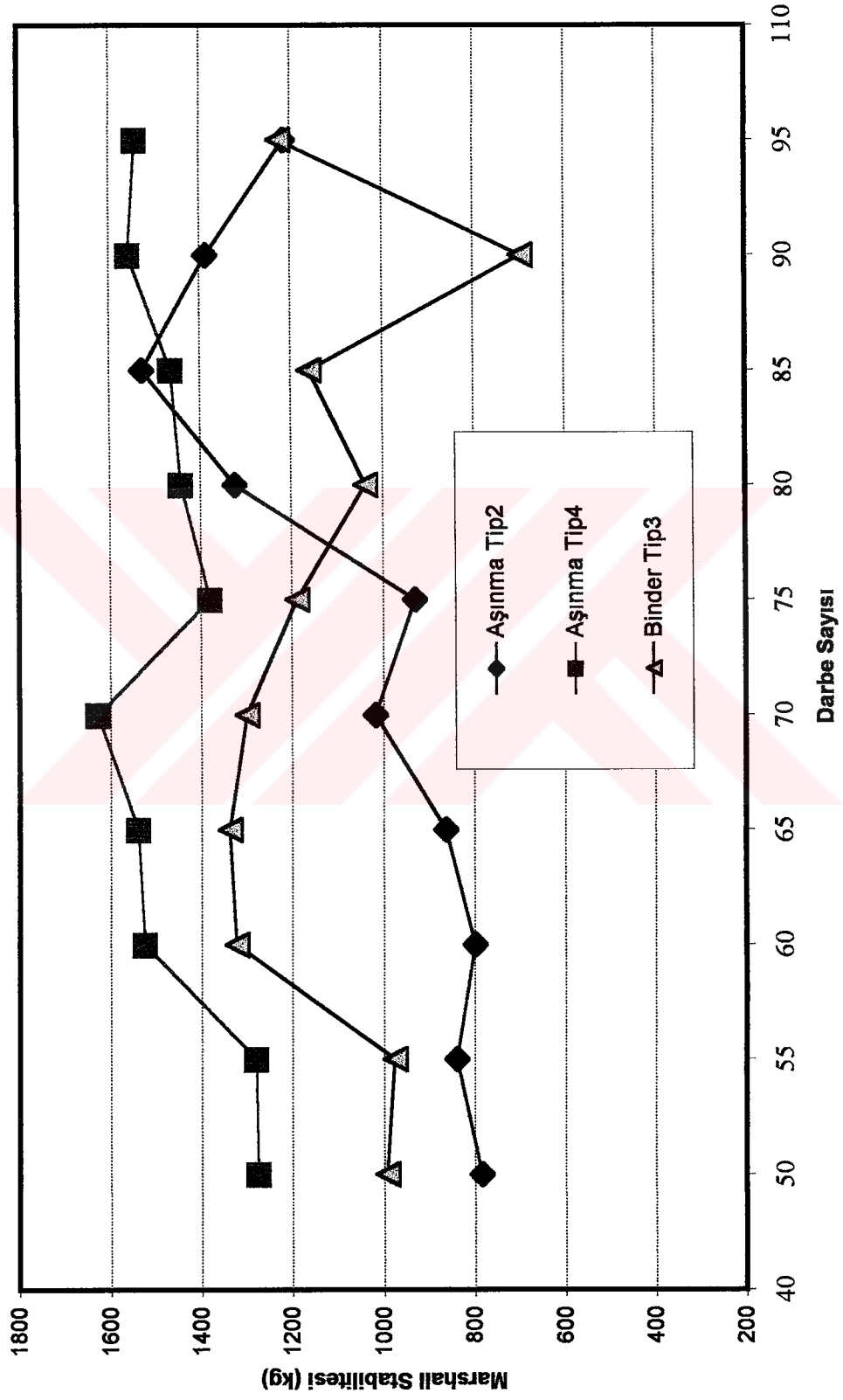
Şekil 7.18 Yüksek numune elastik deformasyon değerleri



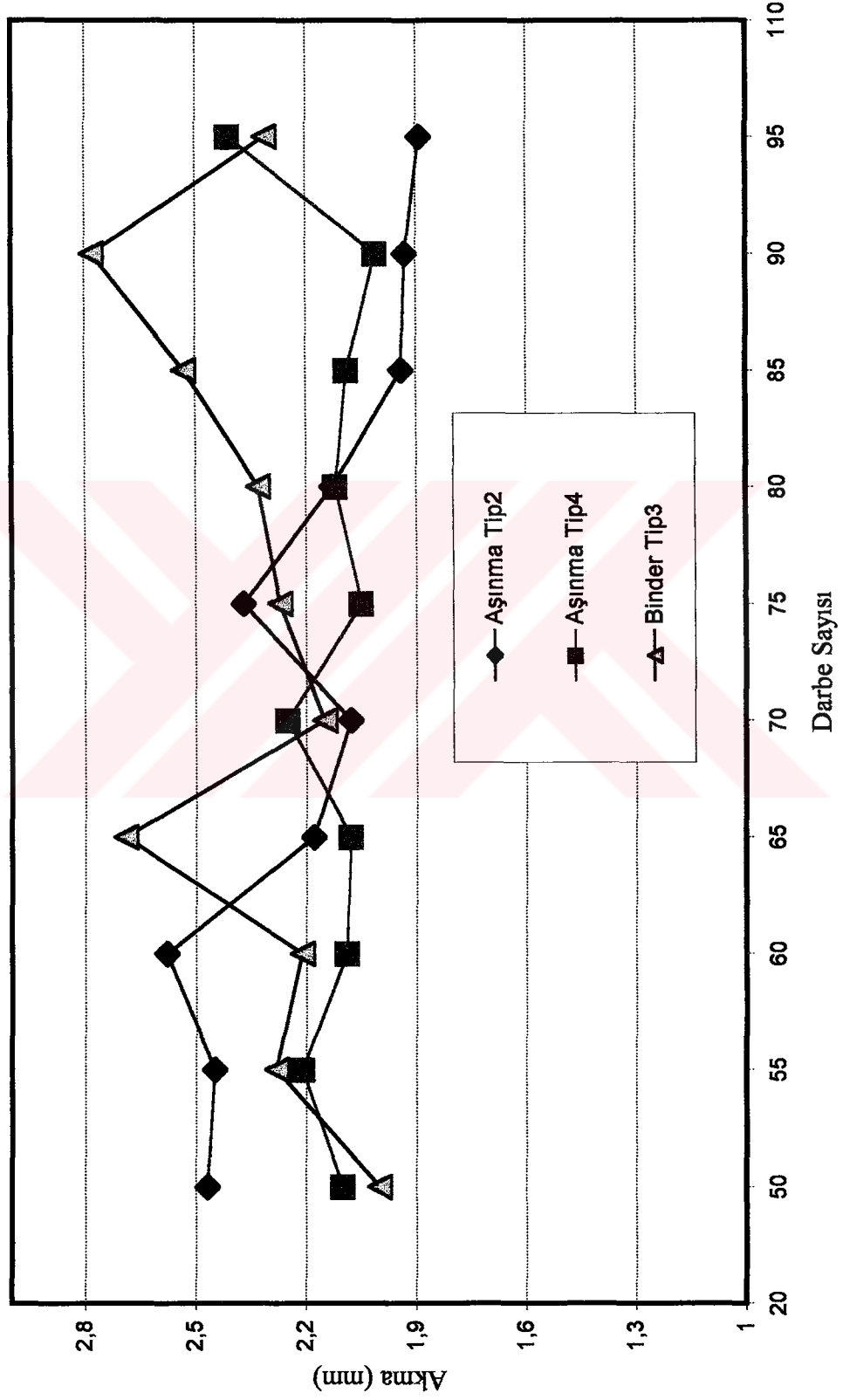
Şekil 7.19 Yüksek ve bölünmüş numune elastisite Modülü değerleri



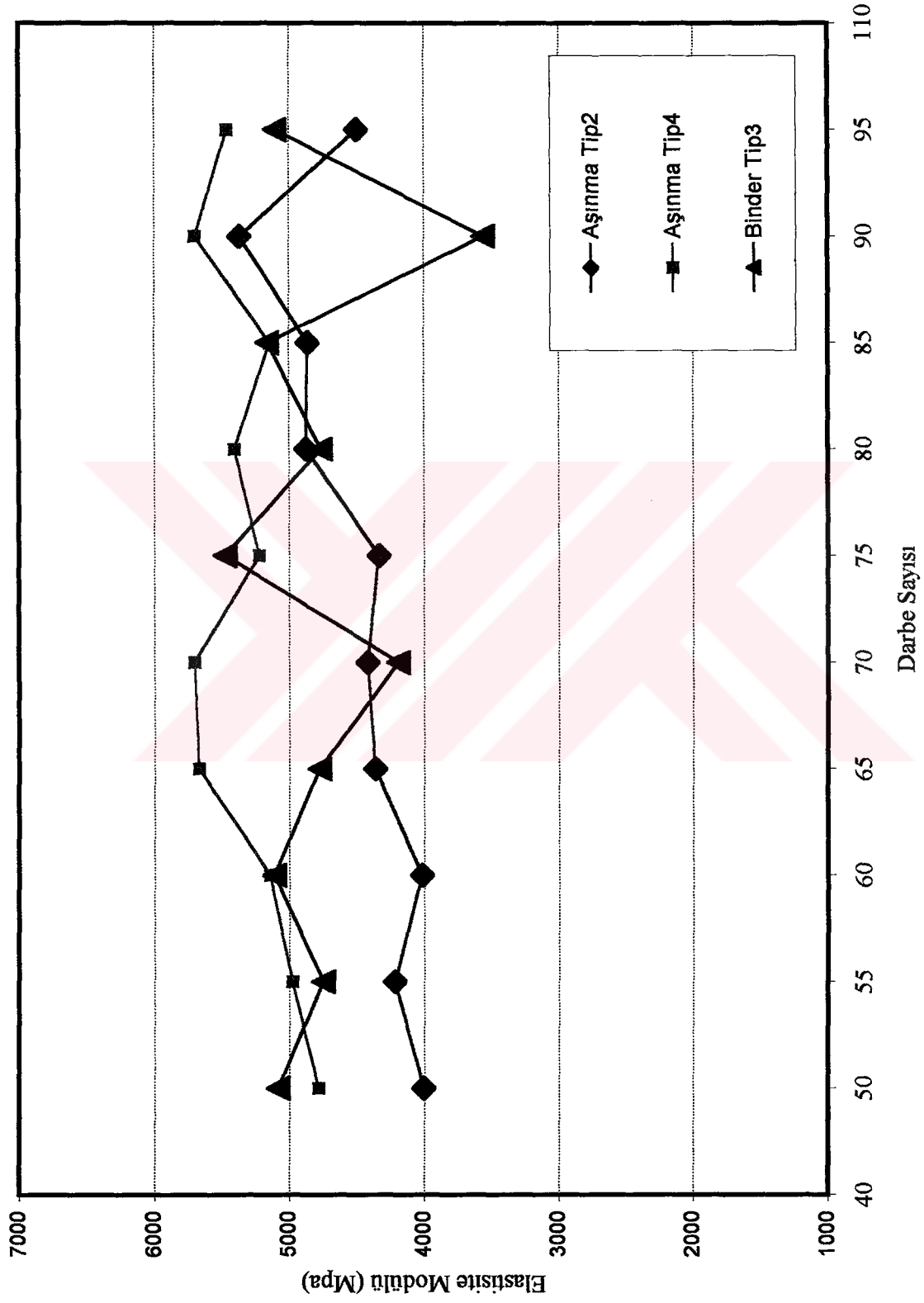
Şekil 7.20 Yüksek ve bölünmüş numune elastik deformasyon değerleri



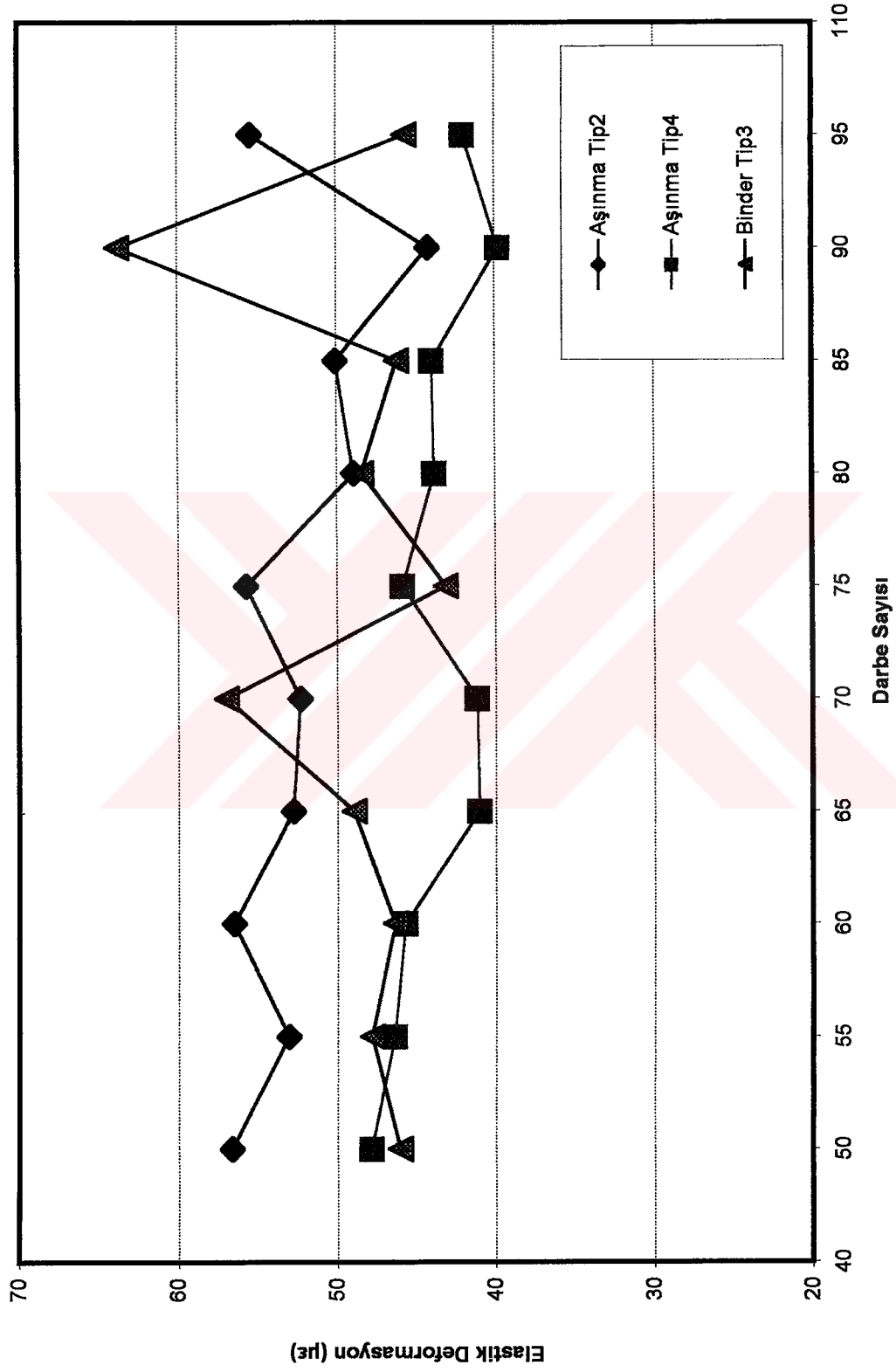
Şekil 7.21 Bölünmüş numunelerin stabilite değerleri



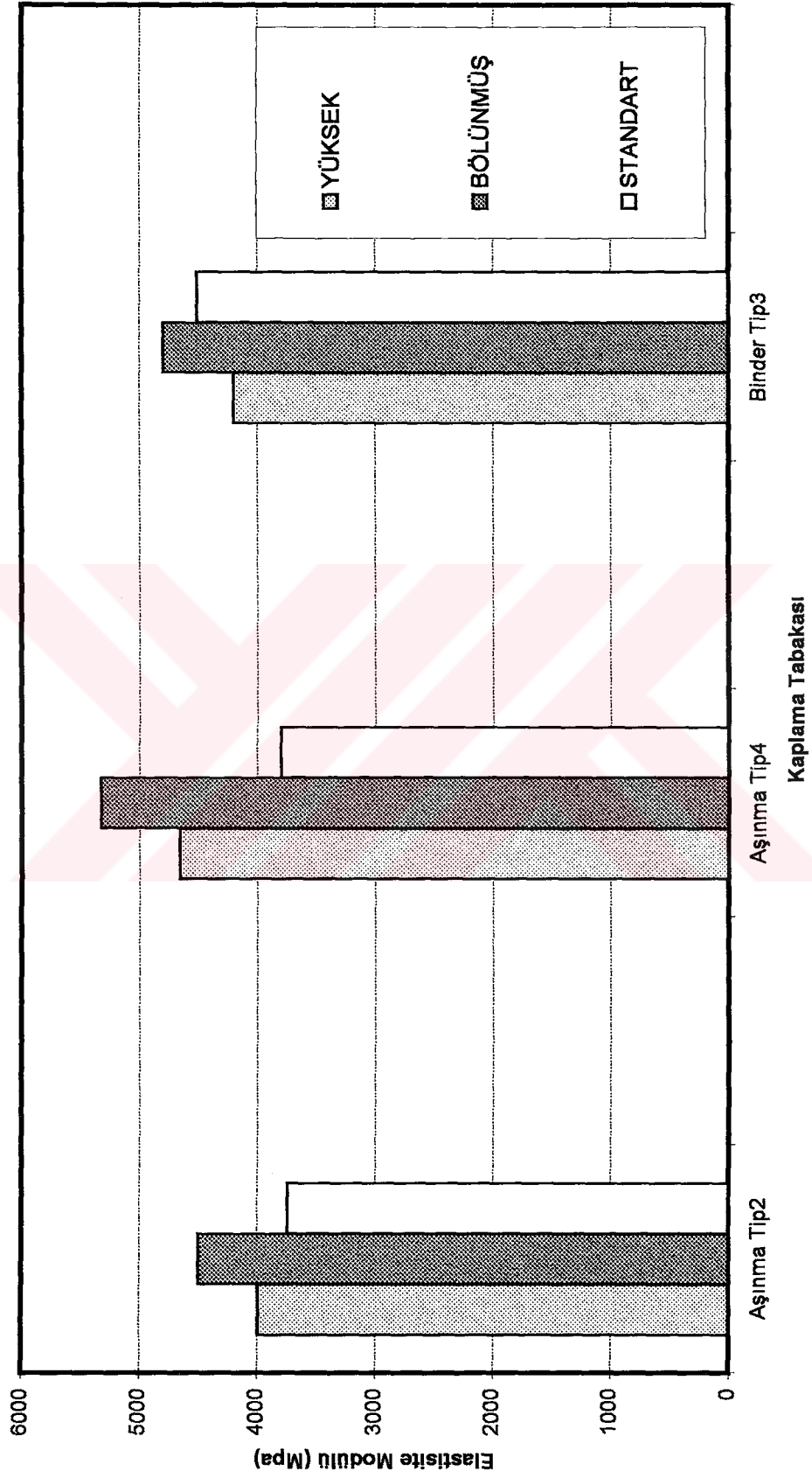
Şekil 7.22 Bölünmüş numunelerin akma değerleri



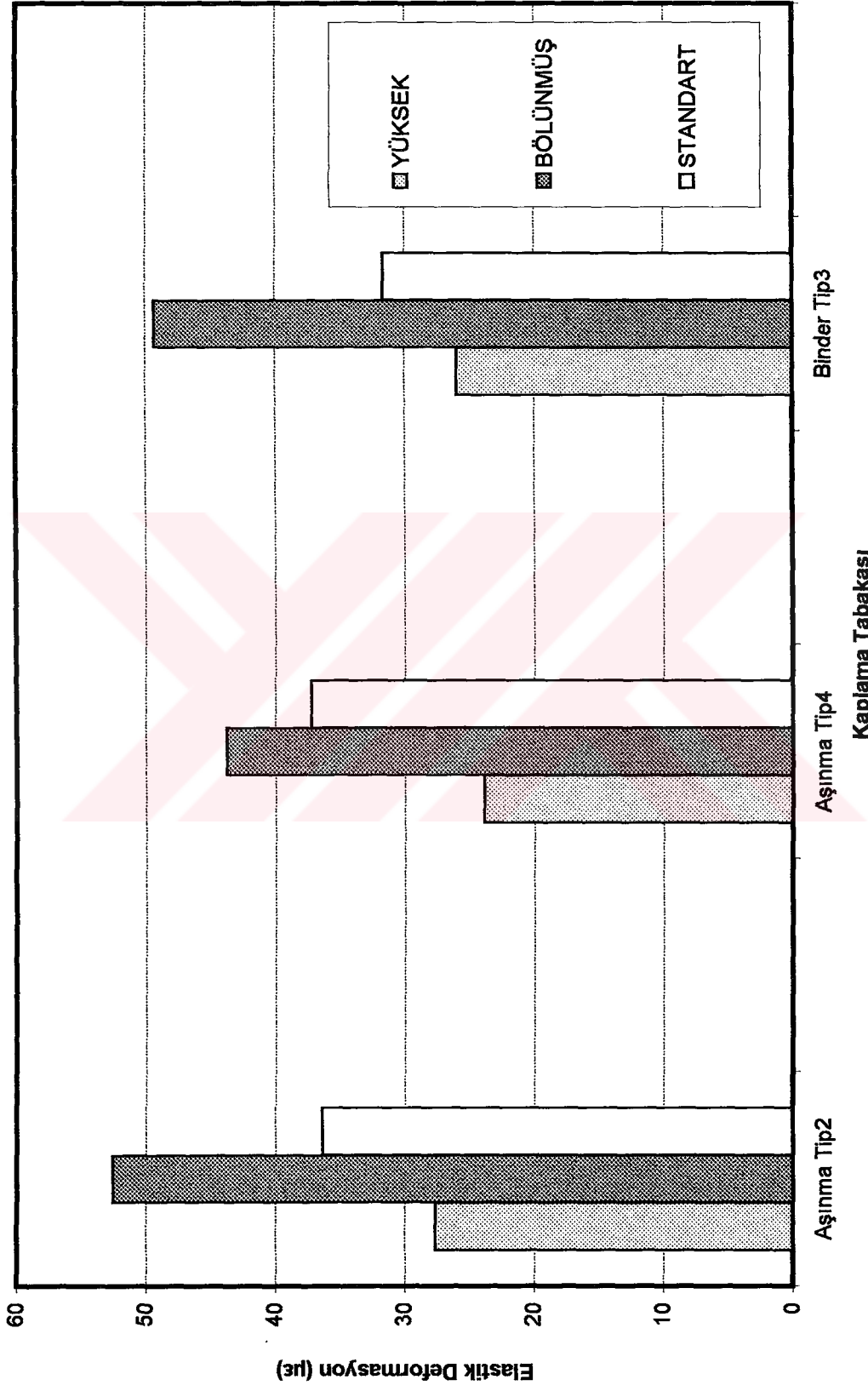
Şekil 7.23 Bölünmüş numune elastisite modülü değerleri



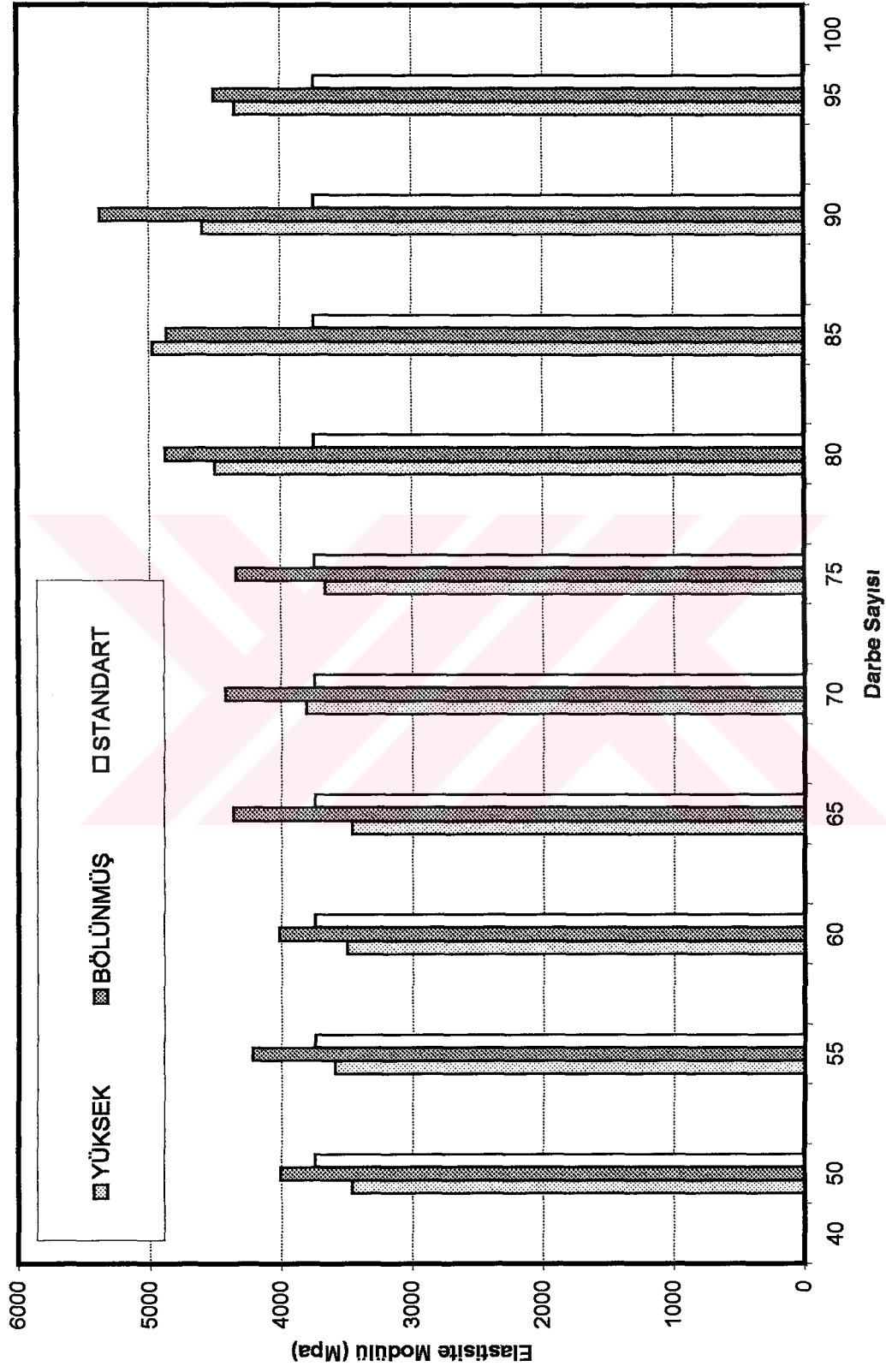
Şekil 7.24 Bölünmüş numune elastik deformasyon değerleri



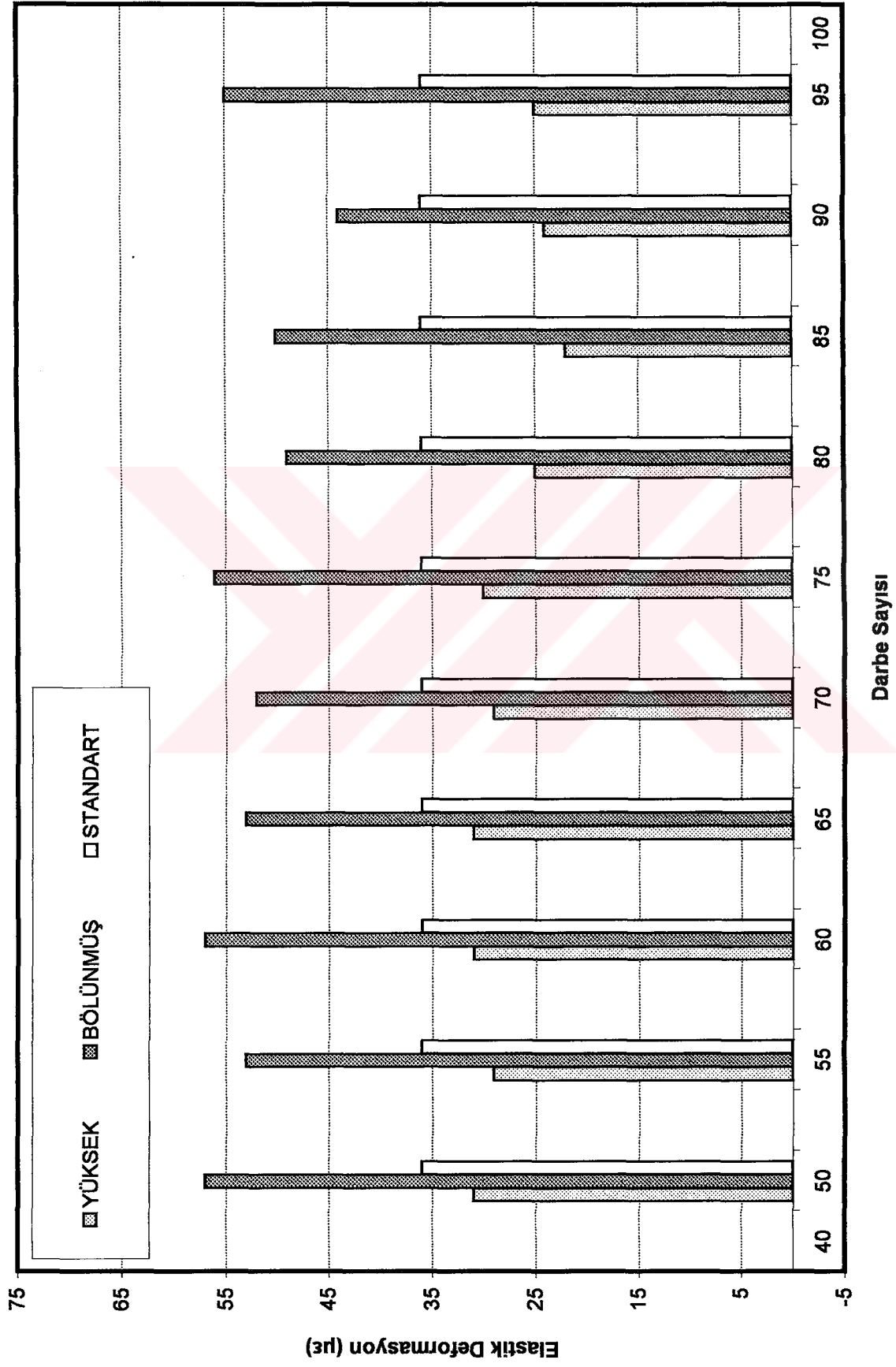
Şekil 7.25 Yüksek, bölünmüş ve standart numune elastisite modülü değerleri



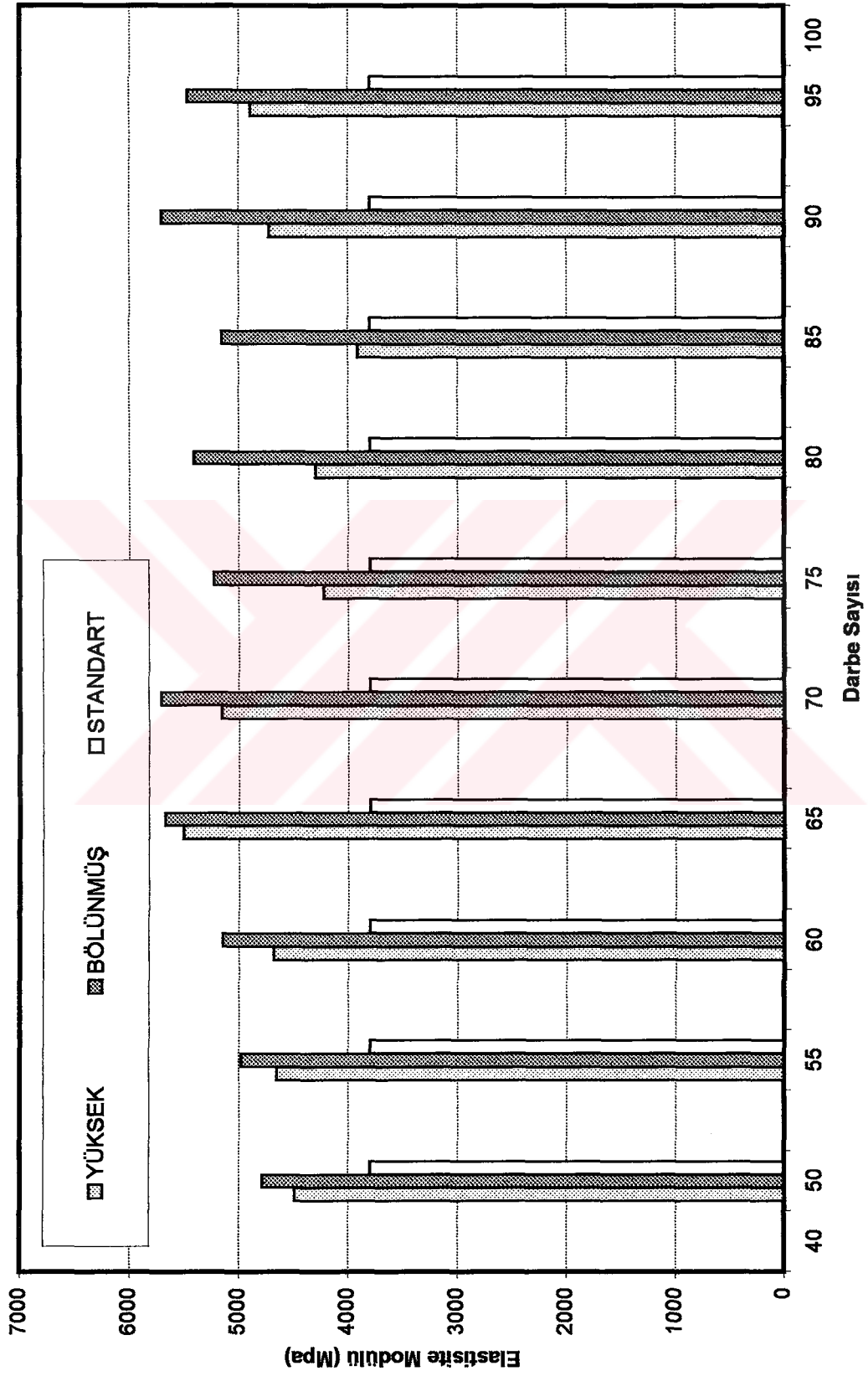
Şekil 7.26 Yüksek, bölünmüş ve standart numune elastik deformasyon değerleri



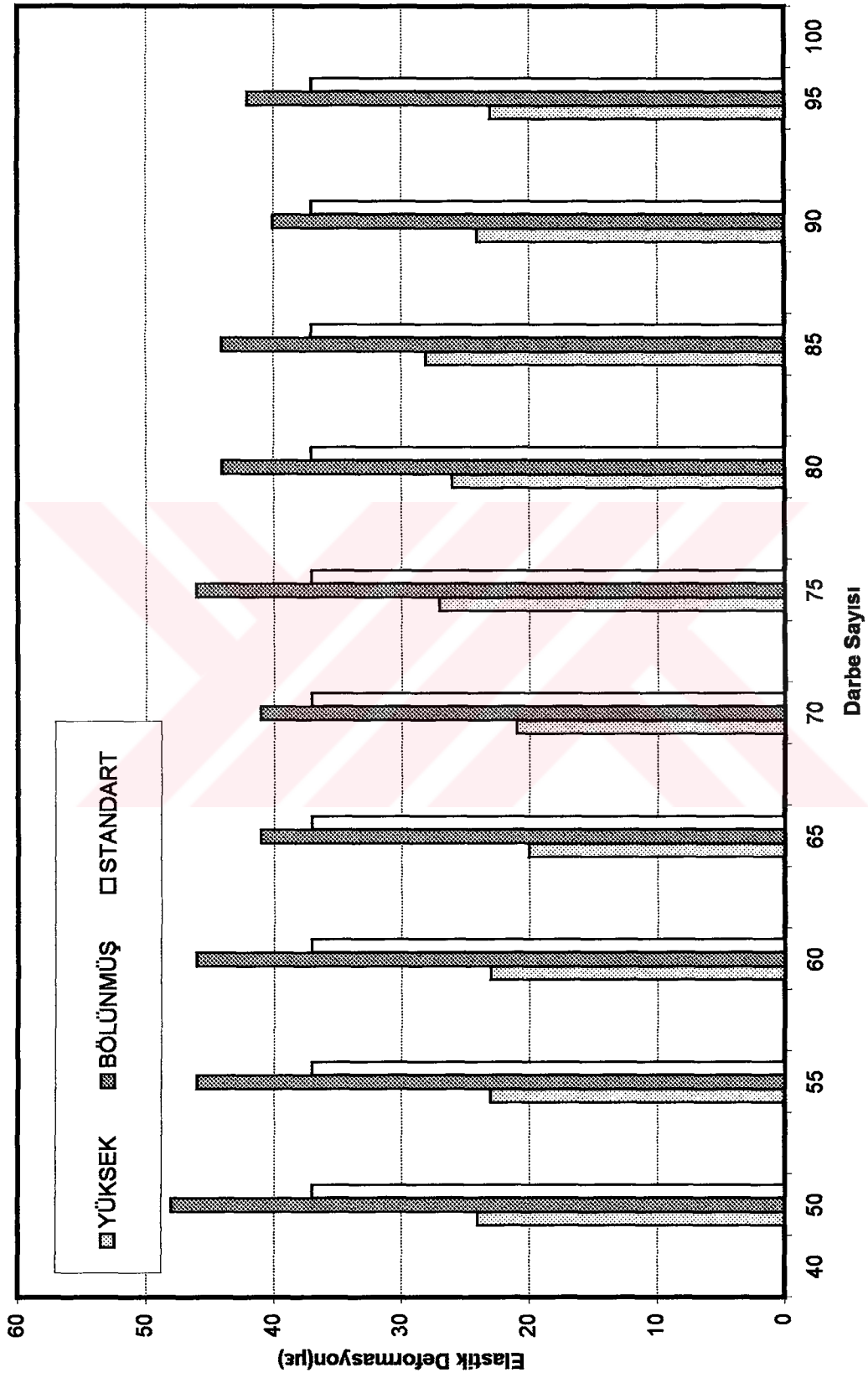
Şekil 7.27 Aşınma tabakası tip2 Elastisite modülü değerleri (50-95 Darbe)



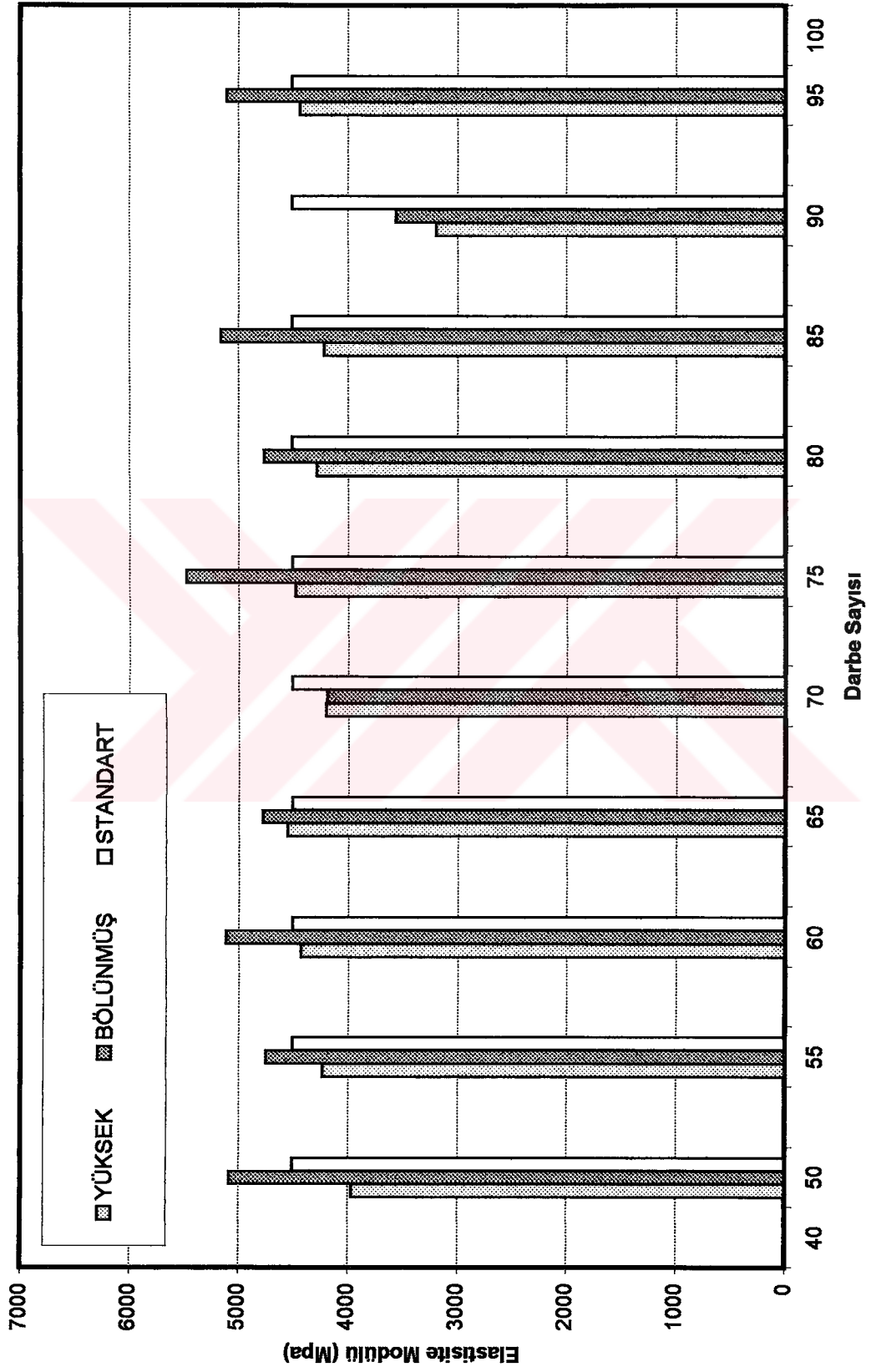
Şekil 7.28 Aşınma tabakası tip2 Elastik deformasyon değerleri (50-95 Darbe)



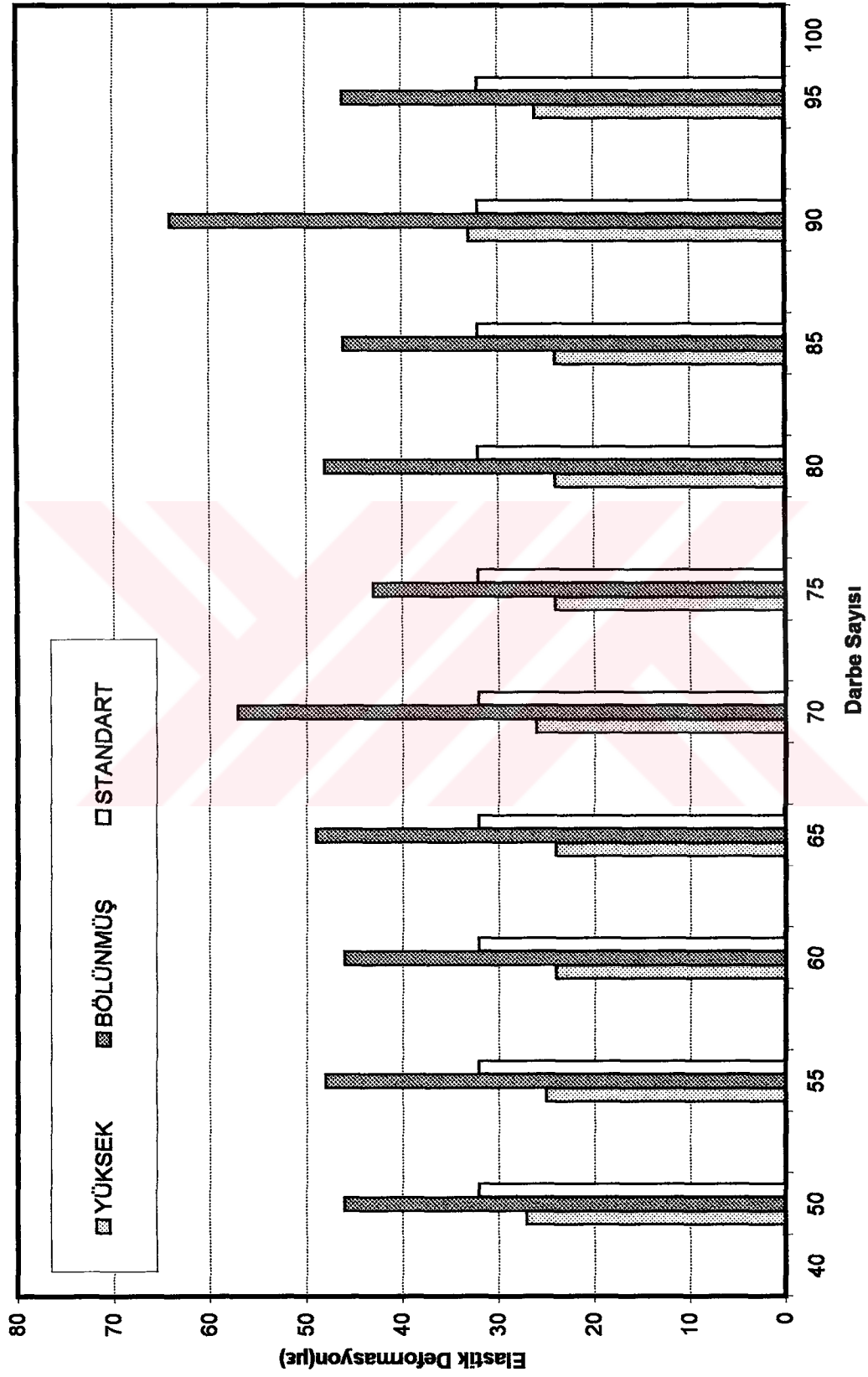
Şekil 7.29 Aşınma tabakası tip4 elastisite modülü değerleri (50-95 Darbe)



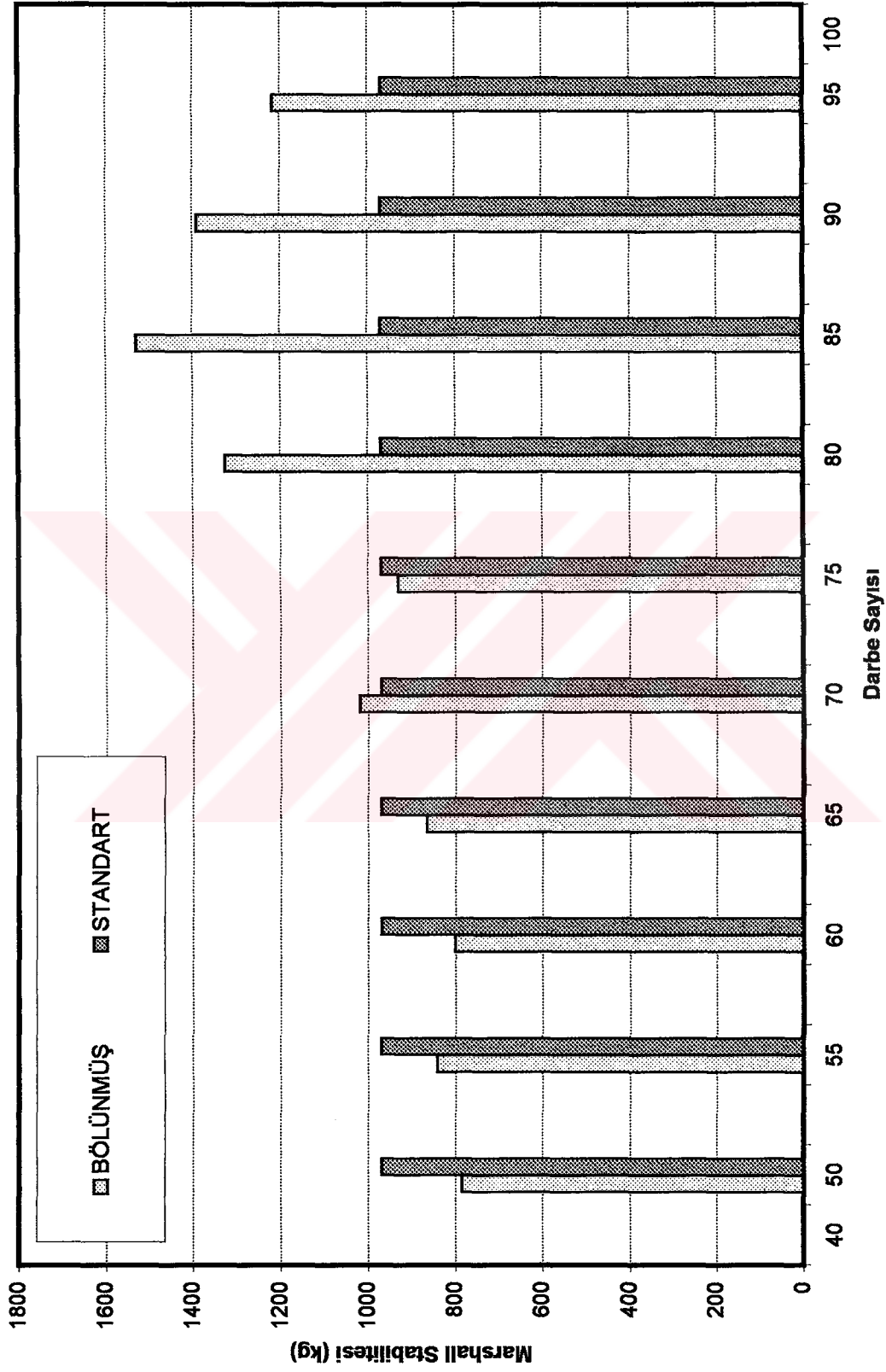
Şekil 7.30 Aşınma tabakası tip4 elastik deformasyon değerleri (50-95 Darbe)



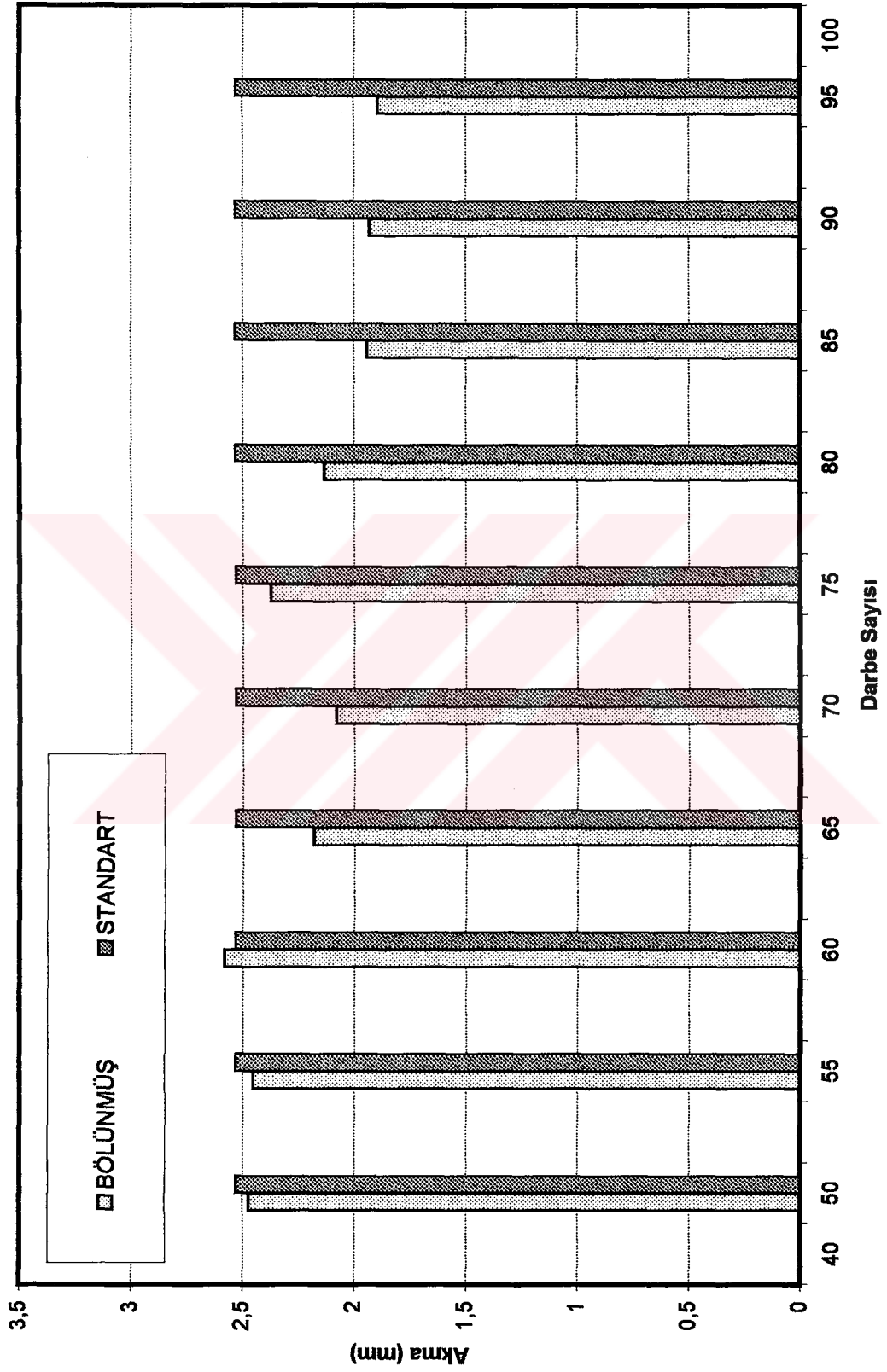
Şekil 7.31 Binder tabakası tip3 elastisite modülü değerleri (50-95 Darbe)



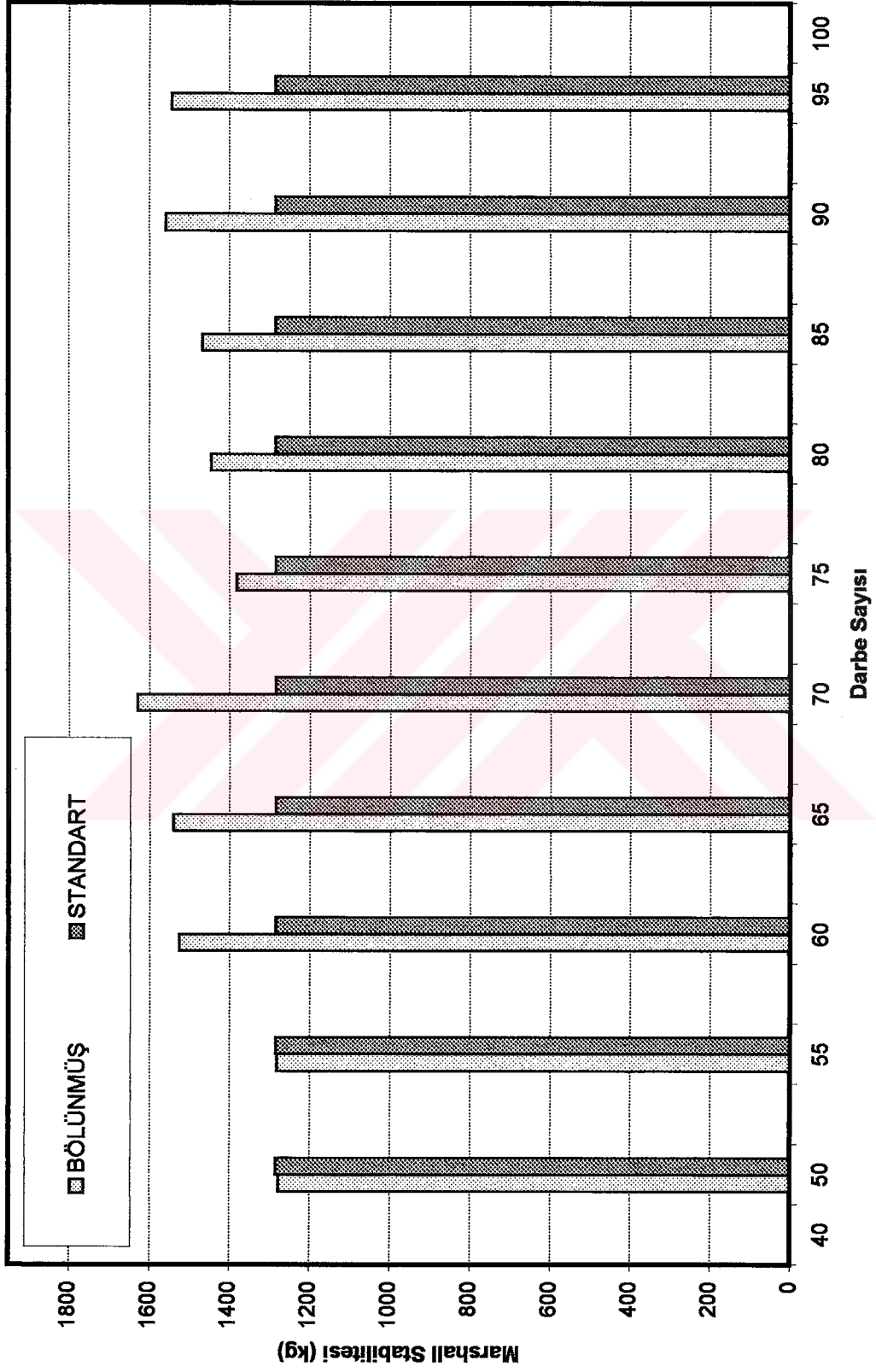
Şekil 7.32 Binder tabakası tip3 elastik deformasyon değerleri (50-95 Darbe)



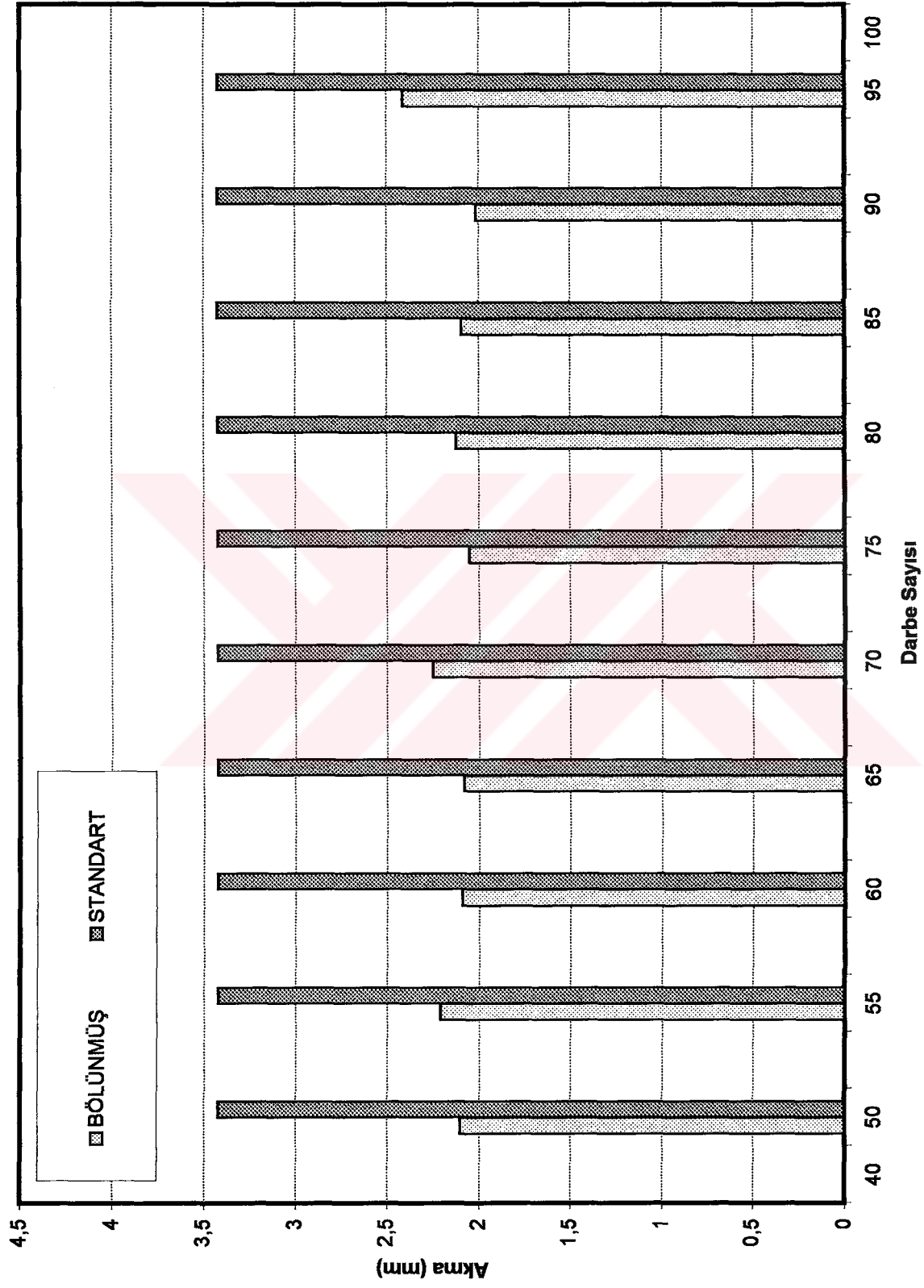
Şekil 7.33 Aşınma tabakası tip2 Marshall stabilite değerleri (50-95 Darbe)



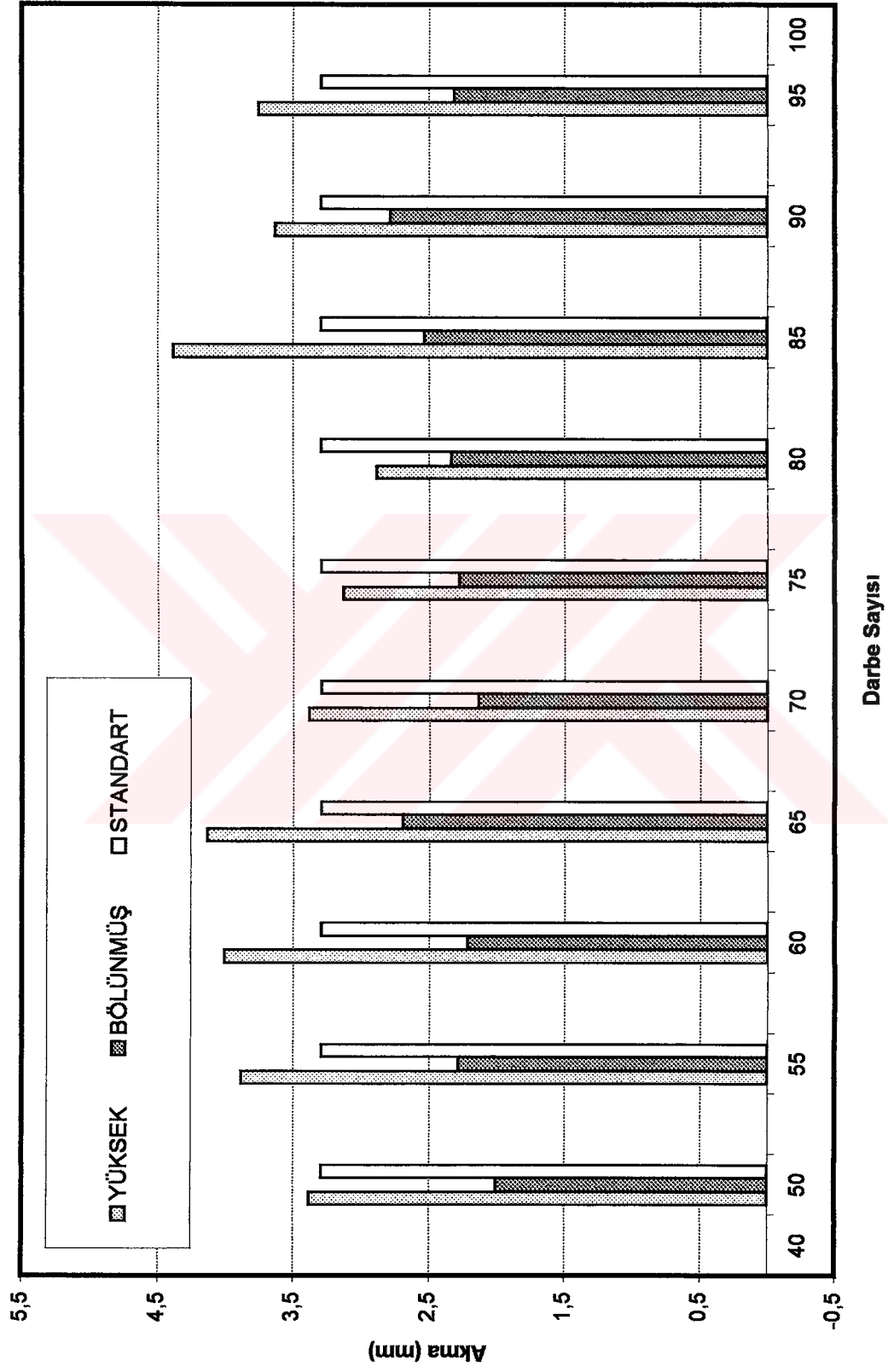
Şekil 7.34 Aşınma tabakası tip2 akma değerleri (50-95 Darbe)



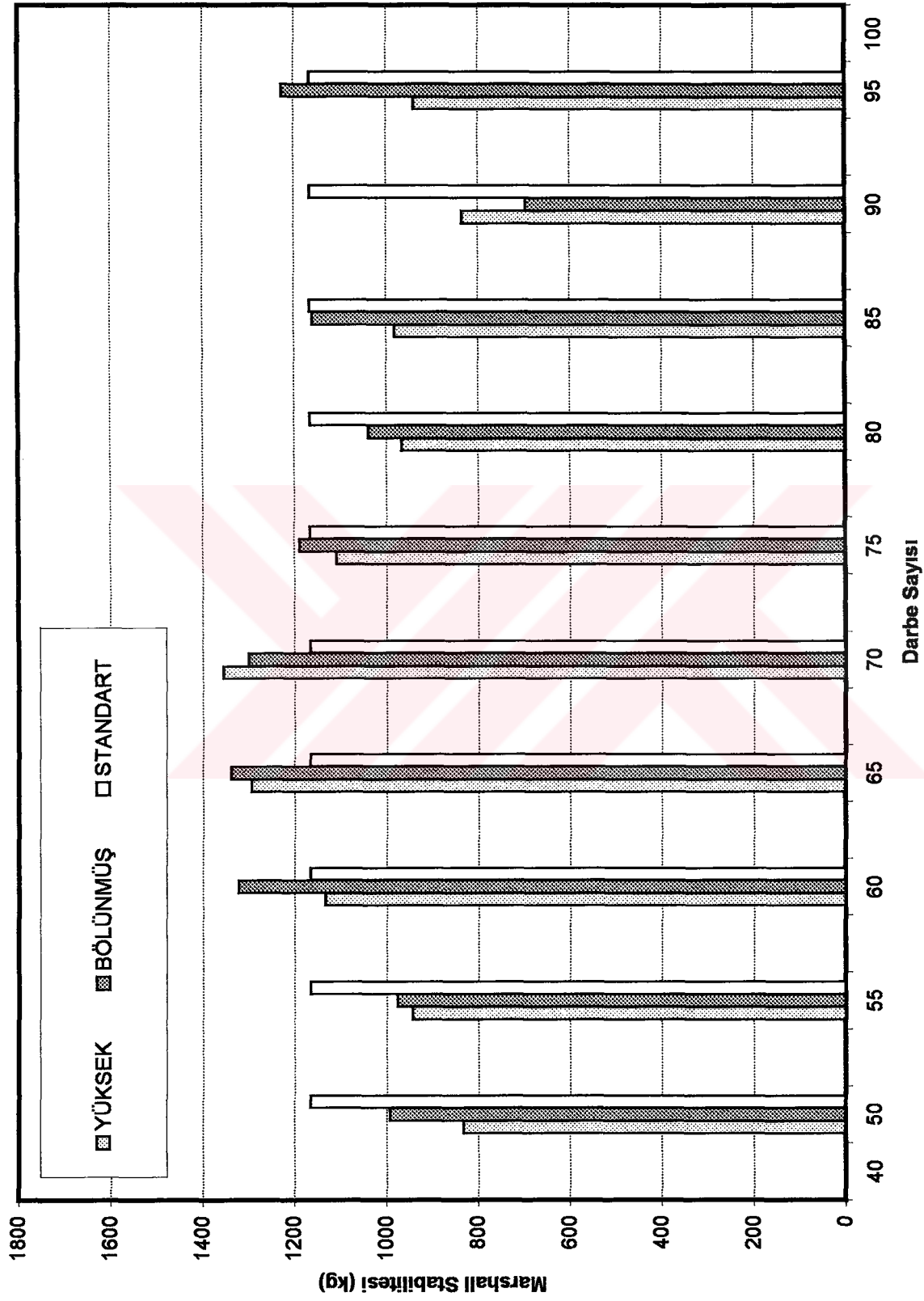
Şekil 7.35 Aşınma tabakası tip4 Marshall stabilite değerleri (50-95 Darbe)



Şekil 7.36 Aşınma tabakası tip4 akma değerleri (50-95 Darbe)



Şekil 7.37 Binder tabakası tip3 akma değerleri (50-95 Darbe)



Şekil 7.38 Binder tabakası tip3 Marshall stabilite değerleri (50-95 Darbe)

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmalarında, laboratuvar ortamında üretilen Marshall numunelerinin standart dışı olması durumunda, stabilite ve elastisite modülü (resilient modulus) değerlerinin sıkıştırma enerjisine bağlı olarak değişimi incelendi. Bu amaçla, İstanbul'da en yaygın şekilde uygulanan KGM aşınma tabakası tip2, aşınma tabakası tip4 ve binder tabakası tip3 gradasyonları esas alınarak yüksek numuneler üretildi. Yükseklikleri 80 mm'nin üzerinde olan bu numunelere dolaylı çekme ve Marshall deneyi uygulandı. Sonuçları kıyaslayabilmek amacıyla aynı karışım tip gradasyonlarından standart numuneler de üretilerek aynı testlere tabi tutuldu. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Aşınma tabakası tip2 gradasyonu yüksek numuneleri elastisite modülü değerleri incelendiğinde, sıkıştırma enerjisi 65 darbeye kadar olan kısımda, standart numune değerlerine göre daha düşük, sıkıştırma enerjisi 70 ve üstündeki darbelerde ise daha yüksek olduğu görülecektir. Bölünmüş numunelerde elastisite modülü değerleri yüksek numune değerleriyle paralel bir eğilim göstermekle birlikte, genel olarak bu değerler bütün enerji düzeylerinde, yüksek ve standart numune değerlerine göre daha fazladır. Bölünmüş numune elastik deformasyon değerleri sıkıştırma enerjisinin her seviyesinde standart numune değerlerinden daha yüksek, yüksek numune değerleri ise standart numune değerlerinden daha düşüktür.
2. Sıkıştırma enerjisi 50 - 75 darbe düzeyinde olan bölünmüş numune Marshall stabilite değerleri, aşınma tabakası tip2 gradasyonunu için, standart numune değerlerine göre daha azdır. Sıkıştırma enerjisi 80 ve daha yüksek darbeleri bölünmüş numune Marshall stabilite değerleri ise standart numune değerlerine göre oldukça fazladır. Aşınma tabakası tip2 gradasyonu bölünmüş numune akma değerleri sıkıştırma enerjisi 60 darbe olanlar dışındaki bütün numunelerde standart numune değerlerinden daha düşüktür.

3. Aşınma tabakası tip4 gradasyonu yüksek ve bölünmüş numunelerin elastisite modülü değerleri bütün sıkıştırma enerjisi düzeylerinde standart numune değerlerinden daha yüksektir. Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune elastik deformasyon değerleri sıkıştırma enerjisinin bütün düzeylerinde standart numunelere göre daha yüksek, yüksek numuneler ise standart numune değerlerinden daha düşüktür.
4. Marshall stabilite değerleri aşınma tabakası tip4 gradasyonu bölünmüş numunelerinde sıkıştırma enerjisi 55 darbe ve üstünde kalan düzeyler için standart numune değerlerine göre daha fazladır. Bölünmüş numune akma değerleri ise sıkıştırma enerjisinin her düzeyinde standart numune değerlerine göre daha düşüktür.
5. Binder tabakası tip3 gradasyonu için yüksek numune elastisite modülü değerleri düzenli olmayan bir artış ve azalma göstermektedir. Bununla birlikte, genel olarak yüksek numunelerin elastisite modülü değerleri standart numune değerlerine göre daha azdır. Bölünmüş numunelerde ise sıkıştırma enerjisi 90 darbe olanlar dışında kalan numunelerin elastisite modülü standart numune değerlerine göre daha fazladır. Elastik deformasyon değerleri de sıkıştırma enerjisi 90 darbe olanlar dışındaki yüksek numunelerde standart numune değerlerine göre daha azdır. Bölünmüş numune elastik deformasyon değerleri ise sıkıştırma enerjisinin her düzeyinde standart numune değerlerinden daha yüksektir.
6. Binder tabakası tip3 gradasyonu için Marshall stabilite değerleri sıkıştırma enerjisi 65 - 70 darbe düzeyi dışında kalan yüksek numunelerde standart numune değerlerinden daha azdır. Bölünmüş numune stabilite değerleri sıkıştırma enerjisi 60-75 ve 95 darbe düzeylerinde standart numune değerlerine göre daha yüksek, diğer enerji seviyelerinde ise daha düşüktür. Akma değerleri sıkıştırma enerjisi 75 – 80 darbe düzeyi dışında kalan bütün yüksek numunelerinde standart numune değerlerinden daha yüksektir. Bölünmüş numune akma değerleri ise bütün enerji seviyelerinde standart numune değerlerinden daha düşüktür.
7. Karışımların değişik tip gradasyonları karşılaştırıldığında, genel olarak aşınma tabakası tip4 gradasyonu elastisite modülü değerleri hem yüksek hem de

bölünmüş numunelerde diğer tip gradasyon değerlerine göre daha yüksektir. Aşınma tabakası tip2 gradasyonu elastisite modülü değerleri de yüksek ve bölünmüş numunelerde diğer tip gradasyon numunelerine göre genel olarak daha düşüktür.

8. Aşınma tabakası tip4 gradasyonu bölünmüş numunelerin Marshall stabilite değerleri aşınma tabakası tip2 ve binder tabakası tip3 gradasyonu bölünmüş numune değerlerine göre daha yüksektir.
9. Elastisite modülünde genel olarak bütün karışımların tip gradasyonları hem yüksek hem de bölünmüş numuneler için birbirine yakın değerler verirken, elastik deformasyon ölçümlerinde bölünmüş numuneler yüksek numunelere göre daha yüksek değerler vermektedir.
10. Elastik deformasyon değerleri gerek yüksek ve gerekse bölünmüş numunelerde, bütün karışım gradasyonları için (aşınma tabakası tip2, aşınma tabakası tip4 ve binder tabakası tip3) ve sıkıştırma enerjisinin her seviyesinde standart numune değerlerine göre daha yüksektir.

Sonuç olarak, ülkemizde ve dünyada uygulanmakta olan Marshall tasarım metodu kapsamında üretilen standart yükseklikteki numuneler yerine, farklı kaplama tabakaları ve aynı kaplamaların farklı tip gradasyonları için değişken sıkıştırma enerjili yüksek numuneler üretilerek (bölünmek suretiyle) %50 daha az numuneyle dizaynlar hazırlama yoluna gidilebilir. Bu çalışmada, üretilcek yüksek (ortalama 80mm) numunelerde sıkıştırma enerjisi olarak, aşınma tabakası tip2 gradasyonu için en az 80 darbe, aşınma tabakası tip4 için en az 60 darbe, binder tabakası için de 65-70 darbe uygulanması halinde standart numunelere göre daha yüksek stabilite ve daha yüksek elastisite modülü değeri elde edildiği görülmüştür.

İleride bu konuyla ilgili daha kapsamlı (boşluk oranı vb.) ve daha detaylı (farklı agrega malzemesi kullanmak, farklı AC penetrasyonları kullanmak, numune yükseklikleri ve sıkıştırma enerjisi aralıklarını arttırmak vb.) çalışmalar yapılarak bunun olumlu ve olumsuz yönleri tespit edilebilir. Tespit edilen sonuçlara göre yüksek numuneler üretilerek, tasarım yapılabilir ve yüksek numune dizayn sonuçları standart numune dizayn sonuçlarıyla karşılaştırılabilir. Böylece daha gerçekçi bir sonuca ulaşılmış olur.

KAYNAKLAR

- [1] Umar, F. ve Ağar, E., 1991. Yol Üstyapısı, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] Karayolları Genel Müdürlüğü, 1989. Yollar Fenni Şartnamesi, Ankara.
- [3] Önal, M.A. ve Karaca, S., 1990. Asfalt Betonu Karışım Dizayn Metodları, KGM Matbaası, Ankara.
- [4] Keçeciler, A.F., Akkol, G., Gümrükçüoğlu, A. Ve Gökçe A.F., 1990. Bitümlü Malzemeler El Kitabı, KGM Matbaası, Ankara.
- [5] TS 3720, Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları, 1983, Ankara.
- [6] American Association of State Highway and Transportation Officials, 1987, AASHTO Guide For Design Pavement Structures, Volume 1, Washington.
- [7] American Association of State Highway and Transportation Officials, 1987, AASHTO Guide For Design Pavement Structures, Volume 2, Washington.
- [8] Öncel, M.S. ve Eren B.K., İstanbul Çevresindeki Taş Ocaklarının Sınıflanması ve Asfalt Betonu Agregası Olarak Kullanımı, 1. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler, 1996, İstanbul.
- [9] Karayolları Genel Müdürlüğü, 1995, Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi, KGM Matbaası, Ankara
- [10] The Asphalt Handbook, Asphalt Institute Manuel Series, No: 4 (MS 4), 1989.
- [11] The Shell Bitumen Handbook, 1990, UK.
- [12] Önal, M.A., Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, 1993, KGM Matbaası, Ankara.
- [13] American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986 AASHTO, Guide For Design of Pavement Structures, Washington.
- [14] Ilıcalı, M., Asfalt ve Uygulamaları, 2001, İsfalt A.Ş., İstanbul.
- [15] The Asphalt Institute, MS-2, Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot Mix Tipes, 1963.
- [16] Tunç A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, 2001, İstanbul.

- [17] **Özen, H.**, Bitümlü Karışım Değişkenlerinin Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması ve Hizmet Ömrü Tahmini İçin Bir Model Kurulması, Doktora Tezi, 1999, İstanbul
- [18] **Asfalt İnşaatı İle İlgili Standart Deney Metotları**, 1970, Cilt 1, Bayındırlık Bakanlığı Araştırma Fen Heyeti Başkanlığı, Ankara.
- [19] **Asfalt İnşaatı İle İlgili Standart Deney Metotları**, 1970, Cilt 2, Bayındırlık Bakanlığı Araştırma Fen Heyeti Başkanlığı, Ankara.
- [20] **American Association of State Highway and Transportation Officials**, 1987, AASHTO Standart Spesifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing.
- [21] **Kandhal, P.S. and Koehler, W. S.**, Marshall Mix Design Methods : Current Practices, Association of Asphalt Paving Technologist, AAPT , V54, 1985.
- [22] **White, T. D.**, Marshall Procedures for Design and Quality Controll Of Asphalt Mixtures, AAPT, V54, 1985.
- [23] **Hugo, F. and Schreuder, W. J.**, Effect of Sample Lenght on Indirect Tensile Test Parameters, AAPT, V62, 1993.
- [24] **Lim, C.T. and Tan, S. A.**, Specimen Size Effects on The Diametrical Mechanical Testing of Cylindrical Asfalt Mixes, Journal of Testing And Evaluation Nov. 1995



EK A : MARSHALL STABİLİTE DENEYİ SONUÇLARI

Tablo A.1 Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune Marshall değerleri

BÖLÜNMÜŞ NUMUNELERİN MARSHALL STABİLİTESİ VE AKMA DEĞERLERİ														
AŞINMA TİP II				Yükseklik (mm.)	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)			Grup Ortalaması		Briket Ortalaması			
Sıra No	Numune Kodu	Parça Sayısı	Okunan Değer			Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Değer	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)			
1	Aşınma Tip2 501A	50	39,0	2,75	2,623	897								
2	Aşınma Tip2 501B	50	42,5	1,95	2,128	749						2,35		823
3	Aşınma Tip2 502A	50	39,3	2,38	2,570	871								
4	Aşınma Tip2 502B	50	41,7	2,75	2,223	671						2,56		771
5	Aşınma Tip2 503A	50	41,0	2,50	2,313	858								
6	Aşınma Tip2 503B	50	40,5	2,50	2,385	663		2,47	785			2,50		761
7	Aşınma Tip2 551A	55	40,3	2,38	2,414	862								
8	Aşınma Tip2 551B	55	41,0	2,63	2,313	763						2,50		813
9	Aşınma Tip2 552A	55	41,1	2,88	2,299	956								
10	Aşınma Tip2 552B	55	39,6	2,13	2,518	904						2,50		930
11	Aşınma Tip2 553A	55	40,4	2,45	2,390	750								
12	Aşınma Tip2 553B	55	40,2	2,25	2,428	809		2,45	841			2,35		779
13	Aşınma Tip2 601A	60	39,9	2,75	2,471	835								
14	Aşınma Tip2 601B	60	40,9	2,50	2,328	722						2,63		778
15	Aşınma Tip2 602A	60	42,5	2,63	2,128	768								
16	Aşınma Tip2 602B	60	38,9	2,25	2,640	787						2,44		777
17	Aşınma Tip2 603A	60	36,6	2,88	3,014	955								
18	Aşınma Tip2 603B	60	44,4	2,50	1,930	730		2,58	799			2,69		842
19	Aşınma Tip2 651A	65	37,8	1,88	2,827	984								
20	Aşınma Tip2 651B	65	42,2	2,38	2,163	811						2,13		897
21	Aşınma Tip2 652A	65	43,6	2,00	2,010	830								
22	Aşınma Tip2 652B	65	36,4	2,20	3,049	738						2,10		784
23	Aşınma Tip2 653A	65	42,7	2,00	2,104	852								
24	Aşınma Tip2 653B	65	37,1	2,63	2,936	966		2,18	863			2,31		909
25	Aşınma Tip2 701A	70	39,9	2,70	2,471	1129								
26	Aşınma Tip2 701B	70	38,7	1,88	2,675	1073						2,29		1101

Tablo A.1 Devamı

27	Aşınma Tip2 702A	70	41,0	1,95	407	2,313	941					
28	Aşınma Tip2 702B	70	39,2	1,95	347	2,588	898			1,95		920
29	Aşınma Tip2 703A	70	43,4	1,88	492	2,030	999					
30	Aşınma Tip2 703B	70	36,3	2,13	348	3,068	1068	2,08	1017,96	2,00		1033
31	Aşınma Tip2 751A	75	39,9	2,88	431	2,471	1065					
32	Aşınma Tip2 751B	75	39,3	1,70	342	2,570	879			2,29		972
33	Aşınma Tip2 752A	75	36,9	2,50	351	2,968	1042					
34	Aşınma Tip2 752B	75	41,8	2,25	420	2,211	929			2,38		985
35	Aşınma Tip2 753A	75	43,3	2,25	402	2,040	820					
36	Aşınma Tip2 753B	75	37,0	2,63	286	2,952	844	2,37	929,78	2,44		832
37	Aşınma Tip2 801A	80	39,5	2,50	554	2,535	1404					
38	Aşınma Tip2 801B	80	38,6	2,20	437	2,693	1177			2,35		1291
39	Aşınma Tip2 802A	80	40,8	1,88	579	2,342	1356					
40	Aşınma Tip2 802B	80	36,6	1,88	476	3,014	1435			1,88		1395
41	Aşınma Tip2 803A	80	38,9	2,20	494	2,640	1304					
42	Aşınma Tip2 803B	80	38,7	2,13	475	2,675	1271	2,13	1324,45	2,16		1287
43	Aşınma Tip2 851A	85	38,7	1,88	569	2,675	1522					
44	Aşınma Tip2 851B	85	37,6	1,75	510	2,858	1458			1,81		1490
45	Aşınma Tip2 852A	85	37,7	2,38	464	2,843	1319					
46	Aşınma Tip2 852B	85	40,0	1,75	492	2,457	1209			2,06		1264
47	Aşınma Tip2 853A	85	36,6	2,00	474	3,014	1429					
48	Aşınma Tip2 853B	85	40,4	1,88	577	2,390	1379	1,94	1385,89	1,94		1404
49	Aşınma Tip2 901A	90	39,4	2,00	563	2,553	1437					
50	Aşınma Tip2 901B	90	39,1	1,88	509	2,605	1326			1,94		1382
51	Aşınma Tip2 902A	90	40,9	1,88	593	2,328	1381					
52	Aşınma Tip2 902B	90	36,2	1,83	497	3,086	1534			1,85		1457
53	Aşınma Tip2 903A	90	37,4	2,13	498	2,889	1439					
54	Aşınma Tip2 903B	90	41,1	1,88	528	2,299	1214	1,93	1388,35	2,00		1326
55	Aşınma Tip2 951A	95	39,6	2,00	536	2,518	1350					
56	Aşınma Tip2 951B	95	38,6	1,70	438	2,693	1180			1,85		1265
57	Aşınma Tip2 952A	95	36,8	1,63	437	2,983	1304					
58	Aşınma Tip2 952B	95	42,4	2,00	522	2,139	1117			1,81		1210
59	Aşınma Tip2 953A	95	35,0	2,08	330	3,311	1093					
60	Aşınma Tip2 953B	95	35,7	1,95	393	3,180	1250	1,89	1215,28	2,01		1171

Tablo A.2 Aşınma tabakası tip2 standart numune Marshall değerleri

STANDART NÜMUNELERİN MARSHALL STABİLİTESİ VE AKMA DEĞERLERİ									
AŞINMA TİP II			Yükseklik (mm.)	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)			Grup Ortalaması	
Sıra No	Numune Kodu	Darbe Sayısı			Okunan Değer	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Değer	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)
1	Aşınma Tip2 S01	50	64,8	2,63	986	0,968	954		
2	Aşınma Tip2 S02	50	64,2	2,50	998	0,983	981		
3	Aşınma Tip2 S03	50	64,6	2,45	996	0,973	969	2,53	993

Tablo A.3 Aşınma tabakası tip4 bölümlü numune Marshall değerleri

BÖLÜNMÜŞ NÜMUNELERİN MARSHALL STABİLİTE DEĞERLERİ											
AŞINMA TİP IV			Yükseklik (mm)	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)			Grup Ortalaması		Briket Ortalaması	
Sıra No	Numune Kodu	Derbe Sayısı			Okunan Değer	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Değer	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)
1	Aşınma Tip4 501A	50	34,6	2,25	481	3,375	1623				
2	Aşınma Tip4 501B	50	45,6	1,75	580	1,831	1062			2,00	1343
3	Aşınma Tip4 502A	50	44,1	1,88	504	1,960	988				
4	Aşınma Tip4 502B	50	37,0	2,13	409	2,952	1207			2,00	1098
5	Aşınma Tip4 503A	50	40,4	2,20	538	2,390	1286				
6	Aşınma Tip4 503B	50	39,0	2,38	567	2,623	1487	2,10	1276	2,29	1387
7	Aşınma Tip4 551A	55	39,5	2,25	522	2,535	1323				
8	Aşınma Tip4 551B	55	41,0	2,13	489	2,313	1131			2,19	1227
9	Aşınma Tip4 552A	55	40,6	2,00	523	2,371	1240				
10	Aşınma Tip4 552B	55	39,3	1,75	456	2,570	1172			1,88	1206
11	Aşınma Tip4 553A	55	42,1	2,63	658	2,175	1431				
12	Aşınma Tip4 553B	55	36,5	2,50	458	3,030	1388	2,21	1281	2,56	1409
13	Aşınma Tip4 601A	60	38,8	1,63	540	2,658	1435				
14	Aşınma Tip4 601B	60	39,3	1,83	613	2,570	1575			1,73	1505
15	Aşınma Tip4 602A	60	37,8	1,88	580	2,827	1640				
16	Aşınma Tip4 602B	60	40,2	1,95	636	2,428	1544			1,91	1592
17	Aşınma Tip4 603A	60	39,5	2,88	610	2,535	1546				
18	Aşınma Tip4 603B	60	39,4	2,38	551	2,553	1407	2,09	1525	2,63	1477
19	Aşınma Tip4 651A	65	40,6	1,95	636	2,371	1508				
20	Aşınma Tip4 651B	65	38,2	1,63	538	2,763	1486			1,79	1497
21	Aşınma Tip4 652A	65	39,0	1,63	572	2,623	1500				
22	Aşınma Tip4 652B	65	39,5	2,13	617	2,535	1564			1,88	1532
23	Aşınma Tip4 653A	65	40,5	2,25	666	2,385	1588				
24	Aşınma Tip4 653B	65	38,3	2,88	579	2,745	1589	2,08	1539	2,56	1589
25	Aşınma Tip4 701A	70	39,7	1,88	650	2,500	1625				
26	Aşınma Tip4 701B	70	38,3	2,13	654	2,745	1795			2,00	1710
27	Aşınma Tip4 702A	70	40,5	1,95	632	2,385	1507				
28	Aşınma Tip4 702B	70	37,7	2,25	618	2,843	1757			2,10	1632

Tablo A.3 Devamı

29	Aşınma Tip4 703A	70	39,2	2,70	540	2,588	1398					
30	Aşınma Tip4 703B	70	38,8	2,63	635	2,658	1688		1628	2,25	2,66	1543
31	Aşınma Tip4 751A	75	39,1	1,88	515	2,605	1342					
32	Aşınma Tip4 751B	75	38,7	1,88	557	2,675	1490				1,88	1416
33	Aşınma Tip4 752A	75	37,0	1,95	495	2,952	1461					
34	Aşınma Tip4 752B	75	39,8	1,75	534	2,486	1328				1,85	1394
35	Aşınma Tip4 753A	75	39,1	2,50	540	2,605	1407					
36	Aşınma Tip4 753B	75	38,2	2,38	454	2,763	1254		1380	2,05	2,44	1331
37	Aşınma Tip4 801A	80	39,6	2,00	609	2,518	1533					
38	Aşınma Tip4 801B	80	37,7	1,70	550	2,843	1564				1,85	1549
39	Aşınma Tip4 802A	80	38,2	2,00	575	2,763	1589					
40	Aşınma Tip4 802B	80	38,7	1,88	515	2,675	1378				1,94	1483
41	Aşınma Tip4 803A	80	41,9	2,75	620	2,199	1363					
42	Aşınma Tip4 803B	80	35,7	2,38	387	3,180	1231		1443	2,12	2,56	1297
43	Aşınma Tip4 851A	85	38,9	1,80	583	2,640	1539					
44	Aşınma Tip4 851B	85	38,5	2,00	552	2,710	1496				1,90	1518
45	Aşınma Tip4 852A	85	38,5	2,38	468	2,710	1268					
46	Aşınma Tip4 852B	85	38,5	1,88	540	2,710	1463				2,13	1366
47	Aşınma Tip4 853A	85	37,5	2,13	558	2,874	1604					
48	Aşınma Tip4 853B	85	39,1	2,38	545	2,605	1420		1465	2,09	2,25	1512
49	Aşınma Tip4 901A	90	38,3	1,88	577	2,745	1584					
50	Aşınma Tip4 901B	90	39,1	2,25	644	2,601	1675				2,06	1629
51	Aşınma Tip4 902A	90	36,3	1,95	510	3,068	1565					
52	Aşınma Tip4 902B	90	41,5	1,88	609	2,246	1368				1,91	1466
53	Aşınma Tip4 903A	90	38,2	2,13	589	2,763	1627					
54	Aşınma Tip4 903B	90	39,4	2,00	598	2,553	1527		1558	2,01	2,06	1577
55	Aşınma Tip4 951A	95	36,8	2,25	565	2,983	1685					
56	Aşınma Tip4 951B	95	40,3	1,88	642	2,414	1550				2,06	1618
57	Aşınma Tip4 952A	95	38,0	1,95	546	2,796	1527					
58	Aşınma Tip4 952B	95	39,1	2,00	626	2,605	1631				1,98	1579
59	Aşınma Tip4 953A	95	39,2	3,13	513	2,588	1328					
60	Aşınma Tip4 953B	95	38,3	3,25	559	2,745	1534		1542	2,41	3,19	1431

Tablo A.4 Aşınma tabakası tip4 standart numune Marshall değerleri

STANDART NÜMUNELERİN MARSHALL STABİLİTE DEĞERLERİ									
AŞINMA TİP IV					Stabilite (Kg.)			Grup Ortalaması	
Sıra No	Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik (mm.)	Akma (mm.)	Okunan Değer	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Değer	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)
1	Aşınma Tip4 S01	50	63,7	3,50	1213	0,995	1207		
2	Aşınma Tip4 S02	50	63,6	3,13	1553	0,998	1550		
3	Aşınma Tip4 S03	50	63,8	3,63	1102	0,993	1094	3,42	1289

Tablo A.5 Binder tabakası tip3 yüksek ve bölünmüş numune Marshall değerleri

YÜKSEK - BÖLÜNMÜŞ NUMUNELERİN MARSHALL STABİLİTE VE AKMA DEĞERLERİ									
Sıra No	BINDER TİP III Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik (mm.)	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)			Grup Ortalaması	
					Okunan Değer	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Değer	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)
1	Binder Tip3 501A	50	38,0	2,25	336	2,796	939		
2	Binder Tip3 501B	50	39,9	2,00	456	2,471	1127		
3	Binder Tip3 502A	50	36,6	2,13	369	3,014	1112		
4	Binder Tip3 502B	50	43,2	1,63	385	2,050	789	2,00	992
5	Binder Tip3 503	50	83,3	3,38	1386	0,600	832	3,38	832
6	Binder Tip3 551A	55	41,4	2,38	480	2,258	1084		
7	Binder Tip3 551B	55	39,9	2,25	351	2,471	867		
8	Binder Tip3 552A	55	40,7	2,38	420	2,356	990		
9	Binder Tip3 552B	55	39,7	2,13	385	2,500	963	2,28	976
10	Binder Tip3 553	55	83,0	3,88	1562	0,604	943	3,88	943
11	Binder Tip3 601A	60	42,0	2,08	639	2,187	1397		
12	Binder Tip3 601B	60	33,8	2,63	431	3,495	1506		
13	Binder Tip3 602A	60	37,0	2,00	435	2,952	1284		
14	Binder Tip3 602B	60	42,3	2,13	512	2,151	1101	2,21	1322
15	Binder Tip3 603	60	81,6	4,00	1817	0,624	1134	4,00	1134
16	Binder Tip3 651A	65	43,0	2,50	586	2,070	1213		
17	Binder Tip3 651B	65	35,9	2,00	466	3,143	1465		
18	Binder Tip3 652A	65	41,2	3,88	637	2,284	1455		
19	Binder Tip3 652B	65	37,3	2,38	420	2,905	1220	2,69	1338
20	Binder Tip3 653	65	80,9	4,13	2040	0,634	1293	4,13	1293
21	Binder Tip3 701A	70	34,4	1,75	427	3,405	1454		
22	Binder Tip3 701B	70	42,8	2,13	586	2,092	1226		
23	Binder Tip3 702A	70	34,4	2,13	451	3,405	1536		
24	Binder Tip3 702B	70	41,8	2,50	443	2,211	979	2,13	1299
25	Binder Tip3 703	70	80,4	3,38	2110	0,642	1355	3,38	1355
26	Binder Tip3 751A	75	42,1	2,38	539	2,175	1172		
27	Binder Tip3 751B	75	36,2	2,38	376	3,086	1160		
28	Binder Tip3 752A	75	38,5	2,38	470	2,710	1274		
29	Binder Tip3 752B	75	38,7	1,95	428	2,675	1145	2,27	1188
30	Binder Tip3 753	75	81,8	3,13	1786	0,621	1109	3,13	1109

Tablo A.5 devamı

31	Binder Tip3 801A	80	41,4	2,13	460	2,258	1039		
32	Binder Tip3 801B	80	37,8	2,63	343	2,827	970		
33	Binder Tip3 802A	80	37,2	2,45	415	2,921	1212		
34	Binder Tip3 802B	80	42,0	2,13	426	2,187	932	2,33	1038
35	Binder Tip3 803	80	82,0	2,88	1563	0,618	966	2,88	966
36	Binder Tip3 851A	85	39,1	3,00	504	2,605	1313		
37	Binder Tip3 851B	85	38,8	2,63	397	2,658	1055		
38	Binder Tip3 852A	85	39,8	2,13	447	2,486	1111		
39	Binder Tip3 852B	85	39,0	2,38	442	2,623	1159	2,53	1160
40	Binder Tip3 853	85	82,6	4,38	1607	0,610	980	4,38	980
41	Binder Tip3 901A	90	41,6	3,13	289	2,234	646		
42	Binder Tip3 901B	90	39,1	2,63	219	2,605	570		
43	Binder Tip3 902A	90	42,1	2,63	342	2,175	744		
44	Binder Tip3 902B	90	38,5	2,75	302	2,710	818	2,78	695
45	Binder Tip3 903	90	83,0	3,63	1381	0,604	834	3,63	834
46	Binder Tip3 951A	95	38,3	2,00	490	2,745	1345		
47	Binder Tip3 951B	95	39,8	1,88	423	2,486	1052		
48	Binder Tip3 952A	95	41,9	2,50	554	2,199	1218		
49	Binder Tip3 952B	95	36,9	2,88	433	2,968	1285	2,31	1225
50	Binder Tip3 953	95	82,7	3,75	1544	0,608	939	3,75	939

Tablo A.6 Binder tabakası tip3 standart numune Marshall değerleri

STANDART NÜMUNELERİN MARSHALL STABİLİTE VE AKMA DEĞERLERİ									
BINDER TİP III		Darbe Sayısı	Yükseklik (mm.)	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)			Grup Ortalaması	
Sıra No	Numune Kodu				Okunan Değer	Düzeltilme Faktörü	Düzeltilmiş Değer	Akma (mm.)	Stabilite (Kg.)
1	Binder Tip3 S01	50	62,2	3,63	1136	1,033	1173		
2	Binder Tip3 S02	50	62,5	2,88	1159	1,025	1188		
3	Binder Tip3 S03	50	62,8	3,38	1200	1,018	1222	3,29	1165



EK B : DOLAYLI ÇEKME MODÜLÜ DENEYİ SONUÇLARI

Tablo B.1 Aşınma tabakası tip2 yüksek numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

YÜKSEK NÜMUNELERİNİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI														
TİP II AŞINMA		Darbe Sayısı	Yükseklik	0 Derece			90 Derece			Ortalama			Grup Ortalaması	
Sıra No	Numune Kodu			Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	
				(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	
1	Aşınma Tip2 501	50	85,65	31,89	3403,8	33,52	3201,1	32,71	3302					
2	Aşınma Tip2 502	50	85,00	29,07	3708,7	28,47	3754,3	28,77	3732					
3	Aşınma Tip2 503	50	85,35	27,44	3748,3	36,40	2928,1	31,92	3338	31,13	3457			
4	Aşınma Tip2 551	55	85,25	31,78	3289,8	30,86	3382,6	31,32	3336					
5	Aşınma Tip2 552	55	84,85	24,18	4217,9	27,55	3774,6	25,87	3996					
6	Aşınma Tip2 553	55	84,72	27,28	3799,1	33,36	3055,2	30,32	3427	29,17	3587			
7	Aşınma Tip2 601	60	85,20	34,34	3033,1	31,51	3263,4	32,93	3148					
8	Aşınma Tip2 602	60	84,68	32,11	3198,5	34,72	3011,1	33,42	3105					
9	Aşınma Tip2 603	60	83,93	23,42	4521,7	27,33	3954,2	25,38	4238	30,57	3497			
10	Aşınma Tip2 651	65	83,88	32,71	3206,5	27,49	3810,9	30,10	3509					
11	Aşınma Tip2 652	65	83,58	31,35	3352,2	27,49	3885,3	29,42	3619					
12	Aşınma Tip2 653	65	83,90	28,36	3594,9	36,89	2905,7	32,63	3250	30,72	3459			
13	Aşınma Tip2 701	70	82,35	32,49	3384,7	25,92	4043,6	29,21	3714					
14	Aşınma Tip2 702	70	82,93	30,21	3600,8	27,06	4026,2	28,64	3814					
15	Aşınma Tip2 703	70	83,00	22,98	4670,2	34,50	3092,7	28,74	3881	28,86	3803			
16	Aşınma Tip2 751	75	83,00	31,51	3458,0	34,18	3136,4	32,85	3297					
17	Aşınma Tip2 752	75	82,93	28,20	3814,6	29,29	3643,5	28,75	3729					
18	Aşınma Tip2 753	75	83,82	24,23	4423,2	30,48	3480,9	27,36	3952	29,65	3659			
19	Aşınma Tip2 801	80	81,78	25,16	4456,9	27,06	4086,8	26,11	4272					
20	Aşınma Tip2 802	80	81,12	25,21	4357,3	20,76	5349,6	22,99	4853					
21	Aşınma Tip2 803	80	81,53	25,92	4245,9	24,61	4471,5	25,27	4359	24,79	4495			

Tablo B.1 Devamı

22	Aşınma Tip2 851	85	80,70	22,76	4849,5	21,63	5110,3	22,20	4980		
23	Aşınma Tip2 852	85	81,07	19,89	5463,2	26,79	4016,0	23,34	4740		
24	Aşınma Tip2 853	85	80,87	20,43	5327,6	21,68	5063,8	21,06	5196	22,20	4972
25	Aşınma Tip2 901	90	80,78	21,30	5155,4	24,88	4417,6	23,09	4787		
26	Aşınma Tip2 902	90	80,68	23,91	4542,3	25,21	4303,6	24,56	4423		
27	Aşınma Tip2 903	90	81,32	24,72	4448,4	22,87	4667,5	23,80	4558	23,82	4589
28	Aşınma Tip2 951	95	82,18	21,41	5094,3	22,60	4866,6	22,01	4980		
29	Aşınma Tip2 952	95	82,25	30,10	3609,2	27,22	3984,6	28,66	3797		
30	Aşınma Tip2 953	95	82,13	26,46	4041,8	24,18	4444,9	25,32	4243	25,33	4340

Tablo B.2 Aşınma tabakası standart numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

STANDART NÜMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI													
TİP II AŞINMA		Darbe Sayısı	Yükseklik	0 Derece			90 Derece			Ortalama		Grup Ortalaması	
Sıra No	Nümunne Kodu			Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü
				(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)		
1	Aşınma Tip2 S01	50	64,77	33,04	4068,1	35,86	3732,5	34,45	3900,3				
2	Aşınma Tip2 S02	50	64,23	35,70	3804,2	38,63	3559,4	37,17	3681,8				
3	Aşınma Tip2 S03	50	64,63	34,45	3891,2	40,32	3372,5	37,39	3631,9	36,33	3737,98		

Tablo B.3 Aşınma tabakası tip2 bölünmüş numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

BÖLÜNMÜŞ NUMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI												
TİP II AŞINMA				0 Derece			90 Derece			Ortalama		
Sıra No	Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	
				(µε)	(Mpa)	(µε)	(µε)	(µε)	(Mpa)			
1	Aşınma Tip2 501A	50	39,0	75,79	3030,1	62,37	3716,9	69,08	3374			
2	Aşınma Tip2 501B	50	42,5	67,53	3130,2	43,95	4789,8	55,74	3960			
3	Aşınma Tip2 502A	50	39,3	76,55	2974,3	51,29	4429,5	63,92	3702			
4	Aşınma Tip2 502B	50	41,7	58,62	3622,6	50,91	4150,1	54,77	3886			
5	Aşınma Tip2 503A	50	41,0	55,58	3848,1	49,39	4322,0	52,49	4085			
6	Aşınma Tip2 503B	50	40,5	44,06	4975,0	43,41	5059,6	43,74	5017	56,62	4004	
7	Aşınma Tip2 551A	55	40,3	53,24	4136,7	43,41	5157,7	48,33	4647			
8	Aşınma Tip2 551B	55	41,0	60,58	3592,0	51,67	4280,2	56,13	3936			
9	Aşınma Tip2 552A	55	41,1	47,27	4538,5	53,57	4083,0	50,42	4311			
10	Aşınma Tip2 552B	55	39,6	52,76	4313,2	51,02	4395,6	51,89	4354			
11	Aşınma Tip2 553A	55	40,4	52,81	4251,8	61,72	3581,6	57,27	3917			
12	Aşınma Tip2 553B	55	40,2	54,22	4132,2	54,28	4131,9	54,25	4132	53,05	4216	
13	Aşınma Tip2 601A	60	39,9	59,87	3766,8	63,13	3597,1	61,50	3682			
14	Aşınma Tip2 601B	60	40,9	49,93	4413,2	50,64	4299,2	50,29	4356			
15	Aşınma Tip2 602A	60	42,5	52,86	4042,3	65,63	3250,4	59,25	3646			
16	Aşınma Tip2 602B	60	38,9	54,82	4318,1	56,07	4172,8	55,45	4245			
17	Aşınma Tip2 603A	60	36,6	67,70	3633,1	56,99	4379,5	62,35	4006			
18	Aşınma Tip2 603B	60	44,4	42,05	4790,3	58,35	3509,9	50,20	4150	56,50	4014	
19	Aşınma Tip2 651A	65	37,8	58,19	4125,2	59,87	4003,2	59,03	4064			
20	Aşınma Tip2 651B	65	42,2	55,53	3813,3	64,11	3330,1	59,82	3572			
21	Aşınma Tip2 652A	65	43,6	46,13	4478,0	45,15	4639,7	45,64	4559			
22	Aşınma Tip2 652B	65	36,4	51,56	4838,7	46,72	5298,7	49,14	5069			
23	Aşınma Tip2 653A	65	42,7	58,24	3583,8	44,50	4732,7	51,37	4158			
24	Aşınma Tip2 653B	65	37,1	49,82	4896,2	53,57	4622,2	51,70	4759	52,78	4363	
25	Aşınma Tip2 701A	70	39,9	58,46	3856,6	50,26	4527,0	54,36	4192			
26	Aşınma Tip2 701B	70	38,7	56,45	4130,6	53,62	4384,3	55,04	4257			
27	Aşınma Tip2 702A	70	41,0	47,38	4731,3	49,55	4504,7	48,47	4618			

Tablo B.3 Devamı

28	Aşınma Tip2 702B	70	39,2	48,73	4794,1	54,22	4335,8	51,48	4565		
29	Aşınma Tip2 703A	70	43,4	45,15	4675,7	45,15	4722,7	45,15	4699		
30	Aşınma Tip2 703B	70	36,3	56,45	4327,2	62,48	4042,5	59,47	4185	52,33	4419
31	Aşınma Tip2 751A	75	39,9	52,16	4389,1	75,40	2965,0	63,78	3677		
32	Aşınma Tip2 751B	75	39,3	53,73	4201,2	43,08	5352,1	48,41	4777		
33	Aşınma Tip2 752A	75	36,9	57,97	4271,9	62,64	4004,6	60,31	4138		
34	Aşınma Tip2 752B	75	41,8	46,34	4760,0	57,05	3864,2	51,70	4312		
35	Aşınma Tip2 753A	75	43,3	66,99	3144,8	31,19	6911,7	49,09	5028		
36	Aşınma Tip2 753B	75	37,0	64,16	3864,3	57,75	4307,6	60,96	4086	55,71	4336
37	Aşınma Tip2 801A	80	39,5	49,50	4621,5	49,60	4704,5	49,55	4663		
38	Aşınma Tip2 801B	80	38,6	49,22	4791,6	43,57	5404,0	46,40	5098		
39	Aşınma Tip2 802A	80	40,8	40,26	5584,7	39,55	5729,9	39,91	5657		
40	Aşınma Tip2 802B	80	36,6	60,09	4153,1	52,65	4804,2	56,37	4479		
41	Aşınma Tip2 803A	80	38,9	53,52	4401,8	51,13	4591,3	52,33	4497		
42	Aşınma Tip2 803B	80	38,7	46,18	5090,9	51,83	4616,4	49,01	4854	48,93	4874
43	Aşınma Tip2 851A	85	38,7	43,03	5511,0	46,18	5136,2	44,61	5324		
44	Aşınma Tip2 851B	85	37,6	41,18	5903,1	42,92	5610,4	42,05	5757		
45	Aşınma Tip2 852A	85	37,7	62,75	3692,9	53,41	4612,8	58,08	4153		
46	Aşınma Tip2 852B	85	40,0	56,02	4103,5	56,67	4062,2	56,35	4083		
47	Aşınma Tip2 853A	85	36,6	47,21	5301,4	41,83	6055,4	44,52	5678		
48	Aşınma Tip2 853B	85	40,4	53,79	4243,7	55,63	4083,6	54,71	4164	50,05	4860
49	Aşınma Tip2 901A	90	39,4	40,48	5681,5	37,16	6160,4	38,82	5921		
50	Aşınma Tip2 901B	90	39,1	45,53	5149,6	37,16	6262,8	41,35	5706		
51	Aşınma Tip2 902A	90	40,9	48,14	4619,6	39,82	5621,0	43,98	5120		
52	Aşınma Tip2 902B	90	36,2	51,07	4899,7	56,18	4521,8	53,63	4711		
53	Aşınma Tip2 903A	90	37,4	44,66	5420,0	43,36	5704,2	44,01	5562		
54	Aşınma Tip2 903B	90	41,1	38,30	5806,5	48,73	4608,8	43,52	5208	44,22	5371
55	Aşınma Tip2 951A	95	39,6	50,53	4608,4	69,33	3356,4	59,93	3982		
56	Aşınma Tip2 951B	95	38,6	43,52	5469,3	39,23	6113,8	41,38	5792		
57	Aşınma Tip2 952A	95	36,8	56,18	4405,7	55,25	4487,9	55,72	4447		
58	Aşınma Tip2 952B	95	42,4	47,54	4532,9	53,41	4075,4	50,48	4304		
59	Aşınma Tip2 953A	95	35,0	51,51	5075,5	68,35	3838,3	59,93	4457		
60	Aşınma Tip2 953B	95	35,7	73,08	3521,1	56,99	4503,3	65,04	4012	55,41	4499

Tablo B.4 Aşınma tabakası tip4 yüksek numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

YÜKSEK NÜMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI												
TİP IV AŞINMA		Darbe Sayısı	Yükseklik (mm)	0 Derece		90 Derece		Ortalama		Grup Ortalaması		
Sıra No	Numune Kodu			Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	
				(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	
1	Aşınma Tip4 501	50	83,27	23,96	4388,5	19,62	5416,9	21,79	4903			
2	Aşınma Tip4 502	50	84,10	25,97	4059,0	25,54	4051,8	25,76	4055			
3	Aşınma Tip4 503	50	83,85	22,60	4649,1	23,69	4377,5	23,15	4513	23,56	4490	
4	Aşınma Tip4 551	55	82,92	19,40	5468,4	20,65	5244,9	20,03	5357			
5	Aşınma Tip4 552	55	84,08	26,41	4022,2	24,67	4341,1	25,54	4182			
6	Aşınma Tip4 553	55	83,10	27,01	4056,5	22,71	4761,3	24,86	4409	23,48	4649	
7	Aşınma Tip4 601	60	82,00	24,12	4543,1	21,14	5076,8	22,63	4810			
8	Aşınma Tip4 602	60	81,87	23,36	4614,1	21,46	5058,8	22,41	4836			
9	Aşınma Tip4 603	60	82,25	23,47	4367,6	24,45	4413,1	23,96	4390	23,00	4679	
10	Aşınma Tip4 651	65	82,32	22,71	4895,0	22,04	4770,0	22,38	4833			
11	Aşınma Tip4 652	65	81,95	20,38	5324,3	22,98	4748,4	21,68	5036			
12	Aşınma Tip4 653	65	81,98	15,38	7044,3	17,55	6258,4	16,47	6651	20,17	5507	
13	Aşınma Tip4 701	70	81,90	23,20	4471,3	22,49	4807,1	22,85	4639			
14	Aşınma Tip4 702	70	82,20	19,83	5514,7	21,10	5179,8	20,47	5347			
15	Aşınma Tip4 703	70	82,17	19,40	5636,4	20,65	5293,6	20,03	5465	21,11	5150	
16	Aşınma Tip4 751	75	81,20	24,94	4495,7	24,12	4599,9	24,53	4548			
17	Aşınma Tip4 752	75	81,07	32,60	3467,3	28,69	3831,4	30,65	3649			
18	Aşınma Tip4 753	75	81,43	23,36	4634,4	25,59	4295,0	24,48	4465	26,55	4221	
19	Aşınma Tip4 801	80	81,27	27,60	3850,3	25,65	4293,6	26,63	4072			
20	Aşınma Tip4 802	80	81,23	22,87	4805,0	25,54	4298,6	24,21	4552			
21	Aşınma Tip4 803	80	81,78	21,84	4831,4	29,67	3706,8	25,76	4269	25,53	4298	

Tablo B.4 Devamı

22	Aşınma Tip4 851	85	81,67	26,13	4162,6	27,33	4019,3	26,73	4091		
23	Aşınma Tip4 852	85	80,75	27,01	4182,8	24,83	4424,1	25,92	4303		
24	Aşınma Tip4 853	85	80,75	28,91	3590,1	36,57	3080,8	32,74	3335	28,46	3910
25	Aşınma Tip4 901	90	81,03	27,82	4061,5	25,59	4366,0	26,71	4214		
26	Aşınma Tip4 902	90	81,37	22,49	4873,9	26,03	4220,5	24,26	4547		
27	Aşınma Tip4 903	90	81,30	19,40	5591,6	20,81	5212,2	20,11	5402	23,69	4721
28	Aşınma Tip4 951	95	81,28	22,77	4965,9	20,92	5244,0	21,85	5105		
29	Aşınma Tip4 952	95	81,13	26,84	4218,2	23,69	4709,6	25,27	4464		
30	Aşınma Tip4 953	95	80,80	19,02	5642,2	24,56	4533,7	21,79	5088	22,97	4886

Tablo B.5 Aşınma tabakası tip4 standart numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

STANDART NÜMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI											
TİP IV AŞINMA				0 Derece			90 Derece			Ortalama	
Sıra No	Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Grup Ortalaması
				($\mu\epsilon$)	(Mpa)	($\mu\epsilon$)	($\mu\epsilon$)	(Mpa)	($\mu\epsilon$)	(Mpa)	($\mu\epsilon$)
1	Aşınma Tip4 S01	50	63,73	29,12	4792,2	41,94	3335,2	35,53	4064		
2	Aşınma Tip4 S02	50	63,60	31,89	4253,9	32,11	4365,3	32,00	4310		
3	Aşınma Tip4 S03	50	63,77	42,05	3072,0	46,13	2944,5	44,09	3008	37,21	3794

Tablo B.6 Aşınma tabakası tip4 bölünmüş numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

BÖLÜNÜMÜŞ NÜMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI													
TİP IV AŞINMA		Darbe Sayısı	Yükseklik (mm)	0 Derece			90 Derece			Ortalama		Grup Ortalaması	
Sıra No	Numune Kodu			Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü		Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü		Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü
				(µε)	(Mpa)		(µε)	(Mpa)		(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)
1	Aşınma Tip4 501A	50	34,6	45,69	5636,8		42,27	6090,3		43,98	5864		
2	Aşınma Tip4 501B	50	45,6	42,71	4719,1		40,97	4870,8		41,84	4795		
3	Aşınma Tip4 502A	50	44,1	45,80	4453,3		49,66	4144,9		47,73	4299		
4	Aşınma Tip4 502B	50	37,0	53,68	4496,9		59,93	4049,5		56,81	4273		
5	Aşınma Tip4 503A	50	40,4	44,77	5033,4		48,14	4658,9		46,46	4846		
6	Aşınma Tip4 503B	50	39,0	50,04	4638,9		50,20	4611,4		50,12	4625	4784	
7	Aşınma Tip4 551A	55	39,5	50,80	4462,1		50,09	4574,8		50,45	4518		
8	Aşınma Tip4 551B	55	41,0	43,41	5080,8		44,28	5016,7		43,85	5049		
9	Aşınma Tip4 552A	55	40,6	50,95	4326,6		45,31	4879,8		48,13	4603		
10	Aşınma Tip4 552B	55	39,3	47,70	4880,5		46,45	4992,8		47,08	4937		
11	Aşınma Tip4 553A	55	42,1	43,52	4899,9		49,99	4731,4		46,76	4816		
12	Aşınma Tip4 553B	55	36,5	43,52	5778,6		40,69	6092,2		42,11	5935	4976	
13	Aşınma Tip4 601A	60	38,8	48,95	4871,6		46,73	5097,4		47,84	4985		
14	Aşınma Tip4 601B	60	39,3	43,95	5369,3		40,75	5787,9		42,35	5579		
15	Aşınma Tip4 602A	60	37,8	47,21	5104,4		49,77	4825,6		48,49	4965		
16	Aşınma Tip4 602B	60	40,2	48,19	4733,3		47,16	4871,2		47,68	4802		
17	Aşınma Tip4 603A	60	39,5	48,30	4785,8		43,74	5306,8		46,02	5046		
18	Aşınma Tip4 603B	60	39,4	39,61	5657,9		43,95	5288,9		41,78	5473	5142	
19	Aşınma Tip4 651A	65	40,6	48,52	4623,9		40,48	5418,7		44,50	5021		
20	Aşınma Tip4 651B	65	38,2	39,23	6070,9		45,75	5202,9		42,49	5637		
21	Aşınma Tip4 652A	65	39,0	39,93	5848,8		44,28	5326,0		42,11	5587		
22	Aşınma Tip4 652B	65	39,5	41,18	5604,5		37,49	6146,2		39,34	5875		
23	Aşınma Tip4 653A	65	40,5	38,52	5865,1		39,39	5660,2		38,96	5763		
24	Aşınma Tip4 653B	65	38,3	39,01	6109,4		38,58	6187,5		38,80	6148	5672	
25	Aşınma Tip4 701A	70	39,7	36,51	6222,4		34,77	6618,4		35,64	6420		
26	Aşınma Tip4 701B	70	38,3	41,35	5711,2		43,30	5529,0		42,33	5620		
27	Aşınma Tip4 702A	70	40,5	43,30	5172,2		38,74	5840,8		41,02	5507		

Tablo B.6 Devamı

28	Aşınma Tip4 702B	70	37,7	40,86	5902,3	50,04	4836,0	45,45	5369		
29	Aşınma Tip4 703A	70	39,2	39,61	5893,2	39,39	5892,3	39,50	5893		
30	Aşınma Tip4 703B	70	38,8	42,92	5408,8	43,36	5428,3	43,14	5419	41,18	5705
31	Aşınma Tip4 751A	75	39,1	40,26	5768,4	39,83	5927,1	40,05	5848		
32	Aşınma Tip4 751B	75	38,7	38,79	6050,7	47,76	4921,4	43,28	5486		
33	Aşınma Tip4 752A	75	37,0	55,15	4455,0	40,48	6040,3	47,82	5248		
34	Aşınma Tip4 752B	75	39,8	47,87	4771,5	44,28	5241,6	46,08	5007		
35	Aşınma Tip4 753A	75	39,1	48,90	4804,5	52,11	4532,4	50,51	4668		
36	Aşınma Tip4 753B	75	38,2	51,18	4672,7	43,68	5540,9	47,43	5107	45,86	5227
37	Aşınma Tip4 801A	80	39,6	54,06	4270,3	50,64	4548,8	52,35	4410		
38	Aşınma Tip4 801B	80	37,7	39,77	6100,9	41,02	5880,1	40,40	5991		
39	Aşınma Tip4 802A	80	38,2	48,19	4938,8	43,74	5423,0	45,97	5181		
40	Aşınma Tip4 802B	80	38,7	50,04	4688,2	44,33	5304,6	47,19	4996		
41	Aşınma Tip4 803A	80	41,9	39,88	5199,0	33,14	6368,0	36,51	5784		
42	Aşınma Tip4 803B	80	35,7	39,99	6133,1	41,13	6033,2	40,56	6083	43,83	5407
43	Aşınma Tip4 851A	85	38,9	38,41	5607,4	45,42	4870,1	41,92	5239		
44	Aşınma Tip4 851B	85	38,5	49,17	4494,7	41,46	5388,5	45,32	4942		
45	Aşınma Tip4 852A	85	38,5	48,74	4687,7	50,64	4542,2	49,69	4615		
46	Aşınma Tip4 852B	85	38,5	41,56	5454,8	39,23	5654,2	40,40	5555		
47	Aşınma Tip4 853A	85	37,5	43,36	5347,3	52,16	4371,8	47,76	4860		
48	Aşınma Tip4 853B	85	39,1	36,89	5920,9	40,86	5399,7	38,88	5660	43,99	5145
49	Aşınma Tip4 901A	90	38,3	34,01	6637,3	38,14	6017,6	36,08	6327		
50	Aşınma Tip4 901B	90	39,1	47,05	4793,1	44,93	4945,5	45,99	4869		
51	Aşınma Tip4 902A	90	36,3	43,95	5488,8	45,37	5336,3	44,66	5413		
52	Aşınma Tip4 902B	90	41,5	37,98	5503,7	37,16	5647,0	37,57	5575		
53	Aşınma Tip4 903A	90	38,2	40,21	5582,0	37,98	6038,6	39,10	5810		
54	Aşınma Tip4 903B	90	39,4	38,25	5697,7	32,65	6723,2	35,45	6210	39,81	5701
55	Aşınma Tip4 951A	95	36,8	47,38	4980,5	46,56	5053,2	46,97	5017		
56	Aşınma Tip4 951B	95	40,3	37,22	5834,8	34,32	6094,0	35,77	5964		
57	Aşınma Tip4 952A	95	38,0	44,82	4949,2	39,28	5955,3	42,05	5452		
58	Aşınma Tip4 952B	95	39,1	49,88	4574,7	39,66	5686,4	44,77	5131		
59	Aşınma Tip4 953A	95	39,2	50,15	4128,9	40,97	5587,1	45,56	4858		
60	Aşınma Tip4 953B	95	38,3	37,82	6181,2	36,02	6505,7	36,92	6343	42,01	5461

Tablo B.7 Binder tabakası tip3 yüksek numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

YÜKSEK NÜMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI											
BINDER Tip III		Darbe Sayısı	Yükseklik	0 Derece		90 Derece		Ortalama		Grup Ortalaması	
Sıra No	Numune Kodu			Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü
				(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)
1	Binder Tip3 501	50	85,7	23,58	4638,3	28,90	3765,1	26,24	4202		
2	Binder Tip3 502	50	85,0	25,81	4182,5	28,36	3781,0	27,09	3982		
3	Binder Tip3 503	50	85,4	28,04	3813,7	29,34	3622,0	28,69	3718	27,34	3967
4	Binder Tip3 551	55	85,3	26,51	3981,7	26,58	4035,0	26,55	4008		
5	Binder Tip3 552	55	84,9	27,76	3859,9	22,77	4685,0	25,27	4272		
6	Binder Tip3 553	55	84,7	27,17	3894,1	21,46	4928,5	24,32	4411	25,38	4231
7	Binder Tip3 601	60	85,2	23,31	4557,0	24,67	4421,9	23,99	4489		
8	Binder Tip3 602	60	84,7	26,41	4094,5	24,61	4412,8	25,51	4254		
9	Binder Tip3 603	60	83,9	25,59	4252,4	22,39	4829,3	23,99	4541	24,50	4428
10	Binder Tip3 651	65	83,9	27,82	3728,5	26,13	4176,1	26,98	3952		
11	Binder Tip3 652	65	83,6	21,79	4882,7	24,94	4358,4	23,37	4621		
12	Binder Tip3 653	65	83,9	26,19	4185,9	18,20	5978,6	22,20	5082	24,18	4552
13	Binder Tip3 701	70	82,4	28,04	3949,2	24,61	4431,1	26,33	4190		
14	Binder Tip3 702	70	82,9	26,57	4083,8	31,46	3445,4	29,02	3765		
15	Binder Tip3 703	70	83,0	21,57	5101,6	26,30	4188,1	23,94	4645	26,43	4200
16	Binder Tip3 751	75	83,0	22,55	4628,8	21,03	4939,5	21,79	4784		
17	Binder Tip3 752	75	82,9	23,80	4424,5	20,92	5149,2	22,36	4787		
18	Binder Tip3 753	75	83,8	26,84	3733,7	26,03	3985,8	26,44	3860	23,53	4477

Tablo B.7 Devamı

19	Binder Tip3 801	80	81,8	27,55	3697,1	28,04	3693,1	27,80	3695		
20	Binder Tip3 802	80	81,1	21,35	4919,0	23,31	4465,4	22,33	4692		
21	Binder Tip3 803	80	81,5	23,20	4461,1	23,53	4441,9	23,37	4452	24,50	4280
22	Binder Tip3 851	85	80,7	24,07	4340,1	24,02	4322,6	24,05	4331		
23	Binder Tip3 852	85	81,1	23,96	4096,9	24,94	4111,2	24,45	4104		
24	Binder Tip3 853	85	80,9	22,60	4499,6	25,97	3897,0	24,29	4198	24,26	4211
25	Binder Tip3 901	90	80,8	37,92	2697,8	30,48	3377,0	34,20	3037		
26	Binder Tip3 902	90	80,7	32,65	3120,2	34,88	2973,8	33,77	3047		
27	Binder Tip3 903	90	81,3	25,54	4076,6	36,35	2886,8	30,95	3482	32,97	3189
28	Binder Tip3 951	95	82,2	31,46	3651,2	26,24	4380,1	28,85	4016		
29	Binder Tip3 952	95	82,3	20,05	5708,4	23,20	4930,1	21,63	5319		
30	Binder Tip3 953	95	82,1	26,79	4265,8	31,08	3659,8	28,94	3963	26,47	4433

Tablo B.8 Binder tabakası tip3 standart numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

STANDART NÜMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI											
Sıra No	BINDER Tip III Numune Kodu	Darbe Sayısı	Yükseklik	0 Derece		90 Derece		Ortalama		Grup Ortalaması	
				Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü
				(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)
1	Binder Tip3 S01	50	62,2	29,88	4754,0	33,31	4266,8	31,60	4510		
2	Binder Tip3 S02	50	62,5	31,02	4549,5	29,67	4786,9	30,35	4668		
3	Binder Tip3 S03	50	62,8	31,73	4477,2	34,01	4208,4	32,87	4343	31,60	4507

Tablo B.9 Binder tabakası tip3 bölünmüş numune elastisite modülü ve elastik deformasyon değerleri

BÖLÜNMÜŞ NUMUNELERİN DOLAYLI ÇEKME DENEY SONUÇLARI												
BINDER Tip III		Darbe Sayısı	Yükseklik	0 Derece		90 Derece		Ortalama		Grup Ortalaması		
Sıra No	Numune Kodu			Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	Elastik Deformasyon	Elastisite Modülü	
				(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	(µε)	(Mpa)	
1	Binder Tip3 501A	50	38,0	47,76	5092,0	56,10	4275,3	51,93	4684			
2	Binder Tip3 501B	50	39,9	49,60	4532,3	41,67	5440,3	45,64	4986			
3	Binder Tip3 502A	50	36,6	48,30	5151,5	44,61	5578,9	46,46	5365			
4	Binder Tip3 502B	50	43,2	37,65	5632,1	42,54	4968,6	40,10	5300	46,03	5084	
5	Binder Tip3 551A	55	41,4	44,93	4891,2	42,70	5118,4	43,82	5005			
6	Binder Tip3 551B	55	39,9	51,13	4410,0	47,11	4911,0	49,12	4661			
7	Binder Tip3 552A	55	40,7	50,64	4423,1	54,44	4109,9	52,54	4267			
8	Binder Tip3 552B	55	39,7	46,18	5001,0	45,26	5124,5	45,72	5063	47,80	4749	
9	Binder Tip3 601A	60	42,0	42,27	5133,3	42,27	5133,3	42,27	5133			
10	Binder Tip3 601B	60	33,8	54,71	4890,3	58,30	4644,8	56,51	4768			
11	Binder Tip3 602A	60	37,0	46,51	5266,5	45,09	5323,8	45,80	5295			
12	Binder Tip3 602B	60	42,3	41,02	5167,4	40,53	5320,1	40,78	5244	46,34	5110	
13	Binder Tip3 651A	65	43,0	43,46	4803,5	37,54	5592,1	40,50	5198			
14	Binder Tip3 651B	65	35,9	57,92	4354,5	49,06	5166,5	53,49	4761			
15	Binder Tip3 652A	65	41,2	42,87	5014,4	50,69	4285,1	46,78	4650			
16	Binder Tip3 652B	65	37,3	63,24	3828,1	46,51	5167,7	54,88	4498	48,91	4776	
17	Binder Tip3 701A	70	34,4	60,52	4343,1	55,58	4828,7	58,05	4586			
18	Binder Tip3 701B	70	42,8	53,03	3934,0	56,12	3754,4	54,58	3844			
19	Binder Tip3 702A	70	34,4	68,19	3883,1	63,89	4050,2	66,04	3967			
20	Binder Tip3 702B	70	41,8	47,08	4527,3	51,18	4190,6	49,13	4359	56,95	4189	

Tablo B.9 Devami

21	Binder Tip3 751A	75	42,1	38,47	5639,3	42,16	5115,5	40,32	5377		
22	Binder Tip3 751B	75	36,2	49,39	5043,2	51,34	4914,5	50,37	4979		
23	Binder Tip3 752A	75	38,5	39,44	6021,8	39,77	5941,4	39,61	5982		
24	Binder Tip3 752B	75	38,7	42,60	5492,3	41,83	5648,2	42,22	5570	43,13	5477
25	Binder Tip3 801A	80	41,4	53,03	4147,2	49,50	4419,1	51,27	4283		
26	Binder Tip3 801B	80	37,8	46,14	5141,2	49,77	4841,4	47,96	4991		
27	Binder Tip3 802A	80	37,2	45,20	5299,5	50,96	4730,6	48,08	5015		
28	Binder Tip3 802B	80	42,0	50,15	4328,5	42,27	5202,6	46,21	4766	48,38	4764
29	Binder Tip3 851A	85	39,1	47,65	4912,7	38,25	6098,4	42,95	5506		
30	Binder Tip3 851B	85	38,8	51,99	4511,5	55,91	4242,4	53,95	4377		
31	Binder Tip3 852A	85	39,8	46,51	4971,0	35,80	6503,1	41,16	5737		
32	Binder Tip3 852B	85	39,0	41,99	5495,0	51,29	4525,9	46,64	5010	46,17	5158
33	Binder Tip3 901A	90	41,6	66,56	3318,5	62,53	3556,1	64,55	3437		
34	Binder Tip3 901B	90	39,1	57,21	4065,4	69,49	3315,0	63,35	3690		
35	Binder Tip3 902A	90	42,1	63,24	3395,9	58,46	3686,3	60,85	3541		
36	Binder Tip3 902B	90	38,5	58,46	3957,8	74,16	3167,2	66,31	3563	63,76	3558
37	Binder Tip3 951A	95	38,3	43,95	5338,7	47,16	5023,7	45,56	5181		
38	Binder Tip3 951B	95	39,8	42,81	5311,1	50,36	4546,6	46,59	4929		
39	Binder Tip3 952A	95	41,9	40,80	5327,1	47,54	4592,9	44,17	4960		
40	Binder Tip3 952B	95	36,9	51,18	4798,80	41,29	5885,6	46,24	5342	45,64	5103



**EK C : MARSHALL STABİLİTE DÜZELTME FAKTÖRLERİ VE
BİLGİSAYAR ÇIKTI ÖRNEKLERİ**

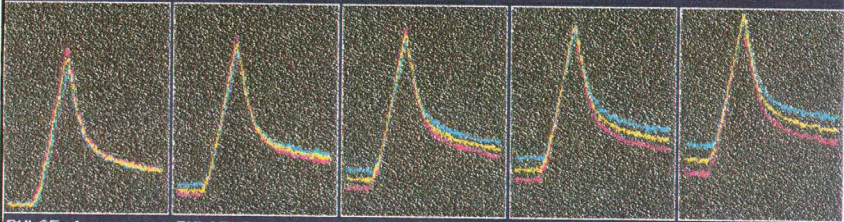
Tablo C.1 Marshall stabilite düzeltme faktörleri

Marshall Stabilite Düzeltme Katsayıları							
Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı
25,5	5,525	30,6	4,090	35,7	3,180	40,8	2,342
25,6	5,490	30,7	4,070	35,8	3,161	40,9	2,328
25,7	5,455	30,8	4,050	35,9	3,143	41,0	2,313
25,8	5,420	30,9	4,030	36,0	3,124	41,1	2,299
25,9	5,385	31,0	4,010	36,1	3,105	41,2	2,284
26,0	5,350	31,1	3,990	36,2	3,086	41,3	2,270
26,1	5,315	31,2	3,970	36,3	3,068	41,4	2,258
26,2	5,280	31,3	3,950	36,4	3,049	41,5	2,246
26,3	5,245	31,4	3,930	36,5	3,030	41,6	2,234
26,4	5,210	31,5	3,910	36,6	3,014	41,7	2,223
26,5	5,175	31,6	3,890	36,7	2,999	41,8	2,211
26,6	5,140	31,7	3,870	36,8	2,983	41,9	2,199
26,7	5,105	31,8	3,850	36,9	2,968	42,0	2,187
26,8	5,070	31,9	3,833	37,0	2,952	42,1	2,175
26,9	5,035	32,0	3,815	37,1	2,936	42,2	2,163
27,0	5,000	32,1	3,798	37,2	2,921	42,3	2,151
27,1	4,972	32,2	3,780	37,3	2,905	42,4	2,139
27,2	4,994	32,3	3,763	37,4	2,889	42,5	2,128
27,3	4,916	32,4	3,745	37,5	2,874	42,6	2,116
27,4	4,888	32,5	3,728	37,6	2,858	42,7	2,104
27,5	4,859	32,6	3,710	37,7	2,843	42,8	2,092
27,6	4,831	32,7	3,693	37,8	2,827	42,9	2,080
27,7	4,803	32,8	3,675	37,9	2,811	43,0	2,070
27,8	4,775	32,9	3,658	38,0	2,796	43,1	2,060
27,9	4,747	33,0	3,640	38,1	2,780	43,2	2,050
28,0	4,719	33,1	3,623	38,2	2,763	43,3	2,040
28,1	4,691	33,2	3,605	38,3	2,745	43,4	2,030
28,2	4,663	33,3	3,588	38,4	2,728	43,5	2,020
28,3	4,634	33,4	3,555	38,5	2,710	43,6	2,010
28,4	4,606	33,5	3,540	38,6	2,693	43,7	2,000
28,5	4,578	33,6	3,525	38,7	2,675	43,8	1,990
28,6	4,550	33,7	3,510	38,8	2,658	43,9	1,980
28,7	4,526	33,8	3,495	38,9	2,640	44,0	1,970
28,8	4,503	33,9	3,480	39,0	2,623	44,1	1,960
28,9	4,479	34,0	3,465	39,1	2,605	44,2	1,950
29,0	4,455	34,1	3,450	39,2	2,588	44,3	1,940
29,1	4,431	34,2	3,435	39,3	2,570	44,4	1,930
29,2	4,408	34,3	3,420	39,4	2,553	44,5	1,920
29,3	4,384	34,4	3,405	39,5	2,535	44,6	1,912
29,4	4,360	34,5	3,390	39,6	2,518	44,7	1,904
29,5	4,336	34,6	3,375	39,7	2,500	44,8	1,896
29,6	4,313	34,7	3,360	39,8	2,486	44,9	1,888
29,7	4,289	34,8	3,345	39,9	2,471	45,0	1,879
29,8	4,265	34,9	3,330	40,0	2,457	45,1	1,871
29,9	4,241	35,0	3,311	40,1	2,443	45,2	1,863
30,0	4,218	35,1	3,293	40,2	2,428	45,3	1,855
30,1	4,194	35,2	3,274	40,3	2,414	45,4	1,847
30,2	4,170	35,3	3,255	40,4	2,390	45,5	1,839
30,3	4,150	35,4	3,236	40,5	2,385	45,6	1,831
30,4	4,130	35,5	3,218	40,6	2,371	45,7	1,823
30,5	4,110	35,6	3,199	40,7	2,356	45,8	1,814

Tablo C.1 Devamı

Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı
45,9	1,806	51,3	1,445	79,3	0,659	84,7	0,581
46,0	1,798	51,4	1,440	79,4	0,657	84,8	0,580
46,1	1,783	51,5	1,435	79,5	0,656	84,9	0,578
46,2	1,775	51,6	1,430	79,6	0,654	85,0	0,577
46,3	1,768	51,7	1,425	79,7	0,653	85,1	0,576
46,4	1,760	51,8	1,420	79,8	0,651	85,2	0,575
46,5	1,753	51,9	1,415	79,9	0,649	85,3	0,573
46,6	1,745	52,0	1,410	80,0	0,648	85,4	0,572
46,7	1,738	52,1	1,405	80,1	0,646	85,5	0,571
46,8	1,730	52,2	1,400	80,2	0,645	85,6	0,570
46,9	1,723	52,3	1,395	80,3	0,643	85,7	0,568
47,0	1,715	75,0	0,733	80,4	0,642	85,8	0,567
47,1	1,708	75,1	0,731	80,5	0,640	85,9	0,566
47,2	1,700	75,2	0,729	80,6	0,639	86,0	0,564
47,3	1,693	75,3	0,727	80,7	0,637	86,1	0,563
47,4	1,685	75,4	0,725	80,8	0,636	86,2	0,562
47,5	1,678	75,5	0,723	80,9	0,634	86,3	0,561
47,6	1,670	75,6	0,722	81,0	0,633	86,4	0,560
47,7	1,663	75,7	0,720	81,1	0,631	86,5	0,558
47,8	1,656	75,8	0,718	81,2	0,630	86,6	0,557
47,9	1,649	75,9	0,716	81,3	0,628	86,7	0,556
48,0	1,643	76,0	0,714	81,4	0,627	86,8	0,555
48,1	1,636	76,1	0,713	81,5	0,625	86,9	0,553
48,2	1,629	76,2	0,711	81,6	0,624	87,0	0,552
48,3	1,622	76,3	0,709	81,7	0,622	87,1	0,551
48,4	1,615	76,4	0,707	81,8	0,621	87,2	0,550
48,5	1,608	76,5	0,705	81,9	0,620	87,3	0,549
48,6	1,601	76,6	0,704	82,0	0,618	87,4	0,547
48,7	1,594	76,7	0,702	82,1	0,617	87,5	0,546
48,8	1,588	76,8	0,700	82,2	0,615	87,6	0,545
48,9	1,581	76,9	0,699	82,3	0,614	87,7	0,544
49,0	1,574	77,0	0,697	82,4	0,612	87,8	0,543
49,1	1,567	77,1	0,695	82,5	0,611	87,9	0,541
49,2	1,560	77,2	0,693	82,6	0,610	88,0	0,540
49,3	1,554	77,3	0,692	82,7	0,608	88,1	0,539
49,4	1,549	77,4	0,690	82,8	0,607	88,2	0,538
49,5	1,543	77,5	0,688	82,9	0,605	88,3	0,537
49,6	1,538	77,6	0,687	83,0	0,604	88,4	0,536
49,7	1,532	77,7	0,685	83,1	0,603	88,5	0,534
49,8	1,526	77,8	0,683	83,2	0,601	88,6	0,533
49,9	1,521	77,9	0,682	83,3	0,600	88,7	0,532
50,0	1,515	78,0	0,680	83,4	0,598	88,8	0,531
50,1	1,509	78,1	0,678	83,5	0,597	88,9	0,530
50,2	1,504	78,2	0,677	83,6	0,596	89,0	0,529
50,3	1,498	78,3	0,675	83,7	0,594	89,1	0,528
50,4	1,493	78,4	0,673	83,8	0,593	89,2	0,527
50,5	1,487	78,5	0,672	83,9	0,592	89,3	0,525
50,6	1,481	78,6	0,670	84,0	0,59	89,4	0,524
50,7	1,476	78,7	0,668	84,1	0,589	89,5	0,523
50,8	1,470	78,8	0,667	84,2	0,588	89,6	0,522
50,9	1,465	78,9	0,665	84,3	0,586	89,7	0,521
51,0	1,460	79,0	0,664	84,4	0,585	89,8	0,520
51,1	1,455	79,1	0,662	84,5	0,584	89,9	0,519
51,2	1,450	79,2	0,660	84,6	0,582	90,0	0,518

INDIRECT TENSILE MODULUS TEST



PULSE 1: 2.6 μm , 1.9 μm
 PULSE 2: 2.8 μm , 1.9 μm
 PULSE 3: 2.8 μm , 1.9 μm
 PULSE 4: 2.8 μm , 2.0 μm
 PULSE 5: 2.8 μm , 2.0 μm

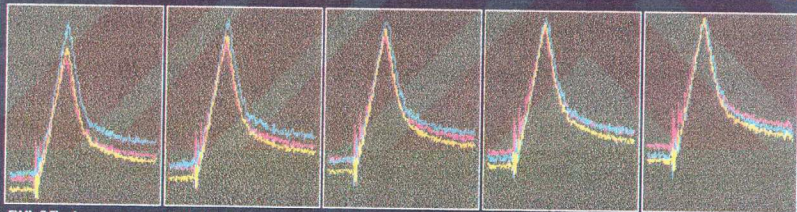
[1] — LUDT_1
 [2] — LUDT_2
 [3] — Force
 [4] — LUDT_1 + LUDT_2

Temperature: Skin: 24.1°C, Core: 24.5°C
 Conditioning Pulse Count: 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (μ)	Tensile Stress (kPa)	Rise Time (ms)	Fall Time (ms)	Phase Delay (ms)	Elastic Modulus (MPa)
1	1504.4	45.094	239.69	79	44	6	5176.5
2	1492.9	46.452	237.84	78	44	6	4986.5
3	1495.2	46.724	238.21	79	43	2	4965.2
4	1485.9	46.452	236.74	79	43	7	4963.3
5	1492.9	47.539	237.84	80	43	4	4872.5
mean	1494.3	46.452	238.06	79.0	43.4	5.0	4992.8
SD	5.9643	0.7873	0.9502	0.6324	0.4898	1.7888	99.889
CV%	0.3991	1.6948	0.3991	0.8005	1.1287	35.777	2.0006

REVIEW TEST Esc=Abort [1..4]=wave-forms

INDIRECT TENSILE MODULUS TEST



PULSE 1: 2.0 μm , 1.9 μm
 PULSE 2: 2.1 μm , 1.9 μm
 PULSE 3: 2.2 μm , 1.8 μm
 PULSE 4: 2.2 μm , 1.8 μm
 PULSE 5: 2.2 μm , 1.8 μm

[1] — LUDT_1
 [2] — LUDT_2
 [3] — Force
 [4] — LUDT_1 + LUDT_2

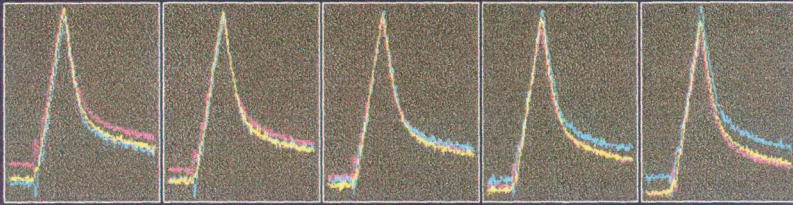
Temperature: Skin: 24.3°C, Core: 24.6°C
 Conditioning Pulse Count: 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (μ)	Tensile Stress (kPa)	Rise Time (ms)	Fall Time (ms)	Phase Delay (ms)	Elastic Modulus (MPa)
1	1495.2	37.759	245.26	78	44	4	6325.7
2	1488.2	39.389	244.12	78	44	6	6035.8
3	1483.6	39.389	243.36	78	46	6	6017.0
4	1492.9	39.661	244.88	78	44	5	6013.1
5	1490.6	39.933	244.5	78	44	5	5962.9
mean	1490.1	39.226	244.42	78.0	44.4	5.2	6070.9
SD	3.9821	0.7606	0.6531	0.0	0.8	0.7483	129.66
CV%	0.2672	1.939	0.2672	0.0	1.8018	14.39	2.1357

REVIEW TEST Esc=Abort [1..4]=wave-forms

Şekil C.1 Dolaylı çekme testi bilgisayar çıktı örnekleri

INDIRECT TENSILE MODULUS TEST



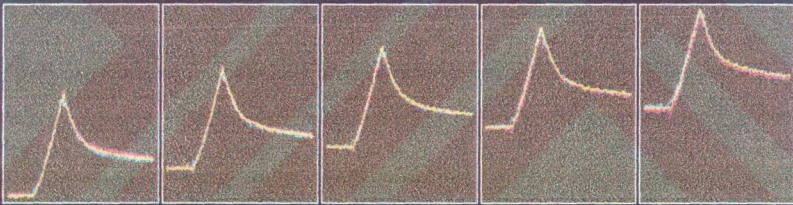
PULSE 1 2.8 μ m 2.2 μ m PULSE 2 2.8 μ m 2.2 μ m PULSE 3 2.8 μ m 2.2 μ m PULSE 4 2.8 μ m 2.2 μ m PULSE 5 2.8 μ m 2.2 μ m

[1] — LUDT_1
[2] — LUDT_2
[3] — Force
[4] — LUDT_1 + LUDT_2

Temperature Skin: 24.1°C Core: 24.5°C Conditioning Pulse Count 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (μ)	Tensile Stress (kPa)	Rise Time (ms)	Fall Time (ms)	Phase Delay (ms)	Elastic Modulus (MPa)
1	1520.6	48.897	245.39	79	44	5	4887.4
2	1520.6	48.897	245.39	80	43	4	4887.4
3	1516.0	49.169	244.64	79	44	2	4845.6
4	1518.3	48.897	245.01	79	43	4	4880.0
5	1511.4	48.897	243.89	79	45	3	4857.7
mean	1517.4	48.951	244.86	79.2	43.8	3.6	4871.6
SD	3.4641	0.1086	0.559	0.4	0.7483	1.0198	16.969
CV%	0.2282	0.2219	0.2282	0.505	1.7085	28.327	0.3483

INDIRECT TENSILE MODULUS TEST



PULSE 1 2.9 μ m 1.8 μ m PULSE 2 3.1 μ m 2.0 μ m PULSE 3 3.1 μ m 2.0 μ m PULSE 4 3.1 μ m 2.0 μ m PULSE 5 3.2 μ m 2.0 μ m

[1] — LUDT_1
[2] — LUDT_2
[3] — Force
[4] — LUDT_1 + LUDT_2

Temperature Skin: 24.2°C Core: 24.8°C Conditioning Pulse Count 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (μ)	Tensile Stress (kPa)	Rise Time (ms)	Fall Time (ms)	Phase Delay (ms)	Elastic Modulus (MPa)
1	1495.2	46.452	226.14	78	43	6	4741.1
2	1485.9	49.712	224.74	79	44	6	4402.7
3	1479.0	50.527	223.69	78	46	7	4311.5
4	1485.9	49.984	224.74	78	44	6	4378.8
5	1469.7	50.799	222.29	79	45	6	4261.6
mean	1483.1	49.495	224.32	78.4	44.4	6.2	4419.1
SD	8.4601	1.569	1.2795	0.4898	1.0198	0.4	168.48
CV%	0.5704	3.17	0.5704	0.6248	2.2968	6.4516	3.8126

REVIEW TEST Esc=Abort [1..4]=wave-forms

Şekil C.2 Dolaylı çekme testi bilgisayar çıktı örnekleri

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 01.02.1964
Doğum Yeri : Nusaybin - Mardin
İlkokul : İkiztepe İlkokulu, 1979
Ortaokul : Malatya İ.H. Ortaokulu, 1982
Lise : Malatya T.Emeksiz Lisesi, 1985
Lisans : Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 1991

Yaptığı Görevler

- 1991 – 1992 : Saha Mühendisi
Mardaş A.Ş., Mardin
- 1992 – 1995 : Öğretim Görevlisi
Dicle Üniversitesi, Batman
- 1996 – 1997 : Şantiye Şefi
Temon Şirketler Grubu, İstanbul
- 1997 - : Şantiye Şefi
İsfalt A.Ş. İstanbul