

65909

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ BELEDİYESİ TARAFINDAN ÜRETİLEN  
ASFALT BETONUNUN KARIŞIM VE KALİTE KONTROLÜNÜN  
ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU

Tacettin GEÇKİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Danışman:** Prof. Bekir YILDIRIM

ELAZIĞ-1997. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

**T.C.**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELAZIĞ BELEDİYESİ TARAFINDAN ÜRETİLEN**  
**ASFALT BETONUNUN KARIŞIM VE KALİTE KONTROLÜNÜN**  
**ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU**

Tacettin GEÇKİL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu Tez, ..... Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu İle Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

\_\_\_\_\_  
Danışman

Prof. Bekir YILDIRIM

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ELAZIĞ BELEDİYESİ TARAFINDAN ÜRETİLEN ASFALT BETONUNUN KARIŞIM VE KALİTE KONTROLÜNÜN ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU

Tacettin GEÇKİL

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1997, Sayfa: 97

Bu çalışmada, Elazığ Belediyesi tarafından üretilen asfalt betonunun optimum karışım hesabı ve kalite kontrolünün araştırılması ele alınmıştır. Bunda amaç, gerek yapım çalışmalarında ve gerekse periyodik bakımlarda problemleri önceden teşhis edebilmek, en uygun çözümü belirlemek ve gerekli önerilerde bulunabilmektir. Çalışmada önce Elazığ Belediyesi tesislerinde kullanılan agrega ve asfalt çimentosu temin edilmiş ve bunlar üzerinde gerekli deneyler yapılarak malzemenin şartnamelere uygunluğu belirlenmiştir. Sonra tesislerde üretilen asfalt betonundan örnekler alınmış ve bir dizi deneyler sonucu içerisindeki bitüm yüzdesi, Marshall yöntemi ile stabilitesi ve akma değeri tesbit edilmiştir. Daha sonra, agrega, farklı oranlarda bitüm ile karıştırılarak Marshall Stabilite Dizaynına tabi tutulmuştur. Buradan maksimum stabilite ve birim ağırlığı veren optimum bitüm yüzdesi bulunmuştur. Çalışmanın Sonuç Bölümünde; bulunan sonuçlar ile Belediye tarafından üretilen Asfalt Betonunu, Şartname kriterleriyle karşılaştırılmış ve ekonomik yönden değerlendirilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Asfalt Betonunu, Bitüm, Marshall Stabilite

Dizaynı, Akma Testi, Agrega

**SUMMARY**

Master's Thesis

**OPTIMIZATION OF THE MIX DESIGN AND RESEARCH OF THE  
QUALITY OF THE ASPHALT CONCRETE PRODUCED BY ELAZIĞ  
MUNICIPALITY**

Tacettin GEÇKİL

Fırat Üniversty

Graduate School of Science and Technology

Department of Civil Engineering

1997, 97 Pages

In this research Optimization of the mix design and Quality Control of the asphalt concrete produced by Elazığ Municipality is investigated in order to diagnose the problems before hand and give the most convenient consultancy in both road building and periodic maintenance activities. First, aggregates and asphalt cement used in the municipality asphalt plant is obtained and necessary tests are carried out to determine whether the materials used are within the limits of the code of practices. Then samples of asphalt concrete briquettes produced in the same plant with the similar materials are obtained and bituminous percentage determination tests, Marshall Stabilization tests and flow tests are carried out over these samples. Then the aggregate is mixed with bituminous with various ratios and Marshall Stabilization Designs are carried out in order to determine the optimum bituminous ratio which gives the maximum stability and density. In the final part of the research the results obtained are compared with the results of the asphalt concrete produced in the Elazığ Municipality plant from code of practice limits. Economic evaluation of the results are made as well.

**KEY WORDS:** Asphalt concrete, Bituminous, Marshall Stability  
Design, Flow Tests, Aggregates

**TEŞEKKÜR**

Elazığ Belediyesi'nin ürettiği asfalt betonu üzerinde yapılan bu deneysel çalışmada yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Bekir YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın gerçekleşmesinde katkıda bulunan ve imkan sağlayan F. Ü. Müh. Fak. İnşaat mühendisliği Bölümü'nden Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Necati KULOĞLU ve Malzeme Laboratuvarı teknisyeni Sayın Seyfettin ÇİÇEK ile Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü'nden Sayın İnş. Müh. Şükrü BAYTOZ, İnş. Müh. Hurrem GÜLYÜZ ve Laborant A. Yasin GÜRHAN'a çok teşekkür ederim.

Tacettin GEÇKİL  
Elazığ, Temmuz-1997

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	I
SUMMARY .....	II
TEŞEKKÜR .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	VII
TABLolar LİSTESİ .....	VIII
RESİMLER LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. KARAYOLU YAPISI.....	4
2.1. Karayolu Altyapısı.....	5
2.2. Karayolu Üstyapısı .....	7
2.2.1. Kaplama tabakası .....	9
2.2.1.1. Yüzeysel kaplamalar.....	10
2.2.1.2. Asfalt betonu kaplamalar.....	10
3. ASFALT BETONU YAPIMI VE ELAZIĞ BELEDİYESİNİN UYGULAMALARI.....	12
3.1.Kullanılan Malzemeler.....	13
3.1.1. Agrega ve genel özellikleri.....	13
3.1.2. Bitümlü bağlayıcılar.....	19
3.2. Asfalt Betonu Dizaynı.....	20
3.2.1. Yol sathının hazırlanması.....	22
3.2.2. Asfalt betonunun hazırlanması.....	23
3.2.3. Karışımın taşınması, yola serilmesi ve sıkıştırılması....	24

4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM KAPLAMALARIN ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİ.....	27
4.1. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler.....	28
4.1.1. Stabilité.....	28
4.1.2. Sağlamlık (Durabilite).....	30
4.1.3. Esneklik (Fleksibilite).....	31
4.1.4. Geçirgenlik (Permeabilite).....	32
4.1.5. Kırılgnalık.....	32
4.1.6. Sürtünme direnci.....	33
4.1.7. Yorulma.....	34
4.1.8. İşlenebilirlik (Workabilite).....	35
4.1.9. Homojenlik.....	35
4.1.10. Tabakalar arasındaki bağlantı.....	35
5. ASFALT BETONU KAPLAMALARDA BOZULMALAR.....	36
5.1. Şekil değiştirmeler.....	36
5.2. Çatlamlar.....	39
5.3. Ayırışmalar.....	43
5.4. Yüzeysel drenajdan kaynaklanan bozulmalar.....	44
5.5. Altyapı çalışmalarından doğan bozulmalar.....	46
6. ASFALT BETONU KARIŞIM DİZAYNI.....	48
6.1. Marshall Metodu İle Karışım Dizaynı.....	49
6.1.1. Kullanılan aygıtlar.....	50
6.1.2. Deney biriketlerinin hazırlanması.....	53
6.1.3. Numunelerin kırılması.....	59
6.2. Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi.....	60

7. ELAZIĞ KENTİÇİ KARAYOLLARINDA YAPILMAKTA OLAN ASFALT ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER .....	83
7.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	84
7.2. Elazığ Belediyesi Asfalt Çalışmalarının Değerlendirilmesi...	88
7.3. Öneriler.....	93
KAYNAKLAR.....	96





## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Tipik Karayolu Enkesiti.....	4
Şekil 2.2. Su Muhtevası-Yoğunluk İlişkisi.....	7
Şekil 6.1. Grafiğe İşaretlenmiş Agrega ve Şartname Gradasyonu.....	55
Şekil 6.2. Bitüm-Pratik Birim Ağırlık İlişkisi.....	66
Şekil 6.3. Bitüm-Stabilite İlişkisi.....	66
Şekil 6.4. Bitüm-Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi.....	67
Şekil 6.5. Bitüm-Akma İlişkisi .....	67
Şekil 6.6. Bitüm-Boşluk Yüzdesi İlişkisi.....	68
Şekil 6.7. Bitüm-Agregalar Arasındaki Boşluk İlişkisi.....	68
Şekil 6.8. Bitüm-Pratik Birim Ağırlık İlişkisi.....	73
Şekil 6.9. Bitüm-Stabilite İlişkisi.....	73
Şekil 6.10. Bitüm-Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi.....	74
Şekil 6.11. Bitüm-Akma İlişkisi.....	74
Şekil 6.12. Bitüm-Boşluk Yüzdesi İlişkisi.....	75
Şekil 6.13. Bitüm-Agregalar Arasındaki Boşluk İlişkisi.....	75
Şekil 6.14. Bitüm-Pratik Birim Ağırlık İlişkisi.....	79
Şekil 6.15. Bitüm-Stabilite İlişkisi.....	79
Şekil 6.16. Bitüm-Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi.....	80
Şekil 6.17. Bitüm-Akma İlişkisi.....	80
Şekil 6.18. Bitüm-Boşluk Yüzdesi İlişkisi .....	81
Şekil 6.19. Bitüm-Agregalar Arasındaki Boşluk İlişkisi.....	81

## TOBLOLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 3.1.</b> Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri .....	14
<b>Tablo 3.2.</b> Aşınma Tabakası İçin Gradasyon Limitleri.....	14
<b>Tablo 3.3.</b> Killi Malzemenin Elek Analizi.....	15
<b>Tablo 3.4.</b> Yıkanmış Malzemenin Elek Analizi.....	16
<b>Tablo 3.5.</b> İri Agreganın Elek Analizi.....	16
<b>Tablo 3.6.</b> Orta Boy Agreganın Elek Analizi.....	17
<b>Tablo 3.7.</b> İnce Agreganın Elek Analizi.....	17
<b>Tablo 3.8.</b> Kaba Agreganın Özellikleri.....	18
<b>Tablo 3.9.</b> İnce Agreganın Özellikleri.....	19
<b>Tablo 3.10.</b> Dizayn Kriterleri.....	20
<b>Tablo 3.11.</b> Agreganın İçin Tolerans Sınırları.....	21
<b>Tablo 3.12.</b> Malzemelerin Sıkıştırma Sıcaklıkları.....	21
<b>Tablo 3.13.</b> Sıkışma ve Yüzey Özellikleri.....	25
<b>Tablo 6.1.</b> Üç Farklı Boyuttaki Agreganın Elek Analizi.....	56
<b>Tablo 6.2.</b> Uygulanacak Karışım Kombinasyonu.....	57
<b>Tablo 6.3.</b> Marshall Stabilite Faktörleri.....	61
<b>Tablo 6.4.</b> Killi Malzemeye Ait Marshall Metodu Dizayn Değerleri.....	65
<b>Tablo 6.5.</b> Yıkanmış ve Elenmiş Malzemeye Ait Marshall Metodu Dizayn Değerleri.....	72
<b>Tablo 6.6.</b> Agreganın Karışımına Ait Marshall Metodu Dizayn Değerleri.....	78
<b>Tablo 7.1.</b> Deney Sonuçları ve Şartname Sınırları.....	85
<b>Tablo 7.2.</b> Killi Malzeme Yıkanmış Malzeme ve Uygulamadaki Plent'den Alınan Karışımın Marshall Dizayn Sonuçları.....	86
<b>Tablo 7.3.</b> 1997 Yılında Üretilen Üç Tip Agreganın Karışımına Ait Marshall Dizayn Sonuçları.....	86
<b>Tablo 7.4.</b> Üretilen Asfalta Ait Veriler.....	89
<b>Tablo 7.5.</b> Yıllara Göre Üretilen Asfalt Miktarı.....	90
<b>Tablo 7.6.</b> Üretilen Asfaltta Kullanılan Bitüm ve Agreganın Miktarları.....	91

**RESİMLER LİSTESİ**

	<u>Sayfa No</u>
<b>Resim 5.1.</b> Bir Yoldaki Oturma ve Çatlamlar.....	37
<b>Resim 5.2.</b> Bir Yoldaki Kabarma veya Çökme.....	38
<b>Resim 5.3.</b> Yorulma Çatlakları.....	40
<b>Resim 5.4.</b> Bir Yoldaki Büzülme Çatlakları.....	40
<b>Resim 5.5.</b> Tekerlek İzi Oluşması ve Kenar Çatlakları.....	41
<b>Resim 5.6.</b> Bir Yoldaki Enine Çatlaklar.....	42
<b>Resim 5.7.</b> Bir Yoldaki Ayrışmalar.....	44
<b>Resim 5.8.</b> Yağış Sularından Oluşan Bozulma.....	45
<b>Resim 5.9.</b> İki Yolun Birleşme Yerinde Yapılan Drenaj Çalışması.....	45
<b>Resim 5.10.</b> P.T.T.'nin Telefon Hattı Çalışması.....	47
<b>Resim 6.1.</b> Kalıp Takımı ve Kalıptan Çıkartılmış Marshall Briket Numuneleri.....	50
<b>Resim 6.2.</b> Numune Çıkartıcısı.....	51
<b>Resim 6.3.</b> Otomatik Ayarlı Sıkıştırma Tokmağı.....	51
<b>Resim 6.4.</b> Elektronik Marshall Yükleme Aygıtı.....	52
<b>Resim 6.5.</b> Karıştırıcı.....	52
<b>Resim 6.6.</b> Su Banyosu ve Numuneler.....	53

**SEMBOLLER LİSTESİ**

- $G_{ag}$  = Agrega Karışımının Özgül Ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $G_b$  = Bitümün Özgül Ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $G_k$  = Kaba Agreganın Özgül Ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $G_i$  = İnce Agreganın Özgül Ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $G_f$  = Filler'in Özgül Ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $D_p$  = Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $D_T$  = Teorik Özgül Ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $V_h$  = Boşluk Yüzdesi  
 $V_a$  = Biriketteki Agreganın Hacim Olarak Yüzdesi  
 $V_b$  = Biriketteki Bitümün Hacim Olarak Yüzdesi  
 $V_{ma}$  = Biriketteki Agregalar Arasındaki Boşluk Yüzdesi  
 $V_f$  =  $V_{ma}$ 'nın Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi  
 $W_a$  = Kuru Agregaya Göre Bitüm Yüzdesi  
 $W_b$  = Toplam Ağırlığa Göre Bitüm Yüzdesi  
 $P_k$  = Kaba Agreganın Yüzdesi  
 $P_i$  = İnce Agreganın Yüzdesi  
 $P_f$  = Filler'in Yüzdesi  
 $V$  = Biriketin Hacmi (cm<sup>3</sup>)  
 $W$  = Biriketin Havadaki Ağırlığı (gr)  
 $W_1$  = Biriketin Sudaki Ağırlığı (gr)  
 $W_2$  = Biriketin Havadaki Doygun-Yüzey Kuru Ağırlığı (gr)  
 $W_A$  = Biriketteki Kuru Agrega Ağırlığı (gr)  
 $W_B$  = Biriketteki Bitüm Ağırlığı (gr)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, ülkemiz kentiçi ulaşım talebinin tamamına yakın bir kısmının karayolu ile sağlandığı ve bu talebin uzun bir müddet daha böyle artarak devam edeceği muhakkaktır. İyi bir karayolu ağının sağladığı ulaşım kolaylığının bir ülke için çok yönlü kalkınma bakımından büyük bir itici güç olduğu tartışılmaz bir gerçektir.

Seyahat ve taşıma ihtiyacından doğan bir zorlama sonucu hızla gelişmekte olan taşıtlar sayesinde iş, alışveriş, gezi amaçlı seyahatler ve taşımalar olağan hale gelmiştir. Ülkemizdeki bu artan ulaşım talebine paralel olarak hızla artan taşıt trafiği ve olumsuz çevre koşulları yollar üzerinde meydana gelen bozulmaların artmasını hızlandırmaktadır. Ulaşım talebinin artması bir yandan yeni yolların yapılması gereksinimini diğer yandan da mevcut yolların bakım ve onarım giderlerini artırmaktadır. Yeni yolların yapılması ve bozulan bu yolların tamiri, kullanılacak asfalta olan ihtiyacın artmasına sebep olmaktadır.

Son yıllarda, ülkemiz kentler arası ve kentiçi karayollarında, artan trafik karşısında daha konforlu ve daha dayanıklı bir yüzey temin etmek için sıcak karışım kaplama yapımına büyük hız verilmiştir. Ancak, asfalt betonu kaplamalı yolların maliyetleri çok yüksek olduğundan belediyelerin ve ülkenin ekonomisine büyük yük getirmektedir. Türkiye gibi kalkınma çabasında bulunan ülkelerin sınırlı olan ekonomik imkanlarını en iyi şekilde değerlendirip ulaştırma sektörüne ait yatırımların ayrıntılı ve çok yönlü etütlere dayalı uzun vadeli planlamalara bağlı olarak yapılmasını icabettiği de herkesçe kabul edilen bir husustur. Bu sebeple yolun maliyetini en aza indirebilmek için yapım, işletme ve bakım maliyetlerinin en aza indirilmesi gerekir. Bunun için yolun uzun ömürlü olacak şekilde inşa edilmesi gerekir. Bu sebeple altyapısı çok iyi bir şekilde hazırlanan yolun, üst yapı elemanlarında ve

asfalt betonu karışımlarda kullanılan agrega ve asfaltın şartnamenin istediği özelliklerde olması ve asfalt betonu karışımının iyi bir şekilde inşa edilmesi şarttır.

Elazığ Belediyesi'nin yaptığı yollar ve ürettiği asfalt betonu karışımları üzerinde yapılan deneysel çalışma ve gözlemler neticesinde, yapılan asfalt çalışmalarının istenen düzeyde olmadığı görülmüştür. Şöyle ki bir karayolu yatırımının gerçekleşmesinde önemli bir paya sahip olan üstyapı beklenen hizmet ömründen çok önce elden çıkmakta ve yeni masrafları gerekli kılmaktadır. Ayrıca, bozulan kaplama üzerine yapılan yeni kaplamalar ve yeni yapılan yollardaki kaplamalar kısa bir süre sonra bozulmakta ve yeniden tamir yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu tez çalışmasındaki amaç, Elazığ Belediyesi'nin yaptığı yolların incelenmesi, asfalt betonunda kullandığı malzemenin deneyler vasıtasıyla şartnameye uygunluğunun araştırılması ve belediyenin asfalt betonu üretiminin incelenerek, yapım çalışmalarında, periyodik bakımlarda, problemlerin önceden teşhisinde ve en uygun çözümün belirlenmesinde gerekli önerilerde bulunmaktır. Böylece teknik imkan ve tecrübe eksikliğinden kaynaklanabilecek hataların yapılmamasına katkıda bulunulmuş olacaktır.

Tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır.

İkinci bölümde; karayolu yapısı tanımlanmış, karayolu altyapısı ve üst yapısı hakkında gerekli bilgiler verilerek kullanılan çeşitli tabakalarda ve elemanlarda aranan özellikler ve şartname sınırları verilmiştir.

Üçüncü bölümde; asfalt betonu yapım dizaynı hakkında gerekli bilgiler ve şartname sınırları verilerek Elazığ Belediyesi'nin asfalt betonu yapım dizaynı incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Dördüncü bölümde; bitümlü sıcak karışım kaplamaların sahip olması gereken mekanik ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde; asfalt betonu kaplamalarda meydana gelebilecek bozulmalar hakkında bilgi verilmiş ve Elazığ Belediyesi yollarındaki bozulmalar incelenmiştir.

Altıncı bölümde; Elazığ Belediyesi asfalt betonu malzemesi üzerinde Marshall metoduyla asfalt betonu karışım dizaynı yapılmış ve sonuçları tablo ve hesaplarla gösterilmiştir.

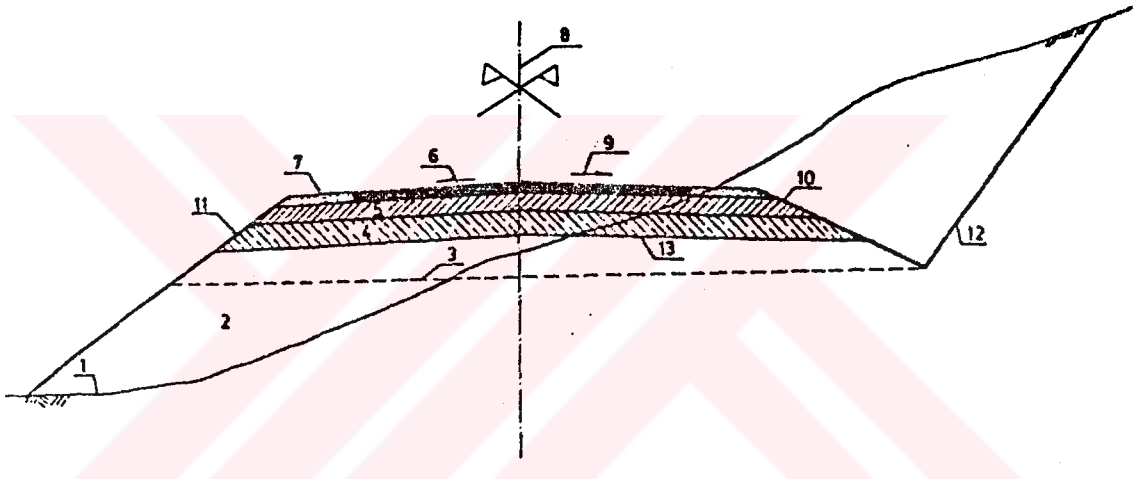
Yedinci bölümde ise; Elazığ kentiçi karayollarında yapılmakta olan asfalt çalışmaları deneysel sonuçlar ve gözlemlerle değerlendirilerek faydalı olması bakımından gerekli önerilerde bulunulmuştur.



## 2. KARAYOLU YAPISI

Karayolu yapısı önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak tesbit edilen güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen kotlara getirilebilmesi ve üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor düzeyinde hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir (Yıldırım, 1984).

Karayoluna ait tipik bir enkesit Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Tipik Karayolu Enkesiti (Yıldırım, 1984)

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Tabii zemin   | 7. Banket kaplaması                 |
| 2. Dolgu malzeme   | 8. Yol eksenini gösteren bir işaret |
| 3. Seçme malzeme tabakası<br>(Gerekli olduğu durumlarda) | 9. Yolun enine eğimi                |
| 4. Alttemel tabakası                                     | 10. Hendek eğimi                    |
| 5. Temel tabakası  | 11. Dolgu şevi                      |
| 6. Kaplama tabakası<br>(Binder ve aşınma)                | 12. Yarma şevi                      |
|  | 13. Taban yüzeyi (tesviye yüzeyi)   |



## 2.1. Karayolu Altyapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin arasında kalan bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ancak, kazı işleminden sonra istenilen düzlüğü ve eşit yük dağılımını sağlamak amacıyla döşenen ve sıkıştırılan toprak da, yarma kesimindeki altyapıya dahildir. Ayrıca köprü, viyadük, tünel, menfez ve istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilmektedir.

Altyapının görevleri, istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapıdan gelen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkilerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için, trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının inşaatında, bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkıştırılmaya elverişli olmayan zeminlerin kullanılmamasına özen gösterilmelidir(Yıldırım, 1984).

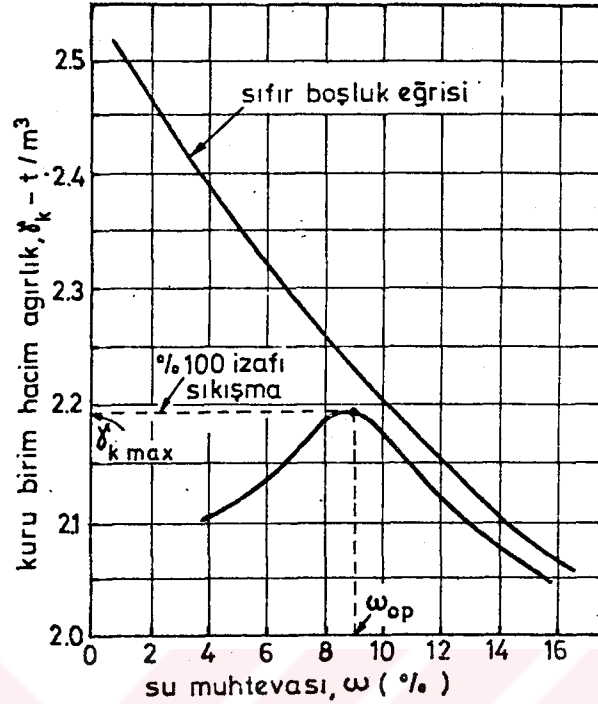
1920 yılına kadar yol yapımında daha çok kaplamaya dikkat edilir, alt yapıya fazla önem verilmezdi. Bu tarihten sonra yapılan gözlem ve araştırmalara göre ise yolun bir yapı olarak öngörülen hizmet ömrü boyunca beklenen görevi yerine getirebilmesi için sadece üst yapının iyi bir şekilde yapılmasının yeterli olmadığını, üst yapının oturduğu alt yapı ve taban zeminin durumunun yolun inşa maliyeti ve bakım masrafları gibi hususlarda büyük önem taşıdığını kesin olarak ortaya koymuştur(Umar, 1981).

Taban zeminin taşıma gücü daha çok üstyapı kalınlığı açısından önem arzeder. Üst yapının kalınlığı, alt yapıyı oluşturan zemin ile beraber yoldan geçecek olan trafiğin cins ve miktarına da bağlıdır.

Zeminler yeteri derecede sıkıştırılmazsa zamanla kendi ağırlığı ve özellikle trafik tesiri ile oturmalar meydana gelir. Bu durumda yol yüzeyinde yer yer çökmeler ve kasisler oluşur. Zeminlerin sıkıştırılması (kompaksiyonu), mekanik bir yolla zemindeki havanın dışarı çıkartılıp danelerin birbirine daha yakın bir konuma getirilmesidir. Bu da boşluk oranı ve porozitenin azalması demektir. Sıkıştırma sayesinde zeminin;

- Kayma direnci, dolayısıyla taşıma gücü artar,
- Permeabilitesi ve su emme kabiliyeti, dolayısıyla suyun zararlı etkileri azalır.
- Yolun hizmete açılmasından sonra trafik tesiri ile meydana gelen oturmalar en aza indirilmiş olur.

Kısaca, sıkıştırma ile yoğunluk arttırılmış, zemin istenen yönde ıslah edilmiş olmaktadır. Zeminlerin sıkışmasına, dane boyutu dağılışı yani granülometrisi ile zemin daneciklerinin biçim ve yüzey dokusu etki eder. Zeminlerin sıkışmasında diğer önemli faktör ise zeminin su muhtevasıdır. Bir zeminin sıkışması genellikle sahip olduğu kuru birim hacim ağırlığı ile değerlendirilir. Her zeminin kuru birim hacim ağırlığının maksimum değere ulaştığı bir optimum su muhtevası değeri vardır (Şekil 2.2). Optimum su muhtevasında elde edilen kuru birim hacim ağırlık değeri izafi sıkıştırma ölçümünde % 100 sıkışma olarak kabul edilir (Umar, 1981).



Şekil 2.2. Su Muhtevası-Yoğunluk İlişkisi

Zeminlerin sıkıştırılmasında daha çok düz silindirler, keçi ayaklı silindirler, lastik tekerlekli silindirler ve vibrasyonlu silindirler kullanılmaktadır. Sıkıştırılacak zeminin cinsine göre sıkıştırma vasıtaları değişmektedir. Düz silindirler kumlu zeminlerde, keçi ayaklı silindirler killi zeminlerde, lastik tekerlekli silindirler kohezyonu az olan zeminlerde, vibrasyonlu silindirler kohezyonsuz veya az kohezyonlu zeminlerde kullanılır.

## 2.2. Karayolu Üstyapısı

Trafik yüklerini altyapının taşıyacağı değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak amacı ile altyapı üzerine yerleştirilen alttemel, temel ve kaplamadan oluşan tabakalı yol yapısıdır.

Yol üst yapısı, devamlı olarak trafik kuvvetleri ile atmosfer kuvvetlerinin etkisi altındadır. Trafik kuvvetleri, taşıtların dingil yükleri ile taşıtların hareketi esnasında doğan basınç kuvvetleri, darbe, emme ve çevrinti kuvvetleridir. Atmosfer kuvvetleri de tabiat olaylarından hasıl olan iklim ve çevre şartlarının etkileridir.

Üstyapılar kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, niteliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Taban zeminine, trafiğe, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir.

Çimento betonu ile yapılan kaplamalarla oluşturulan üstyapıya "Rijit Üstyapı" ya da "Beton Yollar" denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafik yüklerini tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton plakların özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel ve alttemel tabakaları ile mevcut taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Beton yollar, enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmış 20-25 m<sup>2</sup> alana sahip plaklar halindedir. Beton plağın rijitliğinin yüksek olması nedeniyle taban zemininde oluşan gerilmeler geniş bir alana yayılır.

Bitümlü kaplama tabakaları ile oluşturulan üstyapılara ise "Esnek üstyapı" adı verilir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları vasıtasıyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup, stabilitesi adezyon, dane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (Umar ve Açar, 1985).

Yukarıda tanımı yapılan rijit ve esnek üstyapıların birbirlerine göre çeşitli teknik üstünlükleri ve dezavantajları vardır. Ekonomik yönden de karşılaştırıldıklarında yöre, iklim şartları ve kullanılan malzemelerin

temini bakımından farklı sonuçlar çıkmaktadır.

### 2.2.1. Kaplama tabakası

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan doğruya maruz kalan en üst tabakasıdır. Agregata ile bitümlü bağlayıcı madde bileşiminden meydana gelir. Kaplama tabakaları, aşağıdaki amaçların temini için yapılır.

- a) Trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak,
- b) İklimin ayrıştırma etkilerine karşı koymak,
- c) Üst yapının üst kısmındaki çökmelere karşı direnç göstermek,
- d) Yapıya sızan yüzeysel su miktarını azaltmak,
- e) Altındaki temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak,
- f) Yazın toz, kışın çamur gibi konfor bozucu etkileri önlemek ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlayarak konforun artmasına sebep olmak.

Kaplama, bir veya birden fazla tabaka halinde inşa edilebilir. En üstte bulunan tabakaya aşınma tabakası ve bunun altındaki tabakalara da binder tabakası denir. Aşınma tabakası, trafiğin doğrudan doğruya temas ettiği tabakadır.

Kaplama tabakası, bağlayıcı ve agreganın kullanılma şekillerine göre iki farklı tipe ayrılır.

- a) Yüzeysel kaplamalar
- b) Bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamalar (Umar ve Ağar, 1985).

### **2.2.1.1. Yüzeysel kaplamalar**

Yüzeysel kaplama, yolun kabul edilen hizmet süresi boyunca geçecek olan, ortalama günlük ağır ticari taşıt sayısı çift yönde 500'den küçük veya proje süresince tek yönde toplam standart dingil (8,2 ton) sayısı  $2 \cdot 10^6$ 'dan az olan yollarda uygulanmalıdır. Bitümlü yüzeysel kaplamalı yollarda proje süresi 10 yıldır. Toplam standart dingil sayısı  $2 \cdot 10^6$ - $3 \cdot 10^6$  arasında olan yollarda ise sıcak karışım kaplama gerekmekte ise de, ekonomik durumlar gözönüne alınarak ve proje ömrü kısa tutularak çift kat yüzeysel kaplama yapılabilir. Toplam standart dingil sayısı  $3 \cdot 10^6$ 'dan daha büyük yollarda ise asfalt betonu kaplamalar ekonomik olmaktadır (Umar ve Ağar, 1985).

Bitümlü yüzeysel kaplamalar, yol yüzeyine bitüm ve agrega tatbikatının birçok tiplerini içine alan bir kaplama çeşididir. Bu çeşit kaplamalar, genellikle 13-25 mm kalınlıkta yapılmaktadır. Bitümlü yüzeysel kaplamalar, tekniğine uygun olarak inşa edildiklerinde ekonomiktirler. Bu kaplamalar yol temelini yüzey sularına karşı korur, yazın tozun, kışın da çamurun bozucu etkilerini önler, ayrıca esnek bir yuvarlanma yüzeyi temin ederler. Yol üstyapısının mukavemetini artırmaktan çok, trafik yüklerini temel tabakasına iletme vazifesi görür. Bitümlü yüzeysel kaplamalar, hazırlanmış olan temel tabakası yüzeyine uygun miktarda likit bitümün bir tabaka halinde tatbikinden ve hemen arkasından agreganın tatbiki ile bir veya birkaç tabakadan teşkil olmak üzere yapılır (Yıldırım, 1984).

### **2.2.1.2. Asfalt betonu kaplamalar**

Günlük ticari taşıt sayısı çift yönde 500'den büyük ya da proje ömrü süresi içinde toplam standart dingil sayısı  $3 \cdot 10^6$ 'dan fazla olan yollarda kaplama olarak asfalt betonu kullanılmalıdır. Bu tip kaplama,

kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve filler malzemesinin belirli granülometri limitleri arasında işyeri karışım formülü esaslarına uygun olarak, bitümlü bir bağlayıcı ile bir plentte sıcak olarak karıştırılması ile elde edilir.

En gelişmiş kaplama tipi olan asfalt betonu kaplamalar, trafiği ağır yollarda, otoyollarda, hava alanı pistlerinde ve her türlü iklim koşullarında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Yüksek dirençlerine karşı maliyetleri de yüksektir. Asfalt betonu, genel anlamı ile aşınma tabakasını, binder tabakasını ya da bunların her ikisini de birden kapsar. Trafiğin aşındırma ve iklimin ayrıştırma etkilerine karşı koyan en üst tabakaya "Aşınma" veya "Yuvarlanma" tabakası adı verilir. Aşınma tabakası ile temel tabakası arasında geçiş olmak üzere bir veya birkaç tabaka yapılır ki, buna da "Binder" tabakası denilmektedir. Binder tabakasında kullanılan dane ebadı, aşınma tabakasından daha iridir (Wright ve Paquette, 1987).

Asfalt betonu kaplamalar, penetrasyon makadam, beton yol veya aşınmış bir asfalt betonu gibi sağlam bir temel üzerine inşa edilmelidir (Yıldırım, 1984).

### 3. ASFALT BETONU YAPIMI VE ELAZIĞ BELEDİYESİNİN UYGULAMALARI

Asfalt betonu dizaynı, kırılmış ve elenmiş kaba agrega ince agrega ve mineral fillerin belli gradasyon limitleri arasında işyeri karışım formülü esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak yeterli temeller veya diğer bitümlü kaplamalar ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak ve projesindeki plan, profil ve enkesitlere uygun olarak asfalt betonu kaplama yapılmasından ibarettir.

Asfalt betonu karışımına giren kaba agrega, ince agrega ve mineral filler ile bitümlü malzemede aranan özellikler, gradasyon limitleri, işyeri karışım esasları, inşa metodu, arazi ve laboratuvar kontrolleri ve diğer şartlar şartnamelerde verilen esaslara uygun olmalıdır.

Elazığ kentiçi yol çalışmalarında yapılan gözlem ve incelemelerde yol inşaatının iki şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Belediye yol çalışmalarının önemli bir bölümü hizmet ömrü dolmuş veya kaplaması bozulmuş yolların tamiratını gerçekleştirmekle devam etmektedir. Temel teşkil eden bozulmuş yolların üzerinde yapılan asfalt betonu kaplamaların kalınlıkları 5 cm. civarında olmaktadır.

İkinci olarak, yeni yapılan yollarda asfalt betonu kaplama kalınlıkları tek tabaka olarak 10 cm civarında inşa edilmektedir. Bu tür yol yapımlarında taban zemini kazılarak uygun kota getirilmekte ve greyderle tesviyesi yapılmaktadır. Silindirlerle sıkıştırılan bu taban zemini üzerine 15 cm kalınlığında stabilize (kum-çakıl) malzemesi greyderle serilerek sıkıştırılmaktadır. Stabilize malzeme ile teşkil edilmiş bu alttemel tabakası üzerine, asfalt betonu teşkilinde kullanılan agrega malzemesi ile 10 cm kalınlığında bir granüler temel tabakası inşa edilmektedir. Kamyonlarla yol yüzeyine getirilen bu temel malzemesi,



greyderle serilerek sulanıp sıkıştırılmaktadır. Bu şekilde hazırlanan temel tabakası üzerine asfalt betonu yapılmaktadır. Ayrıca, yollarda sık sık görülen irili ufaklı bozulmalar da asfalt betonu ile onarılmaktadır.

Projesiz olarak yapılan bu çalışmalar esnasında taban zemini etüdü, drenaj durumları, tabaka kalınlıkları, optimum su muhtevası, sıkışma durumları, enine ve boyuna eğimler gibi önemli kriterler kontrole tabi tutulmamaktadır. Bu şekilde inşa edilen yolların, kaplama tabakası ne kadar da iyi inşa edilse uzun ömürlü olmayacakları muhakkaktır.

Elazığ kentiçi yollarının yapımında faydalı olması açısından asfalt betonu yapımı aşağıda kısaca izah edilmiş ve belediye çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

### **3.1. Kullanılan Malzemeler**

#### **3.1.1. Agrega ve genel özellikleri**

Asfalt betonu yapımında kullanılacak agregâ kırmataş, kırılmış çakıl veya bunların karışımından ibarettir. Agrega, temiz sert, sağlam ve dayanıklı olmalı içerisinde kil topakları, bitkisel maddeler ve diğer zararlı maddeler bulunmamalıdır. Agrega, kaba, ince ve filleri içeren en az üç ayrı dane gurubunun belli oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulmalıdır.

Asfalt betonu yapımında kullanılacak agregâ gradasyon limitleri binder tabakası için Tablo 3.1. ve aşınma tabakası için Tablo 3.2'de gösterilmiştir (K. G. M. Yollar Fenni Şartnamesi, 1989).

**Tablo 3.1.** Binder tabakası için gradasyon limitleri

<b>Elek Boyu</b>	<b>Tip 1</b>	<b>Tip 2</b>	<b>Tip 3</b>
25 mm (1'')	100	100	100
19 mm (3/4'')	82-100	80-100	77-100
12,5 mm (1/2'')	68-87	63-81	59-77
9,5 mm (3/8'')	60-79	54-72	49-66
4,75 mm (No: 4)	46-65	40-58	34-52
2,00 mm (No: 10)	34-51	28-45	23-39
0,425 mm (No: 40)	17-29	14-25	12-22
0,180 mm (No: 80)	9-18	8-16	7-14
0,075 mm (No: 200)	2-7	2-7	2-7

**Tablo 3.2.** Aşınma tabakası için gradasyon limitleri

<b>Elek Boyu</b>	<b>Tip 1</b>	<b>Tip 2</b>	<b>Tip 3</b>	<b>Tip 4</b>
19 mm (3/4'')	100	100	-	-
12,5 mm (1/2'')	84-100	77-100	100	100
9,5 mm (3/8'')	75-91	66-84	87-100	80-100
4,75 mm (No: 4)	57-75	46-66	66-82	55-72
2,00 mm (No: 10)	42-59	30-50	47-64	36-53
0,425 mm (No: 40)	22-35	12-28	24-36	16-28
0,180 mm (No: 80)	12-22	7-18	13-22	8-16
0,075 mm (No: 200)	4-10	4-10	4-10	4-10

Elazığ Belediyesi şantiyesinde kullanılan agregaya Elazığ'a 10 km mesafedeki Hanpınar taş ocağında konkasörle kırılarak elde edilmektedir. Malzeme cinsi kalker olan bu agregaya ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Elazığ Belediyesi'nin 1995 ve 1996 yıllarında agregaya figüresinden alınan numuneler elek analizine tabi tutularak Tablo 3.3. ve Tablo 3.4'de ki değerler elde edilmiştir. Belediye şantiyesinde alınan malzeme içerisinde yüzde 9.73 oranında kil bulunduğundan killi malzeme ve yıkanmış kurutulmuş malzeme olmak üzere elek analizi iki durum için yapılmıştır.

**Tablo 3.3.** Killi malzemenin elek analizi

Elek No		Elekte Kalan (gr)	Toplam Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
mm	inç				
19	3/4"	-	-	-	100
12.5	1/2"	678.5	678.5	8.8	91
9.5	3/8"	138.8	817.3	10.6	89
4.75	No: 4	1634.5	2451.8	31.8	68
2.00	No: 10	1474.9	4926.77	63.9	36
0.425	No: 40	1495.7	6422.4	83.3	17
0.180	No: 80	478.1	6900.5	89.5	11
0.075	No: 200	547.4	7448	96.6	3.4

**Tablo 3.4.** Yıkanmış malzemenin elek analizi

Elek No		Elekte Kalan (gr)	Toplam Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
mm	inç				
19	3/4"	-	-	-	100
12.5	1/2"	1940	1940	9	91
9.5	3/8"	646	2586	12	88
4.75	No: 4	4957	7543	35	65
2.00	No: 10	6681	14224	66	34
0.425	No: 40	4095	18319	85	15
0.180	No: 80	1293	19612	91	9
0.075	No: 200	1724	21336	99	1

Ancak, 1997 yılında kullanılmak üzere Hanpınar taş ocağında kırılmış ve istif edilmiş bulunan Elazığ Belediyesinin üç tip malzemesinden numune alınarak elek analizlerine tabi tutulmuş ve sonuçta Tablo 3.5., 3.6., 3.7'de ki gradasyonlar elde edilmiştir.

**Tablo 3.5.** İri agreganın elek analizi

Elek No		Elekte Kalan (gr)	Toplam Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
mm	inç				
19	3/4"	980	980	8,2	92
12.5	1/2"	6390	7370	61,7	38
9.5	3/8"	2490	9860	82,5	18
4.75	No: 4	1740	11600	97,1	3
2.00	No: 10	135	11735	98,2	2
0.425	No: 40	50	11785	98,6	1
0.180	No: 80	20	11805	98,8	1
0.075	No: 200	95	11900	99,6	0

**Tablo 3.6.** Orta boy agreganın elek analizi

Elek No		Elekte Kalan (gr)	Toplam Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
mm	inç				
19	3/4"	-	-	-	100
12.5	1/2"	-	-	-	100
9.5	3/8"	85	85	1,6	98
4.75	No: 4	4075	4160	78,3	22
2.00	No: 10	1030	5190	97,7	2
0.425	No: 40	45	5235	98,6	1
0.180	No: 80	5	5240	98,7	1
0.075	No: 200	30	5270	99,3	0

**Tablo 3.7.** İnce agreganın elek analizi

Elek No		Elekte Kalan (gr)	Toplam Kalan (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
mm	inç				
19	3/4"	-	-	-	100
12.5	1/2"	-	-	-	100
9.5	3/8"	-	-	-	100
4.75	No: 4	-	-	-	100
2.00	No: 10	2520	2520	45,6	54
0.425	No: 40	1605	4125	74,7	25
0.180	No: 80	570	4695	85	15
0.075	No: 200	385	5080	91,9	8

Asfalt betonu kaplamalarda kullanılacak kaba agrega (No: 4 elek üstü) karışımında ağırlıkça en az % 40 oranında kullanılmalı ve ağırlıkça en az % 60'ının mekanik olarak kırılmış olması gerekir. Kil ve organik maddeler kaba agrega içinde % 1'den fazla bulunmamalıdır.

Karışımında kullanılan ince agrega sağlam ve dayanıklı olmalı, plastisite indeksi % 2'den fazla olmamalıdır. İçerisinde kil ve organik maddeler % 3'den fazla olmamalıdır.

Mineral filler taş tozu, portland çimentosu, sönmüş kireç veya benzeri maddelerden oluşacak, bünyesinde kil, toprak, organik ve zararlı maddeler ihtiva etmemeli ve ayrıca plastisite indeksi 4'den fazla olmamalıdır.

1997 yılında Hanpınar ocağından alınan malzeme karışımının kil oranı % 2 olarak tesbit edilmiştir.

Agrega'ya ait şartnamelerde verilen fiziksel özellikler aşağıda Tablo 3.8. ve Tablo 3.9.'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.8.** Kaba agreganın özellikleri

ÖZELLİKLER	DENEY METODU	HAFİF VE ORTA TRAFİKLİ YOLLAR		AĞIR TRAFİKLİ YOLLAR, OTOYOLLAR VE TIRMANMA ŞERİTLERİ	
		BİNDER	AŞINMA	BİNDER	AŞINMA
AŞINMA KAYBI (Los Angles) maksimum, %	TS 3694 (ASTM C-88)	35	35	35	30
HAVA TESİRLERİNE KARŞI DAYANIKLILIK maksimum, %	TS 3655 (ASTM C-88)	12	10	12	10
KIRILMIŞLIK (Min. %)	-	60	60	100	100
YASSILIK İNDEKSİ (Maksimum, %)	BS 812	35	35	35	30
CİLANMA DEĞERİ (Minimum, %)	BS 812	-	0.50	-	0.50
SU ABSORPSİYONU (Maksimum, %)	TS 3526 (ASTM C.127)	2.5	2.5	2.5	2.0

**Tablo 3.9.** İnce agreganın özellikleri

ÖZELLİKLER	DENEY METODU	BİNDER TABAKASI	AŞINMA TABAKASI
PLASTİSİTE İNDEKSİ Maksimum %	TS 1900	2	2
ORGANİK MADDE (Maksimum %)	TS 3673 (AASHTO T-194)	0-1 (Renk skalası) (0.5)	Müsade edilmeyecek

### 3.1.2. Bitümlü bağlayıcılar

Asfalt betonu karışımlarında bitümlü bağlayıcı olarak TS-1081'in uygun gördüğü 40-50 penetrasyonlu (AC 40-50), 60-70 penetrasyonlu (AC 60-70) ve 75-100 penetrasyonlu (AC 75-100) asfalt çimentoları kullanılmalıdır. Hangi asfalt çimentosunun hangi yöre ve bölgede kullanılacağı iklim koşullarına bağlı olarak değişir.

Astar malzemesi olarak TS 1083'e uygun MC-30, TS-1084'e uygun RT-1 ve RT-2, TS-1082'ye uygun SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h malzemelerinden biri kullanılmalıdır.

Yapıştırıcı olarak TS-1083'e uygun RC-70 ve RC-250. TS-1082'ye uygun RS-1, RS-2 ve CRS-1 ve CRS-2 malzemelerinden biri kullanılır.

Elazığ Belediyesi, Batman'dan izoleli tanklarla getirdiği AC 75-100 penetrasyonlu asfalt çimentosunu asfalt betonu yapımında kullanmaktadır. Astar ve yapıştırma malzemesi olarak da MC-30 orta hızda sertleşen Cut-Back sıvı asfaltı kullanılmaktadır.

Belediyenin kullandığı asfalt çimentosu üzerinde yapılan deneylerde penetrasyon değeri 95 ve düktilite değeri de 92 cm bulunmuştur.

### 3.2. Asfalt Betonu Dizaynı

Asfalt betonunun karışım dizaynı TS 3720 standardına göre Marshall metodu kullanılarak yapılır. Karışım dizaynında Tablo 3.10'da verilen dizayn kriterleri kullanılır (KGM, Yollar Fenni Şartnamesi).

**Tablo 3.10.** Dizayn kriterleri

ÖZELLİKLER	HAFİF VE ORTA TRAFİKLİ YOLLAR				AĞIR TRAFİKLİ YOLLAR, OTOYOLLAR TIRMANMA ŞERİTLERİ			
	BINDER		AŞINMA		BINDER		AŞINMA	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
BİRİKET YAPIMINDA UYGULANACAK DARBE SAYISI	50	-	50	-	75	-	75	-
MARSHALL STABİLİTESİ (Kg.)	600	-	750	-	750	-	900	-
BOŞLUK, %	4	6	3	5	4	6	3	5
ASFALTLA DOLU BOŞLUK, %	65	75	75	85	65	75	75	85
AKMA, mm (10 <sup>-2</sup> inç)	2.5	4.6	2.5	4.6	2	4	2	4
	(10)	(18)	(10)	(18)	(18)	(16)	(8)	(16)
FİLLER/BİTÜM ORANI	-	-	-	-	-	1.4	-	1.5
ASFALT ÇİMENTOSU (Ağırlıkça, %)	3.5	6.5	4.0	7.0	3.5	6.5	4.0	7.0

Karışım agregasının gradasyonu, bitümlü bağlayıcı ile karıştırılmadan önce ve sonra Tablo 3.11'de verilen tolerans sınırları içinde kalmalı, ancak şartname limitleri dışına çıkmamalıdır.



**Tablo 3.11.** Agrega için tolerans sınırları

	<b>Toleranslar</b>
4.75 mm (No:4) ve daha büyük eleklerden geçenler	$\pm \% 5$
2.00 mm (No: 10) eleği geçen	$\pm \% 4$
0.075 mm (No: 200) eleği geçen	$\pm \% 2$
Assfalt çimentosu	$\pm \% 0.3$

Agrega ve asfalt çimentosu karışım formülüne göre, tamburda karıştırma prensibi ile çalışan plantlerde karıştırılmalıdır. Karıştırma işleminden önce agrega ve asfalt çimentosu Tablo 3.12'deki sıcaklıklara kadar ısıtılmalıdır.

**Tablo 3.12.** Malzemelerin karıştırma sıcaklıkları

	Asfalt Çimentosu		Agrega	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.
40-50, 60-70 pen AC ile hazırlanan karışımlarda	145 °C	160 °C	150 °C	165 °C
75-100 pen AC ile hazırlanan karışımlarda	140 °C	155 °C	145 °C	160 °C

Agreganın sıcaklığı ile asfaltın sıcaklığı arasındaki fark 20°C'den fazla olmamalı ve Plantten çıkan karışımın sıcaklığı aşağıdaki gibi olmalıdır.

<b><u>Hava Sıcaklığı (Gölgede)</u></b>	<b><u>Karışım Sıcaklığı</u></b>
5-15 C° arası için	min. 155 C°
15-35 C° arası için	min. 145 C°
35 C° dan yukarısı için	min. 140 C°

### 3.2.1. Yol sathının hazırlanması

Kaplanmanın yapılacağı satıh toz, kil parçacıkları ve diğer yabancı maddelerden çeşitli süpür gelerin yardımıyla temizlenmelidir.

Yol bitümlü kaplama ise yüzeyde hiçbir gevşek nokta bulunmamalıdır. Varsa gevşek noktalar sökülmeli, serbest malzemeler temizlenerek dışarı atılmalı ve bu noktalar sıcak karışımla onarılmalıdır. Yol yüzeyindeki irili ufaklı tüm çukurlar onarılmalı ve tümseklikler mutlaka giderilmelidir.

Yol yüzeyi granüler temel ise yüzey plan, profil, bombe ve dever şartlarına uygun olmalıdır. Satihta gevşek ve serbest malzeme ile kil, organik madde ve toprak bulunmamalıdır. Ayrıca., bu üst yapılar şartnamede istenen yoğunluk ve sıkışmaya haiz olmalıdır.

Granüler temel, kireç ve çimento karışımı temeller üzerine daha önce verilen bitümlü astar malzemesi, homojen bir püskürtme sağlayacak distribütörle metrekaareye 0,5-2,5 litre arasında malzeme atılmalıdır. Kullanılacak astar malzemesinin püskürtme sıcaklıkları aşağıdaki gibi olmalıdır.

MC-30	25 C° - 50 C°
RT-1, RT-2	20 C° - 50 C°
Emilsiyon asfaltları	20 C° - 70 C°

Astar malzemesi püskürtüldükten sonra bitümlü malzemenin kür ve penetre edebilmesi için 24 saat üzerine bitümlü kaplama serilmemeli ve mümkünse yol trafiğe kapatılmalıdır.

Beton yollarda veya eski bitümlü kaplamalarda asfalt betonu kaplama yapıldığında satha yapıştırıcı malzeme uygulanmalıdır. Malzeme homojen bir şekilde ve 0,150 - 0,500 litre/m<sup>2</sup> olacak miktarda

uygulanacaktır. Yapıştırıcı olarak kullanılacak bitümlü malzemelerin püskürtme sıcaklıkları aşağıdaki gibi olmalıdır.

RC - 70	50 C° - 80 C°
RC - 250	60 C° - 100 C°
Emülsiyon asfaltları	20 C° - 70 C°

Elazığ Belediyesi yol yapım çalışmalarında asfalt betonu ile kaplanacak yol yüzeyi döner süpürgelerle temizlenerek satıhdaki tozlar kaldırılmaktadır. Bitümlü kaplamalı yollarda yol yüzeyindeki çukurlar ve tümsekler genellikle giderilmektedir. Granüler temel veya bitümlü bir kaplama üzerine yapılacak asfalt betonundan evvel hazırlanan yol yüzeyine Distribütör ile MC-30 ısıtılmış Cut-Back asfaltı astar veya yapıştırıcı olarak püskürtülmektedir. Yol yüzeyine püskürtülen asfaltın kür etmesi için yaklaşık bir gün bekletilmekte ve bu arada yol çoğu zaman trafiğe açık tutulmaktadır.

### **3.2.2. Asfalt betonunun hazırlanması**

Agrega doğru bir biçimde tartılıp, işyeri karışım formülünde verilen granülometriyi sağlayacak miktarlarda karıştırıcıya nakledilir. Mineral filler malzemesi de tartılarak ilave edilir. Karıştırılan agreganın sıcaklığı 125-175C° arasında olmalıdır. Bitümlü malzeme 125-165C° arasında ısıtılarak bir pompa ile özel tartıya gönderiler. Agregaya ile bitüm 1 dakikadan az olmamak şartıyla, agreganın danelerinin tam ve üniform bir biçimde bitümlü sarılmış olması ve homojen bir karışım elde edilmesi sağlanmalıdır. Karıştırıcının alt kapağı açılarak altında bekleyen kamyonla karışım yüklenir. Karışımın plentteki ısı 125-165C° arasında olmalıdır.

Bu amaçla Elazığ Belediyesi'nin biri Asri mezarlık yakınında bulunan plent ve diğeri Hanpınar malzeme ocağında bulunan ve yeni kurulan plent olmak üzere iki adet plenti mevcuttur. Ancak bu yeni kurulan plent henüz üretime geçmemiştir. Üretim hala eski plentin çalıştırılmasıyla yapılmaktadır. Plentin yakınında bulunan agrega bir yükleyici ile plent depolarına herhangi bir elemeye tabi tutulmadan boşaltılmaktadır. Bu depoların alt kısmında agreganın belirli bir debide akmasını sağlayan sistem ile akan agregayı kurutma tamburuna ileten bir taşıyıcı bant mevcuttur. Kurutma tamburu, yatayla bir açı teşkil ederek kendi ekseni etrafında dönmektedir. Agrega, bantlarla tamburun üst ucundan sevkedilmektedir. Tamburun alt ucundan püskürtülen alevle tamburdaki agrega ısıtılmaktadır. Bu şekilde ısıtılan agrega iletici bir bantla yükseltilerek karıştırıcıya sevkedilmektedir. Bu arada ısıtılmış olan asfalt çimentosu basınçlı bir ağızlıkla zerreler halinde karıştırıcı içerisindeki agrega üzerine püskürtülerek bir süre karıştırılmaktadır. Karıştırılmış malzeme yaklaşık 3,0 metre yükseklikte bulunan karıştırıcı kovanının kapağı açılarak kamyonlara boşaltılır.

Bütün bu işlemler esnasında karıştırılacak agrega ve bitüm miktarları ve sıcaklıkları ile karışımın homojenliği, süresi ve sıcaklığı kontrole tabi tutulmamaktadır. Bu sebeple hazırlanan karışımdaki bitüm yüzdesi çok fazla veya eksik olabilmektedir.

### **3.2.3. Karışımın taşınması, yola serilmesi ve sıkıştırılması**

Karışımın araçlara doldurulması ve nakli sırasında segregasyon olmaması için özen gösterilmeli ve kullanılan bu araçların brandalı örtü tertibatına sahip olması gerekir. Karışımın işyerine taşınmasında ısı kaybının en fazla 10C° olması gerekir. Karışımı taşıyan kamyon asfalt finişerinin ön kısmına yanaşarak iletici bantların olduğu yere karışımı

döker. Asfalt betonu iletici bantlar ile karıştırıcı disk ve ısıtıcıdan geçirilir. Finişerin arkasında bulunan titreşimli bir master ile üniform bir kalınlıkta karışım serilir ve bir miktar da sıkıştırılır. Makina ile serilmesi mümkün olmayan yerlerde malzeme elle serilerek sıkıştırılmalıdır.

Karışım serildikten hemen sonra sıkıştırma işlemine başlanmalı ve silindiraja başlandığında karışımın sıcaklığı 130 C°'nin altında olmalıdır. Karışımın sıcaklığı 80 C°'nin altına düşmeden sıkıştırma işlemi tamamlanmalıdır. Sıkıştırma işleminde 8-12 tonluk demir bandajlı silindirlerle lastik basıncı ayarlanabilen kendinden yürür minimum 20 tonluk lastik tekerlekli silindirler kullanılmalıdır.

Karışım serildikten sonra silindiraj esasları aşağıdaki gibi yapılmalıdır.

- Önce enine ekyerleri ve boyuna ekyerleri silindirler.
- Serilen şeridin düşük kenarından başlanarak her geçişte bir önceki ize en fazla 15 cm bindirme yapılarak yüksek kenara kadar silindiraja devam edilir.

İlk, ara ve son silindiraj, bir noktadan en az iki geçiş olacak şekilde uygulanacaktır. Sıkıştırılan asfalt betonunun sıkışma ve kalınlık değerleri Tablo 3.13.'de verilen kriterlere uygun olmalıdır.

**Tablo 3.13. Sıkışma ve kalınlık değerleri**

Özellikler	Binder Tabakası İçin	Aşınma Tabakası İçin
Sıkışma işyeri karışım yoğunluğunun %'si		
- Tek değer olarak	96	97
- Ortalama değer olarak	98	98
Sıkışmış tabakanın kalınlık (h) toleransları	± 0.1 h	± 0.1 h
- Tek değer	h	h
- Ortalama değer		

Elazığ Belediyesi'nin ürettiği asfalt betonu karışımı ısı yalıtımı yapılmamış kamyonlara doldurularak, yol yüzeyine götürülüp boşaltılmaktadır. Boşaltma işlemi genellikle bir yığılma şeklinde olmaktadır. Yol yüzeyine dökülen karışım greyderle serilmekte ve bu serme işlemi uzun zaman almaktadır. Gerek bu sebeple ve gerekse karışımın yol yüzeyine taşınması esnasında sıcaklık kaybının fazla olacağı ve bu sebeple sıkıştırma sıcaklığının şartname sınırlarının altına düşeceği muhakkaktır.

Greyderle serme işlemine düzgün bir satıh elde edilinceye kadar devam edilerek segregasyona uğramış yerler, tümsek ve çukurlar işçiler tarafından düzeltilmektedir. Düzeltilen satıh 10-12 tonluk demir bandajlı silindirle sıkıştırılmaktadır. Malzemenin kamyonla yola dökülmesi ile serilip-sıkıştırılması arasında 30-40 dakikalık bir süre geçmektedir. Karışımın yola dökülmesi, serilmesi ve sıkıştırılması şartname kaidelerine uymamakla birlikte sıkıştırılan karışımın yoğunluk ve tabaka kalınlığının kontrolü de yapılmamaktadır.

#### 4. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM KAPLAMALARIN ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİ

Sıcak karışım asfalt kaplama, asfalt çimentosu ile homojen olarak karışmış ve kaplanmış agregaların birleşmesinden oluşur. Agregaların kurutulması ve mükümmel bir karıştırma ve işlenebilirlik sağlamak için asfalt çimentosunun uygun akıcılığa getirilmesi amacı ile karıştırmadan önce her iki malzemenin de (agrega ve asfalt) ısıtılmaları gerektiğinden, bu tür karışımlara sıcak karışım denilmektedir.

Bu karışımlar, serbest agrega malzemesine göre çok pahalı olduklarından yol yapımında çoğunlukla, yalnızca kaplama tabakalarının yapımında kullanılırlar. Bitümlü karışımlar pahalı olmakla beraber birçok yararlı özelliklere sahiptir.

Yol düzgün yüzeyli olur, taşıtların tekerlek sürtünmesi nedeniyle yaptığı gürültü önemli ölçüde azalır. Konfor artar, tekerlekler daha az aşınır.

Bağlayıcı malzeme agrega danelerini çok iyi şekilde birbirine bağladığı için taşıtların taş fırlatma tehlikesi ortadan kalkar. Oldukça geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edildiğinden alt tabakaların erken bozulması önlenmiş olur.

Bitümlü karışımlardan 2 cm kalınlıkta ince kaplama tabakaları yapılabildiği gibi 10 cm kalınlıkta kaplamalar yapılması da mümkündür. Ancak 5-6 cm'den daha kalın bir kaplama yapılması söz konusu olunca bunu yapıları farklı iki tabaka halinde oluşturmak gerekir. Alttaki tabaka daha az sıkıştırılır ve daha az bağlayıcıdır, bu tabaka "Binder Tabakası" adını alır. Üstteki tabaka ise iyi sıkıştırılmış ve bağlayıcısı binder tabakasına göre daha fazladır, bu tabakaya da "Aşınma Tabakası" adı verilir.

Bitümlü sıcak karışımlar, asfalt betonu kaplamalar da dahil olmak üzere, her türlü temel ve kaplama inşaatında kullanılan sıcak karışımları kapsamaktadır.

#### **4.1. Bitümlü Karışımlardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler**

Bitümlü karışımlarda ekonomikliğin esasını teşkil eden uzun ömür, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin sağlanmasıyla mümkündür. Bunlar;

##### **4.1.1. Stabilite**

Stabilite, serilmiş ve sıkıştırılmış bitümlü sıcak karışımların, taşıtlardan gelen sürekli dinamik yükler, uzun süreli statik yükler ile hızlanan veya yavaşlayan tekerlek etkileri altında oluşan basınç, çekme, makaslama ve sökülme gibi şekil değiştirmelere karşı gösterdiği direnç olarak tarif edilir. Stabilite yetersizliği yolda çökme, ondülasyon ve akmaların oluşmasına yol açar.

Şekil değiştirmeler geçici ve kalıcı olmak üzere ikiye ayrılır. Kalıcı şekil değiştirme yol üst yapısında kendini iki şekilde gösterir.

1- Belli bir sıcaklığın üstünde yükün yavaş yavaş tatbikiyle şekil değiştirme,

2- Aynı noktadan geçen yükün tekerrürü ile şekil değiştirme

Her iki halde de bitümlü tabakalarda az miktarda kalıcı şekil değiştirmelerin meydana geldiği kanıtlanmıştır. Stabilite geçici şekil değiştirme süresince söz konusudur. Kalıcı şekil değiştirmenin başladığı anda stabilite anlamsızdır. Stabiliteyi temin eden faktörler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

a) Serilmiş ve sıkıştırılmış karışım içerisindeki agrega danelerinin birbirlerine tatbik ettikleri sürtünme dirençlerinin bir neticesi olan mekanik kenetlenme kuvveti,



b) Bitümlü malzeme ile agrega daneleri arasındaki kohezyon ve adezyon kuvveti,

c) Karışımdaki danelerin konumunu değiştirmeye karşı direnci olan atalet kuvveti.

Serilmiş ve sıkıştırılmış tabakalarda yukarıdaki kuvvetlerin her birisi yalnız ve beraberce yük altında şekil değiştirmeye karşı koyarlar ve kalıcı şekil değiştirmeyi geciktirirler. Yukarıda da ifade edildiği gibi sıcaklık şekil değiştirmeyi çabuklaştırır. Sıcaklık, çevre sıcaklığından ve teker ile yol arasındaki sürtünmenin sonucu oluşur. Çevre sıcaklığı sıcak iklimlerde, teker ve yol sürtünmesi ise çok ağır trafikli yollarda meydana gelir. Bu nedenle ağır ve çok trafikli yollarda, sıcak iklimi olan bölgelerde düşük penetrasyonlu asfalt çimentoları kullanılmalıdır. Bununla beraber soğuk kışın hüküm sürdüğü yerlerde daha yüksek penetrasyonlu asfalt çimentoları kullanılmalıdır.

Bitümlü malzeme, yapılan deneyler sonucu stabiliteye en çok % 20 oranında katkıda bulunmaktadır. Esasen stabiliteyi temin eden daneler arasındaki mekanik kenetlenmedir. Mekanik kenetlenme, agrega gradasyonunun uyumlu, sürtünme yüzeylerinin fazla ve pürüzlü olmasıyla doğru orantılıdır. Bu da agreganın kırılma ve elenme şartını gerektirir ve zorunludur.

Karışımlardaki kohezyon (birbirini çekme) kuvveti daha çok bitümlü malzeme ile daneler arasında sözkonusudur. Bitümlü malzemenin fazlalığı kohezyon kuvvetini arttırmasına karşılık belli bir miktardan öteye yağlama etkisi göstererek danelerin birbiri üzerinde kaymasına yol açar. Böylece mekanik kenetlenmeyi dolayısıyla stabiliteyi azaltır.

Serilmiş ve sıkıştırılmış tabakalardaki danelerin, konumlarını değiştirmeye karşı dirençlerinin stabilite üzerindeki tesiri belli bir duruma kadar olmayabilir. Ancak, aşırı derecede sıkıştırılmış tabakadaki

danelerin, dış kuvvetlere karşı direnir kuvveti yok olduğundan, çok küçük kuvvetlerin tesiriyle daneler hemen yer ve yön değiştirir. Böylece iç dengesi bozulan kaplamada stabilite düşünülemez.

Sonuç olarak, bitümlü sıcak karışımda gerekli stabiliteyi temin etmek için mekanik kenetlenmeyi maksimum yapacak mineral agrega, düşük penetrasyonlu optimum bitümlü malzeme ve çok uygun bir serme sıkıştırma tekniği uygulamak yeterli olmaktadır. Stabilite, asfalt betonu kaplamalarda minimum 600 kg, bitümlü sıcak karışımlarda ise 400 kg olarak kabul edilmektedir (Koca, 1987).

#### 4.1.2. Sağlamlık (Durabilite)

Dış tesirlere karşı iç mukavemet olarak tanımlanabilir. Dış tesirler olarak çevrenin tesiri, trafiğin aşındırma tesiri, su, hava ve sıcaklığın tesiri etki etmektedir. Bu dış tesirler kaplamanın iç bünyesinde oksidasyon, polimerizasyon ve gazlaşmanın oluşmasına sebebiyet verir.

Karışımın aşınmaya karşı direnci doğal olarak agreganın aşınma özelliğine bağlıdır. Aşınma tabakalarında daha sert agrega kullanılarak daha yüksek bir dayanıklılık sağlanabilir. Dayanıklılığa etkiyen diğer önemli faktör nemdir. Mevcut nem halindeki karışımın soyulmaya karşı direnci agreganın asfalt absorpsiyonu ile ilgilidir. Asfaltın oksitlenmeye karşı direncinde, asfaltın yaşlanma karakteristikleri ve bitümlü karışımdaki boşluk oranı önemli rol oynar. Oksitlenme, aynı zamanda kaplamanın kırılmaya karşı direncine de etkir. Çünkü oksitlenme sırasında penetrasyonun düşmesi ile kaplama daha kırılğan bir hal alır. Bu nedenle, kırılmaların artmasına sebep olan oksitlenmeyi en alt düzeyde tutmak için bitümlü karışımın boşluk yüzdesinin belirli sınırlar içinde kalması sağlanmalıdır (Umar ve Ağar, 1985).

Bu nedenlerden dolayı sıcak karışımlarda kullanılan agreganın kırılmış, elenmiş şartı yanında, aşınmaya, soyulmaya ve ufalanmaya karşı da dirençli olması istenir (Koca, 1987).

#### 4.1.3. Esneklik (Fleksibilite)

Sıcak karışım tabakaların, yük altında, tabandan ve üstten gelecek kuvvetlerin etkisiyle bozulma, dağılma ve kırılma göstermeden direnimi, esneklik özelliğini ifade eder. Bir başka deyişle fleksibilite, kaplamanın yorulmaya karşı direncini yitirmemesidir.

Belli bir esnekliğe sahip sıcak karışım tabakaların kendisini örten alt ve üst tabakaların esnekliğine de uyması önemlidir. Farklı esneklikler dengesiz kuvvet dağılımlarına, enine ve boyuna kırılmalara sebebiyet verir. Özellikle taban toprağının ve alttemel malzemesinin farklı kalınlıkta serilmesi ve sıkıştırılması uzun bir süre sonra yük altında bazı elastik şekil değiştirmelere sebep olur. Böyle bir altyapı üzerine oturtulacak sıcak karışım tabakaların belirli bir dereceye kadar şekil değiştirmelere uygunluk göstermesi ve bünye değişikliğine uğramaması istenir.

Sıcak karışımlarda esneklik özelliği, yeterli boşluk ve bitümlü malzeme miktarının fazlalığı ile elde edilir. Asfalt çimentosunun vizkozitesi de fleksibiliteye etki eder. Sıcak iklimli bölgelerde düşük vizkoziteli asfalt çimentosu tercih edilmelidir. Buna karşılık düşük vizkoziteli asfalt çimentolarıyla yapılan kaplamalarda kışın sert ve soğuk geçen bölgelerde kırılmalar olmaktadır. Bu sebeple kaplamanın yapıldığı bölgeye göre uygun asfalt çimentosu kullanılması gereklidir.

Kalın tabakalarda esneklik, boşluk arttırılarak, ince tabakalarda ise esneklik bitüm arttırılarak temin edilir. Özellikle aşınma tabakalarında bitüm yüzdesinin üst limite yakın istenmesinin bir sebebi de budur.

#### 4.1.4. Geçirgenlik (Permeabilite)

Bitümlü karışım kaplamalarda geçirgenlik, serilmiş ve sıkıştırılmış tabakanın suyu, su buharını ve gazları alt tabakalara iletmesini ifade eder. Geçirimsiz olması istenilen aşınma tabakası dahi, belli bir oranda geçirimlidir. Bu sebeple asfalt betonu kaplamaların dışarıdan gelen ve kendi iç bünyesinde saklı duran sıvı gazlara karşı bir direnime istenir. Ancak, bu kaplamaların dış tesirlerle temas halinde olan üst tabakaların az geçirimli, alt tabakaların ise geçirimli olmaları arzulanır. Nedeni ise bünyesinde sıvı ve gazların hapsedilmemesidir. Özellikle dren dışı kalan yüzey sularının, bir ölçüde kaplamaların içine giren kısmı, alt tabakalara gitmeden kendi bünyesi içinde süzülerek banketlere drene edilmesi gereklidir.

Bütün bu özellikleri bitümlü kaplamaların yerine getirmesi, uyumlu gradasyonlu agreganın kullanılması, asfaltla dolu boşluğun iyi ayarlanması ve serme sıkıştırmanın gereği gibi yapılmasıyla mümkündür. Asfalt betonu aşınma tabakalarında, pratik boşluğun % 6'dan az istenmesinin gerçek nedenlerinden biri de tabakanın geçirimsiz olma isteğidir (Koca, 1987).

#### 4.1.5. Kırılgenlik

Asfalt betonu kaplama tabakalarının yük altında ani sıcaklık artma ve eksilmesi sonucu iç bünyede meydana gelen gerilmelerin neticesi olarak meydana gelen kırılma ve çatlamlar olarak tarif edilir. Kaplamalarda kırılgenlik daha çok, trafik yüklerinin arttığı, sıcaklığın ani olarak azalıp arttığı ilkbahar ve özellikle sonbahar aylarında görülür.

Kırılgenlik aşağıda sıralanan olaylar sonucu meydana gelmektedir.

- a) Ani yük artmaları ve yükün darbeli olması,
- b) Sıcaklığın ani düşmesi veya yükselmesi,

- c) Altyapının fazla elastik olması,
- d) Agreganın bitüm absorpsiyon kabiliyetinin zamanla devam etmesi,
- e) Bitümlü malzemenin kırılğan yapıda olması,
- f) Karışımda tek boy ince agreganın fazla oluşu,
- g) Karışımda suya hassas ve hacim değişmesine uğrayan maddelerin bulunması,
- h) Karışımın, serme sıkıştırma sonunda gereğinden az boşluklu inşa edilmesi,
- ı) Bitüm yüzdesinin az uygulanması.

Karayollarında tatbik edilen sıcak karışımlarda en çok görülen hadiselerden biri kırılğanlıktır. Özellikle doğal kum kullanma zorunluluğu ve asfalt çimentolarının düktilitesinin düşüklüğü kırılğanlık olayının meydana gelmesine çokca sebep olmaktadır (Koca, 1987).

#### 4.1.6. Sürtünme direnci

Belli bir mesafede vasıtanın frenleme ile durması veya hareket etmesi için bitümlü kaplama yüzeyinin gösterdiği yeter derecede sürtünme direnimini ifade eder. Kaplamanın sürtünme direnci, karışımda kullanılan agreganın mukavemetine, cilalanma kabiliyetine, karışımdaki asfalt çimentosu oranı ve boşluk oranına, yol yüzeyinde asfalt ve su filminin teşekkül etmesine bağlı olarak değişir. Yapılan deneyler sonucu asfalt yüzdesi düşük, değişik boyutlu ve yüzeyleri pürüzlü agregalarla yapılan sıcak karışımlarda sürtünme direncinin arttığı görülmüştür. Diğer taraftan karışımda çok fazla asfalt varsa veya yeterli boşluk yoksa, trafiğin oluşturduğu sıkıştırma tesiri ile veya sıcak havaların etkisi sonucu, asfalt dışarı çıkar ve kaygan bir yol yüzeyi meydana gelir. Bu hale "kaplamanın terlemesi" denir. Böyle olmaması için karışım homojen

olmalı ve segregasyona uğramamalıdır. Bu sebeple aşınma tabakalarında optimum bitüm miktarının aşılması, yüzey drenajını temin edecek düzgünlüğün sağlanması ve sathın pürüzlü olması gerekir.

#### 4.1.7. Yorulma

Ağır trafik yüküne göre üstyapısı hesaplanmış sıcak karışım kaplamalar, teker yüklerinden dolayı çok değişik yönlü ve şiddetli zorlamalara maruzdur. Genellikle zorlamalar üstten gelirse de, çeşitli faktörlerin etkisiyle yol altyapı malzemesinde meydana gelen plastik deformasyonlardan da gelebilmektedir. Alttan ve üstten gelen zorlamalar zamanla kaplamanın bünyesini bozmaya başlar. Çoğunlukla bozulmanın başlangıç safhası kısa sürelidir ve kendini göstermez. Bu tip bozulmalar, teker yükünün belli bir sayıdan fazla tekrüründen sonra oluşur. Yorulmadan doğan bozulmaların durumu ve oluşması, asfaltın kimyasal yapısına, kaplamanın kalınlığına, agreganın fiziksel özelliklerine, iklim şartlarıyla bütün bunların birbirine olan bağışıklığına bağılıdır.

Teker yükleri ve alttan gelen zorlamalar genellikle kaplamayı basınç ve çekmeye zorlar. Basınç ve çekme kuvvetleri, kaplamada zararlı birtakım iç gerilmeleri oluşturur. Bünyede meydana gelen iç gerilmeler, çoğu zaman kendini kimyasal etkilerle belli eder.

Bitümlü sıcak karışımlarda kimyasal etki, oksidasyon etkisini çabuklaştırır. Oksidasyon, asfaltın bağlayıcı özelliklerini kaybettirir. Bitüm penetrasyonunun 30'dan az olması halinde oksidasyonun tesirli olmaya başladığı, 20'den sonra çabuklaştığı ve 10'dan sonra ise tamamen okside olduğu yapılan deneylerde görülmüştür.

Stabiliteyi arttırmak için düşük penetrasyonlu asfalt çimentosunun kullanılması önerilmekte, ömrü uzatmak için de yüksek penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılması istenmektedir. Genellikle kaplamanın ömrü

ekonomiye tesir ettiğinden, karışımın serilip sıkıştırıldıktan sonra asfalt çimentosu penetrasyonunun 40'ın altında olmaması gerekir (Koca, 1987).

#### **4.1.8. İşlenebilirlik (Workabilite)**

İşlenebilirlik, malzemeyi istenen kıvamda, istenilen üniformalukta, sıkıştırma ile kolayca yerleştirebilmektir. Bu özellik, agrega granülometrisi, asfalt çimentosu oranı, en büyük dane boyutu, danelerin şekli ve agreganın şekli bitümlü karışımın özellikleri üzerinde gözle görülür şekilde etkilidir. Köşeli danelere sahip veya kırmataş parçaları içeren kumlar stabiliteyi yükseltirken, yuvarlak daneli kumlar işlenebilirliği arttıırırlar. Bazı hallerde iyi derecelenmiş karışım ve yeterli silindirme olduğu halde bağlayıcı azlığı sebebiyle istenilen yoğunluk elde edilememektedir. Bu durum asfalt çimentosu oranının bitümlü karışımın işlenebilirliğindeki rolünü açık olarak ortaya koyar (Umar ve Ağar, 1985).

#### **4.1.9. Homojenlik**

Karışım homojen olmalı, üretim ve kullanım esnasında segregasyona uğramamalıdır. Karışımında bitümlü bağlayıcı azlığı ve fazlalığı olmamalıdır. Bağlayıcı fazla olursa terleme yaparak yol yüzeyini kaygan hale getirir, az olursa agrega daneleri arasında yeterli kenetlenme oluşmaz.

#### **4.1.10. Tabakalar arasındaki bağlantı**

Binder ve aşınma tabakaları arasında iyi bir bağlantı olmalı ve bu bağlantı dış kuvvetlerle bozulmamalıdır.

## 5. ASFALT BETONU KAPLAMALARDA BOZULMALAR

Asfalt betonu yollardaki bozulmalar genellikle şekil değiştirme, kırılma (çatlama) ve ayrışma şeklinde olmaktadır. Bozulmaların genel nedeni, kaplama altı tabakalarının taşıma gücü yetersizliği, iklim koşulları ve asfalt betonunun aşağıda belirtilen kendi özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

a) Kötü malzeme kullanımımıdır. Kullanılan agreganın iyi kontrol edilmemiş bir granülometriye sahip olması, karışımında fazla miktarda yuvarlak dere malzemesinin kullanılması, çürük, kirli ve kötü agrega kullanılmasıdır.

b) Asfalt betonu karışımın hatalı hazırlanmasıdır. Bunlar, asfalt yüzdesinin ve fillerin yüzdelerinin hatalı olması, yeterli karıştırma ve sıcaklık kontrolünün yapılmamasıdır.

c) Asfalt betonu kaplama yapımının hatalı olmasıdır. Bunlar, aşırı veya yetersiz sıkıştırma, serme-sıkıştırma sıcaklığının düşük olması, yapım sırasında meydana gelen segregasyon ve astar veya yapıştırma tabakasının özenle yapılmamasıdır (Ağar ve Umar, 1985).

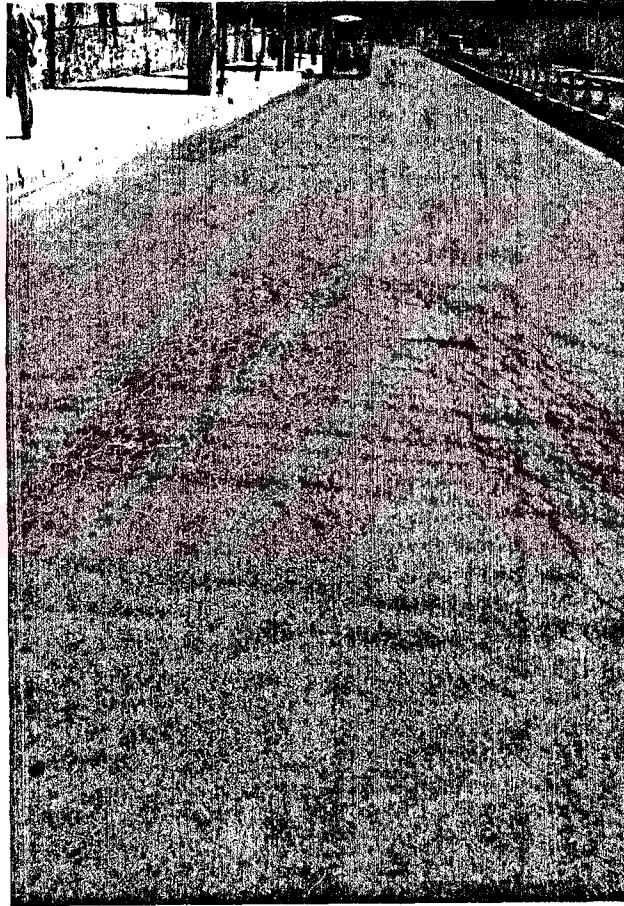
### 5.1. Şekil Değiştirmeler

Karayollarında en sık görülen bozulmalardan biri olan şekil değiştirme, genel manada kaplama yüzeyinin orjinal kotuna göre değişikliğe uğramasıdır. Şekil değiştirme, alt tabakaların hareketlerine bağlı olduğu gibi, asfalt betonu kaplamanın stabilitesinin yetersiz olmasından da kaynaklanmaktadır. İyi granülometrilili, sağlam, köşeli ve pürüzlü agrega kullanılır ve iyi bir sıkıştırma ile mekanik kenetlenme sağlanır sa şekil değiştirmeye karşı direnç arttırılmış olur.



Şekil değiştirme, oturmalar, yerel çökmeler, tekerlek izi oluşması ondülasyonlar, kabarmalar, yığılmalar ve lastik deseni oluşması şeklinde meydana gelmektedir.

Elazığ kentiçi karayollarında yapılan gözlemlerde, bozulmaların önemli bir bölümünün oturmalarından, çökme ve kabarmalardan meydana geldiği görülmüştür (Resim 5.1. ve Resim 5.2.).



**Resim 5.1.** Bir yoldaki oturma ve çatlamlar



**Resim 5.2.** Bir yoldaki kabarma veya çökme

Önceki bölümlerde de izah edildiği gibi Elazığ Belediyesi yol yapım çalışmalarında taban zemini ve kaplama altı tabakalarının yapılması esnasında, taban zemini ve drenaj imkanlarının incelenmediği ayrıca alttemel ve temel tabakalarının yeteri kalınlıkta olup olmadığının kontrol edilmediği görülmüştür.

Elazığ kentiçi karayollarında yapılan gözlemlerde, özellikle trafik akımının fazla olduğu ve araç tekerleklerinin genellikle bir doğrultuda kaplama üzerinde temas ettiği yerlerde tekerlek izi oluştuğu görülmüştür (Resim 5.5).

Bu sebeple, asfalt betonu kaplamalar sadece iklim ve trafik koşullarına uygun olarak inşa edilmiş yeterli taban, alttemel ve temeller üzerinde kullanılmalıdır. Ayrıca, bölgelerin iklim ve trafik koşullarına uygun, deformasyonlara dirençli asfalt betonu kullanılmalı ve karışımlarda bölge sıcaklıklarının müsadese nisbetinde, mümkün olduğu kadar sert bağlayıcı kullanılmalıdır.

## 5.2. Çatlamalar

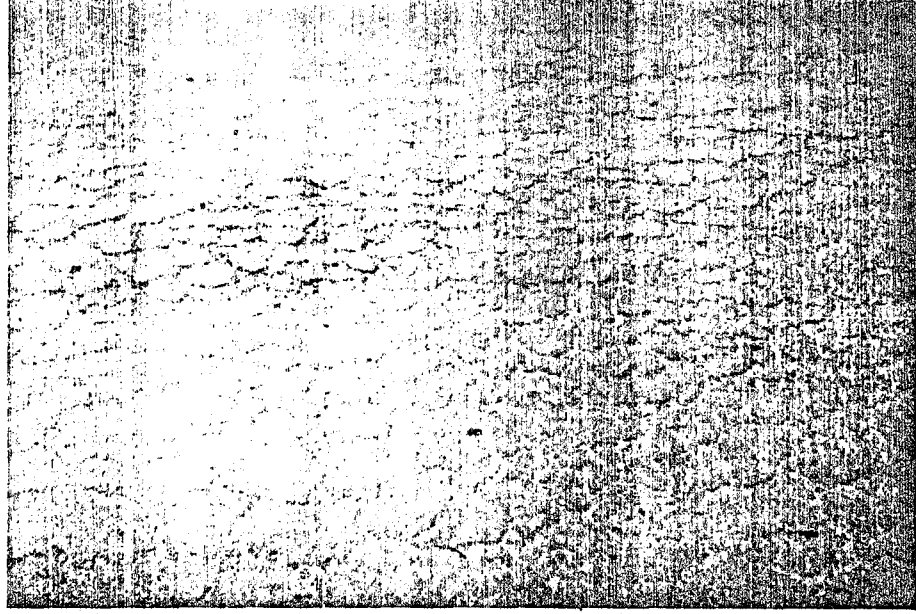
Çatlamaları trafik etkisine bağlı ve bağlı olmayan çatlamalar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

Trafik etkisine bağlı çatlamalar ağır dingil yüklerinin çok sayıda geçmesi sonucu oluşurlar. Buna yorulma çatlakları denir. Ağır dingil yükünün oluşturduğu gerilme asfalt betonunun eğilme-çekme direncini aşmaktadır. Yükün çok sayıda geçmesinde meydana gelecek yorulmada ise, direnç aşılmamakta, fakat dingil yüklerinin oluşturduğu kalıcı deformasyonlar tekerrüre uğramaktadır. Ayrıca ağır taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamaları da çatlamalara yol açabilmektedirler.

Çatlamalar, trafik yüklerine bağlı olmaksızın çevre etkisi, sıcaklık ve nemin değişimi ile de oluşabilirler. Bu etkiler tek başlarına veya dingil yükleri ile birleşerek kaplamayı çatlatabilir (Ağar ve Umar, 1985).

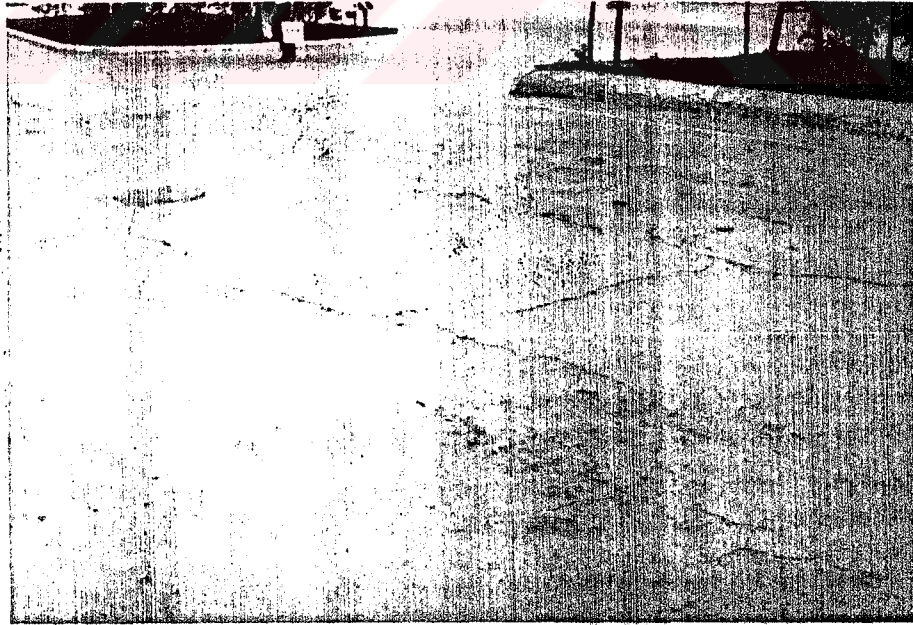
Çatlamaların yorulma, büzülme, kenar, derz, enine, yansıma ve öteleme çatlakları gibi değişik tipleri görülebilmektedir.

Birbiri ile küçük bloklar halinde ortaya çıkan çatlaklar yorulma çatlaklarıdır. Dingil yüklerinin çok sayıda geçişi ile oluşur (Resim 5.3.). Bu tür çatlakları Elazığ kentiçi karayollarında sık sık görmek mümkündür.



**Resim 5.3. Yorulma çatlakları**

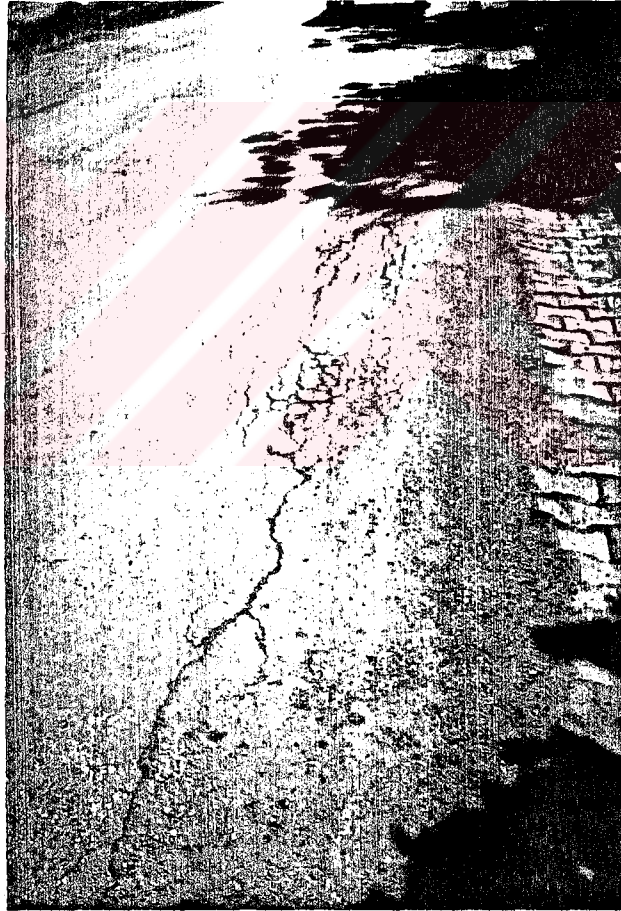
Büzülme çatlakları, timsah sırtı çatlamlar şeklinde ortaya çıkan çatlamlardır (Resim 5.4)



**Resim 5.4. Bir yoldaki büzülme çatlakları**

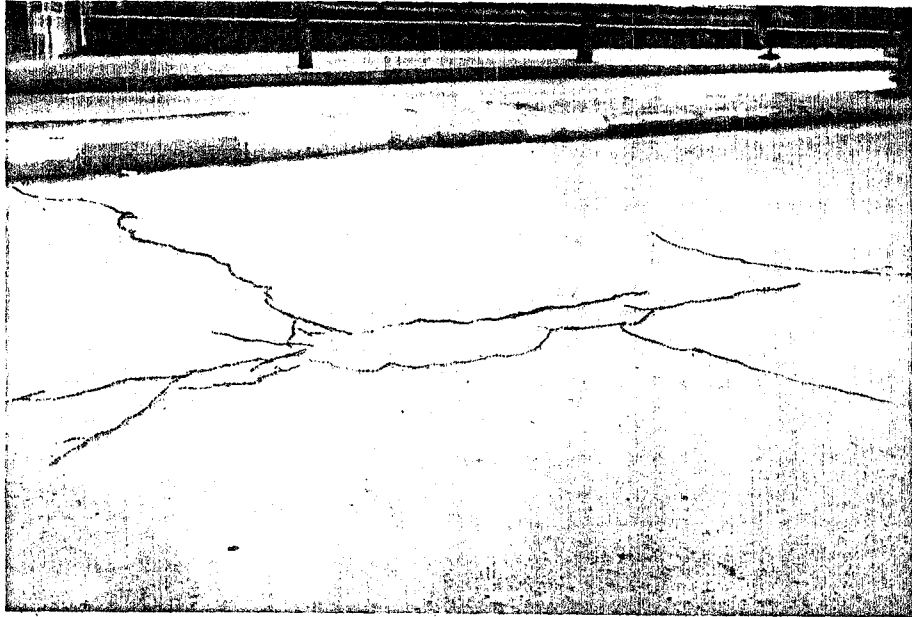
Bu tür çatlakların timsah sırtı ve yorulma çatlaklarından farkı, blokların büyük olması ve çatlakların çıkış noktalarında daha önce oluşmuş çatlaklarla dik açı oluşturmasıdır. Çatlakların genişliği oluşma hakkında fikir verir ve en genişleri ilk oluşan çatlaklardır.

Kaplama kenarından takriben 30 cm içerde ve yol eksenine paralel olarak kenar çatlakları oluşur. Genellikle banketlerin yeteri kadar yanıl destek sağlamadığı kesimlerde görülür (Resim 5.5).



**Resim 5.5.** Tekerlek izi oluşması ve kenar çatlakları

Kenar çatlakları, drenaj yetersizliği, don, üstyapı ile banket arasında büyük nem farkı bulunması nedeni ile de oluşabilir. Kaplama kenarına çok yakın bitki örtüsü ve ağaçlar da yol gövdesinden su çekmek suretiyle bu tip çatlamalara yol açabilir. Bu tür çatlaklar Elazığ kentiçi karayollarında en fazla görülen bozulma şekillerinden biridir. Yol inşası sırasında gerekli yüzeysel drenajın yapılmaması yolda biriken suyun banketleri aşındırması sonucu desteksiz kalan üstyapı banket ilişkisi sonucunda trafik yüklerinin de etkisiyle yol kenarlarında çatlamlar olmaktadır. Ayrıca yol inşa edildiği zaman bile gerekli kaplama-banket yanal destek faktörü ihmal edilmekte ve yol kenarlarındaki serme-sıkıştırma gerektiği gibi yapılmamaktadır. Yol eksenine dik olarak oluşan çatlaklara enine çatlaklar denir. Bu tür çatlaklar yetersiz üstyapı kalınlığı ve yetersiz drenajdan oluşabildikleri gibi sericinin uzun süren duraklamalarla çalışması ve ani sıcaklık düşmelerinin kaplamada oluşturduğu gerilmeler nedeni ile de meydana gelmektedir. Resim 5.6'da Elazığ kentiçi bir yolda enine çatlamanın oluşması görülmektedir.



**Resim 5.6.** Bir yoldaki enine çatlaklar

### 5.3. Ayrışmalar

Agrega danelerinin iklim ve trafiğin mekanik etkisi ile kaplamadan koparak ayrılmasıdır. Soyulma, kasma ve cilalanma da bu tip bozulmalar arasında incelenebilir. Ayrışmaya yol açan nedenler şunlardır;

a) Bağlayıcının mekanik etki ile kopması,

b) Karışımın kötü kalitede olmasını sağlayan düşük asfalt yüzdesi, çok düşük veya çok yüksek filler yüzdesi ile kirli ve çürük agrega kullanılması,

c) Yüzey tabakasının ince olması,

d) Granüler alttemel ve temel tabakasına tabandan kil yükselmesi,

e) Drenaj yetersizliği,

f) Yetersiz sıkıştırma,

g) Nemli ve soğuk havada yapım,

h) Kirli ve çürük agrega kullanılması,

i) Plentte asfaltın aşırı ısıtılması,

k) Yapım sırasında segregasyon oluşması,

l) Ayrışmayı kolaylaştıracak derecede kasma oluşması,

m) Kimyasal maddelerin, özellikle tuz ve yağların etkisi,

n) Yüzey tabakasının alt tabakaya iyi yapışmaması,

o) Su ve kil etkisi ile soyulma.

Ayrışma, bunlardan bir veya birkaçının bir arada bulunması halinde trafiğin mekanik etkisi ile başlar. Ayrışma ilerleyici karakterdedir ve zamanla artar. Kaplamanın ömrünü kısaltır ve yolun seyir konforu ve seyir güvenliğini azaltır (Ağar ve Umar, 1985).

En başından beri zincirleme olarak birbirlerine bağlı olan bu bozulmaları Elazığ kentiçi karayollarında sıkça görmek mümkündür (Resim 5.7. ve Resim 5.8.).



**Resim 5.7.** Bir yoldaki ayrışmalar

Ayrışma olarak gözlenen bu tür bozulmalar temelde, oturmalar ve çatlamların doğurduğu tabii sonuçlardan meydana geldiğini söyleyebiliriz. Ayrışmaları Elazığ kentiçi yollarının önemli bir kesiminde görmek mümkündür.

#### **5.4. Yüzeysel Drenajdan Kaynaklanan Bozulmlar**

Elazığ kentiçi karayollarında yapılan gözlemlerde yüzeysel drenaj eksikliğinden meydana gelen bozulmaların bir hayli fazla olduğu görülmüştür. Şöyle ki, kendi alanında ve diğer yollardan da yağış suyu alan meyili yüksek olan yollarda suyun akış hızının yüksek olması ve dolayısıyla suyun aşındırma etkisinin fazla olması, zaten gerektiği gibi yapılmayan yollarda kaplama kenarlarındaki oluklarda çoğu kez oyulmalara ve bozulmalara rastlanmaktadır (Resim 5.8).





**Resim 5.8.** Yağış sularından oluşan bozulma



**Resim 5.9.** İki yolun birleşme yerinde yapılan drenaj çalışması

Yukarıda izah edilen olayın önüne geçmek amacı ile bazı yolların kesişim noktalarında yol eksinine dik doğrultuda drenaj çalışmaları yapılmıştır (Resim 5.9).

Ancak, bazı kesimlerde yapılan bu drenaj çalışmalarının yağış sularını şehrin yukarı bölümlerinden aşağı bölümlerine kadar yol yüzeyinde taşınmasına mani olamadığı görülmüştür.

Suyun bu tür bozucu etkilerinden korunmak için yolların yapımı esnasında iyi kalitede bordür oluklarının yapılması ve bordür oluklarındaki suyu taşıyıp kanalizasyon edebilecek rögarların inşa edilmesi gerekir. Ayrıca, bir yoldan diğer bir yola yağış sularının akışını kesmek için yolların birleşim noktalarında gerekli drenaj önlemlerinin alınması gereklidir.

### **5.5. Altyapı Çalışmalarından Doğan Bozulmalar**

Elazığ kentiçi karayollarında yapılan incelemelerde elektrik, telefon, su ve kanalizasyon çalışmalarının yol yapım çalışmaları ile aynı düzeyde gerçekleştirilmediği, çoğu zaman bu çalışmaların yolun tamamlanmasından sonra bırakıldığı görülmüştür. Yukarıda sözü edilen ve birer ihtiyaca cevap verecek çalışmaların birbirleriyle ve yol çalışmaları ile adeta bağımsız olarak gerçekleştiği ve özellikle yol yapımı tamamlandıktan sonra yolun ayrı ayrı yerlerde kazılarak bu ihtiyaçların teminine çalışıldığı görülmüştür (Resim 5.10).



**Resim 5.10. P. T. T.'nin telefon hattı çalışması**

Bu tür meydana getirilen bozulmalar yolların seyir ve konfor güvenliğini azaltmaktadır. Bunun yanında büyük ekonomik zararları da beraberinde getirmektedir.

Bu tür bozulmalara mani olmak ve önüne geçmek için işle ilgili olan kuruluşların birbirleriyle koordineli bir çalışma içerisinde olmaları ve birlikte hareket etmeleri gerekmektedir.

## 6. ASFALT BETONU KARIŞIM DİZAYNI

Sıcak karışım asfalt kaplama, asfalt çimentosu ile homojen olarak karışmış ve kaplanmış agregaların birleşmesinden oluşur. Agregaların kurutulması ve mükemmel bir karıştırma ve işlenebilirlik sağlamak için asfalt çimentosunun uygun akıcılığa getirilmesi amacı ile karıştırmadan önce her iki malzemenin de (agrega ve asfalt) ısıtılmaları gerektiğinden bu tür karışımlara sıcak karışım denilmektedir.

Agrega ve asfalt, ısıtma tartma, eleme ve karıştırma sistemi olan plantlerde karıştırılır. Plantte karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yola taşınır, düzgün ve homojen bir yüzey verecek şekilde serici ile serilir. Serimden sonra karışım henüz sıcak iken kendinden yürür silindirlerle düzgün ve iyi sıkışmış bir yüzey elde edilecek şekilde sıkıştırılır.

Asfalt kaplama karışımların dizaynında deney yöntemlerinin detaylarına çok dikkat etmek gerekir. Bunun bir anlamı da yazılı talimatları aynen uygulamaktır. Karışım dizayn deneyleri ile şartname talepleri arasındaki ilişki de iyi bilinmelidir. Bunun yanında karışım dizayn değerlerinin şartnamede verilen değerlere uygunluk göstermesi gerekir.

Diğer mühendislik malzemelerinin dizaynında olduğu gibi, asfalt kaplama karışım dizaynında amaç, inşaat bitiminden sonra istenilen özellikleri sağlayacak malzemelerin seçimi ve karışım oranlarının belirlenmesidir. Asfalt kaplama karışım dizaynının amacı:

- 1) Sağlam (Durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli asfalt miktarını,
- 2) Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterlilikte karışım stabilitesini,

3) Sıkıştırılmış nihai karışımda trafik tarafından oluşturulacak çok az miktardaki sıkıştırmaya kusma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın imkan verecek, ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu,

4) Segregasyona uğramaksızın uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliği verecek ekonomik bir karışımın ve agrega gradasyonunun belirlenmesi olarak tanımlanabilir (Önal ve Karaca, 1990).

Karışım dizayn metodu ve dizayn kriterleri, asfalt yapımı ile ilgili şartnamelerin en önemli kısmıdır. Genel olarak karışım dizayn kriterleri belirlendikten sonra diğer şartname koşulları çerçevesinde kalınarak karışım dizayn metodunu inşaattan sorumlu kuruluşlar belirler. Karışım dizayn metodu olarak Marshall ve Hveem metodları çok geniş ölçüde uygulanmış ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır.

Bu çalışmada dizayn metodu olarak Marshall Metodu ile karışım dizaynı yapılmış ve K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi koşulları çerçevesinde kalınarak dizayn geliştirilmiştir.

### **6.1. Marshall Metodu İle Karışım Dizaynı**

Bu metod, en büyük dane büyüklüğü 25 mm (1 inç) veya daha küçük agrega ihtiva eden ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu, sıvı petrol asfaltı veya katran kullanılarak hazırlanan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Bu metod sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar dizaynı için tasarlanmıştır.

Marshall metodunda işlem deney numunelerinin hazırlanması ile başlar. Ancak bundan önce aşağıdaki işlemlerin yapılmış olması gerekmektedir.

a) Karışımda kullanılacak malzemenin şartnamede istenilen özelliklere uygunluğunun kontrolü,

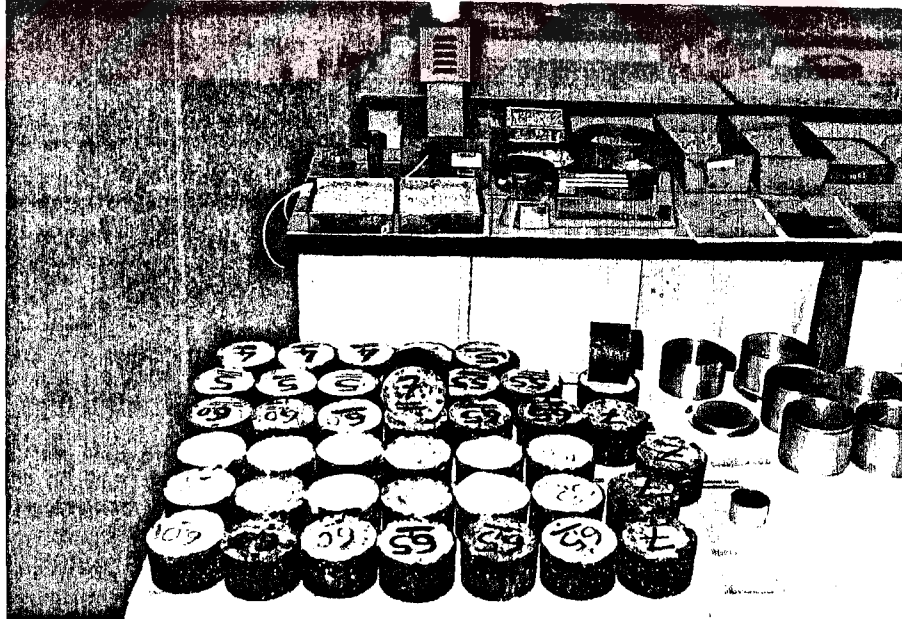
b) Agrega karışım gradasyonunun şartname gradasyonuna uygunluğunun kontrolü,

c) Yoğunluk ve boşluk analizlerinde kullanılmak için, karışımda kullanılan agreganın hacim özgül ağırlığı ve asfalt çimentonun özgül ağırlığının tayini.

Bunlar rutin testlerin, şartnamelerin ve laboratuvar tekniğinin gereklilikleridir ve birçok karışım dizaynında yapılması gereken işlerdir (Önal ve Karaca, 1990).

### 6.1.1. Kullanılan aygıtlar

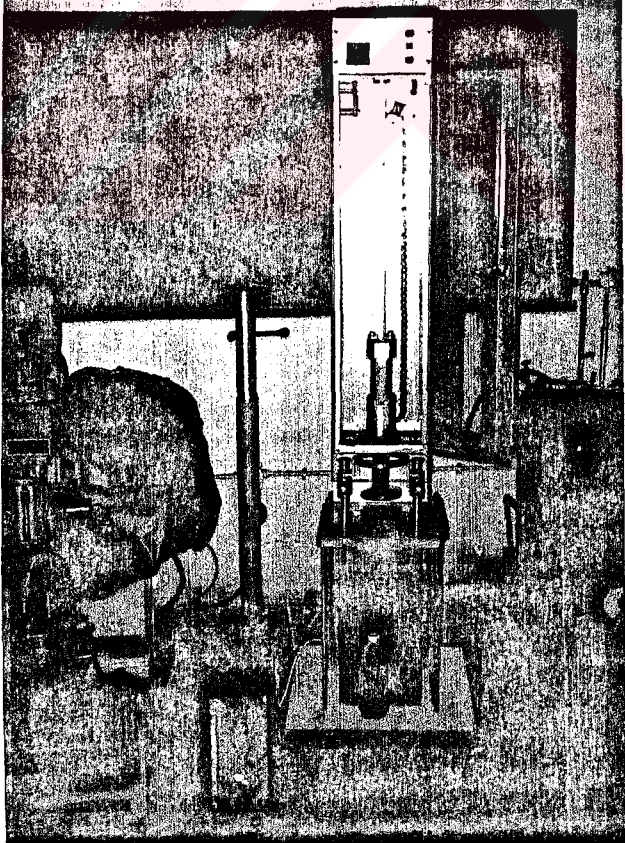
Aşağıdaki Resim 6.1.-6.2.-6.3-6.4.-6.5. ve 6.6.'da Marshall deneyinde kullanılan aygıtlar görülmektedir.



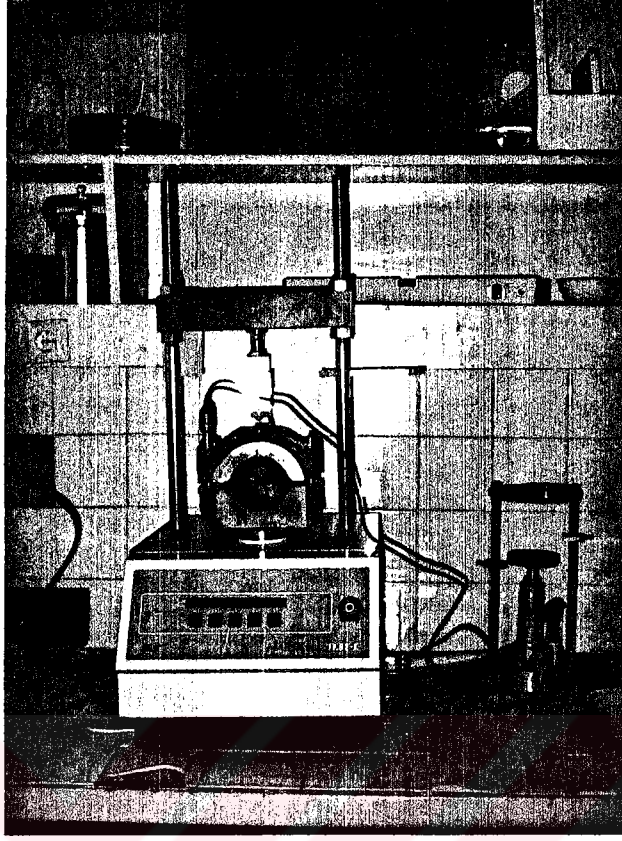
Resim 6.1. Kalıp takımı ve kalıptan çıkartılmış Marshall briket numuneleri



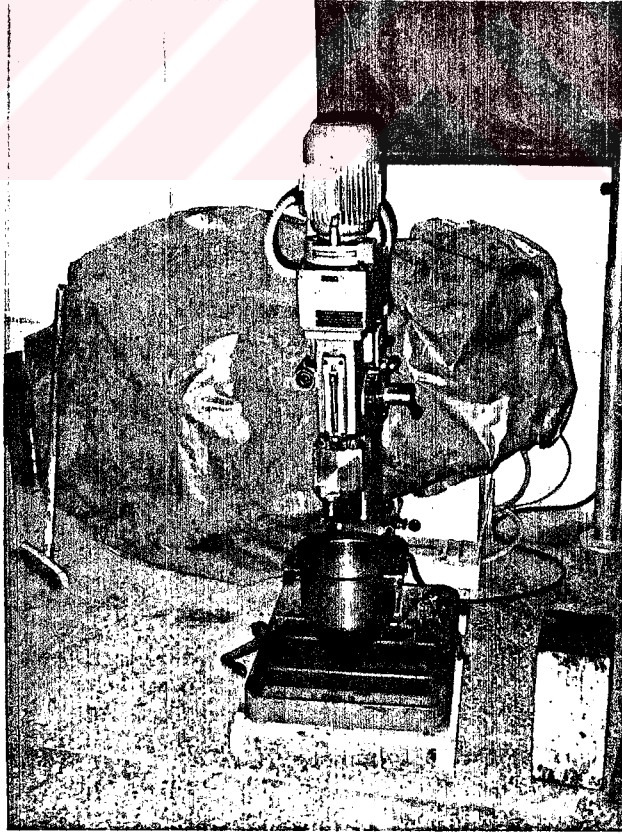
Resim 6.2. Numune çıkartıcısı



Resim 6.3. Otomatik ayarlı sıkıştırma tokmağı

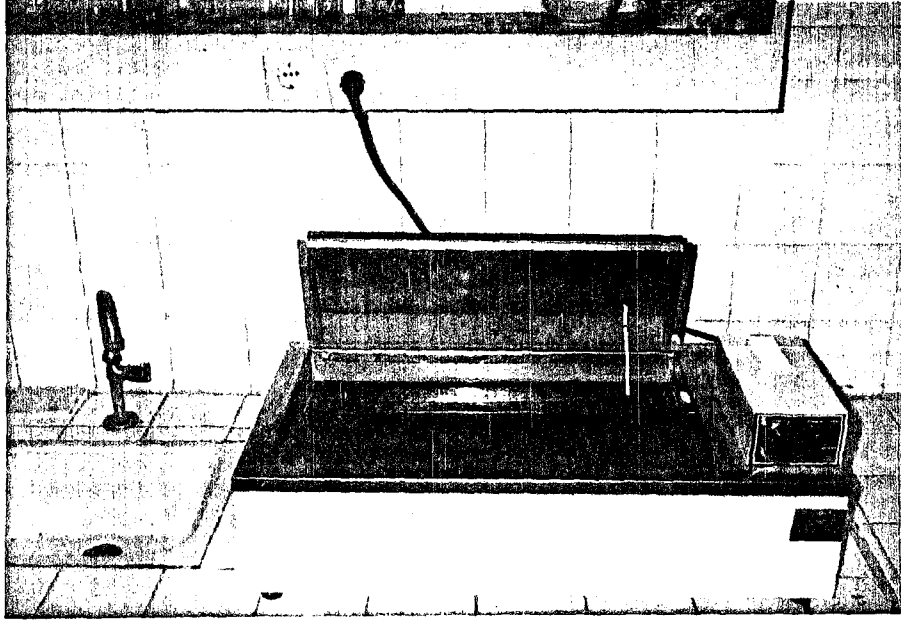


**Resim 6.4.** Elektronik Marshall yüklemesi aygıtı



**Resim 6.5.** Karıştırıcı





**Resim 6.6.** Su banyosu ve numuneler

### 6.1.2. Deney biriketlerinin hazırlanması

Bu çalışmada, asfalt betonunun dizaynı amacıyla Elazığ Belediyesi şantiyelerinden alınan agregalar üzerinde, aşınma tabakası için Marshall biriket numuneleri hazırlanmıştır. Bu biriket numuneleri değişik agrega gradasyonlarına sahip olmak üzere üç gurup halinde hazırlanmıştır.

Elazığ Belediyesi'nin 1995 ve 1996'da plentten numunesi alınan agrega, elek analizlerine tabi tutulmuş (Tablo 3.3.) ve kil muhtevası tayin edilmiştir. Kil muhtevası % 9.73 gibi büyük bir değerde çıkan agrega yıkanıp kilden arındırılarak tekrar elek analizine tabi tutulmuştur (Tablo 3.4). Her iki -durumda da şartname gradasyonlarına uymayan elek analizleri, şartnamede asfalt betonu aşınma tabakası Tip-1 agrega gradasyonuna nisbeten daha yakın değerler çıkmıştır.

Bu nedenle biriketlerin ilk gurubu malzemenin şantiyeden alınış şekli ile yani orjinal gradasyonuna göre hazırlanmıştır. İkinci gurup biriketler ise yıkanmış ve elenmiş agreganın şartname Tip-1 uygunluk

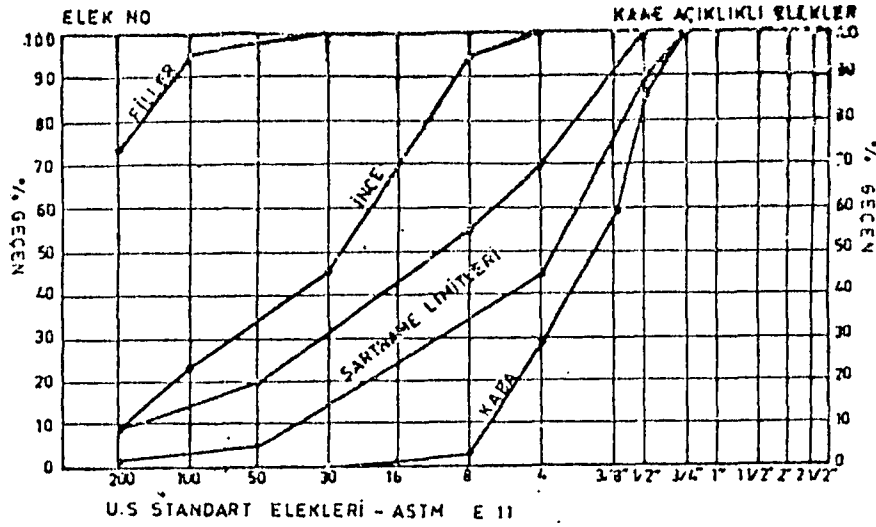
göstermesi sebebiyle Tip-1'in gradasyon limitleri ortalaması alınarak karışım hesaplarında kullanılmıştır.

Ayrıca, 1997 yılı ve sonraki yıllarda da kullanılmak üzere belediyenin ikinci şantiyesi olan Hanpınar şantiyesinde bulunan üç tip agregadan (iri, orta ve ince) numune alınarak elek analizleri yapılmıştır (Tablo 3.5., Tablo 3.6. ve Tablo 3.7). Kil muhtevası % 2 olarak bulunan bu agregaların karışım analizi yapılarak şartname aşınma tabakası Tip-2'nin gradasyon limitleri arasında kaldığı görülmüştür. Yine orjinal haliyle alınan bu agregaların karışımıyla üçüncü grup deney biriketleri hazırlanmıştır.

Üçüncü grup biriket numunelerinin hazırlanması amacıyla, yukarıda da izah edildiği gibi değişik üç tipteki agreganın gradasyon analizi yapılarak karışımda kullanılmıştır.

Karışımın gradasyonu, proje şartnamesinde verilen değerlere ve karışım dizayn metodunun kriterlerine uygun olmalıdır. Ayrıca gradasyon en ekonomik agrega karışımından elde edilmelidir.

İki veya daha fazla agrega gurubunun istenilen şartname gradasyonunu verecek şekilde karıştırılması için gereken oranlar bazan grafik metoduyla bulunabilmesine rağmen, genellikle deneme-yanılma metodu ile hesaplanır. Her bir agrega gurubunun istenilen gradasyon eğrilerinin Şekil 6.1.'deki gibi aynı grafik kağıdına işlenmesi karışım oranlarının gözle tahmin edilmesine yardımcı olabilir (Önal ve Karaca, 1990).



**Şekil 6.1.** Grafiğe işaretlenmiş agrega ve şartname gradasyonu

Karıştırılacak agrega malzeme sayısı ne olursa olsun aşağıdaki formül karışımdan sonra elde edilecek (herhangi bir elek açıklığı için) % geçen değeri verir (Önal ve Karaca, 1990).

$$P = Axa + Bxb + Cxc \dots\dots (1)$$

P: İstenilen elek açıklığı için % geçen şartname ortalaması,

A, B, C: İstenilen elek açıklığı için karışıma girecek agregaların % geçen değerleri.

a, b, c: A, B, C agregalarının karışım içindeki %'leri ( $a+b+c = 1$  olmalıdır).

P değerleri istenilen gradasyon değerlerine yakın olmalı ve hiçbir P değeri şartname limitleri dışına taşmamalıdır.

Her ne kadar matematiksel çözümlene yöntemleri var ise de genellikle deneme-yanılma metodu tatmin edici kombinasyonu veren en kolay yöntemdir.

Bölüm 3'de elek analizi sonuçları verilen Elazığ Belediyesi şantiyesinden alınan üç tip agrega gurubunun yüzde geçen değerleri tek tablo halinde aşağıda gösterilmiştir (Tablo 6.1).

**Tablo 6.1.** Üç farklı boyuttaki agreganın elek analizi

Elek Boyu		Şartname Tip-2	İri Agrega A	Orta Boy Agrega B	İnce Agrega C
mm	İnce				
19,0	3/4"	100	92	100	100
12,5	1/2"	77-100	38	100	100
9,5	3/8"	66-84	18	98	100
4,75	No: 4	46-66	3	22	100
2,00	No: 10	30-50	2	2	54
0,425	No: 40	12-28	1	1	25
0,180	No: 80	7-18	1	1	15
0,075	No: 200	4-10	0	0	8

Yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere karışımda filler miktarının şartnamenin alt sınırına eşit olabilmesi için uygulanacak kombinasyonda karışıma girmesi gereken ince agrega yüzdesinin en az % 50 olması gerekmektedir.

Bölüm 3'de agregalar bahsinde de izah edildiği üzere asfalt betonu kaplamalarda kullanılması gereken kaba agreganın (No: 4 elek üstü) karışımda ağırlıkça en az % 40 oranında olması istenmektedir. Buna göre, hazırlanacak karışıma girecek olan ince agrega yüzdesinin % 60'dan az olması gerekmektedir.

Agrega karışım hesabında yukarıda sözü edilen kriterler dikkate alınarak ince agrega yüzdesi % 55 olarak sabit tutulmuş ve diğer iki tip

agreganın karışım içindeki yüzdeleri hesaplanmıştır. Tabloya göre en kritik elekler No: 4, 3/8'' ve 1/2'' nolu eleklerdir. Buna göre hesaplanan kombinasyonlar aşağıda verilmiştir.

$$P = A \times a + B \times b + C \times c, (a + b + c = 1)$$

$c = 0,55$  (sabit) ise  $a + b = 0,45$  ve  $b = 0,45 - a$  olur. Buna göre ;

No: 4 elek için hesaplanan kombinasyon;

$$56 = 3x a + 22 x b + 100 x 0,55, "b" \text{ değeri yerine yazılırsa}$$

$$a = \% 47, b = \% 0 \text{ bulunur.}$$

3/8'' elek için yapılan hesaplama

$$75 = 18 x a + 98 x b + 100 x 0,55' \text{ den}$$

$$a = \% 30, b = \% 15$$

1/2'' elek için yapılan hesaplama

$$88,5 = 38 x a + 100 x b + 100 x 0,55' \text{ den}$$

$$a = \% 18,5, b = \% 26,5 \text{ değerleri bulunur.}$$

Yukarıdaki değerler gözönüne alınarak en uygun karışım gradasyonunu sağlayan  $a = \% 25$ ,  $b = \% 20$  ve  $c = \% 55$  oranları alınarak aşağıda tablo halinde verilmiştir (Tablo 6.2).

**Tablo 6.2.** Uygulanacak karışım kombinasyonu

Elek Boyu		Şartname Tip-2	İri Agrega 0,25 x A	Orta Boy Agrega 0,20 x B	İnce Agrega 0,55 x C	TOPLAM
mm	İnç					
19,0	3/4''	100	23,0	20	55	98
12,5	1/2''	77-100	9,50	20	55	84,5
9,5	3/8''	66-84	4,50	19,6	55	79,1
4,75	No: 4	46-66	0,75	4,4	55	60,2
2,00	No: 10	30-50	0,50	0,4	29,70	30,6
0,425	No: 40	12-28	0,25	0,2	13,75	14,2
0,180	No: 80	7-18	0,25	0,2	8,25	8,70
0,075	No: 200	4-10	0	0	4,4	4,40

Biriketlerin hazırlanmasında TS 3720'nin öngördüğü hususlardan hareket edilmiştir. Her asfalt yüzdesi için üç adet biriket numunesi hazırlanmış ve her bir biriket için 1200 gram agregâ alınmıştır. Hazırlanan biriketlerde asfalt çimentosu kuru agregaya göre yüzde olarak karışımında kullanılmıştır.

TS 3720'ye uygun olarak hazırlanan agregâ numuneleri 165 C° karışım sıcaklığına kadar ve bitümlü bağlayıcı da aynı şekilde karışım sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. Isıtılmış agregâ karıştırıcının kovasına alınarak kuru olarak karıştırılıp, karıştırılan agreganın ortasında bir çukur açılarak bağlayıcıdan uygun miktar da dökülmüştür. Agregâ, bitümlü malzeme ile iyice kaplanıncaya kadar Resim 6.5'de gösterilen karıştırıcı ile iyice karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi 1,5-2,0 dakikalık süreyle yapılmış ve bağlayıcı olarak AC 75-100 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır.

Numune kalıpları her seferinde iyice temizlenmiş ve tokmağın sıkıştırma kafasında artık malzemenin kalmamasına dikkat edilmiştir. Daha önceden etüvde 90-150C° ısıtılmış kalıpların çapına göre daire şeklinde kesilmiş pellür kağıt, malzeme konmadan önce kalıbın tabanına yerleştirilmiştir.

Karışım, ayrışma olmamasına özen gösterilerek daha önceden ısıtılmış olan sıcak bir kürek ile kalıba aktarılarak, 15 defa kenarları ve 10 defa ortası spatula ile şişlenmiştir. Numune üzerine tekrar pellür kağıt konarak sıkıştırma aletine yerleştirilmiş ve 457 mm yükseklikten serbest olarak düşen sıkıştırma tokmağı ile numuneye 75 darbelik sıkışma yapılmış ve işlem aynı numune ters çevrilerek de tekrarlanmıştır.

Bu şekilde hazırlanan biriketler, soğuduktan sonra numune çıkartma cihazıyla kalıptan çıkartılarak bütün numuneler tamamlanıncaya kadar lobaratuvar sıcaklığında bekletilmiştir.

Tüm numuneler hazırlandıktan sonra her bir numunenin yüksekliği üç yerinden kumpasla ölçülmüş, havada ve sudaki tartımları ile doygun yüzey-kuru tartımları yapılmıştır (Resim 6.1'de hazırlanmış Marshall biriket numuneleri görülmektedir).

### 6.1.3. Numunelerin kırılması

Asfalt çimentosu ile hazırlanmış biriket numuneleri sıcaklığı  $60 \pm 1C^{\circ}$  olan su banyosuna yerleştirilerek 30-40 dakika su içerisinde bekletilip sonra kırılmışlardır (Resim 6.6. su banyosu ve numuneler).

Numunelere elektronik Marshall yükleme aygıtı yardımı ile yükleme yapılmıştır. Yüklemeye 51 mm/dakikalık sabit bir deformasyon hızıyla en büyük yük değerine ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. En büyük yük değeri ve buna karşılık gelen akma değeri aletin ekranında okunarak kaydedilmiştir (Resim 6.4 Numunenin kırılması).

Numuneyi su banyosundan çıkarma, kırma kafasına yerleştirme ve yükleme aygıtına koyma, flowmetreyi ayarlama ve numunenin kırılıp en büyük yüke erişmesi işlemleri 30 sn'den daha az bir zaman zarfında yapılmıştır.

Marshall stabilitesi 63,5 mm yüksekliğindeki numuneler için bulunan değer gerçek değerlerdir. Bu kalınlıktan farklı numuneler için Tablo 6.3'deki "Marshall Stabilite Faktörleri" katsayıları kullanılarak düzeltilmiş stabilite değerleri bulunarak işlemler yapılmıştır.

Marshall yükleme aletinde stabilite "KN" ve akma "mm" olarak okunmuştur. Okunan stabilite değerleri "kgf" cinsine çevrilip daha sonra düzeltilmiş stabilite değerleri bulunmuştur.

Marshall biriket numuneleri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malzeme Laboratuvarında hazırlanmış ve kırılmıştır.

## 6.2. Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Aynı bitüm yüzdesindeki  numunenin havadaki, sudaki ve doygun yüzey-kuru haldeki ağırlıkları tesbit edilerek hacimleri bulundu. Pratik zgl ağırlıkları hesaplandı. Pratik zgl ağırlıklarının birbirine göre 0,02 toleransı içinde olanlardan en az ikisinin ortalaması alınarak ortalama hanesine kaydedildi.  de tolerans içinde değilse o bitüm yüzdesi için deney tekrarlandı.

Aynı bitüm yüzdesi  numunenin kırılma yüklerinin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark 120 kgf geçmez ise nn ortalaması Marshall stabilitesi olarak alınır. Eğer fark bu değerden büyük ise, aralarında 60 kgf'den fazla olmayan iki değerin ortalaması Marshall stabilitesi olarak kabul edilir. Bu da sağlanmadığı taktirde o bitüm yüzdesi için deney yenilenir.

Aynı bitüm yüzdesindeki  numunenin akma değerlerinin ortalaması alındı.

Bu Şekilde deneye tabi tutulmuş Marshall biriket numunelerine ait deney sonuçları Tablo 6.4., Tablo 6.5. ve tablo 6.6.'da gösterilmiştir.



**Tablo 6.3. Marshall Stabilite Faktörleri**

Numune (mm)		Numune (mm)		Numune (mm)		Numune (mm)		Numune (mm)	
Boyu	Faktör	Boyu	Faktör	Boyu	Faktör	Boyu	Faktör	Boyu	Faktör
50.0	1.470	55.3	1.256	60.6	1.079	65.9	0.943	71.2	0.834
50.1	1.467	55.4	1.253	60.7	1.076	66.0	0.940	71.3	0.832
50.2	1.463	55.5	1.250	60.8	1.073	66.1	0.938	71.4	0.830
50.3	1.469	55.6	1.247	60.9	1.070	66.2	0.936	71.5	0.829
50.4	1.456	55.7	1.243	61.0	1.067	66.3	0.934	71.6	0.828
50.5	1.453	55.8	1.239	61.1	1.064	66.4	0.932	71.7	0.826
50.6	1.449	55.9	1.235	61.2	1.062	66.5	0.930	71.8	0.825
50.7	1.446	56.0	1.231	61.3	1.056	66.6	0.927	71.9	0.824
50.8	1.442	56.1	1.228	61.4	1.053	66.7	0.925	72.0	0.822
50.9	1.439	56.2	1.224	61.5	1.050	66.8	0.922	72.1	0.821
51.0	1.435	56.3	1.220	61.6	1.047	66.9	0.920	72.2	0.820
51.1	1.432	56.4	1.216	61.7	1.044	67.0	0.918	72.3	0.817
51.2	1.428	56.5	1.214	61.8	1.040	67.1	0.915	72.4	0.817
51.3	1.425	56.6	1.210	61.9	1.038	67.2	0.913	72.5	0.815
51.4	1.421	56.7	1.206	62.0	1.036	67.3	0.911	72.6	0.814
51.5	1.418	56.8	1.202	62.1	1.033	67.4	0.908	72.7	0.812
51.6	1.414	56.9	1.198	62.2	1.033	67.5	0.906	72.8	0.811
51.7	1.411	57.0	1.104	62.3	1.031	67.6	0.904	72.9	0.810
51.8	1.497	57.1	1.190	62.4	1.028	67.7	0.901	73.0	0.809
51.9	1.404	57.2	1.187	62.5	1.026	67.8	0.899	73.1	0.808
52.0	1.400	57.3	1.184	62.6	1.023	67.9	0.897	73.2	0.806
52.1	1.207	57.4	1.181	62.7	1.021	68.0	0.894	73.3	0.804
52.2	1.293	57.5	1.178	62.8	1.018	68.1	0.892	73.4	0.802
52.3	1.390	57.6	1.175	62.9	1.016	68.2	0.890	73.5	0.800
52.4	1.382	57.7	1.172	63.0	1.013	68.3	0.888	73.6	0.799
52.5	1.375	57.8	1.169	63.1	1.011	68.4	0.886	73.7	0.797
52.6	1.368	57.9	1.164	63.2	1.008	68.5	0.885	73.8	0.795
52.7	1.359	58.0	1.161	63.3	1.006	68.6	0.883	73.9	0.794
52.8	1.351	58.1	1.158	63.4	1.003	68.7	0.881	74.0	0.792
52.9	1.344	58.2	1.155	63.5	1.000	68.8	0.879	74.1	0.790
53.0	1.337	58.3	1.152	63.6	0.998	68.9	0.877	74.2	0.788
53.1	1.328	58.4	1.149	63.7	0.995	69.0	0.875	74.3	0.786
63.2	1.320	58.5	1.146	63.8	0.992	69.1	0.874	74.4	0.784
53.3	1.317	58.6	1.143	63.9	0.990	69.2	0.872	74.5	0.782
53.4	1.314	58.7	1.140	64.0	0.988	69.3	0.870	74.6	0.780
53.5	1.311	58.8	1.137	64.1	0.985	69.4	0.868	74.7	0.779
53.6	1.306	58.9	1.133	64.2	0.982	69.5	0.866	74.8	0.777
53.7	1.305	59.0	1.130	64.3	0.900	69.6	0.864	74.9	0.776
53.8	1.302	59.1	1.127	64.4	0.978	69.7	0.862	75.0	0.775
53.9	1.299	59.2	1.124	64.5	0.975	69.8	0.860	75.1	0.773
54.0	1.296	59.3	1.120	64.6	0.972	69.9	0.858	75.2	0.772
54.1	1.293	59.4	1.117	64.7	0.970	70.0	0.856	75.3	0.771
54.2	1.290	59.5	1.114	64.8	0.967	70.1	0.854	75.4	0.770
54.3	1.286	59.6	1.110	64.9	0.965	70.2	0.852	75.5	0.769
54.4	1.283	59.7	1.107	65.0	0.962	70.3	0.850	75.6	0.767
54.5	1.280	59.8	1.104	65.1	0.960	70.4	0.849	75.7	0.766
54.6	1.277	59.9	1.100	65.2	0.957	70.5	0.847	75.8	0.765
54.7	1.274	60.0	1.097	65.3	0.955	70.6	0.845	75.9	0.764
54.8	1.271	60.1	1.094	65.4	0.953	70.7	0.843	76.0	0.762
54.9	1.268	60.2	1.090	65.5	0.951	70.8	0.841	76.1	0.761
55.0	1.265	60.3	1.088	65.6	0.494	70.9	0.839	76.2	0.760
55.1	1.262	60.4	1.085	65.7	0.947	71.0	0.837	76.3	0.759
55.2	1.259	60.5	1.082	65.8	0.945	71.1	0.836	76.4	0.785

Tablo 6.4., Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da ve hesaplamalarda kullanılan formül ve bağıntılar aşağıda gösterilmiştir.

$$V = W_1 - W_2 \quad (1)$$

$$D_p = \frac{W}{V} \quad (2)$$

$$D_{port} = (D_{p1} + D_{p2} + D_{p3})/3 \quad (3)$$

$$W_a = \frac{W_B}{W_A} \cdot 100 \quad (4)$$

$$W_b = \frac{W_B}{W_A + W_B} \cdot 100 \quad (5)$$

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{P_k}{G_k} + \frac{P_i}{G_i} + \frac{P_f}{G_f}} \quad (6)$$

$$D_T = \frac{100}{\frac{100 - W_b}{G_{ag}} + \frac{W_b}{G_b}} \quad (7)$$

$$V_h = \frac{D_T - D_{port}}{D_T} \cdot 100 \quad (8)$$

$$V_b = \frac{D_{port} \cdot W_b}{G_b} \quad (9)$$

$$V_a = 100 - (V_h + V_b) \quad (10)$$

$$V_{ma} = 100 - V_a = (V_h + V_b) \quad (11)$$

$$V_f = \frac{V_b}{V_{ma}} \cdot 100 \quad (12)$$

Bu çalışmada, daha önce de izah edildiği gibi asfalt betonunun dizaynı amacıyla Elazığ Belediyesi şantiyelerinden alınan agregalar üzerinde, aşınma tabakası için Marshall biriket numuneleri hazırlanmıştır.

Bu briket numuneleri değişik agrega gradasyonlarına sahip olmak üzere üç grup halinde hazırlanmış, deneylere tabi tutulmuş ve numunelere ait hesaplamalar yapılmıştır.

Biriketlerin ilk gurubu malzemenin şantiyeden alınış şekli ile (killi vaziyette iken) yani orjinal gradasyonuna göre hazırlanmıştır. İkinci gurup biriketler ise aynı yerden alınmış, yakınmış ve elenmiş agreganın şartname Tip-1'e uygunluk göstermesi sebebiyle Tip-1'in gradasyon limitleri ortalaması alınarak karışım hesaplarında kullanılmıştır.

Ayrıca, 1997 ve sonraki yıllarda da kullanılmak üzere belediyenin Hanpınar şantiyesinde bulunan agrega alınarak karışım kombinasyonu hazırlanmış ve şartname aşınma tabakası Tip-2'nin gradasyon limitleri arasında kaldığı görülmüştür. Yine orjinal haliyle alınan bu agregaların karışımıyla üçüncü gurup deney biriketleri hazırlanmış ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Bu üç gurup deney numunesine ait gerekli ölçüm ve hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

a) Killi (orjinal) malzemenin % 4 bitüm karışımı için yapılan hesaplar;

Kaba agrega	= % 31,8 ( $G_k = 2,654 \text{ gr/cm}^3$ )
İnce agrega	= % 64,8 ( $G_i = 2,687 \text{ gr/cm}^3$ )
Filler	= % 3,4 ( $G_f = 2,725 \text{ gr/cm}^3$ )
Bitüm oranı	= % 4,0 ( $G_b = 1,035 \text{ gr/cm}^3$ )

$$W_a = \frac{48}{1200} \times 100 = 4,0$$

$$W_b = \frac{48}{1200 + 48} \times 100 = 3,85$$

$$V = 1231,0 - 707,7 = 523,3 \text{ cm}^3$$

$$D_p = \frac{1210,2}{523,3} = 2,313 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_p = (2,313 + 2,316 + 2,339) / 3 = 2,323 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{31,8}{2,654} + \frac{64,8}{2,687} + \frac{3,4}{2,725}} = 2,678 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_T = \frac{100}{\frac{100 - 3,85}{2,678} + \frac{3,85}{1,035}} = 2,524 \text{ gr/cm}^3$$

$$V_h = \frac{2,524 - 2,323}{2,524} \times 100 = 7,96$$

$$V_b = \frac{2,323 \times 3,85}{1,035} = 8,64$$

$$V_a = 100 - (7,96 + 8,64) = 83,40$$

$$V_{ma} = 100 - 83,40 = 16,60$$

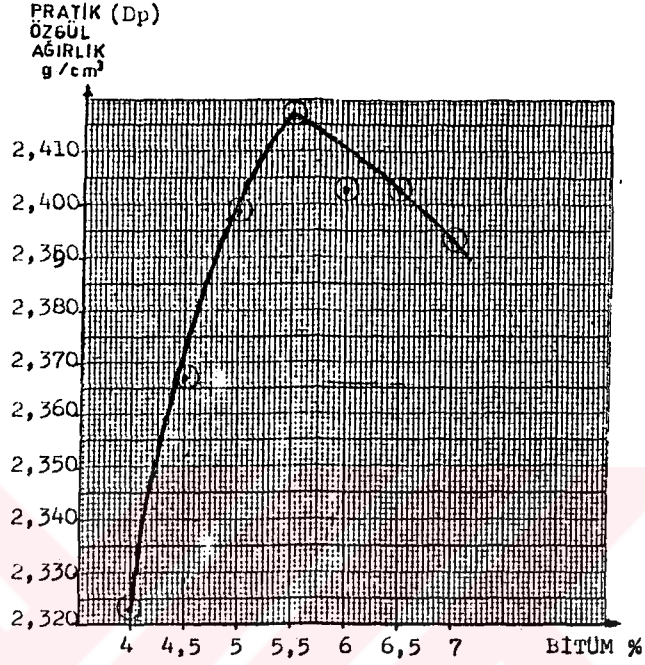
$$V_f = \frac{8,64}{16,60} \times 100 = 52,05$$

Aynı şekilde diğer bitüm yüzdeleri için de bu değerler hesaplandı ve tablolara işlendi. Bu değerler Tablo 6.4'de gösterilmiştir. Ayrıca bulunan bu değerler grafikler üzerinde de ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 6.2-3-4-5-6-7).

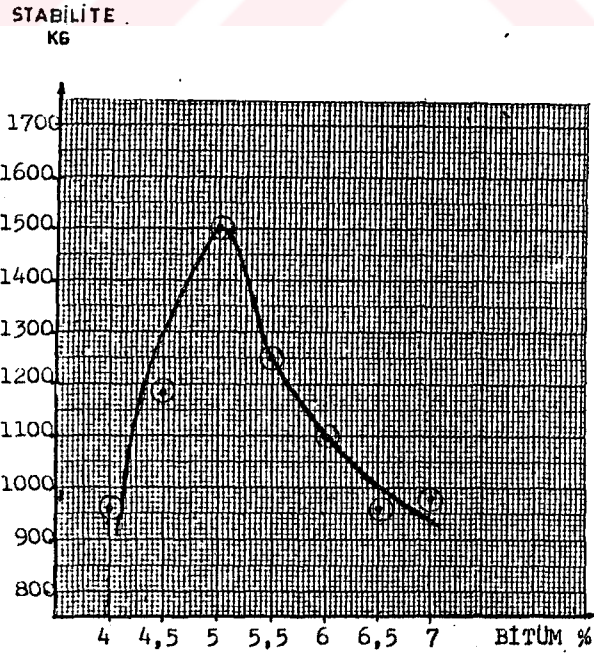
Tablo 6.4. Killi malzemeye ait Marshall metodu dizayn degerleri

No	BİRİKET YÜKS. %'e		BİRİKET YÜKSEKLİĞİ			W (gr)	W <sub>1</sub> (gr)	W <sub>2</sub> (gr)	V (cm <sup>3</sup> )	DP	D <sub>T</sub>	V <sub>h</sub> (%)	V <sub>ma</sub> (%)	V <sub>f</sub> (%)	Akma (mm)	STB. (kN)	DÜZ. FAK.	DÜZ. STB.
	W <sub>a</sub>	W <sub>b</sub>	1	2	3													
1			64,4	64,3	64,3	1210,2	707,7	1231,0	523,30	2,313					3,98	10,3	0,980	1009
2	4,0	3,85	65,9	66,0	65,9	1231,0	722,8	1254,3	531,50	2,316					4,01	9,73	0,943	918
3			65,8	66,0	66,0	1234,5	726,7	1254,5	527,80	2,339					3,99	10,2	0,943	962
ORTALAMALAR																		
1			64,1	64,1	64,0	1217,8	716,2	1228,0	511,8	2,379					4,18	12,3	0,983	1209
2	4,5	4,31	63,2	63,0	63,2	1213,5	713,2	1225,4	512,2	2,369					3,85	13,0	1,011	1314
3			63,2	63,5	63,4	1207,0	706,5	1219,6	513,1	2,352					4,26	10,3	1,003	1033
ORTALAMALAR																		
1			64,5	64,4	64,8	1238,8	727,2	1245,5	518,3	2,390					3,78	16,6	0,972	1614
2	5,0	4,76	63,1	63,0	63,0	1232,5	730,9	1238,0	507,10	2,430					4,18	18,5	1,013	1874
3			63,8	63,5	63,7	1214,5	715,5	1226,2	510,7	2,378					4,53	10,3	0,995	1025
ORTALAMALAR																		
1			63,9	63,3	63,8	1233,3	729,3	1241,1	511,4	2,412					5,21	11,9	0,995	1184
2	5,5	5,21	62,3	62,3	62,8	1218,3	722,2	1225,8	503,6	2,419					5,25	12,3	1,026	1262
3			62,3	62,7	62,5	1225,9	725,8	1232,5	506,7	2,419					5,29	12,7	1,026	1303
ORTALAMALAR																		
1			63,4	63,0	63,0	1224,5	720,7	1232,7	512,0	2,392					6,85	10,4	1,011	1051
2	6,0	5,66	64,0	64,0	64,0	1245,6	733,7	1250,0	516,3	2,413					6,72	12,9	0,988	1275
3			63,9	64,2	64,0	1237,2	729,1	1243,5	514,4	2,405					6,56	9,91	0,988	979
ORTALAMALAR																		
1			65,0	65,0	65,0	1262,5	741,8	1267,0	525,2	2,404					6,51	19,5	0,962	1010
2	6,5	6,10	64,0	64,0	64,0	1249,2	734,9	1254,8	519,9	2,403					7,62	8,97	0,988	886
3			64,5	64,5	64,5	1256,7	738,7	1261,8	523,10	2,402					6,81	9,99	0,988	974
ORTALAMALAR																		
1			65,5	65,2	65,2	1258,2	736,2	1262,0	525,8	2,393					8,68	10,1	0,955	965
2	7,0	6,54	66,2	65,6	65,8	1261,5	739,5	1265,6	526,1	2,398					8,39	10,6	0,951	1008
3			65,9	65,2	65,2	1263,7	739,3	1268,0	528,7	2,390					8,72	10,2	0,953	972
ORTALAMALAR																		
										2,394	2,426	1,32	16,45	91,99	8,60			982

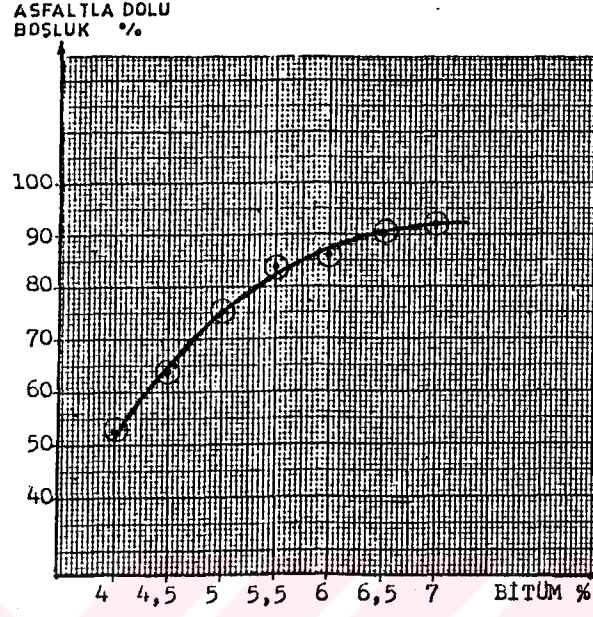
Killi malzemeye ait Marshall metodu dizayn değerlerinin grafiklerle gösterilmesi



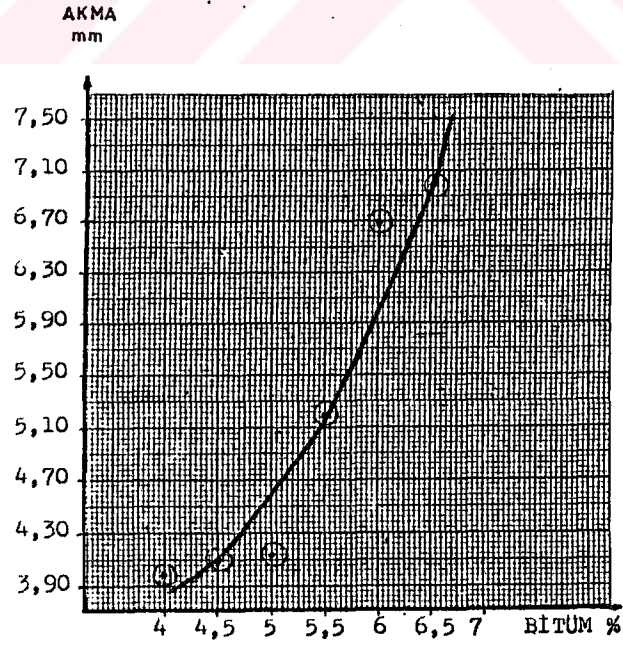
Şekil 6.2. Bitüm-Pratik birim ağırlık ilişkisi



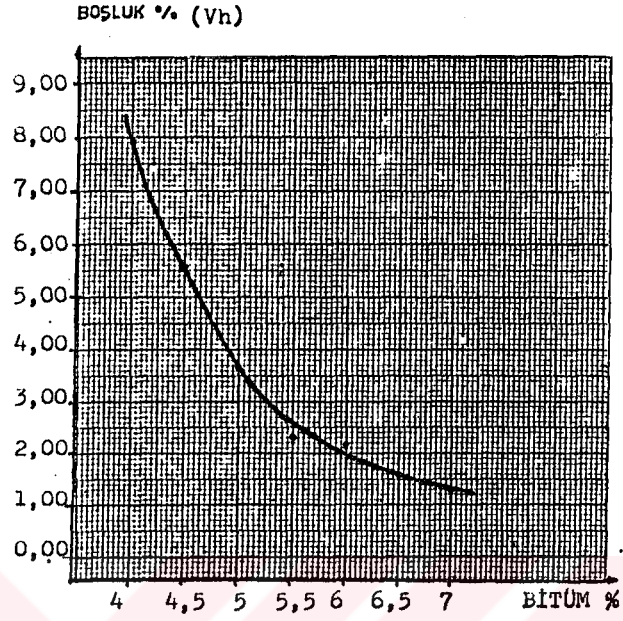
Şekil 6.3. Bitüm-Stabilite ilişkisi



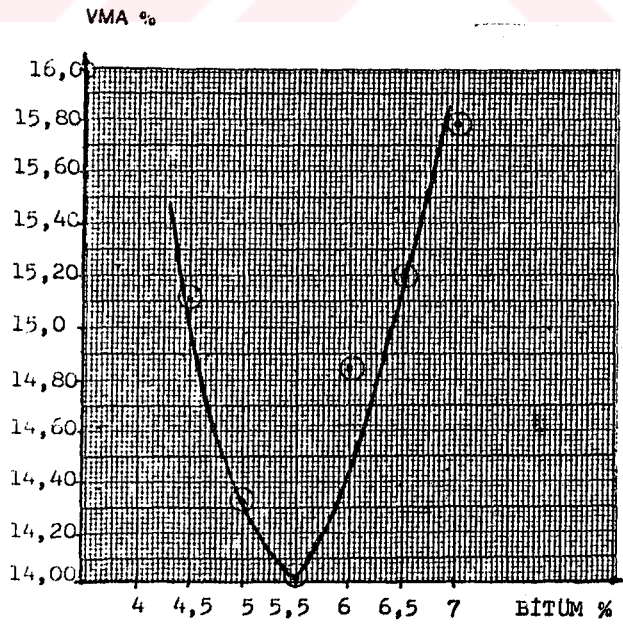
Şekil 6.4. Bitüm-Bitümle dolu boşluk yüzdesi ilişkisi



Şekil 6.5. Bitüm-Akma ilişkisi



Şekil 6.6. Bitüm-Boşluk yüzdesi ilişkisi



Şekil 6.7. Bitüm-Agregalar arasındaki boşluk ilişkisi



Optimum bitüm yüzdesinin bulunması için;

Pratik özgül ağırlık stabilite, akma, boşluk, bitüm ile dolu boşluk grafikleri çizilerek, yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, boşluk, bitümle dolu boşluk ve akma eğrileri için uygulamada kullanılması öngörülen değerlerin ortalamasına karşı gelen bitüm yüzdeleri tesbit edilir. Bulunan optimum bitüm yüzdesi uygulamada kullanılması öngörülen değerleri kapsıyorsa, işyeri karışımı için esas değer olarak kabul edilir (TS 3720, 1983).

Killi malzemenin optimum bitüm miktarının bulunması;

Optimum bitüm yüzdesi çizilen grafikler vasıtasıyla tayin edildi. Grafiklerden pratik özgül ağırlık ve stabilite eğrilerinin maksimumuna karşılık gelen bitüm yüzdeleri bulundu.

Bitümle dolu boşluk yüzdesi aşınma tabakası için şartnamede istenen değer (75-85) arasında olduğundan, şartname ortalamasından (80) eğriye çıkılan dikin eğriyi kestiği noktadaki bitüm yüzdesi bulundu. Asfalt betonu aşınma tabakası için boşluk yüzdesi şartnamede (3-5) arasında verilmiştir. Şartname ortalamasından (4) çıkılan dikin eğriyi kestiği noktadaki bitüm yüzdesi bulundu.

Optimum bitüm yüzdesi bu dört değer aritmetik ortalamasının alınmasıyla bulunmuştur. Buna göre;

Stabilitenin maksimum olduğu bitüm yüzdesi = 5,0

Pratik birim ağırlığının max. olduğu bitüm yüzdesi = 5,5

Bitümle dolu boşluk % 80 iken bitüm yüzdesi = 5,20

Boşluk yüzdesi 4 iken bitüm yüzdesi = 4,90

$$\text{Optimum Bitüm \% 'si} = \frac{5,0 + 5,5 + 5,20 + 4,90}{4} = 5,20$$

Optimum bitüm yüzdesinden eğrilere dik çıkılarak stabilite, pratik özgül ağırlık, akma, boşluk yüzdesi ve bitümle dolu boşluk yüzdesi değerleri bulunur.

Optimum bitüm yüzdesine göre;

$$\text{Stabilite} = 1430 \text{ kg}$$

$$\text{Pratik özgül ağırlık} = 2,408 \text{ gr/cm}^2$$

$$\text{Akma} = 4,78 \text{ mm}$$

$$\text{Boşluk yüzdesi} = 3,00$$

$$\text{Bitümle dolu boşluk yüzdesi} = 79 \text{ olarak bulunur.}$$

Killi malzemenin kullanıldığı Elazığ Belediyesi plentinden alınan bir miktar asfalt betonu karışımının "Sokslet Metodu" ile bitüm yüzdesi tayin edilmiş ve % 6,10 olarak bulunmuştur.

% 6,10 bitüm yüzdesine göre grafiklerden okunan değerler aşağıda verilmiştir;

$$\text{Stabilite} = 1090 \text{ kg}$$

$$\text{Pratik özgül ağırlık} = 2,410 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Akma} = 6,25 \text{ mm}$$

$$\text{Boşluk yüzdesi} = 1,7$$

$$\text{Bitümle dolu boşluk yüzdesi} = 89 \text{ olarak bulunur.}$$

b) Yıkanmış ve Elenmiş Malzemenin % 4 bitüm karışımı için yapılan hesaplar;

$$\text{Kaba agregası} = \% 34 (G_k = 2,654 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\text{İnce agregası} = \% 59 (G_i = 2,687 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\text{Filler} = \% 7 (G_f = 2,725 \text{ gr/cm}^3)$$

$$\text{Bitüm} = \% 4 (G_b = 1,035 \text{ gr/cm}^3)$$

$$W_a = \frac{48}{1200} \times 100 = 4,0$$

$$W_b = \frac{48}{1200 + 48} \times 100 = 3,85$$

$$V = 1237,3 - 706,6 = 530,7 \text{ cm}^3$$

$$D_p = \frac{1231,5}{530,7} = 2,321 \text{ gr/cm}^2$$

$$D_p = (2,321 + 2,324 + 2,330)/3 = 2,325 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_{ag} = \frac{100}{\frac{34}{2,654} + \frac{59}{2,687} + \frac{7}{2,725}} = 2,678 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_T = \frac{100}{\frac{100-3,85}{2,678} + \frac{3,85}{1,035}} = 2,524 \text{ gr/cm}^2$$

$$V_h = \frac{2,254 - 2,325}{2,524} \times 100 = 7,88$$

$$V_b = \frac{2,325 \times 3,85}{1,035} = 8,65$$

$$V_a = 100 - (7,88 + 8,65) = 83,47$$

$$V_{ma} = 7,88 + 8,65 = 16,53$$

$$V_f = \frac{8,65}{16,53} \times 100 = 52,33$$

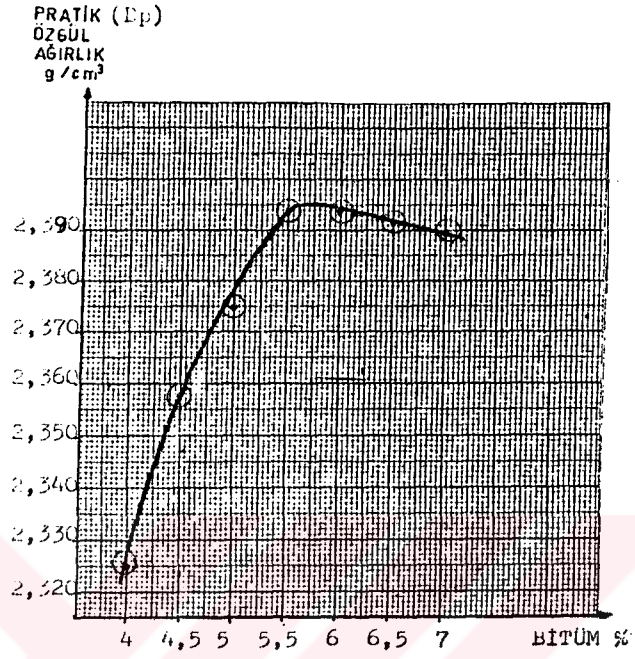
Aynı şekilde diğer bitüm yüzdeleri için de hesaplanan değerler Tablo 6.5'de gösterildi.

Ayrıca bu değerler grafikler üzerinde de ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 6/8-9-10-11-12-13).

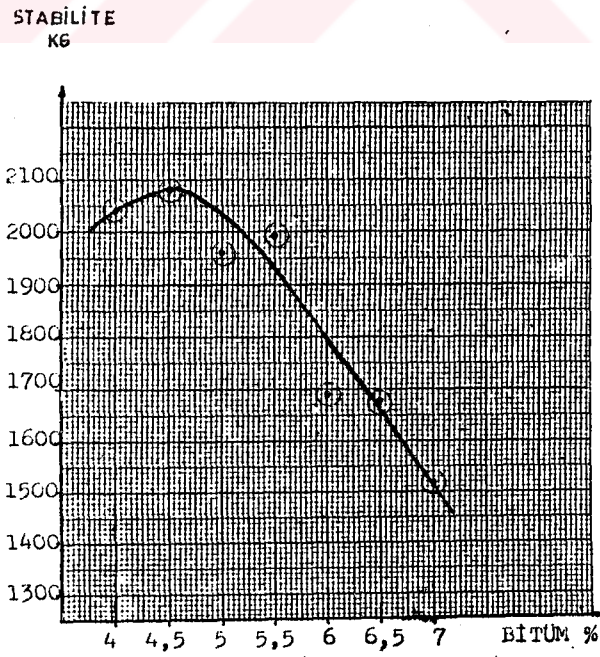
Tablo 6.5. Yıkılmış ve elenmiş malzemeye ait Marshall metodu dizayn değerleri

No	BİRİKET YÜKS. % 'e %		BİRİKET YÜKSEKLİĞİ			W (gr)	W <sub>1</sub> (gr)	W <sub>2</sub> (gr)	V (cm <sup>3</sup> )	D <sub>P</sub>	D <sub>T</sub>	V <sub>h</sub> (%)	V <sub>ma</sub> (%)	V <sub>r</sub> (%)	Akma (mm)	STB. (kN)	DÜZ. FAK.	DÜZ. STB.
	W <sub>a</sub>	W <sub>b</sub>	1	2	3													
1			65,9	67,7	665,6	65,7	1231,5	706,6	1237,3	530,7	2,321				3,16	22,2	0,947	2102
2	4,0	3,85	48,0	65,7	65,7	65,7	1234,3	709,8	1241,0	531,2	2,324				2,61	21,2	0,947	2008
3				65,0	65,3	65,2	1234,2	709,6	1239,4	529,8	2,330				2,53	21,1	0,957	2019
ORTALAMALAR											2,524	7,88	16,53	52,33	2,77			2043
1				64,7	64,9	65,0	1240,5	718,1	1245,6	527,5	2,352				3,15	20,6	0,965	1988
2	4,5	4,31	54,00	65,1	64,9	64,6	1234,1	713,7	1238,5	524,8	2,352				3,03	22,8	0,965	2200
3				64,2	64,5	64,1	1239,5	721,5	1244,3	522,8	2,371				2,79	21,0	0,980	2058
ORTALAMALAR											2,507	5,94	15,76	62,31	2,99			2082
1				64,6	64,8	64,8	1244,8	726,0	1249,0	523,0	2,380				3,07	21,1	0,970	2047
2	5,0	4,76	60,0	64,4	64,3	64,3	1243,2	724,0	1247,5	523,5	2,375				2,61	19,4	0,980	1901
3				65,1	65,1	65,0	1247,2	725,0	1251,2	526,2	2,370				2,96	20,1	0,960	1930
ORTALAMALAR											2,490	4,61	15,53	70,30	2,88			1959
1				64,2	64,2	64,7	1249,7	733,5	1254,0	520,5	2,401				3,19	20,6	0,978	2015
2	5,5	5,21	66,0	65,0	64,5	64,7	1252,2	733,7	1256,6	522,9	2,395				2,95	20,2	0,970	1959
3				64,0	64,4	64,4	1246,3	728,2	1250,8	522,6	2,385				3,50	20,6	0,980	2019
ORTALAMALAR											2,394	3,21	15,26	78,96	3,21			1998
1				64,3	64,1	64,3	1251,5	734,1	1254,8	520,7	2,403				3,81	17,6	0,982	1728
2	6,0	5,66	72,0	65,0	64,7	64,9	1257,0	737,6	1261,0	523,4	2,402				3,85	19,4	0,965	1872
3				65,1	65,5	65,4	1254,5	731,2	1259,0	527,8	2,377				3,61	15,5	0,953	1477
ORTALAMALAR											2,457	2,57	15,66	83,58	3,76			1692
1				65,0	65,5	65,7	1263,2	739,3	1267,3	528,0	2,392				3,73	18,0	0,953	1715
2	6,5	6,10	78,0	65,3	65,0	65,1	1263,5	739,9	1266,9	527,0	2,398				3,45	17,4	0,960	1670
3				66,0	66,0	65,6	1266,1	738,4	1269,1	530,7	2,386				3,67	17,6	0,943	1660
ORTALAMALAR											2,392	14,1	16,13	87,42	3,62			1682
1				65,1	65,0	65,0	1256,2	742,2	1273,5	531,3	2,364				3,99	16,0	0,962	1539
2	7,0	6,54	84,0	65,6	65,8	65,9	1271,0	733,5	1260,0	526,5	2,414				3,96	15,8	0,945	1493
3				65,3	65,6	65,4	1266,7	736,3	1265,7	529,4	2,393				3,97	15,9	0,953	1515
ORTALAMALAR											2,390	1,49	19	91,00	3,97			1516

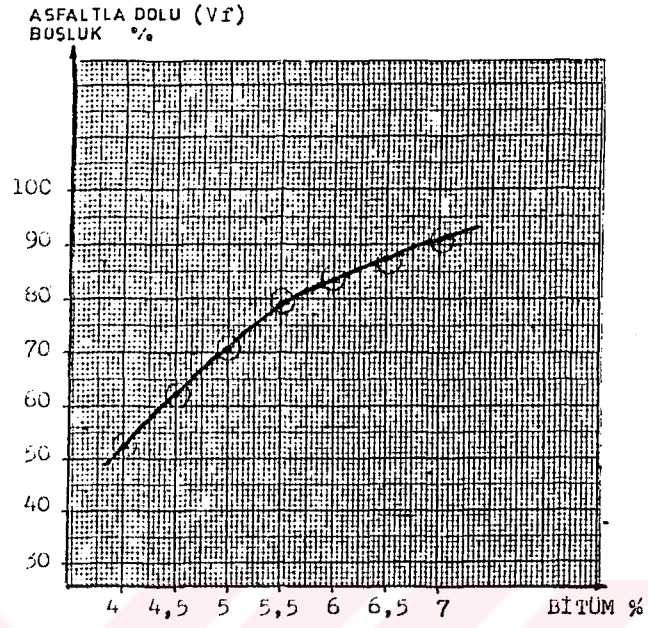
Yıkılmış ve elenmiş malzemeye ait Marshall metodu dizayn değerlerinin grafiklerle gösterilmesi:



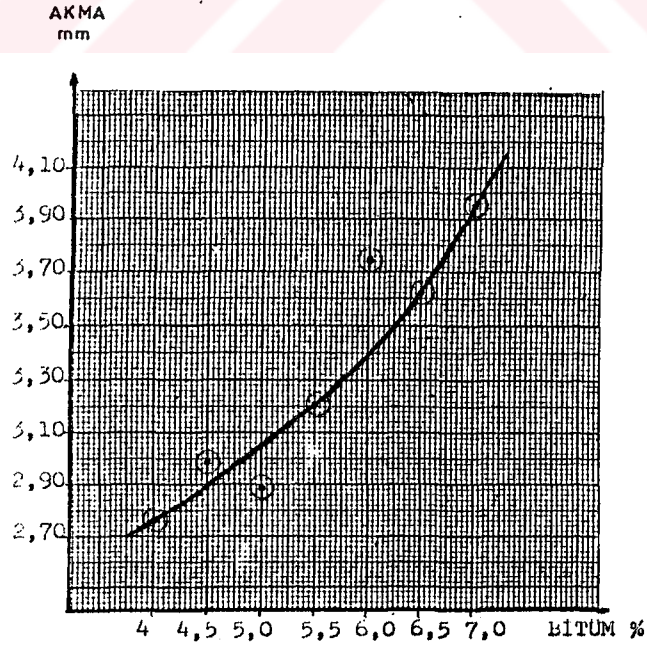
Şekil 6.8. Bitüm-Pratik birim ağırlık ilişkisi



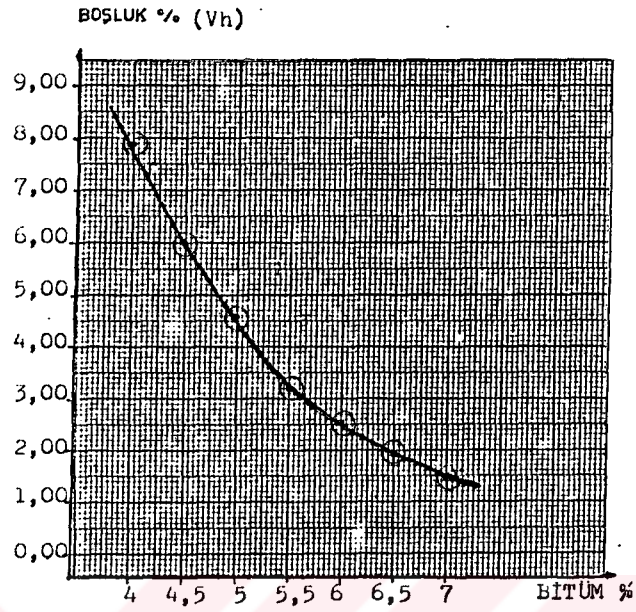
Şekil 6.9. Bitüm-Stabilite ilişkisi



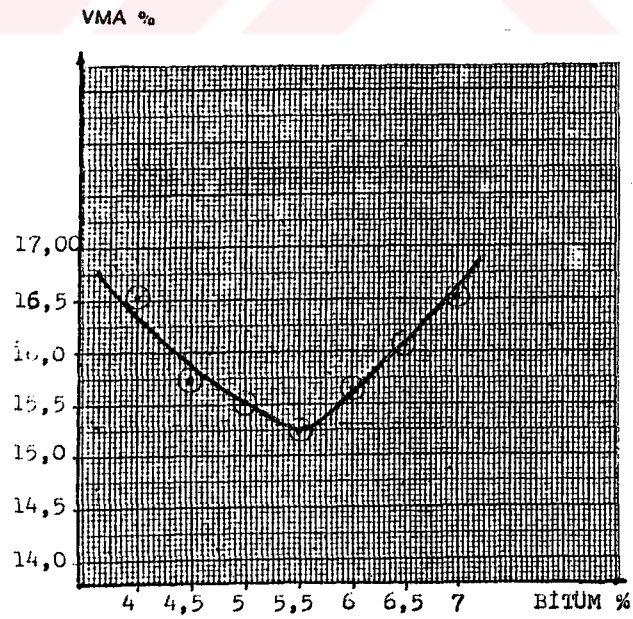
Şekil 6.10. Bitüm-Bitümle dolu boşluk yüzdesi ilişkisi



Şekil 6.11. Bitüm-Akma ilişkisi



Şekil 6.12. Bitüm-Boşluk yüzdesi ilişkisi



Şekil 6.13. Bitüm-Agregalar arasındaki boşluk ilişkisi

Yıkanmış ve elenmiş malzemeye ait Marshall metodu dizayn değerlerine ait grafiklerden optimum bitüm miktarının tayin edilmesi; (Killi malzemede olduğu gibi hesaplanır).

$$\text{Stabilitenin maksimum olduğu bitüm yüzdesi} = 4,50$$

$$\text{Pratik birim ağırlığının maksimum olduğu bitüm yüzdesi} = 5,75$$

$$\text{Bitümlle dolu boşluk \% 80 iken bitüm yüzdesi} = 5,60$$

$$\text{Boşluk yüzdesi 4 iken bitüm yüzdesi} = 5,20$$

$$\text{Optimum bitüm yüzdesi} = \frac{4,50 + 5,75 + 5,60 + 5,20}{4} = 5,3$$

Optimum bitüm yüzdesine göre;

$$\text{Stabilite} = 1970 \text{ kg}$$

$$\text{Pratik özgül ağırlık} = 2,388 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Akma} = 3,14 \text{ mm}$$

$$\text{Boşluk yüzdesi} = 3,70$$

$$\text{Bitümlle dolu boşluk yüzdesi} = 76 \text{ olarak bulunur.}$$

c) Elazığ Belediyesi'nin Hanpınar şantiyesinde alınan üç tip agreganın karışım gradasyonuna göre hazırlanmış malzemenin % 4 bitüm oranı için yapılan hesaplar;

$$\text{Kaba agrega} = \% 39,8 \text{ (} G_k = 2,654 \text{ gr/cm}^3 \text{)}$$

$$\text{İnce agrega} = \% 55,8 \text{ (} G_i = 2,687 \text{ gr/cm}^3 \text{)}$$

$$\text{Filler} = \% 4,4 \text{ (} G_f = 2,725 \text{ gr/cm}^3 \text{)}$$

$$\text{Bitüm} = \% 4 \text{ (} G_b = 1,035 \text{ gr/cm}^3 \text{)}$$

$$W_a = \frac{48}{1200} \times 100 = 4,0$$

$$W_b = \frac{48}{1200 + 48} = 3,85$$

$$V = 1251,5 - 727 = 524,5 \text{ cm}^3$$



$$D_p = \frac{1234,0}{524,5} = 2,353 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_{\text{port}} = (2,3535 + 2,378 + 2,368)/3 = 2,366 \text{ gr/cm}^3$$

$$G_{\text{ag}} = \frac{100}{\frac{39,8}{2,675} + \frac{55,8}{2,687} + \frac{4,4}{2,725}} = 2,675 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_T = \frac{100}{\frac{100-3,85}{2,675} + \frac{3,85}{1,035}} = 2,521 \text{ gr/cm}^3$$

$$V_h = \frac{2,521 - 2,366}{2,521} = 6,15$$

$$V_b = \frac{2,366 \times 3,85}{1,035} = 8,80$$

$$V_a = 100 - (6,15 + 8,80) = 85,05$$

$$V_{\text{ma}} = 6,15 + 8,80 = 14,95$$

$$V_f = \frac{8,80}{14,95} \times 100 = 58,86 \text{ olarak bulunur.}$$

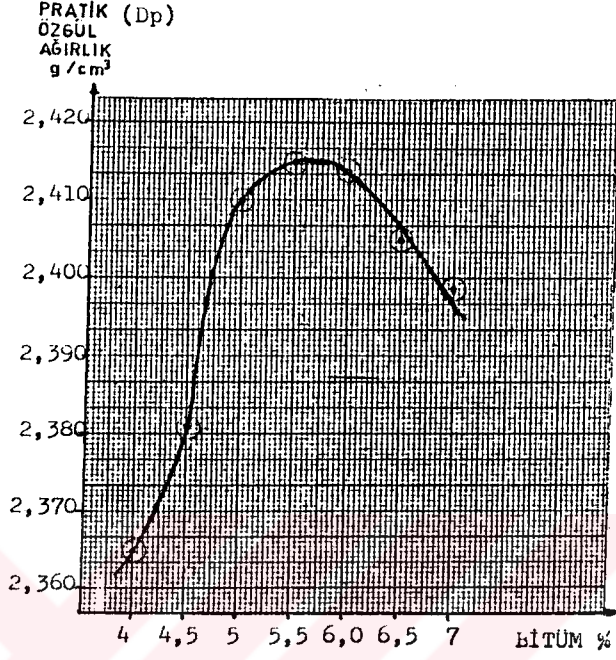
Aynı şekilde diğer bitüm yüzdeleri için de hesaplanan değerler Tablo 6.6'ya işlendi.

Ayrıca bu değerler grafikler üzerinde de işlenerek ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 6/14-15-16-17-18-19).

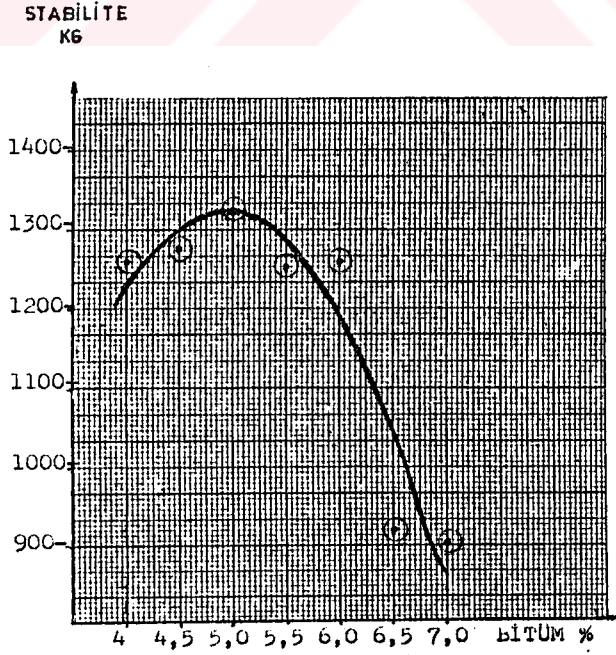
Tablo 6.6. Agrega karışımına ait Marshall metodu dizayn değerleri

No	BİRİKET YÜKS. % 'e %		BİRİKET YÜKSEKLİĞİ			W	W <sub>1</sub> (gr)	W <sub>2</sub> (gr)	V (cm <sup>3</sup> )	D <sub>T</sub>	V <sub>h</sub> (%)	V <sub>ma</sub> (%)	V <sub>f</sub> (%)	AK <sub>ma</sub> (mm)	STB. (kN)	DÜZ. FAK. STB.	DÜZ. DÜZ. STB.
	W <sub>a</sub>	W <sub>b</sub>	1	2	3												
1			65,2	65,5	65,8	65,5	1234,0	727	1251,5	524,5				2,98	13,0	0,951	1236
2	4,0	3,85	48	65,2	65,5	65,3	1237,5	727,5	1248	520,5				3,30	13,5	0,955	1289
3				64,5	64,9	64,6	1236,5	729,5	1251,5	522,0				3,27	16,3	0,970	1581
ORTALAMALAR										2,366	6,15	14,95	58,86	3,18			1263
1			65,0	64,3	64,9	64,7	1236,5	729	1251,5	522,5				3,71	13,4	0,970	1300
2	4,50	4,31	54	65,9	65,2	64,7	1238,5	726,5	1243,5	517,0				3,79	13,1	0,955	1251
3				64,9	64,8	64,4	1238,0	726	1246,0	520,0				3,22	15,5	0,970	1504
ORTALAMALAR										2,381	4,91	14,83	66,91	3,57			1276
1			64,5	64,9	64,9	64,8	1239,5	727,0	1241,0	514,0				4,93	13,5	0,982	1326
2	5,0	4,76	60	64,2	64,5	64,0	1246,0	730,0	1247,5	517,5				4,17	12,6	0,967	1218
3				65,0	64,5	64,2	1244,5	733,0	1249,0	516,0				2,95	12,7	0,957	1215
ORTALAMALAR										2,410	3,10	14,18	78,12	3,53			1321
1			64,1	64,2	64,3	64,2	1251,0	736,5	1255,5	519,0				4,93	13,5	0,982	1326
2	5,5	5,21	66	64,8	64,9	64,8	1252,5	740,0	1258,0	518,0				4,17	12,6	0,967	1218
3				65,5	65,0	65,0	1251,0	738,5	1256,5	518,0				5,95	12,7	0,957	1215
ORTALAMALAR										2,415	2,27	14,43	84,27	5,02			1253
1			64,2	64,7	64,9	64,6	1250,0	740,5	1259,5	519,0				5,71	13,5	0,972	1312
2	6,0	5,66	72	64,7	65,2	64,5	1258,5	743,0	1263,0	520,0				6,76	13,2	0,967	1276
3				64,3	64,3	63,7	1260,5	743,5	1263,8	520,3				6,50	12,2	0,983	1199
ORTALAMALAR										2,414	1,67	14,87	88,76	6,32			1262
1			65,3	65,7	65,2	65,4	1260,2	740,0	1266,0	526,0				5,84	9,40	0,953	896
2	6,5	6,10	78	65,2	65,5	64,9	1263,0	743,0	1265,7	522,7				7,07	10,00	0,357	957
3				65,0	65,5	65,2	1250,5	734,5	1254,5	520,0				5,11	9,55	0,957	914
ORTALAMALAR										2,405	1,39	15,56	91,07	6,00			922
1			66,2	65,7	65,5	65,8	1268,5	743,5	1273,5	530,0				5,80	9,21	0,945	870
2	7,0	6,54	84	65,0	65,7	66,1	1269,0	744,5	1272,0	527,5				5,37	9,04	0,949	858
3				65,5	65,5	65,9	1265,0	741,0	1268,5	527,5				7,57	10,4	0,949	987
ORTALAMALAR										2,399	1,03	16,19	6,25	3,97			905

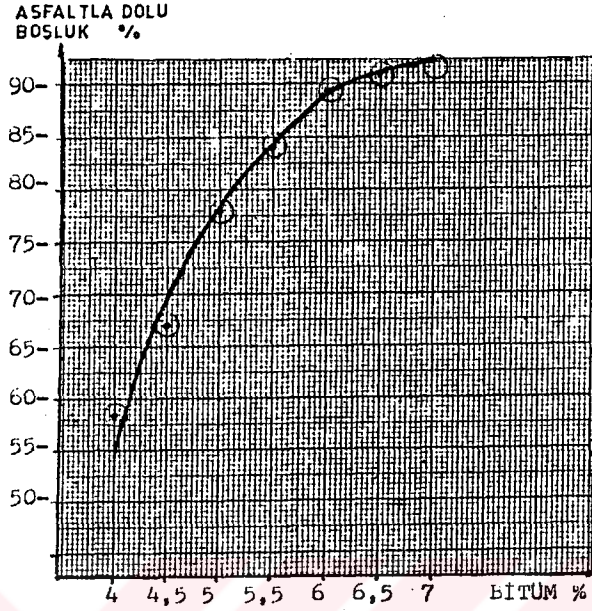
Agrega karışımına ait Marshall metodu dizayn değerlerinin grafiklerle gösterilmesi;



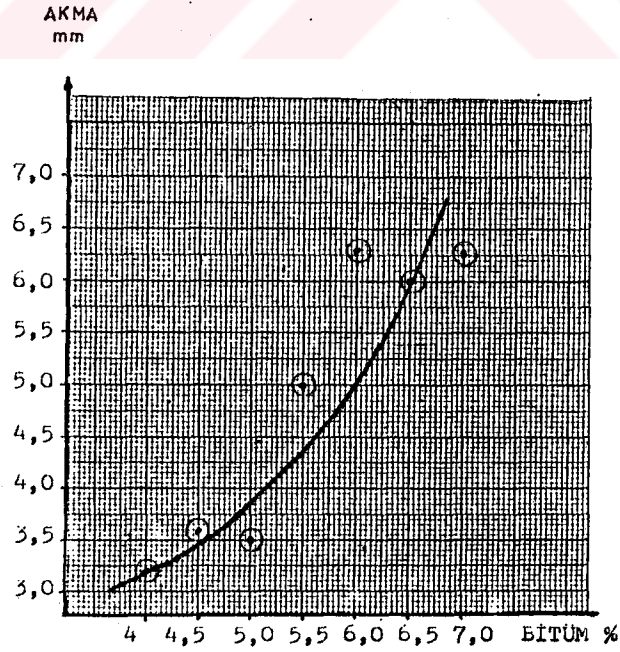
Şekil 6.14. Bitüm-Pratik birim ağırlık ilişkisi



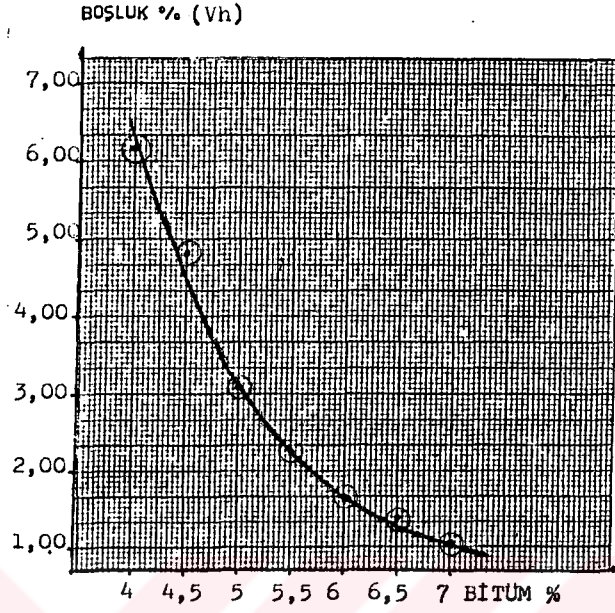
Şekil 6.15. Bitüm-Stabilite ilişkisi



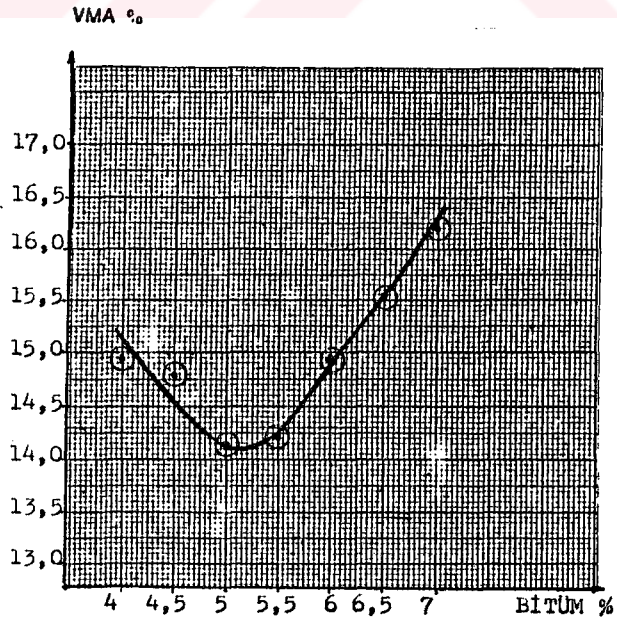
Şekil 6.16. Bitüm-Bitümle dolu boşluk yüzdesi ilişkisi



Şekil 6.17. Bitüm-Akma ilişkisi



Şekil 6.18. Bitüm-Boşluk yüzdesi ilişkisi



Şekil 6.19. Bitüm-Agregalar arasındaki boşluk ilişkisi

Üç tip agrega karışımına ait Marshall metodu dizayn değerlerine ait grafiklerden optimum bitüm miktarının tayin edilmesi;

Stabilitenin maksimum olduğu bitüm yüzdesi	= 5,0
Pratik birim ağırlığın max. olduğu bitüm yüzdesi	= 5,60
Bitümle dolu boşluk % 80 iken bitüm yüzdesi	= 5,10
Boşluk yüzdesi 4 iken bitüm yüzdesi	= 4,70

$$\text{Optimum bitüm yüzdesi} = \frac{5,0 + 5,60 + 5,10 + 4,70}{4} = 5,10$$

Optimum bitüm yüzdesine göre;

Stabilite	= 1320 kg
Pratik özgül ağırlık	= 2,412 gr/cm <sup>3</sup>
Akma	= 3,90 mm
Boşluk yüzdesi	= 3,10
Bitümle dolu boşluk yüzdesi	= 80 olarak bulunur.

## **7. ELAZIĞ KENTİÇİ KARAYOLLARINDA YAPILMAKTA OLAN ASFALT ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER**

Ülkemizdeki ulaşım talebine paralel olarak hızla artan taşıt trafiği ve olumsuz çevre koşulları, yollar üzerindeki bozulmaların artmasını hızlandırmaktadır. Ulaşım talebinin hızla artması bir yandan yeni yolların yapılması gereksinimini, diğer yandan da mevcut yolların bakım ve onarım giderlerini arttırmaktadır. Bozulan bu yolların onarımı ve yeni yolların yapılması, kullanılacak agrega ve asfalta olan ihtiyacın artmasına sebep olmaktadır.

Son yıllarda ülkemiz kentiçi karayollarında, artan trafik ve olumsuz çevre koşulları karşısında daha konforlu ve daha dayanıklı bir yüzey temin etmek için sıcak karışım kaplama yapımına hız verilmiştir. Ancak, asfalt betonu kaplamalı yolların maliyetleri çok yüksek olduğundan belediyelerin ekonomisine büyük yük getirmektedir. Yolun maliyetini en aza indirebilmek için yapım, işletme ve bakım maliyetlerinin en aza indirilmesi gerekir. Bu sebeple yol uzun ömürlü olacak şekilde inşa edilmelidir. Bunun için de yolun inşa edileceği güzergah üzerindeki taban zemini durumu ile yeraltı ve yerüstü drenaj durumlarının o bölgenin topoğrafik yapısının, hizmet ömrü boyunca yoldan geçecek taşıt trafiğinin, kullanılacak malzemenin ve projelendirmeye ait geometrik ve diğer fiziksel niceliklerin iyi bilinmesi gerekir. Bu bilgilerin ışığı altında evvelce yolun alt ve üst yapı projelendirmesine gidilmeli ve kullanılacak her türlü malzemenin şartnamesine uygunluğu tescil edilmelidir.

Kaplama olarak kullanılan asfalt betonu karışımlarında bulunan agrega ve asfaltın şartnamenin istediği özelliklerde olması ve asfalt betonu karışımının iyi bir şekilde inşa edilmesi şarttır. Bunun için de iyi bir ekipman ve yetişmiş teknik kadronun bulunması gereklidir.

Elazığ kentiçi karayollarında yol yapım çalışmaları esnasında edinilen bilgiler ve kullanılan malzeme üzerinde yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, yapılan yol ve asfalt çalışmalarının istenen düzeyde olmadığı görülmüştür. Projesiz ve ön çalışmasız olarak inşa edilen yeni yolların yapımı esnasında taban zemini ve drenaj durumları dikkate alınmamakta ve zeminin sıkışma durumu kontrol edilmemektedir. Ayrıca karayolu yatırımının gerçekleşmesinde önemli bir paya sahip olan üstyapı elemanlarının kalınlıklarının doğruca hesaplanıp şartnamenin gerektirdiği gibi yapılmadığı ve laboratuvar çalışmalarından uzak bir uygulamanın olduğu görülmüştür. Bozulmuş yollar üzerinde yapılan tamirat işlemlerinin de istenen düzeyde olmadığı görülmüştür. Bozulan kaplama üzerinde yapılan yeni kaplamalar ve yeni yapılan yollardaki kaplamalar bir süre sonra bozulmakta ve yeniden tamir yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu şekilde inşa edilen bir alt ve üstyapının beklenen hizmet ömründen önce elden çıkacağı ve yeni ilave masrafları gerekli kılacağı muhakkaktır.

Bu sebeple Elazığ Belediyesi'nin yaptığı asfalt çalışmaları incelenmiş ve gerekli deneysel çalışmalar da yapılarak asfalt yapımı konularında aşağıda değerlendirmeler yapılmıştır.

### **7.1. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Elazığ Belediyesi'nin sıcak karışım bitümlü kaplama yapımında kullandığı agrega malzemesi üzerinde gerekli deneyler yapılmış ve deney sonuçları ile "K.G.M. Yollar Fenni Şartnamesi"nin belirlediği sınırlar aşağıda Tablo 7.1'da gösterilmiştir.



**Tablo 7.1.** Deney sonuçları ve şartname sınırları

Deneyin Adı	Şartname Sınırı	Deney Sonucu
Aşınma kaybı (max. %)	35	32,0
Donma kaybı (max. %)	10	6,16
Su absorpsiyonu (max. %) (Kaba agregaya için)	2,5	1,12

İlk grup Marshall biriket numunelerinin hazırlanmasında kullanılan agregaya karışımının kil muhtevası % 9,73 gibi büyük bir değer bulunmuştur. Ayrıca üçüncü grup Marshall numunelerinin hazırlanmasında kullanılan üç tip agregaya karışımının kil muhtevası % 2 gibi kullanılabilir bir değerdedir. Oysa şartnamede asfalt betonu ve diğer sıcak karışım kaplamalarda kullanılacak agregaya karışımının muhtevasında kil ve organik maddelerin % 2'den fazla bulunmaması istenmektedir.

Kullanılan agreganın diğer özellikleri Tablo 7.1'de görüldüğü gibi şartname sınırlarına uymaktadır. Ancak, ilk grup Marshall numunelerinin hazırlanmış olduğu ve Elazığ Belediyesi'nin 1996 yılında ve muhtemelen 1995 yılında da yol yapım ve bakım işlerinde kullandığı agregaya karışımı muhtevasında kil bulunduğundan, malzemenin asfalt betonunda kullanılabilmesi için yıkanarak kil'den arındırılmış olması gerekirdi. Oysa malzemenin kil'den arındırılması hususunda herhangi bir işlem yapılmamıştır. Zaten aynı malzemenin killi ve kil'den arındırılmış olarak kullanılması durumunda Marshall Dizayn sonuçlarında çıkan sonuçlar iki grup arasındaki farkı ortaya koymaktadır (Tablo 7.2).

**Tablo 7.2.** Killi malzeme, yıkanmış malzeme ve Uygulamadaki Plent'den alınan karışımın Marshall Dizayn sonuçları

Özellikler	Aşınma Tabakası Şartname Kriterleri		Killi Malzemeden Aşınma Tabakası	Yıkanmış Malzemeden Aşınma Tabakası	Killi Malzeme İle Plent'den Alınan Aşınma Tabakası
	Min	Mak			
Marshall Stabilitesi (kg)	900	-	1430	1970	1090
Boşluk Yüzdesi ( $V_h$ )	3	5	3,0	3,70	1,70
Asfaltla dolu boşluk yüzdesi ( $V_f$ )	75	85	79	76	89
Akma (mm)	2	4	4,78	3,14	6,25
Bitüm yüzdesi	4	7	5,2	5,3	6,10

**Tablo 7.3.** 1997 yılında üretilen üç tip agrega karışımına ait Marshall Dizayn sonuçları

Özellikler	Aşınma Tabakası Şartname Kriterleri		Üç tip malzemenin karışımı ile yapılan Aşınma Tabakası
	Min	Mak	
Marshall Stabilitesi (kg)	900	-	1320
Boşluk Yüzdesi ( $V_h$ )	3	5	3,10
Asfaltla dolu boşluk yüzdesi ( $V_f$ )	75	85	80
Akma (mm)	2	4	3,90
Bitüm yüzdesi	4	7	5,10

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere killi malzemeye ait Marshall Dizayn sonuçlarından stabilite, bitüm yüzdesi ve boşluk yüzdesi değerlerini sağlamakla beraber boşluk yüzdesinin alt sınır değerinde olduğu görülmektedir. Ancak, akma değeri şartname değerini aşmakta ve yüksek bir değerdedir. Bu, malzemenin kil muhtevasının fazla olmasından

kaynaklanmaktadır. Yukarıdaki değerler her ne kadar şartname değerlerine ilk etapta uygun çıksalar da bu şekilde hazırlanmış ve kaplama yapımında kullanılmış killi malzemenin trafik ve olumsuz çevre koşullarına karşı fazla durabil olamayacağı bilinmektedir. Bu karışım kısa zamanda oksitlenecek, ayrışacak ve çatlamalara yol açarak yolun ömrünü azaltacaktır.

Aynı malzemenin yıkanmış olarak hazırlandığı Marshall deney sonuçları tabloda da görüldüğü gibi en uygun şartname sınırları arasında kalmaktadır (Tablo 7.2.). Bu şekilde yıkanıp şartname gradasyonlarına göre hazırlanmış agreganın kaplamanın uzun ömürlü olmasına etkisi çok büyüktür.

Elazığ Belediyesi plentinden alınan ve bitüm oranı % 6.10 olarak tayin edilen Mashall Dizayn sonuçlarından stabilite, şartname alt sınırına yakın bir değerdedir. Akma değeri ile bitümle dolu boşluk yüzdesi değerleri şartname üst sınırlarını fazlasıyla geçmektedir. Boşluk yüzdesi değeri ise çok düşük bir değerdedir. Sonuçların bu şekilde çıkması karışımdaki kil muhtevası ve agregada gradasyonunun düzensiz olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bitüm yüzdesinin çok fazla kullanılması, sonuçları olumsuz yönde etkileyen en önemli faktördür. Kil muhtevasının ve bitüm yüzdesinin fazlalığı ile agregada gradasyonunun şartname sınırlarında olmaması karışımın boşluk oranını düşürür, akmayı artırır ve dolayısıyla stabilitenin düşmesini sağlar.

Bu gibi olumsuzlukları ortadan kaldırmak için yapılacak ilk iş agregada karışımının kilden arındırılması ve düzgün bir gradasyon elde edilerek şartnameye uygunluğunun ve bu karışım için bulunan optimum bitüm oranının uygulanmasıdır. Oysa, Elazığ Belediyesinin bu yönde herhangi bir çalışma yapmadığı plentten alınan karışımın deney sonuçlarından anlaşılmaktadır. Malzeme kontrolü ve denetimden yoksun

olarak yapılan bu yolların uzun ömürlü olamayacağı, kısa bir süre sonra bozularak hizmet ve konfor seviyesinden düşeceği ve bununla beraber ilave birçok masrafı gerekli kılacağı muhakkaktır.

Elazığ Beldiyesi'nin Hanpınar şantiyesinden alınan üç tip agregadan oluşan karışıma ait Marshall dizayn sonuçlarına bakıldığında (Tablo 7.3). Stabilitate, boşluk yüzdesi, asfaltla dolu boşluk yüzdesi ve akma değerinin şartname sınırları arasında kaldığı görülmektedir. Değişik agregasyonlarından en uygun sonuçların elde edildiği % 25 iri, % 20 orta ve % 55 ince agregasyonunun asfalt betonu kaplama yapımında kullanılması faydalı olacaktır. Bu oranların kullanılması ile şantiyede bulunan bu agregaların ekonomik olarak değerlendirilmesi de sağlanmış olacaktır.

Değişik yönlü bu deney çalışmalarından da görüleceği üzere bitümlü sıcak karışım asfalt betonu kaplamalara etki eden en önemli faktörlerden biri karışımda kullanılan agreganın sahip olduğu özelliklerdir. Agregalardaki kırılmışlık, kaba, ince veya fillerin muhtevalarının değişmesi, agregasyon bünyesinde kil bulunması ve karışım gradasyonunun bozuk olması gibi faktörlerin Marshall Dizayn sonuçlarına etkisi yukarıdaki sonuçlardan açıkça görülmüştür.

## **7.2. Elazığ Belediyesi Asfalt Çalışmalarının Değerlendirilmesi**

Bir karayolu yapımının gerçekleşmesinde önemli bir paya sahip olan üstyapı önceki bölümlerde de izah edildiği gibi şartnamelere uygun olarak inşa edilmediğinden beklenen hizmet ömründen çok önce bozulmakta ve yeni masrafları gerekli kılmaktadır. Artan taşıt trafiği ve olumsuz çevre koşulları da yollar üzerinde meydana gelen bozulmaların artmasını hızlandırmaktadır. Bozulan bu yolların tamiri belediyece istenen düzeyde olmamaktadır. Bozulan asfalt kaplama üzerine eklenen

yeni bir kaplama da çok kısa bir süre sonra bozulmakta ve yeniden tamir yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu amaçla, ekonomik koşulların ağırlığı bugünlerde Elazığ kentiçi karayollarında yapılmakta olan ve istenen düzeyde olmadığı gözlemlenen ve deneysel olarak da isbat edilen asfalt uygulamaları ile ilgili bir değerlendirme yapılacaktır.

Bu çalışma, asfalt çalışmalarındaki başarının bir yılda dökülen asfalt miktarı ile değil, bunun yerine hizmet ömrünün en çok olmasıyla ölçülebileceğini ve asfalt yapımından kaynaklanan hataların giderilmesi sonucu daha fazla yol da yapılabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu amaçla, bu çalışmanın daha ayrıntılı ve daha kapsamlı olması bakımından Elazığ Belediyesi'nin ilgili birimlerinden gerekli bilgiler temin edilmeye çalışılmış ancak, belediyenin yol ve asfalt çalışmaları ile ilgili dökümanlarının olmaması sebebiyle aşağıdaki verilerden faydalanılmaya çalışılmıştır. Elazığ Belediyesi yıllık çalışma raporlarından elde edilen bu verilerin ışığı altında bu amaçla gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Elazığ Belediyesi'nin 1995 ve 1996 yıllarına ait yıllık çalışma raporlarından alınan, ürettiği asfalta ait veriler aşağıdaki tabloda görülmektedir (Tablo 7.4)

**Tablo 7.4. Üretilen asfalta ait veriler**

<b>İmalat Cinsi</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>Toplam</b>
Asfalt yol yapımı (m <sup>2</sup> )	200000	218000	418000
Asfalt yol onarımı (m <sup>2</sup> )	45000	32000	77000

Önceki bölümlerde de izah edildiği üzere Elazığ Belediyesi yol yapım çalışmalarında asfalt betonu kaplama kalınlığını 10 cm olarak ve eski veya bozulmuş kaplamalı yollarda ise asfalt betonu kaplama kalınlığını 5 cm civarında inşa etmektedir. Asfalt betonu kaplamaların yoğunluğunu 2,4 Ton/m<sup>3</sup> alıp yukarıdaki hususları da gözönünde bulundurduğumuz zaman tablodaki değerlerin kullanılabilmesi amacıyla üretilen asfalt miktarını "Ton" olarak hesaplamak mümkündür. Aşağıdaki tabloda yıllara göre üretilen asfalt miktarı "Ton" olarak işlenmiştir (Tablo 7.5).

**Tablo 7.5.** Yıllara göre üretilen asfalt miktarı

İmalat Cinsi	1995	1996	Toplam
Asfalt yol yapımı (Ton)	48000	52320	100320
Asfalt yol onarımı (Ton)	5400	3840	9240

Daha önce de izah edildiği gibi Elazığ Belediyesi'nin yol yapım çalışması esnasında plentten alınan sıcak asfalt karışımındaki bitüm yüzdesi Sokslet metodu ile tayin edilmiş ve bitüm oranı kuru agregaya göre % 6,1 olarak bulunmuştur. 1996 yılında bulunan bu bitüm yüzdesinin, aynı plente üretilmesi ve aynı agregaya kullanılması bakımından 1995 yılında da kullanıldığı kabul edildi.

Ayrıca, Elazığ Belediyesi plentinden alınan aynı türdeki killi agregaya laboratuvarında Marshall dizaynı uygulanmış ve bu malzemeye uygulanacak optimum bitüm yüzdesi 5,2 gibi bir değer bulunmuştur. Olması gereken optimum bitüm miktarı (% 5,2) ile tatbikatta kullanılan bitüm miktarının (% 6,1) karşılaştırılması, gereğinden fazla kullanılan

bitüm miktarının bulunmasında ekonomik değerlendirme açısından fayda vardır.

Bu durumda kuru agregaya göre % 6,1 olarak kullanılan bitümün toplam karışımdaki yüzdesi  $6,1/(100+6,1) = \% 5,75$  gibi bir değer olacaktır. Karışımdaki bu bitüm yüzdesine göre 1995 ve 1996 yıllarında asfalt betonunda kullanılan bitüm ve agrega miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 7.6).

**Tablo 7.6.** Üretilen asfaltta kullanılan bitüm ve agrega miktarları

	<b>Kullanılan Malzeme</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>Toplam</b>
Asfalt Yol	Bitüm miktarı (Ton)	2760	3008,40	5768,40
Yapımı	Agrega Miktarı (Ton)	45240	49311,60	94551,60
Asfalt Yol	Bitüm miktarı (Ton)	310,50	220,80	531,30
Onarımı	Agrega miktarı (Ton)	5089,50	3619,20	8708,70

Sonuçta pratikte kullanılan asfalt miktarı ile optimum bitüm miktarı arasındaki fark ( $\% 6,1 - \% 5,2 = \% 0,9$ ) kadar bu yıllarda fazla miktarda asfaltın kullanıldığı görülecektir. Buna göre 1995 ve 1996 yıllarında asfalt yol yapımları esnasında toplam kuru agregaya göre  $94551,60 \times 0,009 \approx 878$  ton asfaltın fazladan kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Yine aynı yıllarda asfalt yol onarımı esnasında  $8708,70 \times 0,009 \approx 78,4$  ton asfaltın fazla kullanıldığı görülmektedir. İki yılda toplam 956,4 ton fazla harcanan bu asfalt miktarının kendi bedelinden dolayı meydana getirdiği ekonomik kaybın yanında, bitümlü karışımdaki fazlalığından dolayı kaplama üzerinde bozucu etkilere sahip olacak ve böylece yolun hizmet ömrünü kısaltarak yeni yol veya kaplama yapılması için ekonomik sorunları fazlasıyla beraberinde getirecektir. Kısaca, karışımda kullanılan

bitüm hem fazla kullanıldığı için ve hem de fazla kullanılmasından dolayı kaplamanın bozulmasına en büyük etkiyi yapacağı için çok yönlü ekonomik sorunların doğmasına yol açacaktır.

Ayrıca yukarıdaki tablolarda da görüldüğü gibi Elazığ Belediyesi yol yapım çalışmalarının yanında asfalt yol onarım çalışmalarını da sürdürmektedir. Bozulmuş kaplamaların üzerinde yapılan bu çalışmalar her yıl devam etmektedir. Bu da Elazığ kentiçi yollarının devamlı olarak bozulduğunu ve sözkonusu iki yıla ait asfalt yol onarım miktarlarına bakıldığında toplam 77000 m<sup>2</sup>'lik bir onarımın gerçekleştirildiği görülmektedir. Ortalama bir cadde genişliğinin 7.00 metre olduğu kabulüyle bu denli onarımlar yerine yapılabilecek yol uzunluğunun bu iki yıl için toplam 11000 metre olacağı görülecektir. Ayrıca asfalt miktarının fazla kullanıldığını da katarsak bu uzunluk optimum asfalta göre daha da artacaktır.

Ayrıca, bu yıllarda yapılan tamirat işlemlerinin yeni yapılan yollara oranlaması yapıldığında onarım çalışmalarının yaklaşık % 19'luk bir nisbetle devam ettiği görülecektir. Bu durum her 100 metre yeni yol için aynı kalınlıkta yaklaşık 20 metre tamirat işinin yapıldığını göstermektedir.

Yukarıda, Elazığ Belediyesi'nden çok az miktarda bilgi alınarak yapılan değerlendirmede görüldüğü gibi asfalt çalışmalarındaki başarının bir yılda dökülen asfalt miktarı ile değil bunun yerine hizmet ömrünün en çok olması ile ölçülebileceği ve değerlendirilebileceği görülmektedir. Amaç, yatırım maliyetlerini en aza indirmek değil, yatırım, işletme ve bakım maliyetleri toplamını en aza indirebilecek çözümler üretmektir.



### 7.3. Öneriler

Ülkemizde kentiçi ulaşım talebinin tamamına yakın bir kısmı karayolu ile sağlanmaktadır. Bu sebeple yapılacak olan bir yolun uzun ömürlü olacak şekilde planlanması ve inşa edilmesi şarttır. Artan trafik karşısında daha sağlam ve daha konforlu yüzey elde etmek için sıcak karışım kaplama yapımına hız verilmiştir. Ancak asfalt betonu kaplamalı yolların maliyetler yüksek olduğundan belediyelerin ekonomisine büyük yük getirmektedir. Bu maksatla inşa edilecek kaplamanın çok sağlam olması gerekir. Bunun için de karışımda kullanılacak agrega ve asfaltın şartnamede istenen özelliklerde olması ve asfalt betonu karışımının iyi inşa edilmesi gereklidir.

Elazığ kentiçi yollarının yapılması esnasında edinilen bilgiler ve kullanılan malzeme üzerinde yapılan deneysel çalışmalar neticesinde yapılan yol ve asfalt çalışmalarının istenen düzeyde olmadığı görülmüştür. Ayrıca karayolu yatırımının gerçekleşmesinde önemli bir paya sahip üstyapı elemanlarının şartnamenin gerektirdiği gibi yapılmadığı ve laboratuvar çalışmalarından uzak bir uygulamanın olduğu görülmüştür. Bu tür hatalar üstyapının bozulmasına sebep olmaktadır. Ayrıca her geçen gün artan taşıt trafiği ve olumsuz çevre koşulları, yollar üzerinde meydana gelen bozulmaların artmasını hızlandırmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle ekonomik koşulların ağırlaştığı bu günlerde genelde tüm belediyelerdeki asfalt uygulamalarının birbirine çok benzediği düşüncesiyle, Elazığ kentiçi karayollarında yapılmakta olan ve istenilen düzeyde olmadığı kanaatini taşıdığımız asfalt uygulamaları ile ilgili deneysel ve gözlemsel çalışmalar yapılmıştır.

Yapılacak yollarda harcanan paranın yerini bulması açısından, aşağıda sıralanan önerilerin ilgili birimlerce dikkate alınması gerekmektedir.

1) Bir yolun gerek yapım ve gerekse daha sonra hizmet ömrü boyunca sürecek olan bakım masrafları yönünden, ekonomik olabilecek bir yol inşaatının başta gelen koşullarından birisi geçki boyunca taban zemini etüdünün yapılmasıdır. Böylece zeminin, su muhtevası, kuru birim ağırlığı, kabarma ve rötne nisbetleri, taşıma gücü, yeraltı ve yüzeysel su için drenaj durumları, zeminin ıslahat durumunun gerekliliği, üst yapı kalınlığının tayini ile ilgili bilgiler elde edilmiş olur.

2) Yapılması düşünülen bir yolun güzergah boyunca projelendirilmesine gidilmeli ve gerekli üstyapı kalınlıkları tayin edilmelidir.

3) Yol üst yapısında kullanılan ağreganın ve özellikle asfalt betonu kaplamalı yollarda kullanılan agreganın kilden arındırılması ve bu agreganın konkasörlerde kırılması aşamasında şartname gradasyonlarına uygunluğunun kontrol edilmesi gerekmektedir.

4) Belediyeler, yolların yapım ve bakım çalışmaları ile ilgili olarak, yolun hangi kesiminde ne tür bir çalışma yaptıkları hususunda düzenli bir kayıt tutmamaktadırlar. Bu da kentiçi yolların ileriki yıllarda takibini güçleştirmektedir. Bu nedenle günümüz teknolojik imkanlarından yararlanılarak düzenli bir kayıt sistemine geçilmesi gereklidir.

5) Yeni yolların yapılması esnasında kaplama altı tabakaları şartnameye uygun bir şekilde inşa edilmelidir.

6) Yol üst yapısını suyun etkilerinden korumak için gerekli drenaj çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

7) Yeni yol yapılmasından önce, yolun yapılacağı güzergahtaki kentiçi altyapı çalışmalarının (içme suyu, kanalizasyon, telefon ve elektrik altyapı çalışmaları) yapılmış olması gerekir.

8) Daha çok asfalt yerine daha kaliteli ve daha uzun ömürlü asfaltın yapılmasını amaçlayan yöntemler geliştirilmelidir. Üretim ve uygulama

safhalarında titiz bir kontrol mekanizması oluşturulmalıdır. Kalite kontrolüne önem verilmeli ve bir asfalt dizaynından önce gerekli deneyler titiz bir şekilde yapılarak arşivlenmelidir. Ayrıca bu amaçlar için gerekli olan iyi bir asfalt plentinin kurulması ve asfalt betonu karışımının yola düzgün bir şekilde serilmesi için uygun bir finişerin kullanılması gerekir.

9) Sıcak asfaltı oluşturan karışımların ağırlığı bakımından % 5-6'lık bir kısmına karşılık geldiği halde maliyet açısından ortalama % 50'ye varan bir kısmını oluşturan bitümün karışım içindeki miktarının belirlenmesinde laboratuvar imkanlarından yararlanmalı ve karışımda kullanılacak optimum bitüm yüzdesinin bulunarak işlem yapılması gerekmektedir.

10) Hizmet ömrünü tamamlamış bir üstyapının yeniden asfaltla kaplanması yerine yeni bir üstyapının inşa edilmesi yoluna gidilmeli ve eski tabakalardan yeniden istifade edilebilmesi yöntemlerinden yararlanılmalıdır. Böylece yerini bulmayan harcamaların yapılması önlenmiş olacaktır. Ayrıca bina su basman kotlarının ve tretuarların yol kotları altına düşmesine mani olunacaktır.

11) Yol yapım çalışmalarının, hizmet ömrü açısından özellikle sezon dışı uygulamalardan kaçınılmalı veya gerekli tedbirler alındıktan sonra çalışmalar yapılabilmelidir.

12) Asfalt uygulamaları, bu konuda deneyimli öğrenim görmüş kişilerin kontrolünde, şartnamelerde belirtilen hususlardan taviz verilmeden yapılmalıdır.

**KAYNAKLAR**

1. KEÇECİLER, A. F., AKKOL, G., GÜMRÜKÇÜOĞLU, A., GÖKÇE, A. F., Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı. (1979), KGM Matbaası, Ankara.
2. KREPS, R. D., WALKER, R. D., Highway Materials, (1971), New York.
3. O'FLAHERTY, C. H., Highway Engineering, (1974), London.
4. ÖNAL, M. A., KARACA, S., Asfalt Betonu Karışım Dizayn Metodları, KGM Matbaası, (1990), Ankara.
5. MANGAN, M., ILICAK, M., ÖZEN, H., Kentiçi Karayollarında Yapılmakta Olan Asfalt Çalışmaları Üzerine Bir Araştırma, TMMOB 3. Ulaştırma Kongresi, (1995). İstanbul.
6. YILDIRIM, B., KULOĞLU, N., AKYİĞİT, M., Ergani Bakır İşletmeleri Cürufunun Bitümlü Sıcak Karışımında Agrega Olarak Kullanılması, İMO Teknik Dergisi, Cilt: 4, Sayı: 1, Ocak 1993.
7. YILDIRIM, B., POYRAZ, M., POLAT, S., Elazığ Ferrookrom Fabrikası Cürufunun Asfalt Betonunda Agrega Olarak Kullanılması, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, Cilt: 17, Sayı: 2, 1993.
8. YILDIRIM, B., Yol İnşaatı, F. Ü. Müh. Fak. Yayını, (1984), Elazığ.
9. UMAR, A. F., AĞAR, E., Yol Üst Yapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi, (1985), İstanbul.



10. WITCZAK, W., YODER, E. İ., Principles of Povement Desing, (1975), USA.
11. WRIGHT, P. H, PAQUETTE, R. İ., Highway Engineering, (1987), New York.
12. UMAR, F., YAYLA, N., Yol İnşaatı, İTÜ İnşaat Fakültesi, (1981), İstanbul
13. YAĞIZ, F., İŞIKSALAN, C., KEÇECİLER, A. F., AKKOL, A., Bitümlü Malzemeler, KGM, Matbaası, (1967), Ankara.
14. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yollar Fenni Şartnamesi, (1989), Ankara.
15. Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, KGM Matbaası, (1984), Ankara.
16. TS 3720, Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları, (1984), Ankara.

