


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

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

# BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ KAZANIM VE GENÇLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sayed Orfan NOMANY**

**DANIŞMAN**
**Dr. Ögr. Üyesi Salih BEKTAŞ**

**AKSARAY, 2019**

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **162303801** numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Sayed Orfan NOMANY** tarafından hazırlanan **"BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ KAZANIM ve GENÇLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ "** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Salih BEKTAŞ**
Aksaray Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

**Üye: Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ**
Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

**Üye: Doç. Dr. Ömer KÖSE**
Aksaray Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 20/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

**Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS**
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Sayed Orfan NOMANY

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde büyük bir emeği olan ve her daim desteklerini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi. Salih BEKTAŞ'a bütün samimiyetim ile teşekkürlerimi sunarım.

Aksaray belediyesi asfalt şantiyesinin labratuvarunu kullanmaya müsaide eden Murat ERMİŞ'e ve deneysel çalışmalarımda her türlü yarımda bulunan Maden Mühendisi Yusuf ÇAĞLAR'a teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen Ramazan AVAN'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında her türlü desteği veren, iki yıl boyunca ihmal ettiğim ailem ve yeğenlerime teşekkür ederim.

Teşekkür olarak, bu çalışmayı gözü yolda olan, hayatıma sebep olan sevgili anneme armağan ediyorum.

Çalışmanın, konuya ilgi duyanlara faydalı olmasını Cenabı Allah'tan niyaz ederim.

Sayed Orfan NOMANY
AKSARAY, 2019

**İÇİNDEKİLER**

**TEŞEKKÜR** ..... i
**İÇİNDEKİLER** ..... ii
**ÖZET** ..... iv
**ABSTRACT** ..... v
**ŞEKİLLER DİZİNİ** ..... vi
**ÇİZELGELER DİZİNİ** ..... viii
**SİMGELER VE KISALTMALAR** ..... ix
**1. GİRİŞ** ..... 1
1.1 Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemleri ..... 5
1.1.1 Genel ..... 5
1.1.2 Geri dönüşüm türleri ..... 6
1.1.2.1 Soğuk düzeltme (Cold planing) ..... 6
1.1.2.2 Sıcak geri dönüşüm ..... 8
1.1.2.3 Yerinde sıcak geri dönüşüm ..... 10
1.1.2.4 Soğuk geri dönüşüm ..... 15
1.1.2.5 Tam derinlikte geri dönüşüm ..... 20
1.1.2.6 Geri dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması ..... 26
1.1.2.7 Geri dönüşüm yöntemlerinin enerji tüketim karşılaştırılması ..... 27
1.1.2.8 Seçilmesi gereken geri dönüşüm yönteminin belirlenmesi. ..... 28
**2. LİTERATÜR TARAMASI** ..... 29
**3. MATERYAL VE YÖNTEM** ..... 42
3.1 Materyal ve Cihazlar ..... 42
3.1.1 Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan agrega ..... 42
3.1.1.1 Binder tabakası için kaba agreganın özellikleri ..... 42
3.1.1.2 Binder Tabakası için ince agreganın özellikleri ..... 43
3.1.2 Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan mineral filler ..... 44
3.1.3 Asfalt çimentosu ..... 45
3.2 Yöntemler ..... 45
3.2.1 Agrega örneklerine uygulanan deneyler ..... 46
3.2.1.1 Kaba agregalar için özgül ağırlık deneyi ..... 46
3.2.1.2 İnce agreganın özgül ağırlık deneyi ..... 47
3.2.1.3 Mineral filler için özgül ağırlık deneyi ..... 48
3.2.1.4 Los Angeles deneyi ..... 48
3.2.1.5 Çözünürlük deneyi (Organik madde deneyi) ..... 49
3.2.1.6 Hava etkilerine dayanıklılık deneyi (Donma çözülme deneyi) ..... 51
3.2.1.7 Yassılık deneyi ..... 53
3.2.1.8 Soyulma deneyi ..... 54
3.2.1.9 Kil topakları deneyi ..... 56
3.2.1.10 Metilen mavisi deneyi ..... 57
3.2.1.11 Likit limit deneyi ..... 59
3.2.1.12 Plastik limit deneyi ..... 62
3.2.1.13 Plastiklik indisi (Plastisite indexi) ..... 63
3.2.1.14 Agrega gradasyonunun belirlenmesi ..... 63
3.2.2 Asfalt çimentosunun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ..... 64
3.2.2.1 Penetrasyon deneyi ..... 64
3.2.2.2 Yumuşama noktası deneyi ..... 66
3.2.2.3 Düktilite deneyi ..... 68
3.2.2.4 Bitümlü asfalt bağlayıcılara uygulanan özgül ağırlık deneyi: ..... 69

3.2.3 Marshall yöntemi ile bitümlü karışımların dizaynı ..... 70
3.2.3.1 Deney numunelerini hazırlanması ..... 70
3.2.3.2 Marshall stabilite ve akma deneyi ..... 72
3.2.3.3 Agrega hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlığı ..... 75
3.2.3.4 Agrega efektif özgül ağırlığının tayini ..... 76
3.2.3.5 Farklı bitüm miktarlarında karışımın maksimum özgül ağırlığı ..... 76
3.2.3.6 Karışımındaki agregalar arası boşluk (vma) yüzdesi ..... 77
3.2.3.7 Karışımındaki hava boşluğu ve asfaltla dolu boşluk yüzdesi ..... 77
3.2.4 Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi ..... 78
**4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR** ..... 80
4.1 Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçları ..... 80
4.2 Mineral Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığının Belirlenmesi ..... 84
4.3 Asfalt Çimentosunun Özgül Ağırlık Deneyi ..... 84
4.4 Numunelerde Kullanılan Agrega Gradasyonu ..... 85
4.5 Hazırlanan Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ..... 85
4.5.1 Marshall yönetmi ile yapılan birinci aşama ..... 86
4.5.2 Marshall yöntemi ile yapılan ikinci aşama ..... 89
4.5.3 Marshall yönetmi ile yapılan üçüncü aşama ..... 95
4.5.4 Marshall yönetmi ile yapılan dördüncü aşama ..... 99
4.5.5 Karışımlara ait marshall parametrelerinin kıyaslanması ..... 103
**5. SONUÇLAR** ..... 108
**KAYNAKLAR** ..... 110
**ÖZGEÇMİŞ** ..... 116

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN GERİ KAZANIM VE GENÇLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

**Sayed Orfan NOMANY**

**Aksaray Üniversitesi**
**Fen Bilimleri Enstitüsü**
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Salih BEKTAŞ**

## ÖZET

Günümüzde atık malzemelerin geri dönüşümü zorunluluk haline gelmiştir. Asfalt kaplamalar; doğal kaynaklardan oluşan %95 oranlarında agrega ve petrolden elde edilen bitümü içermektedir. Türkiye petrolde dış ülkelere bağımlı olması nedeniyle asfalt kaplamalarında bitüm kullanımının azaltılması ülke ekonomisinde büyük bir önem taşımaktadır. Gelişmiş ülkelerde asfaltın geri dönüşümü göze çarpacak kadar büyük bir oranda yapılmaktadır. Özlellikle ABD, Almanya ve Fransa gibi ülkelerde yaklaşık %80'e kadar asfalt kaplamaların geri dönüşümü yapılabilirken Türkiye'de bu oran yaklaşık %18-20 arasındadır. Bu nedenle konuyla ilgili yapılan çalışma ve araştırmaların artırılması gerekmektedir. Yapılan bu çalışma yoldan kazılan asfalt tabakasının tekrar binder tabakasında yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması için yapılmıştır.

Çalışmada yoldan kazılan yaşlanmış asfalt kaplamalardan bitüm elde edilmiş, 50/70 sınıfı bitümü ile belirli oranlarda karıştırılarak yeni bitüm hazırlanmıştır. Ayrıca yaşlanmış bitüm ile kantaron yağı kullanılmış, kantaron yağın gençleştirilebilirliği araştırılmıştır. Daha sonra yeni ve yaşlanmış bitümle kantaron yağı karıştırılarak yeni bitüm numuneleri hazırlanıp performansları incelenmiştir. Bu numunelere penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite deneyleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Çeşitli karışımlar ile yapılan Marshall deneylerinden elde edilen sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Binder tabakasının geri dönüşümü, RAP, Marshall dizaynı, Bitüm, Kantaron yağı.

**Haziran, 2019; 116 Sayfa**

**M.Sc THESİS**

# RESEARCH OF RECYCLING AND REJUVENABILITY OF BITUMINOUS MIXTURES

**Sayed Orfan NOMANY**

**Aksaray University**
**Graduate School of Natural and Applied Sciences**
**Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Salih BEKTAŞ**

## ABSTRACT

Today, recycling of waste materials has become a necessity. Asphalt pavements contain 95% aggregate and bitumen derived from natural resources. Reducing the use of bitumen in the asphalt pavement with Turkey carries a great importance in the national economy because of the country is dependent on foreign oil. In developed countries, the recycling of asphalt is remarkably high. While about 80% recycling of asphalt pavement in such countries especially the US, Germany, France are structured in Turkey the ratio is between about 18-20%. Therefore, studies and researches on the subject should be increased. For this reason, this study was conducted to investigate the re-usability of the asphalt layer excavated from the road again.

In the study, bitumen of old asphalt pavements excavated from the road has been obtained and bitumen samples have been prepared by mixing with 50/70 grade bitumen in various ratios. In addition, aging bitumen and centaury oil was used as a rejuvenator, and the rejuvenability of the weight of oil was investigated. After that, bitumen samples were prepared and their performances were examined by mixing new bitumen and aged bitumen oil. Penetration, softening point and ductility tests were performed and their results were compared. The results obtained from various Marshall Experiments were compared with each other.

**Keywords:** Binder layer recycling, RAP, Marshall Design, Bitumen.

**June, 2019; 116 Pages**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Şekil 1.1.** Kaplama yüzeylerini verimli bir şekilde kazan kazı makinesi ..... 3
**Şekil 1.2.** Soğuk düzeltme yöntemi ..... 6
**Şekil 1.3.** Kazınan malzemenin kamyonlara yüklenip sahadan uzaklaştırılması ..... 7
**Şekil 1.4.** Yerinde sıcak geri dönüşüm yöntemi ..... 11
**Şekil 1.5.** Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulaması ..... 11
**Şekil 1.6.** Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulamasının iş makineleri ..... 12
**Şekil 1.7.** Yüzeysel geri dönüşüm uygulaması ..... 13
**Şekil 1.8.** Yeniden kaplama uygulaması ..... 14
**Şekil 1.9.** Yeniden karıştırma uygulaması ..... 14
**Şekil 1.10.** Yerinde soğuk geri dönüşüm yöntemi ..... 17
**Şekil 1.11.** Plentte soğuk geri dönüşüm yöntemi ..... 18
**Şekil 1.12.** Mobil plentler ..... 19
**Şekil 1.13.** Tam derinlikli geri dönüşümün ufalanma ve rutubetlendirme ..... 20
**Şekil 1.14.** Tam derinlikli geri dönüşümün kırma sıkıştırma ve şekillendirme ..... 21
**Şekil 1.15.** Tam derinlikli geri dönüşüm rutubetlendirme ve silindiraj aşaması ..... 22
**Şekil 1.16.** Tam derinlikli geri dönüşüm izolasyon ve son tabaka uygulaması ..... 22
**Şekil 1.17**. Çimento katılarak yapılan tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması ..... 24
**Şekil 1.18.** Kireç kullanılarak yapılan tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması ..... 24
**Şekil 1.19.** Kireç ve köpük bitüm katkısı ile yapılan tam derinlikli geri dönüşüm ... 25
**Şekil 1.20.** Granüler malzemesi ile yapılan tam derinlikli geri dönüşüm yöntemi .... 25
**Şekil 2.1.** Çeşitli yıllarda asfalt kaplaması geri dönüşümünün farklı görüntüleri ..... 31
**Şekil 2.2.** Birinci nesil ekipmanlar ..... 31
**Şekil 2.3.** İkinci nesil ekipmanlar ..... 32
**Şekil 2.4.** Üçüncü nesil ekipmanlar ..... 32
**Şekil 2.5.** Çeşitli boyutlarda işlenmemiş (rap) frezelerinin bir stoğu ..... 36
**Şekil 2.6.** Sadece doğal agrega ve % 50 rap içeren alt temelin granülometri eğrisi .. 39
**Şekil 2.7.** Lwd sonuçları ..... 39
**Şekil 3.1.** Los angles deney cihazı ..... 49
**Şekil 3.2.** Organik madde deney sonucu ..... 51
**Şekil 3.3.** Mgso4 çözeltisinin hazırlanışı ..... 53
**Şekil 3.4.** Yassılık indeksi deneyin aleti ..... 54
**Şekil 3.5.** Soyulma deneyin sonucu ..... 55
**Şekil 3.6.** Metilen mavisi deney cihazı ..... 59
**Şekil 3.7.** Likit limit deney cihazı ve gereklileri ..... 60
**Şekil 3.8.** Elek analizi seti ..... 64
**Şekil 3.9.** Penetrasyon deneyin cihazı ..... 66
**Şekil 3.10.** Yumuşama noktası deney cihazı ..... 67
**Şekil 3.11.** Düktilite deney cihazı ..... 69
**Şekil 3.12.** Mekanik asfalt karıştırıcısı ..... 71
**Şekil 3.13.** Deney numuneleri ..... 72
**Şekil 3.14.** Hidrolik numune çıkarıcı ..... 73
**Şekil 3.15.** Su banyosu ..... 74
**Şekil 3.16.** Marshall deney cihazı ..... 75
**Şekil 4.1.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 86
**Şekil 4.2.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 87
**Şekil 4.3.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 87

**Şekil 4.4.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 87
**Şekil 4.5.** Vma'nın bitüm yüzdesi ile değişimi..... 88
**Şekil 4.6.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 88
**Şekil 4.7.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 91
**Şekil 4.8.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 92
**Şekil 4.9.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 92
**Şekil 4.10.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi..... 92
**Şekil 4.11.** Vma'nın bitüm yüzdesi ile değişimi..... 93
**Şekil 4.12.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 93
**Şekil 4.13.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 96
**Şekil 4.14.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 96
**Şekil 4.15.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 96
**Şekil 4.16.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi..... 97
**Şekil 4.17.** Vma'nın bitüm yüzdesi ile değişimi..... 97
**Şekil 4.18.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 97
**Şekil 4.19.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 100
**Şekil 4.20.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 100
**Şekil 4.21.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 100
**Şekil 4.22.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi..... 101
**Şekil 4.23.** Vma'nın bitüm yüzdesi ile değişimi..... 101
**Şekil 4.24.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi ..... 101
**Şekil 4.25.** Karşılaştırılmalı pratik özgül ağırlık (dp) değerleri..... 104
**Şekil 4.26.** Karşılaştırılmalı asfalt dolu boşluk yüzdesi değerleri ..... 104
**Şekil 4.27.** Karşılaştırılmalı boşluk yüzdesi değerleri ..... 105
**Şekil 4.28.** Karşılaştırılmalı v.m.a değerleri ..... 105
**Şekil 4.29.** Karşılaştırılmalı stabilite değerleri ..... 106
**Şekil 4.30.** Karşılaştırılmalı akma değerleri ..... 107

## ÇİZELGELER DİZİNİ

**Çizelge 1.1.** Geri dönüşüm yöntemleri ..... 5
**Çizelge 1.2.** Geri dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması ..... 26
**Çizelge 1.3.** Geri dönüşüm yöntemlerinin enerji tüketim çizelgesi ..... 27
**Çizelge 1.4.** Kaplama bozulma çeşitlerine göre geri dönüşüm yöntemi seçimi ..... 28
**Çizelge 2.1.** Abd'de eyalet başına hma kaplama karışımlarında rap ..... 34
**Çizelge 3.1.** Binder tabakası için gradasyon limitleri ..... 42
**Çizelge 3.2.** Kaba agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri ..... 43
**Çizelge 3.3.** İnce agreganın özellikleri ..... 44
**Çizelge 3.4.** Mineral fillerin gradasyon limitleri ..... 45
**Çizelge 3.5.** Organik maddenin analizi ..... 50
**Çizelge 3.6.** Dane boyuna göre agrega ağırlık miktarı ..... 52
**Çizelge 3.7.** Deneyde kullanılan elek aralığı ..... 52
**Çizelge 3.8.** Agrega içinde bulunabilecek yıkanabilir madde miktarı ..... 56
**Çizelge 3.9.** Binder tabakası için agrega granülometrisine ait şartname sınırları ..... 64
**Çizelge 3.10.** Trafik durumuna göre uygulanacak darbe sayısı ..... 72
**Çizelge 3.11.** Marshall metodu ile dizayn kriterleri ..... 79
**Çizelge 4.1.** Kaba ve ince agreganın özgül ağırlık deney sonuçları ..... 80
**Çizelge 4.2.** Kaba ve ince agrega deney sonuçları ..... 81
**Çizelge 4.3.** Parçalanma direnci deney sonucu ..... 81
**Çizelge 4.4.** Kil topakları ve ufalanabilir daneler deney sonucu ..... 81
**Çizelge 4.5.** Hava tesirlerine karşı dayanıklılık, (mgso4 ile kayıp) deney sonucu ..... 82
**Çizelge 4.6.** Soyulma mukavemeti deney sonuçları ..... 82
**Çizelge 4.7.** Yassılık indeksi deneyinin sonuçları ..... 83
**Çizelge 4.8.** Metilen mavisi deney sonucu ..... 83
**Çizelge 4.9.** Organik madde deneyinin sonucu ..... 83
**Çizelge 4.10.** Plastisite deneyinin sonucu ..... 84
**Çizelge 4.11.** Fillerin özgül ağırlık deney sonucu ..... 84
**Çizelge 4.12.** 50/70 bitümün özellikleri ..... 85
**Çizelge 4.13.** Çalışmada kullanılan agrega granülometresi ..... 86
**Çizelge 4.14.** Birinci aşamanın marshall dizayn verileri ..... 89
**Çizelge 4.15.** Birinci aşamanın dizayn sonuçları ..... 89
**Çizelge 4.16.** Bitüm deneylerin sonuçları ..... 90
**Çizelge 4.17.** Penetrasyon deneyin sonuçları ..... 90
**Çizelge 4.18.** Yeni bitümle kullanılmış bitüm karışımların özgül ağırlıkları ..... 91
**Çizelge 4.19.** İkinci aşamanın marshall dizayn verileri ..... 94
**Çizelge 4.20.** İkinci aşamanın dizayn sonuçları ..... 94
**Çizelge 4.21.** Özgül ağırlık deney sonuçları ..... 95
**Çizelge 4.22.** Üçüncü aşamanın marshall dizayn verileri ..... 99
**Çizelge 4.23.** Üçüncü aşamanın dizayn sonuçları ..... 99
**Çizelge 4.24.** Dördüncü aşamanın marshall dizayn verileri ..... 103
**Çizelge 4.25.** Dördüncü aşamanın dizayn sonuçları ..... 103

## SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|---|---|
| **AASHTO** | American Association of State Highway and Transportation Officials / Amerikan Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Birliği |
| **ABD** | Amerika Birleşik Devletleri |
| **AC** | Asfalt Betonu |
| **ARRA** | Asphalt Recycling and Reclaiming Association/ Asfalt Geri Dönüşüm ve İyileştirme Birliği |
| **ASTM** | Amerikan Society for Testing and Materials / Amerikan Deney ve Malzeme Kurumu |
| **BSK** | Bitümlü Sıcak Karışım |
| **CCPR** | Cold Central Plant Recycling/ Plentte Soğuk Geri Dönüşüm |
| **CIR** | Cold In Place Recycling/ Yerinde Soğuk Geri Dönüşüm |
| **CMA** | Cold Mix Asphalt / Soğuk Asfalt Karışımı |
| **CP** | Cold Planing/ Soğuk Düzeltme |
| **CR** | Cold Recycling/ Soğuk Geri Dönüşüm |
| **FDR** | Full Depth Recycling / Tam Derinlikli Geri Dönüşüm |
| **HIPAR** | Hot-In-Place Asphalt /Yerinde Sıcak Asfalt |
| **HIR** | Hot In Place Recycling/ Yerinde Sıcak Geri Dönüşüm |
| **HMA** | Hot Mix Asphalt / Sıcak Asfalt Karışım |
| **İSFALT** | İstanbul Asfalt Fabrikaları San. ve Tic. A.Ş. |
| **KGM** | Karayolları Genel Müdürlüğü |
| **RAP** | Reclaimed Asphalt Pavement / Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama |
| **°C** | Sıcaklık birimi (Celsius) |
| **cm** | Santimetre |
| **Dp** | Pratik özgül ağırlık ($g/cm^3$) |
| **Dt** | Teorik özgül ağırlık ($g/cm^3$) |
| **gr** | Gram |
| **inch** | ABD Uzunluk birimi (2,54 cm) |
| **Kg** | Kilogram |
| **L** | Litre |
| **mL** | Mililitre |
| **mm** | Milimetre |
| **s** | Saniye |
| **V** | Hacim ($m^3$) |
| **Va** | Hava boşluğu hacmi, % |
| **VFA** | Voids Fillet With Asphalt / Asfalt Dolu Boşluk |
| **Vh** | Briketteki hava boşluğu, % |
| **VMA** | Voids in Mineral Aggregate / Agregalar Arası Boşluk |

# 1. GİRİŞ

Dünya nüfusu, her geçen yıl büyük bir hızla artmaya devam etmektedir. Artan nüfus, yeni yaşam alanlarının oluşmasına ve doğal kaynakların tüketiminin, artmasına sebep olmaktadır. Teknoloji ve sanayi alanındaki gelişmeler, insanların tüketim alışkanlıklarını değiştirmiş ve sürekli olarak yeniyi talep eden tüketici tipini oluşturmuştur. Nüfusun artması ve yeni ürünlere olan tüketim talebinin aşırılığı, üreticilerin doğal kaynaklara olan ihtiyacını arttırmıştır. Özensiz ve verimsiz kullanım yöntemleri, doğal kaynakları hızla tüketmekte, soruna çözüm bulmak için de yeni kaynak arayışı içine girilmiştir. Bunun sonucunda, doğal yaşam alanları tahrip edilmekte ve Dünya'nın iklimini etkileyecek boyutta, zararlı faaliyetler yapılmaktadır.

20. yüzyılda artan nüfusunun, Dünya'ya verdiği zararlar dikkate alınmaya başlanmış, kaynakların verimli kullanılması ve çevreye verilen zararın azaltılmasına yönelik çalışmalar başlatılmıştır. Üretim sonrasında ortaya çıkan atık maddelerin, sahalarda depolanarak yaşam alanlarını işgal etmesi yerine diğer alanlarda değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar, zaman ilerledikçe giderek önem kazanmıştır. Son yıllarda Türkiye'de önem kazanan geri dönüşüm ve atık maddelerin kullanımı, kaynakların verimli kullanılması ve gelecek nesillere bırakılacak yaşam kaynaklarının korunabilmesi ve uygulanması gereken öncelikli bir konudur.

İnşaat sektörü Türkiye'nin en önemli sanayi kollarından birtanesidir. 2010 yılı verilerine bakıldığında Türkiye'de inşaat sektörünün gayri safi milli hasıladaki payı %6,4 olarak belirlenmektedir. İnşaat sektörü önemli ölçüde ham maddeye ihtiyaç duymaktadır. Karayolu inşaatının temel malzemeleri, taş ocaklarından elde edilen kırmataş ve petrolden elde edilen bitümdür. Türkiye'de her dönem öncelik verilen karayolu inşaatı, doğal taş kaynaklarının tüketilmesinde önemli paya sahiptir. 2013 yılı içerisinde toplam üretilen bitümlü sıcak karışım miktarı 46,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Yeni taş ocaklarına olan ihtiyaç, doğal yaşam alanlarına zarar verilmesine neden olmaktadır. Doğal alanlar içerisinde, taş ocaklarının kurulması ve buralardan yapılan üretim sonucu oluşan atıklar, çevre bölgelerde kirlilik yaratmaktadır [52,59].

Asfalt kaplamaların geri dönüşüm teknolojisi gelişmiş ülkelerde, bitümlü malzeme inşaat endüstrisinde en çok kullanılan yöntemdir. Günümüzde, Avrupa'da 50 milyon ton üzerinde yaklaşık %70 geri dönüştürülmekte olan asfaltın en sık geri

dönüştürülmüş malzemesi haline getirildiği bilinmektedir **[**65**]**. Örneğin, ABD'de, yaşlanmış asfalt kaplamalardan toplanan toplam RAP (Geri dönüştürülmüş asfalt kaplamalar) miktarının yaklaşık % 80'i olan geri dönüşüm amacıyla yılda 33 milyon ton RAP kullanılmaktadır. Yıllık geri dönüşüm için kullanılan RAP miktarı, İsveç'te yaklaşık 0.84 milyon ton, Almanya'da 7.3 milyon ton, Danimarka'da 0.53 milyon ton ve Hollanda'da yaklaşık 0.12 milyon tondur. 1995 yılında, toplam sıcak karışım üretiminin %30'unu oluşturan Japonya'da 20 milyon ton geri dönüştürülmüş sıcak karışım üretilmiştir. Hindistan'da ise geri dönüşüm yöntemi henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır [16].

Bir yol kaplaması sürekli trafik ve meteoroloji eylemlerine maruz kalmaktadır. Bu iki faktör, malzemelerin doğal yaşlanması ile birlikte, kaplamanın bozulma sürecini hızlandırmaktadır. Yolun yaşlanma ve bozulmasına karşın bakım ve onarım işlemini gerektirmektedir. Bakımda gerekli bütçe ve çevresel sorunları, insanları farklı yöntemlere başvurmaya mecbur bırakmıştır. Bu bağlamda, kaynakların tükenmesini önleme, çevresel sorunları azaltma ve maliyetleri düşürmenin bir yolu olarak asfalt kaplamaların geri dönüşümü (RAP) önemli bir rolü oynamakta ve hatta ihtiyaç haline gelmektedir.

Günümüzde, dünya genelinde yol ve otoyollar yüksek oranda sıcak karışımlı asfalttan yapılmaktadır. Asfalt kaplamaları zamanla yaşlandıkça rehabilite edilmelidir. Karayolu ve karayolu altyapısının korunması, bakımı ve genişletilmesi için kaplamalarda kullanılan doğal kaynakların sürekli olarak tedarik edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, kaynakların tüketilme endişesine yol açmıştır.

Mevcut asfalt kaplamaların malzemeleri, genel olarak yeniden kaplama, rehabilitasyon ve rekonstraksiyon işlemlerini içermektedir. Bu malzemeler gerekli işlemlerden geçirildikten sonra, geri kazanılmış asfalt kaplaması (RAP) olur. Bu uygulama (RAP), diğer yol rehabilitasyon işlemleri için yararlı olabilecek değerli asfalt bağlayıcı ve agrega içermektedir.

RAP (Recycling Asfalt Pavement): geri kazanılmış (Geri Dönüştürülmüş) asfalt kaplamaları anlamına gelmekte olup asfalt ve agrega içeren sökülmüş ve / veya işlenmiş malzemeler için kullanılan bir terimdir. RAP malzemeleri, yaşlanmış asfalt kaplamalar ve üretim tesislerinden elde edilmektedir. RAP, asfalt çimentosu ile kaplanmış yüksek kaliteli gradasyonlu agregalardan oluşmaktadır. RAP malzemesi;

asfalt kaplamaların yol inşaatı veya onarımı, esnek kaplamanın rekonstrüksiyonu / yeniden kaplama (milling) işlemleri sırasında üretilmektedir. RAP malzemesi en çok geri dönüştürülmüş asfalt kaplamalarda agrega ve bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Ancak temel, alt temel, stabilize, dolgu malzemesi ve hatta diğer yapılarda farklı amaçlarda da kullanılabilmektedir. Özet olarak, geri kazanılan asfalt kaplaması (RAP), daha pahalı, virjin agrega ve bağlayıcıların yerini alabilecek kadar değerli ve yüksek kaliteli bir malzemedir.

Austroads'un "Asfalt Geri Dönüşüm Kılavuzu"na göre; genel olarak, geri kazanılacak bozulmuş kaplamaların malzemelerinin % 100'ü geri dönüştürülmeye elverişlidir.

RAP malzemesini elde edilebilmenin en yaygın yöntemlerden biri yeniden kaplama işlemidir. Tam derinlikli kaplama yıkımı ve atık asfalt karışım tesisleri gibi yaygın olarak kullanılan diğer RAP yöntemleri de vardır. Geri dönüşümlü asfalt kaplamaları (RAP) elde edebilmek için uygulanması gereken iki adım vardır:

1. RAP'ı elde etmek için ilk önce; hangi işlemlerden birini kullanacağımızı belirlemeliyiz. Yeniden kaplama işleminde RAP, elde etmek için kazma makinesine (milling machine) ihtiyaç duyulmaktadır. Öte yandan, tam derinlikli yönteminde, asfalt kaplamanın öğütülüp ufalanması için Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi, kırma makinesi veya buldozer gerekmektedir.




**Şekil 1.1.** Asfaltı öğüten ve kaplama yüzeylerini verimli bir şekilde kazan kazı makinesi (millimg machine) [69].

2. İstenen malzeme ufalandıktan sonra, elde edilen malzemenin işlenmesi ikinci adımı oluşturmaktadır. Mevcut malzeme ufakandıktan sonra hem merkezi plentlerde hem de yerinde kullanılabilmektedir. İlk seçenek için, RAP'in tekrar ufalandığı, elendiği, taşındığı ve istiflendiği merkezi bir işleme tesisine taşınması için toplanıp kamyonlara yüklenir. Aksi takdirde, otomatik pülverizasyon makinesi kullanılarak, kaplama yerinde öğütülüp ufalanabilir ve agrega eklenir.

Asfalt betonu dünyada kullanılan en yaygın kaplama yüzeyi malzemelerinden biridir. Asfalt; bağlayıcı (bitüm), agrega parçacıkları ve hava boşluklarının karışımından oluşan çok yüksek sıcaklıklarda (-180 ° C) yapılan gözenekli bir malzemedir . Birkaç yıl kullanıldıktan sonra, esneklik kapasitesi azalırken asfalt betonunun sertliği artar. Bitüm daha kırılgan hale gelip mikro çatlakların gelişmesine neden olur ve sonuçta agrega ve bağlayıcı arasındaki ara yüzün çatlaması oluşur[11]. Bu, esas olarak, bitümün hidrokarbon bileşiklerinin oksijen ile kimyasal reaksiyonu olan oksidasyonun bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır [18].

RAP, daha önce de belirtildiği gibi, yaşlanmış bitüm ve agrega içeren, bozulmuş bir bitümlü karışımdır. Dolayısıyla, yeni karışıma kıyasla performansı daha düşük olacaktır. Bitümlü geri dönüşümün amacı, yeni karışım kadar iyi performans gösterme eğiliminde olacak şekilde RAP'in özelliklerini geri kazanmaktır. Bu nedenle, bitümlü geri dönüşüm işlemleri, yeni bitümün, gençleştiricilerin ve yeni agregaların uygun oranlarda karıştırılmasını içerir. Gençleştiriciler, yaşlanmış bitümün yüksek viskozitesinin düşürülmesine yardımcı olan, düşük viskoziteli yağlı bir maddedir. Bu çalışmada, normal bitüm ve kullanılmış bitüm ile gençleştirici (Kantaron Yağı) kullanılarak, kullanılmış bitümün gençleştirebilirliği ve davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

## 1.1 Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemleri

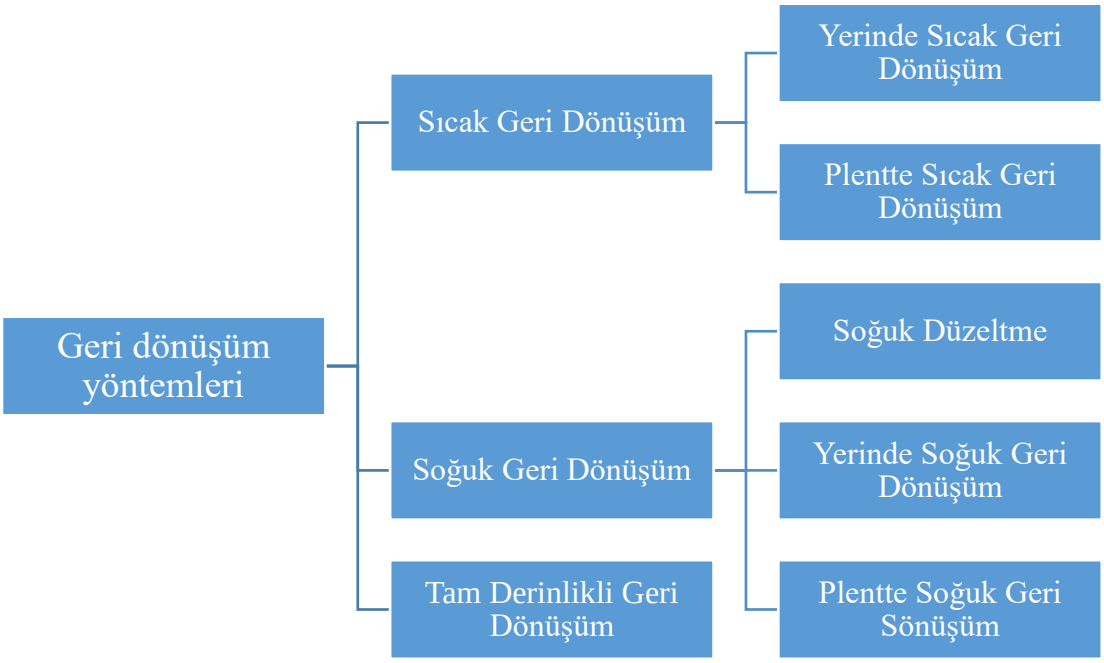
### 1.1.1 Genel

İngiltere, geri dönüştürülmüş malzeme miktarı bakımından Avrupa ülkeleri arasında birinci sırada yer almaktadır.

Asfaltın geri dönüşüm yöntemleri sıcak ve soğuk olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Sherwood 1995). Sıcak ve soğuk geri dönüşüm yöntemleri de kendi içreresinde yerinde ve plentte geri dönüşüm işlemleri olarak iki çeşide ayrılmaktadır.

Tüm geri dönüşüm işlemleri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir: Çizelge 1.1'e göre, sıcak geri dönüşüm, yerinde sıcak geri dönüşüm, plentte sıcak geri dönüşüm, soğuk düzeltme, yerinde soğuk geri dönüşüm ve plentte soğuk geri dönüşüm şeklindedir.

**Çizelge 1.1.** Geri dönüşüm yöntemleri.



### 1.1.2 Geri dönüşüm türleri

#### 1.1.2.1 Soğuk düzeltme (Cold planing)

Bu yöntem, uygulama yapılacak kaplamanın istenilen derinlik, boykesit ve enine eğimine dikkat edilerek, yüzeyin kaldırılması olarak açıklanabilir. Soğuk düzeltme (CP) uygulaması bizlere, işlemin bitmesine müteakip yolun trafiğe açılmasını sağladığı gibi, diğer asfalt geri dönüşüm türlerinden birisinin uygulamasına da imkan verir. İşlem yapılan tabaka kaldırılarak temizlenir. Asfalt tabakaların birbirine daha güçlü yapışmasını olanak veren tack coat tabakası uygulandıktan sonra standart karışım asfalt kaplama veya geri dönüşümlü asfalt tabakası ile kaplanmasına imkan veren üç değişik yöntem sağlamaktadır. Ayrıca soğuk düzeltme işlemi, yolun pürüzlenerek sürtünmeyi arttırıp kayganlığı azaltmak amacıyla yapılmaktadır.

Soğuk düzeltme uygulamasındaki kazıma makineleri yol yüzeyini amaçlanan derinlikte ve enine eğimle kesebilen, kendinden yürür ekipmanlardır. Kazıma işlemi enasında oluşacak tozu kontrol etmek ve makine parçalarının yıpranmasının önüne geçmek için su kullanır. Su, kesici uçların bulunduğu alana enjektörler kullanılarak verilmektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte üretilen kazma makinelerinde otomatik eğim kontrolü özelliği, istenilen derinlikte ve eğimde kazı yapmayı çok basit bir işlem haline getirmiştir. Bu sayede, yolun bozulma derecesine göre tabakalar kaldırılabilmekte hatta bitümlü tabakaların hepsi kazınarak, yolun temel seviyesine ulaşılabilmektedir. Soğuk düzeltme yönteminin örneği Şekil 1.2.'de verilmiştir.



**Şekil 1.2.** Soğuk düzeltme yöntemi [70].

Şekil 1.3.'de gösterildiği gibi, kazıyıcı tarafından sökülen asfalt kaplama malzemesi konveyörler ile kamyonlara yüklendikten sonra kazı alanından gönderilir.




**Şekil 1.3.** Soğuk düzeltme ve kazınan malzemenin kamyonlara yüklenip sahadan uzaklaştırılması [70].

Kazıma ile elde edilen malzeme kullanılarak yapılan geri dönüşüm sonucunda elde edilen malzeme (RAP) çok sayıda kullanım sahasına sahiptir. Yeni yapılacak asfalt karışımlarda kullanılabileceği gibi hendek kaplamalarında, yolların tamirinde, yol inşaatının ana gövdesini meydana getirmekte ya da stabilize yol yapımında kullanılabilmektedir.

Soğuk düzeltme (CP) uygulamasının faydaları:

- Asfalt kaplamalarının yama ya da onarım gerektiren çatlak/bozuk bölümlerinin kaldırılıp daha sonraki işlemlere ön hazırlık yapılmasını sağlar.
- Geri dönüşüm uygulamaları arasında en az enerji harcayan uygulamadır.
- Yıpranmış veya okside olmuş asfalt kaplamalarının kaldırılmasını ve tekerle izlerinin yok edilmesini sağlar.
- Gerekli olduğu hallerde kaplamanın yüzeysel drenaj hattının yeniden belirlenmesine imkân sağlar.
- Kaplamanın sürtünme katsayısını arttırır.
- Kaplamanın boyuna profili ve enine eğimlerinin projeye göre uyglanmasını sağlar.
- Randımanlı çalışma imkânı sunar.
- Kamuya verilen rahatsızlığı minimize eder.

#### 1.1.2.2 Sıcak geri dönüşüm

Geri dönüşüme tabii tutulacak yaşlanmış asfalt kaplama malzemenin, asfalt plentlerinde virjin agrega ve bitüm malzemesi ile yüksek ısı şartlarında yumuşatılarak karışıma sokulması sonucunda geri dönüşümlü karışım oluşturulması işlemi olarak açıklanabilir. Geri dönüşüm işleminde kullanılacak plentlerin bu amaca uygun dizayn edilmiş olması gereklidir. Sıcak karışım asfalt üretimi için kullanılan bu yöntem; yeni agrega kaynaklarının kullanımını azaltması, enerji tasarrufu ve ekonomik açıdan sağladığı faydalar nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir [27].

Yerinde yapılan geri dönüşüm işlemiyle arasındaki temel fark ısıtma işleminin bu işe göre kurulmuş plentler üzerinde gerçekleştirilmesidir. Yaşlanmış asfalt kaplamadan kazıma yöntemi ile depolanmış malzeme, ağırlıklı tip veya sürekli tip olarak adlandırılmış asfalt plentlerinde uygulamaya tabii tutulur. Plentler üzerine konan malzeme, değişik yöntemler kullanılarak çevreye düşük duman ve emisyon yaymadan ısıtılarak yumuşatılır ve kullanılmamış malzemeler ile karıştırılarak yeni karışım elde edilir. Yapılmış olan pek çok labaratuvar testleri bu yöntem kullanılarak elde edilen karışımın tamamen kullanılmamış malzemeler ile elde edilen karışımlar ile aynı kalite ve performans seviyesine ulaşabildiğini ispatlamıştır.

Geri dönüşüm uygulamalarından sıcak geri dönüşüm uygulaması (Hot Recycling) Amerika Birleşik Devletleri gibi pek çok ülkede en çok kullanılan uygulamadır. Amerika birleşik devletlerinin Devlet Karayolları Kurumu istatistiklerine göre yılda 50 000 000 tondan fazla RAP üretimi yapılmaktadır. Bu üretimin %33'u bu metod yoluyla yeniden kullanıma sunulmaktadır. % 47'si diğer geri gönüşüm yöntemlerince kullanılmakta ve %20'den az bir kısmı kullanılamamaktadır [25].

Ülkeler arasında sıcak geri dönüşüm işleminde kullanılacak RAP yüzdesi farklılıklar göstermektedir. Bunun sebeplerini teknolojik gelişmeler sayesinde karışımda RAP yüzdesinin artırılması ile geri dönüşüme tabii tutulacak malzemelerin kapsamına bitümlü temel tabakaların dışında daha önce kullanılamayan binder ve son kat aşınma tabakasının da alınması olarak açıklayabiliriz.

Proje konusu olan asfalt kaplamanın kazma işlemi genellikle bu amaç için dizayn edilmiş asfalt kazma makinelerinin kullanılması ile yapılan soğuk düzeltme uygulamasıdır. Büyük ölçekli ve pahalı projelerde bu uygulama kullanılmaktadır.

Ayrıca kazma işlemi loader, riperli dozer, ekskavatör adı verilen iş makineleriyle de yapılabilmektedir.

Sıcak geri dönüşüm uygulaması yapılırken dikkate alınması gereken konulardan birisi; geri dönüşüme girecek malzemenin karışım işlemi başlamadan önceki rutubet değerinin en az seviyede hazır tutulmasıdır. Çünkü RAP ile virjin agrega arasında yaşanacak olan ısı etkileşiminde RAP'ın rutubetinin yüksek olması virjin agreganın da karıştırma esnasında rutubetini yükseltecektir. Bunun sonucu olarak da yumuşatma işlemi için harcanacak enerji agreganın kurutulmasına harcanacağından üretim kapasitesi ve maliyet olumsuz yönde etkilenecektir. Sıcak geri dönüşüm uygulamasından geçerek elde edilen karışımın standart bitümlü sıcak karışımdan (BSK) kullanım, performans, kalite ve dayanıklılık özellikleri noktasında bir farkı olmadığı gözlemlenmiştir [25].

Sıcak karışım uygulamasının gerçekleştirildiği plentlerden biri ağırlıklı tip plenttir. Bu plentlerde uygulamaya ilk önce virjin agreganın yüksek sıcaklık derecelerine kadar ısıtılması ile başlanır. Akabinde dönüştürülecek malzeme direkt olarak ya da kurutucuda kurutulduktan sonra miksere katılır. Bu metod duman ve emisyonu azaltmaya imkan vermekte ancak agreganın yüksek ısı derecelerine kadar ısıtılmasının çok üzün sürmesi, plentten alınacak verimi düşürmektedir. Mikserde karıştırma işlemi yapılırken ısı taransferi gerçekleşir. Isı transferinin en uygun sıcaklığa ulaşmasını temin edebilmek zorunda olma gerekliliği, her bir harmanda %25 ile %40 arasında geri dönüşüm malzemesi üretimine olanak verir. Bu da çok düşük bir orandır. Bu metodun bir dezavantajı da yüksek ısıtma için harcanacak elektrik maliyetinin fazla olmasıdır. Yüksek ısı nedeniyle toz kollektörleri ve karıştırıcıda çok çabuk oluşan yıpranma ve aşınmada önemli bir sorun yaratır [30].

Sıcak geri dönüşüm uygulamasının gerçekleştirildiği ikinci tür plentlere ise sürekli tip plent denir. Bu plentlerdeki uygulama geri dönüştürülen yaşlanmış kaplama malzemesinin mikser/kurutucuya doğrudan atılması ile yapılır.

Sürekli tip plente ile yapılan ilk uygulamalarda yüksek sıcaklık nedeniyle bitümün buharlaştığı görülmüş, bunun sonucunda da aşırı duman oluşmuştur. Sisteme ait emisyon kontrol ekipmanları duman içinde uluşan küçük çaplı partikülleri turmakta kifayetsiz kalmış, yoğuşan malzeme bacada tutulamadığından zararlı emisyon oluşumuna sebebiyet vermiştir. Bunu önlemek için 450 ℃ buharlaşma derecesine

sahip bitümün içine konulduğu mikser/kurutucuda oluşan gazların sıcaklıkları kimi zaman 2000 ℃'ye ulaştığından, geri dönüşüm malzemesi mikser/kurutucuya konurken ısı derecelerine son derece dikkat etmek geriklidir.

Günümüzde yasaların belirlediği emisyon seviyelerinin üzerine çıkmadan %60 cevarında geri dönüştürülmüş malzeme üretebilecek plentler kurulmuştur. Bu plentler tasarlanırken plent silindiri agrega ve geri dönüştürülmüş malzemenin bitüm ve filler ile karıştırılmadan önce eşit bir şekilde (homojen) karınmasını sağlayacak kademeler oluşturmak suretiyle yeniden dizayn edilmiştir. Ayrıca bu kademeler geri dönüştürülmüş malzemeyi ısı ünitesini yarattığı yüksek ısıya karşı muhafaza eder [30].

#### 1.1.2.3 Yerinde sıcak geri dönüşüm

Yaşlanmış asfalt kaplama kazma makinesi tarafından kazınır ve asfalt plentine gönderilir. Plentte kazılmış malzeme, virjin agrega, bitümlü bağlayıcı ve geri dönüşüm katkı maddesi (gerekli görülürse) ile birlikte ısıtma işlemine tabii tutulur. Yumuşayan kazılmış malzeme ve kullanılmamış malzemelerle yeni karışım meydana getirildikten sonra karışım finisher bölümüne aktarılır. Finisher yeni karışımı serer ve sıkıştırır. Böylece geri dönüştürülmüş BSK tabakası oluşturulur. Yerinde sıcak geri dönüşümün sağlamış olduğu faydalar;

1. Çukurların düzeltilmesi
2. Araç tekerlek izlerinin yok edilmesi
3. Oluşmuş yol çatlaklarının giderilmesi
4. Yaşlanmış bitümlü bağlayıcının gençleştirilmesi
5. Trafiktaki kesinti süresinin kısaltılması
6. Nakliye masraflarının ortadan kaldırılması olarak sıralayabiliriz [36].

Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulamasında kazılan kaplamanın hepsi kullanılır. Uygulamanın ilk yapıldığı dönemlerde uygulama derinliği 20-50 mm arasındayken geliştirilen teknoloji imkânlar bu derinliğin 75 mm'ye kadar çıkmasını sağlamıştır [48].

Şekil 1.4., 1.5. ve 1.6.'da yerinde sıcak geri dönüşüm yöntemi, uygulaması ve iş makineleri verilmiştir.



**Şekil 1.4.** Yerinde sıcak geri dönüşüm yöntemi [74].

Hava şartların elverişli olduğu takdirde yerinde sıcak geri dönüşüm uygulamasıyla bir çalışma gününde 2-3 km bir yol kaplama işlemi yapılabilmektedir.



**Şekil 1.5.** Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulaması [72].

Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulaması ardarda dizilen iş makineleri vasıtasıyla proje konusu olan yaşlanmış asfalt kaplamanın üzerinde yapılır. Bu iş makinelerine KATAR adı verilir.



**Şekil 1.6.** Yerinde sıcak geri dönüşüm uygulamasının iş makineleri [73].

Yerinde sıcak geri dönüşüm üç farklı şekillerde uygulanabilmektedir.

- Yüzeysel geri dönüşüm (Surface Recycling)
- Yeniden karıştırma (Remixing)
- Yeniden kaplama (Repaving )

**Yüzeysel geri dönüşüm**

Yüzeysel geri gönüşüm uygulamasında yaşlanmış asfalt kaplamadan başka hiçbir şey kullanılmaz. Yani virjin agrega ya da kullanılmamış bitüm kullanılmaz. Ancak gerekli görülürse katkı maddesi eklenebilir. Hiçbir malzemenin eklenmemesi kaplama kalınlığının değişmemesini sağlamaktadır. Bu uygulama genellikle trafiğin az olduğu yerlerde kullanılır. Kaplama yüzey ısıtıcı makineler vasıtasıyla ısıtılarak yerinden kaldırılır. Mikserde ısıtılıp karıştırıldıktan sonra tekrar serilerek sıkıştırılır. Şekil 1.7. yüzeysel geri dönüşüm yöntemine örnektir.



**Şekil 1.7.** Yüzeysel geri dönüşüm uygulaması [72].

**Yeniden kaplama yöntemi**

Yeniden kaplama yöntemi yüzeysel bir geri dönüşüm yöntemidir. Yeniden kaplama (Repave), yol kaplama yüzeyi bozulduğunda, bağlayıcıyı aşırı sertleştirmeksizin yerinde kullanım için uygun bir tekniktir.

Bu yöntemde yeni bitümlü sıcak karışım malzemesi (BSK) ile geri dönüştürülmüş malzeme (RAP) birlikte kullanılır. İlk önce yeni bitümlü malzeme serilir, üzerine geri dönüştürülmüş malzeme serilerek birlikte sıkıştırılır. Bu işlem iki katmanın birbirne bağlanmasını sağlar [50].

Yeniden kaplama yönteminin uygulanması Şekil 1.8.'de verilmiştir.



**Şekil 1.8.** Yeniden kaplama uygulaması [72].

**Yeniden karıştırma yöntemi**

Bu yöntemin uygulanmasında; yaşlanmış asfalt kaplama ısıtılıp yumuşatıldıktan sonra kazınarak miksere gönderilir. Burada virjin agrega, bitüm ve gerekli ise katkı maddesi eklenip karıştırılarak yeni karışım elde edilir. Ardından serilip sıkıştırılır. Şekil 1.9.'da da görüldüğü gibi, yeniden karıştırma yöntemi yüzeysel geri dönüşüme göre daha fazla onarım derinliğine sahiptir.



**Şekil 1.9.** Yeniden karıştırma uygulaması [72].

#### 1.1.2.4 Soğuk geri dönüşüm

Soğuk geri dönüşümü; asfalt kaplamaya hiçbir ısıtma işlemi uygulanmadan proje konusu olan asfalt kaplamanın geri dönüştürme işlemine tabi tutulması şeklinde açıklayabiliriz. Soğuk geri dönüşüm türünü iki şekilde yapılabilir.

1. Yerinde soğuk geri dönüşüm (Cold in-place recycling)
2. Plentte soğuk geri dönüşüm (Cold central plant recycling)

Yerinde soğuk geri dönüşüm işlemi Katar (tren) adı verilen ve içeresinde asfalt kazma makinesi, asfalt kırma/parçalama ve eleme üniteleri, karıştırıcı, serici, silindir, buldozer, greyder, kamyon gibi pek çok ekipmanın bulunduğu kombine sistemler aracılığıyla yapılır. Bu makine ve ekipmanlar yapılacak işe göre dizayn edilirler ve birbirlerinin peşisıra dizilirler. Uygulamanın gerçekleşmesı projeye konu olan asfalt kaplama tabakasının projeye göre temel tabaka da dahil olmak üzere istenen derinlikte yerinde veya kaldırarak soğuk olarak karıştırılıp (gerekli durumlarda katkı malzemesi ilave edilir) yeniden serilmesi şeklinde olur.

Geri dönüştürülerek elde edilen karışımın güçlendirilmesi ve yumuşatılması için asfalt, kireç, çimento, agrega ve çeşitli kimyasal atıkların kullanıldığı durumlar da vardı. Projede amaçlanan asfalt kaplamanın performansını istenen seviyeye ulaştırmak için viskoziteyi düşürmek ve kesme veya penetrasyonu artırmak için yıpranmış asfalt bağlayıcıyı güçlendirmek gereklidir. Bu da kullanılan geri dönüştürme ve katkı maddelerinin miktarının ne kadar olmasının bilinmesini gerektirmektedir. Bunun için stabilite, esneklik, nem hasasiyeti gibi birçok deneyler yapılır. Deney sonuçlarına göre emülsifiye edilmiş ya da köpürtülmüş bitümden oluşan bir veya birden çok maddesnin eklenmesi ile projeye konu olan asfalt karışımı oluşturulur.

Soğuk asfalt karışımlar için asfalt enstitülerinin önerisiyle birçok firma Marshall karışım tasarım deneyinin bir versiyonunu kullanmaktadırlar. Dünya genelinde soğuk asfalt karışımı sıcak asfalt karışıma denek sayılmasa da kırma taş ve çakıldan daha üstün olarak kabul edilir. Genellikle de yolun dayanıklılık süresini uzatmak için kaplama yüzeyi olarak kullanılır.

Geri dönüştürülmüş soğuk karışımlar normal yoldan elde edilmiş soğuk karışımlarla denk olarak görülür.

**Yerinde soğuk geri dönüşüm**

Yerinde soğuk geri dönüşüm yöntemi yaşlanmış asfalt kaplama tabakasının ‘‘Katar’’ Tren adı verilen makine ve ekipmanları yardımıyla kaplamanın temel veya alt temel tabakası da dahil olmak üzere parçalanıp geri dönüştürüldükten sonra tekrar serilip sıkıştırılmasıyla yeni bir temel tabaka meydana getirmek için kullanılan bir yöntemdir. 10-15 cm’ye kadar uygulanabilmektedir. Yaşlanmış kaplamaya bağlayıcı olarak bitüm, çimento, kireç, gibi malzemeler eklenebilir. Isı işlemi uygulanmadan yapılacak bir yöntemdir [42].

Bu yöntem gerek malzeme taşıma maliyetlerinin gerek enerji maliyetlerinin en düşük olduğu yöntemdir. En büyük handikapı, yöntemin uygulanmasında kullanılan makine ve ekipman çokluğunun trafiği olumsuz etkilemesidir. Bu nedenle daha çok trafik yoğunluğunun düşük olduğu kaplamalarda kullanılmaktadır.

Uygulamaya kazıcı makinelerle kaplamanın kazılmasıyla başlanır. Daha sonra ezici, kırıcı, parçalayıcı makine ve ekipmanlarla ezilerek ufalanır. Gereken miktarda soğuk agrega ve bağlayıcı eklendikten sonra sıkıştırılıp havalanması için beklenir. Bitümlü emülsiyon malzemesi kullanılmış ise rutubet oranına çok dikkat edilmelidir. Serme ve sıkıştırma işleminden sonra yolun trafiğe açılması için bitümlü emülsiyonun yol yüzeyine etkisi tam olarak sağlanıncaya kadar beklenmelidir [74].

Soğuk karışımların yerinde karışım yöntemleri kullanılarak üretilmesi taşıma maliyetlerini azalttığı için ekonomik bir yöntemdir. Ancak karışıma sunulan agreganın hepsini bitüm ile kaplamak çoğu zaman mümkün olmaz. Bunun önüne geçmek için karıştırma yönteminin seçiminde bitümlenmemiş agrega seviyesini çok düşük tutacak bir yöntemin seçilmesine dikkat edilmelidir [12].

Virjin agreganın yerinde soğuk karışımlara eklenmesinin karışımdaki boşlukları ve kabarmayı azalttığını, stabiliteyi arttırdığını yapılan deneyler göstermiştir. Yine bu deneylerde geri dönüştürücü malzemelerin ağırlığını yıpranmış kaplama (kuru) ağırlığının %2-3’e kadar olması ideal oran olarak belirlenmiş, bu oranın; karışımın kalitesini maximum düzeye ulaştırdığı görülmüştür.

Yerinde soğuk geri dönüşüm yönteminin uygulaması Şekil 1.10.’da verilmiştir.



**Şekil 1.10.** Yerinde soğuk geri dönüşüm yöntemi [72].

Bozulmuş 10-15 cm derinliğe sahip kaplamaların iyileştirilmesinde en çok kullanılan yöntem yerinde soğuk karıştırma yöntemi olup çok iyi sonuçlar verir. Yerinde soğuk geri dönüşümde üç çeşit karıştırma yöntemi vardır:

1. Grayder ile karıştırma
2. Döner karıştırma
3. Mobil plent karıştırması

Karışım elde edildikten sonra serme ve sıkıştırma işlemi için ağır lastik tekerli ve demir bantlı silindir makineler kullanılmaktadır [50].

Yerinde soğuk geri dönüşümün avantajlarından biri de her uygulamanın aynı yerde ve aynı makinelerle yapılmasından dolayı uygulamanın her aşamasına yerinde ve anında müdahele etme imkanının olmasıdır.

**Plentte soğuk geri dönüşüm**

Soğuk geri dönüşüm uygulamasının plentte yapılması genellikle stoklanmış asfalt kaplamaların kullanıma sokulması için yapılmaktadır. Bunun için yeterli stoğa sahip olmak plent kurulumu için maliyet açısından önemlidir [50].

Yerinde soğuk geri dönüşüm metodunda mikser adı verilen mobil plentlerin aksine sabit plentlerle uygulama gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamayla üretilen malzemenin yol yapımında hemen kullanılabileceği gibi stoklanarak saklanabilme özelliği vardır.

Bu özellik acil durumlarda hızlı müdahele imkanı verir. Bakım ve yama işlemleri için de kullanılabilir. Yaşlanmış ya da bozulmuş asfalt kaplamalar kazıcı makineler ile kazınıp yerinden kaldırıldıktan sonra kırıcılar tarafından ezilip öğütülür ve plent depolarında stoklanır. Stoklanan malzeme plentte geri dönüşüme tabi tutulmak istendiğinde katkı malzemesi eklenerek karıştırıcılarda karıştırılır. Ancak bu karıştırmanın süresi çok dikkatli ayarlanmalıdır. Zira çok uzun süre karıştırıldığında emilsiyon halindeki bitümün yumuşayıp kırılmasına, az karıştırldığında ise agrega yüzeyleri yeterli bitümle kaplanmadığı için karışım içindeki hava oranının fazla olmasına neden olmaktadır. Ayrıca en uygun karıştırcının seçilmesi de önemlidir. Katkı malzemesi olarak portland çimentosu, asfalt emilsiyonları, su, sönmemiş kireç, uçucu kül, emilsiyon halindeki bitüm gençleştiriciler örnek olarak verilebilmektedir [25].

Şekil 1.11. plentte soğuk geri dönüşüm yöntemine örnektir.



**Şekil 1.11.** Plentte soğuk geri dönüşüm yöntemi [42].

Plentte üretimin yerinde üretime göre bazı avantajları vardır.

- Hava koşulları yerinde üretim için önemli iken plentte üretimde önemi yoktur.
- Yerinde üretim çok uzun zamanda gerçekleşirken plentte üretim dakikalar içinde gerçekleşmektedir.

- Karışıma girecek malzeme oranı, karışım süresi gibi üretimle ilgili konular yerinde üretim şartlarında sınırlı iken plentte üretimde istenildiği anda ve istenildiği biçimde müdahele imkanı sağlamaktadır.
- Yerinde üretimde karışımın homojen özelliği çok fazla olmaz iken plentte üretimde homojenlik sağlanmaktadır.
- Karışımda kullanılacak agreganın karışımdan önce ısıtılması, bitümün daha etkili kullanılmasını sağlar, bu işlem yerinde üretimde mümkün değilken plennte üretimde mümkündür.

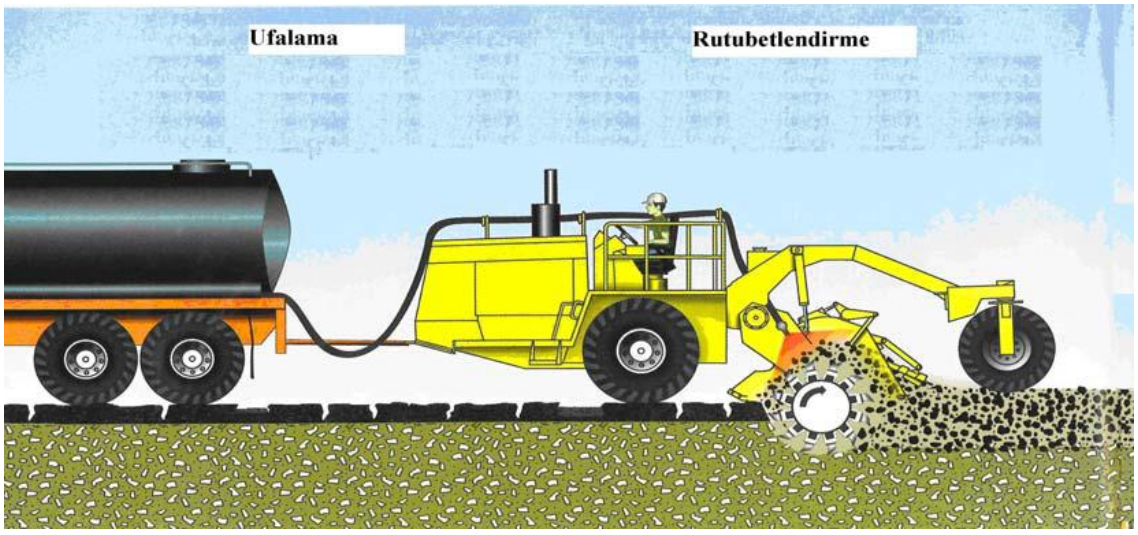
Plentte soğuk geri dönüşüm işlemleri için çeşitli firmalar tarafında üretilen mobil plentler vardır. Sürekli geliştirilen mobil plentler çok kullanışlı olmalarının yanısıra üretimin hızlandırılmasını da sağlamaktadır. Mobil plentler saatte 100-240 ton arası asfalt üretebilmektedir. Bir iki saat süren kurulumu ile istenilen yere treylerlere bağlanarak taşınabilmektedir. Kurulum içinde çok küçük bir alana ihtiyaç duyarlar **[**68**]**. Şekil 1.12. mobil plentlerine örnektir.



**Şekil 1.12.** Mobil plentler [75].

### 1.1.2.5 Tam derinlikte geri dönüşüm

Tam derinlikte geri dönüşüm uygulaması yaşlanmış asfalt kaplamadaki bozulmanın temel tabakaya kadar indiği durumlarda veya yolun genişletilmesi gibi geometrik değişiklik yapılması gereken durumlarda tercih edilmektedir. Bu uygulamada asfalt kaplamanın bütünü kaldırılır. Öğütülüp ufalandıktan sonra belirli oranda temel malzemesi karıştırılır ve serilip sıkıştırılır. Tam derinlikte geri dönüşüm uygulamasının gerçekleştirilmesinde asfalt kaplamanın fiziksel durumu ile projeye konu olan yolun özelliklerine göre farklı yöntemler uygulanmaktadır. Ancak genel olarak hepsinde geri dönüştürücü yol makinesi tarafından bütün tabakaları kaldırılıp öğütülerek ufalanması ve belirlenmiş miktarda alt temel malzemesi eklenmesiyle işleme başlanır. Ufalama işleminde yoğunluğun istenen seviyeye ulaşması için su ile sürekli olarak rutubetlendirilir. Şekil 1.13. tam derinlikli geri dönüşüm yönteminin ufalanma ve rutubetlendirme aşamasına örnek olarak gösterilmiştir.

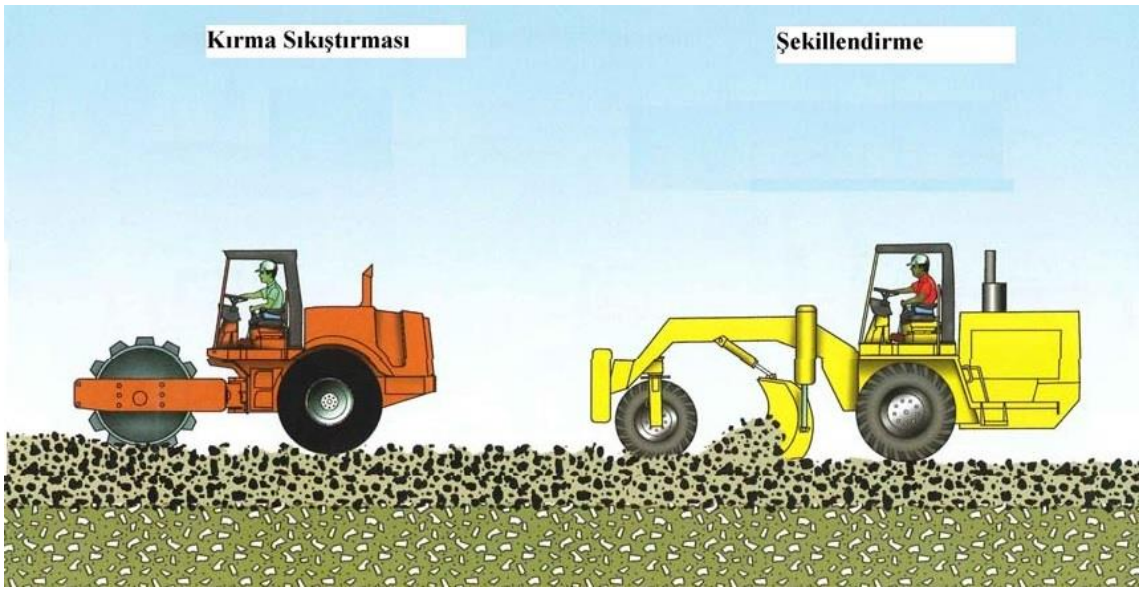



**Şekil 1.13.** Tam derinlikli geri dönüşümün ufalanma ve rutubetlendirme [42].

Bazı geri dönüştürücü yol makinelerinde bulunan sıvı ekleme sistemleri sulama işlemini yapmaktadır. Bazen de geri dönüştürücü yol makinesi ilk tabakayı serdikten sonra tabaka yüzeyine doğrudan su sıkılabilmektedir.

Eğer kaplama üzerinde hiçbir geometrik düzeltme yapılmayacak ise ve kaplama kalınlığı 15 cm'dan fazla değilse geri dönüştürücü yol makinesinin bir geçişiyle işlem tamamlanabilmektedir, fakat geometrik bir düzenleme yapılacak ise ve stabilize katkısı eklemek gerikiyorsa makinenin birden fazla geçmesi gerekmektedir. İlk geçişte asfalt kaplamanın içine katılan temel malzeme ile oluşturulan karışım serilir ve

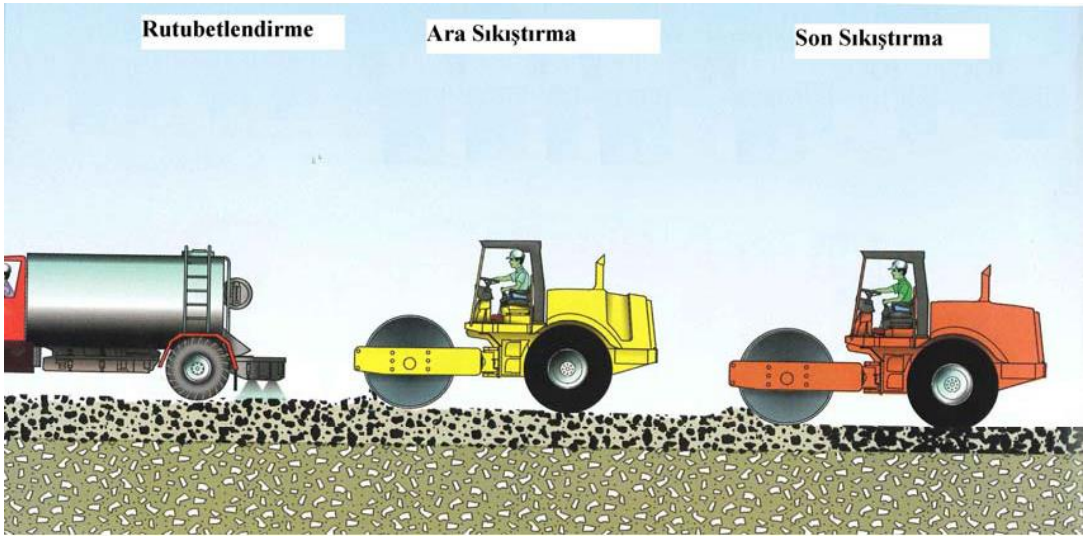
sıkıştırılarak ilk şekil verilmiş olur. Stabilize katkısı uygulanır ve ikinci geçişte karıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Birden fazla stabilize katkısı karıştırılacak ise üçüncü geçiş uygulanmaktadır. Bundan sonra kalıcı kaplamanın oluşturulması için 'tek tamburlu keçi ayaklı silindir' veya '25 tonluk lastik tekerlekli silindir' kullanılarak nihayi sıkıştıma işlemi yapılır. Yüzey zemininin boşlukları yok edilmeye çalışılır **[**24**]**. Şekil 1.14. tam derinlikli geri dönüşüm yönteminin kırma sıkıştırma ve şekillendirme aşamasına örnektir.




**Şekil 1.14.** Tam derinlikli geri dönüşümün kırma sıkıştırma ve şekillendirme [42].

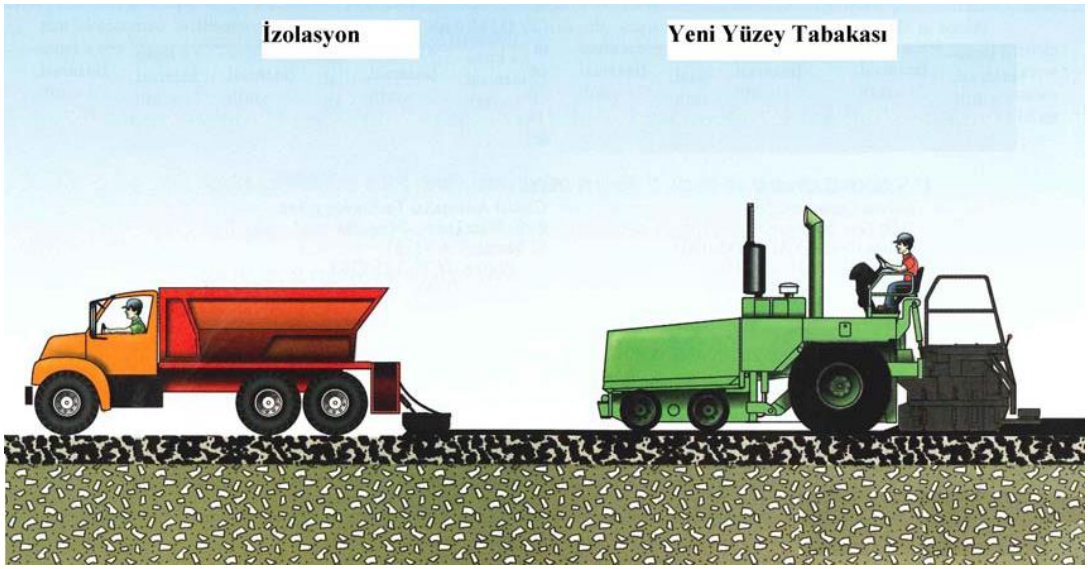
Yolun var olan trafik akış istikametinde değişiklik yapılarak geometrik bir düzenleme yapılacak ise şekillendirme işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem genelde grayder bıçağıyla yapılacak yol düzenlemesinin yüzey düzgünlüğünün ve enine eğiminin ayarlanması olarak açıklanabilmektedir. Bu tip yol düzenlemelerinde tam derinlikli geri dönüşüm yöntemi en kolay yöntemdir.

Projede yol genişletmesi planlanmış ise uygulanacak yöntem yine tam derinlikli geri dönüşüm yöntemidir. Bu işlem yapılırken mevcut asfalt kaplamanın genel kalınlığının korunması gereklidir. Bunun için de karışıma granüler malzemeler eklenir, sıkıştırma yapılarak sulama yoluyla nem ayarlandıktan sonra ara sıkıştırma işlemine başlanır. Şekil 1.15'de gösterildiği gibi, Kaplamanın kalınlık ve yüzeyi kontrol edilerek uygulanan malzemenin sıkıştırılması ve tam olarak bitümlenmemiş agregaları yüzeye oturtmak için greyder veya lastik tekerlekli silindir sıkıştırıcılarla düzeltme ve sıkıştırma işlemi uygulanır.




**Şekil 1.15.** Tam derinlikli geri dönüşüm rutubetlendirme ve silindiraj aşaması [42].

Son pas silindirleme uygulanıp düzeltilmiş kaplama yüzeyine asfalt emülsiyonu veya sızdırmazlık elemanlarından biriyle kaplanır. Bu işlem yüzeydeki agregalar arasındaki boşlukları doldurarak tüm yüzeyi birbirine bağlayıp kaplamanın son halini vermek için yapılır. Aynı zamanda bu işlem kaplamayı hava şartları ve trafiktan kaynaklanacak etkilerden de korur. Şekil 1.16'da görüldüğü gibi, Son atılan tabaka yüzeyle bütünleştikten sonra yol trafiğe açılır.




**Şekil 1.16.** Tam derinlikli geri dönüşüm izolasyon ve son tabaka uygulaması [42].

Tam derinlikli yol ıslah çalışmalarında tam derinlikli geri dönüşüm uygulamasıyla mevcut yolun tabanına sağlamlaştırılmış olur. Bundan sonrasında bu tabana yüzey

iyileştirilmesi yapılması gerekmektedir. Yüzey iyileştirme işlemi olarak sıkça kullanılan dört yöntem vardır. Bunlar:

- İkili çatlak kaplama (chipsal)
- Tekli veya ikili çatlak ucu kaplama
- Soğuk karışım kaplama
- Sıcak karışım kaplama

Yukarıdaki yöntemlerden herhangi biri kullanılarak oluşturulan asfalt kaplama tabakası uzun yıllara dayanmaktadır. Kaplama bozulsa da sağlam bir tabana sahip olduğu için yeniden asfalt kaplamak yerine çatlak, dolgu ve sızdırmazlık malzemelerinden biri kullanılarak bozulmanın giderilmesi mümkün olur. Ayrıca bu uygulamadan sonra tekrar asfalt kaplama uygulamak gerektiğinde çok ince bir katla yeni asfalt kaplama imkânına ulaşılmaktadır [24].

Tam derinlikli geri dönüşüm uygulamasıyla elde edilen soğuk karışım temel tabaka olarak kullanılabileceği gibi karışımın içine bitüm, kireç, çimento gibi katkı malzemeleri eklenip daha sağlam ve daha dirençli bir karışım oluşturularak gerektiğinde aşınma tabakası veya kaplama tabakasında kullanılabilmektedir. Tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması Türkiye'de henüz kullanılmamaktadır. Ancak katkı maddeleri kullanılarak yapılan tam derinlikli geri dönüşüm uygulamaları pek çok ülkede sıklıkla kullanılmaktadır. Doğaya saldığı zararlı gaz oranının düşük olması, enerji tüketimin az olması nedeniyle ekonomik bir maliyete sahip olması gibi avantajları bu yöntemin seçilmesinde rol oynamaktadır. Katkı malzemesi olarak kireç, çimento, bitüm emülsiyon, köpüklü bitüm ve agrega kullanılarak yerinde soğuk tam derinlikli geri dönüşüm karışımı elde edilir. Şekil 1.17. – 1.20. gibi resimlerde farklı ülkelerde yapılan tam derinlikli uygulamalar gösterilmektedir [24].




**Şekil 1.17.** Çimento katılarak yapılan tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması – Natchez Trace Park yolu Mississippi – USA [6].



**Şekil 1.18.** Kireç kullanılarak yapılan tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması – Dominik Cumhuriyeti [6].




**Şekil 1.19.** Kireç ve köpük bitüm katkısı kullanarak yapılan tam derinlikli geri dönüşüm uygulaması – Kanada [6].



**Şekil 1.20.** Bitüm emülsiyon ve granüler malzemesi kullanılarak yapılan tam derinlikli geri dönüşüm yöntemi – Ukrayna [6].

### 1.1.2.6 Geri dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Çizelge 1.2'ye göre geri dönüşüm yöntemleri birbirleriyle kıyaslanmıştır.

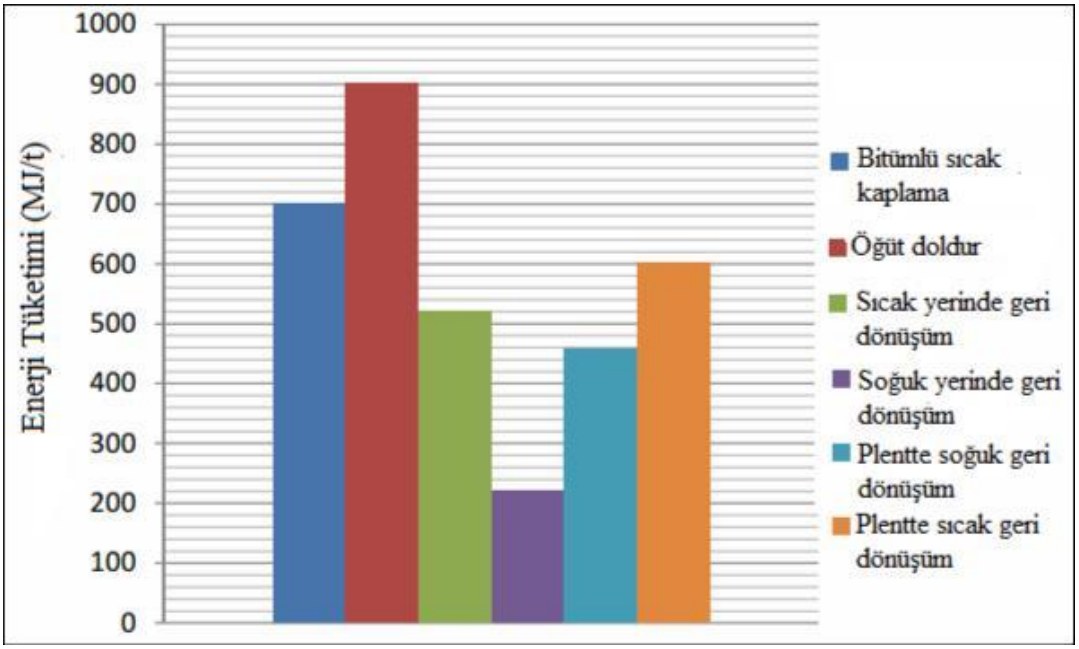
**Çizelge 1.2.** Geri dönüşüm yöntemlerinin karşılaştırılması [42].

| Geri Dönüşüm Yöntemi | Uygulama Özellikleri | Avantajları | Dezavantajlarırı |
|---|---|---|---|
| Soğuk Düzeltme | -Uygulama derinliği yolun bozulma derecesine göre tüm tabakalar için uygulanabilir<br>-Isı kullanılmaz | -Trafik akışını çok etkilemez. İşlem biter bitmez yol kullanılabilir<br>-Kaplamanın sürüş konforunu artırır.<br>-Kaplamanın kayma direncini artırır. | -İşlem sırasında ortaya çıkacak toz -yabancı maddelerden zarar görme ihtimali. |
| Sıcak Geri Dönüşüm | -Isı kullanılır.<br>-Eski kaplamanın plentte, yeni agrega ve bitümlü malzeme ile karşılaştırılması ile oluşur. | -Eski malzeme kullanıldığından daha az malzemeye ihtiyaç duyulur<br>-En az yeni kaplama kadar kaliteli olur. | -Malzemeyi plente taşıma maliyeti olur.<br>-Trafik akışını bir süre olumsuz etkiler |
| Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm | -Uygulama derinliği 3-7 cm<br>-Isı kullanılır | -Daha az malzemeye ihtiyaç duyulur.<br>-Malzeme taşıma maliyeti azdır. | -Yeni kaplamanın kalite kont zorluğu<br>-Yapımda kullanılan ekipmanlar büyük olduğundan trafik akışını olumsuz etkiler |
| Soğuk Geri Dönüşüm | -Isı kullanılmaz<br>-Eski kaplama malzemesi kullanılır. | -İşlem sırasında zararlı emisyonların az oluşması nedeniyle çevreye daha az zarar vermektedir.<br>-Yansıma çatlaklarını azaltır | -Malzeme taşıma maliyeti mevcuttur.<br><br>-Düşük hacimli yollarda kullanılır. |
| Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm | -Uygulama derinliği 10-15 cm<br>-Isı kullanılamaz | -Malzeme taşıma maliyeti çok az.<br>-yüzey çatlaklarını düzeltir.<br>-Maliyeti önemli ölçüde düşürür. | -Yapımda kullanılan ekipmanlar büyük olduğundan trafik akışını olumsuz etkiler.<br>-Düşük trafik hacimli yollarda kullanılır. |

### 1.1.2.7 Geri dönüşüm yöntemlerinin enerji tüketim karşılaştırılması

Çizelge 13'e göre görüldüğü gibi soğuk geri dönüşüm yöntemi en az enerji tüketimine sahip yöntemdir.

**Çizelge 1.3.** Geri dönüşüm yöntemlerinin enerji tüketim Çizelgesi [61, 49].



#### 1.1.2.8 Yaşlanmış asfalt kaplamalardaki bozulmalara göre seçilmesi gereken geri dönüşüm yönteminin belirlenmesi.

Çizelge 1.4.'de kaplamalardaki bozulma durumuna göre seçilmesi gereken yöntem gösterilmiştir.

**Çizelge 1.4.** Kaplama bozulma çeşitlerine göre geri dönüşüm yöntemi seçimi [50].

| Kaplama bozulma Tipi | Soğuk Düzeltme | Sıcak Geri Dönüşüm | Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm | Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm | Tam Derinlikten Geri Kazanım |
|---|---|---|---|---|---|
| Yüzey Kusurları | | | | | |
| Sökülme | X | X | X | | |
| Cilalanma | X | X | X | | |
| Kalıcı Deformasyon | | | | | |
| Tekerlek izi-sığ | X | X | X | | |
| Tekerlek izi-derin | | X | | X | X |
| Çatlaklar/Trafikten kaynaklanan | | | | | |
| Timsah sırtı çatlaklar | | X | | X | X |
| Boyuna çatlaklar | | X | X | X | X |
| Kaplama kenarı çatlakları | | X | | X | X |
| Yansıma çatlakları | | X | X | | |
| Trafikten Kaynaklanmayan çatlaklar | | | | | |
| Blok tipi çatlaklar | | X | | X | X |
| Boyuna çatlaklar | | X | X | | |
| Enine çatlaklar | | X | | X | X |
| Yamalar | | | | | |
| Yüzeysel yamalar | | X | | | X |
| Derin yamalar | | X | | | X |
| Problemli temel/alttemel | | | | | X |
| Seyahat konforu /pürüzlülük | | | | | |
| Genel olarak pürüzlü | X | X | X | | |
| Çukur | X | X | X | | X |

# 2. LİTERATÜR TARAMASI

Geri dönüşümün tarihi, muhtemelen yol kaplamaların yapımı kadar eskilere dayanmaktadır. Büyük olasılıkla, bir yoldan çıkarıldıktan sonra atılması gereken materyallerin, girişimciler tarafından malzeme elde edilmek için otoparklar gibi yeni alanları açmak için kullanmış olmaları muhtemeldir. Bu tür gayri resmi geri dönüşüm bugün hala uygulanmakta ve uzun süre devam edebilmektedir [17].

İlk kez, geri dönüştürülmüş inşaat malzemesi olarak Portland çimentosunun agrega ile karıştırılması, 1860 yılında beton ürünlerin imalatı için Almanya'da yapıldığı kaydedilmektedir. O zamandan beri geri dönüşüm ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bu çalışmaların çoğu 1940 ve 1950'li yıllarda, o dönemdeki malzeme türü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Zaman ilerledikçe kaplama endüstrisinde asfaltın geri dönüşümü daha önemli hale gelmiştir. Asfalt kaplamaların geri dönüşümü ilk defa 1915 yılında yapılmaya başlanmıştır [15]. Yaşlanmış asfalt karışımlar, kaldırılmış ve depolama alanlarına atılmış olmasına rağmen, yeni asfalt karışımlarında RAP (geri kazanılmış asfalt kaplama) kullanımı 1970'lerde önemli ölçüde kullanılmaya başlamıştır.

1973'de Arap petrol ambargosunun bir sonucu olarak, ham petrol fiyatlarının yükselmesi, sıcak asfalt karışımlarda RAP kullanımını artırmıştır. Ambargo sonucunda, bağlayıcı fiyatlarının yükselmesi asfalt endüstrisini, asfalt üretiminde maliyetleri azaltacak yeni yöntemler bulmaya zorlamıştır. Asfalt kaplama endüstrisi, asfalt bağlayıcı talebini azaltmaya yardımcı olan geri dönüşüm teknolojileri oluşturarak veya geliştirerek asfalt kaplama karışımlarının maliyetlerini düşürmüştür. Geliştirilen uygulamaların bazıları günümüzde halen kullanılmakta olup; kaplama inşaatı ve iyileştirme operasyonlarının bir parçası haline gelmiştir.

İngiltere'de uzun yıllar boyunca eskilmiş ve yaşlanmış bitümlü tabakalar sınırlı miktarda yeniden kullanılmıştır. Yeniden kaplama işleminden önce yollardan kaldırılan malzeme, hafif trafikli yollarda dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır [10].

Asfalt, birçok ülkede en çok geri dönüştürülen üründür. Hollanda'da yeni asfalt karışımlarda % 50'ye kadar ve hatta daha fazla geri dönüştürülmüş asfalt kullanılmaktadır. Hollanda'da asfalt geri dönüşüm oranının bu kadar yüksek olmasının

nedeni, Hollanda'daki mineral agrega kaynaklarının yetersizliğidir. Bir diğer nedeni ise, nüfus yoğunluğu nedeniyle malzemelere depolama alanının bulunmamasıdır [59].

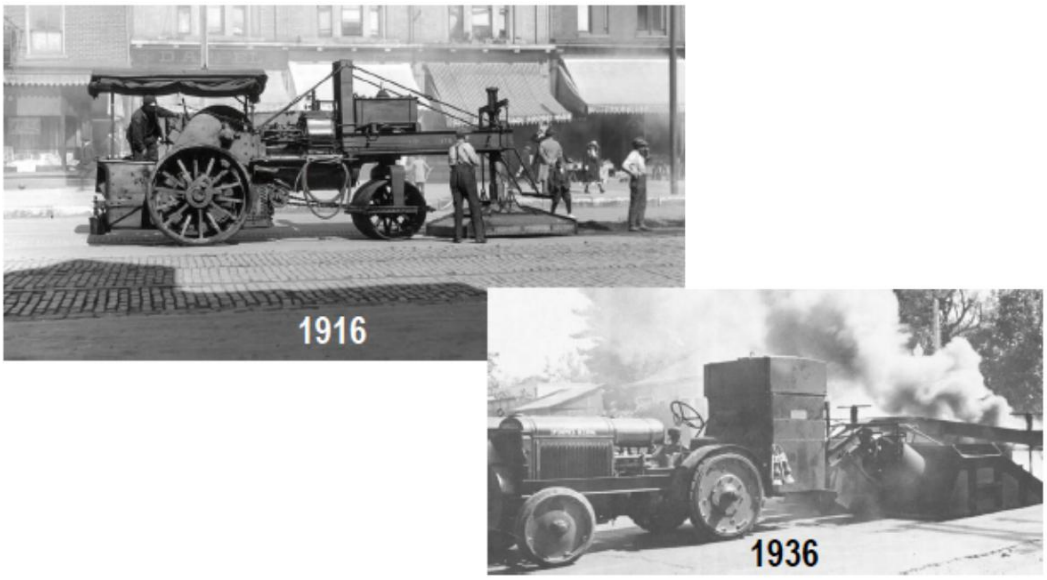
Yaşlanmış ve eskilmiş asfalt kaplamaların geri dönüşümü önemli ekonomik faydalara sahiptir, çünkü bağlayıcı, yeni bir kaplama maliyetinin % 30'undan fazlasını oluşturmaktadır ve petrol fiyatları yükseldiğinde, bağlayıcının maliyeti de artacaktır. Geri dönüşümü olmayan eski asfalt ise daha düşük değerli bir kaplama uygulamasında veya granül bir temel olarak kullanılmakta veya çöp depolama alanına gitmektedir [28].

Geri dönüşümün sağladığı ekonomik tasarruflar ve çevresel faydalar, geri dönüşüme eğilimi arttırmıştır. Geri dönüşümün sağlayacağı ekonomik tasarruf, özellikle yenilenemeyen bağlayıcı ve agreganın kullanım miktarını azaltmaya yönelik olmalıdır. Malzemenin maliyet tasarrufu, asfalt yapımında kullanılan virjin agrega ve bağlayıcı miktarının geri dönüşüm yolu ile elde edilen agrega ve bağlayıcıların kullanılarak azaltılması ile sağlanmaktadır.

Malzeme tasarrufları sadece ekonomimiz için karlı olmakla kalmaz, aynı zamanda yukarıda bahsedilen hammaddelerin ekstraksiyonu ve taşınması ile ilgili enerji ve emisyonları da azalttığı için geri dönüşüm uygulamasını çevre dostu haline getirmektedir. Ayrıca geri dönüşüm, rehabilitasyon sırasında kaldırılan yaşlanmış kaplama malzemelerinin depolanması için kullanılan alan miktarını da azaltmaktadır, çünkü bu eski malzemenin bir kısmı yeniden kullanılacak ve zeminde gereksiz yer işgal etmeyecektir. Geri dönüşüm uygulaması ile ulaşılmak istenen, iki temel asfalt geri dönüşüm ilkesi vardır:

• RAP içeren karışımlar, virjin materyallerle yapılan karışımlarla aynı gereksinimleri karşılamalıdır.
• RAP içeren karışımlar, virjin karışımlara eşit veya daha iyi performans göstermelidir.

Şekil 2.1. – 2.4. tarih boyunca çeşitli yıllarda asfalt kaplaması geri dönüşümünün farklı görüntüleri verilmiştir.




**Şekil 2.1.** Çeşitli yıllarda asfalt kaplamasının geri dönüşüm görüntüsü [65].

Geliştirilen teknolojiyle birlikte asfalt geri dönüşümlerde kullanılan makine ekipmanları da epeyce gelişmiştir. Asfalt kaplamaların geri dönüşümünün kronolojisine bakıldığında zaman içeresinde gelişen geri dönüşüm makine ekipmanları, birinci nesil ekipmanları, ikinci nesil ekipmanları ve üçüncü nesil ekipmanlara ayrılabilmektedir.

Birinci nesil ekipmanlar ile; 20-25 mm'ye kadar ısıtma, kazma, karıştırma, serme ve sıkıştırıma aşamaları uygulanabilmekteydi. Gençleştiricinin kullanılması ise isteğe bağlıdır.



**Şekil 2.2.** Birinci nesil ekipmanlar [24].

İkinci nesil ekipmanlarda; ısıtılan ve kazılan kaplamanın derinliği, 25-50 mm'ye kadar çıkmıştır. Gençleştiricinin kullanılması ise yine isteğe bağlıdır.



**Şekil 2.3.** İkinci nesil ekipmanlar [24].

Üçüncü nesil ekipmanlarla kazılan kaplamanın derinliği 75 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Bu tip ekipmanlarda katkı madde veya gençleştiricinin kullanılması zorunludur.




**Şekil 2.4.** Üçüncü nesil ekipmanlar [24].

Dünya çapında, RAP (Asfalt kaplamaların geri dönüşümü) kullanımı, virjin agrega ve bağlayıcı kullanımına göre çevresel ve ekonomik avantajları nedeniyle sürekli artmaktadır. Kaynakların sınırlı olması, asfaltın geri dönüşümünü müteahhitler ve devletler için en ekonomik seçenek haline getirmektedir. RAP; yaşlanmasından ötürü, kullanılmamış bitüme göre daha serttir, bu da daha yumuşak virjin bağlayıcılardan daha fazla mukavemet, tekerlekizi direnci ve nem duyarlılığına yol açabilmektedir **[**39**]**. Bununla birlikte sertlik ve çatlama gibi diğer sorunlara neden olabilmektedir, ancak bu sorunu azaltmak için RAP ile karıştırılacak birçok katkı maddesi vardır. Asfalt geri dönüşümün kullanımı gittikçe büyümeye devam edecek ve dünya genelinde daha sürdürülebilir ve kalıcı bir ulaşım sisteminin oluşmasını sağlayacaktır.

Asfalt kaplamalrın geri dönüşümünün (RAP) kullanımı, dünya çapında daha fazla ihtiyaç duyulduğu, anlaşıldığı ve çalışıldığı için giderek artmaktadır. Özellikle Amerika Birleşik devletleri şu anda, yılda 80 milyon tonun üzerinde asfalt geri dönüşümü gerçekleştirmekte ve bu da yeni inşaat için yaklaşık 1.5 milyar dolar vergi tasarrufu sağlamaktadır. ABD'nın birçok eyaleti RAP (Asfalt kaplamalrın geri dönüşümü) kullanım yüzdesini, toplam karışımın % 20 ila 25'i ile sınırlandırmaktadır.

Avrupa özellikle ABD, Almanya ve Fransa gibi ülkelerde asfalt kaplamaları %80'e kadar geri dönüştürülmektedir. Şimdilik % 100 geri dönüşüm ancak kaldırımlarda kullanılabilecektir fakat daha fazla araştırma yapıldıkça, kullanılan RAP miktarı kaçınılmaz olarak artacaktır. O zamana kadar, geri dönüşüm oranı çok daha düşüktür. Çizelge 2.1'de ABD genelinde her bir eyalet için RAP'ın mevcut kullanım oranı gösterilmektedir [54].

**Çizelge 2.1.** ABD'de eyalet başına HMA kaplama karışımlarında RAP [54].

| State | Average RAP Percent | | | | State | Average RAP Percent | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| Alabama | 19% | 25% | 21% | 22% | Montana | 7% | 8% | 8% | 10% |
| Alaska | 5% | 3% | 13% | 8% | Nebraska | NR | NR | 30% | 22% |
| Arizona | 13% | 5% | 11% | 14% | Nevada | 6% | 7% | 10% | 11% |
| Arkansas | 10% | 11% | 10% | 10% | New Hampshire | 15% | 18% | 21% | 19% |
| California | 10% | 19% | 9% | 16% | New Jersey | 4% | 17% | 16% | 16% |
| Colorado | 19% | 19% | 24% | 29% | New Mexico | NR | NR | 18% | NR |
| Connecticut | 15% | 17% | 13% | 21% | New York | 10% | 11% | 16% | 13% |
| Delaware | 20% | 20% | NR | 28% | North Carolina | 20% | 22% | 24% | 15% |
| Dist. of Columbia | NR | NR | NR | NR | North Dakota | NR | NR | 11% | NR |
| Florida | 24% | 24% | 30% | 27% | Ohio | 23% | 24% | 23% | 24% |
| Georgia | 19% | 22% | 23% | 23% | Oklahoma | 12% | 13% | 18% | 12% |
| Hawaii | 10% | 9% | 11% | 14% | Oregon | 26% | 25% | 24% | 24% |
| Idaho | 6% | 10% | 23% | 28% | Pennsylvania | 13% | 13% | 16% | 16% |
| Illinois | 18% | 20% | 16% | 30% | Puerto Rico | 0% | 0% | 2% | 20% |
| Indiana | 23% | 24% | 26% | 23% | Rhode Island | 11% | 11% | 8% | 2% |
| Iowa | 12% | 17% | 14% | 15% | South Carolina | 17% | 20% | 22% | 24% |
| Kansas | 18% | 20% | 20% | 20% | South Dakota | 12% | 6% | 18% | 20% |
| Kentucky | 9% | 9% | 9% | 10% | Tennessee | 20% | 17% | 14% | 20% |
| Louisiana | 18% | 18% | 18% | 19% | Texas | 11% | 10% | 13% | 16% |
| Maine | 13% | 14% | 15% | 15% | Utah | 19% | 21% | 25% | 19% |
| Maryland | 19% | 21% | 24% | 22% | Vermont | 21% | 20% | 17% | 23% |
| Massachusetts | 14% | 14% | 11% | 16% | Virginia | 21% | 28% | 26% | 26% |
| Michigan | 27% | 30% | 36% | 34% | Washington | 18% | 16% | 16% | 15% |
| Minnesota | 16% | 19% | 22% | 20% | West Virginia | 10% | 11% | 11% | 12% |
| Mississippi | 16% | 17% | 18% | 19% | Wisconsin | 15% | 15% | 16% | 14% |
| Missouri | 12% | 12% | 19% | 19% | Wyoming | 6% | 5% | 1% | 2% |

| | |
|---|---|
| NR | = No Contractors Reporting |
| % | = 0–9% |
| % | = 10–14% |
| % | = 15–19% |
| % | = 20–29% |
| % | ≥ 30% |

Geri dönüşümlü asfalt (RAP) malzemelere gelince;

Yüksek kaliteli virjin malzemelerin azalmasından ötürü kaynakların tükenme tehlikesinin ortaya çıkması, zaman geçtikçe depolama alanlarının daha az elverişli ve daha pahalı hale gelmesini göz önüne alındığında, kaplama karışımlarına RAP ilavesinin artması şaşırtıcı değildir. Yeni yollarda RAP'ı yeniden kullanmanın birçok avantajı vardır. Bu avantajlar, yeni inşaat ve iyileştirme projelerin maliyetlerinin düşürülmesi, enerji, çevre ve yol geometrisinin korunmasına atfedilebilmektedir.

Aşağıda belirtildiği gibi, bu avantajların, geri dönüşümlü asfalt kaplamaların amaca hizmet etmesi için karşılanması gereken üç temel faktör vardır.

1) Uygun maliyetli olmalı

Geri dönüşümlü bir asfalt kaplama kullanmanın, tamamen virjin malzeme kullanmaktan daha düşük bir maliyeti temsil etmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

2) Çevre dostu olmalı

Geri dönüşümlü asfalt kaplamaların kullanımı, yeni malzemelerin kullanımına göre kirletici ve zararlı emisyonu azaltıp çevre dostu olmasının gerektiğini biliyoruz. Bunun yanısıra, geri dönüşümlü malzemelerin kullanılması ile ham maddesi veya yeni doğal materyalların israfına da gerek olmayacağı bilinmektedir.

3) Geri dönüşümlü asfalt iyi performans sergilemeli

Geri dönüşümlü asfalt kaplamaları yollarda oluşan gerilmelere karşı dayanıklı olaması gerekir.

- Uygun maliyetli olmalı

Maliyet-kar oranı, tüm alanlarda olduğu gibi, asfalt kaplamanın geri dönüşümü için yapılan girişimlerin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle, farklı inşaat ve iyileştirme projelerinde geri dönüşüm kullanımının ekonomik uygulanabilirliğini sağlamak için dikkatli bir analiz yapmak çok önemlidir.

Genellikle, serbest piyasa, farklı geri dönüşüm tekniklerinin oluşturduğu tasarruflar nedeniyle, yol yapımında malzemelerin yeniden kullanılmasının düzenlenmesi ve teşvik edilmesinden sorumludur. Bunun yanısıra bazı durumlarda, hükümetler, atık depolama alanlarının kullanımının kısıtlanması, ocakların boşaltılması, işletilmesi için yüksek ücretlerin uygulanması veya geri dönüşüm için çaba sarf eden şirketlere ekonomik ve teknolojik destek verilmesi yoluyla geri dönüşümü teşvik etmelidir.

Asfaltlı kaplamaların geri dönüşümü (RAP), mevcut kaynakların mevcut yol / kaplamalarda yeniden kullanılmasını gerektirmektedir. Yaşlanmış malzemeler, uygun bir yöntemle tekrar kullanılabilmekte, kaplamalarda kullanılan virjin (agrega, bitüm vb.) ihtiyaçları, büyük ölçüde azaltabilir ve böylece virjin kaynaklarının korunması da sağlanabilmektedir. Daha az yeni virjin malzemeye ihtiyaç duyularak sadece maliyeti düşürülmekle kalmaz, aynı zamanda işlemlerin yapıldığı yere yakın, taş ocakları ve depolama alanlarının bulunmasına ihtiyaç duyulmamak da üretim verimliliğini artırıp maliyeti düşürmektedir.

Bunun yanısıra, "yerinde" geri dönüşüm yöntemleri, sadece eski malzemelerin orijinal yerinden bir çöplüğe değil, aynı zamanda yeni malzemelerinin tedarik noktalarından yeni inşaatın veya rehabilitasyonun yapıldığı yere taşınmasını da önlememizi sağlar.

Bu gereksiz nakliye işlemlerini önlemek işlemin maliyetini de önemli ölçüde azaltabilmektedir.

- Çevre dostu olmalı

Günümüzde, geçmişten çok daha çevreyi koruma ihtiyacı hakkında artan bir sosyal farkındalık var. Bu da uygun hammaddelerin elde edilmesini gittikçe zorlaştırmaktadır. Öte yandan virjin (agrega, bitüm vb)'in kullanılması hem maliyeti artar hem de yollardan kazılan yaşlanmış malzemeler için depolama alanın bulunma zorluğunu da artırmaktadır. Ancak RAP'ın kullanılması ile bir yandan hava kirliliği ve çevreye verilen zararlar, öte yandan taşıma maliyetleri de azaltılabilmektedir.

Yaşlanmış kaplamaların geri dönüşümü, uygun bir şekilde ele alındığında, yeniden kullanımın faydalarını en üst düzeye çıkarabilecektir. Çoğu geri dönüştürülmüş malzemenin kullanımı, hava, toprak ve su için herhangi bir tehdit veya tehlike oluşturmaz. Üstelikle dikkatli tasarım, mühendislik ve geri dönüştürülmüş malzemelerin uygulanması, çevreye daha az zarar verir yeni, virjin malzemelerin aranması ve çıkartılması ihtiyacını azaltabilir veya ortadan kaldırabilir.

Şekil 2.5'de, çeşitli ebatlardaki işlenmemiş geri kazanılmış asfalt kaplama (RAP) frezelerinin bir stoğunu görüyoruz.



**Şekil 2.5.** Çeşitli boyutlarda işlenmemiş (RAP) frezelerinin bir stoğu [65].

- Geri dönüşümlü asfalt iyi performans sergilemeli

Yaşlanmış malzemelerinin imha edilmesi, yeni malzemelerin kazanılması ve atılması ile ilgili sorunlara neden olmanın yanı sıra, teknik olarak daha kazançlıdır, çünkü geri kazanılan malzemelerin yaşlanmış olmalarına rağmen, niteliklerinin iyi bir kısmını korumaktadırlar. Asfalt konglomeranın öğütülmesi ve yeniden kullanılması, çok az miktarda (%1 – %3) ek bitüm gerektirdiğinden, yeni bir asfalt betonunun çok daha fazlasına (>%6) ihtiyaç duyabileceği için çok büyük miktarda tasarruf sağlar. Bu yönüyle, geri dönüşüm düşük taşıma maliyetleri ve sağlam bir geri dönüşümün üretimi için gereken düşük enerjiyi de sağlamakla birlikte enerji tasarrufunu konvansiyonel kaplama inşaatı için önemli kılmaktadır [65].

Yeni bir kaplama inşa ederken, yeni virjin malzeme ile aynı eforu sarfedebilecek, geri dönüştürülmüş malzemeye sahip olmanın çok olumlu olduğunu düşünebiliriz. Eğer biz bu malzemenin kullanımının yapım aşamasında olan yeni kaplamada hiçbir şey için zararlı olmayacağını garanti edersek, maliyetleri düşürdüğümüz ve çevreyi koruduğumuzdan, RAP her zaman kullanıma uygun olacaktır.

Ek olarak, herhangi bir kaplamanın yönetim sisteminin kullanım ömrü boyunca özelliklerini (veya mekanik performansını) kontrol etmesi gerektiği dikkate alınmalıdır. Bu şekilde, kullanıcı ihtiyaçlarına göre gerekli hizmet düzeyini korumak için her zaman en iyi koruma seçeneğine karar verebiliriz. Bu sistemler, topluma en düşük maliyetle mümkün olan en iyi sonucu elde etmek, çevreyi zarar vermemek, en uygun zamanı ve prosedürü bulmak için ideal bir araç olmayı hedeflemektedirler.

Asfalt kaplamaların mekanik performansına gelince, RAP kullanırken bir asfalt kaplamasının mekanik performansı ana endişelerden biridir. RAP'ın, kaldırılmış asfalt kaplamalardan ve/veya yeniden işlenmiş agrega ve bitümden oluşan malzeme olarak kullanılması nedeniyle, istenen yol için beklenen özelliklerin elde edilemeyeceği düşüncesidir. RAP (asfalt kaplamaların geri dönüşümü) yaşlanmış ve bozulmuş kaplama malzemelerin ayrıştırıldığında ve öğütüldüğünde elde edilir ancak bu işlem, daha sonra yeni asfalt karışımlarda bir bileşen olarak eklenmesi için yapılmaktadır. Yaşlanmış malzemenin asfalt kaplamalarda yeniden kullanılabilmesi için, çekme ve gerilme kuvvetlere karşı mekanik özelliklerin gereksinimlerini karşılamalıdır. Karşılanması gereken bir diğer konu ise; RAP içeren karışımların, virjin karışımlara eşit veya daha iyi performans göstermesidir.

Daha önce de belirtildiği gibi, RAP; çeşitli şekillerde, Aşınma, binder, temel, ve alt temel gibi kaplamanın farklı yerlerinde kullanılabilmektedir.

RAP malzemesi üst tabakalarda kullanıldığında, daha çok mekanik özellikler veya mekanik sınırlamalara maruz kalacağı iyi bilinmektedir. Örneğin, bir kaplamanın yüzey katmanı, alt katmanlardan daha çok sürtünmeye maruz kalacaktır. Bu nedenle yeniden kullanılan RAP miktarı aynı zamanda kullanılacağı katmana da bağlıdır. Sıcak-karışımlı geri dönüşüm uygulamalarda, EN şartnamesi (EN 13108-1), aşınma tabakası için %10'dan, binder ve temel tabakaları için %20'den daha fazla kullanılmamasını önermektedir (EN 13108 - 2006). Bu oranları aştığında, yaşlanmış bağlayıcı maddenin (bitüm) sertliği ve dayanıklılığının etkisini ölçmek için, ek testler yapılmalıdır. Öte yandan, soğuk geri dönüşüm, bazen bitümlü tabakalardan elde edilen RAP'in tamamını (%100) geri dönüştürmemize ve temel veya binder tabakalarda kullanmamıza izin vermektedir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda;

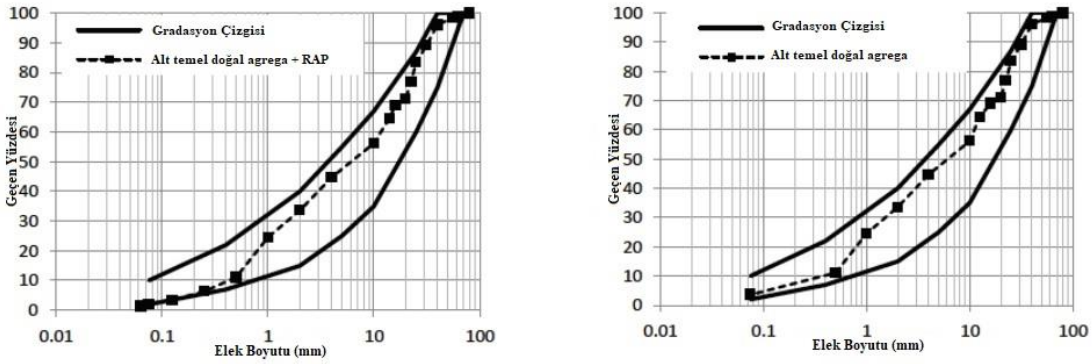
Bakım ve onarım işlemleri sırasında büyük miktarda üretilen atıktan tasarruf etmek için RAP'ın alt temel tabakasında değerlendirilmesinin kullanışlı bir çözüm olduğunu öne sürmektedir [26]. Ancak RAP kullanılırken aşırı deformasyon problemleri önlemek için, statik ve dinamik yüklere karşı uygun bir direnç seviyesine ulaşana kadar, karışımı güçlendirebilen virjin agregalar gibi diğer agrega türleriyle birleştirilmesi gerekmektedir.

Temel kaplamalarda RAP'ın kulllanılabilirliğini kanıtlamak için bir saha çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada RAP temelinin performansı, kırma taştan yapılan bir temelle karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir [14].

2012 yılında doğal agregalar ve RAP'dan oluşan bir alt temel tabakasının kaplama performansı üzerindeki etkisi adına, RAP'ın alt temel tabakalarda kullanılan bağlayıcısız karışımlara virjin agrega takviyesi olarak kullanma olasılığını ölçmek için bir çalışma yapılmıştır . Bu amaca ulaşmak için,% 50 RAP ile harmanlanmış bir karışımın kısa ve uzun vadeli performansını ölçmek için farklı zararsız deneyler yapılmış ve sonuçları sadece doğal agregalardan oluşan bir karışımdan elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

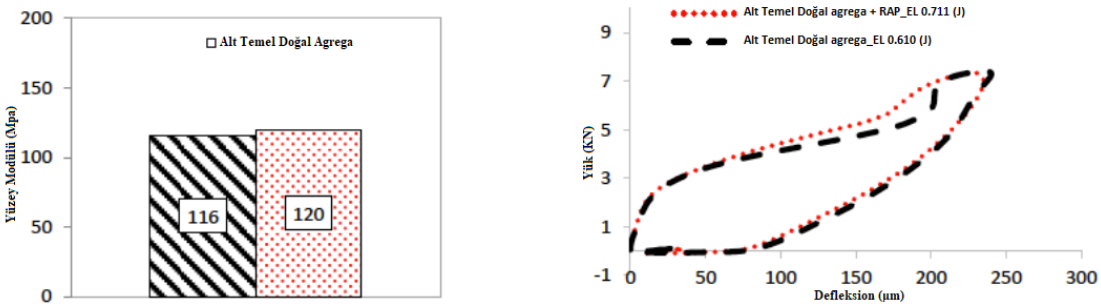
Bu çalışma, (LWD ve FWD+GPR) gibi farklı deneyler ile yapılarak 30m uzunluğu ve 5m genişliğinde iki farklı alt temel karışım bileşimi ile yapılmıştır. Birincisi %100 doğal agrega ile yapılırken, ikincisi %50 doğal agrega ve %50 RAP içermektedir. İki numunenin de aynı granülometri eğrisine sahip olmalıdır, böylece sıkıştırma her iki durumda da eşit olarak yapılmıştır [29].

Şekil 2.6'de, bu deneyin yapılması için kullanılan her iki granülometri eğrisi görülmektedir.




**Şekil 2.6.** Doğal agrega ve % 50 RAP içeren alt temelin granülometri eğrisi [65].

Deneylerin sonuçları bize RAP ile yapılan bir alt temelin performansı ile sadece virjin materyallerle yapılan bir alt temel arasında önemli bir fark olmadığını göstermektedir. Örneğin, Şekil 2.6'de gösterilen LWD deneyin sonuçlarında, aralarındaki farklar önemli derecede olmasa bile toprağa sağlanan enerjinin %50 RAP içeren karışım için biraz daha yüksek görünmektedir.




**Şekil 2.7.** LWD sonuçları [65].

Özetlemek gerekirse, yukarıda belirtilen deneylerin sonuçları, doğal agregalarla yüksek oranda RAP harmanlayarak yapılan alt temel tabakasının, sadece doğal agrega ile yapılan alt temel tabakası ile aynı performansı gösterdiği ve hatta sadece doğal

agregalara sahip olandan önemli ölçüde olmasa da daha yüksek olduğunu göstermektedir.

2005 yılında yeni bitümlü karışımlarda asfalt kaplamaların geri dönüşüm çalışması ile yoldan kazınan asfalt kaplamalarının yol yapımında yeniden kullanılabilirliğini araştırmayı hedeflemiştir [32]. Çalışmada aşınma tabakası için virjin agrega ve bitüm ile %0, %5, %10 ve %15 oranlarında RAP malzemeleri kullanarak marshall stabilite dizaynı yaparak sonuçları karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %10 RAP malzemesi içeren karışımlar en yüksek stabilite değerine sahip olduğu belirtilmiştir. RAP oranının artması ile hava boşluk yüzdesi ve VMA değeleri azalırken pratik özgül ağırlık ve akma değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada yapılan tekerlek izi deneyinde RAP oranı arttıkça tekerlek izi derinliğin arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca karışımlara uygulanan indirek çekme rijitlik modülü deneyinde optimum sonuç %10 ile %15 RAP malzemeli karşımlarda elde edilmiştir.

2017 yılında Irak Karayollarında geri kazanılan asfalt malzemeleri ile binder tabakasının dizaynı yapılmıştır. Yapılan çalışmada yeni malzemler ile birlikte %0, %7, %14, %21 ve %28 oranlarında RAP malzemesi kullanarak marshall dizaynı yapımıştır. Yapılan marshall stabilite dizaynında RAP malzemesinin oranı arttıkça stabilite değerinin arttığı tespit edilmiş, elde edilen sonuçlar; Irak karayolu şartnamesinin limitlerini sağladığı belirtilmiştir. Çalışmada hazırlanan numuneler indirek çekme mukavemeti (ITS) deneyine tabi tutulmuş ve sonuçları şartname sınırların içinde olduğu tespit edilmiştir [66].

2014 yılında yapılan çalışmada ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kazınarak bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılabilirliği araştırılmış ve tez çalışmasında %0, %10, %25 ve %45 oranlarında yoldan kazılan RAP malzemeleri ile karıştırarak binder tabakasında kullanmıştır. Yapılan çalışmada Marshall dizayn yöntemi kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tezde kullanılan farklı RAP oranıları şartnamenin minimum stabilite (750 kg) değerini sağladığı tespit edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda boşluk yüzdelerin şartname değerlerini sağladığı saptanmıştır. Asfalt dolu boşluk yüzdesi ve VMA değerleri şartname limitlerinin içeresinde olduğu belirtilmekle beraber %10 RAP'lı VMA değerinin şartname limitine (%13) yakın olduğu tespit edilmiştir. RAP miktarı arttıkça pratik özgül ağırlığı ise azalmıştır [58].

2017 yılında yapılan çalışmada, geri kazanılan asfalt kaplamaların sıcak asfalt karışımlarda yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması başlıklı makalesinde binder tabakasının geri dönüşümünü araştırılmıştır. Virjin agrega ve bitüm ile %0, %10, %25 ve %40 oranlarında RAP malzemesi kullanarak marshall stabilite dizaynı yapıp sonuçları karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmada RAP oranının artması ile boşluk yüzdesinin arttığı ve şartname sınırlarının içinde olduğu saptanmıştır. RAP oranı arttıkça Pratik özgül ağırlık düşmüştür. Asfalt dolu boşluk yüzdesi ile VMA değerleri de binder tabakası için şartname limitlerini sağladığı tespit edilmiştir. Çalışmada %10 RAP içerekli karışımın en yüksek stabilite değerine sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca karot numunelerin en yüksek stabilite değeri ve en çok artış %10 RAP içeriğinde, katkısız karot numunesine göre %51.3 oranında olduğu ve karot numunelerin stabilite değerlerinin artması ile akma değerinin de arttığı tespit edilmiştir [66].

1998 yılında yapılan çalışmada, bitümlü sıcak karışımların plentte modifiye edilmesinde kullanılan katkıların karışımların laboratuar koşullarındaki performansına etkisinin incelenmesi yapılmış ve deneyesel çalışmalarında PR Plast karışım değerlerinin koşullandırılmış numunelerde stabilite değerlerinin %35'e kadar arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca numunelere uygulana indirek çekme mukavemet deneyinde de artış olduğu belirtilmiştir [19].

1993 yılında yapılan çalışmada, pirit kalsinesinin esnek yol kaplamalarında filler olarak kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Çalışmada hazırlanan numunelere uygun karışımlar eklenerek Marshall stabilite dizayn yöntemi kullanılmıştır. Elden edilen sonuçlara göre Pirit Kalsinesinin esnek yol kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir [12].

2010 yılında yapılan çalışmada, SBS ve reaktif terpolimer ile modifiye edilmiş bitümün özelliklerinin geliştirmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada bitümün ömrünü uzatmak ve sıcaklığa karşı duyarlılığı azaltmak için katkı maddesi kullanarak yeni karışımlar oluşturup, hazırlanan karışımlara penetrasyon deneyleri uygulamıştır. Deneyde DUPONT şirketinin geliştirdiği ELVALOY RET adlı elastomerik reaktif terpolimer, katkı malzemesi olarak kullanılmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Katkısız yeni bitüm karışımlara göre ELVALOY RET ve SBS'nin kullanıldığı karışımların penetrasyon değerlerinin azaldığı ve penetrasyon indeksinin değerlerinin arttığı saptanmıştır [41].

# 3. MATERYAL VE YÖNTEM

## 3.1 Materyal ve Cihazlar

Bu bölümde, deney numunelerin hazırlanmasında kullanılan mineral agrega, mineral filler, asfalt çimentosu, geri dönüştürülmüş asfalt betonu malzemesi ve deney esnasında kullanılan cihazlar ile ilgili bilgi verilmiştir.

### 3.1.1 Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan agrega

Genel anlamı ile asfalt betounu aşınma ve binder tabakalarını kapsar. Bu tabakalar agrega, kırmataş, çakıl veya bu malzemelerin karışımından oluşur.

Karışımın içindeki agrega daneleri temiz, sağlam, dayanıklı ve sert olmakla beraber her türlü zararlı maddelerden arındırılmış olacaktır. Binder tabakası için gradasyon limitleri Karayolları Teknik Şartnamesinde belirlenmiş olduğu gibi Çizelge 3.1' de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Binder tabakası için gradasyon limitleri [55].

| Elek No | Elek Boyu | | % Geçen |
|---|---|---|---|
| | İnch | mm | |
| 1 | (1'') | 25 | 100 |
| 2 | (3/4'') | 19 | 80 – 100 |
| 3 | (1/2'') | 12.5 | 58 – 80 |
| 4 | (3/8'') | 9.5 | 48 – 70 |
| 5 | (No:4) | 4.75 | 30 – 52 |
| 6 | (No:10) | 2.00 | 20 – 40 |
| 7 | (No:40) | 0.425 | 8 – 22 |
| 8 | (No:80) | 0.180 | 5 – 14 |
| 9 | (No:200) | 0.075 | 2 – 7 |

Çalışmada kullanılmış agrega Aksaray Belediyesi asfalt şantiyesinden temin edilmiştir. Elde edilen agrega üzerinde aşınma direnci , su emme, özgül ağırlık, kil topakları, organik madde, likit limit, plasktik limit indeksi ve soyulma deneyleri yapılmıştır.

#### 3.1.1.1 Binder tabakası için kaba agreganın özellikleri

Kaba agrega; kırmataş, kırma çakıl veya bunların karışımından oluşacaktır. Kaba agrega; agrega karışımının 4.75 mm'lik (No.4) elek üzerinde kalan kısmı olup sağlam,

dayanıklı, pürüzlü ve temiz danelerden oluşacaktır [55].

Binder tabakası için kaba agreganın sağlaması gereken şartname değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Kaba agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri [55].

| Deney | Şartname Limitleri [c] | | Deney Standardı |
|---|---|---|---|
| | Binder | Aşınma | |
| Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp | ≤ 30 ($LA_{30}$) | ≤ 27 ($LA_{27}$) | TSEN 1097-2 [a] (AASHTO T96) |
| Aşınma Direnci (Micro-Deval)[b], % Kayıp | ≤ 25 ($M_{DE}$ 25) | ≤ 20 ($M_{DE}$ 20) | TS EN1097-1 |
| Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, ($MgSO_4$ ile kayıp), % | 18 ($MS_{18}$) | 16 ($MS_{16}$) | TS EN1367-2 |
| Kırılmışlık, ağırlıkça % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak) | ≥ 95 - ≤0 ($C_{95/0}$) | ≥ 95 - ≤0 ($C_{95/0}$) | TS EN933-5 |
| Yassılık İndeksi,% | ≤ 30 | ≤ 25 | BS 812 |
| | ≤ 25 ($FI_{25}$) | ≤ 20 ($FI_{20}$) | TS EN 933-3[a] |
| Cilalanma Değeri,% | ≥ 35 ($PSV_{35}$) | ≥ 50 ($PSV_{50}$) | TS EN1097-8 |
| Su Emme, % | ≤ 2.5 ($WA_{24}$2.5) | ≤ 2.0 ($WA_{24}$2.0) | TS EN1097-6 |
| Soyulma Mukavemeti, % Bitümle Kaplı Yüzey (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra) | ≥ 60 | ≥ 60 | TS EN12697-11 (Kısım 403 EK-A) |
| Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, % | ≤ 0.3 | ≤ 0.3 | ASTM C 142 AASHTO T 112 |

a Referans metot.
b Gerek görüldüğünde yapılacaktır.
c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043'deki sınıfını gösterir.

### 3.1.1.2 Binder Tabakası için ince agreganın özellikleri

İnce agrega; agrega karışımının 4.75 mm'lik (No.4) elekten geçip 0.075 mm'lik (No.200) elek üzerinde kalan malzeme olarak tanımlanmaktadır. İnce agrega kırılmış taş, çakıl, kum ile bunların karışımından oluşup sağlam, dayanıklı, ve temiz olacaktır [55].

Binder tabakası için ince agreganın sağlaması gereken şartname değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** İnce agreganın özellikleri [55].

| Deney | | Şartname Limitleri | | Deney Standardı |
|---|---|---|---|---|
| | | Binder | Aşınma | |
| Plastisite İndeksi % | | NP | NP | TS 1900-1 |
| Organik Madde, (%3 NaOH ile) | | Negatif | Negatif | TS EN1744-1 Madde 15.1 |
| Su Emme, % | | ≤ 2.5 ($WA_{24}$2.5) | ≤ 2.0 ($WA_{24}$2.0) | TS EN1097-6 |
| Metilen Mavisi, g/kg | İnce agreganın 0/2 mm kısmına | ≤ 1.5 ($MB_{1.5}$) ≤ 3.0 ($MB_{3.0}$)* | ≤ 1.5 ($MB_{1.5}$) ≤ 3.0 ($MB_{3.0}$)* | TS EN933-9 |
| | Öğütülmüş magmatic TSEN 933-9 agreganın 0/2mm kısmına | ≤ 3.0 ($MB_{3.0}$)* | ≤ 3.0 ($MB_{3.0}$)* | |
| *Magmatik kökenli kayaçlarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır. | | | | |

### 3.1.2 Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan mineral filler

Çalışmamızda mineral filler olarak kalkertaşı tozu kullanılmıştır. Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan mineral filler, mineral agrega olarak da kullanılan Aksaray belediyesi, asfalt şantiyesinden temin edildikten sonra 200 nolu elekten elenerek mineral filler olarak kullanılmıştır.

Malzemenin tamamı, 0.425 mm (No.40) elekten geçip, ağılıkça en az %70'i 0.075 mm (No.200) elekten geçen malzeme, mineral filler olarak tanımlanmaktadır. Binder tabakası için, mineral filler Çizelge 1.4'de belirtilen gradasyon limitlerine uymalıdır.

Mineral filler; taş tozu, mermer tozu, sönmüş kireç, veya bunlara benzer maddelerden oluşup kil, toprak, organik ve zararlı madde içermemelidir.

Agrega karışım gradasyonu 0.425 mm (No.40) elekten geçen malzeme miktarı bakımından yetersiz ise, agrega karışımına mineral filler eklenebilir [55].

**Çizelge 3.4.** Mineral fillerin gradasyon limitleri [55].

| Elek Boyu (mm) | Elek No | Ağırlıkça % Geçen |
|---|---|---|
| 0.425 mm | (No.40) | 100 |
| 0.075 mm | (No.200) | 70 - 100 |

Çalışmamızda, şartname değerlerini sağlamış, istenilen niteliğe uygun agrega kullanılmıştır.

### 3.1.3 Asfalt çimentosu

Çalışmada TS 1081 EN 12591 standardına göre KGM'nın bitümlü sıcak kaplmalarda yaygın olarak kullanılan 50/70 sınıfı bitümü kullanılmıştır. Yapılan deneylerde (Marshall Dizaynı) kullandığımız bitüm Aksaray Belediyesi, asfalt şantiyesinden temin edilmiştir.

## 3.2 Yöntemler

Tez konusu olan çalışmanın gerçekleştirilmesinde kullanılan malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deney yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

Bu yöntemlere geçmeden önce deneylerin yapılmasında kullanılan cihaz ve ekipmanları belirtmek daha faydalı olacaktır. Bunlar:

- Marshall Deney Aleti,
- Marshall Sıkıştırıcısı,
- Marshall Numune Kalıpları,
- Su Banyosu,
- Etüv,
- Hassas Terazi,
- Elek Serisi,
- Akma Ölçer (flowmeter)
- Kumpas,
- Hidrolik Numune Çıkarıcı,

### 3.2.1 Agrega örneklerine uygulanan deneyler

Asfalt üretiminde kullanılan agreganın özelliklerini tespit etmek için yapılan deneylerdir. Yapılan asfalt üretiminde agreganın kullanılabilmesi için üretim öncesi bazı deneylerin mutlaka yapılması gerekmektedir.

Kimyasal özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler: Çimentolu sistemlerde agrega yapısında kimyasal tepkimeler oluşturabilecek mineraller içermemelidir.

Fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler: şekil, boyut, sertlik, sıcaklık değerleri, yassılık indeksi, aşınma dayanımı gibi testlerdir.

Agregalar taşıma işlemi için, amaçlanan tane dağılımını sağlamak için ve depolamanın kolaylaştırılması için; farklı boy ve sınıflara ayrılır. Bu amaçlar doğrultusunda agregalar; agrega ocaklarında 0-5mm, 5-12mm, 12-19mm ve 19-25mm gibi çeşitli boylara ayrılırlarak şantiyelerde veya imalat firmalarında uygun şartlarda istiflenir.

Çalışmada yapılan deneylerin yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.2.1.1 Kaba agregalar için özgül ağırlık deneyi

Özgül ağırlığın tespitinde kullanılacak cihaz ve yöntemler ASTMC 127'de açıklanmıştır. Buna göre yöntemin işleyişi aşağıda verildiği gibi sıralanabilir.
4.75 mm elekte elendikten sonra elek üstünde kalan yıkanmş yaklaşık 5 kg ağırlığındaki agrega, etüvde sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutma işlemine tabii tutulur. Kurutma işleminden sonra agrega 24 saat su içinde bekletilir. Suda bekletilmenin amacı ise agreganın suya doygun hale getirilmesidir. Suya doygun hale getirilen agrega, ince tanelerin kaybolmamasına dikkat edilerek süzülür. Süzülen agreganın yüzeyi dougun hale gelene kadar kurutulur. Yüzeyi kurutulan agrega tartılarak ağırlğı tespit edilir. Ağırlığı tespit edilen agrega bir tel sepetin içine konarak suya batırılır. Agreganın üzerinde 5 cm yüksekliğinde su tabakasının olmasına dikkat edilir. Kovanın içindeki agrega en az 10 kez su içinden çıkarılmadan sağa sola,yukarı aşağı hareket ettirilerek içindeki hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Agreganın sudaki ağırlığı tartılarak not edilir. Sudan çıkarılarak etüvde sabit ağılığa gelinceye kadar kurutulur. Etüvden çıkarılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur ve kuru ağırlığı tartılarak not edilir. Ölçüm sonuçlarına aşağıdaki formüller uygulanarak hesaplanır.

Kaba Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı = M1/(M2-M3) (3.1)
Kaba Agreganın Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı = M2/(M2-M3) (3.2)
Kaba Agreganın Görünen (Zahiri) Özgül Ağırlığı = M1/(M1-M3) (3.3)
Kaba Agreganın Su Emme Oranı % si = [(M2-M1)/M1]*100 (3.4)

Formüllerdeki ifadelerin açılımı ;

**M1 :** Agreganın Kurutulmuş Ağırlığı (gr),
**M2 :** Agreganın Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı (gr),
**M3 :** Agreganın Sudaki Ağırlığı (gr),

### 3.2.1.2 İnce agreganın özgül ağırlık deneyi

Deneyin gerçekleştirilmesi için kullanılacak yöntem ve cihazlar AASHTO T 84 ve ASTM C 128'de açıklanmıştır. Buna göre deneyin uygulaması aşağıda belitilmiştir.

1000 gr civarındaki ince agrega ağırlığı sabit dereceye ulaşıncaya kadar etüvde kurutulur. Kurutma işleminden sonra ince agrega, suya doygun hale gelmesi için 24 saat su içinde bekletilir. Daha sonra, ince tanelerin kaybolmamasına dikkat edilerek süzülür ve bir tepsi içine serilir. Tepsi (düz bir düzey) içindeki numune ılık hava akımı olan bir yere alınır veya hava akımı sağlayacak bir ısıtıcı vasıtasıyla doygun kuru yüzeye ulaşıncaya kadar ısıtılır. Bu işlem sadece yüzey ıslaklığının yok edilmesi olup kurutma işlemi dikkatli yapılmalıdır. Doygun kuru yüzeye oluşan agrega tartılır ve kaydedilir. Kuruyuncaya kadar etüve yerleştirilir. Etüv kurusu desikatöre konur ve oda sıcaklığına ulaşılıncaya kadar soğutulur. Soğutma işleminden sonra numune darası alınmış olan Piknometre (Cam Ölçü Kabı)'ına doldurularak tartılır. Piknometrenin darası çıkartılarak kuru numunenin ağırlığı olarak kaydedilir. Piknometre 20 °C'lik ısıya sahip suyla yarısına kadar doldurulur, içindeki numune karıştırılarak agreganın içindeki hava kabarcıkları yok edilir. 1 saat bekletildikten sonra Piknometre yine 20 °C lik suyla 500 ml (istenirse 1000) çizgisine kadar doldurularak tartılır. Tartım sonucundan daha önce tarttığımız numunenin kuru ağırlığı çıkartılarak Piknometre + su ağırlığ hesaplanır. Ölçüm sonuçlarına aşağıdaki formüller uygulanarak hesaplamalar yapılır.

İnce Agreganın Kuru Özgül Ağırlığı = M1/(M2+M4-M3) (3.5)
Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı = M2/(M2+M4/M3) (3.6)
Görünen (Zahiri) Özgül Ağırlığı = M1/(M1+M4-M3) (3.7)
Su Emme Oranı % si = [(M2+M1)/M1]X100 (3.8)
Bu formüllerdeki ifadelerin açılımı;

**M1 :** Agreganın Etüv Kurusu Ağırlığı (gr),
**M2 :** Agreganın Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı (gr),

**M3 :** Ölçü Kabı+Su+Numune Ağırlığı (gr),
**M4 :** 500 ml izgisine kadar su ile dolu Ölçü Kabı Ağırlığı (gr) dır.

### 3.2.1.3 Mineral filler için özgül ağırlık deneyi

Mineral Filler malzemeye uygulanacak Özgül Ağırlık Deneyi ASTM C 854 standartlarına göre yapılır. Buna göre;

- Etüv 110 ± 5 °C ısıya ayarlanarak malzeme ağırlığı stabit hale gelinceye kadar kurutulur.
- Cam Ölçü Kabının (Piknometre) 1/3 'ne kadar filler malzeme doldurulurak tartılır.
- Piknometre (Cam Ölçü Kabı) yarısına kadar su ile doldurulur. 5 adakika boyunca 50 m bar vakum üreten Desikatör içerisinde yerleştirilerek malzemenin havası alınır.
- Ölçü Kabı su ile doldurulur. Daha sonra 25 ± 1 °C ısıya sahip su banyosunda 1 saat bekletilir. Ardından su bamyosundan alınır, kurutulur ve tartılır.

Mineral Filler Malzemenin Zahiri Özgül Ağırlığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır ;

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık } \left(^{kN}/_{cm^3}\right) = \frac{(\text{Cf}-\text{Af})}{(Bf-Af)-(Df-Cf)} \tag{3.9}$$

Formüldeki ifadelerin açılımı;

**Af:** Etüvde kurutulmuş numune ağırlığı (gr),
**Bf:** Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr),
**Cf:** 1/3 'ü Su ve numune ile doldurulmuş piknometre ağırlığı (gr),
**Df:** Su banyosundan çıkarılıp ve kurulanan numunenin ağırlığı (gr), dır.

### 3.2.1.4 Los Angeles deneyi

Bu deney, agregaların darbe etkisiyle oluşacak aşınmaya karşı dayanıklılığını ölçmek için yapılır. ASTM C131 ve TS EN 1097-2 standartları uygulanılarak gerçekleştirilir.

Agreganın aşınma miktarı, Los Angeles makinesi ile ölçülür. Los Angeles Makinası; iki ucu kapalı, iç çapı 71 cm ve iç uzunluğu 51 cm olan, çelik bir silindirden meydana gelir. Agrega örneğini silindir içine koyabilmek için özel tasarım bir kapağı vardır.Aşındırma için kullanılan malzeme ise 4.68 cm çapında dökme demirden veya çelikten imal edilmiş kürelerdir. Her birinin ağırlığı 390 ile 445 gram kadardır. 11 adet olmalıdır

Deneyin uygulanması :

5000 gr. numune kurutularak "etüv kurusu" haline getirilir.
Etüv kurusu numuneler ve aşındırma küreleri Los Angeles makinesine konur.
Makine, dakikada 30-33 devir döndürülerek A,B,C,D sınıfları için 500; E,F,G sınıfları için 1000 devir yaptırılır.
Numuneler makineden alınıp 1.70 mm (No 12) elekte elenir ve elek üzerinde kalan kısım yıkanır.
110 °C' ye ayarlı etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra tartılır. Çıkan sonuç ilk ağırlığından çıkartılarak "Aşınma Kaybı hesaplanır.
Deneyde kullanılan alet ve malzemeler :

Etüv, Terazi, Los Angeles Makinası, 11 tane çelik/döküm Küre



**Şekil 3.1.** Los Angles deney cihazı.

### 3.2.1.5 Çözünürlük deneyi (Organik madde deneyi)

Bu deney metodu agrega içinde, zararlı olabilecek organik madde oranını tespit etmek için uygulanmaktadır. Kullanılan standartlar ASTM C-40 ve TSE 1090 da belirtilmiştir.

Agregada bulunan bitki artıkları, humus gibi maddelere organik maddeler denir.

Organik maddeler, zayıf asit özelliği gösterirler. Bunlar, çimentonun hidratasyon reaksiyonuna etki eden organik asitlere sahiptirler. Ayrıca agrega içerisinde sülfat, klorit, karbonat ve fosfat tuzları gibi maddelerde var olabilir.

Agregalarda bulunan organik maddelerin miktarı, asit-baz reaksiyonu ile tespit edilir. Agreganın düşük konsantrasyonlu Na OH ( %3 ) eriyiği ile karıştırıldıktan 24 saat sonraya kadar, eriyik rengini değiştirir. Daha sonra eriyiğin aldığı renge göre agrega hakkında Çizelge 3.5'de görüldüğü gibi karar verilecektir.

**Çizelge 3.5.** Organik madde deneyinin analizi.

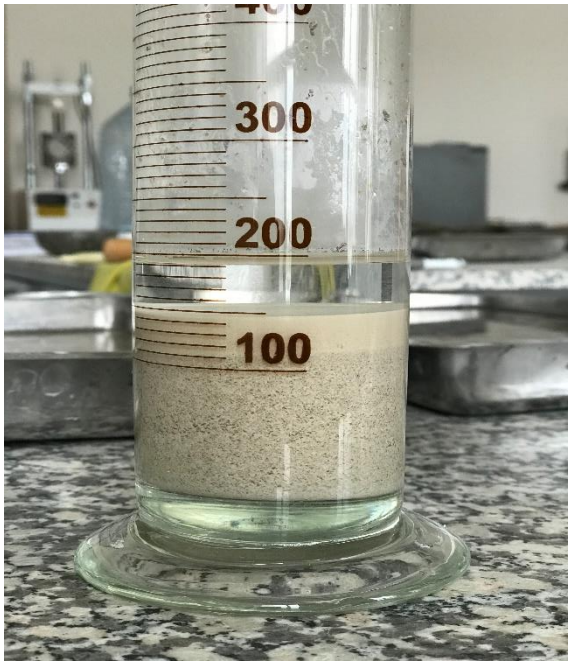
| Eriyik Rengi | Organik Madde | Agreganın Kullanımı |
|---|---|---|
| Renksiz veya çok açık sarı | Hiç yok veya çok az var | Kaliteli |
| Safran sarısı | Az miktarda var | Normal işler için uygun |
| Belirgin Kırmızı | Var | Önemsiz işlemlerde kullanılabilir |
| Belirgin Kahverengi | Çok var | Kullanılmaz |

Deneyin uygulanması :

- Yaklaşık 300 $cm^3$ hacminde cam mezur veya şişe alınır. Hacminin 180 $cm^3$ ve 200 $cm^3$ lük kısımları çizgi ile gösterilir.
- 180 $cm^3$ çizgisine kadar numune kum ile doldurulur. İri agrega için 8 mm lik elek altına geçen kısım alınır.
- Bunun üzerine %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi 200 $cm^3$ çizgisine kadar doldurulur. ( %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi, 1 lt suda 30 gr sodyum hidroksit çözmek suretiyle elde edilir ).
- Şişenin ağzı sıkıca kapatılır. 1 dk kadar çalkalanır ve karanlık, sarsıntısız bir yere bırakılır.
- 24 saat sonra sıvı kısmının rengi incelenerek zararlı madde miktarı hakkında bilgi edinilir.

Sıvı kısmının renksiz veya açık renkte olması agrega içinde zararlı olabilecek organik madde olmadığını belirtir. Rengin sarı ve kahverengi arasında değişmesi halinde katılaşma gecikebilir nihai dayanım azalabilir. Kahverengi ve koyu kahverengi olması halinde agrega kullanılmaya elverişli değildir. Agregalarda az da olsa organik madde olması, betonun sertleşmesini geciktirebileceği veya durdurabileceği için sakıncalıdır.

Şekil 3.2'de deneye tabi tutulan malzeme 24 saat bekletildikten sonra incelemeye hazır olan Organik madde deneyinin sonucu gösterilmiştir.




**Şekil 3.2.** Organik madde deney sonucu.

### 3.2.1.6 Hava etkilerine dayanıklılık deneyi (Donma çözülme deneyi)

Çok uzun süre bekleyen agreganın sert hava şartlarında donma ve çözülmeye karşı mukavemetinin ölçülmesi için yapılan deneydir. ASTM C 88 standartlarına uyularak gerçekleştirilir. Agregaların hava etkileri ile donarak ufalanmaya karşı olan dirençleri hususunda, laboratuvar ortamında bir karara ulaşabilmek için yapılan hızlandırılmış bir deneydir. Deneyde $Na_2SO4$ ve MgSO4 çözeltileri kullanılır.

Deneyin uygulanması :

- Tuz, 25-30 ℃ sıcaklıktaki su içinde karıştırılarak çözülür. 1 litre su için 250 gram sodyum sülfat tuzu veya 750 gram kristalize sodyum sülfat tuzu katılır.
- Çözeltinin ağzı kapatılarak 48 saat sabit sıcaklıkta olan rutubet odasında bekletilerek buharlaşma engellenir.
- Topaklaşmayı gidermek için iyice karıştırılır ve özgül ağırlığı belirlenir. Özgül ağırlık 1.151'den az, 1.174'den fazla olmamalıdır.
- Agrega 3/4; 3/8 ve No 4 eleklerde elenir.
- Elek arasındaki agrega yıkanır, 110 ℃'lik etüvde kurutulur. Her elek üzerinde

kalan miktarın toplam miktarın %5'inden az olmamasına dikkat edilerek

- Çizelge 3.6'de verilen miktarlara göre tartılırak aynı kaba konur [35].

**Çizelge 3.6.** Dane boyuna göre agrega ağırlık miktarı.

| Dane Boyları (mm) | | Ağırlık (gr) | Toplam Ağırlık (gr) |
|---|---|---|---|
| 4.75 – 9.50 | | 300 | 300 |
| 9.5 – 19.0 | 9.5 – 12.50 | 330 | 1000 |
| | 12.50 – 19.0 | 670 | |

Elde edilen örnek 18 saat süreyle oda sıcaklığında çözelti içerisinde bırakılır. Örnek çözeltiden alınarak 15 dakika süreyle süzülür, daha sonra 100 °C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Etüvden çıkarılarak ısısı oda sıcaklığına ulaşıncaya kadar soğutulur. Bu işlem beş kez tekrarlanır. Örnek tamamen temizleninceye kadar yıkanır. İstenen malzeme Çizelge 3.7.'de verildiği gibi eleklerden elenir.

**Çizelge 3.7.** Deneyde kullanılan elek aralığı.

| Agrega Boyutu (mm) | Elek Aralığı (mm) |
|---|---|
| 4.75 – 9.50 | 4 |
| 9.5 – 19.0 | 8 |

Her elek üzerinde kalan malzeme ağırlığı ile deneyden önceki ağırlık arasındaki fark "donma kaybını", bu kaybın ilk ağırlığa oranı "donma kaybı yüzdesi"ni verir.

Deneyde Kullanılan Alet ve Malzemeler; Etüv, elek, çözelti ve terazidir.

Şekil 3.3'de deneyin yapılması için saf suya $MgSo_4$ tuzu ekleyerek çözeltinin hazırlanışı görülmektedir.




**Şekil 3.3.** MgSo4 çözeltisinin hazırlanışı.

### 3.2.1.7 Yassılık deneyi

Yassı danelerden oluşan bir asfalt, trafik şartlarında stabil değildir. Yassı daneler basınç altında kırılır ve mukavemeti azalır. BS 812 standart numarası ile literatürde açıklanan bir durumdur. Agreganın yassı kabul edilebilmesi için, bir agrega danesinin kalınlığının, nominal boyutunun 0.6'sından küçük olması gerekir

Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam örnek ağırlığının yüzdesi olarak açıklanır. Deney 6.3 mm'den büyük ve 63 mm'den küçük malzemeye uygulanır. Belirlenen miktarlar 14 mm,10 mm ve 6.3 mm'lik yassılık eleklerinden elenerek "yassılık indeksi" hesaplanır.

Deneyde kullanılan alet ve malzemeler ise elek ve terazidir. Şekil 3.4.'de yassılık deneyinde kullanılan aleti verilmiştir.




**Şekil 3.4.** Yassılık indeksi deneyin aleti.

### 3.2.1.8 Soyulma deneyi

Bu deney yoluyla, su ve sıcaklık etkisi altında kalan agreganın bitüm adezyonundaki azalma miktarı belirlenir. "Soyulma miktarı" kullanılan agreganın cinsine (kalker, bazalt, gibi) ve bitümlü bağlayıcının tipine göre değişir. Eğer agreganın mukavemeti düşük ise asfalt çimentosuna deneyle belirlenen oranda katkı maddeleri eklenerek, soyulma mukavemeti artırılır.

Deneyde kullanılan alet ve malzemeler :

- Etüv
- Cam baget
- Karıştırma kabı

Deneyin yapılışı :

Boyutu 6.3 - 10 mm arasında olan 600 gr kırılmış agrega numunesi 6.3mm'lik elekten yıkanarak elenir.

Elenen numune 110±5 ºC'lik etüvde sabit ağırlığa ulaşıncaya dek kurutulur. Bu malzemeden 150 adet agrega numunesi bir kaba, yeterli miktarda bitümlü bağlayıcı ise ayrı bir metal kaba konurarak tekrar etüve yerleştirilir. Karıştırma kabı ile birlikte TS EN 12697-35'de verilen sıcaklık değerlerine gelinceye kadar ısıtılır.

Karıştırma kabının içerisine agrega numunesi konur, üzerine agreganın ağırlıkça %5'ine eşit miktarda bitüm numunesi dökülür. Daha sonra agregalar bitüm ile tamamen kaplanıncaya kadar karıştırılır.

Karışım numunesi, iki kaba eşit miktarda bölünür ve cam bagetle çok hafif darbelerle düzeltilir.

İki kap, 1 saat±5 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletildikten sonra, saf su ile dolu derin bir tepsi içerisine batırılır numune üzerinde en az 3cm yüksekliğinde su olmasına dikkat edilmelidir. Tepsi, 60 ºC ‘ lik etüve konur ve 24 saat beklenir.

Kaplar dışarı alınır, suyu değiştirilir, yandan gelen bir ışık altında gözle incelenir.

Deney sonunda tüm agrega danelerinin soyulmamış yüzeylerinin (kahverengimsi, saydam kısımlar soyulmamış kabul edilir) bütün yüzeye oranı, TS EN 12697-11’e uygun olarak belirlenerek en yakın %5’e yuvarlanır ve "Soyulmaya Karşı Dayanıklılık" olarak ifade edilir.

Binder tabakası için şartnamede belirtilen maksimum soyulma oranı %60 ve üstü olmalıdır.

Şekil 3.5’de ışık altında gözlemenerek sonuca hazır olan soyulma deneyine tabi tutulan numuneler görülmektedir.



**Şekil 3.5.** Soyulma deneyin sonucu.

### 3.2.1.9 Kil topakları deneyi

Agrega taneleri üzerine sıkıca yapışmış olan ve betonun karılma işleminde agrega tanelerinden ayrılmayan "kil parçacıkları, kil topakları‘ olarak anılmaktadır. Kil topakları, bazen, birbirine sıkıca yapışmış durumda ve adeta bir agrega tanesi gibi agrega içerisinde yer almaktadır. Fazla miktarda kil topakları içeren agregalarla yapılan betonların karma suyu ihtiyacı artmaktadır. Taze betonun işlenebilmesi, sertleşmiş betonun, dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Ayrıca agregada fazla miktarda kil topaklarının ve kırılabilir maddelerin yer alması durumunda, beton yüzeyinde çukurlar oluşmakta, betonun görünümü bozulmaktadır.

ASTM C 142 no.lu standartta kil topaklarının bulunmasına dair bir yöntem belirtilmektedir. ASTM standartlarına göre, ince agregada bulunabilecek kil topaklarının maksimum miktarı %0.3 olmalıdır; iri agregada bulunabilecek kil topaklarının maksimum miktarı ise, betonun tipine veya kullanılacağı yapıdaki lokasyona göre, %0 ile %10 arasında değişmektedir. Agrega içinde dağılmış veya topaklar olarak ya da agrega tanelerine yapışık olarak bulunan bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur. TS 3527’ye göre 0.063 ( 200 nolu ) mm elek üstünde yıkama metodu kullanılarak yapılan deneylerin sonuçlarına göre bu maddelerin miktarı en fazla Çizelge 3.8’deki sınırlar dahilinde olmalıdır.

**Çizelge 3.8.** Agrega içinde bulunabilecek yıkanabilir madde miktarı

| Agrega Tane Sınıfı ( mm ) | **Ağırlıkça % max** |
|---|---|
| 0/1, 0/2, 0/4 | 4.00 |
| 1/2, 1/4, 2/4 | 3.00 |
| 2/8, 4/8 | 2.00 |
| 4/16, 4/32, 8/16 | 0.50 |

Deneyinin yapılışı;

- Silindir şeklinde 1000 $cm^3$ lik şeffaf bir kabın (şişein) 2/3’üne kadar numune agrega konur.
- Numune agreganın üzerini 5 cm yüksekliğinde su doldurulur.
- Kabın ağzı el ile kapatılarak bütün agrega taneleri temizleninceye kadar (en az 1dk) çalkalanır.
- Deney kabı sabit bir zemin üstüne konur.

- Bir saat beklendikten sonra agrega yüksekliği ile bunun üzerinde meydana gelen kil tabakasının kalınlığını ölçülür.
- Üstte biriken kil tabakası kalınlığının (h), toplam numune yüksekliğine oranı "Kil Topak Oranı" tane iriliğine göre gruplandırılmış çeşitli agregalarda belirlenmiş limitleri aşmamalıdır.

#### 3.2.1.10 Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi boyası, kil tarafından çok kolay emilen bir özelliğe sahiptir. Agreganın içindeki kil, taş unu, silt gibi malzemeler tarafından emilir, bu malzemeler doygun hale geldiklerinde ise boyayı dışarı salar. Agrega içinde ne kadar çok ince malzeme (taş unu, silt, kil gibi …) varsa metilen mavisi deney sonucunu da yüksek çıkar. TS 706 EN 12620 standardında ince malzemenin en fazla %3 olması gerektiği bildirilmektedir.

Bu deney zararlı kil minerallerinin miktarını belirlememize imkân verir, ancak kil minerallerinin cinsini blirlemez. Bu yüzden zarar verme oranlarını belirleyemez.

Agregada bulunan kil mineralleri artıkça, adsorblanan Metilen mavisi miktarı arttacağından metilen mavisi (MB) değeride artmaktadır. MB değeri arttıkça, agrega içerisindeki kil ve silt miktarı fazla, MB değeri azaldıkça, kil ve miktarı azdır denir.

Deneyde kullanılacak alet ve malzemeler :

10 gr metilen mavisi tozu

1000 gr saf, damıtık yada demineralize 40 °C su

Metilen Mavisi Test Cihazı

Terazi

Etüv

1 kg ince Kum

Büret

Deneyin yapılışı:

Metilen Mavisi Solisyonun Hazırlanması:

Solisyon için 500 gr suya 10 gr metilen mavisi tozu eklenir.

Metilen Mavisi Test Cihazında 400 devirde, toz tamamen çözülünceye kadar yaklaşık 45 dakika karıştırılır.

Hazırlanan solisyon 20 °C ısıya düşünceye kadar beklenir. Daha sonra bir şişeye doldurulur.

500 gr daha saf su tartıp karıştırma kabına konur. Şişedeki solisyona yavaş yavaş eklenerek Metilen Mavisi Solisyonu hazırlanmış olur.

Deney aşamaları:

- 1 kg ince kum 105 °C lik etüvde, 24 saat kurutulur.
- Kuruyan malzeme 2 numaralı elekten elenir ve 200 gr malzeme alınır.
- 200 gr malzeme, 500 gr saf su ile metilen mavisi karıştırma kabına doldurulur.600 devirde 5 dakika karıştırılır.
- 5 ml metilen mavisi boyası damlatılarak 1 dakika boyunca 400 devirde karıştırılır.
- Karışıma büret batırılarak filtre kâğıdına damlatılır.
- Filtre kâğıdında meydana gelen lekenin etrafında, yaklaşık 1 mm kalıcı mavi bir hale oluşana kadar işleme 5 ml damlatıp, 1 dakika karıştırarak büret ile damlatmaya devam edilir.
- 4 Dakika içinde mavi hale yok olmazsa, bu değer "Metilen Mavisi Sonucu" olarak kabul edilir.

Metilen mavisi deney sonucu sayısal bir değer olarak aşağıdaki denklemle hesaplanır.

MM = [(a-c)/b]x10

a : Toplam verilen metilen mavisi boya miktarı (ml)

c : Deneyde kaolinit kullanılması halinde, kaolinitin adsorblayacağı boya miktarı (ml)

b: 0-2 mm aralığında kurutulmuş deney numunesi ağırlığı (gr)

Şekil 3.6'de Metilen Mavisi deneyin cihazı görülmektedir.



**Şekil 3.6.** Metilen mavisi deney cihazı.

### 3.2.1.11 Likit limit deneyi

Likit limit (akma limiti ) deneyi; akıcı durumdaki zeminin, plastik duruma dönüştüğü anda içinde barındırdığı su miktarını ölçmek için yapılan deneydir. Üç farklı metodla bulunabilir. Bunlar :

1-Casagrande yöntemi,
2-Düşen koni penetrasyon yöntemi,
3-Tek nokta yöntemi, dir.

Bu çalışmada Casagrande yöntemi kullanılmıştır.
Deneyde kullanılacak alet ve cihazlar :

- Sert plastik tabanlı standart likit limit deneyi aleti,
- Standart oyuk açma bıçağı,
- Yarı-logaritmik grafik kağıdı,
- Spatula,
- Kurutma kabı,
- Damıtık su dolu plastik şişe,
- Üzerleri numaralandırılmış küçük metal veya cam kaplar,
- Etüv,

- 40 numaralı elek ve tava,
- Metal veya plastik bir cetvel,

Şekil 3.7'de Likit Limit deney cihazı ve gereken malzemeleri görülmektedir.



**Şekil 3.7.** Likit limit deney cihazı ve gereklileri.

Deneyin yapılışı:

Likit limiti tespit edilmek istenen zeminden, bu zemini temsil edecek bir miktar alınarak kurutulur. Daha sonra 40 numaralı elekten elenerek 250–300 gr numune alınır.

Numune, bir kap içerisine konur, damıtık su kademeli olarak numuneye karıştırılarak ilave edilir.

Numune kabı, plastik bir örtüyle kapatılır, ardından nem odasına veya desikatör (hava almayan ağzı kapaklı cam kap) içine konarak 24 ya da 48 saat boyunca "kür" için bekletilir.

Numune, nem odası veya desikatörden alınarak spatula ile karıştırılır. Bir miktar daha damıtık su ilave edilir ve karıştırılır.

Casagrande aletinin tası sert plastiğe oturtulur, hazır durumdaki numuneden spatula ile bir miktar alınarak, tasın içerİsine yerleştirilir. Hava kabarcıkları kalmamasını

dikkat edilerek numunenin yüzeyi yatay olacak şekilde düzeltilir. Numunenin en kalın kısmı yaklaşık olarak 1 cm olmalıdır

Standart oyuk açma bıçağı kullanılarak numunenin ortasından bir yarık açılır. Yarık açılırken, yarığın düzgün olmasına dikkat edilmelidir. Bu işlem numune pastası kurumadan çok hızlı yapılmalıdır.

Bu işlem elektrikli cihazla yapıldığında düşüşlerdeki zaman aralığı ve düşüş sayısı (N) otomatik olarak cihaz tarafından yapılacağı için, sadece yarığın tabanındaki kapanma izlenerek kapanma 1 cm olduğunda cihaz durdurulur.

Cihaz durdurulduktan sonra spatula kullanılarak 1 cm' lik kapanmanın olduğu bölgeden bir miktar numune pastası alınır, küçük metal bir kaba konur.

Metal kaptaki numune pastası 0.01 gr hassasiyete sahip bir terazide tartılarak kütlesi kaydedilir. Daha sonra su içeriğinin belirlenmesi amacıyla etüve yerleştirilir.

Cihazın tasında kalan numunenin hepsi alınır ve önceki kabına tekrar konur. Tas temizlenir ve kurutularak bir sonraki deneye hazır duruma gelmesi sağlanır.

Kapta bulunan numuneye bir miktar daha damıtık su ilave edilir, iyice karıştırılarak aynı işlemler tekrarlanır.

Deneyler en az dört kez tekrarlanır. Deneylerin sonunda dört tane düşüş sayısı (N) ve dört tane su içeriği (w) elde edilir. N değerlerinden iki tanesi 25'den küçük iki tanesi de 25'den büyük olmalıdır. Bu sağlanmamışsa deneyler; bu koşul yerine gelinceye kadar tekrarlanır.

Deneyler, numunenin su içeriği miktarı sürekli arttırılarak yapılmalıdır. Çok fazla damıtık su ilave edildiğinde ise, su içeriğinin azaltılması için numuneye bir miktar kuru zemin eklemesi yapılmalıdır.

Birbirinden çok farklı olan sonuçlar dikkate alınmaz. Bunun sebebi olarak genellikle numunenin iyi karıştırılmamış olması görülür.

Hesaplamalar, sonuç ve değerlendirme:

Zeminlerin likit limiti, bu deneyde 25 düşüşe karşılık gelen özel bir su içeriğidir. Bu yöntemle 25 düşüşe karşılık gelen su içeriğini tek bir denemede bulabilmek mümkün

olmadığı için, en az dört tane N ve dört tane de w bulunur. Yatay eksende N (düşüş sayısı) ve düşeyde w (su içeriği) olacak şekilde işaretlenerek, elde edilen dört noktadan geçen en uygun doğru geçirilir. En uygun doğrunun denklemini bulabilmek için basit bir bilgisayar programından yararlanılabilir. Bu, doğru akma doğrusu olarak adlandırılır. Eksen takımında N=25 bulunarak akma eğrisi kestirilir.

Deneyin rutubetli bir ortamda yapılması ve buharlaşmadan kaçınılması gerekir. Akma limiti, zemin cinsine göre oldukça değişik değerlerdedir. Kumlar için bunun değeri % 20 civarında değişir, zayıf killerde % 25 — % 40 arasında değişir. Yağlı killerde % 80 civarındadır. Organik zeminlerde ise bu değer % 250' ye kadar çıkar. İnce ve kalın akma formlarının sınırlarını tayin etmek güçtür.

Yatay eksenin, 25 vuruşu gösteren noktasından geçen düşey doğrunun grafiği kestiği nokta bulunur. Bu noktadan çizilen yatay doğrunun, düşey eşeli kestiği nokta, Likit Limit değeridir.

Karayolu teknik şartnamesinde binder tabakası için bilirtilen Likit Limit deneyin sonucu NP (No Parametriktir).

#### 3.2.1.12 Plastik limit deneyi

Plastik limit Deneyi; ıslak zeminin yoğrulma esnasında yüzeyinde çatlaklar belirdiği andaki su içeriğini belirlemek için yapılır. Plastik formdan, gevşek-katı forma geçiş şartları içindeki zeminin kıvamı, plastik limit ile belirlenir.

Deneyin yapılışı:

Bir miktar zemin su ile yoğrularak çapları 3 mm, uzunlukları 10 cm kadar olan silindirler elde edilir.

Silindirler, buzlu cam veya düz bir fayans üzerinde yuvarlanarak kısmen suyu çıkartılarak plastikliğinin azalması sağlanır.

Silindirler plastikliğin azalması sonucu harekete devam edemezler ve muhtelif parçalar halinde kırılarak yarılırlar. Bu yarılma anına "Plastik Limit (Yuvarlanma Limiti) adı verilir. Zayıf kil için bu limit, yaklaşık %25'e kadar, yağlı kil için % 30'a kadar, organik zeminler için de % 150' ye kadar çıkar. Eğer zemin çubuğunun çapı 2 mm'ye düştüğü halde ufalanma meydana gelmiyorsa zeminin henüz plastik olduğu

kabul edilerek, bir miktar daha kurutma yapılarak deney tekrarlanır. Görüldüğü gibi bu deney de oldukça sübjektif olup, sonuç deneyi yapan kişiye bağlıdır.

Karayolu teknik şartnamesine göre binder Tabakası için Plastik Limit Deneyin sonucu NP (No Paramitrik) olması gerekmektedir.

### 3.2.1.13 Plastiklik indisi (Plastisite indexi)

Akma limiti (LL) ile plastiklik limiti (PL) arasındaki farka plastiklik indisi adı verilir.

$$Ip = LL — PL \quad (3.10)$$

Bu sayı, zeminin plastik halde bulunduğu kıvam bölgesini tayin eder.
KTŞ'ye göre binder tabakasının plastiklik indeksi deneyin sonucu NP (No Paramitrik) olmalıdır.

### 3.2.1.14 Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılacak agrega gradasyonunun belirlenmesi

Asfalt kaplama karışımlarıda kullanılan mineral agrega miktarı ağırlık olarak yüzde 90 - 95, hacim olarak yüzde 75 - 85 dir. Agregalar kaplamaların yük taşıma kapasitesini belirleyen temel unsurdur. Yani asfalt kaplamasının performansıyla doğrudan ilgilidir. Bu yüzden şartnamelerde kaplama karışımında kullanılacak agregaların boyutları alt ve üst limitleriyle belirtilmiştir. Her katman için farklı gradasyon belirlenmiştir. Bitümlü sıcak karışım tabakalarının yapımında kullanılacak agrega en az üç ayrı dane grubunun (kaba, orta, ince) karışımından oluşmalıdır. Konkasörde, agrega gruplarının kırımları, agreganın kullanılacağı tabakanın gradasyonununu sağlayacak şekilde yapılmalıdır.

Türkiye'de karayolu kırmataşlarında 1", 3/4", 1/2", 3/8", No:4, No:10, No:40, No:80, No:200 standart eleklerinden faydalanılır. Elekler büyükten küçüğe doğru dizilir. Hazırlana malzeme en üst elekten başlanarak elenir. Elek üstünde kalan malzeme yığışımlı olarak 0.1gr hassasiyete sahip terazide tartılır. Sonra yüzde geçenler, toplam yüzde kalanlar ve belli boyutlardaki yüzdeler toplam ağırlığın % 0.1'i hassasiyetinde hesaplanır. Elek analizinde kullanılan elekler ve dizilişleri şekil 3.8'de verilmiştir.




**Şekil 3.8.** Elek analizi seti.

**Çizelge 3.9.** Binder tabakası için agrega granülometrisine ait şartname sınırları [55].

| Elek No | Elek Boyu | | Şartname Limitleri |
|---|---|---|---|
| | İnch | mm | |
| 1 | (1'') | 25 | 100 |
| 2 | (3/4'') | 19 | 80 – 100 |
| 3 | (1/2'') | 12.5 | 58 – 80 |
| 4 | (3/8'') | 9.5 | 48 – 70 |
| 5 | (No:4) | 4.75 | 30 – 52 |
| 6 | (No:10) | 2.00 | 20 – 40 |
| 7 | (No:40) | 0.425 | 8 – 22 |
| 8 | (No:80) | 0.180 | 5 – 14 |
| 9 | (No:200) | 0.075 | 2 – 7 |

### 3.2.2 Asfalt çimentosunun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

#### 3.2.2.1 Penetrasyon deneyi

Deneyde Kullanılan cihaz ve aletler aşağıda verilmektedir.

Penetrasyon cihazı: Sürtünmeye maruz kalmadan, serbestçe batabilen standart bir iğne ve batma miktarını gösteren göstergesi vardır.

İğne: Bitümlü bağlayıcının içine batacak olan ve standartları şartnamelerde belirtilmiş, standart bir iğnedir. Penetrasyon cihazına takıldığında dışarıda kalan kısmının ölçüsü

40-43 mm arasında olmaldır.

Numune kabı:  Metal veya camdan yapılır, silindirik şekildedir ve dibi düz dür.

Su banyosu: Isı değeri 25 °C ±0.1'e ayarlanabilen bir regülâtörü vardır. Minumum 10 lt su alabilecek kapasiteye sahiptir.

Penetrasyon deneyi bitümlü bağlayıcılarnın kıvamlık ve sertlik derecesini belirlemek için uygulanmaktadır. Deney iğnesinin belirlenmiş bir yük altında, belirli bir süre zarfında, belirlenmiş bir ısıdaki bitümlü bağlayıcıya dikey olarak batma mesafesidir. Deney esnasında numune bitümlü bağlayıcının ısısı sabit olmalıdır. Yapılan penetrasyon deneylerinde genel olarak Bitümlü bağlayıcının ağırlığı 100 gr, sıcaklık 25 °C ve zaman 5 saniye olarak alınır. Penetrasyon birimi santimetrenin yüzde biri (0.01 cm')dir. Penetrasyon Aletinin göstergesindeki her bir bölüm 0.1 mm'yi gösterir.

Bitümlü bağlayıcı numuneye, 25 °C sıcaklıkta, 5 saniye süre ile 100 gr lık bir yük uygulanarak Penetrasyon Aletinden değer okunur. Bulunan değer Bitümlü Bağlayıcının Penetrasyon değeridir. Bu değer 500'ün üzerinde ise deneyde uygulanan ısı değeri 15 °C'dir ve yükleme şartları da değişmektedir. Biz penatrasyon değeri 500'e kadar olan deneyleri dikkate aldık.

Genel olarak standart yol uygulamalarında kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasındadır. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar. Kıvamlılık artıkça asfalt sertleşir. Penetrasyon değerleri aynı olan iki asfaltın, yumuşama noktası yüksek olanının sıcaklığa karşı daha dayanıklı olduğu kabul edilir [8].



**Şekil 3.9.** Penetrasyon deney cihazı [76].

### 3.2.2.2 Yumuşama noktası deneyi

Bitümlü bağlayıcının hangi sıcaklıkta akmaya başladığının tespiti için yapılır. Deney yapılırken TSE 120 standartları esas alnır. Deneyin amacı sıcaklığın asfalt üzerindeki etkilerinin tespit edilmesidir. Asfalt üretiminde çeşitli ham petrol ürünleri kullanıldığı için, sıcaklığın etkisi her asfalt için aynı değildir. Bu yüzden bitümlü bağlayıcılara bu deney mutlaka uygulanır. Deney TSE 120 standartlarına uygun olarak seçilmiş bilyenin, ısıtılarak yumuşatılan bitümlü bağlayıcının zarını delerek, içine konduğu numune kabının yüzeyine temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık değerinin tespit edilmesi esasına dayanır. İşte okunan bu değere "Yumuşama Noktası Değeri"denir. (TS 120 EN 1427, 2002)

Deneyde Kullanılan alet ve malzemeler

Halka: Pirinç malzemeden imal edilmiş, TS 120 standartlarına uygun ebatlarda (2 adet)
Isıtıcı
Bilye: 9.50±0.05 mm çelik malzemeden imal edilmiş (2 adet )
Su: Deneyde kullanılan su saf suyu olmalıdır.

Ölçekler: 600 veya 800 $cm^3$, ebatlarında olmalıdır.

Termometre: Civalı termometre

Deneyin uygulanması:

- 2 Pirinç halka bitümlü bağlayıcıyla doldurulurak yüzey düzeltilir ve deney kabına konur.
- 5cm fazlasına kadar, deney kabı su ile doldurulur.
- Halkaların ortasına bilyeler konur.
- -5 ℃'ye kadar soğutulduktan sonra sıcaklığı artmaya başlar
- Her bir dakikada suyun sıcaklığı 5 ℃ arttırılır.
- Halkaların içindeki bitümlü bağlayıcının ortasındaki bilye nedeniyle sarkan kısmı taban yüzeyine temas ettiği anda termometrede görünen sıcaklık tespit edilerek deney tamamlanır.
- Tespit edilen bu değerler "Yumuşama Noktası" olarak kaydedilir.




**Şekil 3.10.** Yumuşama noktası deney cihazı.

Bilyelerin her biri için tespit edilen sıcaklıklar arasındaki fark, yumuşama noktası 80 ℃'nin altında olan numuneler için 1 ℃, 80 ℃'nin üstünde olan numuneler için 2 ℃ 'den fazla olursa deney tekrar edilir [33].

### 3.2.2.3 Düktilite deneyi

Bu deney TSE 119 standardı ile tanımlanmış olup, Düktilitenin kelime anlamı "uzama" veya "çekilebilme"demektir [53]. Asfalt çimentoların en önemli özelliklerinden bir tanesidir. Uzama ya da çekilebilme yeteneği fazla olan asfalt çimentolar, değeri daha düşük olan asfalt çimentolara oranla daha güçlü bağlama yeteneğine sahiptir. Ancak, çok yüksek uzama değerine sahip asfaltlar, sıcaklık değişimlerine çok fazla tepki gösterirler. Bu yüzden asfaltların düktilite değerlerine sınırlamalar getirilmiştir. Düktilite deneyini; asfalt çimentosundan elde edilen standart bir brikete, belli sıcaklık ve hız uygulandığında kopmadan uzayabileceği uzunluğun cm olarak belirlenmesi olarak açıklamak mümkündür.

Deneyin uygulanması

- Düktiliteyi ölçmek için TSE 119 standartlarına uygun bir kalıba asfalt çimentosundan bir numune serilir.
- Daha sonra numune düktilite cihazına yerleştirilir.
- Su banyosundaki suyun ısısı 25 ℃'ye ayarlanır. Numune bu sıcaklıkta dakikada 5+0.25 cm/dakika hızla, kopuncaya kadar çekilir. Kopma anındaki uzama miktarına "Düktilite Değeri"denir. Bu değerin birimi "cm" dir.

Deneyde kullanılan alet ve malzemeler aşağıda verilmektedir.

Deneyde Kullanılan alet ve malzemeler Kalıp ve Su banyosu'dur

Kalıp: Düktilite kalıplarının en dar kesiti 1 $cm^2$, uzunluk 7.45-7.55 cm, maşaları arasındaki mesafe 2.973.03 cm olmalıdır.



**Şekil 3.11.** Düktilite deney cihazı.

### 3.2.2.4 Bitümlü asfalt bağlayıcılara uygulanan özgül ağırlık deneyi:

Bitümlü asfalt bağlayıcıların özgül ağırlığı; 25 °C'deki hacminin havadaki ağırlığının, aynı ısı ve aynı hacimdeki havası boşaltılmış destile suyun ağırlığına oranı olarak ifade edilir. Çoğunlukla piknometre yöntemi kullanılarak bağlayıcıların özgül ağırlığı tesbit edilir. Özgül ağırlığın tespiti, ağırlıkla hacim arasındaki ilşkinin bilinmesini sağlar. Bu bilgi; karışım hesaplarının en doğru şekilde yapılmasına yardımcı olur. Zira Bitümlü kaplamalara ilişkin şartnamelerde değerler ağırlık yüzdesi olarak tayin edilirken, bağlayıcılar hacimle ifade edilir. İşte bu özgül ağırlık oranı; ağırlık- hacim ilişkisini ortaya çıkardığı için, her şartta hesaplama yapılabilir. Ayrıca bu oranın bilinmesi, hidrokarbonlu bağlayıcının türünün bilinmesine de katkı sağlar(ASTM D70- 03,2003).

Asfaltların özgül ağırlıkları oluşturuldukları petrolun türüne göre 25 °C de 0.97 ila 1.05 arasında değişir. Yüksek penetrasyonlu asfaltların özgül ağırlıkları, düşük penetrasyonlu asfaltlara göre daha azdır.

**Piknometre yöntemi**

İlk önce piknometre kabı, kuru olarak tartılır, sonra su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Piknometre kabındaki su boşaltılır, kurutulur ve kabın içine uygun miktarda bağlayıcı akıtılarak konur. Şayet ısıtılmış malzeme akıtılacaksa bağlayıcının içinde hava kabarcığının olmaması önemlidir. Piknometre kabının 2/3'ü bağlayıcıyla, geri kalan kısmı su ile doldurulduktan sonra tartılır. Kullanılan suyun saf su olması gereklidir.

Yapılan deneyi 25 °C 'de yapılmaktadır. Şayet farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C' ye uyarlamak için bir takım abaklardan istifade edilir. [73].

Özgül ağırlık hesaplama förmülü:

$$\text{Özgül ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{C-A}{B-A-(D-C)} \quad (3.11)$$

Formüllerdeki ifadelerin açılımı;

A= Piknometre ağırlığı (gr),
B = Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)
C = Piknometre ve asfalt ağırlığı (gr)
D = Piknometre, asfalt ve su ağırlığı (gr)

### 3.2.3 Marshall yöntemi ile bitümlü karışımların dizaynı

Amerika' da Bruce Marshall tarafından tasarlanıp formüle edilmiş bir metoddur. " Marshall Stabilite Deney Aleti" kullanılarak bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yaparak, plastik akmaya karşı direncin ölçümü esasına göre yapılır. Bu metod boyutu en fazla 25 mm (1 inç) veya daha az olan agregalar ve penetrasyon ve/veya viskozite derecesi belirlenmiş, asphalt çimentolardan hazırlanmış olan sadece sıcak karışım asphalt kaplamalara yapılabilmektdir (ASTM D 1559-89, 1992). Agregaların kurutularak ısıtılması ve asphalt çimentosunun akıcılğının sağlanması için ısıtma işlemi ne tabi tutularak tesislerde birbirleriyl karıştırılarak meydana getirilen karışımlara bitümlü sıcak karışım denir. Türkiye karayollarında, karışım dizaynlarında bu yöntem tercih edilir.

Marshall Metodunda ise ilk olarak deney numunelerinin hazırlanmasıyla başlanır. Bunun için kullanılacak malzemelerin aşağıdaki işlem aşamalarından geçmesi gerekir.

- Malzemeler proje şartnamelerinde açıklanan özellkleri karşılamalıdır.
- Agrega karışım gradasyonunun şartnamede belirtilen gradasyona uygun olması gereklidir.
- Malzemelerin yoğunluk ve boşluk analizleri, karışımda kullanılacak agregaların hacim ve özgül ağırlıkları ile asphalt çimentosunun özgül ağırlıkları belli förmüllerle hesaplanır.

#### 3.2.3.1 Deney numunelerini hazırlanması

Tasarım için kullanılacak deney numunelerinin hazırlanmasında Karayolları Teknik

Şartnamesi'ndeki "aşınma tabakası için belirlenen Tip-1 granülometri limitleri" esas alınmıştır. Kullanılacak gradasyonda elek üstü malzeme yüzdesine göre belirlenen agregalardan 1150'grlık karışım hazırlanır. Bu karışım 105-110 °C' de kurutulur. Böylelikle karışımın stabil bir ağırlığa ulaşması sağlanr.

Agrega ve bitüm karışımlarından üç taneden az olmayacak şekilde numune hazırlanır. Üçlü seriler için bitüm kombinasyonları %3.5, % 4, % 4.5, % 5, % 5.5, % 6 ve % 6.5 şeklinde kullanılır.

Oluşturulan bitüm ve agrega karışımları etüve verilir. 3-4 saat etüvde ısıtılarak sıcaklıklarının 150-160 °C'ye ulaşması sağlanır. Etüvün içine kalıplarlar, tokmak başlığı, spatula, numune küreği gibi metel aparatlarda konarak sıkıştırma işleminden yarım saat önce bunlarında ısıtılması sağlanır. Daha sonra asfalt çimentosu ve agregalar 3-5 dakika karıştırıcıda karıştırılarak homojen bir dağılım elde edilir. Bu işlemlerin sonucunda; $170 \pm 20$ °C'de viskozite oluşacak şekilde, Asfalt çimentosu ve Sıvı petrol asphalt ısıtılmış olur. Şekil 3.12'de deneylerde kullanılan mekanik asphalt karıştırıcısı görülmektedir.




**Şekil 3.12.** Mekanik asfalt karıştırıcısı [77].

Isıtılan karışım, taban kalıplarına uygun şekilde kesilerek filtre kâğıtlarıyla kaplanmış olan numune kalıplarının içine yerleştirilir. Numuneler; 101.6 mm (4 inç) çapında ve 76.2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kalıbında, 457.2 mm (18 inç)'den düşen 4536 g (10 lb) ağırlığındaki bir tokmakla sıkıştırılır. Şekil 3.13.'de deneylerde

kullanılan numuneler görülmektedir.



**Şekil 3.13.** Deney numuneleri.

Sıkıştırma işlemi; numunelerin her iki yüzeyine de trafik yoğunluk şartlarına uygun seviyede darbe uygulanmak süretiyle gerçekleştirilir. Trafik durumuna göre uygulanacak darbe sayısı Çizelge 3.10.'da gösterilmektedir.

**Çizelge 3.10.** Trafik durumuna göre uygulanacak darbe sayısı.

| Trafik Durumu | Eşdeğer Dingil Yükü (EAL) | Darbe Sayısı |
|---|---|---|
| Hafif | $<10^4$ | 35 |
| Orta | $10^4 \sim 10^6$ | 50 |
| Ağır | $>10^6$ | 70 |

### 3.2.3.2 Marshall stabilite ve akma deneyi

Numune kalıplarına dökülüp sıkıştırılarak ısısı oda sıcaklığına düşünceye kadar bekletilen numuneler, kalıplardan çıkarılarak oda sıcaklığında bir gün daha bekletilir. Şekil 3.14'de numune çıkarmaya yarayan hidrolik numune çıkarıcı görülmektedir.



**Şekil 3.14.** Hidrolik numune çıkarıcı.

Numunelerin yüksekliği kumpasla ölçülür. Bu değerlerin 6.35 ± 0.8 cm arasında olması gerekir. Numune yüksekliği 6.35 ± 0.8 cm'den farklıysa ASTMD 1559-89, 1992' ye göre Marshall Stabilite Düzeltme Katsayıları kullanılarak düzeltme işlemi yapılır.

Numunelerin birim ağırlıklarının tespit edilmesi için havadaki ağırlığı tartılır, ardından 25 °C su içinde yerleştirilerek sudaki ağırlığı ve hafifçe kurutularak suya doygunluk durmundaki ağırlığı tartılır.

Numuneler 60±1 °C'lik su banyosunda en az 30 dakika bekletilir. Şekil 3.15.'da su banyosunda bekletilen numuneler gösterilmektedir.



**Şekil 3.15.** Su banyosu.

Numune sudan çıkarılarır, kurutulur ve test aletinin çenesi içindeki çelik bir halkanın iki segmanı arasına deney vaziyetine uygun şekilde yerleştirilir. Deney kalıbının alt ve üst çenelerinin iç yüzleri ve kılavuz çubukları, numunenin yapışmaması için ince bir yağ tabakası ile yağlanmalıdır. Ardından numune akma ölçer (flowmeter)'de uygun şekilde konarak metre sıfırlama işleminden sonra cihazlar çalıştırılır.

Bir dakikada 50.8mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapacak şekilde, numunede kırılma oluşuncaya kadar (maksimum yük) yükleme yapılır. Kırılma anı, yük ölçme göstergesinde (stabilometre) ki en yüksek değerde oluşur. Bu değer, o numunenin stabilitesi olarak kaydedilir. Akma ölçer boşaltılarak akma değeri okunur ve kaydedilir.

Numunelerin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük (Stabilite ) belirleme işlemi bitinceye kadar olan sürenin 30 saniyeden fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Deney esnasında üst segman sabittir. Basınç arttırıldıkça stabilometrede okunan değer artıp maksimuma ulaştıktan sonra düşmeye başlar. Bu esnada numune kırılır. Metrede okunan değere"Marshall Stabilitesi" adı verilir. Bu değer numunenin kırılmasına sebeb olan toplam yük miktarıdır. Kilo olarak birimlendirilir. Numunenin kırılması sırasında ayrıca, çökme ya da hareket miktarı da ölçülürek"Akma Miktarı " olarak adlandırılır. Akma metresindeki değer mm cinsindendir [8]. Şekil 3.16'de Marshall deney cihazı görülmektedir.




**Şekil 3.16.** Marshall deney cihazı.

Deney sonucunda;

a. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-birim ağırlık,
b. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-stabilite,
c. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-akma,
d. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-boşluk yüzdesi,
e. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-Vb/VMA,
f. Bitümlü bağlayıcı yüzdesi-VMA, eğrilerinin çizilmesini sağlayacak değerler elde edilmiş olur.

### 3.2.3.3 Agrega hacim özgül ağırlığı ve zahiri özgül ağırlığı

Kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerden oluşan agrega karışımlarının özgül ağırlıkları değişkendir. Toplam agreganın hacim veya zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$G_{ag} = \frac{\%K+\%İ+\%F}{\frac{\%k}{G_{ka}}+\frac{\%İ}{G_{ia}}+\frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (3.12)$$

Bu formüllerdeki ifadelerin açılımı;

$G_{ag}$: Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı (kN/cm$^3$)
K: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi
İ: İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
F: Fillerin ağırlıkça yüzdesi
Gka: Kaba agreganın özgül ağırlığı
Gia: İnce agreganın özgül ağırlığı
Gfa: Fillerin özgül ağırlığı olarak gösterilmiştir

### 3.2.3.4 Agrega efektif özgül ağırlığının tayini

Agrega Efektif Özgül Ağırlığının hesplanması için herhangi AASHTO veya ASTM şartnamesi yoktur. Ancak hesaplamalarda, (ASTM D 2041)'den faydalanılabilir.

Agreganın efektif özgül ağırlığının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanlır:

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100+W_a}{D_t}-\frac{W_a}{G_b}} \quad (3.13)$$

Bu formüllerdeki ifadelerin açılımı;

Gef: Agreganın efektif özgül ağırlığı (kN/cm$^3$),
Wa: Agrega ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr),
DT: Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı (kN/cm$^3$),
Gb: Bitüm özgül ağırlığı (kN/cm$^3$). Olarak gösterilmiştir.

### 3.2.3.5 Farklı bitüm miktarlarında karışımın maksimum özgül ağırlığı

Bu hesaplamaya ilk önce hava boşluğu oranı hesaplanarak başlanır. Bunun için, farklı bitüm yüzdelerindeki maksimum özgül ağırlığın bilinmessigereklidir. ASTM D 2041'e göre deneyler gerçekleştirilirken en doğru sonuçları almak için optimuma yakın bitüm yüzdesine uygun olarak hazırlanmalı ve DT için iki veya üç deney yapılmalıdır.

Bitüm miktarının değişmesi bitüm absorpsiyonunu çok büyük oranda değiştirmediği için, maksimum özgül ağırlık, DT, aşağıdaki bitüm yüzdesi ile her bitüm yüzdesi için ayrı ayrı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$D_t = \frac{100+W_a}{\frac{100}{G_{ef}}-\frac{W_a}{G_b}} \quad (3.14)$$

Bu formüllerdeki ifadelerin açılımı;

DT: Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı (kN/cm$^3$)

Wa: Agrega ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)
Gef: Agreganın efektif özgül ağırlığı (kN/cm$^3$)
Gb: Bitüm özgül ağırlığı (kN/cm$^3$). Olarak gösterilmiştir.

### 3.2.3.6 Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki agregalar arası boşluk (vma) yüzdesi

VMA; efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki agrega daneleri arasındaki boşlukların yüzdesi olarak ifade edilir ve toplam hacme göre yüzdesi olarak hesaplanır.

VMA, agreganın hacim özgül ağırlığı esas alınarak hesaplanır ve sıkıştırılmış kaplama karışım hacminin yüzdesi olarak adlandırılır. VMA, sıkıştırılmış kaplama karışımın hacminden agreganın hacim özgül ağırlığı ile hesaplanan hacmin çıkarılmasıyla hesaplanır. Karışım kompozisyonu agrega ağırlığının yüzdesi olarak bulunmuşsa, aşağıdaki formül kullanılarak bulunur.

$$VMA = ( 100 - \frac{D_t}{G_{ef}} )( \frac{100}{100+ W_a} )100 \quad (3.15)$$

Bu formüllerdeki ifadelerin açılımı;

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi,
Dp: Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm$^3$),
Gag: Agreganın hacim özgül ağırlığı (kN/cm$^3$),
Gsb: Bitümün hacim özgül ağırlığı (kN/cm$^3$),
Wa: Agrega ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr). Olarak gösterilmiştir.

### 3.2.3.7 Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki hava boşluğu ve asfaltla dolu boşluk yüzdesi

Bu oran sıkıştırılmış kaplama karışımı içerisindeki hava boşluğunun (Vh), bitümle kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarını ifade eder. Aşağıdaki förmül kullanılaak hesaplanır:

$$V_h = ( \frac{D_t - D_p}{D_t} )100 \quad (3.16)$$

Bu formüllerdeki ifadelerin açılımı;

Vh: Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu (%),
Dp: Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı (kN/cm$^3$),

DT: Kaplama karışımın maksimum özgül ağırlığı (kN/cm$^3$),
Asfaltla dolu boşluk (Vf), sıkıştırılmış kaplama karışımın bitümle dolan boşluklarını verir. Aşağıdaki förmül kullanılarak hesaplanır:

$$V_f = \left( \frac{VMA - V_h}{VMA} \right) 100 \quad (3.17)$$

Bu formüllerdeki ifadelerin açılımı;

Vf: Asfaltla dolu boşluk (%),
VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi (%),
Vh: Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu (%)

### 3.2.4 Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesi

Bu yüzdenin belirlenmesi için, çeşitli bitüm yüzdelerinden hazırlanan numunelerin; pratik özgül ağırlık, stabilite, akma, boşluk, asfaltla dolu boşluk yüzdesi, mineral agregaların içindeki boşluk grafiklerinin oluşturulması gereklidir. Ardından yoğunluk ve stabilite eğrilerinin en büyük değerlerine karşı gelen bitüm yüzdeleri, şartnamede belirtilen tabakaya uygun kriterler esas alınarak, asfaltla dolu boşluğu %75-85 arasına karşılık gelen, boşluk oranı %3-5 arasında olan bitüm yüzdeleri grafiklerden seçilerek bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak uygun değer bitüm yüzdeleri tespit edilir.

En son olarak uygun değer bitüm miktarlarının, şartnamelerde belirtilen akma ve %VMA'ları karşılayıp karşılamadığı kontrol edilir. Bunlara uygun olarak hesaplanan bağlayıcı oranına göre hazırlanan beton asfalt karışımı mutlaka şartnamelerde aranan özellikleri taşıyacaktır [8]. Çizelge 3.11. Beton asfalt kaplama tabakasının dizayn kriterleri sunulmaktadır.

**Çizelge 3.11.** Marshall metodu ile dizayn kriterleri [55].

| Özellikler | Hafif ve Orta Trafikli Yollar | | | | Ağır Trafikli Yollar, Otoyollar, Tırmanma Şeritleri | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Binder | | Aşınma | | Binder | | Aşınma | |
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı | 50 | - | 50 | - | 75 | - | 75 | - |
| Marshall Stabilitesi (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) | 2.5 | 4.6 | 2.5 | 4.6 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| Filler/bitüm oranı | - | - | - | - | - | 1.4 | - | 1.5 |
| Asfalt çimentosu ağırlıkça (%) | 3.5 | 6.5 | 4 | 7 | 3.5 | 6.5 | 4 | 7 |

# 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

## 4.1 Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçları

Kaba ve ince agreganın özgül ağılığının belirlenmesi için yapılan deneyler ve sonuçları aşağıda Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kaba agreganın özgül ağırlık limit değeri, min. 2.6 gr/cm$^3$,dır (TS 3526,1980). Deney sonuçlarına bakıldığında kaba agreganın hacim özgül ağırlığı 2.639 gr/cm$^3$ olarak bulunmuş olup, bu değerin şartnamenin limit değerini sağladığı tespit edilmiştir. Karayolu teknik şartnamesi tarafından ince agreganın özgül ağırlık değeri minimum %2.25 gr/cm$^3$ olarak belirtilmiştir (TS 3529, 1980). Deney sonuçlarına bakıldığında ince agreganın hacim özgül ağırlığı 2.592 gr/cm$^3$ olarak bulunmuş, şartname limitini sağladığı tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Kaba ve ince agreganın özgül ağırlık deney sonuçları.

| Deney | Şartname Limitleri | Deney Değerleri | Standart |
|---|---|---|---|
| Kaba agrega hacim özgül ağırlığı (Gk-h) | ≥ 2.6 | 2.639 | ASTM C 127 |
| Kaba agrega zahiri özgül ağırlığı (Gk-z) | ≥ 2.6 | 2.720 | ASTM C 127 |
| Kaba agrega su absorbsiyonu | 1 | 0.507 | ASTM C 127 |
| İnce agrega hacim özgül ağırlığı (Gi-h) | ≥ 2.25 | 2.592 | ASTM C 128 |
| İnce agrega zahiri özgül ağırlığı (Gi-z) | ≥ 2.25 | 2.730 | ASTM C 128 |
| İnce agrega su absorbsiyonu | 1 | 0.631 | ASTM C 128 |

Şartname limitlerine göre binder tabakası için kaba agreganın su emme oranı maximum %2.5 olması gerekmektedir (TS 3526, 1980). Deney sonuçlarına bakıldığında kaba agreganın su emme oranı %1.14 olarak bulumuş şartname limitlerin altında olduğu saptanmıştır. Karayolu teknik şartnamesinin belirttiği gibi binder tabası için ince agreganın su emme oranı maximum %2.5 olması gerekmektedir (TS 3526, 1980). Deney sonuçlarımıza bakıldığında ince agreganın su emme oranı %2.035 olarak bulunmuş şartname limitinin altında olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.2'de kaba ve ince agrega için yapılan su emme deney souçları verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Kaba ve ince agrega deney sonuçları.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonuçları | Standart |
|---|---|---|---|
| Kaba agrega su emme | ≤ 2.5 | 1.14 | TS EN1097-6 |
| İnce agrega su emme | ≤ 2.5 | 2.035 | TS EN 1097-6 |

Karayolu teknik şartname limitlerine baktığımızda binder tabası için kaba agreganın aşınma direnci (Los Angles) deneyinin limit değeri mak. 30 olması gerekmektedir (TS EN 1097–2). Deney sonuçlarımıza bakıldığında aşıma direnci (Los Angles) deneyin sonucu 17.2 olarak bulunmuş, şartname limitlerinin altında olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.3'de binder tabakası için aşınma direnci (Los Angles) deney sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Parçalanma direnci deney sonucu.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonucu | Standart |
|---|---|---|---|
| Parçalanma Direnci (Los Angles) | ≤ 30 | 17.2 | TS EN 1097–2 (AASHTO T 96) |

Binder tabakasında kil topakları ve ufalanabilir daneler deneyi için limit değeri şartnamenin belirttiği gibi maksimum 0.3 olması gerkmektedir (ASTM C 142). Deney sonuçlarına bakıldığında kil topakları ve ufalanabilir daneler deneyin sonucu 0.19 olarak bulunmuş, şartname sınırların altında olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.4'de binder tabakası için kil topakları ve ufalanabilir daneler deney sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Kil topakları ve ufalanabilir daneler deney sonucu.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonucu | Standart |
|---|---|---|---|
| Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, % | ≤ 0.3 | 0.19 | ASTM C 142 AASHTO T 112 |

Donma çözülme (Hava tesirlerine dayanıklılık $MgSO_4$ ile kayıp) deneyin oranı karayolu teknik şartnamesinde belirtildiği gibi binder tabakası için %18'in altında olması gerekmektedir (TS EN 1367-2). Elde edilen Donma çözülme (Hava tesirlerine dayanıklılık $MgSO_4$ ile kayıp) deneyin sonuçlarına baktığımızda %15.46 olarak bulunmuş, şartname limit değerini sağladığı saptanmıştır. Çizelge 4.5'de binder

tabakası için donma çözülme (Hava tesirlerine dayanıklılık MgSO4 ile kayıp) deney sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Hava tesirlerine karşı dayanıklılık, (MgSO4 ile kayıp) deney sonucu.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonucu | Standart |
|---|---|---|---|
| Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, ($MgSO_4$ ile kayıp), % | 18 | 15.46 | TS EN 1367-2 |

Soyulma Mukavemeti deneyin binder tabakası için limit değerleri min. %60 olması gerekmektedir (TS EN 12697- 11). Deney sonuçlarına batığımızda %70 ve %75 olarak bulunmuş, şartname limitinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.6'de binder tabakası için soyulma mukavemeti deney sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Soyulma mukavemeti deney sonuçları.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonuçları | Standart |
|---|---|---|---|
| Soyulma Mukavemeti, % Bitümle Kaplı Yüzey | ≥ 60 | 70 | TS EN 12697- 11 (Kısım 403 EK-A) |
| Soyulma Mukavemeti, % Bitümle Kaplı Yüzey | ≥ 60 | 75 | TS EN 12697- 11 (Kısım 403 EK-A) |

Binder tabakası için yassılık indeksi deneyinin limit değeri maksimum %25 olması gerekmektedir (TS EN 933-3). Deney sonuçlarına bakıldığında yassılık indeksi deneyinin değeri %6.24 olarak bulunmuş olup şartname limitlerin altında olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.7'de binder tabakası için yassılık indeksi deneyinin sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Yassılık indeksi deneyinin sonuçları.

| ELEK AÇIKLIĞI (mm) | NUMUNENİN GRADASYONU (%) | | DÜZELTİLMİŞ HER ELEK ÜZERİNDE KALAN (%) | DENEYE ALINACAK AGREGA BOYUTLARI VE MİKTARLARI | | YASSI OLMAYAN DANE AĞIRLIĞI (g) | YASSI DANE AĞIRLIĞI (g) | DENEYE ALINAN MALZEME AĞIRLIĞI (g) | YASSI DANE % Si | DÜZELTİLMİŞ KAYIP (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Geçen (%) | Her Elek Üzerinde (%) | | ELEK AÇIKLIĞI (inç) | Ağırlık (g) | | | | | |
| | | B | C=B*100/A | | | D | E | F=D+E | G=E*100 /F | H=G*C / 100 |
| 25 | 100 | 0 | 0 | 11/2"-1" | | 51.05 | 0 | 51.05 | | |
| 19 | 84.29 | 15.71 | 5.83 | 1"-3/4" | | 90.60 | 8.75 | 99.35 | 0 | 0 |
| 12.5 | 53.74 | 30.55 | 11.34 | 3/4"-1/2" | | 66.55 | 7.05 | 73.60 | 8.80 | 0.99 |
| 9.5 | 31.09 | 22.65 | 8.41 | 1/2"-3/8" | | 61.95 | 39.00 | 100.95 | 9.57 | 0.80 |
| 4.75 | 0.08 | 31.05 | 11.52 | 3/8"-1/4" | | | | | 38.63 | 4.45 |
| TOPLAM | A= | 269.2 | | Numunenin yassılık indeksi, % = | | | | | | 6.24 |

Metilen mavisi deneyinin limit değeri binder tabakası için maksimum %3.0 olması gerekmektedir(TS EN 933-9). Deney bulgularına bakıldığında metilen mavisi deneyinin sonucu %2.0 olarak bulunmuş olup, karayolu teknik şartnamesindeki limit değerlerinin altında olduğu saptanmıştır. Aşağıdaki Çizelgeda (Çizelge 4.8) binder tabakası için yapılan metilen mavisi deneyinin sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Metilen mavisi deney sonucu.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonucu | Standart |
|---|---|---|---|
| Metilen Mavisi, g/kg | ≤ 3.0 | 2.0 | TS EN 933-9 |

Binder tabakası için organik madde deneyinin değeri negatif olması gerekmektedir(TS EN 1744-1). Deney sonucuna baktığımızda organik madde deneyin sonucu negatif olup şartname limitini sağlamaktadır. Binder tabakası için organik madde deneyinin sonucu Çizelge 4.9'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Organik madde deneyinin sonucu.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonucu | Standart |
|---|---|---|---|
| Organik Madde, (% 3 NaOH ile) | Negatif | Negatif | TS EN 1744-1 Madde 15.1 |

Binder tabakası için plastisite deneyinin sonucu NP (No Paramitrik) olması gerekmektedir (TS 1900-1). Deney bulgularına bakıldığında plastisite deneyinin sonucu NP (no paramitrik) olarak saptanmış olup şartname limitlerini sağladığı görülmektedir. Çizelge 4.10'da plastisite deneyinin sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Plastisite deney sonucu.

| Deney | Şartname değeri | Deney sonucu | Standart |
|---|---|---|---|
| Plastisite İndeksi % | NP | NP | TS 1900-1 |

## 4.2 Mineral Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığının Belirlenmesi

Çalışmada mineral filler olarak kalker tozu kullanılmıştır. deney karışımlarda kullanılan mineral fillerin özgül ağırlık deneyin sonucu Çizelge 4.11'de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Fillerin özgül ağırlık deney sonucu.

| Deney | Deney sonucu | Standart |
|---|---|---|
| Meniral Filler Özgül Ağırlığı | 2.705 gr/cm$^3$ | ASTM 546 |

## 4.3 Asfalt Çimentosunun Özgül Ağırlık Deneyi

Çalışmada kullanılan bitüm malzemesi Aksaray Belediyesi, asfalt şantiyesinden temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan 50/70 bitümün özgül ağırlığı 1.025 gr/cm$^3$, kullanılmış bitümün özgül ağırlığı ise 1.059 gr/cm$^3$ olarak bulunmuştur. Şartname değerlerine göre bitümün özgül ağırlığı (1.0 – 1.1) arasında olması gerekmektedir. Çalışmamızda kullanılan bitüm özellikleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** 50/70 Bitümün özellikleri [78].

| Sıra No | Deney Adı | Birim | Değer | Sınır | Deney Standartları |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Penetrasyon 25 $^0$C'ta, 100g, 5 saniye | X 0.1 mm | 50-70 | | TS EN 1426 |
| 2 | Yumuşama Noktası | °C | 46-54 | | TS EN 1427 |
| 3 | Sertleşmeye karşı direnç (a) 163°C 'ta | | | | TS EN 12607-1 TS EN 12607-2 |
| 4 | Kütle Değişimi | % | 0.5 | En çok | |
| 5 | Kalıcı Penetrasyon, | % | 50 | En az | TS EN 1426 |
| 6 | Sertleştirmeden sonra yumuşama noktası | °C | 48 | En az | |
| 7 | Parlama Noktası | °C | 230 | En az | TS EN 1427 |
| 8 | Çözünürlük, % | %ağırlık | 99 | En az | TS EN ISO 2592 |
| 9 | Yumuşama Noktası Yükselmesi, | °C | 9 | En çok | TS EN 12592 |

## 4.4 Numunelerde Kullanılan Agrega Gradasyonu

Çalışmamızda kullanılan agrega gradasyonu Karayolu Genel Müdürlüğünün binder tabakası limit değerlerine göre yapılmıştır. Çizelge 4.13'de binder tabakası için seçilen gradasyon değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.13.** Çalışmada kullanılan agrega granülometresi.

| Elek Boyu (mm) | Elek No | Çalışmada Kullanılan (%Geçen) | Şartname Limitleri (KGM 2013 TİP B) |
|---|---|---|---|
| 25.00 mm | (1'') | 100 | 100 |
| 19.00 mm | (3/4") | 97.64 | 80-100 |
| 12.5 mm | (1/2") | 72.16 | 58-80 |
| 9.5 mm | (3/8") | 61.21 | 48-70 |
| 4.75 mm | (No.4) | 45.6 | 30-52 |
| 2.00 mm | (No.10) | 28.67 | 20-40 |
| 0.425 mm | (No.40) | 11.74 | 8-22 |
| 0.180 mm | (No.80) | 8.32 | 5-14 |
| 0.075 mm | (No.200) | 5.6 | 2-7 |

## 4.5 Hazırlanan Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

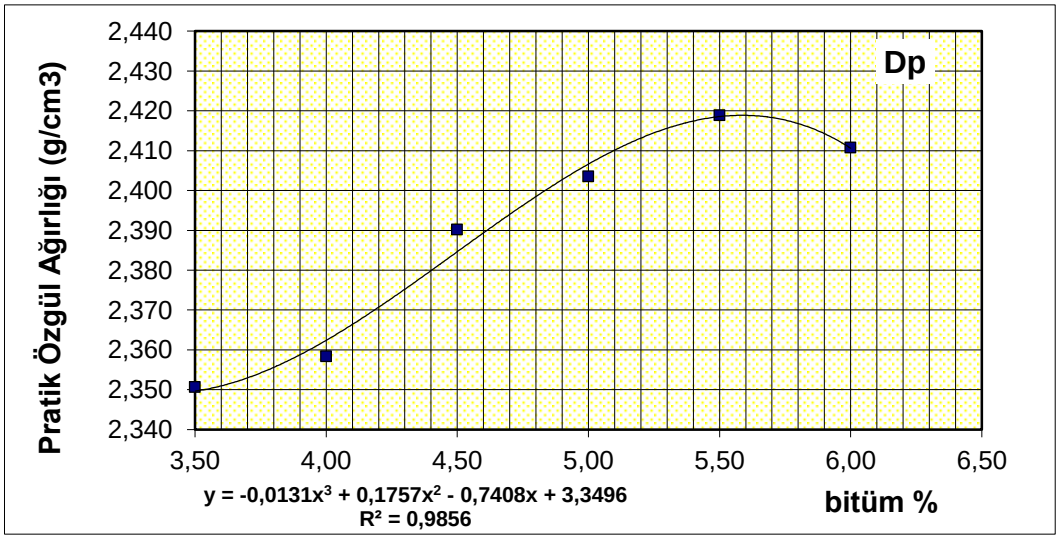
Çalışmada, uygun gradasyonda hazırlanmış numunelere 4 aşamalı Marshall dizaynı deneyi uygulanmıştır. Birinci aşamada agrega gradasyonu sabit tutularak 50/70 bitümü

kullanılıp bitüm yüzdesi kademeli olarak %3.5-4.0-4.5-5.0-5.5-6.0 ve 6.5 oranlarında bitüm oranı kullanılarak numuneler her yüzde için, üçer birikit şeklinde hazırlanmıştır. 2.aşamada ise 1.aşamadan elde edilen bitüm yüzdesi (%5) esas alınarak normal bitüm ve kullanılmış bitüm olmak üzere iki çeşit bitüm kullanılmıştır. Normal bitüm her numunede %10 şeklinde azalırken kullanılmış bitüm %10-20-30-40-50-60-70-80-90 ve %100 olarak arttırılmıştır. 3. aşamada ise kullanılmış bitüm %5-4.8-4.6-4.4-4.2-4.1 ve 4.0 oranlarında kullanımış, gençleştirici ise %0.0-0.2-0.4-0.6-0.8 ve 1.0 oranları şeklinde kullanılarak davranışları incelenmiştir. Dördüncü aşamamız üç karışımdan (Yeni bitüm + Kullanılmış Bitüm + gençleştirici) oluşmaktadır. Bu aşamada da %5 bitüm esas alınmış, yeni bitüm %48-46-44-42-40-38 ve 36, kullanılmış bitüm ise %48-46-44-42-40-38 ve 36 ve gençleştirici ise %4-8-12-16-20-24 ve 28 oranlarında toplam %5 bitüm karışımı kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

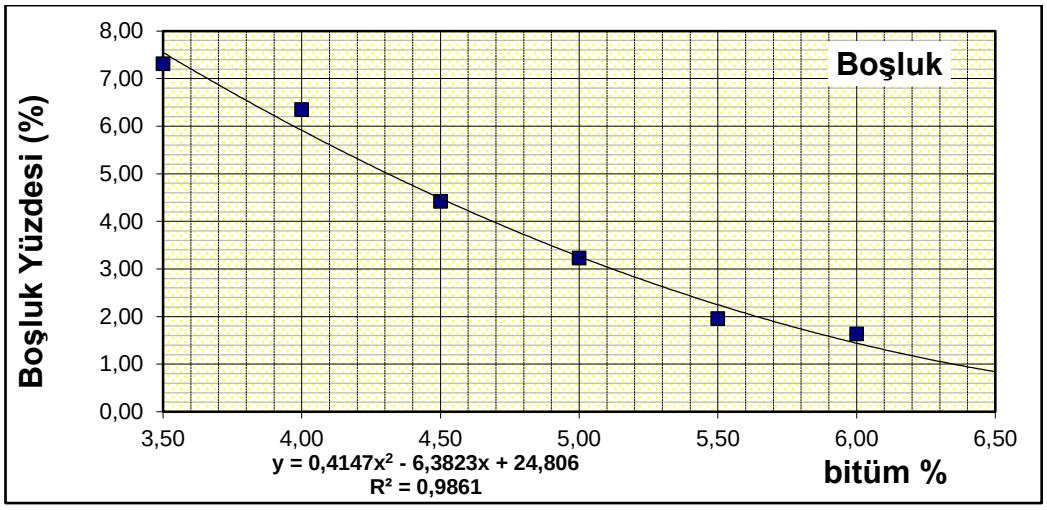
### 4.5.1 Marshall yönetmi ile yapılan birinci aşama

Bu aşamada 50/70 sınıfı bitümü ile virjin agrega kullanılarak optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç ile optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi için %3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 ve 6.0 oranlarında bitüm oranı kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.

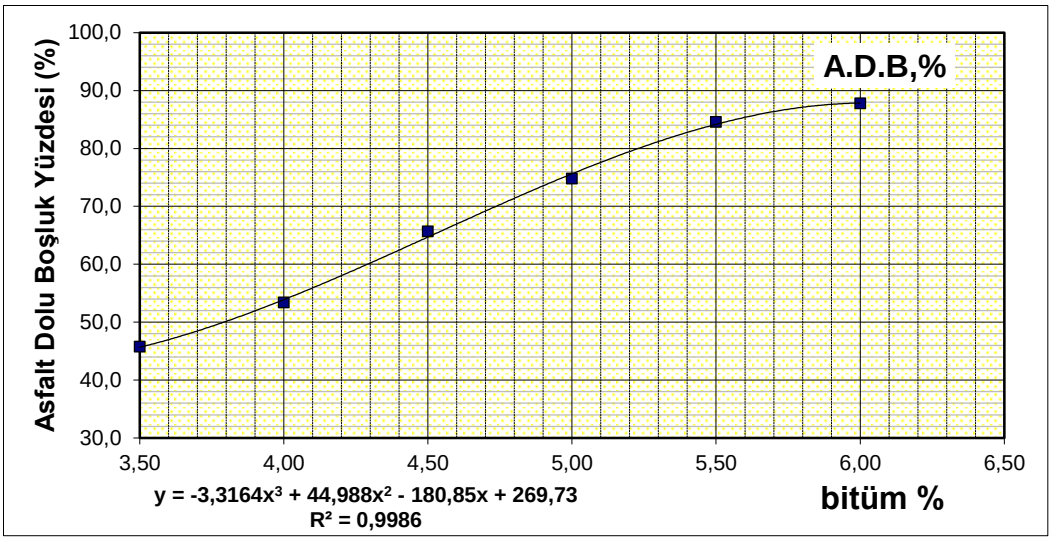
Çalışmada yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre; Pratik özgül ağırlığı, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi, stabilite, VMA (agregalar arası boşluk yüzdesi) ve akma değerlerinin değişimi şekil 4.1., 4.2., 4.3., 4.4., 4.5. ve 4.6.'da verilmiştir.



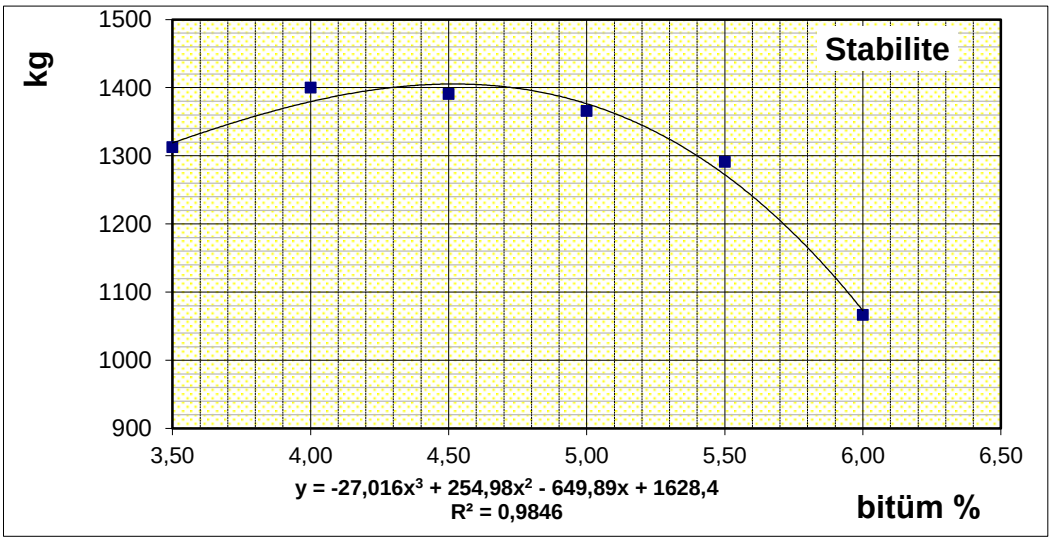

**Şekil 4.1.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi.



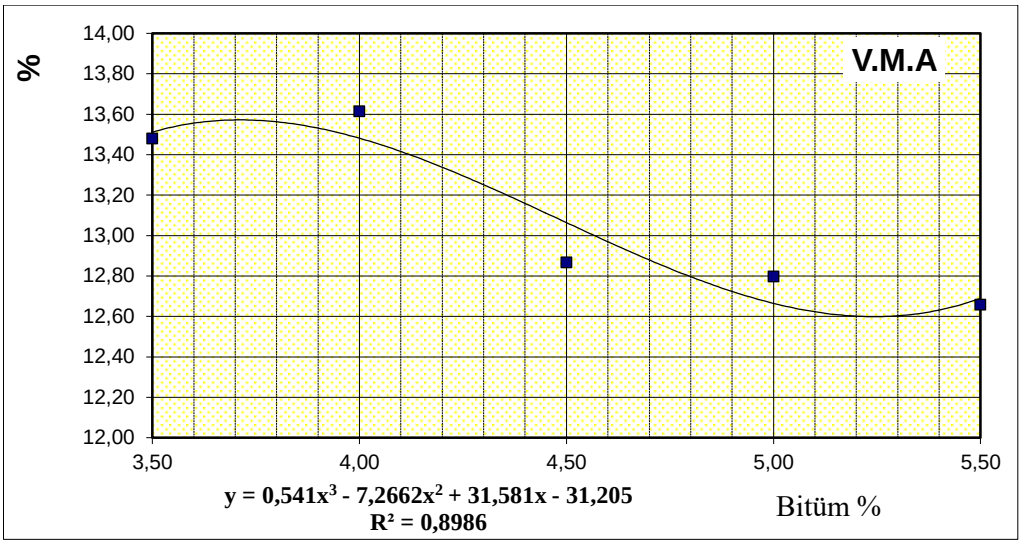

**Şekil 4.2.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.



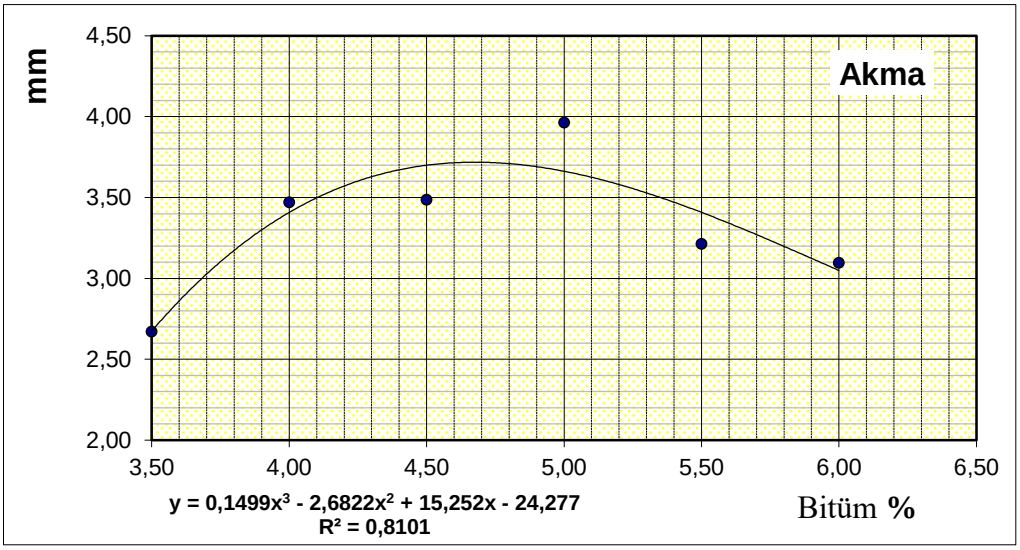

**Şekil 4.3.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.4.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.5.** VMA'nın bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.6.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.

Yapılan deney sonyçlarına bakıldığında Maksimum pratik özgül ağırlık değeri %5.5 bitüm oranına karşılık geldiği ggörülmektedir (Şekil 4.1). Binder tabakası için şartnamenin belittiği boşluk oranı %4-6 arasındadır. Dolaysıyla %5 (%4-6 arasında olup sınır içindedir) boşluk oranına karşılık gelen bitüm oranı %4.30 olarak tespit edilmiştir(Şekil 4.2). Asfalt dolu başluk yüzdesi şartnamede belirtilen %60-75 arasındaki sınır içinde kalan %67 oranına tekabül eden bitüm yüzdesi %4.60 olarak saptanmıştır(Şekil 4.3). Marshall stabilitenin maksimum değerine karşılık gelen bitüm yüzdesi %4 olduğu görülmektedir(Şekil 4.4). Bu durumda yukarıda belirtilen dört asfalt oranının ortalamasından optimum asfalt çimentosu oranı elde edilebilmektedir.

Optimum bitüm oranı (%) = $\frac{5.5 + 4.30 + 4.60 + 4}{4}$ = 4.60

Optimum bitüm oranına (%4.60) karşılık gelen akma değeri (3.70 mm) şekil 4.6'da görüldüğü gibi şartnamede belirtilen limitleri sağlayıp şartnamenin istendiği özellikleri taşımaktadır.

**Çizelge 4.13.** Birinci aşamanın marshall dizayn verileri.

| Bitüm % | Dp t/m$^3$ | Dt t/m$^3$ | Vh % | VMA % | VFA % | Stabilite kg | Akma mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.5 | 2.351 | 2.536 | 7.31 | 13.48 | 45.8 | 1312 | 2.67 |
| 4.0 | 2.358 | 2.518 | 6.35 | 13.61 | 53.4 | 1400 | 3.47 |
| 4.5 | 2.390 | 2.501 | 4.42 | 12.87 | 65.6 | 1391 | 3.56 |
| 5.0 | 2.404 | 2.484 | 3.23 | 12.80 | 74.8 | 1365 | 3.42 |
| 5.5 | 2.419 | 2.467 | 1.95 | 12.66 | 84.6 | 1291 | 3.21 |
| 6.0 | 2.411 | 2.451 | 1.63 | 13.36 | 87.8 | 1066 | 3.10 |

**Çizelge 4.14.** Birinci aşamanın dizayn sonuçları.

| Marshall Dizaynı Parametreleri | Dizayn Sonuçları | Şartname Limitleri |
|---|---|---|
| Optimum Bitüm, % | 4.60 | 4.0 - 6.0 |
| Pratik Özgül Ağırlık, g/cm$^3$ | 2.390 | - |
| Stabilite, kg | 1400 | Min 750 |
| Boşluk, % | 4.25 | 2 - 4 |
| Asfaltla Dolu Boşluk, % | 68.00 | 60 - 75 |
| V.M.A, % | 13.00 | 13 - 16 |
| Akma, mm | 3.70 | 2 - 4 |

### 4.5.2 Marshall yöntemi ile yapılan ikinci aşama

Bu aşamada virjin agrega sabit tutularak 50/70 sınıfı bitümü ile yaşlanmış bitüm kullanılarak yaşlanmış bitümün kullanılabilirlik oranının incelenmesi amaçlanmıştır. Böylece 50/70 sınıfı bitümü oranı (%5.0, 4.5, 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 ve 0.0) gittikçe azalırken yaşlanmış bitümün sırasıyla (%0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 ve 5.0) gittikçe arttırılarak davranışları incelenmiştir.

Yaşlanmış bitüm ise yaşlanmış asfalt malzemesi olarak Aksaray belediyesinin asfalt şantiyesinin atık asfalt stoklarından temin edilmiştir. Alınan yaşlanmış asfalt malzemesi ekstraksiyon deneyi yoluyla sokslet cihazı kullanılarak yaşlanmış asfalt mazlemesinden yaşlanmış bitümü ayrıştırılmıştır. Elde edilen yaşlanmış bitümü Marshall stabilite deneyinde kullanılmadan önce penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite gibi deneylere tabi tutulmuştur. Çizelge 4.15'de bitüm üzerinde yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 4.15.** Bitüm deneylerin sonuçları.

| Deney | 50/70 Sınıf Bitümü | Kullanılmış Bitüm | Standart Gerekleri |
|---|---|---|---|
| Penetrasyon (mm) | 51.27 | 31.83 | 50 – 70 |
| Yumuşama Noktası (℃) | 49.90 | 53.1 | 47-53 |
| Düktilite (cm) | 106 | 58 | min. 55 |

Yeni bitüm ile kullanılmış bitümün yüzdelerin değişmesi ile penetrasyon değerleri de değişecektir. Çizelge 4.16'da yapılan deneyde değişen RAP oranlarının Penetrasyon değerleri verilmektedir.

**Çizelge 4.16.** Penetrasyon deneyin sonuçları.

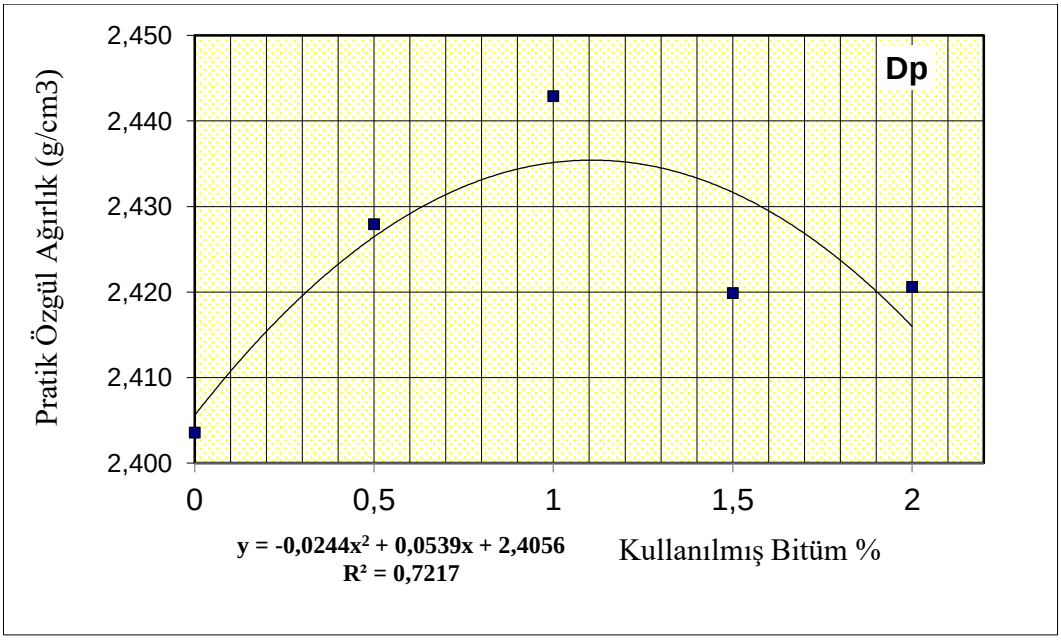
| RAP Oranı | Değer | Standart |
|---|---|---|
| %0 RAP | 51.27 | TS 115-EN58 |
| %10 RAP | 48.50 | TS 115-EN58 |
| %20 RAP | 46.10 | TS 115-EN58 |
| %30 RAP | 44.60 | TS 115-EN58 |
| %40 RAP | 42.40 | TS 115-EN58 |
| %50 RAP | 40.10 | TS 115-EN58 |
| %60 RAP | 38.40 | TS 115-EN58 |
| %70 RAP | 36.10 | TS 115-EN58 |
| %80 RAP | 34.50 | TS 115-EN58 |
| %90 RAP | 32.30 | TS 115-EN58 |
| %100 RAP | 31.83 | TS 115-EN58 |

Yeni bitüm ile yaşlanmış bitümü karıştırıldığında özgül ağırlıkları değişecektir. Çalışmamızda kullanılan yeni bitüm ile kullanılmış bitüm karışımların özgül ağırlıkları Çizelge 4.17'de verilmiştir.

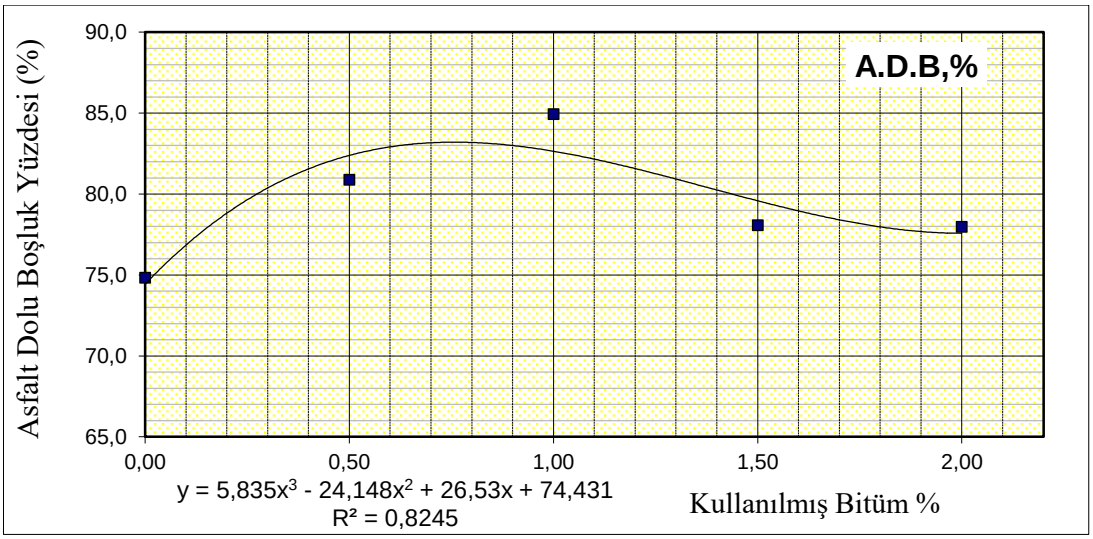
**Çizelge 4.17.** Yeni bitümle kullanılmış bitüm karışımların özgül ağırlıkları.

| RAP Oranı | Değer | Şartname Değeri | Standart |
|---|---|---|---|
| %0 RAP | 1.025 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %10 RAP | 1.028 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %20 RAP | 1.032 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %30 RAP | 1.035 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %40 RAP | 1.039 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %50 RAP | 1.042 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %60 RAP | 1.045 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %70 RAP | 1.049 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %80 RAP | 1.052 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %90 RAP | 1.056 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %100 RAP | 1.059 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |

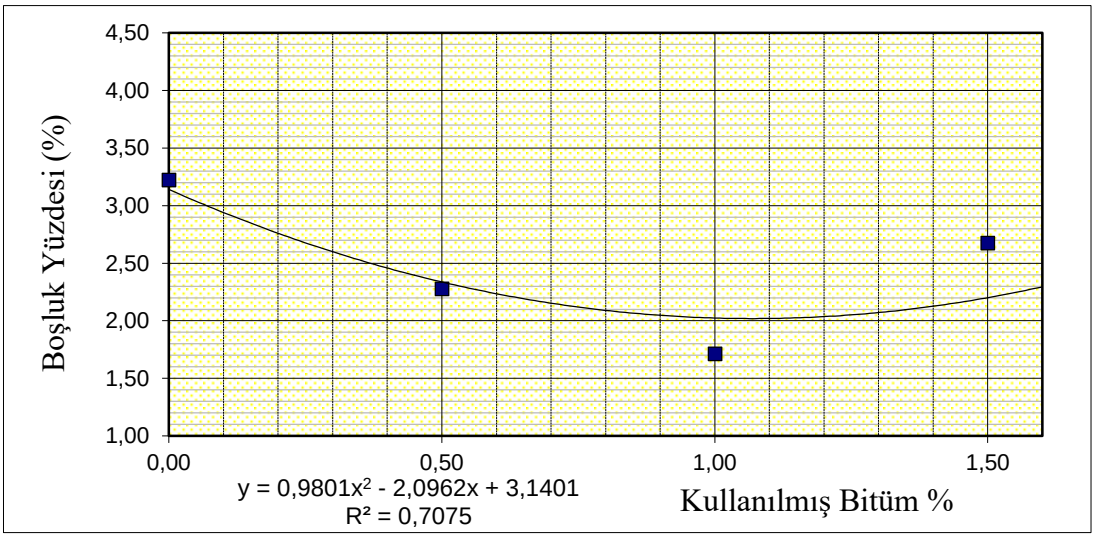
Yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre; Pratik özgül ağırlığı, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi, stabilite, VMA ve akma değerlerinin değişimi aşağıda Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12' de verilmiştir.



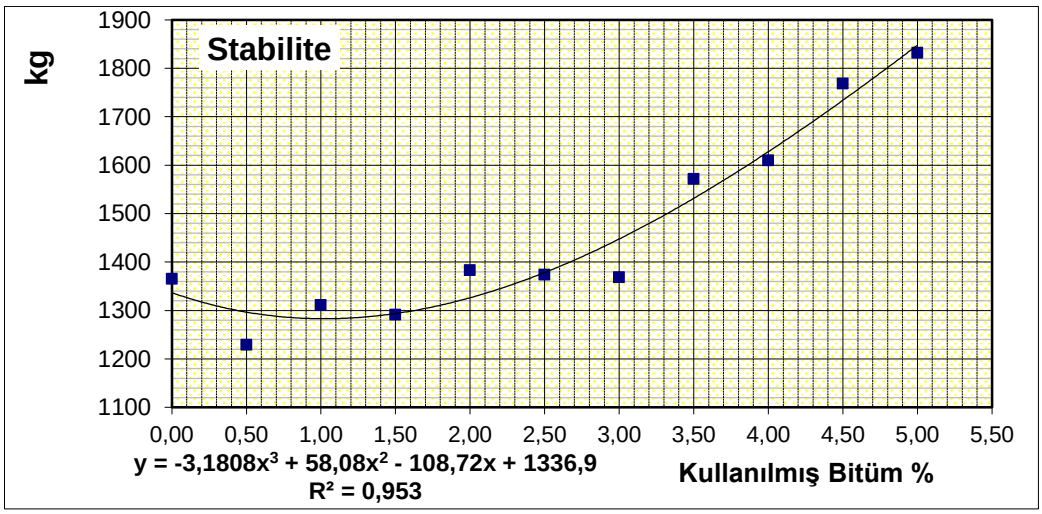

**Şekil 4.7.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi.



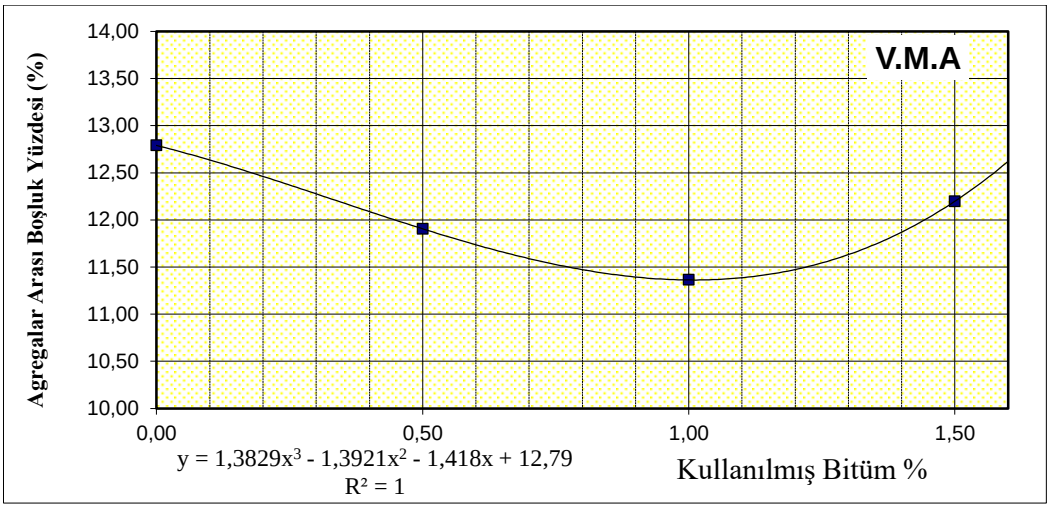

**Şekil 4.8.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.



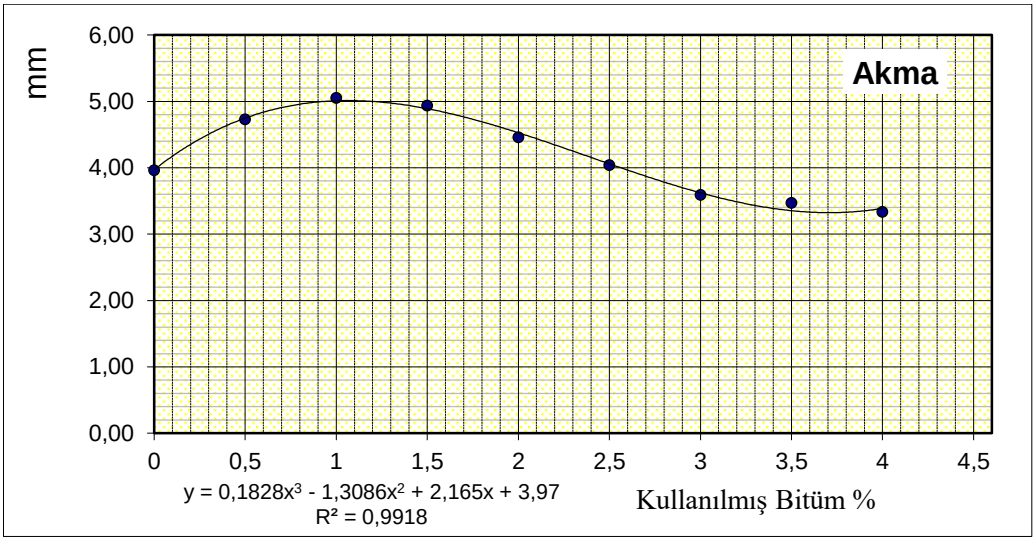

**Şekil 4.9.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.10.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.11.** VMA'nın bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.12.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.

Şekilde görülen bitüm yüzdeleri (%0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 ve 5.0) yaşlanmış bitümün yüzdeleri olup %5'ın kalan kısmı (%5.0, 4.5, 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 ve 0.0) yeni bitüm ile tamamlanmıştır.

Bu aşamada yeni bitüm oranı gittikçe azaltılmış, yaşlanmış bitümü; %0.0, %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 ve %100 oranlarında katılarak optimum kullanılmış bitüm yüzdesi 2.58 olarak belirlenmiştir. Önerilen kullanılmış bitüm yüzdesi 2.60 olup %5 bitümün %52'sini tekabül etmektedir. Optimum kullanılmış bitümün yüzdesine (%2.60) karşılık gelen pratik özgül ağırlık değeri 2.385 gr/cm$^3$, boşluk yüzdesinin değeri %4.20, asfalt dolu boşluk yüzdesinin değeri %68, VMA değeri %13.50, akma değeri 3.95 mm ve stabilite değeri ise 1380 kg olup binder

tabakası için şartname değerlerini sağladığı saptanmıştır. Ancak kullanılmış bitümün (%2.5) %50'ye kadar akma ve asfalt dolu boşluk yüzdeleri şartname sınırlarının üstündeyken, boşluk yüzdesi ve VMA değerlerinin şartname sınırlarının altında olup şartname limitlerini sağlamamış olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.18.** İkinci aşamanın marshall dizayn verileri.

| Bitüm % | Kullanılmış Bitüm % | Dp $t/m^3$ | Dt $t/m^3$ | Vh % | VMA % | VFA % | Stabilite kg | Akma mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.0 | 0.0 | 2.404 | 2.484 | 3.22 | 12.79 | 74.8 | 1365 | 3.96 |
| 4.5 | 0.5 | 2.428 | 2.485 | 2.28 | 11.91 | 80.9 | 1229 | 4.73 |
| 4.0 | 1.0 | 2.443 | 2.485 | 1.71 | 11.36 | 84.9 | 1311 | 5.05 |
| 3.5 | 1.5 | 2.420 | 2.486 | 2.68 | 12.20 | 78.1 | 1291 | 4.93 |
| 3.0 | 2.0 | 2.421 | 2.487 | 2.68 | 12.17 | 78.0 | 1383 | 4.46 |
| 2.5 | 2.5 | 2.428 | 2.488 | 2.44 | 11.92 | 79.6 | 1374 | 4.04 |
| 2.0 | 3.0 | 2.327 | 2.489 | 6.51 | 15.56 | 58.2 | 1369 | 3.59 |
| 1.5 | 3.5 | 2.317 | 2.490 | 6.97 | 15.94 | 56.3 | 1571 | 3.47 |
| 1.0 | 4.0 | 2.346 | 2.491 | 5.83 | 14.89 | 60.8 | 1610 | 3.34 |
| 0.5 | 4.5 | 2.358 | 2.492 | 5.37 | 14.43 | 62.8 | 1768 | 3.03 |
| 0.00 | 5.0 | 2.360 | 2.493 | 5.32 | 14.36 | 63.0 | 1832 | 3.51 |

**Çizelge 4.19.** İkinci aşamanın dizayn sonuçları.

| Marshall Dizaynı Parametreleri | Dizayn Sonuçları | Şartname Limitleri |
|---|---|---|
| Optimum Kullanılmış Bitüm, % | 2.60 | - |
| Pratik Özgül Ağırlık, $g/cm^3$ | 2.385 | - |
| Stabilite, kg | 1380 | Min 750 |
| Boşluk, % | 4.20 | 2 - 4 |
| Asfaltla Dolu Boşluk, % | 68 | 60 - 75 |
| V.M.A, % | 13.50 | 13 - 16 |
| Akma, mm | 3.95 | 2 - 4 |

### 4.5.3 Marshall yönetmi ile yapılan üçüncü aşama

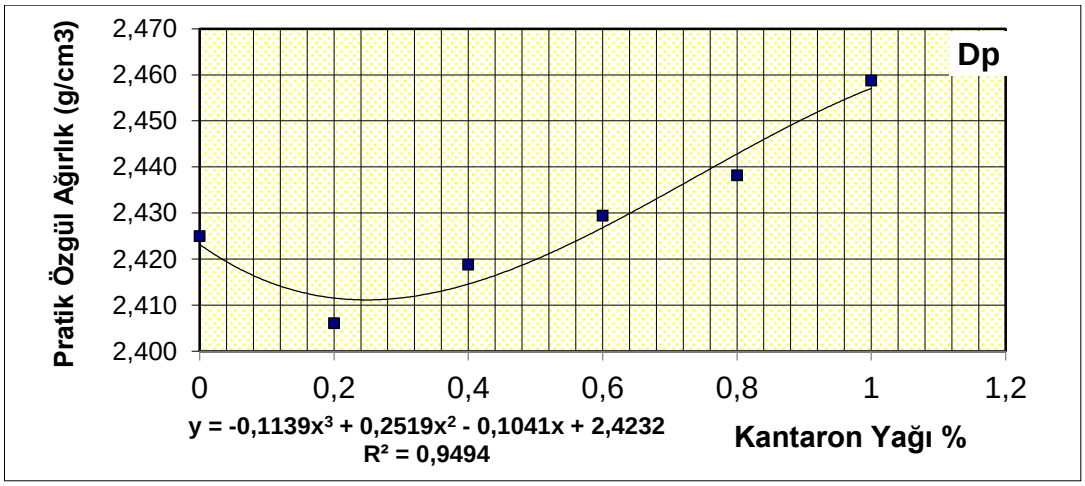
Bu aşamada yeni bitüm kullanılmayıp sadece kullanılmış bitüm ile gençleştirici kullanılmaktadır. Yapılan deneyde Kantaron yağı denenerek gençleştirebilirliğinin incelenmesi hedelenmiştir. Yapılan deneyde kullanılmış bitüm oranı (%5.0, 4.8, 4.6, 4.4, 4.2 ve 4.0) olarak verilmiş, kalan kısmı kantaron yağı ile (%0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0) tamamlanarak davranışları incelenmiştir.

Marshall stabilite deneyi yapılmadan önce gençleştiri, kullanılmış bitümün özğül ağırlığı ve deneyde kullanılan karışım oranların özgül ağırlıkları bulunmuştur. Kullanılmış bitümün özgül ağırlığı 1.059, Kantaron yağın özgül ağırlığı ise 0.919 olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.21.'de kullanılmış bitüm ile gençleştiricinin karışım oranlarına göre özgül ağırlık deneyin sonuçları verilmektedir.

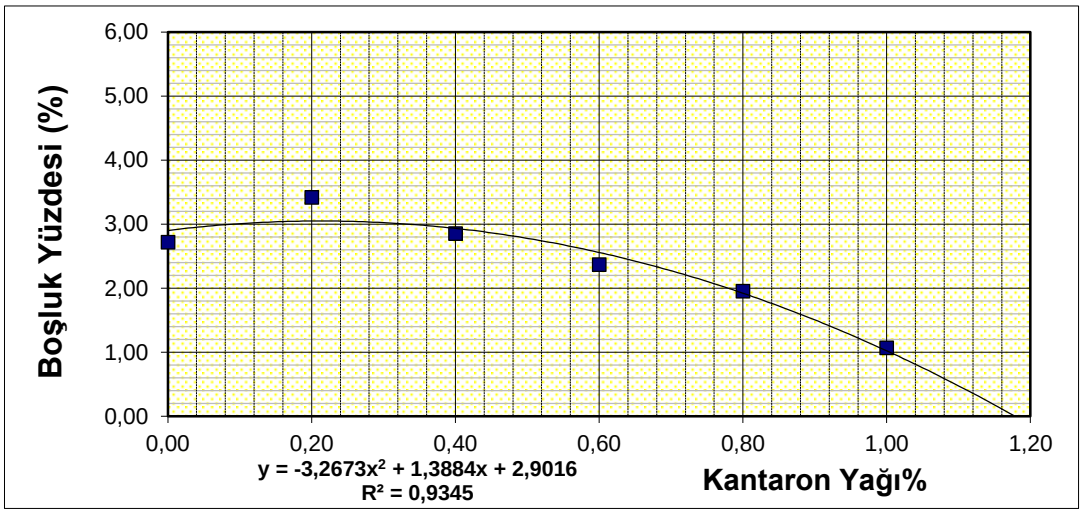
**Çizelge 4.20.** Özgül ağırlık deney sonuçları.

| Kantaron Yağı Oranı | Deney Değerleri | Şartname Değeri | Standart |
|---|---|---|---|
| %4 | 1.053 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %8 | 1.048 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %12 | 1.042 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %16 | 1.037 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %20 | 1.031 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |
| %100 | 0.919 | 1.0 – 1.1 | TS EN 15326 |

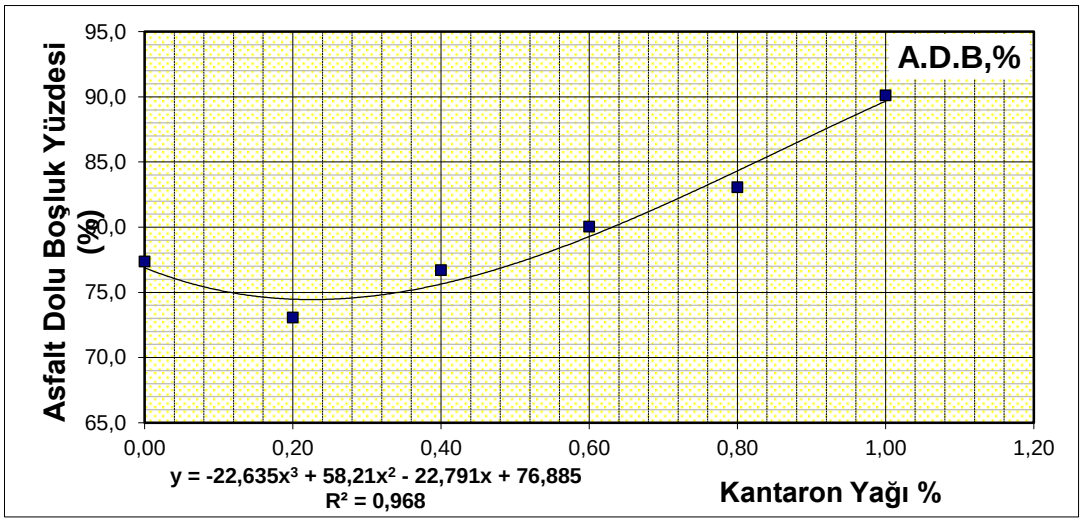
Yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre; Pratik özgül ağırlığı, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi, stabilite, VMA (agregalar arası boşluk yüzdesi) ve akma değerlerinin değişimi aşağıda şekil 4.13., 4.14., 4.15., 4.16., 4.17. ve 4.18.'da verilmiştir.



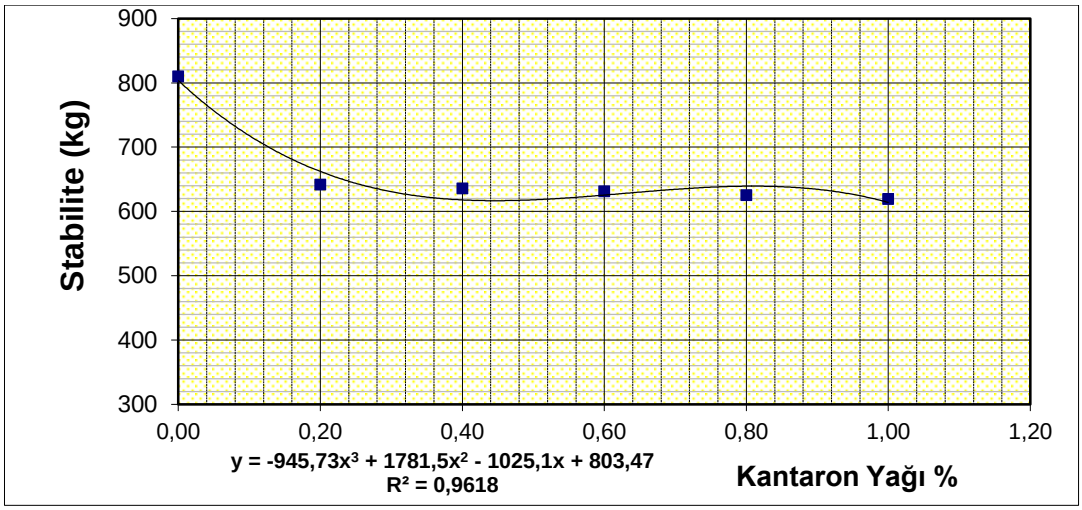

**Şekil 4.13.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi.



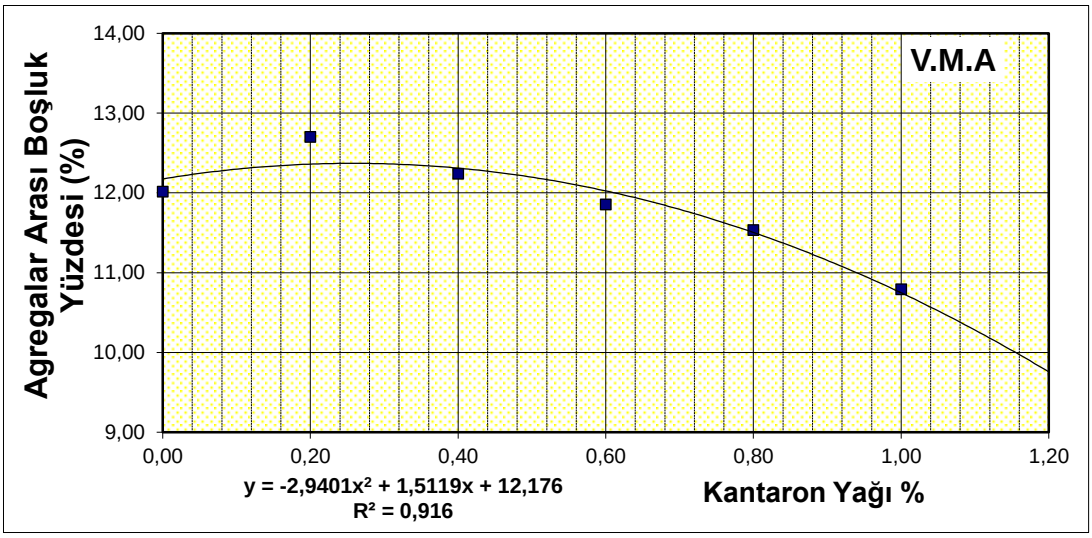

**Şekil 4.14.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.



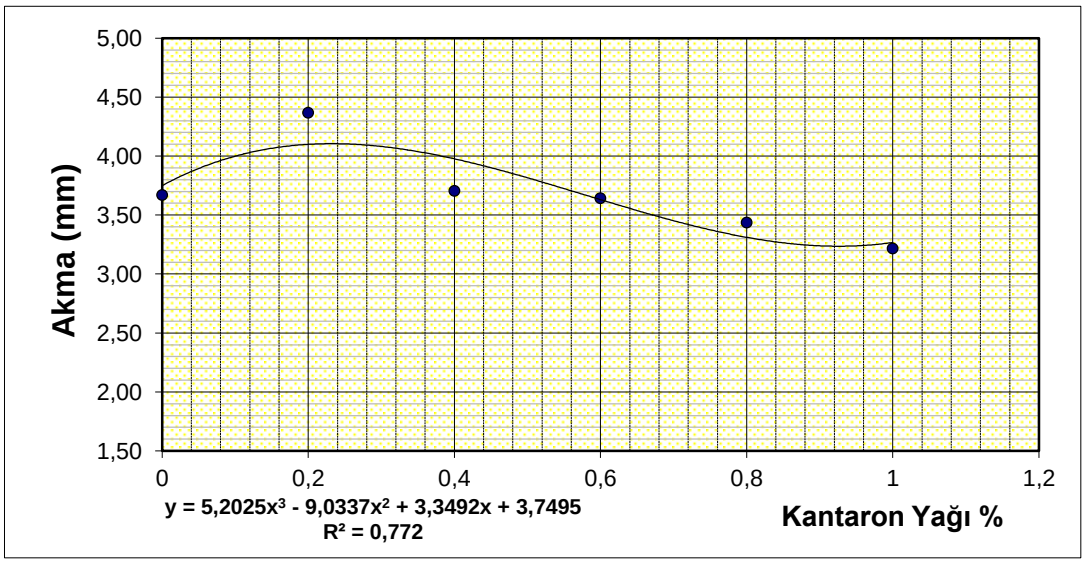

**Şekil 4.15.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.16.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.17.** VMA'nın bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.18.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.

Yapılan deneyde kantaron yağı oranının artması ile pratik özgül ağırlığı arttıkça artmaktadır(Şekil 4.13). Asfalt dolu boşluk yüzdesi de kantaron yağı (gençleştirici) oranın artması ile artmakta olduğu görülmektedir(Şekil 4.15). Ancak kantaron yağı oranı arttıkça boşluk yüzdesi düşmektedir(Şekil 4.14). Benzer olarak Stabilite (Şekil 4.16), akma (Şekil 4.18) ve VMA (Şekil 4.17) kantaron yağı oranının artması ile düşmekte oldukları görülmektedir.

Maksimum pratik özgül ağırlık değeri kantaron yağının %1.0 oranına karşılık geldiği görülmektedir (Şekil 4.13). Binder tabakası için şartnamede belirtilen boşluk oranı %4-6 arasında olmalıdır. Ancak yapılan deneyde boşluk yüzdesi şartname limitlerinin altında olduğu görülmektedir. Dolaysıyla en yüksek boşluk yüzdesine tekabül eden kantaron yağın yüzdesi (%0.20) alınmıştır. Şartnamede belirtilen asfalt dolu başluk yüzdesi %60-75 arasındaki sınır içinde kalan %73 oranına karşılık gelen kantaron yağın yüzdesi %0.20 olduğu görülmektedir(Şekil 4.15). Binder tabakası için Marshall stabilitenin minimum şartname limiti 750 kg'dır. Ancak yapılan deneyde en yüksek stabilite değeri 643 kg olup binder tabakası için şartname limitlerini sağlamamaktadır. En yüksek stabilite değerine karşılık gelen kantaron yağı yüzdesi %0.20 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.16).

Yukarıda tespit edilen dört kantaron yağı oranının ortalamasından optimum kantaron yağın yüzdesi elde edilmektedir.

$$\text{Optimum kantaron yağın yüzdesi (\%)} = \frac{1.0 + 0.20 + 0.20 + 0.20}{4} = 0.4$$

Optimum kantaron yağın yüzdesine (%0.40) karşılık gelen akma değeri şekil 4.18'de görüldüğü gibi (3.70 mm) olup şartnamede belirtilen limiti sağlamaktadır. Ancak kullanılmış bitüme elde edilen optimum oranı verdiğimiz takdirde şartnamenin akma (%3.75) ve pratik özgül ağırlık yüzdesini (%2.420) sağlamaktadır. Ancak stabilite değerini (643 kg), asfalt dolu boşluk oranını (%77), boşluk yüzdesini (%2.90) ve VMA yüzdesini (%12.30) sağlamayacaktır.

**Çizelge 4.21.** Üçüncü aşamanın marshall dizayn verileri.

| Kullanılmış Bitüm % | Kantaron Yağı % | Dp t/m$^3$ | Dt t/m$^3$ | Vh % | VMA % | VFA % | Stabilite kg | Akma mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.0 | 0.0 | 2.425 | 2.493 | 2.72 | 12.01 | 77.3 | 810 | 3.67 |
| 4.80 | 0.2 | 2.406 | 2.491 | 3.42 | 12.70 | 73.1 | 675 | 4.03 |
| 4.60 | 0.4 | 2.419 | 2.490 | 2.85 | 12.24 | 76.7 | 636 | 3.70 |
| 4.40 | 0.6 | 2.429 | 2.488 | 2.37 | 11.85 | 80.0 | 623 | 3.64 |
| 4.20 | 0.8 | 2.441 | 2.487 | 1.85 | 11.44 | 83.8 | 615 | 3.15 |
| 4.0 | 1.0 | 2.459 | 2.485 | 1.07 | 10.79 | 90.1 | 611 | 3.12 |

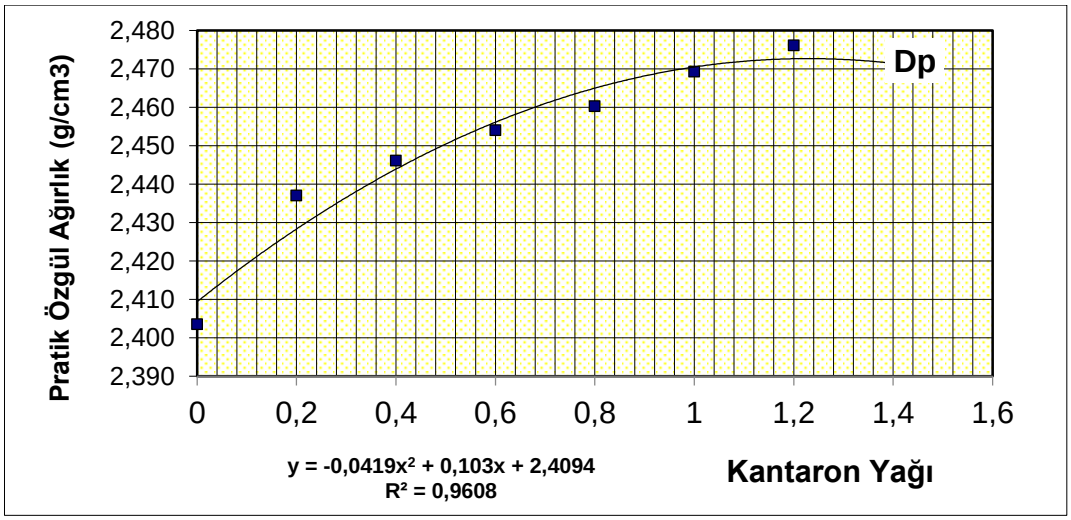
**Çizelge 4.22.** Üçüncü aşamanın dizayn sonuçları.

| Marshall Dizaynı Parametreleri | Dizayn Sonuçları | Şartname Limitleri |
|---|---|---|
| Optimum Kantaron Yağı, % | 0.40 | - |
| Pratik Özgül Ağırlık, g/cm$^3$ | 2.420 | - |
| Stabilite, kg | 643 | Min 750 |
| Boşluk, % | 2.90 | 2 - 4 |
| Asfaltla Dolu Boşluk, % | 77.0 | 60 - 75 |
| V.M.A, % | 12.30 | 13 - 16 |
| Akma, mm | 3.70 | 2 - 4 |

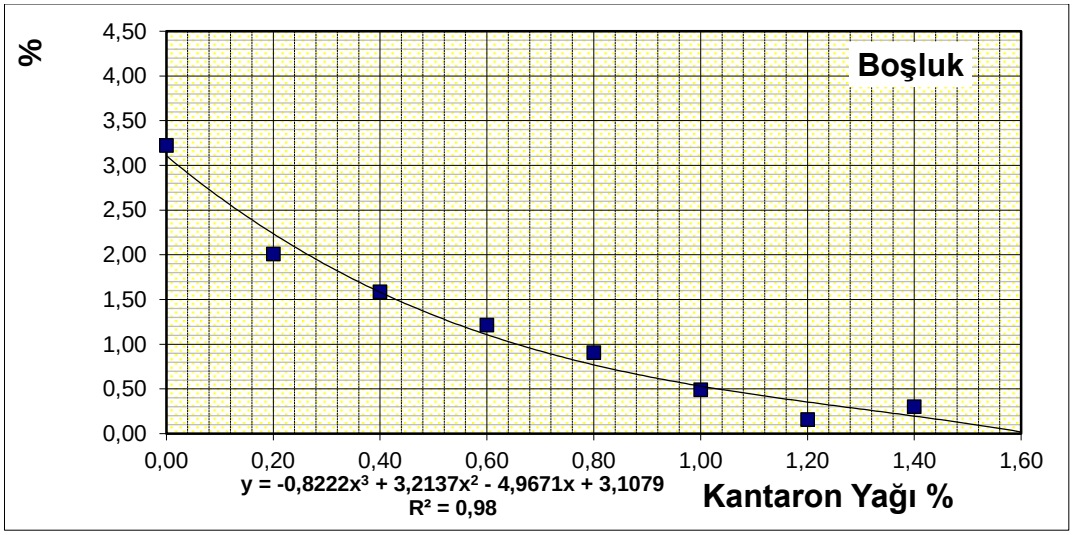
### 4.5.4 Marshall yönetmi ile yapılan dördüncü aşama

Bu aşamada 50/70 sınıfı bitümü ve yaşlanmış bitümü ile kantaron yağı kullanılarak kantaron yağın davranışları incelenmiştir. Yapılan deneyde %5 bağayıcının %0.0, 4.0, 8.0, 12.0, 16.0, 20.0, 24.0, ve 28.0'ını sırasıyla kantaron yağı teşkil etmektedir. Kalan kısmı %50 yeni bitümü ve %50 yaşlanmış bitümü ile tamamlanmıştır. Yani %5 bağlayıcının içeresinde katılan kantaron yağın oranı (%0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 ve 1.4), yaşlanmış bitümün oranı ise (%0.0, 2.4, 2.3, 2.2, 2.1, 2.0, 1.9 ve 1.8), kalan kısmı ise (%5.0, 2.4, 2.3, 2.2, 2.1, 2.0, 1.9 ve 1.8) katılarak yeni bitüm ile tamamlanarak davranışları incelenmiştir.

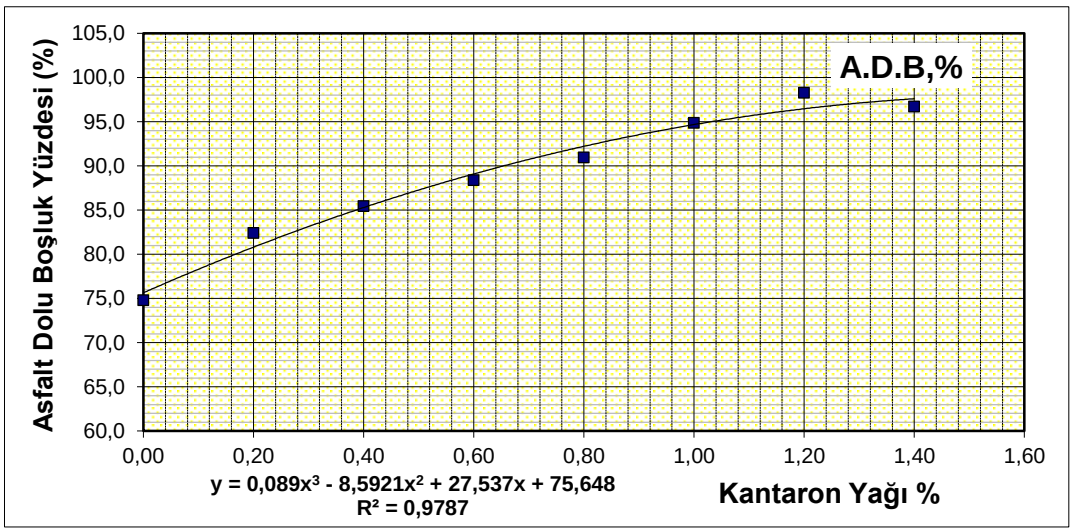
Çalışmada yapılan Marshall stabilite deney sonuçlarına göre; Pratik özgül ağırlığı, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi, stabilite, VMA ve akma değerlerinin değişimi aşağıda şekil 4.19., 4.20., 4.21., 4.22., 4.23. ve 4.24.'da verilmiştir.



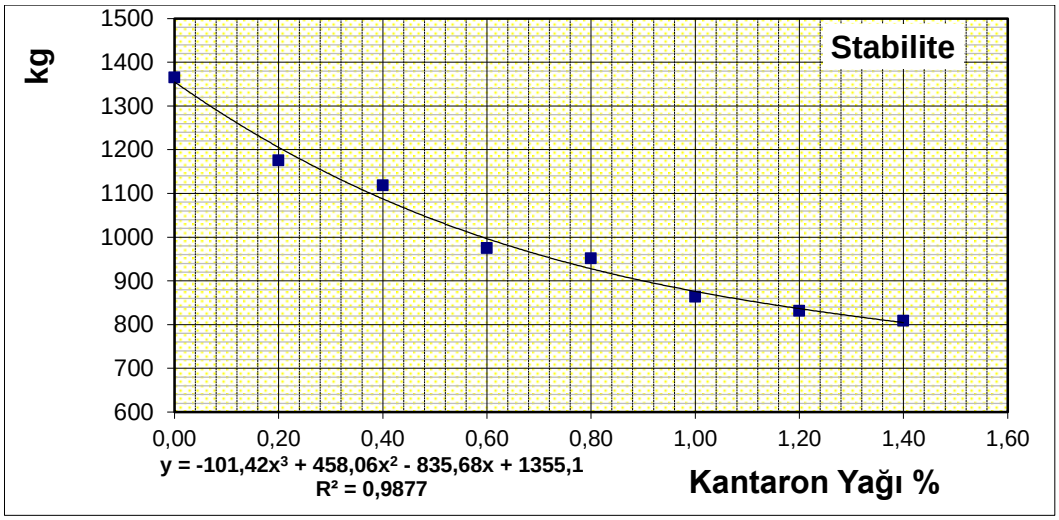

**Şekil 4.19.** Pratik özgül ağırlığın bitüm yüzdesi ile değişimi.



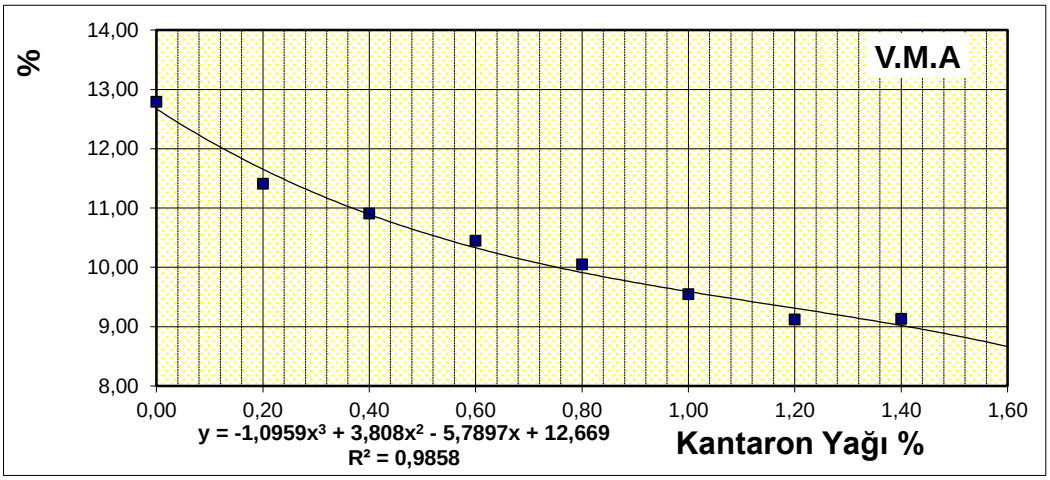

**Şekil 4.20.** Boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.



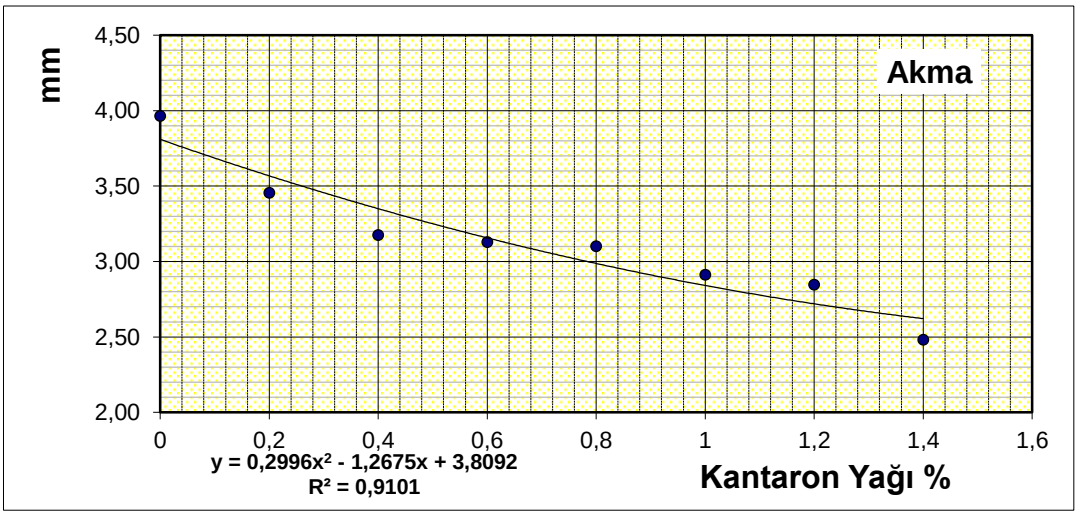

**Şekil 4.21.** Asfalt dolu boşluk yüzdesinin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.22.** Stabilitenin bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.23.** VMA'nın bitüm yüzdesi ile değişimi.




**Şekil 4.24.** Akmanın bitüm yüzdesi ile değişimi.

Yapılan deneyde kantaron yağı oranının artması ile pratik özgül ağırlık ve asfalt dolu boşluk yüzdesinin arttığı görülmektedir(Şekil 4.19, 4.21). Ancak kantaron yağın oranı arttıkça boşluk yüzdesi, stabilite, VMA, akma derğerleri gittikçe düşmektedir(Şekil 4.20, 4.22, 4.23, 4.24).

Pratik özgül ağırlık deneyin maksimum değeri kantaron yağının %1.2 oranına tekabül etmekte olup şartnamenin limiterini sağlamktadır (Şekil 4.19). Şartnamede belirtilen boşluk yüzdesi %4-6 arasındayken yapılan deneyde boşluk yüzdesi şartname limitlerinin altında olduğu saptanmıştır. En yüksek boşluk yüzdesine (%2.0) karşılık gelen kantaron yağın yüzdesi (%0.20) alınmıştır(Şekil 4.20). Binder tabakası için şartnamede belirtilen asfalt dolu başluk yüzdesi %60-75 arasındadır. Fakat deney sonuçlarına bakıldığında asfalt dolu boşluk yüzdesi şartname limitlerinin üstünde olduğu görülebilmektedir(Şekil 4.21). En düşük asfalt dolu boşluk oranı %83 olup kantaron yağın %0.2'sine karşılık gelmektedir. Binder tabakası için şartnamede minimum marshall stabilitenin sınırı 750 kg en üst sınırı ise 1400 kg'dür. Yapılan deneyde en yüksek stabilite değeri 1175 kg olup şartname limitlerini sağlamaktadır. Buna karşılık gelen kantaron yağın yüzdesi %0.20 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.22).

Yukarıda tespit edilen dört oranının ortalamasından optimum kantaron yağın yüzdesi elde edilmiştir.

$$\text{Optimum kantaron yağın yüzdesi (\%)} = \frac{1.2 + 0.20 + 0.20 + 0.20}{4} = 0.45$$

%0.45 olarak elde edilen optimüm kantaron yağınn yüzdesine karşılık gelen akma değeri (3.18 mm) olup şartnamede belirtilen limiti sağlamaktadır. Elde edilen optimüm yüzdesini verdiğimiz durumda şartnamenin pratik özgül ağırlık yüzdesini, akma ve stabilite değerlerini sağlayacaktır. Fakat boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve VMA değerleri karayolu teknik şartnamesinin belirttiği sınırları sağlamayacaktır.

**Çizelge 4.23.** Dördüncü aşamanın marshall dizayn verileri.

| Virjin Bitüm % | Kullanılmış | Kantaron Yağı % | Dp t/m$^3$ | Dt t/m$^3$ | Vh % | VMA % | VFA % | Stabilite kg | Akma mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5.0 | 0.0 | 0.0 | 2.404 | 2.484 | 3.22 | 12.79 | 74.8 | 1365 | 3.96 |
| 2.4 | 2.4 | 0.2 | 2.437 | 2.487 | 2.01 | 11.41 | 82.4 | 1175 | 3.45 |
| 2.3 | 2.3 | 0.4 | 2.446 | 2.486 | 1.59 | 10.91 | 85.5 | 1119 | 3.18 |
| 2.2 | 2.2 | 0.6 | 2.454 | 2.484 | 1.21 | 10.45 | 88.4 | 975 | 3.13 |
| 2.1 | 2.1 | 0.8 | 2.460 | 2.483 | 0.91 | 10.05 | 91.0 | 952 | 3.10 |
| 2.0 | 2.0 | 1.0 | 2.469 | 2.481 | 0.49 | 9.54 | 94.9 | 863 | 2.91 |
| 1.9 | 1.9 | 1.2 | 2.476 | 2.480 | 0.16 | 9.12 | 98.3 | 832 | 2.85 |
| 1.8 | 1.8 | 1.4 | 2.471 | 2.479 | 0.30 | 9.13 | 96.7 | 809 | 2.48 |

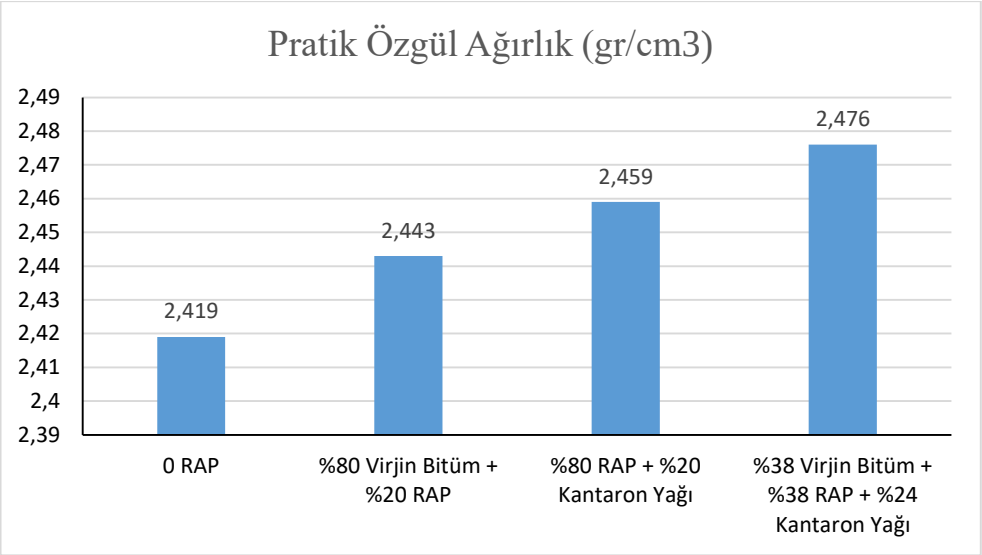
**Çizelge 4.24.** Dördüncü aşamanın dizayn sonuçları.

| Marshall Dizaynı Parametreleri | Dizayn Sonuçları | Şartname Limitleri |
|---|---|---|
| Optimum Kantaron Yağı, % | 0.45 | - |
| Pratik Özgül Ağırlık, g/cm$^3$ | 2.445 | - |
| Stabilite, kg | 1040 | Min 750 |
| Boşluk, % | 1.41 | 2 - 4 |
| Asfaltla Dolu Boşluk, % | 77.0 | 60 - 75 |
| V.M.A, % | 10.80 | 13 - 16 |
| Akma, mm | 3.18 | 2 - 4 |

### 4.5.5 Karışımlara ait marshall parametrelerinin kıyaslanması

Virjin bitüm (%0 RAP), virjin bitüm (%0 RAP) ile kullanılmış bitüm, kullanılmış bitüm ile kantaron yağı ve kullanılmış bitüm ile kantaron yağı ve virjin bitüm (%0 RAP) daha önce belirtildiği gibi çeşitli oranlarda RAP ve katkı madde olarak kantaron yağı içeren karışımların Marshall dizaynı sonucunda bulunan parametre değerleri grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır.

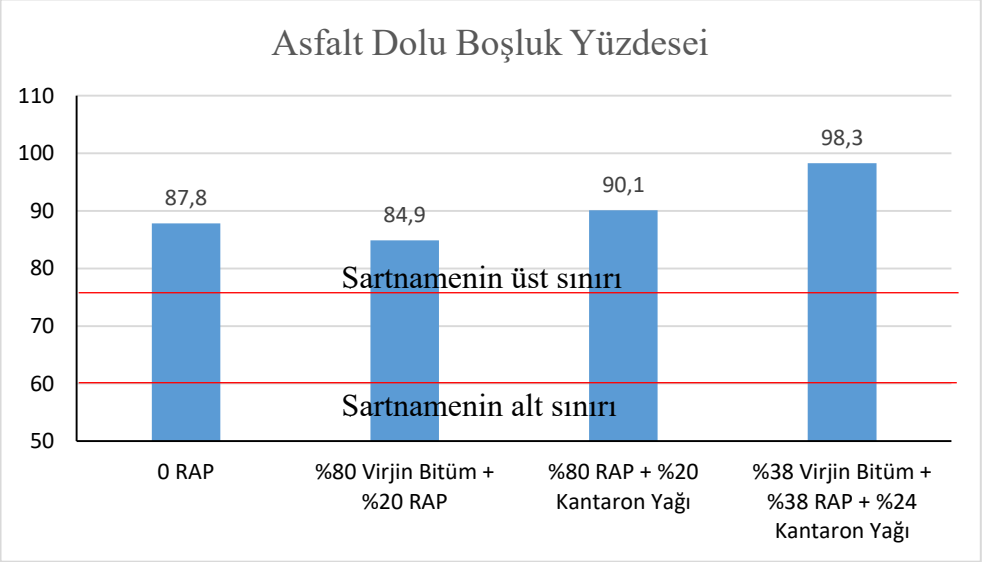
Karışımların Marshall dizaynı sonucunda bulunan Dp değerleri şekil 4.25.'da gösterilmiştir.




**Şekil 4.25.** Karşılaştırılmalı pratik özgül ağırlık (Dp) değerleri.

Şekil 4.25.'da verilen pratik özgül ağırlık (Dp) grafiğinde görüldüğü üzere karışım içerisindeki RAP miktarı ve kantaron yağı oranı arttıkça karışımın pratik özgül ağırlığının arttığı saptanmıştır.

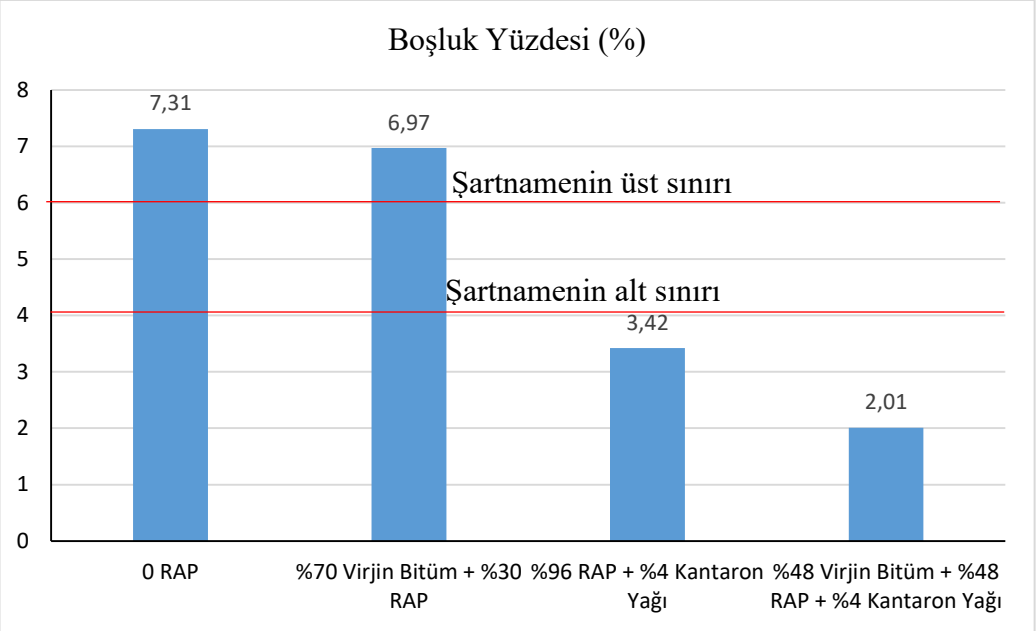
Marshall dizaynları sonucu karışımlara ait agregalar arasında boşluk yüzdesi (VFA) değerleri şekil 4.26.'deki grafikte sunulmuştur.




**Şekil 4.26.** Karşılaştırılmalı asfalt dolu boşluk yüzdesi değerleri.

Şekil 4.26.'de gösterilen asfalt dolu boşluk yüzdesi (VFA) grafiğinde görüldüğü gibi kantaron yağı artması ile karışımların VFA değeri de artmıştır.

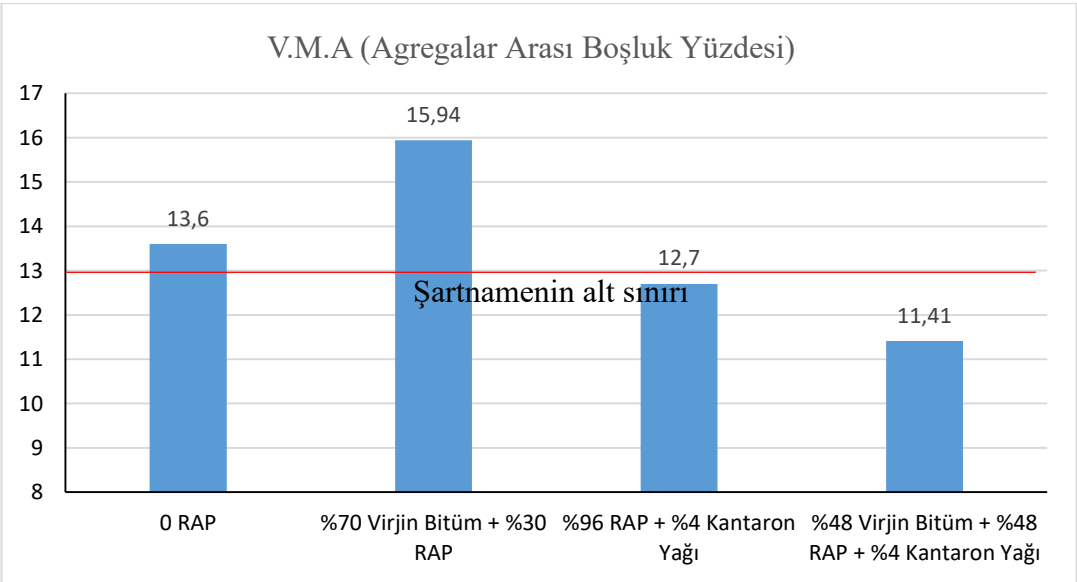
Karışımların Marshall dizaynları sonucunda bulunan boşluk yüzdesi değerleri şekil 4.27.'deki grafikte verilmiştir.




**Şekil 4.27.** Karşılaştırılmalı boşluk yüzdesi değerleri.

Şekil 4.27.'de gösterilen boşluk yüzdesi grafiğinde görüldüğü gibi kantaron yağı arttıkça boşluk yüzdesinin düştüğü tespit edilmiştir. Kantaron yağın eklendiği üçüncü ve dördünücü aşamalarda boşluk yüzdesi şartname sınırlarının altında kalmıştır.

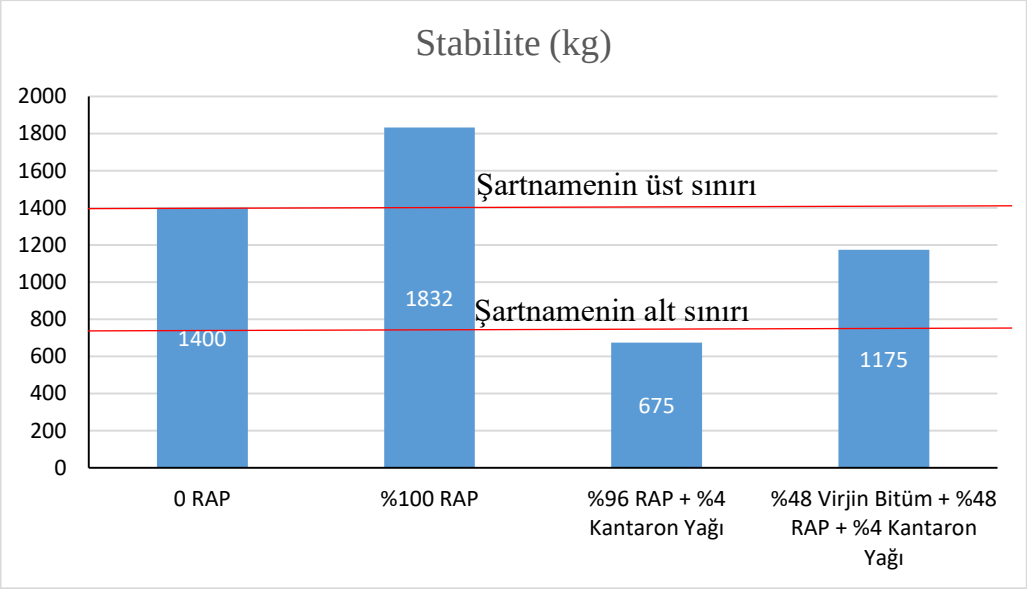
Karışımların agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) değerlerinin sonuçları şekil 4.28.'deki grafikte verilmiştir.




**Şekil 4.28.** Karşılaştırılmalı V.M.A değerleri

Şekil 4.28.'de karışımlara ait VMA grafiğinde görüldüğü gibi kantaron yağın artması ile karışımların VMA değerinin giderek düştüğü tespit edilmiştri. Kantaron yağın eklendiği üçüncü ve dördüncü aşamanın VMA değerleri şartname limitlerini (%13) sağlamamıştır.

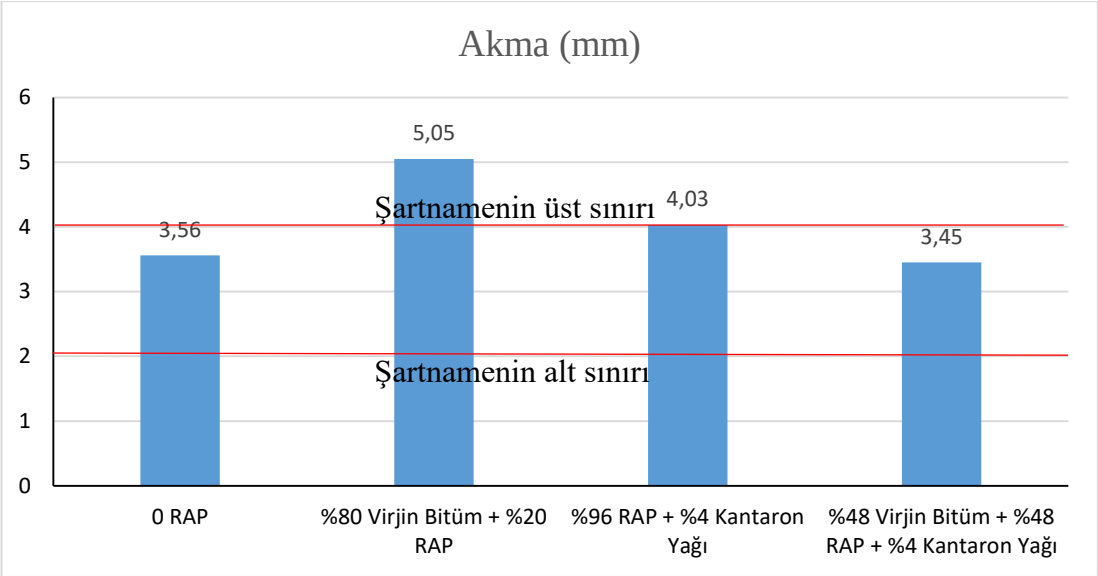
Karışımların Marshall dizaynları sonucunda bulunan karışımlara ait stabilite değerleri şekil 4.29.'daki grafikte sunulmuştur.




**Şekil 4.29.** Karşılaştırılmalı stabilite değerleri.

Şekil 4.29.'da karışımlara ait stabilite değerleri grafiğinda görüldüğü gibi karışım içerisindeki RAP miktarı arttıkça stabilite değeri artmıştır. karışımların stabilite değeri üçüncü aşama hariç, KTŞ'de binder tabakası dizaynı için istenen minimum 750 kg stabilite değerini sağlamaktadır.

Yine karışımların Marshall dizaynları sonucun bulunan karışımlara ait akma değerleri şekil 4.30.'daki grafikte sunulmuştur.




**Şekil 4.30.** Karşılaştırılmalı akma değerleri.

Şekil 4.30.'de karışımlara ait akma grafiğinde görüldüğü gibi karışımların akma değerleri KTŞ'de binder tabakası dizaynı için istenen 2-4 mm aralığına girmekte olup şartname değerlerini sağlamıştır.

# 5. SONUÇLAR

Yapılan tez araştırmasında geri dönüşümlü malzemerlerin karayolları üst yapılarının çeşitli tabakalarda agrega ve bitümün olarak kullanılması durumunda yolların performansı ve ekonomisini nasıl etkilediği görülmektedir.

Yapılan araştırmada kontaron yağı kullanılarak yaşlanmış asfalt kaplamaların gençleştirilebilirliği araştırılmıştır.

Çalışmada yapılan deneylerin akma ve stabilite değerleri karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çalışmanın birinci aşamasında 50/70 bitümünden marshall dizaynı yapılarak binder tabası için optimüm bitüm yüzdesi %4.60 olarak tespiit edilmiştir. Tespit edilen bitüm yüzdesi şartname değerlerini sağlamaktadır.

İkinci aşamada yeni bitüm oranı gittikçe azaltılmış, yaşlanmış bitümü; %0.0, %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90 ve %100 oranlarında katılarak optimum kullanılmış bitüm yüzdesi 2.58 olarak belirlenmiştir. Önerilen kullanılmış bitüm yüzdesi 2.60 olup %5 bitümün %52'sine tekabül etmektedir. Optimum kullanılmış bitümün yüzdesine (%2.60) karşılık gelen pratik özgül ağırlık değeri 2.385 g/cm$^3$, boşluk yüzdesinin değeri %4.20, asfalt dolu boşluk yüzdesinin değeri %68, VMA değeri %13.50, akma değeri 3.95 mm ve stabilite değeri ise 1380 kg olup binder tabakası için şartname değerlerini sağladığı saptanmıştır. Ancak kullanılmış bitümün (%2.5) %50'ye kadar akma ve asfalt dolu boşluk yüzdeleri şartname sınırlarının üstündeyken, boşluk yüzdesi ve VMA değerlerinin şartname sınırlarının altında olup şartname limitlerini sağlamamış olduğu ve %50 (%2.5)'den sonra kullanılan yaşlanmış bitüm yüdesinin şartname değerlerini sağladığının görülmesi dikkat çekicidir. (%3 ve %3.5 bitüm yüzdelerin değerleri ise deney hatası olarak kabul edilmiştir).

Üçüncü aşamada yeni bitüm kullanılmayıp, yaşlanmış bitüm ile kantaron yağı kullanılmıştır. elde edilen sonuçlara göre binder tabakasında kantaron yağını kullandığımız takdirde şartname limitlerini sağlamayacaktır. Fakat bitümlü temel tabakaları için %5 bitümün %0.2 (%4)'sini (boşluk yüzdesi %3.40 olup şartname sınırının altında ve asfalt dolu doşluk yüzdesi %74 olup şartname limitinin üstünde

olsa da şartname limitlerine yakındırlar) kantaron yağı kullanılabilir olduğu kanaatina varılmıştır.

Dördüncü aşamada yeni bitüm ve yaşlanmış bitüm ile kantaron yağı kullanılmıştır. sonuçlara baktığımızda pratik özgül ağırlık yüzdesi, akma ve stabilite değerleri şartname sınırılarını sağlayacaktır. Fakat en yüksek boşluk yüzdesi %2.50, VMA değeri %11.60 olup şartname limitlerinin altında ve asfalt dolu boşluk yüzdesi %83 olup şartname limitinin üstünde olduğu saptanmış, karayolu teknik şartnamesinin belirttiği sınırları sağlamayacaktır.

Orta trafikli yollarda %5 bitümün %96'sı yaşlanmış bitüm ile %4 kantaron yağın kullanılması önerilmektedir.

Sonraki çalışmalarda orta trafikli ve hafif trafikli yollara göre marshall dizaynı yapılarak yaşlanmış bitüm ile kantaron yağın kullanılabilirliğinin araştırılması önerilmektedir.

Petrol fiyatların yükselmesi bitüm fiyatlarının yükselmesinde doğrudan etkili olmasından dolayı yaşlanmış bitümün gençleştirilebilmesi maliyette büyük bir ölçüde tasarruf demektir. Bunun için çeşitli yağların gençleştirilebilirliğinin araştırılması, hangi yağların gençleştirilebilirlik özelliklerini sahip olup olmamalarının araştırılması önerilmektedir.

hükümetler, atık depolama alanlarının kullanımının kısıtlanması, ocakların boşaltılması ve işletilmesi için yüksek ücretlerin uygulanması veya geri dönüşüm için çaba sarf eden şirketlere ekonomik ve teknolojik destek verilmesi yoluyla geri dönüşümü teşvik etmelidir.

## KAYNAKLAR


1. Rostler, F. & White, R., 1970. Rejuvenation of Asphalt Pavements Materials Research and Development, Inc., under Air Force Systems Command Contract F29601-69-C-0129, California, USA.

2. Hitch, L.S. and Russell, R.B.C., 1977, Bituminous Bases And Surfacings For Low-Cost Roads In The Tropics, 46, berkshire, UK.

3. Jones G.M., 1979. Recycling of bitumenous pavements on the road, Proceedings of theAssociation of Asphalt Paving Technologists, 48, 240-251.

4. Mosey, J.R. and Defoe, J. H., 1979. In-place recycling of asphalt pavements, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 48, 261-272.

5. Wolters R.O., 1979. Bitumenous hot mix recycling in Minnesota, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 48, 295-327.

6. Pamuk, İ., 1986. BozulmuÇ bitümlü yol kaplamalarının yeniden kullanılması Yönteminin Türkiye'de Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

7. Noureldin, A. & Wood, L., 1987. Rejuvenator diffusion in binder film for hot-mix recycled asphalt pavement, Transportation Research Record 1115, Transportation Research Board, National Research Council, District of Columbia, USA.

8. Umar, F., Ağar, 1991. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

9. 1992. An Overview of Recycling and Reclamation Methods for Asphalt Pavement Rehabilitation, Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, USA

10. BACMI ACMA, (1992). Bituminous Mixes And Flexible Pavements: An İntroduction, BACMI Ltd, 104, London, UK.

11. Branthaver, JF., Petersen, JC., Robertson RE., Duvall, JJ., Kim, SS., Başbakan Harnsberger , Mill, T., Ensley, EK., Barbour, FA., Schabron, JF., 1993. Bağlayıcı Karakterizasyonu ve Değerlendirmesi, 2, Kimya, SHRP-A-368 Ulusal Araştırma Konseyi, Washington, USA.

12. Lav, A.H. ve Sütaş, İ., 1993, Pirit Kalsinesinin esnek yol kaplamalarında filler olarak kullanılması, Teknik Dergi, 4, 1, Ankara.

13. McGennis, R.B., Shuler, S. and Bahia, H.U., 1994. Background of superpave asphalt binder test methods, Report No, FHWA-SA-94-069, Asphalt Institute, Lexington, USA.

14. Garg N., Thompson M.R., 1996. Lincoln Avenue Reclaimed Asphalt Pavement Base Project" Ulaştırma Araştırma Kaydı, 89-95, Washington, USA.

15. Kandhal, P.S. and Mallick, R.B., 1996. A Study of Longitudinal Joint Construction Techniques in HMA Pavements. Ulaştırma Araştırma Kaydı 1543, TRB, Ulusal Araştırma Konseyi, Washington, USA.

16. Ikeda, T., and Kimura, M., 1997. Recent developments in recycling asphalt pavements in Japan, Proceedings of 8th international conference on asphalt pavements, Seattle, 99-106, Washington, USA.

17. Nicholls, J.C., 1997. Laboratory tests on high-friction surfaces for highways. TRL Report, 176, Berkshire, UK.

18. Thomas T., 1997. Yol Yapımında RN Hunter Bitümlü Karışımları, Londra, UK.

19. Aşık, İ., Aray, S. ve Önal, M.A., 1998, Bitümlü sıcak karışımların plentte modifiye edilmesinde kullanılan katkıların karışımların laboratuar koşullarındaki performansına etkisinin incelenmesi, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara.

20. Francken, L., 1998. Bituminous binders and mixes, Rilem Reports, E & FN Spon, 352 London and New York, USA

21. Önal, A., Aray, Ş. ve Orhan, F., 1998, Polimer İle Modifiye Edilmiş Sıcak Karışımların Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara.

22. Boyer, R., 2000. Asphalt Rejuvenators "Fact, or Fable". Presentation at the Transportation Systems 2000 (TS2K) Workshop, Texas, USA.

23. Holtz, K., and Eighmy, T. T., 2000. Scanning European advances in the use of recycled materials in highway construction, Federal Highway Administration, 64, 34-40, USA.

24. 2001. Rebuilding by Reclaiming- the FDR process, better roads magazine.

25. ARRA, 2001. Asphalt Recycling and Reclaiming Association Basic Manual.

26. D'Andrea A., Lancieri F., Marradi A., 2001.Materiali da Demolizione di Pavimentazioni Stradali Bituminose per la Formazione di Fondazioni e Sottofondi, Proceedings the National XI SIIV Conference, Verona, Italy.

27. İlcalı, M., Eren, K., Özen, H., Sönmez, İ., Tayfur, S., 2001. Asfalt ve Uygulamaları, İSFALT yayınları, İstanbul.

28. İnstitute of Asphalt Technology (I.A.T), 2002., 2. Irish North/South conference, Roads for todays inviroment: Innovative and recycled materials, 1-5, Enniskillen, UK.

29. Turner-Fairbank, 2002. Asphalt pavement technology: Indirect tensile test, Karayolu araştırma merkezi, 1-3, USA.

30. Lav, A. H. ve Lav, M. A., 2004. Shell Bitüm El Kitabı, İSFALT Bilimsel Yayınları, İstanbul

31. Zaniewski J.P. and Pumphrey M.E. 2004. Evaluation of performance graded Asphalt binder equipment and testing protocol, Asphalt Technology Program, Morgantown, West Virginia, USA.

32. David A. Byrne Beng (Hons), 2005. Recycling of asphalt pavements in new bituminous mixes, Napıer Unıversıty School Of Buılt Envıronment, Edinburgh, UK.

33. Özen, H., 2005, Ulaştırma Laboratuvar Deneyleri, Yıldız Teknik üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

34. Ghile, D.B., 2006. Effects of nanoclay modification on rheology of bitumen and on performance of asphalt mixtures, MSc Thesis, Delfth University of Technology, Delfth, Hollanda.

35. Şengül, C.E., 2006, Asfalt Kaplamalarda Tekerlek İzinde Oturma Ve Su Hasarı Problemlerinin Azaltılması İçin Sönmüş Kireç Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

36. Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S. ve Dost, Y., 2008. Kazılmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı, Karayolu Ulusal Kongresi, Ankara.

37. Orhan, F., Güngör, A., 2008. Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanımı Kgm Uygulamaları, Karayolları Genel Müdürlüğü AR-GE Dairesi Başkanlığı, Ankara.

38. Richardson, D. & Lusher, S., 2008. Determination of Creep Compliance and Tensile Strength of Hot-Mix Asphalt for Wearing Courses in Missouri, Report No. RI05-052, Missouri Department of Transportation, Missouri, USA.

39. Al-Qadi, I. L., S. H. Carpenter, G.L. Roberts, H. Ozer, Q. Aurangzeb, 2009. Investigation of Working Binder in Hot-Mix Asphalt Containing Recycled Asphalt Pavements, Illinois Ulaştırma Merkezi, 09-1262.

40. Poranic, J., BEng, MEngSc, 2009. An İnvestigation İnto Cold - İn Place Recycling of Asphalt Pavements, Doktora Tezi, Nottingham Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, UK.

41. Keyf, S., 2010, SBS ve reaktif terpolimer ile modifiye edilmiş bitümde penetrasyon ve penetrasyon indeksinin incelenmesi , Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi.

42. Salta, İ., 2010. Bitümlü karışımların geri dönüşüm Yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

43. Wirtgen GmbH, 2010. Wirtgen Cold Recycling Technology, Reinhard-Wirtgen-Strasse 2, 53578 Windhagen, Germany.

44. TS EN 933-9, 2010. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-bölüm 9: ince malzeme tayini - metilen mavisi deneyi, TSE, Ankara.

45. TS EN 1097-2, 2010. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: parçalanma direncinin tayini için yöntemler, TSE, Ankara.

46. TS EN 1367-2, 2010. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: magnezyum sülfat deneyi, TSE, Ankara.

47. TS EN15326, 2010. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar- yoğunluk ve özgül kütle tayini, TSE, Ankara.

48. Kaya, B., 2011. Bitümlü Karışımların Geri Dönüşümü, Çevresel Etkileri Ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

49. Schvallinger, M., 2011. Analyzing trends of asphalt recycling in France, Degree Project, KTH, Royal Institute of Technology Department of Urban Planning and Environment Division of Environmental Strategies Research, Stockholm.

50. Yılmaz, M., Kök, B., V. ve Kuloğlu, N., 2011. Karayolu Esnek Üstyapı Malzemelerinin Geri Dönüşümünde Köpük Asfalt Yönteminin Kullanılması, 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Elazığ.

51. Montepara, A. Tebaldi, G. Marradi, A. Betti, G. 2012. Effect on Pavement Performance of a Subbase Layer Composed by Natural Aggregate and RAP, Procedia - Sosyal ve Davranış Bilimleri, 53, 980 - 989.

52. Candemir, B., Beyhan, B. ve Karaata, S., 2012. İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik. TÜSİAD, ISBN: 978-9944-405-88-1.

53. Orhan, F., 2012. Karayolları Genel Müdürlüğü, Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, 7-8, 18-20, Ankara.

54. Hansen, K. R. and A. Copeland, 2013. Annual Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage:2009-2012, Federal Karayolu İdaresi, Washington, USA.

55. Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Kısım 407, Ankara.

56. Sönmez, İ, Yıldırım, S.A., Nacar, F.H. ve Bayraklı, Y., 2013, Farklı katkılarla modifiye edilmiş bitümlü karışımların kalıcı deformasyonlara karşı direnç özelliklerinin karşılaştırılması, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara.

57. TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6, tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, TSE, Ankara.

58. Mazlum., S., 2014. Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Asfalt Kaplamaların Kazınarak Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

59. Özcan, A., 2014. Karayollarının Mevcut Durumu ve Gelecekteki durumuna Asfalt Sektörünün Bakışı. 3. Karayolu Ulusal Kongresi, Ankara.

60. Russell Edgar Carlson IV, 2014. Feasibility of using 100% recycled asphalt pavement mixtures for road construction, University of Iowa.

61. Arapoğlu., A., S., 2015. Bozulmuş Asfalt Kaplamaların Geri Dönüşüm Maliyet Analizi Ve Optimum Geri Kazanım Mesafesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

62. TS EN 1426, 2015. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-iğne batma derinliği tayini, TSE, Ankara.

63. TS EN 1427, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Yöntemi, TSE, Ankara.

64. TS EN 12592, 2015. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar- çözünürlük tayini, TSE, Ankara.

65. Xavier Planas Willis, 2016. Analysis of the use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Europe, 13.

66. Tığdemir, M. ve Abdulehsan dhannoon, H., 2017. Irak Karayolları için Taguchi Yöntemi Kullanarak Geri Kazanım Asfalt Malzemeleri(RAP) ile Binder Tabakası Dizaynı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5,2, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta.

67. Oruç., Ş., 2018. Geri Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanabilirliğinin Araştırılması, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 30, 87-93.

68. KMA 200 Brochure Cold recycling plant.

69. URL-1 <www.wirtgen.de/en/news-media/pressreleases/articaldetails.2567.php>, Erişim Tarihi: 21.11.2018

70. URL-2 <http://dustrol.com/projects/coldmilling-on-us-400-near-dodge-city ks >, Erişim Tarihi: 03.12.2018

71. URL-3 <www.dustrol.com/projects/us-83-decatur-county-kdot-hot-in-place-recycling >, Erişim Tarihi: 03.12.2018

72. URL-4 <www.yollarfennisartnamesi.blogspot.com/p/asfalt-geri-donusum.html>, Erişim Tarihi: 03.12.2018

73. URL-5 <httpwww.assyrb.comproductsgongchenganli.jsp>, Erişim Tarihi: 03.12.2018

74. URL-6 <www.dustrol.com/projects/us-83-decatur-county-kdot-hot-in-place-recycling>, Erişim Tarihi: 03.12.2018

75. URL-7 < https://www.teknoasfalt.com/mobil-asfalt-uretim-tesisleri-mba/>, Erişim Tarihi: 18.12.2018

76. URL-8 <http://www.utest.com.tr/tr/20450/Otomatik-Elektronik-Bitum-Penetrometresi>, Erişim Tarihi: 26.01.2019

77. URL-9 <http://www.utest.com.tr/tr/20426/Laboratuvar-Mikseri-10-L>, Erişim Tarihi: 26.01.2019

78. URL-10 <http:// www.tupras.com.tr>, Erişim Tarihi: 07.02.2019

# ÖZGEÇMİŞ



**Adı Soyadı** : Sayed Orfan NOMANY

**Doğum Yeri ve Yılı** : Afganistan - 1994

**Medeni Hali** : Bekar

**Yabancı Dili** : Türkçe, Farsça, İngilizce, Hintçe, Arapça, Peştuca

**Telefon** : (+90) 539 843 22 75

**E-posta** : orfan.nomany@gmail.com

## EĞİTİM BİLGİLERİ (KURUM VE YIL)

**Lisans** : Dawat Üniversitesi 2010 - 2014

**Yüksek Lisans** : Aksaray Üniversitesi 2016 –

## MESLEKİ DENEYİMLERİ

1. Afganistan İçişleri Bakanlığı / İnşaat Mühendisi
2. FOSHANG İnşaat Şirketi / İnşaat Mühendisi