



**KTO KARATAY
ÜNİVERSİTESİ**

**T.C.
KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI TEZLİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI**

**BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜM VE
TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALARI**

Hülya KUYUCU

**KONYA
EYLÜL 2019**

BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜM VE
TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALARI

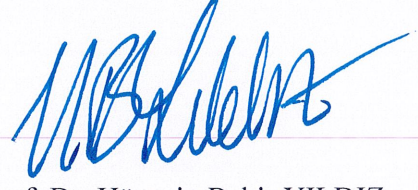
Hülya KUYUCU

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

KONYA
Eylül 2019

Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK
Anabilim Dalı Başkanı

Hülya KUYUCU tarafından hazırlanan BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜM VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALARI başlıklı bu çalışma 19 / 09 / 2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir



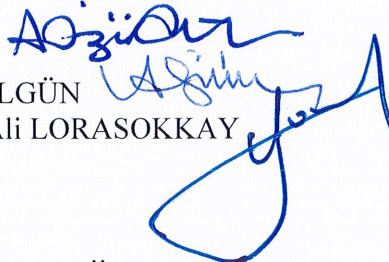
Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK
Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

Başkan: Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdülkerim İLGÜN

Üye: Dr. Öğr. Görevlisi Mehmet Ali LORASOKKAY

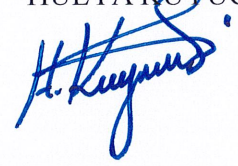


TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

19 / 09 / 2019

HÜLYA KUYUCU



ÖZET

BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜM VE TÜRKİYE'DEKİ UYGULAMALARI

KUYUCU, Hülya

Yüksek Lisans - İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK

Eylül, 2019

Geçmişten günümüze sanayileşmenin de etkisiyle artan ve ihmal edilen çevre tahribatı bugünün dünyasında büyük sorunlara sebep olabilmektedir. Çevre sorunlarının artması ve doğal kaynakların tükenmeye başlaması toplumları geri dönüşüm alanında çalışmaya ve gelişmeye yönlendirmiştir. Çeşitli alanlarda geri dönüşüm çalışmaları devam ederken özellikle son yıllarda önem kazanan Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda (BSK) geri dönüşüm de hem büyük ölçüde ekonomik kazanç sağlamakta hem de çevre tahribatının önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bitümlü sıcak asfalt karışımlarda geri dönüşüm uygulamasında üretilen malzemenin tipine göre farklı oranlarda geri dönüşüm malzemesi kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncelik olarak bitümlü sıcak asfalt karışımlarda geri dönüşüm özellikleri, yöntem ve stratejileri kaleme alınmış olup geri dönüşümün öneminden bahsedilmiştir. Sonrasında ise geri dönüşüm katkısız üretim, %5, %10, %15, %20 ve %30 oranlarında geri dönüşüm katkılı üretim ve üretim sonu deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları raporlandırılmış olup raporlar gerekli şartname değerleri ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir ve değerlendirme sonuçları paylaşılmıştır. Aynı zamanda bitümlü sıcak asfalt karışımlarda geri dönüşümün Dünya ve Türkiye'deki durumu araştırılmış araştırma sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atık Malzeme, Bitümlü Sıcak Asfalt Karışım, Geri Dönüşüm, Türkiye

ABSTRACT

BITUMEN RECYCLING AND APPLICATIONS IN TURKEY IN HOT MIX ASPHALT

KUYUCU, Hülya

M.Sc Department of Civil Engineering

Advisor: Asist. Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK

September,2019

Increased and neglected environmental destruction due to industrialization from past to present can cause big problems in today's world. The increase in environmental problems and the depletion of natural resources have led societies to work and develop in the field of recycling. While recycling works continue in various fields, recycling of Bituminous Hot Asphalt Mixtures, which have gained importance in recent years, provides a great economic benefit and plays an important role in the prevention of environmental damage. In bituminous hot asphalt mixtures, recycling material is used in different rates according to the type of material produced in the recycling application. In this study, recycling properties, methods and strategies of bituminous hot asphalt mixtures have been prioritized and importance of recycling has been mentioned. Afterwards, production without recycling additives, production with 5%, 10%, 15%, 20% and 30% recycling and end-of-production tests were performed. The test results were reported and the reports were evaluated by comparing with the required specification values and the evaluation results were shared. At the same time bituminous hot mix asphalt recycling in the world and the situation in Turkey investigated the research results are presented.

Keywords: Bituminous Hot Asphalt Mixture, Recycling, Turkey, Waste Material.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği veren, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK' a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, tez konusu seçimimde fikir veren ve yönlendiren iş hayatıyla birlikte tez çalışmalarımı da yürütebilmem de yardımcı olan hem patronum hem meslektaşım Sayın İnşaat Mühendisi Ali ÖZTAŞ' a, deneyimlerini benimle paylaşan doğru yerde doğru adım atmama yardımcı olan Sayın İnşaat Mühendisi Çağatay AKIN' a, deney ve raporlamalarda bilgi ve becerileriyle yardımlarını esirgemeyen Sayın Kimyager Betül KÜÇÜKKAYA ve Sayın Kimyager Raziye ÇAVDAR' a ve bu dönem süresince çalışmamı şekillendirmemde, düzenlememde desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen kıymetli arkadaşım Bilgisayar Programcısı Mustafa KAYA' ya bu güzel desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Hülya KUYUCU

Eylül, 2019

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| TEŞEKKÜR | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xi |
| KISALTMALAR | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| 3. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLAR (BSK) VE GERİ DÖNÜŞÜME GENEL BAKIŞ | 8 |
| 3.1. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımların Tanımı ve Özellikleri | 8 |
| 3.2. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımların Geri Dönüşümü | 10 |
| 4. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜMÜN ÖNEMİ VE YÖNTEMLERİ | 11 |
| 4.1. Geri Dönüşümün Önemi | 11 |
| 4.2. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm Yöntem ve Stratejileri | 12 |
| 5. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜMÜN GENEL UYGULAMALARI VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU | 21 |
| 6. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARININ LABORATUVAR TESTLERİ, SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ | 23 |
| 6.1. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm Uygulamalarında Yapılan Laboratuvar Testleri ve Uygulamaları | 23 |

| | |
|---|----|
| 6.2. Geri Dönüşüm Malzemesine ve Karışımli Asfaltilara Uygulanan Denevler ve Sonuqlari | 41 |
| 7. SONUQLAR VE ÖNERİLER | 72 |
| KAYNAKLAR | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ | 77 |



ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 4.1: Geri Dönüşüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması | 12 |
| Çizelge 5.1: Eyaletlere ve Ülkelere göre RAP malzemesi kullanımı[8] | 21 |
| Çizelge 6.1: Dizayn Verileri Çizelgesi | 26 |
| Çizelge 6.2: Şartname Sınır Değerleri Çizelgesi | 26 |
| Çizelge 6.3: Penetrasyon Deney Okuma Tablosu [22] | 35 |
| Çizelge 6.4: Yumuşama Noktası Deney Okuma Tablosu [25] | 37 |
| Çizelge 6.5: Yaşlanmış Bitüm ve Saf Bitüm Penetrasyon Deneyi Sonuçları | 41 |
| Çizelge 6.6: Yaşlanmış Bitüm ve Saf Bitüm Yumuşama Noktası Deneyi Sonuçları | 42 |
| Çizelge 6.7: Elementel Analiz Deneyi Nitrojen Değerleri | 44 |
| Çizelge 6.8: Elementel Analiz Deneyi Karbon Değerleri | 46 |
| Çizelge 6.9: Elementel Analiz Deneyi Hidrojen Değerleri | 48 |
| Çizelge 6.10: Elementel Analiz Deneyi Kükürt Değerleri | 49 |
| Çizelge 6.11: Geri Dönüşüm Malzemesi Marshall Deney Sonuçları | 50 |
| Çizelge 6.12: Geri Dönüşüm Malzemesi Soksilet Deney Sonuçları | 50 |
| Çizelge 6.13: Geri Dönüşüm Malzemesi Elek Analizi Deney Sonuçları | 50 |
| Çizelge 6.14: Geri Dönüşüm Malzemesi Elek Analizi Deneyi Grafiği | 51 |
| Çizelge 6.15: %0 oranında RAP karışimli Marshall Deney Sonuçları | 52 |
| Çizelge 6.16: %0 oranında RAP karışimli Soksilet Deney Sonuçları | 52 |
| Çizelge 6.17: %0 oranında RAP karışimli Elek Analizi Deney Sonuçları | 52 |
| Çizelge 6.18: %0 oranında RAP karışimli Elek Analizi Deneyi Grafiği | 53 |
| Çizelge 6.19: %5 oranında RAP karışimli asfalt Marshall Deneyi Sonuçları | 54 |
| Çizelge 6.20: %5 oranında RAP karışimli asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları | 54 |
| Çizelge 6.21: %5 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları | 55 |
| Çizelge 6.22: %5 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği | 55 |
| Çizelge 6.23: %10 oranında RAP karışimli asfalt Marshall Deneyi Sonuçları | 57 |
| Çizelge 6.24: %10 oranında RAP karışimli asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları | 57 |
| Çizelge 6.25: %10 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları | 57 |
| Çizelge 6.26: %10 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği | 58 |
| Çizelge 6.27: %15 oranında RAP karışimli asfalt Marshall Deneyi Sonuçları | 59 |
| Çizelge 6.28: %15 oranında RAP karışimli asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları | 59 |
| Çizelge 6.29: %15 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları | 60 |
| Çizelge 6.30: %15 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği | 60 |
| Çizelge 6.31: %20 oranında RAP karışimli asfalt Marshall Deneyi Sonuçları | 62 |
| Çizelge 6.32: %20 oranında RAP karışimli asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları | 62 |
| Çizelge 6.33: %20 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları | 62 |
| Çizelge 6.34: %20 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği | 63 |
| Çizelge 6.35: %30 oranında RAP karışimli asfalt Marshall Deneyi Sonuçları | 64 |
| Çizelge 6.36: %30 oranında RAP karışimli asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları | 64 |
| Çizelge 6.37: %30 oranında RAP karışimli asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları | 65 |

| | |
|---|----|
| Çizelge 6.38: %30 oranında RAP karışımı asphalt Elek Analizi Deneyi Grafiği | 65 |
| Çizelge 6.39: Deney Sonuçları Karşılaştırma Çizelgesi | 67 |
| Çizelge 6.40: Uygulama Yolu Karot Deneyi Sonuçları | 71 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1: Sıcak Geri Dönüşüm Yapılan Asfalt Üretim Tesisi | 2 |
| Şekil 4.1: Asfalt Betonu Kazıma ve Sisteme Yükleme | 13 |
| Şekil 4.2: Freze Makinesi ile Asfalt Betonu Kazıma ve Sisteme Yükleme | 13 |
| Şekil 4.3: Soğuk Düzeltme İşlemi ve Yol Yüzeyi Örneği | 14 |
| Şekil 4.4: Yerinde Geri Dönüşüm [4] | 16 |
| Şekil 4.5: Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm | 17 |
| Şekil 4.6: Soğuk Plentte Geri Dönüşüm Sistemi | 18 |
| Şekil 4.7: Tam derinlikli geri dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme [2] | 19 |
| Şekil 4.8: Kırma, şekillendirme ve sıkıştırma [2] | 20 |
| Şekil 6.1: Kurutma ve Isıtma İşlemlerinin Yapıldığı Etüv | 27 |
| Şekil 6.2: Marshall Deneyinde Kullanılan Sıkıştırma Makinası | 28 |
| Şekil 6.3: Su Banyosu Makinası | 29 |
| Şekil 6.4: Hazırlanan Numuneler ve Akma Deneyi Aleti | 30 |
| Şekil 6.5: Ekstraksiyon Cihazı ve Çanak İçerisinde Deney Sonucu Malzeme | 31 |
| Şekil 6.6: Elek Analizi Deneyi Elek Numaraları ve Elekler | 32 |
| Şekil 6.7: Karot Numuneleri | 33 |
| Şekil 6.8: Penetrasyon Deneyi Numunesi ve Cihazı | 34 |
| Şekil 6.9: Yumuşama Noktası Deney Numunesi ve Cihazı | 36 |
| Şekil 6.10: Özgül Ağırlık Deneyi Numune Tartımı | 40 |
| Şekil 6.11: Elementel Analiz Deneyi Cihazı | 41 |
| Şekil 6.12: Bitüm Yüzde Değerlerinin Karşılaştırılması | 67 |
| Şekil 6.13: Akma Değerlerinin Karşılaştırılması | 68 |
| Şekil 6.14: Sıkışma Değerlerinin Karşılaştırılması | 69 |
| Şekil 6.15: Birim Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması | 70 |
| Şekil 6.16: Uygulama Yolu Fotoğrafları | 71 |

KISALTMALAR

Kısaltmalar

RAP

KGM

BSK

KTŞ

CBR

Açıklama

Recycling Asphalt Pavement /
Geri Dönüşüm Asfalt Kaplama

Karayolları Genel Müdürlüğü

Bitümlü Sıcak Asfalt Karışım

Karayolları Teknik Şartnamesi

The California Bearing Ratio /
Kaliforniya Taşıma Gücü Deneyi

1. GİRİŞ

18. ve 19. yüzyılda Sanayi Devrimi ile değişen ve gelişen dünyada toplumun ihtiyaçları ve yaşam stilleri üzerindeki değişiklikler dünyanın kirlenmesine ve doğanın tahrip olmasına sebep olmuştur. O günün dünyasında atıkların ileride oluşturacağı problemler düşünülememiş ve bu ihmal bugün dünyayı büyük bir çevre kaosuna sürüklemiştir. İnsanoğlunun mevcut şartlarından ve ihtiyaçlarından artık vazgeçmek istememesi de bulunduğumuz çevre felaketini daha da içinden çıkılmaz bir hale getirmiştir. Tam da bu noktada devletlerin bir araya gelerek çevre tahribatını engelleme ve dünyayı koruma içgüdüğü ile birleşmesi geri dönüşüm ile ilgili çalışmalara olan ilgiyi artırmıştır. Doğayı korumak ve elimizde kalan malzemeleri daha iyi değerlendirmek için yapılacak çalışmalar ve bu çalışmalara yapılacak teşvik büyük önem taşımaktadır.

Dünya üzerindeki yerleşim planı düşünüldüğünde en çok tercih edilen ulaşım ağı karayollarıdır. Bu sebeple en çok deformasyon da yine yollar üzerinde meydana gelmektedir. Bunun sonucunda mal ve can güvenliği amacıyla sürekli bir yenileme gerçekleşmektedir ve bu yenilemeyle birlikte aynı oranda asfalt atığı da ortaya çıkmaktadır. Mevcut atığın geri dönüştürülerek kullanılması ABD ve Avrupa ülkelerinde agrega rezervlerinin kısıtlı olması nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Bu konuyla ilgili detaylı araştırmalar ve çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Ülkemizde ise her ne kadar şuan ki agrega rezervlerimiz yeterli görünüyor olsa da önümüzdeki yıllar içerisinde bu durumun değişmesi öngörülmektedir. Aynı zamanda bitüm yönünden dışa bağımlılığımız ülkemizi ekonomik açıdan sıkıntıya sokabilmektedir. Buna rağmen ülkemizde yapılan çalışmalar yeteri ilgiyi görmemektedir.[1]

Çalışmadaki amacımız Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda (BSK) Geri Dönüşüm ve Türkiye'deki Uygulamalarının araştırılması, incelenmesi ve yeni oluşturulan ürünlerin istenilen nitelikleri taşımasının tartışılmasıdır. Bu sebeple Konya ilinde geri dönüşümlü asfalt üretimine uygun asfalt üretim tesisinde %0, %5, %10, %15, %20 ve %30 geri dönüşüm malzeme karışımı yeni asfaltlar üretilmiş ve üretilmiş olan %15

geri dönüşüm malzeme karışımı asfalt İsmail Kaya Caddesinde binder tabakasında uygulanmıştır. Üretilen geri dönüşüm malzeme karışımı tüm asfaltlar üzerinde Marshall Stabilite Deneyi, Soksilet (Ekstraksiyon) Deneyi, Elek Analizi Deneyi ve Karot Deneyle yapılmıştır. Deney sonuçları çizelgeler halinde açıklanıp birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Değerler grafiklerle gösterilmiş ve şartname değerlerine en uygun değerlere sahip üretimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 1.1' de üretim yapılan tesis gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Sıcak Geri Dönüşüm Yapılan Asfalt Üretim Tesisi

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünya üzerinde tüketimin hızla artması doğal kaynaklarında aynı hızla tükenmesine ve ham madde gereksiniminin karşılanamamasına yol açmıştır. Bu hızlı tüketim ve yok olma yıllardır gereksinim duyulan çevre bilincinin oluşmasına sebep olmuştur ve bu bilinç doğrultusunda kullanılmış malzemelerin geri dönüştürülerek ham madde ihtiyacının azaltılması girişimi ortaya çıkmıştır. Bu girişimle birlikte çok çeşitli atık malzemelerde geri dönüşüm yapılmaya başlanmış ve atıklar bir ham madde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülebilmıştır [2]. Geri dönüşümün bu derece önem kazandığı dünyamızda, hem ham madde kolaylığı hem de ekonomik açıdan en önemli maddelerden biri olan petrol ve petrol ürünlerinin geri dönüşümü de büyük ilgi görmeye başlamıştır. Sıcak asfalt karışımlar da ham maddesi petrol ürünü olan bitüm kullanılarak üretilen ve tüm karayollarında yoğun bir şekilde kullanılan önemli bir üründür. Aynı zamanda agrega gereksinimi de oldukça fazla olan bu ürünün geri dönüşümü çevresel tahribatın azalmasına yardımcı olabilmektedir. Sıcak asfalt karışımların geri dönüşümüyle ilgili çalışmalar yaklaşık otuz yılı aşkın bir süredir devam etmektedir ve özellikle Avrupa' nın bazı ülkeleri ile ABD' de büyük ilgi görmektedir. Bu bölümde Sıcak asfalt karışımlarda geri dönüşüm üzerine yapılmış olan çalışmalar araştırılmış ve özetlenmiştir.

Konu ile ilgili olarak Gürer ve arkadaşları 2004 yılında yapmış oldukları çalışmalarında geri dönüşüm ve geri kazanım konularını ele almış olup geri dönüşümde kullanılabilen kâğıt, cam, metal ve plastik vb. malzemelerin geri dönüşümdeki durumlarını araştırmışlardır. Bununla birlikte inşaat endüstrisinde geri dönüşüm yapılabilen malzemeleri genel bir çerçeve ile inceleyerek beton, mermer, asfalt ve ahşap geri dönüşümlerinin üzerinde araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır. Çalışmada talep ve tüketim açısından incelendiğinde geri dönüşümün özellikle inşaat alanında yaygın bir şekilde uygulanmasının önemli miktarlarda ekonomik ve hammadde kaynağı sağlayacağı savunmuşlardır ve atık malzemeleri ham madde kaynağı olarak değerlendirme şekilleri anlatılmıştır. Tüm bu çalışma ve araştırmalarının sonuçları arasında üzerinde durulan konulardan biri ülkemizde yaygın olarak uygulanmayan fakat Dünya' da en çok geri dönüşümü yapılan malzemelerin

başında yer alan asfalt malzemesinin bizim gibi petrol ürünlerinin çok pahalı olduğu ve şehir içi yol kaplamalarının % 100' ü asfalt kaplama olan ülkelerdeki yerel yönetimler tarafından hızla uygulamaya geçilmesi gereken bir geri dönüşüm yöntemi olduğudur [3].

Güngör ve ark. 2008 ve 2009 yıllarındaki yapmış oldukları çalışmalarında ülkemiz karayollarında ilk kez uygulanan kazılmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı amacıyla, “Sakarya Köprülü Kavşağı Gümüşova (17.Bölge Müdürlüğü Sınırı) Arası Otoyol ve Bağlantı Yolları Üstyapı İyileştirmesi ve Büyük Onarım İşİ” kapsamında yapılan çalışmalar aktarılmıştır. Yapılmış olan uygulama ile ilgili olarak geri dönüşüm için seçilen metodun sıcak geri dönüşüm olarak belirlendiği aktarılmış olup diğer yöntemler ile ilgili bilgi verilmiştir. Uygulama sonucu deneyler yapılmış olup deney sonuçları paylaşılmış ve değerlendirmesi yapılmıştır. Aynı zamanda çalışmada geri dönüşümün önem ve faydaları ele alınmış, yöntem ve stratejileri de başlıklar halinde aktarılmıştır. Çalışmanın sonuçlar kısmında ise Sakarya Köprülü Kavşağı-Gümüşova Arası Otoyol ve Bağlantı Yolları üstyapı onarım işinde geri kazanılmış malzeme ile bitümlü temel ve binder imalatları başarı ile tamamlanmış olduğu ve konunun ülkemiz uygulamalarına başlangıç olması nedeniyle son derece önemli olduğunun düşünüldüğü aktarılmıştır [1].

Kaya 2011 yılında yapmış olduğu çalışması kapsamında yol kaplamaları bileşenlerinden bitüm, bitüm ile oluşturulan karışımlar, bitümlü karışımların ne tür tesislerde geri dönüştürüldüğü, geri dönüşüm yöntemlerinin neler olduğu, ülkemizde ve dünyada bitümlü karışımların geri dönüşümünün genel durumu, geri dönüşüm uygulamalarının çevresel etkileri ve maliyet analizi konularını geniş olarak ele almış ve anlatmıştır. Çalışmada yapılan araştırmalar sonucu, tüm dünyada ve ülkemizde de sökülen asfaltın mümkün olan en yüksek oranda geri kazanılmasının; daha az agrega ve bitüm kullanımı ile doğal kaynak tüketimini azalttığı, asfalt betonu atığının çevresel etkilerinin (hava, su ve toprak kirliliği, enerji tüketimi, gürültü, kazaların önlenmesi vb.) kontrolünü kolaylaştırdığının tespit edildiği bilgisini aktarılmış olup böylece asfalt üretim maliyetlerinin azalması, aynı miktarda kaynak kullanılarak daha fazla asfalt yol yapımı ile ekonomik kazanç sağlanacağı dile getirilmiştir [4].

Yılmaz 2011 yılında yapmış olduğu çalışmada karayolu esnek üstyapı malzemelerinin geri dönüşümünü ve yöntemlerini anlatmış aynı zamanda geri dönüşümde köpük asfalt yönteminin kullanılmasını ele alarak konuyu farklı bir açıdan incelemiştir. Köpük asfalt yönteminin kullanımının avantajlarını ve köpük asfalt karışım tasarımını detaylı bir şekilde anlatmıştır. Köpük asfalt retimine uygun agrega gradasyonu yapılmış ve örnekle anlatılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında ise soğuk ve tam derinlikten geri dönüşüm yöntemlerinde kullanılan köpük asfalt yöntemiyle ömrünü tamamlamış üstyapı malzemelerinden düşük maliyetle faydalanılması sağlanabileceğini ve bu yöntem, trafiğin fazla olduğu yollarda temel tabakasının elde edilmesi amacıyla, düşük trafik hacimli yollarda ise kaplama tabakası olarak kullanılabileceğini aktarmıştır. Yılmaz çalışmada bu tip çalışmaların ülkemizde de biran önce yapılmaya başlanmasının çevre ve ekonomi bakımından büyük önem arz ettiğini anlatmıştır [5].

Oylumluoğlu 2012 yılında yapmış olduğu üç farklı ılık karışım asfalt katkısı (Sasobit, Rediset, Advera) ile farklı içeriklerde hazırlanmış geri kazanılmış asfalt karışımları kullanımının fizibilitesi araştırmıştır. Geri kazanılmış asfalt karışımının bitüm içeriği ve agrega gradasyonu belirlendikten sonra, karışımın mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla Marshall stabilite ve İndirekt çekme deneylerini uygulamıştır. Ayrıca; geri dönüşüm yöntemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını, sıcak karışım ve ılık karışım asfaltlarla karşılaştırmak amacıyla fayda-maliyet analizi yapmıştır. Çalışmanın sonucunda ise deneysel sonuçlara göre, geri kazanılmış asfalt içermeyen ılık asfalt karışımlarındaki gibi benzer mekanik özellikler gösteren geri kazanılmış asfalt kaplaması ile hazırlanan karışımların üretilebileceği ortaya çıktığını aktarmıştır. Ayrıca yaptığı çalışmalar sonucunda elde ettiği verilere göre, hem sıcak karışım asfalta hem de ılık karışım asfalta kıyasla geri dönüşüm asfalt kullanımının ekonomik anlamda çok daha avantaj sergilediğinin saptandığını dile getirmiştir [6].

Hussain ve ark. 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada RAP malzemesinin saf asfalt ile farklı iki şekilde karıştırılmasını incelemiş ve üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları deneylerle penetrasyon, süneklik, dinamik modül, sertlik gibi özellikleri karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonuç kısmında deney raporları ile oluşturulan

çizelgeler eleştirilmiş ve aktarılmıştır. Araştırmacılar geri dönüşüm malzemeli karışımların kullanılabilceğini fakat her üretim tesisinde kalite kontrol testlerinin yapılması gerektiğini savunmuşlardır [7].

Pradyumna ve ark. 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada karayolu ağlarının önemini ve geri dönüşüm malzeme karışımı yeni asfalt üretimini konu edinmişlerdir. Çalışmada geri dönüşümlü asfaltlarda kullanılabilen katkı malzemelerine de yer vermiş ve %20 geri dönüşüm malzeme ve katkı malzemesi karışımı yeni asfalt üretimi yapmışlardır. Elde etmiş oldukları yeni asfaltlar üzerinde performans ve deformasyon deneyleri yapmışlar ve sonuçlarını paylaşmışlardır [8].

Seferoğlu ve ark. 2015 yılında yapmış oldukları çalışma kapsamında Türkiye'deki karayolu aşınma tabakasından elde edilen geri dönüşüm asfalt malzemesinin (RAP) taşıma kapasitesine etkisi araştırmışlardır. Çalışmada bozulmuş aşınma tabakasından soğuk geri dönüşüm yöntemi kullanılarak kazınan RAP malzemesiyle doğal agrega malzemesini kütlece farklı oranlarda karıştırmışlardır. Karışımlardaki RAP oranının taşıma kapasitesine etkisini belirlemek ve şartnamedeki performans kriterlerinin sağlanması için numunelere Kaliforniya Taşıma Gücü Deneyi (CBR) testleri yapmışlardır. Aynı zamanda geleneksel ile RAP içeren plent-mix temel malzeme arasında mali analiz yapmışlardır. Çalışmanın amacının ekonomiklik ve çevreselliğin yanı sıra malzemenin mekanik performansı da dikkate alınarak plentmix temel tabakasından kullanılması gereken optimum RAP oranının belirlenmesi olduğunu aktarmışlardır. Çalışmanın sonucunda ise yapılan deney sonuçlarından görüldüğü üzere temel tabakasındaki RAP oranının artmasıyla CBR değerinin azaldığı fakat minimum CBR değerinin sağlandığını belirtmişlerdir. Çalışmada Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesinde (KTŞ) sürdürülebilir malzemelerin CBR değerleriyle ilgili bir kritere rastlanmadığı aktarılmıştır. Yapılan deneyler ve araştırmalardan elde edilen bulguların şartnameye uyarlanabileceği düşünülmektedir. Seferoğlu ve arkadaşları genel anlamda Türkiye'deki karayolu aşınma tabakasından elde edilen RAP malzemesinin taşıma kapasitesine etkisi üzerinde araştırmalar yapmış ve çalışmışlardır.

Köfteci 2017 yılında hatalı imalat sonucu ortaya çıkan atık bitümlü sıcak karışımlardan (BSK) elde edilen geri dönüştürülmüş agregaların, temel karakteristik özelliklerinin değerlendirildiği deneysel bir çalışma sunuştur. Bu amaçla, Antalya ilindeki bir yol kesimine ait bitümlü temel tabakasından karot makinesi ile 20 adet numune almış ve bu numuneler üzerinde çalışmıştır. Çalışma kapsamında bitümlü sıcak karışımın temel bileşenleri olan agrega ve bitüm, laboratuvarda reflüks (cam) ekstraktörde trikloretilen ile birbirinden ayrıştırılmıştır. Her bir karot numunesindeki agregalara ayrı ayrı elek analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar ilgili şartnamedeki bitümlü temel tabakasına ait alt ve üst limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, geri kazanılan agregaların yanı sıra yeni kalker ve bazalt agregaların performansları Los Angeles aşınma, yassılık indeksi, soyulma, donma-çözülme ve metilen mavisi deneyleri gibi agrega deneyleri ile analiz edilmiştir. Deneysel testlerden elde edilen sonuçların, geri kazanım yolu ile elde edilmiş agregaların performanslarının şartname standartlarını karşıladığı, bu nedenle yol üstyapısında tekrar kullanılmasının uygun olduğunu gösterdiği anlatılmıştır.

Oruç 2018 yılında yapmış olduğu çalışmasında öncelikle Dünyada ve Türkiye’de uygulanan asfalt geri dönüşüm yöntemlerini incelemiş ve geri dönüşümün avantajları üzerinde değerlendirme yapmıştır. Çalışmada çalışma alanı olarak seçilen İstanbul bölgesinde bulunan ve ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kazınması ile elde edilen esas malzemeler kullanmıştır. Bu malzemelerden %10, %25 ve %40 gibi oranlarda hazırlanan karışım numuneleri üretmiştir. Hazırladığı karışım numunelerine Marshall deneyleri uygulamış, yoğunluk ve boşluk analizlerini yapmış, elde edilen bulguları geri dönüşüm içermeyen numunelerle ve sahadan alınan karot numunelerle karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda ise yapılan deney sonuçlarını da referans alarak geri dönüşüm katkılı malzemelerin de şartname değerleri ve fiziksel özellikleri açısından bir sorun teşkil etmediğini aktarmıştır.

Roberts ve ark. yapmış oldukları çalışmada geri dönüşüm yapılırken köpük asfalt kullanımı yöntemini ele almışlardır. Hem ıslak hem kuru malzemeler üzerinde laboratuvar ve fizibilite çalışmalarını yaptıkları bu yöntemin detaylarını anlatmış ve kullanılabilir önemli bir yöntem olduğunu savunmuşlardır.

3. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLAR (BSK) VE GERİ DÖNÜŞÜME GENEL BAKIŞ

3.1. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımların Tanımı ve Özellikleri

Asfalt; kum, kireçtaşı ve granit gibi ufalanmış mineral parçaları ile bitümün doğal ya da yapay karışımı olan siyah renkte bir maddedir. Bir üst yapı malzemesi olarak kullanılan asfalt, ana maddesi petrol katranı olan ve yol kaplamasında kullanılan yapışkan özelliğe sahip bitümlü bağlayıcı karışımıdır. Bitümler, ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen ve geniş çapta kullanılan bir inşaat çalışma alanı malzemesidir. Özellikle yol yapım çalışmalarında ve bakım onarım gibi çeşitli uygulamalarda ham madde olarak kullanılmaktadır. Bitümler, belirli bir sıcaklıkta sertliği veya kırılabilirliği ile ilişkili olarak belirli mühendislik ve fiziksel özelliklerine göre farklı türlerde üretilmektedir. Bazen asfalt karışımların hizmet verdiği geniş bir sıcaklık aralığında performansı artırmak için bitümler polimer eklenerek de üretilebilir. Asfaltlarda bitüm bağlayıcı içeriği tipik olarak karışıma ve uygulamaya bağlı olarak %3 ile %7 oranında değişiklik gösterebilmektedir [9]. Asfaltın temel bileşeni olan ve katrana benzeyen bitüm, bir karbon ve hidrojen bileşiğidir. Bu nedenle kimyada hidrokarbonlar denen kalabalık bir sınıfın üyesi sayılabilmektedir.

Asfalt ısıtıldığında yumuşar ve plastik gibi esneklik kazanır. Bu yüzden ısıtılıp kalıba dökülerek kolayca biçimlendirilebilir. Erime noktası 32°C ile 37°C arasındadır. Çevre sıcaklığına ve içindeki katkılara bağlı olarak sıvı ile katı arasında değişik biçimlerde bulunabilmektedir. Asfalt çeşitleri doğal asfalt, ekmek asfalt, mastik ve petrol asfaltı olarak ayrılabilir. Doğal asfalt topraktan çıkarıldığı durumda bulunan asfalta verilen isimdir. Ekmek asfalt doğal asfalt ile bitümü katıp ısıttıktan sonra blok ya da yapay bir şekilde petrol asıllı bitüm ile kalker ununu karıştırarak yapılan asfalta verilen isimdir. Mastik asfalt sızdırmazlık için kullanılmış olan mineral dolgu, agrega ve asfalt çimentosu karışımından elde edilebilmektedir. Petrol asfaltı ise ham olan petrolün damıtılması ile elde edilmektedir. Bu şekilde çeşitli türlerde olan ve katkı maddeleriyle özellikleri değiştirilebilen asfaltlar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Asfaltın en iyi bilinen kullanım alanı yol kaplamasıdır. Bunun dışında su geçirmezliği sağlaması nedeniyle yalıtım ve çatı kalafatlamada da kullanılan bir üründür. Asfalt ham maddelerinden biri olan agregaların üretimi taş ocağında başlar. Genel olarak kum, kaya tozu (makinelere kaya parçalamaları sonucu oluşur) 5-10 mm'lik mıcır ve 15-20 mm'lik mıcır karışımına girer. Bu malzemelerin yolun döşeneceği yere göre karışım oranları vardır. Taşlar ve kaya tozu karışımın %95'ini oluşturur [2].

Asfalt yapımı hafif presli bir makine yardımı ile yola istenilen oranda ve şekilde dökülür, ardından ağır pres makineleri düzeltme ve yere oturtma işlemini yapar. Hava durumuna göre asfalt en fazla 1 saat içinde kurumakta ve kullanıma hazır hale gelmektedir.

Bu şekilde çeşitli özellikte ve alanlarda kullanılan asfalt da her madde ve ürün gibi zaman içerisinde yıpranır ve kullanım amacını karşılayamaz hale gelmektedir. Özelliğini kaybetmiş asfaltlar ise gerekli aletlerle kazılarak yollar yeniden yeni üretilmiş asfaltlarla kaplanmaktadır. Bu işlemin sonucunda ise tonlarca asfalt atığı oluşmakta bu durum hem çevre sağlığı açısından hem de maddi açıdan sorun oluşturabilmektedir.

3.2. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımların Geri Dönüşümü

Asfaltta geri dönüşüm (recycling) bozulmuş ve özelliğini kaybetmiş asfaltların kazılarak yeni yapılacak olan bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılmasıdır. Bu şekilde özelliğini kaybetmiş asfaltların belli oranlarda yeni sıcak asfaltlarla karıştırılarak kullanılması kaynaklarımızın kullanımında ekonomik ve teknik açıdan büyük fayda sağlamaktadır [4]. Ne yazık ki ülkemizde şu an için yaygın olarak kullanılsa da Avrupa'daki birçok ülkede ve Amerika'da sıkça kullanılmaktadır [3]. Bu konuyla ilgili olarak birçok çalışma ve araştırma yapılmıştır ve hala yapılmaya devam edilmektedir.

Geri dönüşüm işlemleri kaplamanın kazınıp santrale götürüldükten sonra yeniden işlemde geçirilip tekrar kaplama malzemesi haline dönüştürülmesiyle veya aynı sıcak veya soğuk karışım asfalttaki gibi özel ekipmanlar kullanmak suretiyle yerinde kaplamayı kazıma, gençleştirme ve yeniden kaplamanın serilmesi şeklinde gerçekleştirilir [3].

Bitümlü malzemelerin geri kazanımı genel anlamda iki kategoriye ayrılır. Bunlar, yerinde (arazide) geri kazanım ve arazi dışında (asfalt plantlerinde) geri kazanımdır [4].

Yaygın yöntem eski kaplamaların uygun makinelerle kazılarak asfalt plantlerine götürülüp gerekli işlemlerden geçerek geri dönüştürülmesidir. Genellikle asfalt geri dönüşüm santrallerinde %70 oranında geri dönüşüm yapılabilmektedir [10].

Her ne kadar yaygın olarak arazi dışında geri dönüşüm kullanılsa da yerinde geri dönüşüm de bir o kadar üstün görülmektedir. Sebebi ise yapım işlemi olarak çok ekonomik olması, yansıma çatlaklarına karşı oldukça dirençli olması, yapım süresince trafiğin çok kısa süre kapalı kalması ve sıkıştırma işlemi bittikten 1 saat sonra yolun trafiğe açılabilir olması söylenebilir [11].

4. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜMÜN ÖNEMİ VE YÖNTEMLERİ

4.1. Geri Dönüşümün Önemi

Geri dönüşüm, potansiyel olarak faydalı materyallerin yeniden kazanılarak boşa harcanmasını ve sürekliliğinin sağlanması için kimyasal ve fiziksel işlemlerle kullanıma sunulması anlamına gelmektedir. Atık malzemeleri geri dönüştürerek yalnızca çevre kirliliği önlenmiyor aynı zamanda kâğıt, plastik, alüminyum, tekstil ve elektronik gibi ürünlerin tekrar kullanılması da sağlanmış oluyor.

Bunlar gibi yenilemesi yapılacak olan asfaltların kazınması ve geri dönüşümde kullanılması da hem agrega rezervlerinin tüketimini azaltıyor hem de bitüm ihtiyacını azaltarak ekonomik fayda sağlıyor [12].

Geniş kapsamlı bir şekilde geri dönüşümün avantajlarına bakıldığında;

- Kazınan BSK tabakasının yeniden kullanılmasıyla ham madde ihtiyacı belli oranda karşılanarak ekonomik kazanımlar elde edilebilir.
- Geri dönüşüm sayesinde yeni malzeme ihtiyacının azalmasıyla doğal kaynakların korunması ve çevre tahribatının azaltılması sağlanmış olur.
- Mevcut kaplamanın üzerine yapılan yeni kaplama sonucu oluşan yansıma çatlama, kot yükselmesi gibi sorunlar önlenir.
- Geri dönüşüm geleneksel yapım teknikleriyle karşılaştırıldığında büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir.
- Mevcut kaplamanın yapısı üzerine kalın bir tabaka eklemeksizin daha mukavim bir yapı elde edilebilir [1].

4.2. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm Yöntem ve Stratejileri

Geri dönüşüm yöntemleri her ne kadar 2 yöntemle yapılıyor gibi görünse de bununla ilgili olarak Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği (Asphalt Recycling and Reclaiming Association – ARRA) beş farklı geri dönüşüm tekniği sunmaktadır.

Bunlar;

- Soğuk Düzeltme (Cold Planing)
- Sıcak Geri Dönüşüm (Hot Reclycling)
- Sıcak Yerde Dönüşüm (Hot In-Place Reclycling)
- Soğuk Geri Dönüşüm (Cold Reclycling)
- Tam Derinlikli Geri Dönüşüm (Full Depth Reclamation) olarak sıralanabilmektedir.

Çizelge 4.1’ de Geri Dönüşüm Yöntemleri alt dalları ile birlikte sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Geri Dönüşüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması

| | | |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ | Soğuk Düzeltme | |
| | Sıcak Geri Dönüşüm | |
| | Sıcak Yerde Geri Dönüşüm | |
| | Soğuk Geri Dönüşüm | Soğuk Yerde Geri Dönüşüm |
| | | Soğuk Plentte Geri Dönüşüm |
| Tam Derinlikli Geri Dönüşüm | | |

Eskimiş ve özelliğini kaybetmiş asfaltların geri dönüşümde kullanılabilmesi için buldukları yerden kazınmaları gerekmektedir. Bu kazınmış asfalta ise uygulanacak geri dönüşüm yöntemine göre gereken işlem uygulanmalıdır.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de kazıma yöntemleri normal kazıcı makine ve özel kazıcı (freze) ile nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Asfalt Betonu Kazıma ve Sisteme Yükleme



Şekil 4.2: Freze Makinesi ile Asfalt Betonu Kazıma ve Sisteme Yükleme

4.2.1. Soğuk düzeltme (Cold planing)

Soğuk düzeltme mevcut kaplamanın istenilen derinlik, boy kesit ve enine eğimde kontrollü olarak olduğu yerden kaldırılmasıdır. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan yüzey dokusu; işlem biter bitmez yolun trafiğe açılmasına imkân verebildiği gibi, diğer asfalt geri dönüşüm yöntemlerinden biriyle müdahale edilebilmesine ya da mevcut tabaka kaldırıldıktan sonra temizlenip asfalt tabakalarının birbirine daha iyi yapışmasını sağlayan emülsiyon tabakası atıldıktan sonra standart sıcak karışım asfalt kaplama veya geri dönüşümlü asfalt tabakasıyla kaplanmasına izin verecek şekilde üç farklı çözüm yöntemi sunar [13].

Bunların dışında soğuk düzeltme (cold planing) işlemi yolun kayganlığını azaltmak amacıyla ve yolun pürüzlülüğünü ve dolayısıyla sürtünmesini arttırmak amacıyla da uygulanabilir. Şekil 4.3’de soğuk düzeltmenin yapım şekli ve yolda oluşan yüzey gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Soğuk Düzeltme İşlemi ve Yol Yüzeyi Örneği

4.2.2. Sıcak geri dönüşüm

Sıcak geri dönüşüm geri dönüştürülmek üzere kazanmış atık asfalt malzemesinin asfalt plentlerinde yeni agrega ve yeni bitüm malzemesiyle karıştırılarak geri dönüşümlü karışım oluşturulması işlemidir [4].

Özel tasarlanmış veya modifiye edilmiş harman tipi veya tambur tipi sıcak karışım plentleri geri kazanılmış karışımlar üretmek için kullanılabilir. Sıcak geri dönüşümde atık malzeme soğuk bir şekilde plentin mikserine eklenebilir ve bu işlem ülkemiz şartnamelerine soğuk besleme olarak girmiştir. RAP malzemesinin yeni karışımda kullanılma oranı RAP malzemesi soğuk olarak mikserine alınıyorsa %10-%30 arasında değişiklik gösterirken malzeme önceden ısıtılarak karışıma ekleniyorsa bu oran %80'lere kadar çıkabilmektedir [1].

Ülkemizde RAP malzemesinin soğuk olarak işleme alınacağı düzenekler mevcut olduğundan KGM teknik şartnamesi en fazla %25 oranında geri dönüşüm malzemesinin sıcak geri dönüşümde kullanılabileceğini belirtmektedir [5].

Sıcak karışım asfalt üretiminde sıcak karışım geri dönüşüm yöntemi kullanımı, enerji tasarrufu sağlamak, doğal agrega kaynaklarının tükenmesine engel olmak ve ekonomik yararlar sağlamak gibi nedenlerle gündeme gelmiştir.

4.2.3. Sıcak yerinde geri dönüşüm

Sıcak yerinde geri dönüşüm katar olarak isimlendirilmiş birbiri ardına dizilen iş makinelerinin arazide geri dönüşüm işlemini gerçekleştirmesidir. Bu geri dönüşüm yöntemi yüzeysel geri dönüşüm, yeniden karıştırma ve yeniden kaplama olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilmektedir [5].

Sıcak yerinde geri dönüşüm yönteminde mevcut asfalt kaplama ısıtma düzeneği kullanılarak yumuşatılır. Isıyla işlenebilir ve kolay müdahale edilebilir hale getirilen asfalt kaplama tabakası; kazıma ve agrega tanelerinin kaplama tabakasından ayrışması işlemlerinden geçirilir. Kazınan ve gevşek hale geçen asfalt kaplama çok iyi biçimde harmanlanıp homojen bir karışım oluşturularak yeni karışımın tekrar yola serilmesi ve sıkıştırılması işlemleri gerçekleştirilir. Bu şekilde kaldırılıp yeniden serilen asfaltta taşıma gibi bir süre kaybı olmadığı için zamandan tasarruf edilmiş olmaktadır. Kazınan asfaltın tamamının kullanılması %100 geri dönüşüm yapılmasını da sağlamaktadır [14]. Şekil 4.4’de yerinde geri dönüşüm işlemine örnek bir uygulama gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Yerinde Geri Dönüşüm [4]

4.2.4. Soğuk geri dönüşüm

Soğuk geri dönüşüm ısı uygulama yapılmaksızın yıpranmış ve hasar görmüş asfaltların kazılarak karıştırılması ve serilip sıkıştırılması işlemidir. Soğuk geri dönüşümde uygulama iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlar;

- Soğuk Yerde Geri Dönüşüm
- Soğuk Plentte Geri Dönüşüm

olarak iki başlık altında incelenebilir. Soğuk yerde geri dönüşüm de aynı sıcak yerde geri dönüşüm gibi bir araç dizini ve işlem sirkülasyonu şeklinde yapılmaktadır.

Soğuk plentte geri dönüşümde ise atık malzeme plente ısı işlem görmeden belli katkı malzemeleriyle karıştırılarak yeniden kullanıma hazır hale getirilir. Oluşturulan karışımlar temel malzemesi olarak kullanılabilir ve daha mukavim bir karışım elde etmek için katkı malzemeleri çeşitlendirilebilmektedir [4,5]. Şekil 4.5’de Soğuk yerde geri dönüşüm ve Şekil 4.6’ da Soğuk plentte geri dönüşüm örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Soğuk Yerde Geri Dönüşüm



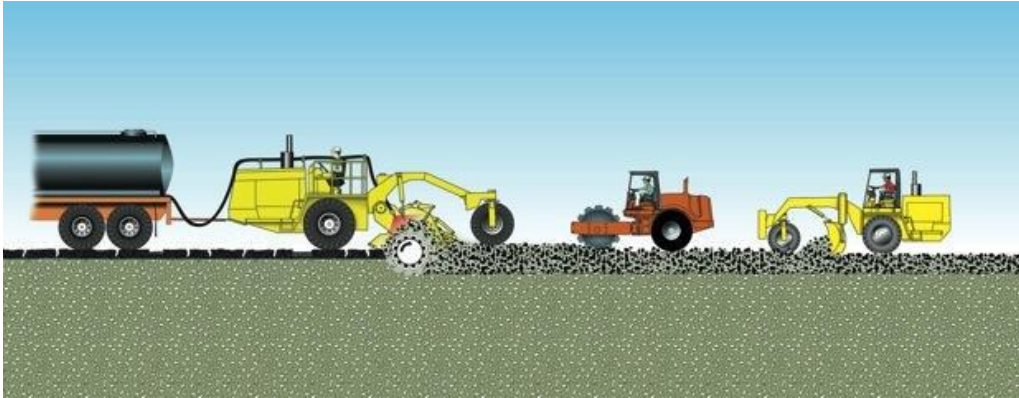
Şekil 4.6: Soğuk Plentte Geri Dönüşüm Sistemi

Soğuk geri dönüşüm ile elde edilen malzemeler yol yüzeylerinde oluşmuş küçük boyutlu çökmeler ve oyuklar gibi yolun kalitesini bozan fakat büyük işlem gerektirmeyen küçük çaplı onarımlarda kullanılabilir. Bu onarımlar her ne kadar geçici çözümler olsa da hem iklim koşullarının sıcak asfalt uygulaması için elverişli olmadığı zaman dilimlerinde oldukça rahat kullanılabilir hem de maliyet açısından önemli kazanç sağlamaktadır.

4.2.5. Tam derinlikli geri dönüşüm

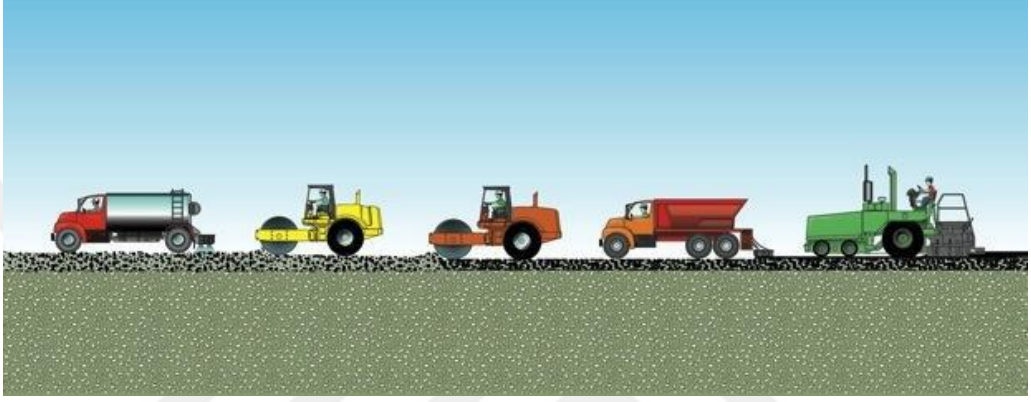
Tam derinlikli geri dönüşüm yöntemi deformasyona uğramış yerin daha önceden belirlenmiş derinlikte ve eğimde kazılarak yeniden kazanılması için gerekli işlemlerden geçirilmesi yöntemidir. Bu yöntemde soğuk geri dönüşüm yöntemi gibi ısı işlem görmemektedir. Kazılan kısım sadece asfalt tabakasını değil temel tabakasını da içermektedir. Her ne kadar kazılacak yerin derinliği yolun yapısına göre belirlense de genellikle 10 cm ile 30 cm arasında değişiklik göstermektedir [8].

Tam derinlikli geri dönüşüm yönteminin daha önce açıklanan soğuk yerinde geri dönüşümden en önemli farkı yoldaki çatlakların, bozulmaların yolun en üst tabakalarında kalmayıp temel seviyesine kadar inmesi durumunda uygulanmasıdır. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’ de uygulama şekli gösterilmiş olan ve Türkiye’de uygulaması henüz yapılmayan genellikle bitüm emülsiyonu, çimento, kireç, köpüklendirilmiş bitüm vb. katkı soğuk geri dönüşüm uygulamaları gerek daha az enerji tüketimi gerek çevreye zararlı gazların daha az ortaya çıkması gerekse daha az maliyetli olması nedeniyle yurtdışında oldukça sık kullanılır bir geri dönüşüm uygulaması haline gelmiştir [15].



Şekil 4.7: Tam derinlikli geri dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme [2]

Tam derinlikli geri dönüşüm uygulamasında Şekil 4.7' de gösterilmiş olan ufalama ve rutubetlendirme olarak nitelendirilen işlem ile zemin yapılacak geri dönüşüm uygulamasına hazırlanmış olmaktadır. Sonrasında ise Şekil 4.8' da gösterilen kırma, şekillendirme ve sıkıştırma işlemleri uygulanarak zemin kullanıma uygun ve hazır hale getirilmektedir.



Şekil 4.8: Kırma, şekillendirme ve sıkıştırma [2]

5. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜMÜN GENEL UYGULAMALARI VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

Ülkemizde henüz yeni olan Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm (RAP) kullanımını Dünya çapında 30 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Dünya genelinde kullanımı böyle yaygın olan ve gün geçtikçe önemi artan, geri dönüşüm konusunda büyük bir ekonomik kazanç sebep olan RAP her geçen gün artış göstermekte ve yaygınlaşmaktadır. Genel bir araştırma yapıldığında ise bu durumun özellikle Avrupa'daki birçok ülkede ve Amerika'da oldukça fazla olduğu görülmektedir. Amerika karayolu uygulamalarında RAP malzemesini aktif olarak kullanmaktadır. RAP' in bazı ülke ve eyaletlerde maksimum değerdeki izin verilme durumu Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Eyaletlere ve Ülkelere göre RAP malzemesi kullanımı[8]

| Eyalet Ve Ülke | RAP Malzemesine Temel Tabakasında İzin Verilme Durumu | % Maksimum |
|----------------|---|------------|
| Montana | Evet | 50-60 |
| New Jersey | Evet | 50 |
| Colorado | Evet | 50 |
| California | Evet | 50 |
| Texas | Evet | 20 |
| Minnesota | Evet | 3 |
| Utah | Evet | 2 |
| İngiltere | Evet | 50 |
| Kanada | Evet | 30 |

Yurtdışında, RAP kullanarak en ideal kaplama performansı elde etmek için farklı kurumlar farklı RAP oranları önermektedir. Çizelge 10'da da görüldüğü gibi ABD'de sadece 9 eyalet, bağılayıcısız temel ve alttemel tabakalarında RAP kullanılmasına farklı oranlarda izin vermektedir. Bu oranların değişken olması ise plent yapısı kullanılan geri dönüşüm malzemesi ve karışıma eklenen katkı malzemeleri gibi çeşitli etkenlerle farklılık göstermektedir.

Bu eyaletlerin çoğunluğu, RAP malzemesinin ağırlıkça %50 oranında doğal agrega ile karıştırılarak bağlayıcısız temel tabakalarında kullanımına müsaade ederken bu oran %60 oranlarına kadar çıkabilmektedir. Çalışmalar değerlendirildiğinde ve deney sonuçları incelendiğinde %100 RAP malzemesinin tek başına yeterli olmadığı, doğal agrega ve/veya bağlayıcı katkı malzemeleri ile karıştırılması gerektiği açıkça görülmektedir [10].

Dünya genelinde RAP malzemesinin karayollarının çeşitli katman ve oranlarda kullanımıyla ilgili çalışmalar mevcut ve devam ederken, ülkemiz şartnamelerinde RAP malzemesinin kullanım oranları ve diğer özellikleri ile ilgili şartname kriterleri halen mevcut değildir. Türkiye’de RAP kullanımı her ne kadar yapılıyor olsa da yaygın olmadığı görülmektedir. Ülkemizde coğrafi konum özelliğince agreganın kolay temin ediliyor ve ucuz olması, aynı zamanda çevre bilincinin tam anlamıyla gelişmiş olmaması gibi sebeplerden dolayı da RAP uygulamalarında gecikmeler yaşanmaktadır. RAP malzemesinin kullanım oranı; karışımda kullanılan malzeme özelliklerine, karışım türüne ve üretim şekli ve plent tipine göre değişkenlik gösteren bir durumdur. Bu konuyla ilgili İsfalt’ın (İstanbul Asfalt Fabrikaları), karışımlarda kullandığı oranlar türlerine göre; aşınma tabakasında %10, binder tabakasında %15–20, bitümlü temel tabakasında %35’tir.

Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü Ar-ge Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülen projeler ile RAP kullanımında ilerleme kaydedilmeye başlanmıştır. Asfalt Kaplamaların Plentte Geri Kazanımı Projesi kapsamında ülkemizde ilk kez 2007 yılında Akyazı – Adapazarı otoyol inşaatı kapsamında kazılan bitümlü sıcak karışım malzemesi yeniden kullanılmıştır. Yeni yapılacak bitümlü temel ve binder tabakalarının içerisinde plentte ılık besleme yöntemi ile %15 kadar katılarak yeniden değerlendirilmiştir. Tüm bu çalışmalarla; 2010 yılı sonu itibari ile 320.000 Ton kazılan malzeme 7 farklı işte yeniden kullanılmış olup, ekonomik geri kazanım 16 milyon TL olmuştur. Malzeme yeniden kullanıldığından depolama maliyetleri ve çevreye zarar engellenmiştir. Yeniden kullanılan agrega kadar, taş ocağından daha az malzeme elde edilmiş, doğanın tahrip edilmesi engellenmiştir. Diğer kurum ve kuruluşlara uygulama için altyapı hazırlanmış, bilgi ve tecrübe aktarılmıştır.

6. BİTÜMLÜ SICAK ASFALT KARIŞIMLARDA GERİ DÖNÜŞÜM UYGULAMALARININ LABORATUVAR TESTLERİ, SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm Uygulamalarında Yapılan Laboratuvar Testleri ve Uygulamaları

Bitümlü sıcak asfalt karışımlar orta ve ağır trafikli yollarda, trafik yüklerini taşımak ve üstyapıdaki diğer tabakaları, doğa koşullarının olumsuz etkilerinden korumak amacıyla kullanılır.

Bitümlü Sıcak Karışım, sıcak agrega karışımının, ısıtılmış asfalt çimentosu ile homojen olarak karıştırılıp, kaplanması ile elde edilir. Bitümlü karışımlar, sathi kaplamaya göre çok daha pahalıdır. Bu kaplamaların fiziksel özelliklerinin bilinmesi ve belirli koşulları sağlaması gerekir. Bu nedenle karışımların tasarımları hazırlanır ve bu aşamada aşağıda verilen özelliklerine bakılır [16].

- Stabilite
- Durabilite
- Geçirimsizlik
- İşlenebilirlik
- Esneklik
- Yorulmaya Karşı Direnç
- Kaymaya Karşı Direnç

Bu özelliklerin açıklamaları aşağıda verilmektedir.

- **STABİLİTE** : Trafik yüklerine, ötelenme ve tekerlek izleri oluşmayacak şekilde direnç gösterme yeteneğidir. Stabilite trafik yüklerini karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilite, çok sert bir karışım anlamına gelir ki bu tür kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonlara uyamayıp çatlarlar (esneklik azalır). Bu nedenle karışımların belli stabilitede olması gerekir [17].

- **DURABİLİTE** : Karışımdaki asfaltın özelliklerinin değişmesine (oksidasyon, v.s.) agreganın kırılmasına ve asfaltın agrega yüzeyinden soyulmasına karşı gösterdiği dayanım olarak ifade edilir. Bu faktörler iklim, trafik veya her ikisinin birleşimi sonucu ortaya çıkar [18].
- **GEÇİRİMSİZLİK**: Asfalt kaplamanın hava veya su geçişine olan direnci olarak tanımlanır. Geçirimsizlik, karışımdaki hava boşluğu yüzdesi ile belirlenir. Düşük asfalt yüzdesi ve dizayndaki yüksek boşluk tabakayı yüksek geçirimli yapar. Bu nedenle karışımlar belli esnekliği sağlayacak boşluk yüzdesinde dizayn edilir.
- **İŞLENEBİLİRLİK**: Karışımın hazırlanması ve serilmesi ve sıkıştırılması sırasındaki kolaylık olarak ifade edilebilir.
- **ESNEKLİK**: Asfalt kaplamanın, temel, alttemel ve tabanından gelen geçici oturma ve hareketlere karşı, çatlamaya neden olmadan uyum gösterebilmesidir. Bitüm yüzdesi ve gradasyon esnekliği etkileyen faktörlerdir.
- **YORULMAYA KARŞI DİRENÇ** : Asfalt kaplamanın, trafik yüklerinden dolayı oluşan, tekrarlanan eğilmeye (deformasyona) karşı direncidir. Karışımdaki boşluk yüzdesi ve asfaltın viskozitesi yorulmaya karşı direnci üzerinde etkilidir [18].
- **KAYMAYA KARŞI DİRENÇ** : Asfalt kaplamanın, taşıtın, her hava koşulunda, kabul edilebilir bir mesafede durabilmesi için, yeterli sürtünmeye sahip olmasıdır. Yüksek kayma direnci, sert ve pürüzlü agrega kullanılarak ve karışım gradasyonunda orta malzeme miktarını artırarak sağlanabilmektedir. Bitüm yüzdesi fazla ve yoğun gradasyonlu karışımlarda kayma direnci daha düşüktür. [16].

Bitümlü sıcak asfalt kaplamalarda;

- Sağlam bir üst yapı elde etmek için gerekli bitüm miktarını belirlemek,
- Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterli dayanımı oluşturmak,
- Sıkıştırılmış tabakada trafik yükleri altında asfalt ve yol yapısını bozmadan az miktar sıkışmaya izin verecek boşluğu sağlamak,
- Segregasyona uğramadan uygun ve kolay serim sağlayabilecek özelliğe sahip karışım ve agrega gradasyonunun belirlenmesi amacıyla karışım dizaynı yapılmaktadır.

Geri dönüşüm katkılı üretim yapılırken ilk olarak normal geri dönüşüm katkısız asfalt üretilecek şekilde dizayn yapılır. Geri dönüşümde kullanılacak kazınmış asfalt öncelikle üretilecek malzemeye göre elenir.

Binder tabakası üretiminde genel olarak tane boyutu 0-25 mm arası malzeme kullanılmaktadır. Dizayna uygun olarak bir numune hazırlanır. Hazırlanmış olduğumuz bu geri dönüşümsüz malzemeye geri dönüşüm silosundan %5, %10, %15, %20 ve %30 oranlarında geri dönüşüm malzemesi ilave edilerek geri dönüşümlü üretim gerçekleştirilir [19].

Normal asfalt üretiminde yaklaşık olarak tane boyutuna göre 0-5 mm den %37, 5-12 mm den %24, 12-19 mm den %24, 19-25 mm den de %15 oranlarında agrega katılarak toplamda %100 tamamlanmış bir şekilde üretim gerçekleştirilir. Geri dönüşümlü üretim yapılırken agrega yüzde oranlarında oynama yapılmazken geri dönüşüm malzemesi hangi boyuttaki elekten geçirilmişse o elek oranından katılacak geri dönüşüm oranı kadar düşülür. Sonuçta yine %100 agrega miktarına ulaşılmış olur. Agregada miktarında değişim olmaz iken katılan geri dönüşüm malzemesinin özelliğine göre bitüm oranında değişimler yaşanabilmektedir [20].

Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2 de verilen değerler üretim dizaynında kullanılan verileri ve Karayolları Teknik Şartname (KTŞ) sınır verilerini içermektedir. KTŞ' ye göre asfalt üretiminde üretilen asfaltın özelliğine göre bitüm değerinin %3,50 ile %6,50 arasında olması gerekmektedir. Üretimden sonra yapılan deneylerle ilk olarak bu değer kontrol edilir. Geri dönüşüm malzeme katkılı üretimlerde de aynı şekilde % bitüm oranı kontrol edilerek uygunluğu kararlaştırılmaktadır [21].

Çizelge 6.1: Dizayn Verileri Çizelgesi

| Dizayn Verileri | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Bitüm % 4,50 | D _P Özgül Ağırlığı=2,405 |
| (Telorans Limiti= + 0,2) | (Telorans Limiti= ± 0,010) |
| 4,30 - 4,70 | 2,395 - 2,415 |

Çizelge 6.2: Şartname Sınır Değerleri Çizelgesi

| Şartname Sınırları | | |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| | Min. | Max. |
| Marshall stabilite | 750 | - |
| Bitüm (Ağırlıkça 100'e) | 3,5 | 6,5 |
| Sıkışma (%) | 98 | 100 |
| Akma (mm) | 2 | 4 |

Üretilen bitümlü sıcak asfalt karışımın türüne göre değişik oranlar içeren bu karışım dizaynı üretim sonrasında hem üretim anında alınan numuneler ile hem de sahadan alınan karot numuneler ile test edilmektedir. Bu çalışma kapsamında %0, %5, %10, %20 ve %30 oranlarında geri dönüşüm asfalt malzeme karışımli üretilmiş olduğumuz yeni asfaltlar üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler, amaçları ve yapım aşamaları aşağıda verilmiştir [7].

- Marshall Stabilite Deneyi

Deneyin Amacı:

Marshall stabilite deneyi, aynı agrega karışımına farklı oranlarda bağlayıcı karıştırarak maksimum stabiliteyi veren optimum bağlayıcı miktarının saptanması, bitümlü karışımdaki boşluk oranlarının belirlenmesi ve kuru agrega karışımındaki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma oranlarının hesaplanması için yapılan serbest basınç deneyidir [21].

Deneyin Yapılışı:

Yaklaşık 1200 gram ağırlığında ayrı ayrı 3 numune tartılıp etüve yerleştirilir. Briketlerin hazırlanacağı Marshall kalıpları da numuneye birlikte etüve konularak ısınması sağlanır. Etüv sıcaklığı kullanılan asfalt numunesine göre değişkenlik gösterir, arazi şartları göz önüne alınarak laboratuvar ortamında briketler düşük sıcaklıkta hazırlanır. Buradaki amaç düşük sıcaklıkta numunenin ne kadar sıkıştığını tespit etmektir. Etüvün sıcaklığı ayarlandıktan sonra numunenin istenilen sıcaklığa ulaşması için minimum 2 saat beklenir.



Şekil 6.1: Kurutma ve Isıtma İşlemlerinin Yapıldığı Etüv

Etüve konulan asfalt numunesinin sıcaklığı lazer ölçümünde istenilen sıcaklığa geldikten sonra deney için numune hazırlama işlemine başlanır. Etüv içine yerleştirdiğimiz Marshall kalıpları çıkarıp mazotlu bezle içi iyice silinir. Kalıplar hazırladıktan sonra kalıbın altına uygun olarak kesilen kâğıt kalıbın dibine yerleştirilir.

Asfalt numunesinin sıcaklığı kalıba dökülmeden önce tekrar kontrol edilir ve istenilen seviyede kalıbın içine dökülür. Kalıba dökülen numunenin boşluklarının yok edilmesi için spatül yardımı ile birkaç kez şişlenerek numunenin kalıbın içine iyice yerleşmesi sağlanır. Kalıba uygun kesilen kağıt numunenin üstüne kapatılıp sıkıştırma (dövme) işlemi için makineye yerleştirilir. Makine 75 darbeye önceden ayarlanır. Vakit kaybetmeden dövme işlemine başlanır. 75 darbenin sonunda makine kendiliğinden durur. Marshall kalıbının alt kısmı ters çevrilip diğer tarafının da 75 darbe ile sıkıştırılması sağlanır. Kalıbın iki tarafı da dövüldükten sonra briket hazırlama işlemi sonlanır. Üzerindeki kâğıtlar çıkarılıp soğumaya bırakılır. Diğer briketler içinde aynı işlem uygulanır. Hazırlanan briketler bir gün soğumaya bırakılır diğer gün kalıptan çıkarılıp analizine başlanır.



Şekil 6.2: Marshall Deneyinde Kullanılan Sıkıştırma Makinası

Bir gün bekleyen briketler kalıplardan çıkarılır. Kalıptan ıkarılan briket numunesi tek tek tel fırça ile fıralanıp temizlenir. Temizlendikten sonra dövme sırasına göre numaralandırılır. Numara verme işlemi bittikten sonra briket numunesinin 3 farklı yerinden kumpas ile kalınlığı llr.

Bulunan değerlerin ortalaması hazırlanan briketin kalınlığını vermektedir. Kalınlıkları llen briketlerin ayrı ayrı havadaki ağırlıkları llr. Havadaki ağırlıkları lldkten sonra sudaki ağırlıkları llr. Sudaki ağırlıkları lldkten sonra briketler kuru bez ile iyice kurulanıp doygun yüzeyin kuru ağırlığı tartılır. Su banyosunun sıcaklığını 60°C ayarlanıp lm tamamlanan briketler 60°C ayarlı su banyosuna üstü su ile kaplı olacak şekilde yerleştirilir.



şekil 6.3: Su Banyosu Makinası

Briketler 60°C suyun içinde 40 dakika bekletildikten sonra akma ve stabilite değerleri cihazda okunmak üzere bezle kurutulup cihaza yerleştirilir. Cihaz numuneyi sıkıştırıp bize akma ve stabilite değerlerini gsterir. Bu işlem diğer numuneler içinde yapılarak değerler kaydedilir ve deney tamamlanmış olur.



Şekil 6.4: Hazırlanan Numuneler ve Akma Deneyi Aleti

- Ekstraksiyon (Soksilet) Deneyi

Deneyin Amacı:

Asfalt numunesindeki (bitümlü temel-bioder- aşınma) içindeki bitüm miktarını bulmak, içindeki agregaların hangi oranda karıştığını tespit etmektir.

Deneyin Yapılışı:

Alınan asfalt numunesi bölgeç ile bölünüp analiz edilecek miktara kadar ayrılır. Filtre kâğıdı katlanıp çanağın içine yerleştirilip tartılır. Çanak + Filtre kâğıdını tartıldıktan sonra ayrılan bitümlü malzeme filtre kâğıdının içine konularak tekrar tartılır ve sonuçlar not edilir. Çanak içindeki asfalt numunesi ekstraksiyon cihazına yerleştirilip geri soğutucu altında yağmurlama mantığı ile ekstre edilir. Bu işlem yaklaşık 3-4 saat sürmektedir. Ekstre etme işlemi bittiğinde bitümü ayrılmış numune ekstraksiyon cihazından çıkarılıp kuruması için etüve yerleştirilir. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra kuruyan malzeme etüvden çıkarılıp soğutulur. Soğuyan malzemeyi tekrar çanak içerisine konularak tartılır ve çıkan sonuç not edilir.

Tartma işlemi bittikten sonra çanaktaki malzeme sabun ile yıkanır ve tekrar etüvde kurutulur. Kurutulan malzeme etüvden çıkarılıp soğutulur ve tekrar tartılır. Tartma işlemleri sonunda bitümlü ve bitümsüz tartım sonuçları birbirinden çıkarılarak malzemedeki bitüm miktarı bulunur ve deney tamamlanmış olur.



Şekil 6.5: Ekstraksiyon Cihazı ve Çanak İçerisinde Deney Sonucu Malzeme

- Elek Analizi Deneyi


Deneyin Amacı:

Elek analizi deneyi ekstraksiyon deneyi sonucunda yıkanıp kurutulmuş malzemeler ile asfalt numunesindeki agregaların karışım oranı bulmak için yapılır.

Deneyin Yapılışı:

Kullanılacak elekler tepsinin içine Şekil 6.6 da verildiği sıradaki şekilde üst üste yerleştirilir. Kuru malzeme sıralanan eleklerin en geniş aralıklısının üstüne dökülerek elekler sallanır ve numunenin dane çapına göre elenmesi sağlanır. Bu işlem her elek için üzerinde kalan malzeme ile tekrarlanır ve hepsinin eleme sonucu üzerinde kalan son malzeme tartılır.

| İnç | Mm |
|--------|----------|
| 1" | 25 mm |
| 3/4" | 19 mm |
| 1/2" | 12,5 mm |
| 3/8" | 9,5 mm |
| No:4 | 4,75 mm |
| No:10 | 2 mm |
| No:40 | 0,425 mm |
| No:80 | 0,180 mm |
| No:200 | 0,075 mm |
| Tepsi | |



Şekil 6.6: Elek Analizi Deneyi Elek Numaraları ve Elekler

Tüm tartım işlemleri tamamlandıktan sonra kaydedilen sonuçlar gradasyon grafiğinde işaretlenerek yüzde geçen eğrisi çizilir ve malzemenin karışım oranlarının uygunluğu tespit edilmiş olur.

- Karot Deneyi

Deneyin Amacı:

Yola serilen asfalttan alınan numunelere karot denilmektedir. Karot Deneyinin yapılmasındaki amaç serilen asfaltın kalınlığı, sıkışmasını ve boşluğunu bulmaktır.

Deneyin Yapılışı:

Karot makinesi ile numune kesilir. Karot numunesini kesmeden hangi kilometreden alındığı not edilir. Kilometre belirlendikten sonra yolun neresinden alınacaksa orası belirlenip not edilir. Aynı kilometre aynı şeritten iki tane numune kesilir. Karot numunesi her 200 metrede bir alınır ve numaralandırılır. Numuneler temizlenir ve kuruması için bekletilir.

Kuruyan karot numuneleri tel fırça yardımı ile fırçalanıp kalıntıların temizlenmesi sağlanır. Temizlenen karotlar verilen numaralara göre sıraya dizilir ve analize başlanır. Karot numunelerinin üç farklı yerinden kumpas ile kalınlıkları ölçülür. Üç farklı yerinden ölçülen kalınlıkların ortalaması alınıp karotun kalınlığı bulunur ve bu işlem her numune için tekrarlanır. Kalınlık ölçme işlemi bittikten sonra Karot numunesinin havadaki tartımı yapılarak not edilir. Havadaki tartım (normal tartım) bittikten sonra numune suda tartılıp not edilir. Sudaki tartım bittikten sonra numune iyice kurularak doygun yüzey ağırlığı ölçülür. Her karot için tek tek aynı işlemleri uygulanıp değerler not edilir ve deney analizi sonlanır.



Şekil 6.7: Karot Numuneleri

- Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426, ASTM D5)

Deneyin Amacı:

Standart bir iğnenin belirli bir yük altında (100 g), belirli bir süre içerisinde (5 sn) ve 25°C sıcaklıktaki bitüm numunesi içerisinde dikey olarak batma mesafesinin ölçülmesidir [22].

Deneyin Yapılışı:

Bir numune alma vanası ya da musluğu ile boşaltma borusundan ve bitümün yaklaşık 3'de 1'ini oluşturacak kısmın boşaltılması esnasında bitüm numunesi alınabilir. Tankın üstten yaklaşık olarak üçte birine veya ortasına kadar daldırılacak bir numune alma düzeneği kullanılmalıdır. Bu metotta bitümün yüzeyindeki tabakalaşmış kısmın alınmamasına dikkat edilmelidir. Numune almadan önce bitüm karıştırılmalıdır. Mümkünse karıştırıcı tanklardan numune alınmalıdır [23].



Şekil 6.8: Penetrasyon Deneyi Numunesi ve Cihazı

Numune etüvde aşırı ısınmaya neden olmadan kolayca dökülebileceği sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklık hiçbir zaman yumuşama noktası sıcaklığından 90°C fazla olmamalıdır. Etüvden çıkarılan numune hava kabarcıkları kaybolup, homojen oluncaya kadar karıştırılır. Penetrasyon kabının kenarlarına hafifçe vurularak ve numune yüzeyinde alev gezdirerek numunenin havasının alınması sağlanır. Hava kabarcıklarının kaybolduğu noktaya kadar bu işlem yapılır. Tozdan korumak için üzeri kapatılan numune kabı oda sıcaklığında 1-1,5 saat bekletilerek soğutulur. Daha sonra 1-1,5 saat süreyle 25°C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir.

Su banyosundan alınan numune kabı, penetrasyon cihazına yerleştirilmiş ve içerisinde 25°C sıcaklıkta su bulunan taşıma kabına deney esnasında hareket etmeyecek şekilde koyulur. Penetrasyon iğnesi, düzenek yardımıyla penetrasyon numunesinin yüzeyine değecek şekilde, iğne ucunun su içindeki görüntüsü ile birleştiği ana kadar indirilir. Bu noktada iğne serbest düşme yapacak şekilde bırakılır. İğnenin 5 sn süre sonunda numuneye batma miktarı yani penetrasyon değeri göstergeden okunur.

Penetrasyon birimi santimetrenin yüzde biridir. Aletin göstergesindeki her bir bölüm 0,1 mm' yi gösterir. Deney sonunda okunan değer eğer 100 ise, iğne asfaltın içerisine 1 cm batmış anlamına gelmektedir. Yani bitümün penetrasyonu 100 demektir.

Okunan değer = 100

Dial Birimi = 0,1 mm

Okunan Değer x Dial Birimi, mm = İğnenin Batma Miktarı, mm

Çizelge 6.3: Penetrasyon Deney Okuma Tablosu [22]

| PENETRASYON - 25°C (GOST 11501-78) | | | | | | Standart Gereklere |
|---|------|------|------|------|------|--------------------|
| Deney No | 1 | | | 2 | | |
| Penetrasyon Değerleri (25°C, 100 gr, 5 sn) | 60,0 | 60,0 | 62,0 | 60,0 | 60,0 | 61,0 |
| | 60,0 | 60,0 | 61,0 | 61,0 | 60,0 | 60,0 |
| Ortalamalar, mm | 60,5 | | | 60,3 | | 45-70 |
| Penetrasyon Değeri, mm | 60,4 | | | | | |

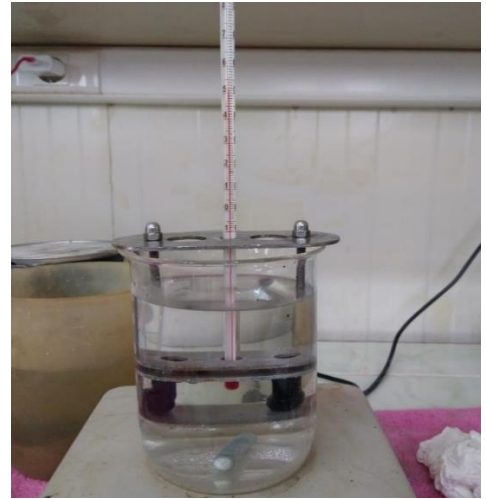
- Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427,ASTM D36)

Deneyin Amacı:

Su banyosu içerisine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilya bulunan standart bir yüzük içerisindeki bitümün, suyun belirli bir hızla (5°C/dk) ısıtılması sonucu yumuşayarak tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklık, o bitümün yumuşama nokta olarak kabul edilir. Bitümlerin sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılıkları bu şekilde belirlenebilmektedir. Bu deneyin amacı da bitümün yumuşama noktasının bulunmasını sağlamaktır [24].

Deneyin Yapılışı

Numune etüvde aşırı ısınmaya neden olmadan kolayca dökülebileceği sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklık hiçbir zaman yumuşama noktası sıcaklığından 90° fazla olmamalıdır. Etüvden çıkarılan numune hava kabarcıkları kaybolup, homojen hale gelinceye kadar karıştırılır. Düzgün bir yüzey üzerine az miktar sabun yayıldıktan sonra halkalar bu yüzeye koyulur. Sabunun kalıbın iç kesimlerine temas etmesi önlenir. Bitüm, kalıp kenarlarından taşırılmadan ve kalıp üst seviyesini aşacak şekilde içine dökülür. Yaklaşık 1 saat süreyle soğutulmaya bırakıldıktan sonra halka üzerindeki fazlalık bitüm ucu ısıtılmış spatula ile sıyrılır [24-25].



Şekil 6.9:Yumuşama Noktası Deney Numunesi ve Cihazı

İçerisinde 5°C sıcaklıkta su bulunan behere halkalar yerleştirilir. Suyun sıcaklığı 15 dakika boyunca 5°C olacak şekilde sabit tutulur. Sonrasınca bilya halka üzerine yerleştirilir ve suyun sıcaklığı ilk 3 dakikadan sonra dakikada 5°C yükselecek şekilde ısıtılır. Sıcaklığın artmaya başlaması ile yumuşayan bitüm bilyanın da ağırlığı ile yavaşça aşağıya doğru hareketlenmeye başlar ve banyonun tabanına değdiği andaki sıcaklık yumuşama noktası olarak belirlenir. Yumuşama noktası 80°C’ den yüksek olan bitümlere deney uygulanacaksa, deneyde su yerine saf gliserin kullanılmalı ve deney başlangıç sıcaklığı 32°C olmalıdır.

Çizelge 6.4: Yumuşama Noktası Deney Okuma Tablosu [25]

| YUMUŞAMA NOKTASI (GOST 11506-73) | | | | Standart Gereklere |
|--|-------------|------|---|--------------------|
| Deney No | 1 | 2 | 3 | |
| Yumuşama Noktası Sıcaklığı, °C | 48,0 | 47,0 | - | 47-53 |
| Yumuşama Noktası Sıcaklığı Ortalaması, °C | 47,5 | | | |

Herhangi bir hesaplama yapılmamaktadır. Aynı bitüm numunesine ait her bir deney numunesinin analizi sonucunda, termometreden okunan sıcaklık değerlerinin “°C” cinsinden ortalaması alınarak yumuşama noktası değeri bulunur.

Yumuşama noktası 80°C den yüksek olan bitümlerin yumuşama noktası tayininde normalde kullanılan saf su yerine gliserin kullanılmalıdır. Deney başlangıç noktası 32°C olmalıdır. Aynı bitüm cinsine ait iki numune üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarının ortalama değerlerinin alınmasıyla bitümün penetrasyon değeri belirlenmiş olur.

- Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087)

Deneyin Amacı:

Bitümlü malzemenin özgül ağırlığı 25 °C sıcaklıktaki, hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır. Özgül ağırlık tayini için bitümlü maddelerin karakterlerine göre çeşitli yöntemler kullanılır. Genellikle piknometre yöntemi ile özgül ağırlık belirlenir [16].

Deneyin Yapılışı:

Hidrometre Yöntemi: Çok akıcı bitümler için kullanılır. Bunun için yeterli miktarda numune bir teneke kaba boşaltılarak yerine göre, içine soğuk veya ılık su bulunan bir banyoya oturtulur. Teneke kap içindeki madde sıcaklığı 25 °C a gelinceye kadar karıştırılır, sonra derhal hidrometre silindirine boşaltılarak uygun bir hidrometre yardımı ile özgül ağırlığı tayin edilir.

Eğer sıvının viskozitesinden dolayı hidrometrenin batışı çok yavaş ise gerektiği kadar beklenerek kararlı bir noktaya kadar batması sağlanır. Kararlı noktaya karşılık olan bölge okunduktan sonra hidrometre 3-4 bölme kadar içeriye itilip derhal kendiliğinden yükselip yükselmediği gözlenir. Eğer yükselmiyorsa maddenin yüksek viskoziteli oluşundan dolayı hidrometre yönteminin uygulanamayacağı anlaşılır. Bu durumda piknometre yöntemi kullanılmaktadır. Yukarıda anlatılan yöntemde hidrometre üzerinde okunan değer 15°C daki suyun özgül ağırlığının birim kabul edilmesine dayanır. Pratikte 25 °C daki özgül ağırlık istenir. Bunun için bulunan değer 1,002 ile çarpılması gerekir.

$$\text{Özgül ağırlık } 25/25 \text{ } ^\circ\text{C} = \text{Özgül ağırlık } 25/15 \text{ } ^\circ\text{C} * 1,002$$

Piknometre Yöntemi: Yüksek viskoziteli sıvı ve yarı-katı bitümlü maddeler ve asfalt emülsiyonları için kullanılır. Özgül ağırlık tayini bir piknometre ile yapılır. Piknometrenin ağzı cam bir kapağın iyice oturacağı şekilde tıraşlanmıştır. Cam kapağın içinde 1-2 mm çapında kılcal bir çıkış borusu vardır. Hava kabarcıklarının çıkabilmesini sağlamak üzere kapağın alt yüzü iç bükeydir [22].

Özgöl ağırlık tayininden önce piknometre temizlenip kurutulur ve kapağı ile birlikte, 1 mg'a duyarlı terazide tartılır. Sonra piknometre saf su ile doldurulur. Kapağı sıkıca kapatılır. 25 °C lık su banyosunda en az 40 dakika bekletilir. Bu süre sonunda banyodan çıkartılır. Kabın dışı temiz ve kuru bir bezle veya süzgeç kağıdı ile silinerek iyice kurutulduktan sonra tartılır. Yol inşaatında kullanılan çok akıcı yağ ve katranların özgül ağırlığını tayin etmek için numune 25 °C a getirilir ve piknometreye ağzına kadar doldurulur. Bu esnada piknometre içine hava kabarcıklarının girmemesine dikkat edilmelidir. Kapak sıkıca yerine getirilerek sıvının fazlası kapak üzerindeki delikten dışarı taşırılır ve taşan kısım temiz, kuru bir bezle dikkatle silinerek temizlenir, tartılır.

Özgöl ağırlık tayinine uygun olmayan yüksek viskoziteli katran ve asfaltlardan küçük bir miktar alınarak dikkatle, ağır ağır ısıtılarak akıcı hale getirilir. Bu sırada maddenin her hangi bir buharlaşma kaybına uğramamasına dikkat edilmelidir. Böylece yeterli bir akıcılık sağlanınca piknometre yaklaşık yarısına kadar numune ile doldurulur. Numune piknometre içine dökülürken kabın üst kısımlarına bulaşmamasına ve hava kabarcıklarının numune içinde kalmamasına dikkat edilmelidir.

Piknometre doldurulmadan önce hafifçe ısıtılır. Sonra oda sıcaklığına kadar soğutulur. Kapağı ile beraber tartılır. Bulunan ağırlık (c) olsun teraziden alınan piknometrenin geri kalan kısmı soğuk su ile doldurulur. Ve kapağı sıkıca kapatılarak 25°C su banyosuna batırılır. En az 40 dk sonra piknometre sudan çıkartılır, dışındaki su temiz bir bez ile silinir ve cabucak tartılır bu ağırlıkta (d) olsun. Numunenin özgül ağırlığı $\text{Özgöl ağırlık} = \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)a}$ şeklinde hesaplanır [24-26].



Şekil 6.10: Özgül Ağırlık Deneyi Numune Tartımı

Anlatılmış olan tüm deneyler bu çalışma kapsamında yapılmış olup çizelgeler ile sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçların Karayolları Teknik Şartnamesine uygunluğu ise çizelgelerin altında açıklanmıştır.

- Elementel Analiz Deneyi

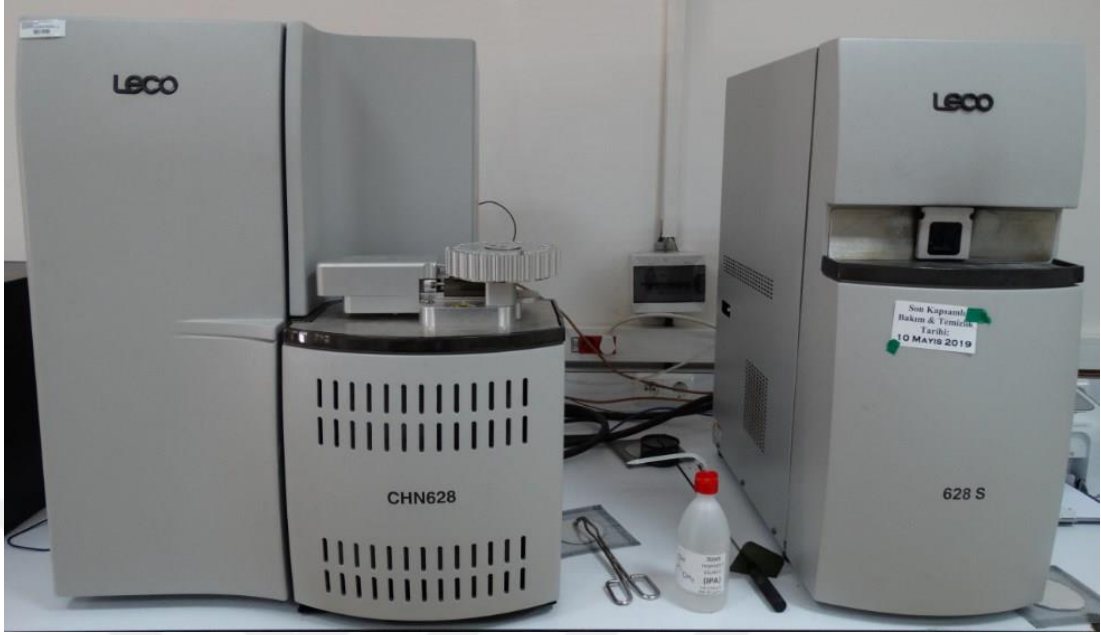
Deneyin Amacı:

Elementel analiz yüksek sıcaklıkta (1000-1100°C) yakma yolu ile numune içindeki karbon, hidrojen, nitrojen ve kükürt elementlerinin yüzdelerinin tayin edilmesidir.

Deneyin Yapılışı:

Elementel analiz deneyi için hazırlanmış numuneler deney cihazına yerleştirilir. Fırın sıcaklığı ve çalışma süresi ayarlandıktan sonra cihaz çalışmaya başlatılır.

Bu deney Kimya Endüstrisi, Gıda Endüstrisi, Polimer Endüstrisi, İlaç Endüstrisi, Petrokimya Endüstrisi, Kalite kontrol ve AR-GE, Kozmetik Endüstrisi, Çevre Laboratuvarları vb. gibi kullanım alanına sahiptir. Elementel Analiz Deneyi ile kömür, sıvı yakıtlar, gıda(azot -protein tayini), çevre analizleri (toprak,çamur ,atık) vb. numunelerin analizleri de yapılabilmektedir.



Şekil 6.11: Elementel Analiz Deneyi Cihazı

Şekil 6.11’ de Elementel Analiz Deneyi cihazı verilmiştir. Cihazın otomatik örnekleme kapasitesi: 30 numune ve analiz süreleri karbon, nitrojen ve hidrojen için için en fazla 4.5 dk’ dır.

6.2. Geri Dönüşüm Malzemesine ve Karışıklı Asfalrlara Uygulanan Deneyler ve Sonuçları

Çalışma kapsamında karışıklı malzemede kullanılacak olan geri dönüşüm malzemesinden birikteler oluşturularak Marshall Stabilitate Deneyi yapılmıştır. Aynı malzemedeki numuneler alınarak ekstraksiyon deneyi yapılmış ve elde edilen bitüme penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler saf bitüme de uygulanmış ve sonuçları yaşlanmış bitüm ile karşılaştırılmıştır. Numunenin içeriğindeki agrega gradasyonunun incelenmesi amacıyla elek analizi deneyi yapılmış ve incelenmiştir.

Tüm yapılan bu deneylerin sonuçları tablolar halinde hazırlanmış ve çalışmaya eklenmiştir. Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’da penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları ve karşılaştırmaları verilmiştir.

Çizelge 6.5: Yaşlanmış Bitüm ve Saf Bitüm Penetrasyon Deneyi Sonuçları

| PENETRASYON - 25°C (GOST 11501-78) | | | | | | | Standart Gereklere |
|---|-----------------|------|------|--------------|------|------|--------------------|
| Numune Adı | Yaşlanmış Bitüm | | | Saf Bitüm | | | |
| Penetrasyon Değerleri (25°C, 100 gr, 5 sn) | 32,2 | 35,2 | 34,4 | 55,0 | 54,0 | 56,0 | 45-70 |
| Ortalamalar, mm | 33,93 | | | 55,00 | | | |
| Penetrasyon Değeri, mm | 33,93 | | | 55,00 | | | |

Çizelge 6.5’ de görüldüğü üzere geri dönüşüm malzemesinden elde edilmiş olan yaşlanmış bitüm ve saf bitüme penetrasyon deneyi uygulandığında yaşlanmış bitümün standart gereklere dışında kaldığı anlaşılmaktadır.

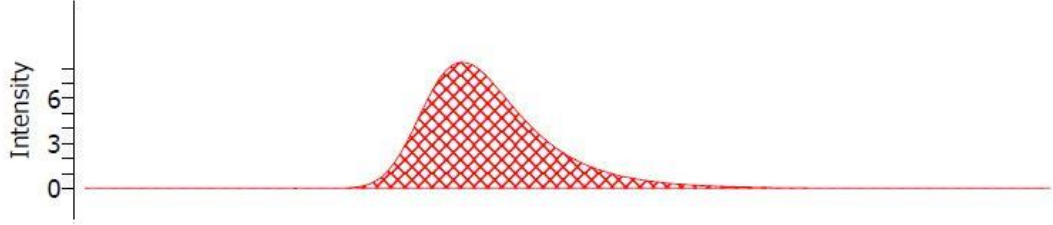
Çizelge 6.6: Yaşlanmış Bitüm ve Saf Bitüm Yumuşama Noktası Deneyi Sonuçları

| YUMUŞAMA NOKTASI (GOST 11506-73) | | | | | | | Standart Gereklere |
|--|-----------------|----|----|-----------|----|----|--------------------|
| Numune Adı | Yaşlanmış Bitüm | | | Saf Bitüm | | | |
| Yumuşama Noktası Sıcaklığı, °C | 55 | 56 | 54 | 48 | 47 | 49 | 47-53 |
| Yumuşama Noktası Sıcaklığı Ortalaması, °C | 55 | | | 48 | | | |

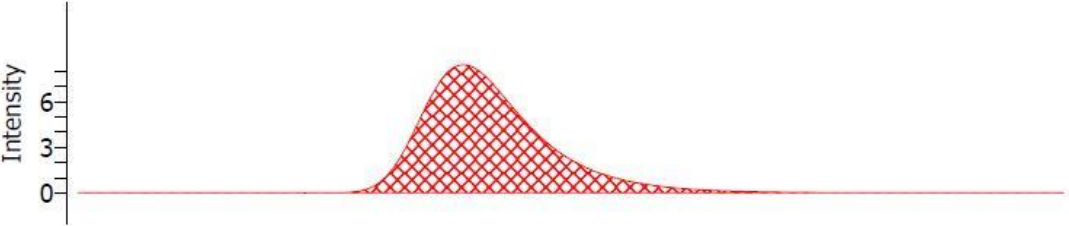
Çizelge 6.6’ da görüldüğü gibi yaşlanmış bitüme ve saf bitüme yumuşama noktası deneyi uygulandığında yaşlanmış bitümün standart gereklere aştığı görülmektedir.

Aynı bitümlere Elementel Analiz deneyi yapılmış ve içeriğindeki nitrojen, karbon, hidrojen ve kükürt değerlerine bakılmıştır. Elementel analiz deneyi her iki numune içinde farklı kütlelerde üç kez tekrarlanmış ve sonuçları kaydedilmiştir.

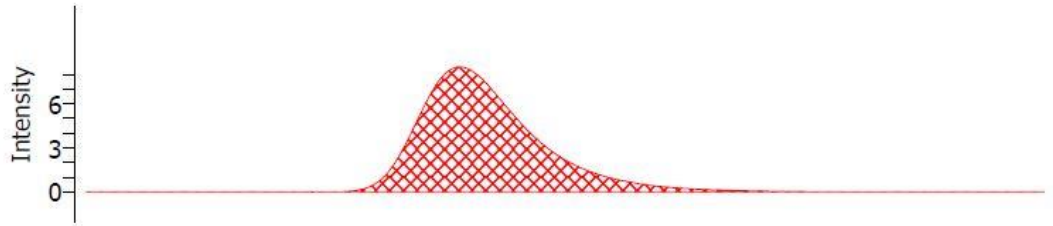
1.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Nitrojen % 0.47064



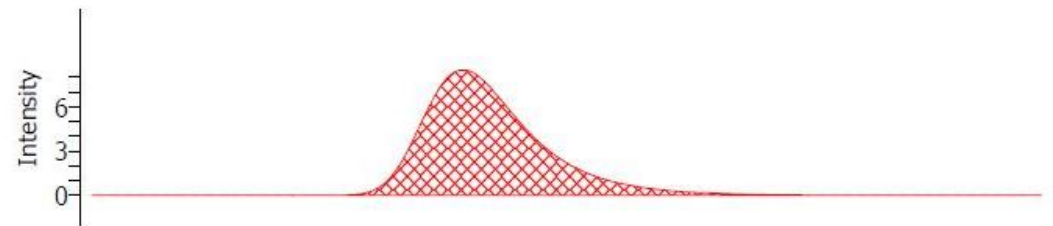
1.Deney Sonucu Saf Bitüm Nitrojen % 0.42121



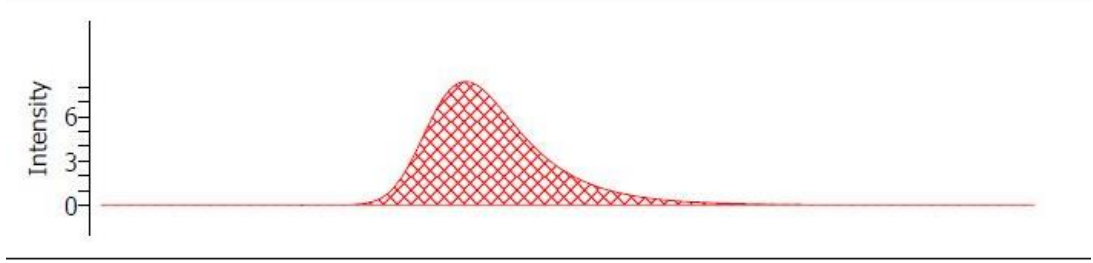
2.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Nitrojen % 0.50500



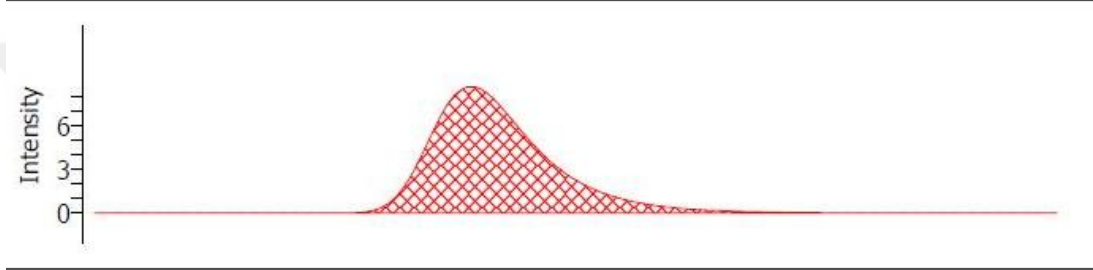
2.Deney Sonucu Saf Bitüm Nitrojen % 0.41757



3.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Nitrojen % 0.46623



3.Deney Sonucu Saf Bitüm Nitrojen % 0.41587

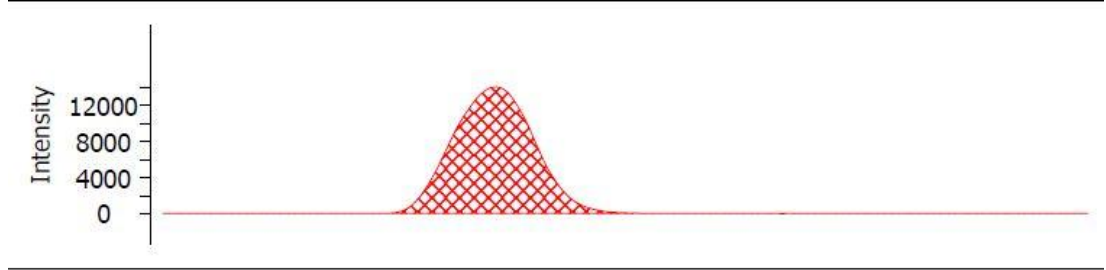


Çizelge 6.7: Elementel Analiz Deneyi Nitrojen Değerleri

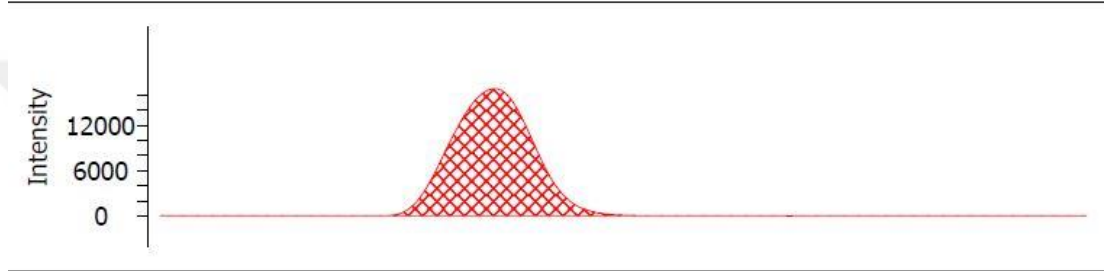
| Nitrojen | Yaşlanmış Bitüm | Saf Bitüm |
|-----------------|-----------------|----------------|
| 1.Deney | 0,47064 | 0,42121 |
| 2.Deney | 0,50500 | 0,41757 |
| 3.Deney | 0,46623 | 0,41587 |
| Ortalama | 0,48062 | 0,41821 |

Çizelge 6.7' de yaşlanmış ve saf bitüme uygulanan elementel analiz deneyindeki nitrojen değerleri görülmektedir. Tüm değerler ve ortalama değerler karşılaştırıldığında yaşlanmış bitümde saf bitüme oranla nitrojen miktarının arttığı görülmektedir.

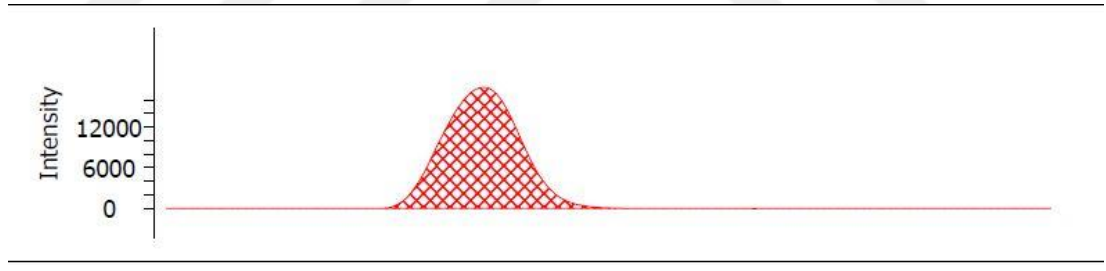
1.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Karbon % 76,997



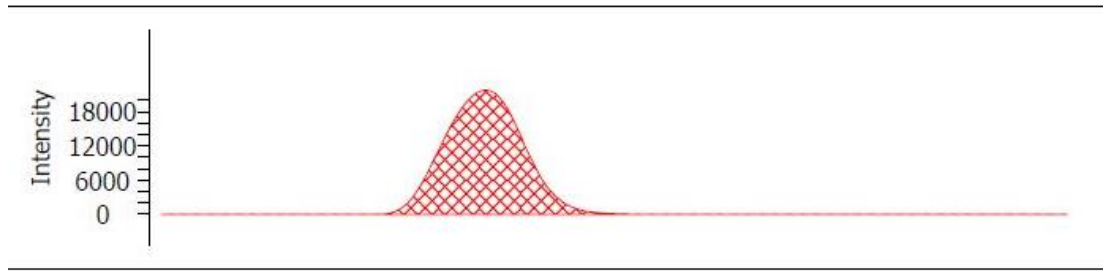
1.Deney Sonucu Saf Bitüm Karbon % 0.83783



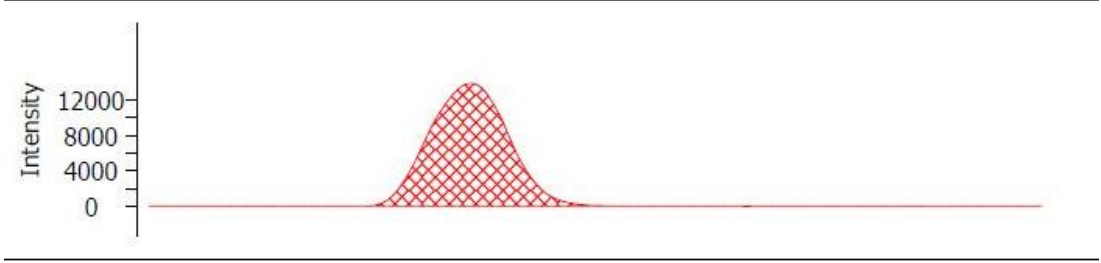
2.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Karbon % 77,639



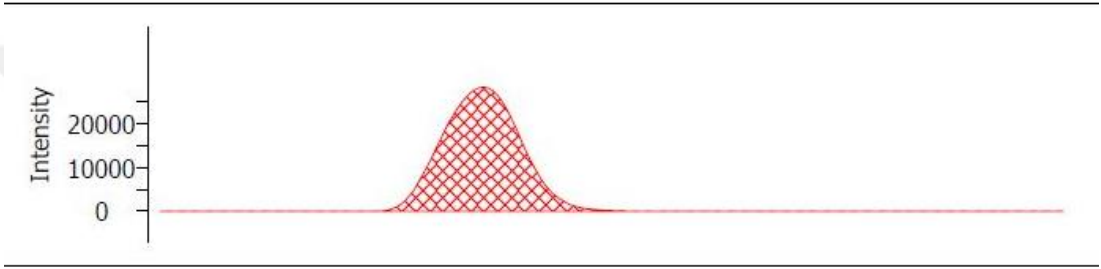
2.Deney Sonucu Saf Bitüm Karbon % 0.41757



3.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Karbon % 78,035



3.Deney Sonucu Saf Bitüm Karbon % 0.41587

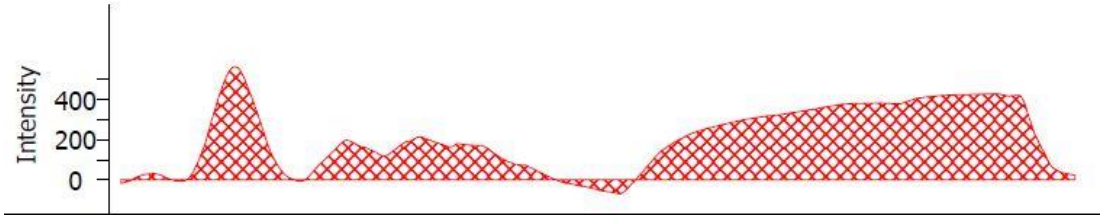


Çizelge 6.8: Elementel Analiz Deneyi Karbon Değerleri

| Karbon | Yaşlanmış Bitüm | Saf Bitüm |
|-----------------|------------------------|------------------|
| 1.Deney | 76,997 | 83,783 |
| 2.Deney | 77,639 | 83,496 |
| 3.Deney | 78,035 | 83,585 |
| Ortalama | 77,557 | 83,621 |

Çizelge 6.8' de yaşlanmış ve saf bitüme uygulanan elementel analiz deneyindeki karbon değerleri görülmektedir. Tüm değerler ve ortalama değerler karşılaştırıldığında yaşlanmış bitümde saf bitüme oranla karbon miktarının azaldığı görülmektedir.

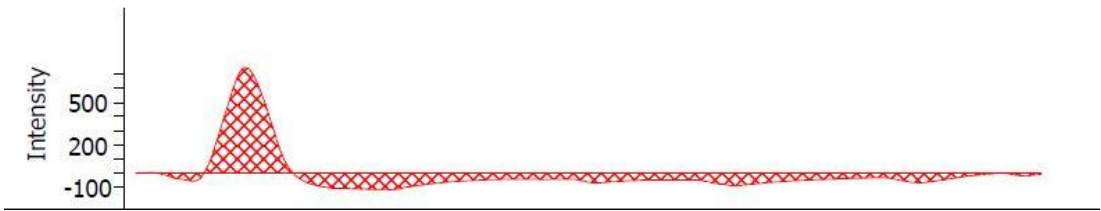
1.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Hidrojen % 45,284



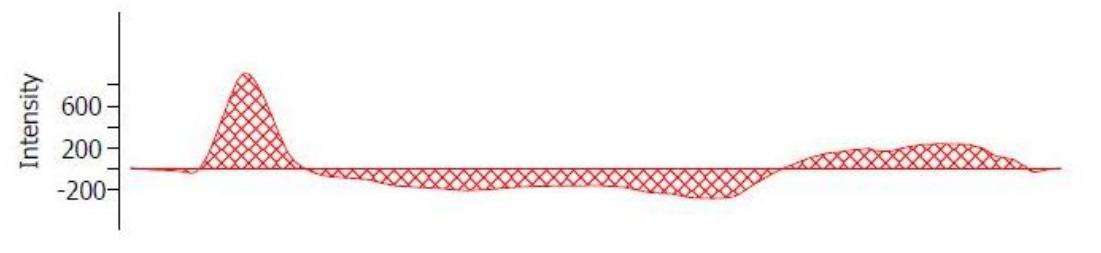
1.Deney Sonucu Saf Bitüm Hidrojen % -1,9839



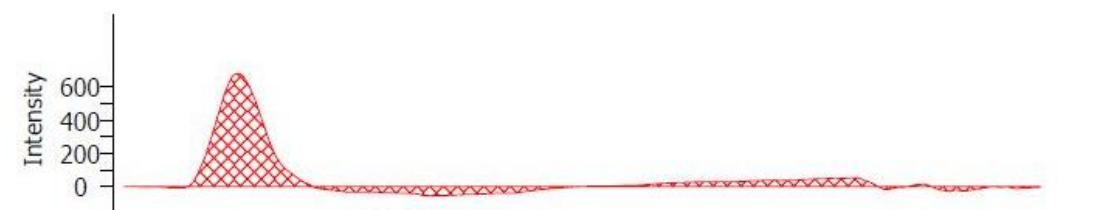
2.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Hidrojen % 6,3296



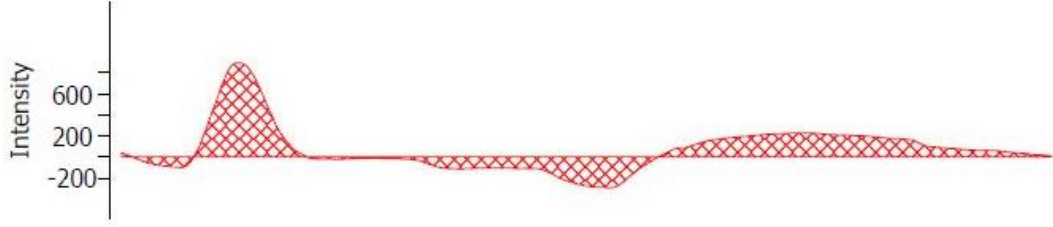
2.Deney Sonucu Saf Bitüm Hidrojen % 7,2836



3.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Hidrojen % 16,850



3.Deney Sonucu Saf Bitüm Hidrojen % 11,698



Çizelge 6.9: Elementel Analiz Deneyi Hidrojen Değerleri

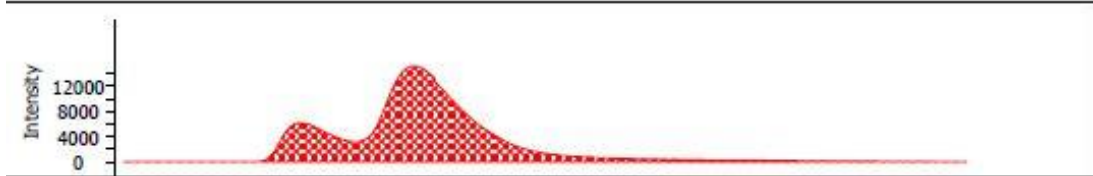
| Hidrojen | Yaşlanmış Bitüm | Saf Bitüm |
|-----------------|------------------------|------------------|
| 1.Deney | 45,284 | -1,9839 |
| 2.Deney | 6,3296 | 7,2836 |
| 3.Deney | 16,850 | 11,698 |
| Ortalama | 22,821 | 5,666 |

Çizelge 6.9’ da yaşlanmış ve saf bitüme uygulanan elementel analiz deneyindeki hidrojen değerleri görülmektedir. Tüm değerler ve ortalama değerler karşılaştırıldığında yaşlanmış bitümde saf bitüme oranla hidrojen miktarının arttığı görülmektedir.

1.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Kükürt % 5,60



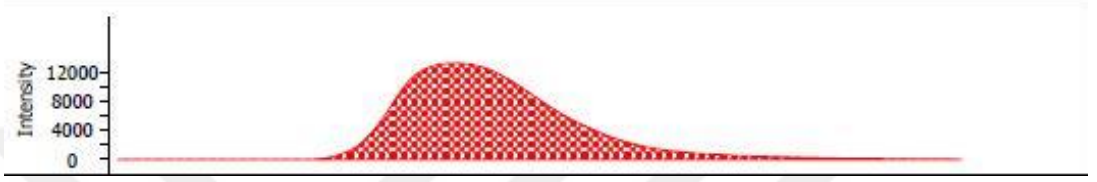
1.Deney Sonucu Saf Bitüm Kükürt % 12,70



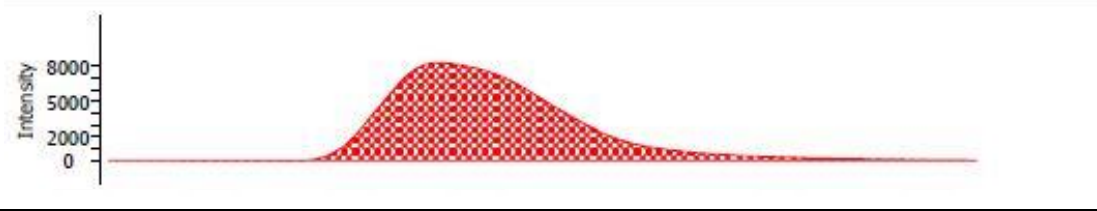
2.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Kükürt % 7,66



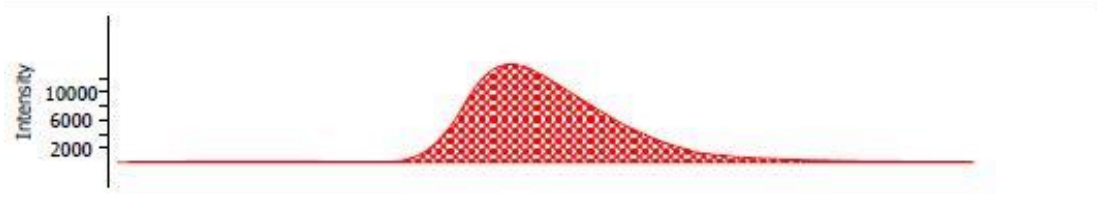
2.Deney Sonucu Saf Bitüm Kükürt % 12,30



3.Deney Sonucu Yaşlanmış Bitüm Kükürt % 8,68



3.Deney Sonucu Saf Bitüm Kükürt % 13,00



Çizelge 6.10: Elementel Analiz Deneyi Kükürt Değerleri

| Kükürt | Yaşlanmış Bitüm | Saf Bitüm |
|-----------------|------------------------|------------------|
| 1.Deney | 5,60 | 12,70 |
| 2.Deney | 7,66 | 12,30 |
| 3.Deney | 8,68 | 13,00 |
| Ortalama | 7,31 | 12,66 |

Çizelge 6.11: Geri Dönüşüm Malzemesi Marshall Deney Sonuçları

| MARSHAL STABİLİTE DENEYİ GERİ DÖNÜŞÜM MALZEMESİ BRİKETLERİ | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Biriket No | Biriket Yüksekliği | Havadaki Ağırlık (gr) | Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) C | Hacim (cm ³) V | Hac. Özg. Ağırlık D _p | Teo. Özg. Ağırlık Dt | Akma (mm) | Stabilite (kg) | Düzeltilme Faktörü | Düzeltilmiş Stabilite |
| 1 | 62,4 | 1200,0 | 1205,0 | 714,5 | 490,5 | 2,446 | 2,513 | 2,50 | 1648 | 1,03 | 1694 |
| 2 | 62,8 | 1208,0 | 1210,5 | 717,5 | 493,0 | 2,450 | 2,513 | 2,90 | 1541 | 1,02 | 1569 |
| 3 | 62,7 | 1193,5 | 1197,0 | 710,0 | 487,0 | 2,451 | 2,513 | 4,20 | 1569 | 1,02 | 1600 |
| Ortalama | | | | | | | | 3,200 | | | 1621,1 |

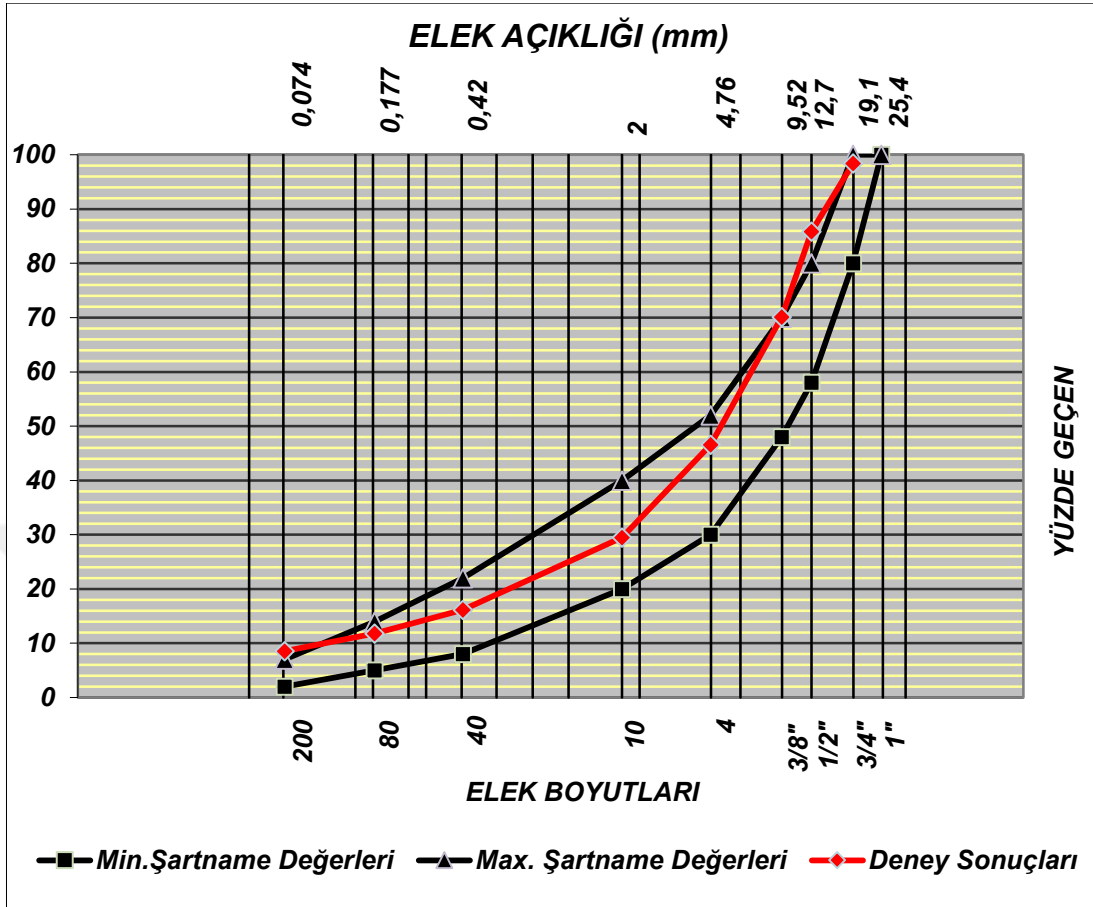
Çizelge 6.12: Geri Dönüşüm Malzemesi Soksilet Deney Sonuçları

| SOKSİLET DENEYİ | |
|--------------------------------|--------|
| Kaplama türü | BİNDER |
| Numune+Filtre | 2006,1 |
| Filtre Kağıdı (gr.) | 19,4 |
| Bitümlü Numune (gr) | 1986,7 |
| Bit. Al.Num.+Filt. | 1926,0 |
| Bittümü Alınmış Numune (mıdır) | 1906,6 |
| Bitüm(gr) | 80,10 |
| 100 e Bitüm | 4,20 |
| % Bitüm | 4,03 |

Çizelge 6.13: Geri Dönüşüm Malzemesi Elek Analizi Deney Sonuçları

| ELEK ANALİZİ | | | | |
|--|--------------|---------------|---------------|--------------------|
| ELEKLER | Toplam | Toplam | Toplam | Şartname Limitleri |
| | Kalan (gr) | Kalan (%) | Gecen (%) | |
| 1 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 3/4 | 30,0 | 1,6 | 98,4 | 80 100 |
| 1/2 | 270,0 | 14,2 | 85,8 | 58 80 |
| 3/8 | 570,0 | 29,9 | 70,1 | 48 70 |
| No:4 | 1018,0 | 53,4 | 46,6 | 30 52 |
| No:10 | 1344,0 | 70,5 | 29,5 | 20 40 |
| No:40 | 1598,0 | 83,8 | 16,2 | 8 22 |
| No:80 | 1682,0 | 88,2 | 11,8 | 5 14 |
| No:200 | 1743,0 | 91,4 | 8,6 | 2 7 |
| Yıkamı Kurutulmuş Numune Ağırlığı : | | | | 1906,6 |
| Wa | Wb | Kaba | İnce | Filler |
| % e | % de | Agrega | Agrega | % |
| Bitüm | Bitüm | % | % | % |
| 4,20 | 4,03 | 53,4 | 38,0 | 8,6 |

Çizelge 6.14: Geri Dönüşüm Malzemesi Elek Analizi Deneyi Grafiği



Çizelge 6.11, Çizelge 6.12, Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14' te geri dönüşümde kullanılacak olan kazılmış malzeme üzerinde yapılan deney sonuçları verilmiştir ve öncelikli dikkat edilmesi gereken değerler mavi dolgu ile belirtilmiştir. Bu deneyler karışımda kullanılacak geri dönüşüm malzemesinin özelliğinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Bitüm %'si nin 4,20 olduğu görülmüştür.

Bu değer yeni üretilecek olan RAP malzemesi katkı Bitümlü Sıcak Asfaltların içeriğinin dizaynında bitüm miktarının azaltılması açısından oldukça önem taşımaktadır. Geri dönüştürülecek olan her malzeme özelliği alındığı yere ve katmamına göre farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple yapılacak olan her üretimden önce tüm deneyler yapılmalıdır.

Çizelge 6.15: %0 oranında RAP karışımı Marshall Deney Sonuçları

| MARSHAL STABİLİTE DENEYİ | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Biriket No | Biriket Yüksekliği | Havadaki Ağırlık (gr) | Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) C | Hacim (cm ³) V | Hac.Özg. Ağırlık D _p | Teo. Özg. Ağırlık Dt | Akma (mm) | Stabilite (kg) | Düzeltilme Faktörü | Düzeltilmiş Stabilite |
| 1 | 63,5 | 1197,5 | 1204,2 | 714,5 | 489,7 | 2,445 | 2,496 | 2,91 | 1251 | 1,00 | 1251 |
| 2 | 63,2 | 1192,3 | 1201,5 | 717,5 | 484,0 | 2,463 | 2,496 | 2,98 | 1203 | 1,01 | 1213 |
| 3 | 63,4 | 1195,6 | 1203,6 | 710,0 | 493,6 | 2,422 | 2,496 | 2,94 | 1203 | 1,00 | 1207 |
| Ortalama | | | | | | | | 2,943 | | | 1223,4 |

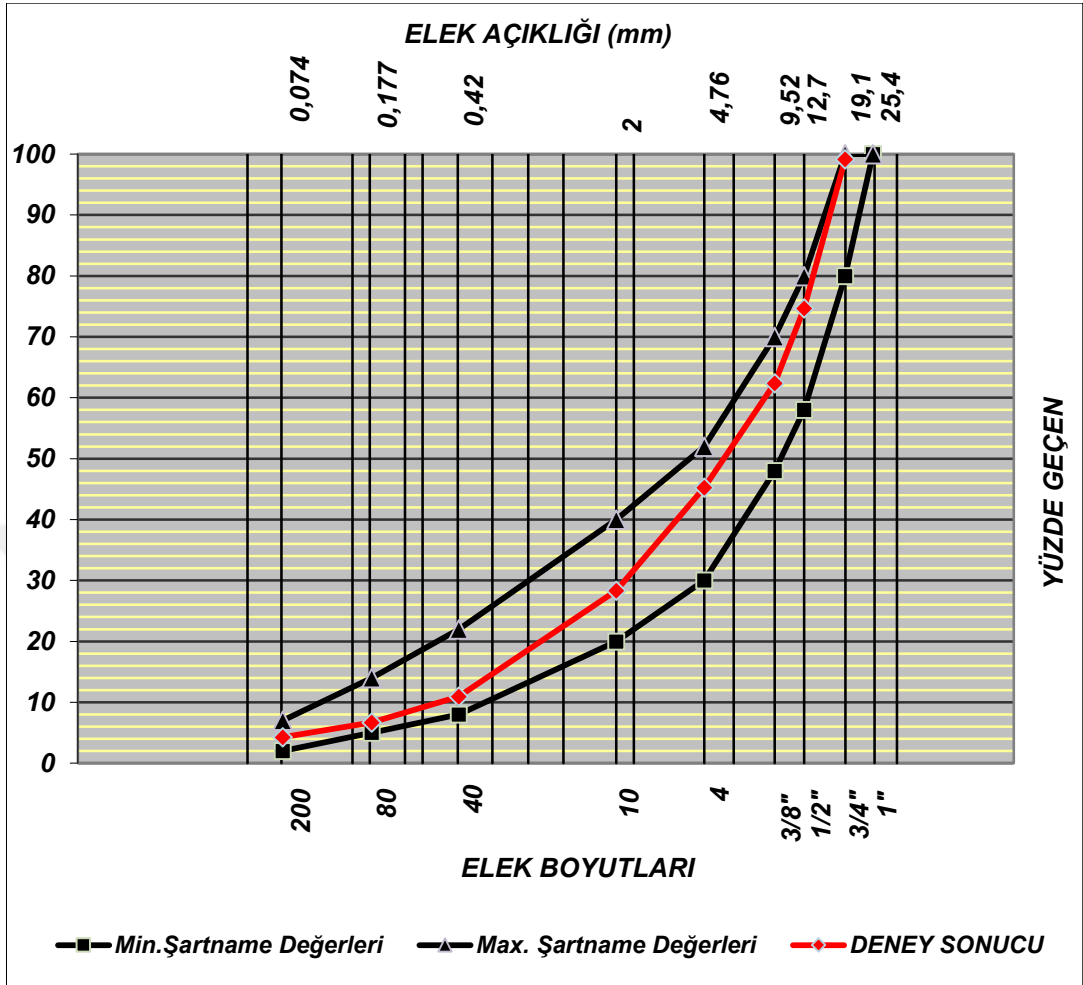
Çizelge 6.16: %0 oranında RAP karışımı Soksilet Deney Sonuçları

| SOKSİLET DENEYİ | |
|--------------------------------|--------|
| Kaplama türü | BİNDER |
| Numune+Filtre | 1516,9 |
| Filtre Kağıdı (gr.) | 11,4 |
| Bitümlü Numune (gr) | 1505,5 |
| Bit. Al.Num.+Filt. | 1453,0 |
| Bittümü Alınmış Numune (micır) | 1441,6 |
| Bitüm(gr) | 63,90 |
| 100 e Bitüm | 4,43 |
| % Bitüm | 4,24 |

Çizelge 6.17: %0 oranında RAP karışımı Elek Analizi Deney Sonuçları

| ELEK ANALİZİ | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| ELEKLER | Toplam | Toplam | Toplam | Şartname Limitleri |
| | Kalan (gr) | Kalan (%) | Gecen (%) | |
| 1 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 3/4 | 12,0 | 0,8 | 99,2 | 80 100 |
| 1/2 | 365,0 | 25,3 | 74,7 | 58 80 |
| 3/8 | 542,0 | 37,6 | 62,4 | 48 70 |
| No:4 | 789,0 | 54,7 | 45,3 | 30 52 |
| No:10 | 1033,0 | 71,7 | 28,3 | 20 40 |
| No:40 | 1284,0 | 89,1 | 10,9 | 8 22 |
| No:80 | 1345,0 | 93,3 | 6,7 | 5 14 |
| No:200 | 1380,0 | 95,7 | 4,3 | 2 7 |
| Yıkayıp Kurutulmuş Numune Ağırlığı : | | | | 1441,6 |
| <i>Wa</i> % e Bitüm | <i>Wb</i> % de Bitüm | <i>Kaba</i> Agrega % | <i>İnce</i> Agrega % | <i>Filler</i> % |
| 4,43 | 4,24 | 54,7 | 41,0 | 4,3 |

Çizelge 6.18: %0 oranında RAP karışımı Elek Analizi Deneyi Grafiği



Çizelge 6.15, Çizelge 6.16, Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18’ de geri dönüşüm malzeme kullanılmadan üretilmiş olan binder tipi malzeme üzerinde yapılmış deney sonuçları verilmiştir ve öncelikli dikkat edilmesi gereken değerler mavi dolgu ile belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Bitüm %’si nin 4,43 olarak %4,30 ve %4,70 arasında kaldığı görülmektedir. Bu durum malzemenin bitüm yönünden kullanılabilirliğinin uygun olduğunu göstermektedir.

Agrega gradasyon grafiğinde grafik çizgisinin sınır değerler arasında kaldığı ve üretim için uygun olduğu görülmektedir. Stabilitate değerinin (malzeme + bitüm ortak direnci) min. değer olan 750’ den büyük olduğu görülmektedir ve malzemenin dayanımının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Akma değerinin (bitüm direnci) 2,945 olarak 2-4 arasında olması bitümün akma dayanımının ideal olduğunu ve kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Karot deney sonuçlarına göre malzeme sıkışmasının 99,3 olarak 98-100 arasında kalması malzemenin yeterli seviyede sıkıştığını bu da içeriğindeki agreganın uygun olduğunu yansıtmaktadır.

Sonuç olarak kıyaslama çizelgesi olarak da kullanılacak bu deney raporu çizelgesi üretilmiş olan malzemenin gerekli şartları sağladığını ve kullanım için uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.19: %5 oranında RAP karışımı asfalt Marshall Deneyi Sonuçları

| MARSHAL STABİLİTE DENEYİ | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Biriket No | Biriket Yüksekliği | Havadaki Ağırlık (gr) | Doğru Yüzey Kuru Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) C | Hacim (cm ³) V | Hac. Özg. Ağırlık D _p | Teo. Özg. Ağırlık D _t | Akma (mm) | Stabilite (kg) | Düzeltilme Faktörü | Düzeltilmiş Stabilite |
| 1 | 62,5 | 1190,6 | 1194,2 | 696,0 | 498,2 | 2,390 | 2,491 | 2,80 | 1120 | 1,03 | 1148 |
| 2 | 61,6 | 1189,1 | 1192,4 | 695,5 | 496,9 | 2,393 | 2,491 | 2,74 | 1140 | 1,05 | 1196 |
| 3 | 63,0 | 1195,6 | 1196,2 | 699,2 | 497,0 | 2,406 | 2,491 | 2,81 | 1135 | 1,01 | 1150 |
| Ortalama | | | | | | | | 2,783 | | | 1164,5 |

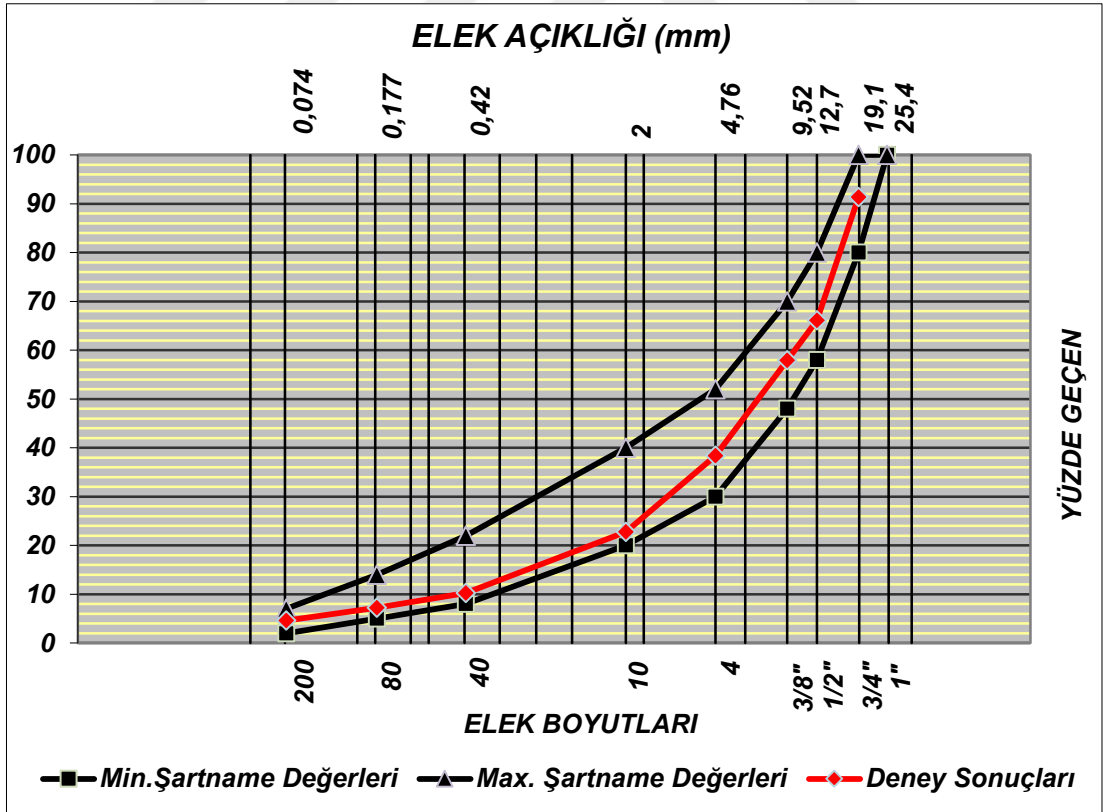
Çizelge 6.20: %5 oranında RAP karışımı asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları

| SOKSİLET DENEYİ | |
|-------------------------------|---------------|
| Kaplama türü | BİNDER |
| Numune+Filtre | 1362,9 |
| Filtre Kağıdı (gr.) | 8,7 |
| Bitümlü Numune (gr) | 1354,2 |
| Bit. Al.Num.+Filt. | 1305,1 |
| Bitümü Alınmış Numune (micır) | 1296,4 |
| Bitüm(gr) | 57,80 |
| 100 e Bitüm | 4,46 |
| % Bitüm | 4,27 |

Çizelge 6.21: %5 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları

| ELEK ANALİZİ | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| ELEKLER | Toplam | Toplam | Toplam | Şartname Limitleri |
| | Kalan (gr) | Kalan (%) | Gecen (%) | |
| 1 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 3/4 | 112,0 | 8,6 | 91,4 | 80 100 |
| 1/2 | 439,0 | 33,9 | 66,1 | 58 80 |
| 3/8 | 546,0 | 42,1 | 57,9 | 48 70 |
| No:4 | 799,0 | 61,6 | 38,4 | 30 52 |
| No:10 | 1001,0 | 77,2 | 22,8 | 20 40 |
| No:40 | 1164,0 | 89,8 | 10,2 | 8 22 |
| No:80 | 1203,0 | 92,8 | 7,2 | 5 14 |
| No:200 | 1237,0 | 95,4 | 4,6 | 2 7 |
| Yıkayıp Kurutulmuş Numune Ağırlığı : | | | 1296,4 | |
| <i>Wa</i> % e <i>Bitüm</i> | <i>Wb</i> % de <i>Bitüm</i> | <i>Kaba</i> <i>Agrega</i> % | <i>İnce</i> <i>Agrega</i> % | <i>Filler</i> % |
| 4,46 | 4,27 | 61,6 | 33,8 | 4,6 |

Çizelge 6.22: %5 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği



Çizelge 6.19, Çizelge 6.20, Çizelge 6.21 ve Çizelge 6.22' de %5 oranda geri dönüşüm malzeme kullanılarak üretilmiş olan binder tipi malzeme üzerinde yapılmış deney sonuçları verilmiştir ve öncelikli dikkat edilmesi gereken değerler mavi dolgu ile belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Bitüm %'si nin 4,46 olarak %4,30 ve %4,70 arasında kaldığı görülmektedir. Bu durum malzemenin bitüm yönünden kullanılabilirliğinin uygun olduğunu göstermektedir.

Agrega gradasyon grafiğinde grafik çizgisinin sınır değerler arasında kaldığı ve üretim için uygun olduğu görülmektedir. Stabilitate değerinin (malzeme + bitüm ortak direnci) min. değer olan 750' den büyük olduğu görülmektedir ve malzemenin dayanımının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Akma değerinin (bitüm direnci) 2,770 olarak 2-4 arasında olması bitümün akma dayanımının ideal olduğunu ve kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Karot deney sonuçlarına göre malzeme sıkışmasının 99,1 olarak 98-100 arasında kalması malzemenin yeterli seviyede sıkıştığını bu da içeriğindeki agreganın uygun olduğunu yansıtmaktadır.

Sonuç olarak %5 oranda geri dönüşüm malzeme katkılı üretimin hem şartname sınırlarında kalıp hem de dizayn verilerine uyarak kullanım için uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.23: %10 oranında RAP karışımı asfalt Marshall Deneyi Sonuçları

| MARSHAL STABİLİTE DENEYİ FREZE MALZEMESİ BRİKETLERİ | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Biriket No | Biriket Yüksekliği | Havadaki Ağırlık (gr) | Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) C | Hacim (cm ³) V | Hac.Özg. Ağırlık D _p | Teo. Özg. Ağırlık Dt | Akma (mm) | Stabilite (kg) | Düzeltilme Faktörü | Düzeltilmiş Stabilite |
| 1 | 62,2 | 1199,7 | 1204,4 | 699,7 | 504,7 | 2,377 | 2,489 | 2,61 | 1110 | 1,03 | 1147 |
| 2 | 62,7 | 1190,6 | 1194,5 | 695,0 | 499,5 | 2,384 | 2,489 | 2,70 | 1118 | 1,02 | 1140 |
| 3 | 63,1 | 1197,4 | 1200,3 | 699,2 | 501,1 | 2,390 | 2,489 | 2,78 | 1121 | 1,01 | 1132 |
| Ortalama | | | | | | | | 2,697 | | | 1139,7 |

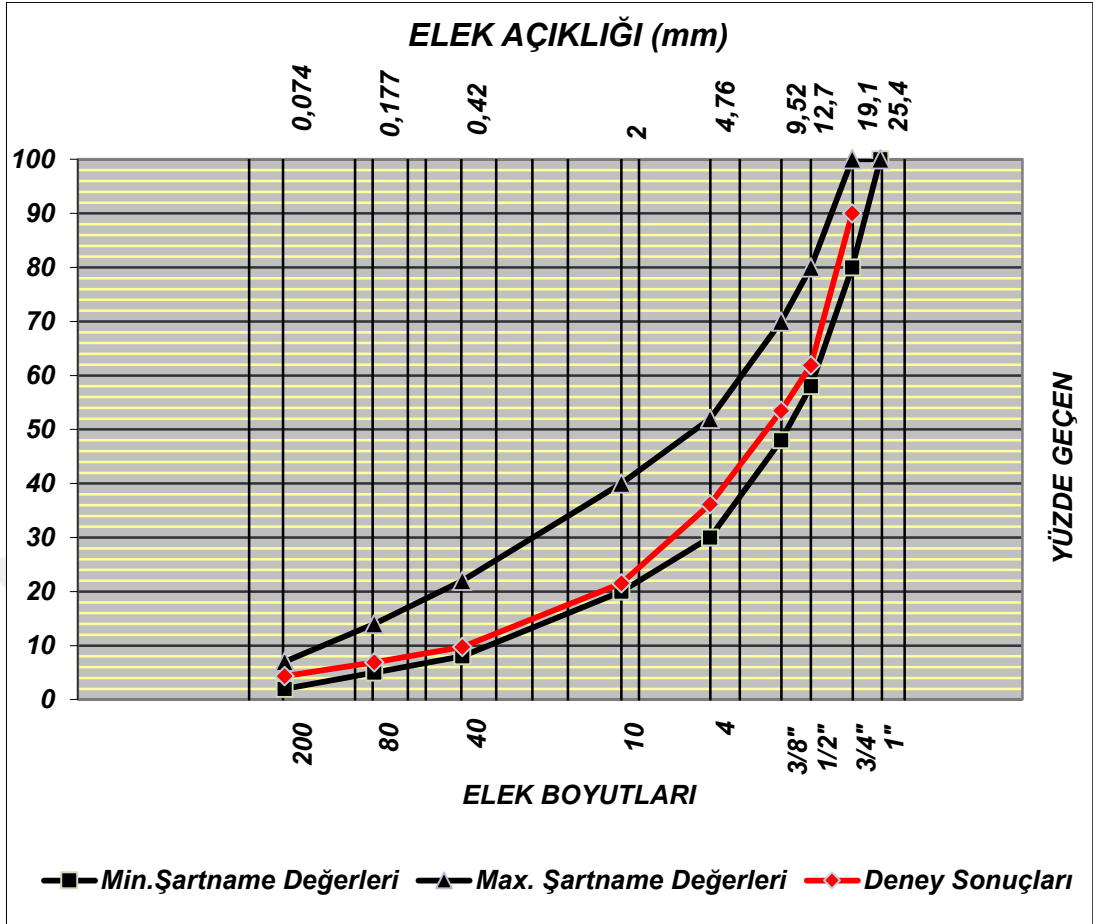
Çizelge 6.24: %10 oranında RAP karışımı asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları

| SOKSİLET DENEYİ | |
|--------------------------------|--------|
| Kaplama türü | BİNDER |
| Numune+Filtre | 1319,1 |
| Filtre Kağıdı (gr.) | 9,2 |
| Bitümlü Numune (gr) | 1309,9 |
| Bit. Al.Num.+Filt. | 1262,4 |
| Bittümü Alınmış Numune (micır) | 1253,2 |
| Bitüm(gr) | 56,70 |
| 100 e Bitüm | 4,52 |
| % Bitüm | 4,33 |

Çizelge 6.25: %10 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları

| ELEK ANALİZİ | | | | | |
|---|--------------|---------------|---------------|--------------------|-----|
| ELEKLER | Toplam | Toplam | Toplam | Şartname Limitleri | |
| | Kalan (gr) | Kalan (%) | Gecen (%) | | |
| 1 | 0 | 0 | 100 | 100 | |
| 3/4 | 125,0 | 10,0 | 90,0 | 80 | 100 |
| 1/2 | 478,0 | 38,1 | 61,9 | 58 | 80 |
| 3/8 | 583,0 | 46,5 | 53,5 | 48 | 70 |
| No:4 | 800,0 | 63,8 | 36,2 | 30 | 52 |
| No:10 | 983,0 | 78,4 | 21,6 | 20 | 40 |
| No:40 | 1131,0 | 90,2 | 9,8 | 8 | 22 |
| No:80 | 1167,0 | 93,1 | 6,9 | 5 | 14 |
| No:200 | 1199,0 | 95,7 | 4,3 | 2 | 7 |
| Yıkayıp Kurutulmuş Numune Ağırlığı : | | | | 1253,2 | |
| Wa | Wb | Kaba | İnce | Filler | |
| % e | % de | Agrega | Agrega | % | |
| Bitüm | Bitüm | % | % | % | |
| 4,52 | 4,33 | 63,8 | 31,8 | 4,3 | |

Çizelge 6.26: %10 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği



Çizelge 6.23, Çizelge 6.24, Çizelge 6.25 ve Çizelge 6.26' da %10 oranda geri dönüşüm malzeme kullanılarak üretilmiş olan binder tipi malzeme üzerinde yapılmış deney sonuçları verilmiştir ve öncelikli dikkat edilmesi gereken değerler mavi dolgu ile belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Bitüm %'si nin 4,52 olarak %4,30 ve %4,70 arasında kaldığı görülmektedir. Bu durum malzemenin bitüm yönünden kullanılabilirliğinin uygun olduğunu göstermektedir.

Agrega gradasyon grafiğinde grafik çizgisinin sınır değerler arasında kaldığı ve üretim için uygun olduğu görülmektedir. Stabilite değerinin (malzeme + bitüm ortak direnci) min. değer olan 750' den büyük olduğu görülmektedir ve malzemenin dayanımının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Akma değerinin (bitüm direnci) 2,655 olarak 2-4 arasında olması bitümün akma dayanımının ideal olduğunu ve kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Karot deney sonuçlarına göre malzeme sıkışmasının 98,9 olarak 98-100 arasında kalması malzemenin yeterli seviyede sıkıştığını bu da içeriğindeki agreganın uygun olduğunu yansıtmaktadır.

Sonuç olarak %10 oranda geri dönüşüm malzeme katkılı üretimin hem şartname sınırlarında kalıp hem de dizayn verilerine uyarak kullanım için uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.27: %15 oranında RAP karışımı asfalt Marshall Deneyi Sonuçları

| MARSHAL STABİLİTE DENEYİ FREZE MALZEMESİ BRİKETLERİ | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Biriket No | Biriket Yüksekliği | Havadaki Ağırlık (gr) | Doğun Yüzey Kuru Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) C | Hacim (cm ³) V | Hac.Özg. Ağırlık D _p | Teo. Özg. Ağırlık Dt | Akma (mm) | Stabilite (kg) | Düzeltilme Faktörü | Düzeltilmiş Stabilite |
| 1 | 63,1 | 1200,1 | 1203,6 | 698,9 | 504,7 | 2,378 | 2,490 | 2,50 | 1089 | 1,01 | 1100 |
| 2 | 63,8 | 1202,5 | 1204,7 | 700,5 | 504,2 | 2,385 | 2,490 | 2,43 | 1071 | 0,99 | 1064 |
| 3 | 62,5 | 1199,5 | 1201,3 | 699,2 | 502,1 | 2,389 | 2,490 | 2,48 | 1091 | 1,03 | 1118 |
| Ortalama | | | | | | | | 2,470 | | | 1093,9 |

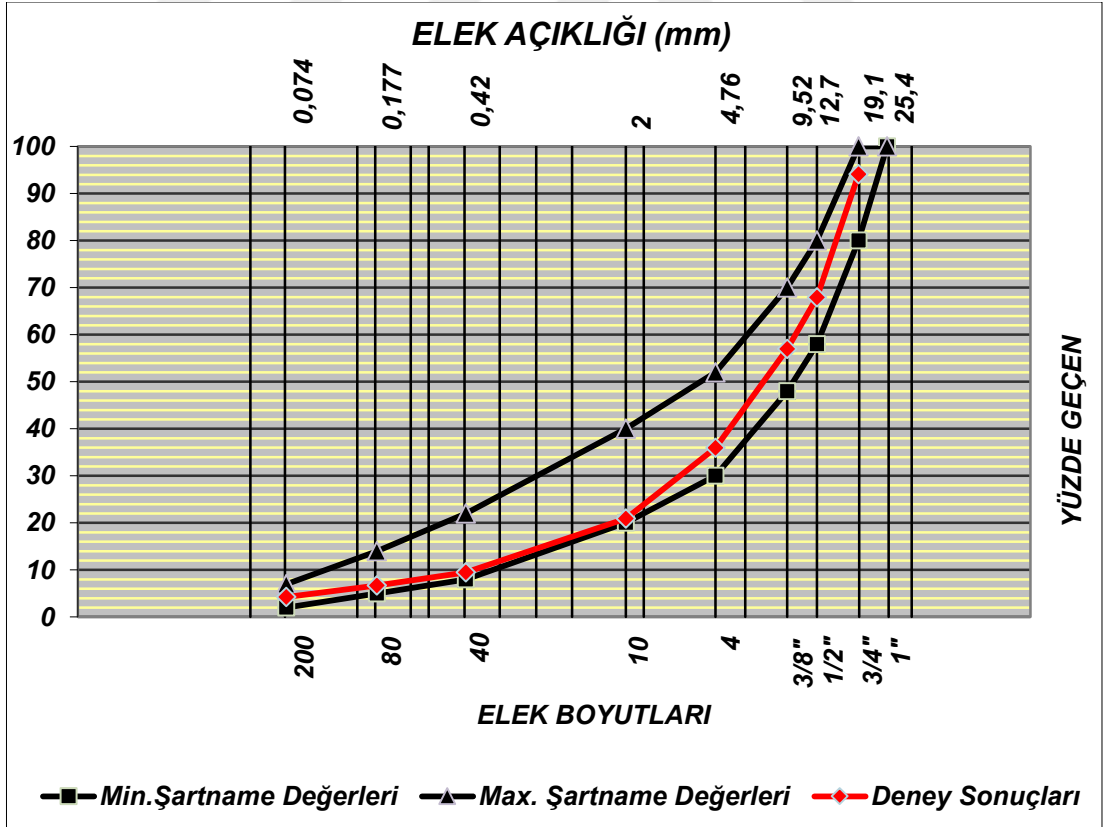
Çizelge 6.28: %15 oranında RAP karışımı asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları

| SOKSİLET DENEYİ | |
|-------------------------------|---------------|
| Kaplama türü | BİNDER |
| Numune+Filtre | 1341,6 |
| Filtre Kağıdı (gr.) | 8,6 |
| Bitümlü Numune (gr) | 1333,0 |
| Bit. Al.Num.+Filt. | 1282,8 |
| Bitümü Alınmış Numune (micır) | 1274,2 |
| Bitüm(gr) | 58,80 |
| 100 e Bitüm | 4,61 |
| % Bitüm | 4,41 |

Çizelge 6.29: %15 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları

| ELEK ANALİZİ | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|
| ELEKLER | Toplam | Toplam | Toplam | Şartname Limitleri |
| | Kalan (gr) | Kalan (%) | Gecen (%) | |
| 1 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 3/4 | 75,0 | 5,9 | 94,1 | 80 |
| 1/2 | 409,0 | 32,1 | 67,9 | 58 |
| 3/8 | 548,0 | 43,0 | 57,0 | 48 |
| No:4 | 816,0 | 64,0 | 36,0 | 30 |
| No:10 | 1008,0 | 79,1 | 20,9 | 20 |
| No:40 | 1153,0 | 90,5 | 9,5 | 8 |
| No:80 | 1189,0 | 93,3 | 6,7 | 5 |
| No:200 | 1220,0 | 95,7 | 4,3 | 2 |
| Yıkanıp Kurutulmuş Numune Ağırlığı : | | | | 1274,2 |
| <i>Wa</i> | <i>Wb</i> | <i>Kaba</i> | <i>İnce</i> | <i>Filler</i> |
| <i>% e</i> | <i>% de</i> | <i>Agrega</i> | <i>Agrega</i> | |
| <i>Bitüm</i> | <i>Bitüm</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> |
| 4,61 | 4,41 | 64,0 | 31,7 | 4,3 |

Çizelge 6.30: %15 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği



Çizelge 6.27, Çizelge 6.28, Çizelge 6.29 ve Çizelge 6.30' da %15 oranda geri dönüşüm malzeme kullanılarak üretilmiş olan binder tipi malzeme üzerinde yapılmış deney sonuçları verilmiştir ve öncelikli dikkat edilmesi gereken değerler mavi dolgu ile belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Bitüm %'si nin 4,61 olarak %4,30 ve %4,70 arasında kaldığı görülmektedir. Bu durum malzemenin bitüm yönünden kullanılabilirliğinin uygun olduğunu göstermektedir.

Agrega gradasyon grafiğinde grafik çizgisinin sınır değerler arasında kaldığı ve üretim için uygun olduğu görülmektedir. Stabilite değerinin (malzeme + bitüm ortak direnci) min. değer olan 750' den büyük olduğu görülmektedir ve malzemenin dayanımının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Akma değerinin (bitüm direnci) 2,465 olarak 2-4 arasında olması bitümün akma dayanımının ideal olduğunu ve kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Karot deney sonuçlarına göre malzeme sıkışmasının 98,2 olarak 98-100 arasında kalması malzemenin yeterli seviyede sıkıştığını bu da içeriğindeki agreganın uygun olduğunu yansıtmaktadır.

Sonuç olarak %15 oranda geri dönüşüm malzeme katkılı üretimin hem şartname sınırlarında kalıp hem de dizayn verilerine uyarak kullanım için uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.31: %20 oranında RAP karışımı asfalt Marshall Deneyi Sonuçları

| MARSHAL STABİLİTE DENEYİ FREZE MALZEMESİ BRİKETLERİ | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Biriket No | Biriket Yüksekliği | Havadaki Ağırlık (gr) | Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) C | Hacim (cm ³) V | Hac.Özg. Ağırlık D _p | Teo. Özg. Ağırlık Dt | Akma (mm) | Stabilite (kg) | Düzeltilme Faktörü | Düzeltilmiş Stabilite |
| 1 | 63,1 | 1192,0 | 1193,5 | 690,0 | 503,5 | 2,367 | 2,484 | 2,30 | 1011 | 1,01 | 1021 |
| 2 | 63,9 | 1193,5 | 1194,6 | 692,0 | 502,6 | 2,375 | 2,484 | 2,21 | 1021 | 0,99 | 1011 |
| 3 | 62,0 | 1191,2 | 1193,1 | 689,6 | 503,5 | 2,366 | 2,484 | 2,24 | 1012 | 1,04 | 1050 |
| Ortalama | | | | | | | | 2,250 | | | 1027,5 |

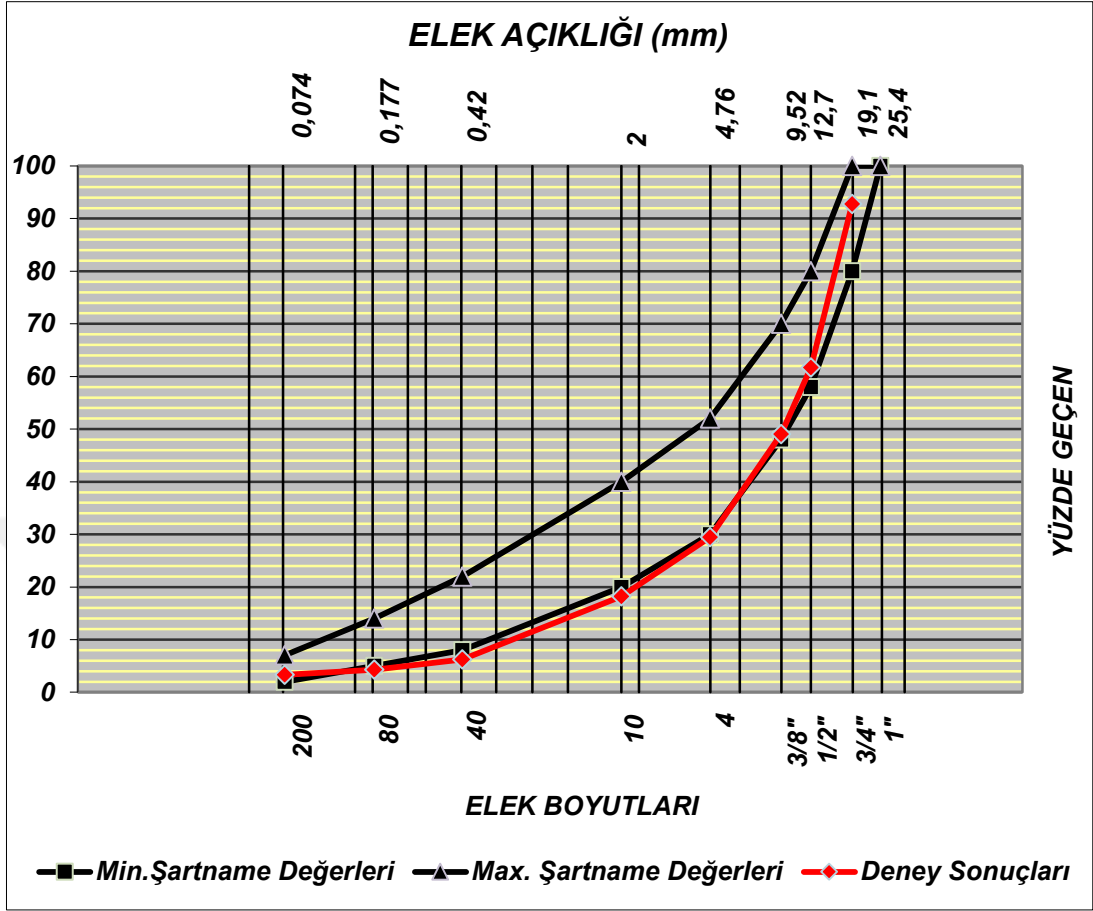
Çizelge 6.32: %20 oranında RAP karışımı asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları

| SOKSİLET DENEYİ | |
|--------------------------------|--------|
| Kaplama türü | BİNDER |
| Numune+Filtre | 1238,9 |
| Filtre Kağıdı (gr.) | 8,6 |
| Bitümlü Numune (gr) | 1230,3 |
| Bit. Al.Num.+Filt. | 1182,6 |
| Bittümü Alınmış Numune (mıdır) | 1174,0 |
| Bitüm(gr) | 56,30 |
| 100 e Bitüm | 4,80 |
| % Bitüm | 4,58 |

Çizelge 6.33: %20 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları

| ELEK ANALİZİ | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------------|-----|
| ELEKLER | Toplam | Toplam | Toplam | Şartname Limitleri | |
| | Kalan (gr) | Kalan (%) | Gecen (%) | | |
| 1 | 0 | 0 | 100 | 100 | |
| 3/4 | 85,0 | 7,2 | 92,8 | 80 | 100 |
| 1/2 | 450,0 | 38,3 | 61,7 | 58 | 80 |
| 3/8 | 598,0 | 50,9 | 49,1 | 48 | 70 |
| No:4 | 828,0 | 70,5 | 29,5 | 30 | 52 |
| No:10 | 960,0 | 81,8 | 18,2 | 20 | 40 |
| No:40 | 1101,0 | 93,8 | 6,2 | 8 | 22 |
| No:80 | 1124,0 | 95,7 | 4,3 | 5 | 14 |
| No:200 | 1135,0 | 96,7 | 3,3 | 2 | 7 |
| Yıkayıp Kurutulmuş Numune Ağırlığı : | | | | 1174,0 | |
| <i>Wa</i> | <i>Wb</i> | <i>Kaba</i> | <i>İnce</i> | <i>Filler</i> | |
| <i>% e</i> | <i>% de</i> | <i>Agrega</i> | <i>Agrega</i> | <i>%</i> | |
| <i>Bitüm</i> | <i>Bitüm</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | |
| 4,80 | 4,58 | 70,5 | 26,1 | 3,3 | |

Çizelge 6.34: %20 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği



Çizelge 6.31, Çizelge 6.32, Çizelge 6.33 ve Çizelge 6.34' de %20 oranda geri dönüşüm malzeme kullanılarak üretilmiş olan binder tipi malzeme üzerinde yapılmış deney sonuçları verilmiştir ve öncelikli dikkat edilmesi gereken değerler mavi dolgu ile belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Bitüm %'si nin 4,80 olarak %4,30 ve %4,70 sınır değerlerini aştığı görülmektedir. Bu durum malzemenin bitüm yönünden kullanılabilirliğinin uygun olmadığını göstermektedir.

Agrega gradasyon grafiğinde grafik çizgisinin bazı kısımlarda sınır değerleri aştığı ve üretim için uygun olmadığı görülmektedir. Stabilite değerinin (malzeme + bitüm ortak direnci) min. değer olan 750' den büyük olduğu görülmektedir ve malzemenin dayanımının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Akma değerinin (bitüm direnci) 2,255 olarak 2-4 arasında olması bitümün akma dayanımının ideal olduğunu ve kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Karot deney sonuçlarına göre malzeme sıkışmasının 97,1 olarak 98-100 sınır değerlerinden düşük olması malzemenin yeterli seviyede sıkışmadığını bu da zaman içerisinde oluşacak olan deformasyonlara sebep olacağından kullanım için uygun olmadığını yansıtmaktadır.

Sonuç olarak %20 oranda geri dönüşüm malzeme katkılı üretimin hem şartname sınırları açısından hem de dizayn verileri yönünden tüm şartları sağlamadığından kullanım için uygun olmadığı görülmektedir.

Çizelge 6.35: %30 oranında RAP karışımı asfalt Marshall Deneyi Sonuçları

| MARSHAL STABİLİTE DENEYİ FREZE MALZEMESİ BRİKETLERİ | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Biriket No | Biriket Yüksekliği | Havadaki Ağırlık (gr) | Doğru Yüzey Kuru Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) C | Hacim (cm ³) V | Hac.Özg. Ağırlık D _p | Teo. Özg. Ağırlık D _t | Akma (mm) | Stabilite (kg) | Düzeltilme Faktörü | Düzeltilmiş Stabilite |
| 1 | 62,1 | 1195,0 | 1197,2 | 678,0 | 519,2 | 2,302 | 2,475 | 2,20 | 988 | 1,04 | 1023 |
| 2 | 62,6 | 1196,0 | 1198,6 | 679,0 | 519,6 | 2,302 | 2,475 | 2,25 | 972 | 1,02 | 994 |
| 3 | 63,0 | 1198,2 | 1201,4 | 683,2 | 518,2 | 2,312 | 2,475 | 2,27 | 996 | 1,01 | 1009 |
| Ortalama | | | | | | | | 2,240 | | | 1008,63 |

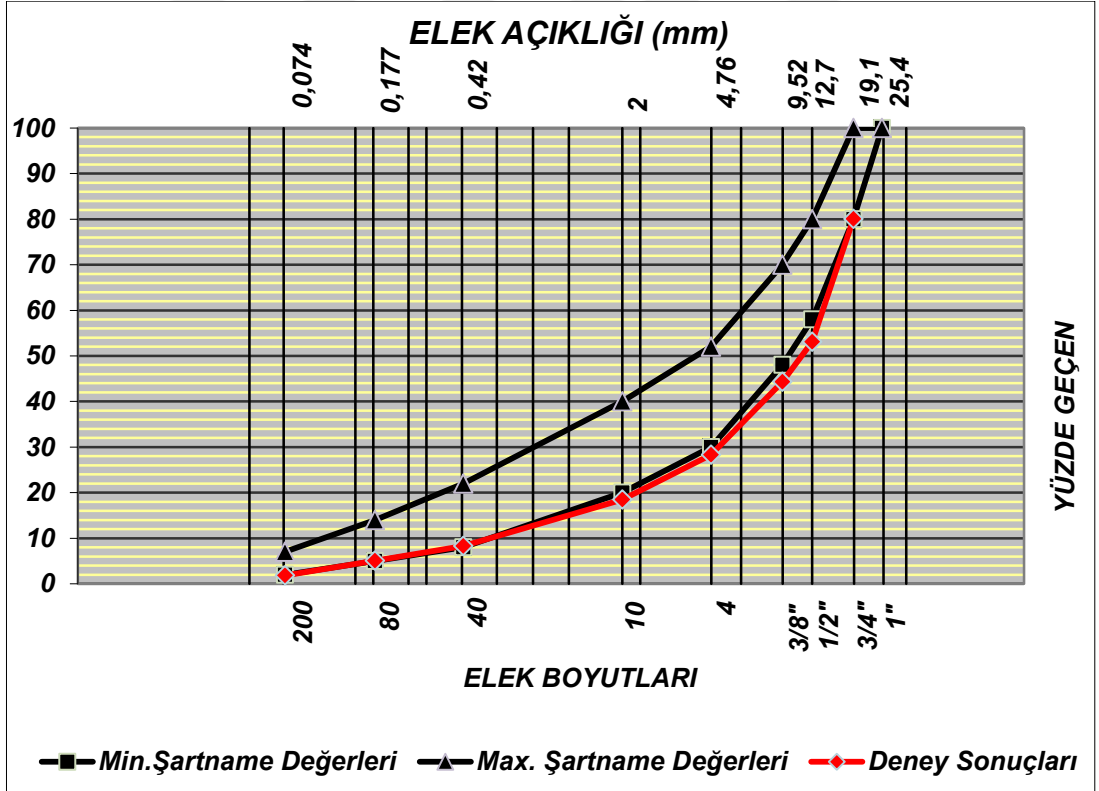
Çizelge 6.36: %30 oranında RAP karışımı asfalt Soksilet Deneyi Sonuçları

| SOKSİLET DENEYİ | |
|-------------------------------|---------------|
| Kaplama türü | BİNDER |
| Numune+Filtre | 1325,6 |
| Filtre Kağıdı (gr.) | 8,5 |
| Bitümlü Numune (gr) | 1317,1 |
| Bit. Al.Num.+Filt. | 1262,0 |
| Bitümü Alınmış Numune (micır) | 1253,5 |
| Bitüm(gr) | 63,60 |
| 100 e Bitüm | 5,07 |
| % Bitüm | 4,83 |

Çizelge 6.37: %30 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Sonuçları

| ELEK ANALİZİ | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| ELEKLER | Toplam | Toplam | Toplam | Şartname Limitleri |
| | Kalan (gr) | Kalan (%) | Gecen (%) | |
| 1 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 3/4 | 250,0 | 19,9 | 80,1 | 80 |
| 1/2 | 588,0 | 46,9 | 53,1 | 58 |
| 3/8 | 698,0 | 55,7 | 44,3 | 48 |
| No:4 | 899,0 | 71,7 | 28,3 | 30 |
| No:10 | 1022,0 | 81,5 | 18,5 | 20 |
| No:40 | 1150,0 | 91,7 | 8,3 | 8 |
| No:80 | 1190,0 | 94,9 | 5,1 | 5 |
| No:200 | 1231,0 | 98,2 | 1,8 | 2 |
| Yıkayıp Kurutulmuş Numune Ağırlığı : | | | 1253,5 | |
| <i>Wa</i> % e Bitüm | <i>Wb</i> % de Bitüm | <i>Kaba</i> Agrega % | <i>İnce</i> Agrega % | <i>Filler</i> % |
| 5,07 | 4,83 | 71,7 | 26,5 | 1,8 |

Çizelge 6.38: %30 oranında RAP karışımı asfalt Elek Analizi Deneyi Grafiği



Çizelge 6.35, Çizelge 6.36, Çizelge 6.37 ve Çizelge 6.38’ de %30 oranda geri dönüşüm malzeme kullanılarak üretilmiş olan binder tipi malzeme üzerinde yapılmış deney sonuçları verilmiştir ve öncelikli dikkat edilmesi gereken değerler mavi dolgu ile belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Bitüm %’si nin 5,07 olarak %4,30 ve %4,70 sınır değerlerini yüksek oranda aştığı görülmektedir. Bu durum malzemenin bitüm yönünden kullanılabilirliğinin uygun olmadığını göstermektedir.

Agrega gradasyon grafiğinde grafik çizgisinin bazı kısımlarda sınır değerleri aştığı ve üretim için uygun olmadığı görülmektedir. Stabilite değerinin (malzeme + bitüm ortak direnci) min. değer olan 750’ den büyük olduğu görülmektedir ve malzemenin dayanımının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

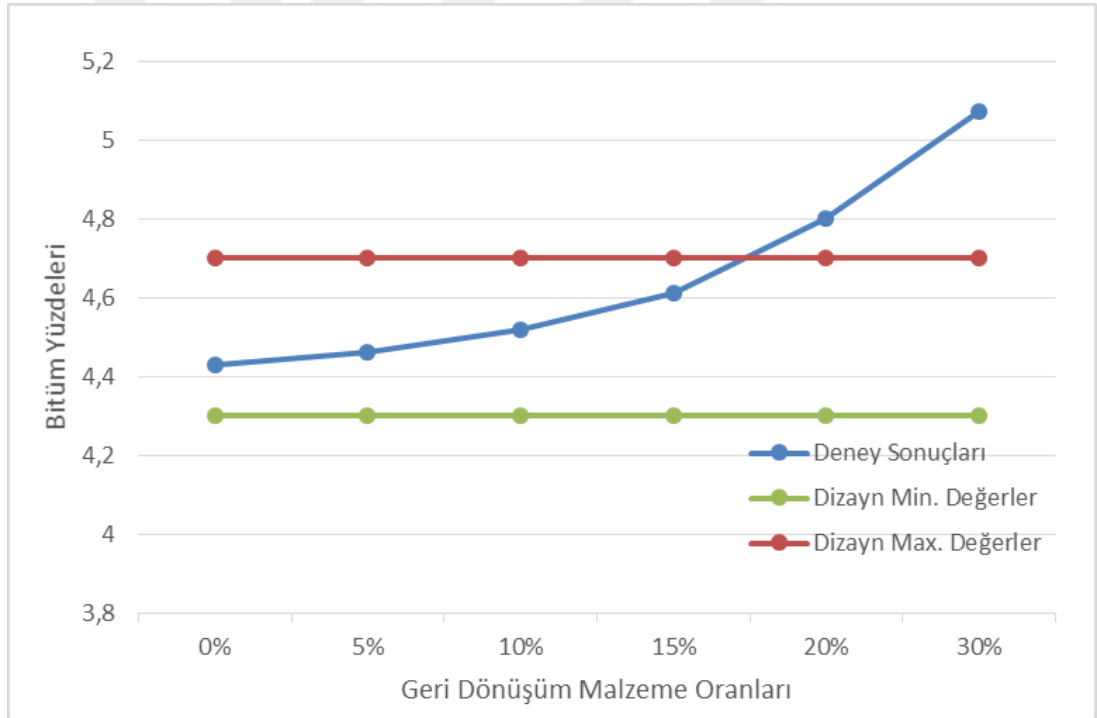
Akma değerinin (bitüm direnci) 2,225 olarak 2-4 arasında olması bitümün akma dayanımının ideal olduğunu ve kullanıma uygun olduğunu göstermektedir. Karot deney sonuçlarına göre malzeme sıkışmasının 95,4 olarak 98-100 sınır değerlerinden oldukça düşük olması malzemenin yeterli seviyede sıkışmadığını bu da zaman içerisinde oluşacak olan deformasyonlara sebep olacağından kullanım için uygun olmadığını yansıtmaktadır.

Sonuç olarak %30 oranda geri dönüşüm malzeme katkılı üretimin hem şartname sınırları açısından hem de dizayn verileri yönünden tüm şartları sağlamadığından kullanım için uygun olmadığı görülmektedir.

Tüm deney sonuçlarının raporları incelenmiş ve açıklanmış olup Çizelge 6.39’ da Deney Sonuçları özet bir rapor halinde verilmiştir. Rapor incelendiğinde %5, %10 ve %15 oranlarında geri dönüşüm katkılı malzemelerde değerlerin karşılaştırma referansı olan geri dönüşüm katkısız malzeme değerlerine uyduğu ve uygulama için uygun bir malzeme elde edilmiş olduğu anlaşılmaktadır. İncelemelerde dikkate alınan özelliklerden Bitüm % değerlerinin karşılaştırılması, akma değerlerinin karşılaştırılması, sıkışma ve birim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması da grafikler üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 6.39: Deney Sonuçları Karşılaştırma Çizelgesi

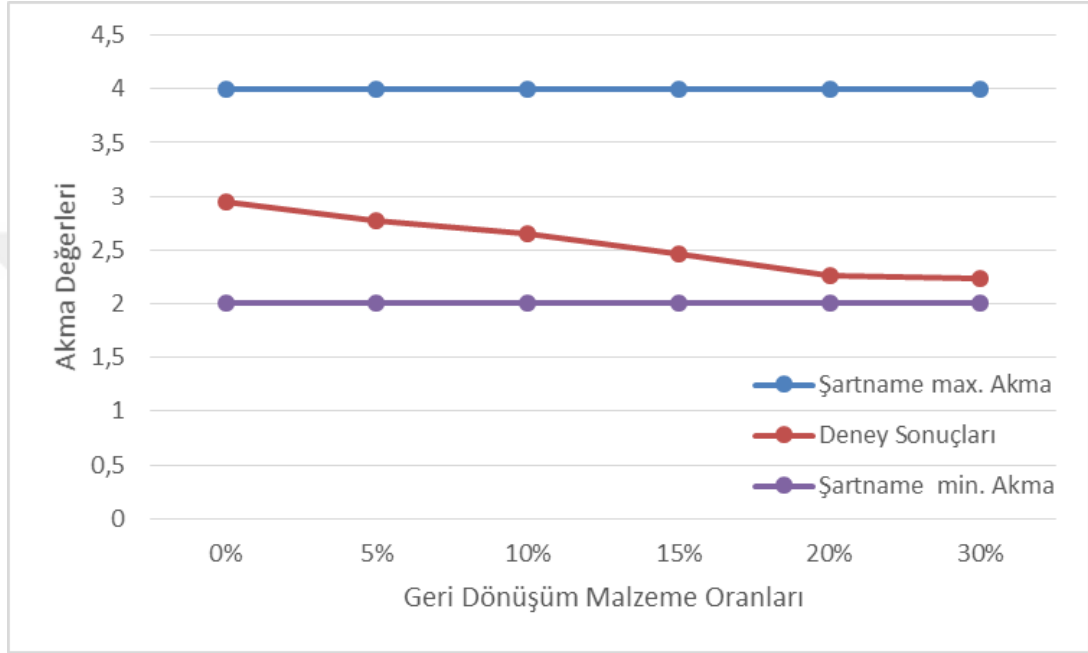
| Deney Sonuçları | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 30% |
| | RAP | RAP | RAP | RAP | RAP | RAP |
| Bitüm %'si | 4,43 | 4,46 | 4,52 | 4,61 | 4,8 | 5,07 |
| Birim Ağırlık (gr/cm ³) | 2,413 | 2,408 | 2,399 | 2,395 | 2,377 | 2,312 |
| Akma mm | 2,95 | 2,77 | 2,65 | 2,47 | 2,26 | 2,23 |
| Stabilite | 1227 | 1130 | 1114 | 1080 | 1011 | 980 |
| Sıkışma % | 99,3 | 99,1 | 98,9 | 98,2 | 97,1 | 95,4 |



Şekil 6.12: Bitüm Yüzde Değerlerinin Karşılaştırılması

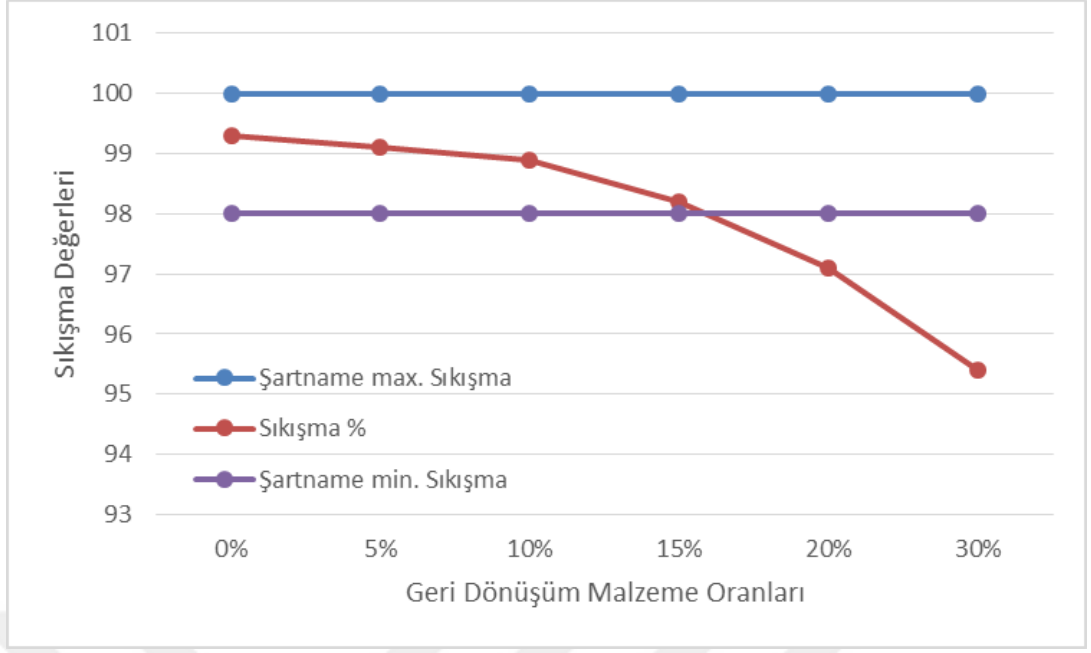
Şekil 6.12' de verilmiş olan grafikte dizayn verilerine göre olması gereken maksimum ve minimum yüzde bitüm değerleri ve deney sonuçlarında elde etmiş olduğumuz

değerlerin durumu verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere %0, %5, %10 ve %15 oranlarda geri dönüşüm malzeme karışimli asfaltlarda istenilen sınır değerler içerisinde kalınırken %20 ve %30 oranlarda geri dönüşüm malzeme karışimli asfaltlarda istenilen değerlerin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum %20 ve %30 oranlarda geri dönüşüm malzeme karışimli üretimlerin kullanım için uygun olmadığını göstermektedir.



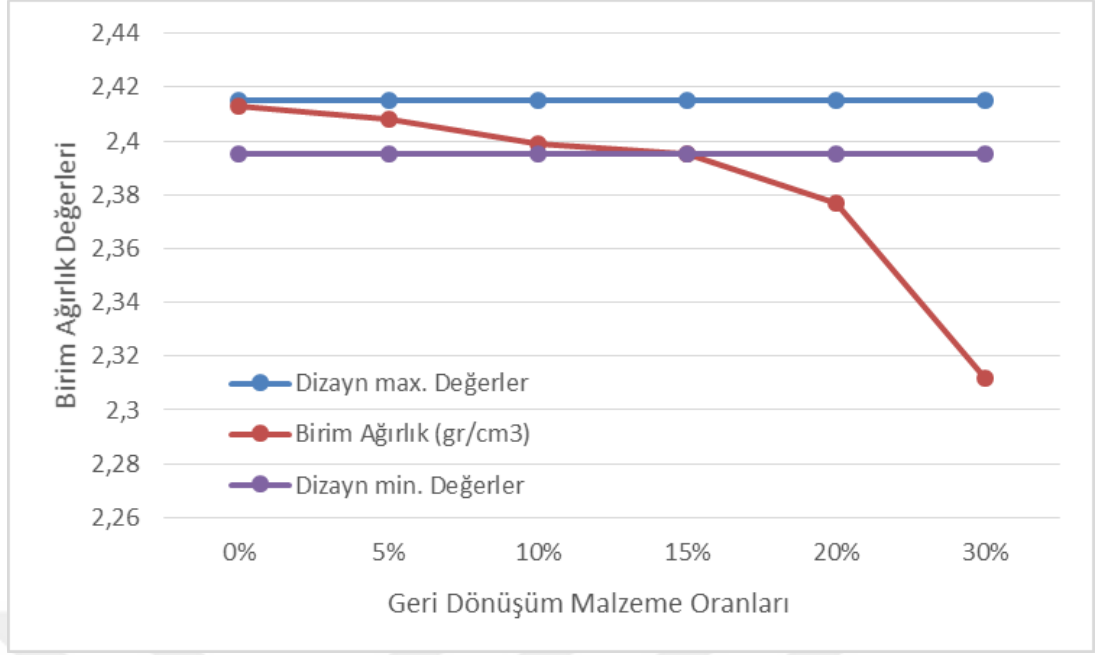
Şekil 6.13: Akma Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.13' te verilmiş olan grafikte şartname verilerine göre olması gereken maksimum ve minimum akma değerleri ile deney sonuçlarında elde edilen akma değerleri verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere geri dönüşüm malzeme katkılı tüm asfalt karışımlarında akma değerlerinin istenilen aralıkta kaldığı görülmüştür. Bu durum akma değerleri açısından çalışmada kullanılan geri dönüşüm katkılı tüm asfaltların kullanım için uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.14: Sıkışma Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.14'te verilmiş olan grafikte şartname verilerine göre olması gereken minimum ve maksimum sıkışma değerleri ile deney sonuçlarında elde edilen sıkışma değerleri verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere %0, %5, %10 ve %15 oranlarda geri dönüşüm malzeme katkılı asfalt karışımlarda sıkışma değerleri istenilen değer aralıklarında ölçülmüştür. %20 ve %30 oranlarda geri dönüşüm malzeme katkılı karışımlarda ise sıkışma değerleri istenilen değer aralığından düşük olarak ölçülmüştür. Bu durum %5, %10 ve %15 oranlarda geri dönüşüm malzeme katkılı asfalt karışımların kullanım için uygun olduğunu fakat %20 ve %30 oranlarda geri dönüşüm katkılı karışımların uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 6.15: Birim Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 6.15' te verilmiş olan grafikte dizayn verilerine göre olması gereken minimum ve maksimum birim ağırlık değerleri ile deney sonuçlarında elde edilen birim ağırlık değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde %0, %5, %10 ve %15 oranlarda RAP katkıli karışımlarda yapılan deney sonuçlarının istenilen değer aralığında kaldığı görülmektedir. %20 ve %30 oranlarda RAP katkıli karışımlarda ise sonuçların istenilen değer aralığının dışında ve düşük olduğu görülmektedir. Bu durum %5, %10 ve %15 oranda geri dönüşüm malzeme katkıli karışımların uygulama için uygun olduğunu, %20 ve %30 oranda RAP katkıli karışımların ise uygulama için uygun olmadığını göstermektedir.

Çizelge 6.39 ve grafiklerde deney sonuçları incelenmiş ve özetlenmiştir. Çalışmadaki amaç maksimum oranda geri dönüşüm malzemesi kullanılarak üretilebilecek yeni ürün oranlarının araştırılması olduğu için elde edilen sonuç %15 oranda RAP katkıli yeni ürünlerin kullanılabilirlik açısından en uygun ürün olduğunu vermektedir.

RAP katkıli yeni üretimlerde kullanılan RAP oranı üretim yapılan tesis ve kazılan malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu sebeple farklı tesis

ve farklı RAP malzemeleri ile yapılan üretimlerde %15 oranının artabileceği sonucu ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak da bu oran yükseltilebilmektedir. Bilinmesi gereken en önemli konu ise %15 oran bile geri dönüşüm malzeme kullanılabilmesi hem ekonomik açıdan hem de çevresel tahribatın azaltılması açısından büyük kazanç sağlamaktadır. Çalışma kapsamında uygun görülen %15 geri dönüşüm malzeme karışımı sıcak asfalt uygulaması İsmail Kaya Caddesinde uygulanmış ve karot numuneleri alınarak karot deneyi yapılmış ve yolun durumu incelenmiştir. Çizelge 6.40’ da Karot deneyi sonuçları ve Şekil 6.16’ da uygulama yolunun fotoğrafları verilmiştir.

Çizelge 6.40: Uygulama Yolu Karot Deneyi Sonuçları

| KAROT DENEY SONUÇLARI | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|-------------|---------|------------------------|-------------|
| Numune No | Karot Kalınlığı | Havadaki Ağırlık (gr) | Sudaki Ağırlık (gr) | Doygun Ağırlık (gr) | Hacim V (cm ³) | Karot Dp | Lab. Dp | Teorik Özg. Ağırlık Dt | Sıkışma % |
| 1. | 57,14 | 2341,62 | 1373,78 | 2348,4 | 974,62 | 2,40 | 2,41 | 2,504 | 99,6 |
| 2. | 56,65 | 2237,30 | 1308,65 | 2244,32 | 935,67 | 2,39 | | | 99,1 |
| ORTALAMA | | | | | | 2,40 | | | 99,4 |



Şekil 6.16: Uygulama Yolu Fotoğrafları

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hızlı nüfus artışı ve artan ihtiyaçlar çevresel tahribatın da aynı oranda artmasına sebep olmuştur. Yüzyıllar öncesinden başlamış ve hala devam eden bu tahribat zamanla insanlık ve diğer tüm canlılar için bir tehdit oluşturmaya başlamıştır. Toplumlar bu soruna önlem almak amacıyla birçok çözüm yöntemi bulmaya başlamıştır ve bu yöntemler arasında çeşitli malzemelerde geri dönüşüm yöntemi de önemli rol almaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucuna göre Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm, başta Avrupa'nın bazı ülkeleri ve Amerika olmak üzere Dünya çapında yaygınlaşmış ve kullanımı gün geçtikçe artan bir geri dönüşüm yöntemi olduğu görülmüştür. Bu yöntemle en önemli ulaşım kaynağımız olan karayollarında tahrip olmuş, deformasyona uğramış ve zamanla kullanım amacını karşılayamaz hale gelmiş olan asfalt tabakaları kazılarak türüne ve içeriğine göre yeni yapılacak asfaltlarla belli oran ve işlemlerle karıştırılıp geri dönüşümü sağlanmaktadır.

Geri kazanılan RAP malzemeleri minimum %10 maksimum %80 oranında yeni yapılacak asfalta karıştırılarak hem enerjiden tasarruf edilirken hem de ekonomik kazanç sağlanmaktadır.

Araştırmalar göstermektedir ki Dünya çapında böyle yayılmış olan Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm her ne kadar konu hakkında araştırmalar devam ediyor olsa da ülkemizde aynı oranda kullanılmamakta ve uygulanmamaktadır.

Karayolları Genel Müdürlüğü Ar-ge Dairesi Başkanlığı önderliğinde bazı çalışmalar yapılmış ve belirli bölgelerde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Nitekim hem RAP malzemesi kullanım oranı olsun hem uygulama miktarı olsun genel durumun altında bir seviyede kalmıştır.

Bu çalışma geri dönüşüm karışimli bitümlü sıcak asfalt karışımlar hakkında genel bir araştırma ve uygulama niteliği taşımaktadır. Çalışma kapsamında geri dönüşümde

kullanılacak olan kazılmış eski asfalt malzemesi üzerinde Marshall Stabilite Deneyi yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Deney sonuçları neticesinde içeriğindeki bitüm oranı tespit edilmiş ve Ekstraksiyon Deneyi ile ayrıştırılan bitümüne Elementel Analiz Deneyi uygulanmış ve sonuçlarına bakıldığında saf bitüme oranla içeriğindeki nitrojen, karbon, hidrojen ve kükürt değerlerinde belli oranlarda değişim olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum yaşlanmış bitümün gereken performansı gösteremeyeceğinin kanıtı olmuştur.

Bir diğer uygulama olarak geri dönüşüm malzeme katkısız, %5 katkılı, %10 katkılı, %15 katkılı, %20 katkılı ve %30 katkılı üretimler yapılmış ve bu yeni üretilen malzemelere içerikte belirtilen Marshall Stabilite Deneyi, Soksilet (Ekstraksiyon) Deneyi ve Elek Analizi Deneyleri Uygulanmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde %15 geri dönüşüm malzeme katkılı malzemenin uygulama için en uygun malzeme özelliği taşıdığı görülmüş ve İsmail Kaya Caddesinde uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonrası karot numuneleri alınarak incelemeler yapılmış ve uygunluk tekrar onaylanmıştır.

Anlatıldığı üzere Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm hem enerji tasarrufu açısından hem ekonomik kazanç açısından hem de çevre tahribatının aza indirilerek ham madde ihtiyacının karşılanması açısından büyük önem taşımaktadır. Dünya çapında oldukça yaygınlaşan bu yöntemin yapılan araştırmalar sonucunda ve çalışmaların azlığından da anlaşılacağı üzere ülkemizde yeteri kadar önemi göremediği ortaya çıkmıştır. Konu detaylı incelenip araştırıldığında ve yetkili kurumlarda yetkili kişilerle yapılan sözlü diyaloglarla bilgi edinildiğinde uygulamaların azlığının temel sebebi olarak geri dönüşüm katkılı malzemelerin uygulama sonrasında uzun vadede zaman içerisinde deformasyonun ve kullanılabilirliğinin nasıl olacağının bilinmemesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu durumda hem kullanım miktarını hem de kullanımdaki geri dönüştürülen malzeme oranını artırmak için, geri dönüşüm malzeme karışımı yüzde oranları yüksek çalışmaların, çalışma yöntem ve prensipleri gerekli kurum ve kuruluşlar tarafından araştırılmalıdır. Elde edilen yeni malzemenin kullanım alanları ve kullanımda

gösterdiği performans detaylı olarak incelenmelidir. Bu incelemeler yetkili kurumlar tarafından deney raporları ile resmileştirilmeli ve hem belediyelerle hem de ulaşım sektöründe yer alan özel sektör firmaları ile paylaşılmalıdır. İncelemeler ışığında geri dönüşüm malzeme katkıli karışımların uygulanabilirliği araştırılmalı ve eksik kalınmış olan konular belirlenmelidir.

Ülkemiz sıcak asfalt üretiminde ham madde olan agrega açısından taş ocakları yoğunluğu ile oldukça zengindir. Bu sebeple geri dönüşüm konusu üzerinde yeteri kadar durulmamaktadır. Lakin asfalt karışımların tek ham maddesinin agrega olmadığı bir petrol ürünü olan bitümün temel ham maddelerden biri olduğu ve ülkemizin bu açıdan zayıf olup bitümün dış ülkelerden temin edildiği unutulmamalıdır.

Çalışma gösteriyor ki %15 oranında geri dönüşüm malzeme kullanılması katkısız asfaltla yakın değerler vermektedir. Bu durum göz ardı edilmemeli ve kullanımı için gereken çalışmalar yapılmalıdır. Geri dönüşüm malzeme katkıli üretim ülkemiz genelinde çoğu asfalt üretim tesislerinde yapılabilmektedir. Sistemi uygun olan üretim tesisleri araştırılarak tespit edilmelidir. Geri dönüşüm katkıli karışım üretiminin yapılabilmesi için onaylar verilip üretim ve sonraki süreçte gelişen durum takip edilerek sıcak asfalt karışımlarda geri dönüşümün ülke genelinde yaygın bir şekilde kullanılmasına olanak tanınmalıdır.

Son olarak hem en önemli sorun olan ham madde ihtiyacımızı azaltarak çevreye vereceğimiz zararı en aza indirmek için hem de milli servetimizi korumak ve ekonomik kalkınmaya katkı sağlamak için sıcak asfalt karışımlarda geri dönüşüm konusunda yetkili mecralar tarafından araştırma çeşitliliği artırılmalı ve bu konuda yapılan çalışmalara destek verilmelidir. Bu konu milli serveti ele alan bir konudur. Sadece Karayolları Genel Müdürlüğü yetkili olarak adlandırılmamalı öncü kurum olarak adlandırılıp aynı konu üzerinde belediyeler de gereken çalışma ve araştırmalara gündeminde yer vermelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Güngör, G., Orhan, F., Kaşak, S., Dost, Y., “Kazılmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanılması”. Ulaştırma Ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü,2008.
- [2] Köfteci, S. “Bitümlü Sıcak Karışımlardan Geri Dönüşüm Yolu İle Elde Edilen Agregaların Performanslarının Değerlendirilmesi: Deneysel Bir Çalışma”. Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 535-545, 2017.
- [3] Gürer, C., Akbulut, H. ve Kürklü, G. “İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi”.
- [4] Kaya, B. “Bitümlü Karışımların Geri Dönüşümü, Çevresel Etkileri Ve Maliyet Analizi”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [5] Yılmaz, M., Kök, B., Kuloğlu, N. “Karayolu Esnek Üstyapı Malzemelerinin Geri Dönüşümünde Köpük Asfalt Yönteminin Kullanılması”. 6th International Advanced Technologies Symposium, 2011.
- [6] Oylumluoğlu, J. “The Utilization Of Recycled Asphalt Concrete With Warm Mix Asphalt”. 2012.
- [7] Arshad Hussain, Qiu Yanjun, “Effect of Reclaimed Asphalt Pavement on the Properties of Asphalt”. Procedia Engineering, Sayı 54, sayfa 840-850, 2013.
- [8] T. Anil Pradyumna, Abhishek Mittal, Dr. P.K.Jain, “Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Use”. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Sayı 104, sayfa 1149-1157, 2013
- [9] M. Vlok, S. Maccarrone, “Foamed Asphalt Mixes”. Pavement Engineering, 1999.
- [10] Seferoğlu, A., Seferoğlu, M., Akpınar, M. “Yol Aşınma Tabakasının Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Ulaşım Üstyapısında Kullanılabilirliğinin Araştırılması”. 2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, 281-287, 2015.
- [11] Karanjeet Kaur, Aravind Krishna Swamy, Animesh Das, “Constituent proportioning in recycled asphalt mix with multiple RAP source”. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Sayı 104, Sayfa 21-38, 2013.
- [12] R. Izaksa, V. Haritonovsb, I. Klasac, M. Zaumanis, ”Hot Mix Asphalt With High RAP Content”. Procedia Engineering, Sayı 114, Sayfa 676 – 684, 2015.
- [13] Roberts, F.L., Engelbrecht, J.C. ve Kennedy, T.W. “Evaluation of Recycled Mixtures Using Foamed Asphalt”. Transportation Research Record, 968
- [14] Oruç, Ş., Yılmaz, B., Mazlum, M . "Geri Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması". Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 30, 87-93, 2018.
- [15] Yol Teknolojileri. (2018). Geri Dönüşüm Yolu. [online] Erişim: <http://yolteknolojileri.com.tr/icerik/8680/geri-donusum-yolu> [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2018].

- [16] Karayolları Genel Müdürlüğü, “Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları”, Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 2012.
- [17] Freddy L. Roberts, Johann C. Engelbrecht, Thomas W. Kennedy, “Evaluation of Recycled Mixtures Using Foamed Asphalt”
- [18] Kök B.K., Çolak H.,” Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt”. Construction and Building Materials, Cilt 25, Sayı 8, sayfa 3204-3212, 2011.
- [19] Iswandar Widyatmoko, "Mechanistic-empirical mixture design for hot mix asphalt pavement recycling". Construction and Building Materials, Cilt 22, Sayfa 77-87, 2006.
- [20] Yiik Diew Wong, Darren Delai Sun, Dickson Lai, “Value-added utilisation of recycled concrete in hot-mix asphalt”. Waste Management, 2006.
- [21] Rouzbeh Ghabchi, Dharamveer Singh, Musharraf Zaman, Qingyan Tian, “Application of asphalt-aggregates interfacial energies to evaluate”. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Sayı 104, Sayfa 29-38, 2013.
- [22] http://nevzatkirac.ogu.edu.tr/uploads/files/2015-04/1428639663_bitum-deneyleri.pdf
- [23] Türk Standardı, TS 118 EN 1426, ICS 75.140; 91.100.50, Nisan 2002.
- [24] <http://arastirmateknisyenleri.com/forum/showthread.php?tid=1245>
- [25] Türk Standardı, TS 120 EN 1427, ICS 75.140; 91.100.50, Nisan 2002.
- [26] <http://www.kalitekontrol.net/asfalt/asfalt-deneyleri.html>
- [27] Hugo M.R.D Silva, Joel R.M. Oliveira, Carlos M.G. Jesus. “are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving?”. Resources, Conservation and Recycling, 2011.
- [28] Roberts, F.L., Engelbrecht, J.C. ve Kennedy, T.W. “Use of Foamed Asphalt for Cold, Recycled Mixtures”. Res. Report 252-3. Center for Transportation Research, University of Texas, Austin, Aug. 1983.
- [29] Peter Stephanos, Jorge E. Pagán-Ortiz, “Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt”. U.S. Department of Transportation, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KUYUCU, Hülya
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.02.1994 Konya
Medeni hali : Bekar
Telefon : 05349528443
Faks : -
E-mail : hulya.kuyucu.hlk@gmail.com

Eğitim

| Derece | Adı | İl | İlçe | Bitirme Yılı |
|---------------|-----------------------------|-------|---------|----------------|
| Lise | Cemil Keleşoğlu Lisesi | Konya | Karatay | 2012 |
| Lisans | KTO Karatay Üniversitesi | Konya | Karatay | 2017 |
| Yüksek Lisans | KTO Karatay Üniversitesi | Konya | Karatay | Halen Devam |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|------------|--|------------------|
| 2017-Halen | Öztaşoğlu Hafr. Nakl. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. | İnşaat Mühendisi |

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Kuyucu, H., Demir, V., Geyikli, M.S., Çıtakoğlu, H., “Trend Analysis of Turkey Temperatures”. 1 st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Proceedings, November 2-4, 2017, Tokat, Turkey.

Demir, V., Çıtakoğlu, H., Geyikli, M.S., Kuyucu, H., “Estimation of Digital Elevation Model by Artificial Intelligence Methods”. 1 st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Proceedings, November 2-4, 2017, Tokat, Turkey.