

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**IRAK KARAYOLLARI İÇİN TAGUCHI YÖNTEMİ
KULLANARAK GERİ KAZANIM ASFALT MALZEMELERİ
İLE BİNDER TABAKASI TASARIMI**

HUDA ABDULEHSAN DHANNOON

**Danışman
Prof. Dr. Mesut TİĞDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2017**



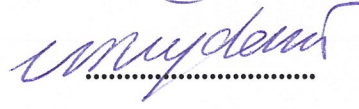
© 2017 [HUDA ABDULEHSAN DHANNOON]

TEZ ONAYI

HUDA ABDULEHSAN DHANNOON tarafından hazırlanan " **Irak Karayolları İçin Taguchi Yöntemi Kullanarak Geri Kazanım Asfalt Malzemeleri ile Binder Tabakası Tasarımı** "adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ş. Figen KALYONCUOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Cahit GÜRER
Afyon Kocatepe Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

HUDA ABDULEHSAN DHANNOON



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
1.2. Bitümlü Bağlayıcılar ve Bitümlü Karışımlar	9
1.2.1. Bitümlü bağlayıcılar	9
1.2.1.1 Katran	9
1.2.1.2. Asfalt	9
1.2.1.3. Doğal asfaltlar	9
1.2.1.4. Yapay asfaltlar (rafineri asfaltları)	10
1.3. Bitümlü Karışımlar	11
1.3.1. Asfaltlar	11
1.3.2. Asfalt betonu	12
1.3.3. Makadamlar	12
1.4. Bitümlü karışımlardan beklenen özellikler	12
1.4.1. Stabilité	13
1.4.2. Durabilite (dayanıklılık)	13
1.4.3. Geçirimsizlik	14
1.4.4. İşlenebilirlik	14
1.4.5. Esneklik	15
1.4.6. Yorulma mukavemeti	15
1.4.7. Kayma direnci	16
1.5. Bitüm Özelliklerinin Performansa Etkileri	16
1.5.1. Bitümün ısıya duyarlılığı	17
1.5.2. Viskozitenin bitümün performans özelliklerine etkisi	17
1.5.3. Kohezyonun bitümün performans özelliklerine etkisi	18
1.5.4. Adezyonun bitümün performans özelliklerine etkisi	18
1.6. Geri dönüşüm	19
1.6.1. Giriş	19
1.6.2. Neden Geri Dönüşüm	19
1.6.3. Geri Dönüşümün Faydaları	20
1.6.4. Geri Dönüşüm Tekniği Gelişim Süreci	21
1.6.5. Dünyada Geri Dönüşüm	22
1.6.6. Kazınmış Asfalt Kaplamadaki Bitüm Oranı	23
1.6.6.1. Agregada şeklindeki asfalt atığı	24
1.6.7. Geri Dönüşüm İçin Sağlanması Gereken Şartlar	26
1.7. ASFALT GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ VE STRATEJİLERİ	27
1.7.1. Asfalt Geri Dönüşüm Stratejileri	27
1.7.2. Asfalt Geri Dönüşüm Yöntemleri	28
1.7.2.1. Soğuk düzeltme	28
1.7.2.2. Sıcak geri dönüşüm	30
1.7.2.2.1. Sıcak geri dönüşüm	30
1.7.2.3. Yerinde sıcak geri dönüşüm	31
1.7.2.3.1. Sıcak yerinde geri dönüşüm avantajları şunlardır:	32

1.7.2.4. Yerinde soğuk geri dönüşüm.....	33
1.7.2.4.1. Soğuk geri dönüşüm	34
1.7.2.5. Tam derinlikten geri kazanma	35
1.7.3. Asfaltta Geri Dönüşüm	39
1.7.3.1. Kaplamanın kazılması	39
1.7.3.2. Kazılan malzemenin depolanması.....	39
1.7.3.3. Kazılan malzemenin yeniden kırılması	40
1.7.4. Geri dönüşüm asfaltın üretilmesi	40
1.8. Araştırmanın Amacı.....	41
2. KAYNAK ÖZETLERİ	42
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	45
3.1. Malzeme ve Cihazlar	45
3.1.1. Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan agrega	45
3.1.1.1. Binder tabakası için kaba ve ince agreganın özellikleri	45
3.1.2. Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan mineral filler	46
3.2. Bitüm	47
3.3. Geri Kazanılmış Asfalt Betonu Malzemesi (RAP).....	47
3.4. Cihazlar.....	47
3.5. Yöntem	47
3.6. RAP Gradasyonu ve Bitümlü Bağlayıcı Miktarının Tayini	48
3.6.1. Ekstraksiyon deneyi	48
3.7. Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	50
3.7.1. Birim hacim ağırlık deneyi	50
3.8. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler.....	52
3.8.1. Elek analizi.....	52
3.8.2. İri agrega için özgül ağırlık deneyi	53
3.8.3. İnce agrega için özgül ağırlık deneyi	55
3.8.4. Mineral filler zahiri özgül ağırlığının tayini	57
3.8.4.1. Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılacak agrega gradasyonunun belirlenmesi.....	58
3.9. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler	60
3.9.1. Los Angeles (Aşınma) deneyi.....	60
3.10. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	61
3.10.1 Bitümlü bağlayıcılar penetrasyon deneyi (TS 118 EN 1426)	61
3.10.2. Bitümlü bağlayıcılar-yumuşama noktası tayini-halka ve bilye metodu (TS 120 EN 1427- ASTM D36)	63
3.10.3. Özgül ağırlık deneyi.....	64
3.11. Deney tasarımı	65
3.11.1. Taguchi yöntemi	66
3.11.2 Deney tasarımı	67
3.11.3. Tam faktöriyel tasarım	69
3.12. Marshall Stabilite Deney Numunelerinin Hazırlanması	73
3.12.1 Marshall stabilite deneyi (ASTM D-1559)	77
3.12.2. Kaplama karışım hesapları için gerekli bağıntılar	77
3.12.3. Agrega efektif özgül ağırlığının tayini.....	77
3.12.4. Kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesinin hesaplanması	78
3.12.5. Farklı bitüm miktarlarında hazırlanan karışımın maksimum özgül ağırlığının tayini (Dt)	78
3.12.6. Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki boşluk hacmi yüzdesi	79

3.12.8 Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki hava boşluğu (vh) ve asfaltla dolu boşluk oranı (vf) yüzdesinin hesaplanması	80
3.12.9. Optimum bitüm yüzdesi belirlenmesi	81
3.13. Geri Kazanılmış Asfalt Betonu Malzemesi Kullanılan Marshall Stabilite Deney Numunelerinin Hazırlanması	81
3.13.1. Deneyin yapılışı	82
3.15. İndirekt Çekme Mukavemeti	84
3.16. Yapay Sinir Ağları (YSA)	87
3.17 Biyolojik Sinir Ağı Hücresi	87
3.18 Yapay Sinir Ağı Hücresi (YSA)	88
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	90
4.1. Ekstraksiyon Deneylerinden Elde Edilen Araştırma Bulguları	90
4.2. Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesinin (RAP) Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deney Bulguları	91
4.3.1. Numunelerde kullanılacak agrega gradasyonu	92
4.3.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Deneyi	94
4.3.3. Los Angeles (aşınma) deneyi sonuçları	96
4.4. Bitüm Özellikleri	97
4.5. Optimum Bitüm Yüzdesi	100
4.6. Sıcak Karışımın İçerisine Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesin (RAP) İlave Edildiğinde Yapılan Deney Bulguları	106
4.7 Sıcak Karışımın İçerisine RAP İlave Edildiğinde İndirekt Çekme Deney Bulguları	116
4.8 Deney Sonuçlarının Modellenmesi	120
4.8.1 İstatistiksel modelleme	120
4.8.2 Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modelli	123
4.9 Stabilite Verilerinin YSA İle Tahmini	123
4.10. Stabilite İçin. YSA Modeli Sonuçlarının Gerçek Veriler İle Karşılaştırılması	125
4.11. Akma Verilerinin YSA İle Tahmini	127
4.12. İndirekt Çekme Verileri İle YSA İle Tahmini (Model 3)	131
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	135
5.1. Sonuçlar	135
5.2.Öneriler	137
KAYNAKÇA	139
EKLER	145
Ek.1 Çizelge. % 7 G1 Rap geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	146
Ek.2. Çizelge. % 14 G1 Rap Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	147
Ek.3. Çizelge. % 21 G1 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	148
Ek.4. Çizelge. % 28 G1 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	149
Ek.5. Çizelge. % 7 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	150
Ek.6. Çizelge. % 14 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	151
Ek.7. Çizelge. % 21 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	152

Ek.8. Çizelge A.3. % 28 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	153
Ek.9. Çizelge. % 7 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	154
Ek.10. Çizelge. % 14 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	155
Ek.11. Çizelge. % 21 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	156
Ek.12. Çizelge. % 28 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	157
Ek.13. Çizelge. % 7 G4 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	158
Ek.14. Çizelge. % 14 G4 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	159
Ek.15. Çizelge. % 21 G4 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	160
Ek.16. Çizelge. % 28 RAP G4 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	161
Ek.17. Çizelge. % 7 RAP G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	162
Ek.18. Çizelge. % 14 RAP G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	163
Ek.19. Çizelge. % 21 RAP /G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	164
Ek.19. Çizelge. %28 RAP G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.	165
Ek.21. Yöntemlerin Sonuçları Stabilite İçin.....	167
Ek.21. Yöntemlerin Sonuçları Stabilite İçin (Devam).....	168
Ek.22. Yöntemlerin Sonuçları Akım İçin	169
Ek.22. Yöntemlerin Sonuçları Akım İçin (Devam).....	170
ÖZGEÇMİŞ	171

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

IRAK KARAYOLLARI İÇİN TAGUCHI YÖNTEMİ KULLANARAK GERİ KAZANIM ASFALT MALZEMELERİ İLE BİNDER TABAKASI TASARIMI

HUDA ABDOLEHSAN DHANNOON

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mesut TİĞDEMİR

Dünyada ve ülkemizde çok önemli yeri olan atık geri dönüşümü günümüzde ihtiyaç değil zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle % 96 oranlarında agrega içeren asfalt geri dönüşümü için hem doğal kaynakların korunması bitüm kullanımını azaltarak cari açığı bir miktar olsun düşürmek büyük önem kazanmıştır. Dış ülkelerde yapılan çalışmalar geri dönüşüm çalışmalarını kanun ve yönetmelik olarak zorunlu kılarken, birçok açıdan uygulayıcılara teşvik ve destek de vermektedir, Irak bu konuda henüz çok yenidir bu yüzden konu ile ilgili uygulama ve araştırmaların artırılması şarttır.

Bu çalışmada Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) numunelerinin içerisine çeşitli oranlarda geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi (RAP) ilave edilerek, Stabilite, Akma ve İndirekt Çekme (ITS) dayanımları incelenmiştir. Öncelikle binder tabakası için optimum bitüm miktarı Marshall metodu ile bulunmuş ve daha sonra optimum bitüm içeriğinde hazırlanan asfalt betonu numunelerine % 7 ile % 28 oranlarında RAP ilave edilmiştir. Bunun yanında RAP ilave edilmemiş asfalt betonu numuneler de teste tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Test sonuçları RAP ilave edilmiş BSK numunelerinin stabilite, akma ve İndirekt Çekme Deneyi (ITS) yönünden Irak şartnamesindeki limitler içerisinde binder tabakasında kullanılabileceğini göstermiştir. Deney tasarımı Taguchi tasarım yöntemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimler : Geri Dönüşüm, Stabilite, Akma Dayanımları, İndirekt Çekme Deneyi, Bozulmuş Asfalt Kaplama Malzemesi, Agrega Geri Dönüşümü, Bitüm Geri Dönüşümü

2017, 171 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE BINDER LAYER DESIGN WITH RECYCLING OF ASPHALT PAVEMENT MATERIALS USING THE TAGUCHI METHOD FOR IRAQ HIGH WAYS

HUDA ABDULEHSAN DHANNOON

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

Supervisor: Prof. Dr. Mesut TİĞDEMİR

Waste recycling, which has a very important place both in the world and in our country, has become not a necessity but an obligation nowadays. Especially for the asphalt recycling that contains 96 % aggregate, it has become of great importance both to protect natural resources and to reduce current deficit somewhat by decreasing the purchase and use of bitumen. While studies conducted in foreign countries oblige recycling as law and regulations, they also encourage and support practitioners in a lot of ways; our country is still new on this issue, thus applications and researches must be increased.

In this study, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) were used in Hot Mix Asphalt (HMA) samples, stability and flow resistance and Indirect Tensile Test (ITS) of HMA samples were investigated. Initially, Binder optimum quantity of bitumen for layer was determined by Marshall Stability test method and then RAP, 7 to 28 % in terms of total asphalt concrete samples weight were added to HMA samples at the predefined optimum bitumen content. Besides, control samples were performed and compared with the RAP added samples. Test results show that Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) can be used in wearing course as an additive in accordance with Iraq General specification limits. In the experimental design Taguchi design will be used.

Keywords: Recycling, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Stability and Flow Strength and Indirect Tensile Test, Impaired Asphalt Pavement Material

2017, 171 pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca sürekli ilgi ve desteğini esirgemeyen ve her konuda kendimi geliştirmemde katkıları olan sayın danışman hocam Prof. Dr. Mesut TİĞDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında; güçlerini arkamda hissettiğim annem ve 18 yıllık eğitimin hayatımın içinde; 31 senelik yaşamımın her anında bana destek vermekten kaçınmayan, yılgınlığımda arkamdan itici güç olan, sadece çalışkanlığı değil; her özelliği ile örnek almaktan gurur duyduğum sevgili babama, aynı zamanda bu zor günlerde yanımda olarak yaşadığım sıkıntıları gidermeye çalışan, benim için her türlü fedakarlığı yaparak bugünlere gelmemi sağlayan, hayattaki başarılarımın en önemli destekçisi olan aileme de sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunmayı bir borç biliyorum.

HUDA ABDDULEHSAN DHANNOON
İSPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Bir asfalt geri dönüşüm santrali	2
Şekil 1.2. Tipik bir yol üstyapı kesiti ve gerilme dağılımı	4
Şekil 1.3. Üstyapının hizmet kabiliyeti eğrisi ve rehabilitasyon alternatiflerinin etkisi.....	4
Şekil 1.4. Performans ölçümü ile zaman arasındaki ilişkisi.....	5
Şekil 1.5. Üstyapı iyileştirme yöntemleri.....	5
Şekil 1.6. (A), (B). Geri dönüşüm adayı bir kaplama	6
Şekil 1.7. Aşınma tabakası uygulaması	7
Şekil 1.8. Plent-miks temel uygulaması	8
Şekil 1.9. Yol yapım ve bakım ile ilgili enerji tüketimi	21
Şekil 1.10. Amerika’da geri dönüşüm uygulama dağılım yüzdeleri.....	22
Şekil 1.11. Kazılmış RAP malzemesi	24
Şekil 1.12. Kaba RAP malzemesi	24
Şekil 1.13. RAP karışımı.....	27
Şekil 1.14. Asfalt kazıma makinesi.....	29
Şekil 1.15. Döküm aşaması	32
Şekil 1.16. Yerleşim aşaması	32
Şekil 1.17. Soğuk yerinde geri dönüşüm katarı	34
Şekil 1.18. Tam derinlikli geri dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme.....	36
Şekil 1.19. Tam derinlikli geri dönüşümde kırma sıkıştırma ve şekillendirme	36
Şekil 1.20. Tam derinlikli geri dönüşümde rutubetlendirme ve silindiraj	37
Şekil 1.21. Tam derinlikli geri dönüşümde izolasyon ve son tabaka uygulaması	37
Şekil 1.22. RAP malzemesi depolama	39
Şekil 1.23. (A), (B) RAP için kırma ve eleme işlemek	40
Şekil 3.1. Ekstraksiyon deneyi için örnekleme aşamaları	49
Şekil 3.2. Ekstraksiyon deneyi uygulanma aşamaları	50
Şekil 3.3. Birim hacim ağırlık deneyi	51
Şekil 3.4. Elek cihazı.....	52
Şekil 3.5. Özgül ağırlık deneyi için normal iri agregaların tartılması.....	54
Şekil 3.6. Özgül ağırlık deneyi için RAP malzemesinin ekstraksiyon kalıntısı iri agregaların tartılması.....	54
Şekil 3.7. Bez üzerine yayılarak agrega daneleri	54
Şekil 3.8. İnce agrega için özgül ağırlık deney adımları.....	56
Şekil 3.9. Mineral filler için zahiri özgül ağırlık deney adımları.....	58
Şekil 3.10. Los Angeles aşınma deneyinde kullanılan cihaz	61
Şekil 3.11. Penetrasyon deney cihazı	62
Şekil 3.12. Yumuşama noktası cihazı	64
Şekil 3.13. Bilye ve halkalar	64
Şekil 3.14. Marshall briket numuneleri hazırlanmasının aşamaları	75
Şekil 3.15. Marshall deneyi uygulanma aşamaları	76
Şekil 3.16. Marshall deneyi uygulanma aşamaları	76
Şekil 3.17. RAP malzemesi kullanılan Marshall briket numuneleri hazırlanmasının aşamaları	83
Şekil 3.18. İndirekt çekme deneyi uygulanma aşamaları.....	86
Şekil 3.19. İndirekt çekme deneyi uygulanma aşamaları.....	86
Şekil 3.20. Bir nöron hücresi şematik gösterimi	88
Şekil 3.21. Yapay sinir hücresi	89

Şekil 4.1. Binder tabakası Seçilen gradasyon eğrisi.	94
Şekil 4.2. Karışımın Pratik özgül ağırlık Dp-% bitüm ilişkisi	101
Şekil 4.3. Karışımın stabilite-% bitüm ilişkisi	102
Şekil 4.4. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi-bitüm ilişkisi	103
Şekil 4.5. Karışımındaki hava boşluğu - bitüm ilişkisi	104
Şekil 4.6. Agregalar arası boşluk yüzdesi (% VMA) - bitüm ilişkisi.....	104
Şekil 4.7. Karışımın akma değeri-bitüm ilişkisi.....	105
Şekil 4.8. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (3,7%) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği	107
Şekil 4.9. Karışımın içerisine (%0 - %28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (4,2%) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği	108
Şekil 4.10. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,7) ilave edildiğinde Marshall akma sonuç grafiği	108
Şekil 4.11. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,2) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği.....	109
Şekil 4.12. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,7) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği.....	110
Şekil 4.13. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 3,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği....	110
Şekil 4.14. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,2) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği....	111
Şekil 4.15. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği....	111
Şekil 4.16. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,2) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği....	112
Şekil 4.17. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği....	113
Şekil 4.18. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 3,7-4,2-4,7-5,2 -5,7) ilave edildiğinde Marshall Pratik özgül ağırlık (Dp) sonuç grafiği	114
Şekil 4.19. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 3,7-4,2-4,7-5,2-5,7) ilave edildiğinde Marshall Boşluk (Vh) sonuç grafiği	115
Şekil 4.20. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve g1,g2,g3,g4,g5 ve bitüm yüzdesi (% 3,7-4,2-4,7-5,2-5,7) ilave edildiğinde Marshall Asfaltla dolu boşluk (Vf) sonuç grafiği	116
Şekil 4.21. % 0 RAP Çekme Mukavemeti Oranı (TSR) değerleri.....	119
Şekil 4.22. %7 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri.....	119
Şekil 4.23. %14 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri.....	119
Şekil 4.24. % 21 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri.....	120
Şekil 4.25. % 28 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri.....	120
Şekil 4.26. Excelde Stabilite Sonuçlarının Modellenmesi	121
Şekil 4.27. Stabilite için gerçek veriler ile excel tahmini ilişki grafiği.....	121
Şekil 4.28. Excelde Akma Sonuçlarının Modellenmesi.....	121
Şekil 4.29. Akma için gerçek veriler ile excel tahmini ilişki grafiği	122
Şekil 4.31. İndirekt çekme için gerçek veriler ile excel tahmini ilişki grafiği	123
Şekil 4.33. Eğitim verileri için stabilite sonuçları ve YSA sonuçları dağılımı	124
Şekil 4.34. Test verileri için stabilite sonuçlarının modellenmesi	125
Şekil 4.35. Gerçek veriler stabilite için ve modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması.....	125

Şekil 4.36. Stabilite için gerçek veriler ile ysa tahmini ilişki grafiği	126
Şekil 4.37. Stabilite için test verileri için regresyon grafiği	126
Şekil 4.38. YSA modeli ile % RAP ve % bitüm değerlerinin stabiliteye etki grafiği	127
Şekil 4.39. Eğitim verileri için akma sonuçlarının modellenmesi	128
Şekil 4.40. Eğitim verileri için akma sonuçları ve ysa sonuçları dağılımı	128
Şekil 4.41. Test verileri için akma sonuçlarının modellenmesi	129
Şekil 4.42. Akma için gerçek veriler ve excel modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması	129
Şekil 4.43. Akma için gerçek veriler ile YSA tahmini ilişki grafiği	130
Şekil 4.44. Akma test verileri için regresyon grafiği	130
Şekil 4.45. YSA modeli ile % RAP ve % bitüm değerlerinin akmaya etki grafiği ..	131
Şekil 4.46. Eğitim verileri indirekt çekme için sonuçlarının modellenmesi	131
Şekil 4.47. Eğitim verileri için indirekt çekme sonuçları ve YSA sonuçları dağılımı	132
Şekil 4.48 Test verileri için İndirekt çekme sonuçlarının modellenmesi	132
Şekil 4.49. İndirekt çekme için gerçek verileri ve modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması	133
Şekil 4.50. İndirekt çekme için gerçek veriler ile YSA tahmini ilişki grafiği	133
Şekil 4.51. İndirekt çekme için test verileri regresyon grafiği	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Düzgünsüzlük (IRI) değerlerine göre yol durumunun sınıflandırılması, bakım-onarımda öncelik sıralaması	3
Çizelge 1.2. Kaplama sınıfı bitümlerin özellikleri	11
Çizelge 1.3. Avrupa ve diğer bazı ülkelerde kazınan asfalt kaplamaların değerlendirilmesi.	25
Çizelge 1.4. Geri kazanım metodu seçim kılavuzu	38
Çizelge 3.1. Kaba agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri	46
Çizelge 3.2. İnce agreganın özellikleri	46
Çizelge 3.4. Mineral fillerin gradasyon limitleri	47
Çizelge 3.5. Binder tabakası için gradasyon limitleri (Irak şartnamesine göre)	59
Çizelge 3.6. Deney faktörleri ve seviyeleri	68
Çizelge 3.7. Taguchi L25 deney tasarımı	69
Çizelge 3.8. Tam faktöryel deney tasarımı	70
Çizelge 3.9. Marshall metodu ile Binder tabakası tasarım kriterleri (Irak Karayolları Şartnamesi)	82
Çizelge 4.1. Ekstraksiyon sonrası bitüm oranı	90
Çizelge 4.2. Ekstraksiyon sonrası elek analizleri	91
Çizelge 4.3. Kazınmış asfalt kaplama malzemesinin (RAP) birim hacim ağırlık değeri veri çizelgesi.	92
Çizelge 4.4. Agreganın granülometrisi (Irak binder gradasyonu şartnamesine göre)	93
Çizelge 4.5. Seçilen granülometri	93
Çizelge 4.6. Çalışmada agrega olarak kullanılan iri ve ince kireçtaşı ve mineral fillerin malzemesinin özellikleri.	95
Çizelge 4.7. Çalışmada agrega olarak kullanılan kazanılmış asfaltın malzemesinden ekstraksiyon sonrası elde edilen iri ve ince kireçtaşı malzemesinin özellikleri (RAP)	96
Çizelge 4.8. Normal agregaların kireçtaşı Los Angeles deneyi sonuç tablosu	97
Çizelge 4.9. Ekstraksiyon kalıntısının agregalarının Los Angeles deneyi sonuç tablosu	97
Çizelge 4.10. B 50/70 asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri	97
Çizelge 4.11. Karışımındaki bitümün penetrasyonunun hesaplanması	98
Çizelge 4.12. Karışımındaki bitümün yumuşama noktası değerinin hesaplanması	99
Çizelge 4.13. Binder tabakası için Marshall Metodu dizayn değerleri	101
Çizelge 4.14. Optimum bitüm değerine göre dizayn verileri	106
Çizelge 4.15. Çekme Mukavemeti Oranı (TSR) deney sonuçları	118

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	Amerikan Devlet Otoyolları ve Resmi Taşımacılık Birliği.
AC	Asfalt Çimentosu.
ASTM	Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu.
ARRA	Asfalt Geri Dönüşüm ve İyileştirme Birliği.
CCPR	Soğuk Plentte Geri Dönüşüm.
CIR	Soğuk Yerde Geri Dönüşüm.
DT	Kaplama Karışımının Maksimum Özgöl Ağırlığı.
Dp	Sıkıştırılmış Karışımın Hacim Özgöl Ağırlığı.
HRA	Sıcak Silindirlenmiş Asfalt.
ITS	İndirekt Çekme Mukavemeti.
Ip	Penetrasyon İndisi.
I _{RaB}	Yumuşama Noktası.
MC	Orta Kür Olan Sıvı Petrol Asfaltları.
PCI	Pavement Condition Index / Kaplama Durum İndeksi
VMA	Agregalar Arasında Boşluk Değeri.
Vh	Sıkıştırılmış Kaplama Karışımındaki Hava Boşluğu.
Vf	Asfalt Dolu Boşluk Oranı.
PSI	Servis Kabiliyet İndeksi .
TSI _{Pt}	Son Servis İndeksi .
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım .
TMA	Taş Mastik Asfalt .
PMB	Polimer Modifiye Bitümlü .
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi .
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
EAPA	European Asphalt Pavement Association .
KAK	Kazınmış Asfalt Kaplama .
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement .
CP	Soğuk Düzeltme
HIR	Sıcak Yerde Geri Dönüşüm
CR	Soğuk Geri Dönüşüm
FDR	Tam Derinlikten Geri Kazanma
GAT	Granüler Alt Temel
PMT	Plent Mix Temel

1.GİRİŞ

Ülkelerin hızla artan nüfusu, buna bağlı olarak ekonomi ve sanayinin gelişmesi sonucunda kullanılan malzemenin artması aynı zamanda atık madde miktarında artışa neden olmaktadır. Atıkların çevreye zarar vermeden kontrol edilmesi ve ekonomiye kazandırılması için geri dönüşüm günümüzde gerekli hale gelmiştir.

Asfalt kaplamaların faydalı ömrü, trafik hacmi, çevre ve iklim koşulları, taban zemini taşıma gücü, kullanılan malzemelerin kalitesi, drenaj sistemlerinin etkinliği ve yapım kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Zaman içinde bozulan yol üstyapısı bakım ve onarım faaliyetleri ile iyileştirilir. Buna rağmen trafik, çevre ve iklim koşulları altında bozulmalar artarak yol üstyapılarında büyük çaplı onarımlar gerektirebilir. Bu aşamada mevcut yol üstyapısının bozulan kesimlerinden kazılarak elde edilen malzemenin yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım imalatında kullanılması, kaynaklarımızın ekonomik açıdan doğru bir şekilde kullanılması açısından son derece önemlidir. Bu durumda kazılmış eski BSK tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitümlü bağlayıcı ve agreganın belirli işlemlerden sonra yeniden yol yapımında kullanılması maliyetleri azaltacağı gibi, çevrenin korunması açısından da son derece önemlidir. Bununla birlikte, hem agrega rezervlerinin hızla tükenmesi, hem de çevre problemlerinin de daha da önem kazanacak olması ile, önümüzdeki 5-10 yıl içinde atık malzemelerin yol yapımında yeniden kullanılması zorunluluğu ile karşı karşıya kalınacaktır. Ne yazık ki, ülkemizde şu an için yaygın olarak kullanılmayan fakat Avrupa'daki bir çok ülkede ve Amerika'da sıkça kullanılan geri dönüşüm uygulamalarından birisi de asfalt karışımların geri dönüşümüdür.

Son yıllarda petrol ürünlerinin fiyatlarındaki büyük artış, kaliteli agrega temininin güç olması asfalt kaplamalardaki malzemelerin yeniden değerlendirilmesine olan ilgiyi oldukça arttırmıştır. Kazılmış asfalt kaplamaların yeniden kullanılması (Recycling) tekniği yeni bir teknik değildir. Geçmiş 25-30 yıl geriye dayanır. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde özellikle Almanya ve Fransa'da yaygın olarak geri kazanılmış asfalt kaplama karışım teknikleri uygulanmaktadır. Günümüzde asfalt kaplamaların kazılması sonucu elde edilen geri kazanım malzemelerinin yeni yapılacak kaplama tabakasındaki kullanım oranları, geliştirilen teknik ve uygulama

yöntemleri sayesinde % 80'e varan oranlara çıkabilmektedir. (Güngör, vd, 2008). Bir asfalt geri dönüşüm santrali Şekil 1.1. ile gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Bir asfalt geri dönüşüm santrali (Anonim 1)

Karayolu üstyapıları esnek ve rijit olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Esnek üstyapı kaplama tabakalarında bağlayıcı olarak bitüm kullanılırken rijit üstyapılarda çimento esaslı bağlayıcılar kullanılmaktadır. Esnek üstyapılar 20 yıllık süre için projelendirilmekte ayrıca her 5 senede bir kaplamanın yenilenmesi gerektiği öngörülmektedir.

Kaplamanın uygulama süresince üzerinden geçen trafiğe konforlu bir şekilde hizmet edebilme özelliği servis yeteneği olarak isimlendirilmektedir. Karayollarında servis yeteneği, (0 ila 5) arasında değişen servis yeteneği indeksi ile ifade edilmekte olup karayolu üstyapılarının projelendirilmesinde baz alınan servis yeteneği, Çizelge 1.1.'de görüldüğü gibi En düzgün yüzey için (5) değeri verilir, (0) değeri ise en düşük servis kabiliyeti derecesini gösterir (Yoder, 1975).

Türkiye'de ve Irak'ta en çok kullanılan üstyapı türü olan esnek üstyapılar ile yapılan karayollarında son servis kabiliyeti indeksi değerine ulaşıldığında kaplamadaki bozulmanın derecesine göre rehabilitasyon yapılmakta veya mevcut kaplama kaldırılarak yeniden yapım gerçekleştirilmektedir. Esnek ve rijit kaplamalı üstyapılar olmak üzere iki farklı tür altında incelenir. Esnek yol üst yapıları asfalt kaplamalı yol

üst yapıları olarak da adlandırılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan üstyapı çeşidi asfalt kaplamalı üstyapılardır. Asfalt kaplamaların hareketli dingil yüklerinin oluşturduğu gerilmelere karşı koyabilecek şekilde inşa edilmesi gerekir. Aksi durumda kısa zaman içerisinde asfalt kaplamalarda çeşitli bozulmalar meydana gelebilir. Asfalt kaplamalı yol üst yapıları farklı özelliklere sahip tabakalardan meydana gelmektedir.

Çizelge 1.1. Düzgünsüzlük (IRI) değerlerine göre yol durumunun sınıflandırılması, bakım-onarımda öncelik sıralaması (Yoder, 1975)

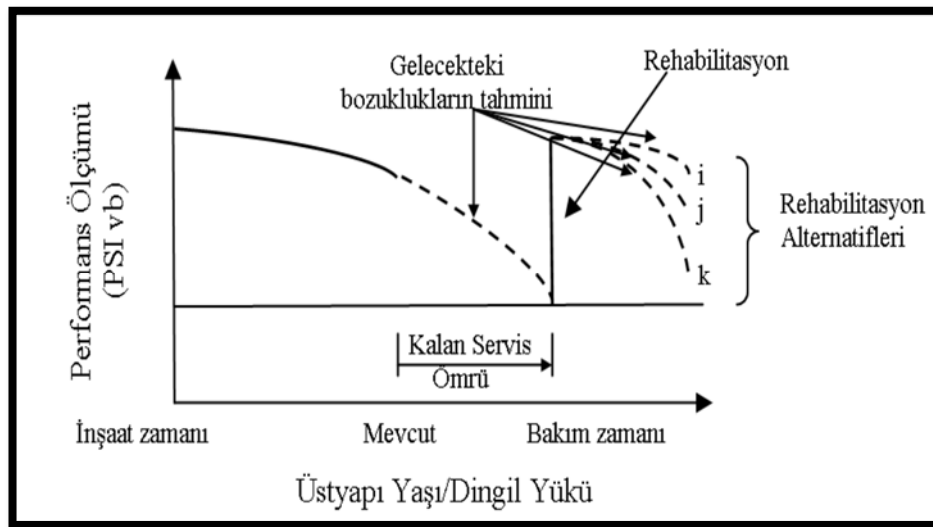
Düzgün-süzlük Değeri RN	Düzgün-süzlük Değeri (IRI-m/km)	Düzgün-süzlük Sınıflaması	Bakım-Onarım Öncelik Sıralaması	Kaplamanın IRI Değerlerine Göre Yapılması Gerekenler
4,0 – 5,0	0 – 0,71	Çok İyi	6	Yeni veya yeni sayılabilen kaplama; bir süre için iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
3,0 – 4,0	0,72 – 1,11	İyi	5	İyi durumdaki kaplama; yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
2,5 – 3,0	1,12 – 1,58	Orta İyi	4	Trafiğe bağlı olarak yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duyacaktır.
2,0 – 2,5	1,59 – 1,80	Orta	3	Mevcut kullanılabilirliğini sürdürebilmek için yakında onarım gerektirir.
1,5 – 2,0	1,81 – 2,13	Kötü	2	Eski hizmet kabiliyetini geri kazanabilmesi için hemen iyileştirme gerekir.
0,0 – 1,5	> 2,13	Çok Kötü	1	Eski hizmet kabiliyetini geri kazanabilmesi için hemen iyileştirme gerekir.

Asfalt kaplamayı oluşturan en üst tabaka kaplama tabakasıdır. Kaplama tabakası, aşınma ve binder tabakası olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bazı durumlarda asfalt kaplama yalnızca aşınma tabakasından oluşmaktadır. Binder tabakasının altında sırasıyla temel, alt temel ve taban zemini tabakaları bulunmaktadır. Bu durum Şekil 1.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Tipik bir yol üstyapı kesiti ve gerilme dağılımı (Çetin, 2007)

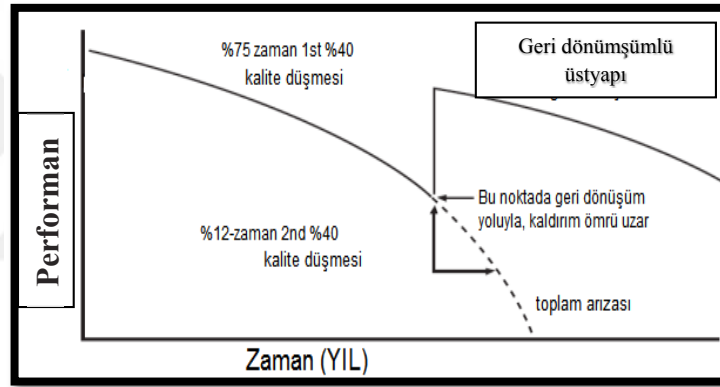
Çalışmalar göstermiştir ki yeni bir üstyapı yaklaşık olarak (4.2-4.5) arasında PSI değerine sahiptir. Trafik yüklerinin kümülatif toplamı üstyapının bozulmasına neden olur. Şekil 1.3. ile gösterilmiştir. Buna paralel olarak servis indeksi azalır ve kaplamanın yapısında meydana gelen bozulmalar sonucu zamanla azalmaktadır ve (TSI) değerine ulaşır. Kaplamanın kabul edilebilir en düşük konfor seviyesi son servis yeteneği indeksi olarak isimlendirilmektedir. Bu değer yüksek trafik hacmine sahip otoyol veya devlet yollarında 2,5 il yollarında ise 2 olarak seçilmektedir. Servis yeteneği indeksinin son servis yeteneği indeksi değerine inmesi, kaplamada rehabilitasyon veya yeniden yapım gerektiğini ifade etmektedir.



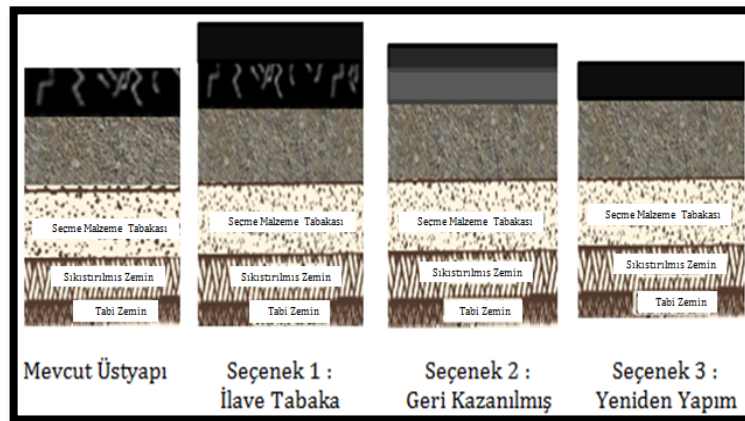
Şekil 1.3. Üstyapının hizmet kabiliyeti eğrisi ve rehabilitasyon alternatiflerinin etkisi (Sağlık ve Güngör, 2008)

Son servis kabiliyeti indeksi değerine ulaşıldığında kaplamadaki bozulmanın derecesine göre rehabilitasyon yapılmakta veya mevcut kaplama kaldırılarak yeniden yapım gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.4’de görüldüğü gibi esnek üstyapılar ile yapılan karayollarında üstyapıda bozulma meydana geldiğinde ve son servis kabiliyeti indeksi değerine ulaşıldığında üç farklı yöntemle üstyapının iyileştirilmesi mümkündür (Windhagen, 2010) (Şekil 1.5). Şekil 1.6’da Geri dönüşüm adayı bir kaplama ile gösterilmiştir

1. Bozulmuş üstyapı üzerine ilave tabaka yapılmasıdır.
2. Üstyapı tabakalarında geri dönüşüm yapılarak ince bir ilave kaplama tabakası yapılmasıdır.
3. Bozulmuş tabakaların kaldırılarak yeni malzemelerle tekrar yapılmasıdır.



Şekil 1.4. Performans ölçümü ile zaman arasındaki ilişkisi (U.S.DOT, 2001)



Şekil 1.5. Üstyapı iyileştirme yöntemleri (Windhagen, 2010)



(A)



(B)

Şekil 1.6. (A), (B). Geri dönüşüm adayı bir kaplama (U.S.DOT,2001)

Aşınma tabakası; esnek üstyapı kaplamalarında binder tabakası üzerine gelen ve üst yapının en üst tabakasını oluşturan bitümlü sıcak karışım tabakasıdır. Trafik yüklerine direk maruz kalmakta ve diğer tabakalara yük iletimini sağlayan ilk tabaka özelliğini taşımaktadır. Aşınma tabakası ülkemizde kalınlığı genellikle 5 cm uygulanmaktadır. Aşınma tabakası yapımında kullanılan malzemenin, ince malzeme ve bitüm oranı diğer tabakalara oranla daha yoğun olarak bulunmaktadır. Taşıt yüklerinden kaynaklanan kuvvet etkilerini alt tabakalara ileterek kuvvetin yayılmasını sağlar. Gelişmiş ülkelerde aşınma tabakası için hazırlanan sıcak karışımda modifiye bitüm kullanılmaktadır. Karışımda bulunan yüksek bitüm yüzdesi sayesinde yük altında deformasyon oluşumu son derece azalmaktadır. Bu sayede kaplamada tekerlek izi oluşumları azalmakta kaplamanın ömrü uzamaktadır (TÜPRAS,2012). Binder tabakası; karayolu üstyapısında aşınma tabakası altına, bitümlü temel Veya plent-miks temel tabakaları üzerine uygulanır. Binder tabakası ülkemiz karayollarında trafiğe

bağlı olarak 6-8 cm kalınlıklarda yapılmaktadır. Binder tabakasını oluşturan malzemeler boyutu aşınma tabakasına oranla kalın malzemeler yoğunluk bakımından biraz daha fazladır. Binder tabakası aşınma tabakasından gelen yükleri daha geniş zeminlere yayar ve yükün etkisini azaltarak alt tabakalara iletir. Tabakadaki bitüm oranı ise aşınma tabakasında kullanılan bitüm oranına göre daha azdır (10-17). Aşınma tabakası uygulaması Şekil 1.7. ile gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Aşınma tabakası uygulaması (KGM, Mart 2012)

Bitümlü temel tabakası; PMT (Plent-miks temel) temel tabakası ile binder tabakası arasında uygulanan esnek üstyapı tabakasıdır trafik durumuna göre 8-18 cm kalınlıklarda yapılmaktadır. Agregat boyutları en az üç ayrı dane grubunun düzgün derecelendirme ve karışım dizaynını uygun bitümlü bağlayıcı eklenmesi ile bir plentte karıştırılması ile oluşmaktadır. Bitümlü temel tabakasında kullanılan agregat boyutları, diğer esnek üstyapı tabakalarına oranla biraz daha büyüktür. Bitümlü temel tabakasında bitüm oranı ise aşınma ve binder tabakasına göre daha azdır (Öztürk Ö.,2007). Temel tabakası; taban veya alttemel tabakası üzerine tatbik edilen tabakadır. Temel olarak birden fazla tabaka yapılabilmektedir. Temel tabakasının en önemli görevi kaplama tabakalarından gelecek yükleri taban zeminine güvenli ve düzgün bir şekilde aktararak kaplamaya destek sağlamaktır. Temel tabakası dreneje ve don etkisine ek bir koruma sağlayabilmelidir. Genel olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Plent miks temel tabakası; yol tabakalarında granüler alttemel (GAT) tabakasından önce uygulanan D_{max} 37,5 mm olan malzemeden üretilen BSK altında bulunan tabakadır. PMT temel yapımında en az üç ayrı tane boyutu grubunun uygun oranda su

ile bir plentte karıştırılması hazırlanır. PMT hazırlanması sırasında kaba agregaların kullanılması, trafik yüklerinden oluşacak deformasyonların önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Malzemenin özelliğine ve sıkıştırma makinelerinin özelliklerine göre sıkıştırılan tabaka kalınlığı 20 cm den az olarak kontrol mühendisinin onayı ile yapılabilir. (AGÜB,2014) Mevcut yol düzeninin bozulması kullanılacak asfalt miktarının artmasına neden olmaktadır. Bunun önlenmesi için asfalt öncesi zemin plentmiks temel malzemesi ile düzgün hale getirilmelidir (KGM, 2012). Plent-miks temel uygulaması. Şekil 1.8. ile gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Plent-miks temel uygulaması (Adalet, 2015)

Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf veya kırma taş ile ince malzeme kullanılarak şartnamesinde istenen gradasyon limitleri içinde hazırlanan malzemenin su ile karıştırılması ve şartnamesine göre hazırlanmış yeterli taban ve alttemel tabakası üzerine bir veya birkaç tabaka halinde ve projesine uygun olarak serilip sıkıştırılan tabakadır (Akgün, 2011).

Alt temel tabakası; temel tabakası ve doğal zemin arasında kalan tabaka alt temel tabakasıdır. Alt temel tabakası gerekli durumlarda temel tabakasını taşımak için yapılan, taban yüzeyine serilen diğer tabakalara göre daha az kaliteli malzemeden oluşmuş sıkıştırılmış granüler malzemedir. Gradasyon limitleri daha geniş aralıktadır. Maksimum dane boyutunun daha büyük olmasından dolayı ekonomiktir (Akgün, 2011).

1.2. Bitümlü Bağlayıcılar ve Bitümlü Karışımlar

1.2.1. Bitümlü bağlayıcılar

Bitümlü bağlayıcılar esas olarak katran ve asfalt olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Asfaltlar da doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar (rafineri asfaltları) olarak iki gruba ayrılabilir (Orhan, 2005).

1.2.1.1 Katran

Katran, başlıca odunun veya kömürün kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılması sonucu elde edilir. Bu halde katrana ham katran denir. Katran, yapısındaki bitüm oranının düşük olması, sıcaklığa karşı duyarlılığının yüksek olması ve sağlık açısından tehlike yaratması nedenlerinden dolayı esnek kaplama yolların inşaatında doğrudan kullanılmaz. Katran-bitüm karışımları olarak genelde yüzeysel kaplamalarda kullanılır. Taşıtlardan sızan yağ ve mazot dökülmelerinden oluşan olumsuz etkilere karşı bitümden daha dirençli olduğundan taşıtların park vb. yerlerde kullanılır.

1.2.1.2. Asfalt

Asfalt, doğal kökenli veya petrolün işlenmesinden elde edilen bitümlerdir. Rengi, koyu kahverengi ile siyah arasında değişen bağlayıcı bir malzemedir. Genellikle, petrolün damıtılmasından elde edilen rafineri asfaltı yol yapımında en yaygın kullanılanıdır. Ayrıca, doğada mineral maddeler ile karışmış durumda doğal olarak da bulunabilmektedir (Kurtis, 2003).

1.2.1.3. Doğal asfaltlar

Doğal asfaltlar, genellikle tabiatta mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar ve en önemlisi Trinidad göl asfaltıdır. Gölden kazılan malzeme üzerlerinde bir takım işlemler yapıldıktan sonra yol inşaatında kullanılabilir (Kurtis, 2003). Ancak, yol kaplamasında ve endüstride bu tür asfaltlar çok az kullanılmaktadır. Bu asfaltlar çeşitli şekillerde yol kaplamasında ve endüstride çok az kullanılmaktadır. Bu kullanım

genelde, bitümlü sıcak karışımı modifiye etmek için karışıma katkı maddesi olarak katılmaları şeklindedir. Karışımlarda plastik deformasyonlara karşı dayanımı ve bitüm agrega adezyonunu artırmaktadır (Orhan, 2005). Doğal asfaltlar, mastik asfalt, poröz asfalt ve asfalt betonu yapımında kullanılabilmektedir.

1.2.1.4. Yapay asfaltlar (rafineri asfaltları)

Yapay asfaltlar rafineride petrolün distilasyonu ile elde edilmekte olup, genel olarak üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlar:

1. Asfalt çimentosu (AC)
2. Sıvı petrol asfaltları (SPA)
3. Asfalt emülsiyonları

Asfalt çimentoları doğal asfaltın işlenmesi veya petrolün rafine edilmesi ile elde edilirler. Katı asfalt veya penetrasyon asfaltları olarak da nitelendirilirler ve penetrasyon veya viskozite değerlerine göre sınıflandırılırlar.

Sıvı petrol asfaltları, ısıtılmış bitümlere benzin, gazyağı veya bakiye yağ karıştırılması ile üretilir. Benzin ilavesi ile çabuk kür olan (RC), gazyağı ilavesi ile orta hızda kür olan (MC), bakiye yağ ilavesi ile yavaş kür olan (SC) sıvı petrol asfaltları elde edilir.

Asfalt emülsiyonları ise bitüm küreciklerinin su içinde dağıtılmasından oluşur. Bitümün su içerisinde dağıtılması ile üretilen emülsiyon uzun ömürlü olmaz, kısa bir süre sonra bitüm kürecikleri birbirine yapışarak sudan ayrılır.

Emülgatörler kullanılarak bitüm küreciklerinin birbiri ile birleşmeleri önlenir ve emülgatör cinsine bağlı olarak anyonik ve katyonik asfalt emülsiyonları üretilir. Asfalt uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan kaplama sınıfı bitümlerin özellikleri Çizelge 1.2.'de verilmiştir. Bu bitümlerden B40/50, B50/60 ve B60/70 sınıfı bitümler sıcak karışım asfalt imalatında kullanılırlar.

Çizelge 1.2. Kaplama sınıfı bitümlerin özellikleri (Irak Şartnamesi, 2003).

Özellik	Bitüm sınıfı		
	B 40/50	B 50/60	B 60/70
Penetrasyon 25 °C’da 0,1mm	40-50	50-60	60-70
Yumuşama noktası 25°C 50cm/min,cm	>100	>100	>100
Parlama noktası °C min	>232	>232	>232
Çözünürlük % min	>99	>99	>99
Kalıcı penetrasyon % min.	>55	>53	>52
Yumuşama noktası °C min	>25	>40	>50

1.3. Bitümlü Karışımlar

Agregalar ile bitüm, istenilen düzeyde bir kaplama karışımı elde etmek amacıyla bünyesinde ilgili tüm bileşen malzemelerin oranlandığı, karıştırıldığı ve gerektiğinde ısıtıldığı bir karışım tesisinde (plant) bir araya getirilmektedirler. Bitümlü karışımlar geniş bir yelpazeyi kapsamakta olup, genel anlamda asfaltlar ve makadamlar olarak ikiye ayırmak mümkündür.

1.3.1. Asfaltlar

Asfaltlar, 230°C’ye ulaşan sıcaklıklarda asfalt plantlerinde hazırlanan, mineral agrega, filler ve bitümden oluşan karışımlardır. Sıcak silindirilmiş asfalt (HRA) ve mastik asfalt en çok kullanılan asfalt tiplerine örnek olarak verilebilir. Mastik asfalt, bitüm ve ince agrega ile belli bir oranda iri agrega harcından oluşmaktadır. Mastik asfalt içerisindeki yüksek ince agrega yüzdesi, düşük sürtünme katsayısı ile birlikte pürüzsüz bir yüzey özelliği sağlar. Sıcak silindirilmiş asfalt esas olarak, otoyollar, ana arterler ve kent içi caddeleri gibi yoğun trafiğin olduğu yerlerde kullanılan yüksek kaliteli bir malzemedir. Sıcak silindirilmiş asfaltın en önemli özelliği kesintili gradasyona sahip olması, yani çok az miktarda orta boyutlu (2,36 mm ila 10 mm arası) agrega içermesi, bunun yanında da ince agrega, dolgu maddesi (filler) ve iri agregadan oluşmasıdır (Çubuk, 2007).

1.3.2. Asfalt betonu

Asfalt betonu karışımlar, sürekli gradasyona sahip, daha yüksek oranda ve daha sert bir bitüm ile daha az iri agrega ve daha fazla ince agrega ile filler içermektedir. Asfalt betonu, mukavemet ve stabilitesini öncelikle agregaların kenetlenmesinden, bir miktarını da ince agrega-filler-bitüm harcından sağlamaktadır.

1.3.3. Makadamlar

Bitümlü makadamların bu yüzyılda kullanımı yaygınlaşmaya başlanmış olup, hem iri agrega hem de daha küçük boyutlu agregalar ve bitüm kullanılarak hazırlanan bir malzemedir. Filler ise bağlayıcı maddenin viskozitesini artırmak suretiyle bitümün akmasını engellemek ve bitüm ile birlikte küçük boşlukların doldurulmasına yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır.

Kaplanmış makadam türleri karışımda kullanılan bitüm miktarı ve karışımın gradasyonuna göre çeşitlilik arz etmektedir. Bunlardan bazıları açık ve orta gradasyonlu makadamlar, yoğun ve üniform gradasyonlu makadamlar, ince gradasyonlu makadamlardır.

1.4. Bitümlü karışımlardan beklenen özellikler

Hazırlanan ve yol üzerine serilen bitümlü karışımın bazı özellikleri sağlaması istenmektedir. Bunlar,

- Stabilite
- Durabilite (dayanıklılık)
- Geçirimsizlik
- İşlenebilirlik
- Esneklik
- Yorulma mukavemeti
- Kayma direnci

olarak belirtilebilir (Önal ve Kahramangil, 1993).

1.4.1.Stabilite

Bitümlü sıcak karışımın stabilitesi, kaplamanın trafik yükleri altında oluşacak deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak adlandırılır. Yani karışımın stabilitesi trafik yüklerini karşılayabilecek kadar yüksek olmalıdır.

Stabilite ne kadar düşük olur ise trafik altında oluşabilecek deformasyonlar da o kadar fazla olacaktır. Stabil bir kaplama, tekrarlı trafik yükleri altında orjinal şeklini ve düzgünlülüğünü sürdürebilmektedir. Stabil olmayan bir kaplamada ise tekerlek izleri ve sökümler oluşmaktadır (Kurtis, 2003). Ancak, çok düşük stabilite ne kadar istenmez ise çok yüksek stabilite de istenilmemektedir. Çünkü çok yüksek stabilitede esneklik kaybolacağından gerilmeler sonucu çatlaklar oluşmaktadır.

Karışımın stabilitesi, agregalar arasındaki içsel sürtünmeye ve bağlayıcının kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arasındaki içsel sürtünme agregaların şekilleri ve yüzey yapısı ile ilgili olup, bağlayıcının kohezyonu ise, yükleme hızı arttıkça, bitümlü bağlayıcının viskozitesi arttıkça ya da kaplamanın sıcaklığı düştükçe artar. Stabilite, karışımdaki bitüm miktarı belli bir seviyeye kadar artırıldıkça artar ve bu seviyenin üstüne çıkıldığında bitüm agregalar üzerinde çok kalın bir film oluşturur ve malzemeler arasındaki içsel etkileşimin düşmesine neden olur

1.4.2. Durabilite (dayanıklılık)

Bir karışımın durabilitesi, karışımın orjinal özelliklerini koruyabilme özelliğidir. Yani, yük ve çevre şartlarına karşı direnç gösterme kabiliyetidir. Asfalt, sert ve kırılgan hale geldiği zaman üzerine gelen gerilmelere çatlamadan karşı koyamadığında ve agrega yüzeyinden bitümün ayrılması sonucunda karışımın dayanımının düşmesiyle yük taşıma özellikleri azalır (Skok ve Chadbourn, 2000). Karışımdaki bağlayıcı miktarı arttıkça durabilite artmaktadır çünkü agregaları saran bitüm film kalınlığı ne kadar yüksek olursa, geçirimsizlik o kadar artacaktır ve dolayısıyla yaşlanma direnci artacaktır. Ancak, yapılan bir çalışmada, bitüm film kalınlığının belli bir değerin altında yaşlanmanın etkisinin arttığı, bu değerin üzerindeki değerlerde ise yaşlanmanın etkisinin değişmediği belirtilmiştir (Şengöz ve Agar, 2005).

Karışımın yüzeyde tekerlerin sıkıştırdığı suyun etkisinde oluşan aşınma ise, karışımdaki boşluklar su ve hava girişine izin verecek kadar büyükse ve giren havadan dolayı karışım sertleşiyorsa, karışımda kullanılan bitüm ve agrega kimyasal olarak uyumlu değil ise ve bitüm film kalınlığı, karışımı tekerleklerin ve suyun aşındırıcı etkisinden koruyacak miktarda değil ise yüzeydeki aşınma olayı artmaktadır (Skok ve Chadbourn, 2000).

Karışımda ince agrega miktarı fazla olduğunda bitüm, bu ince agregaları emmektedir. Kaba agregalar ise yeterince bitüm ile sarılamamaktadır ve bu da durabilite sorununu yaratmaktadır. Bitüm film kalınlığı arttıkça durabilite artmaktadır. Ancak, bitümlü karışımın kusmasına neden olmadan, yeterli bir bitüm film kalınlığına ulaşmak için uygun seviyede mineral agregalar arasında boşluk değeri (VMA) temin edilmesi gerekmektedir.

1.4.3. Geçirimsizlik

Geçirimsizlik, karışımın içine hava ve su girişine karşı koyma direncidir ve karışımın içindeki hava boşluklarının oranı ile ilişkili olup, boşluk oranı ve bu boşlukların birbiri ile irtibatı geçirimsizlik için önemlidir. Burada boşlukların boyutu, boşlukların birbiri ile bağlantı seviyeleri ve bunların kaplama yüzeyine ulaşp ulaşmadıkları su ve hava girişini etkiler. Geçirimsizlik arttıkça hava ve suyun etkisi ile bitümün yaşlanması hızlanır ve soyulma mukavemeti azalır (Tunç, 2004).

1.4.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karışımın karıştırılması ve sıkıştırılması sırasında karşılaşılan kolaylığın ölçüsü olarak ifade edilebilir ve karışımda kullanılan agrega granülometresi, agrega cinsi, bağlayıcı oranı, bağlayıcı sertliği, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı, karıştırma ve sıkıştırma sırasındaki bağlayıcı viskozitesi gibi birçok etkene bağlıdır (Çelik, 2004). İşlenebilirlik, karışım dizayn parametrelerinde, agregaların özellikleri ve bitümün viskozitesinde yapılacak değişikliklerle yükseltilebilir. Genelde her bitümlü sıcak karışımda, bitüm oranı arttıkça karışımın işlenebilirlik özelliğinin de arttığı ve bitüm viskozitesinin karışımın işlenebilirliğine oldukça etkisi olduğu bilinmektedir (Çelik, 2004). Yapılan bazı araştırmalarda, bitümlü karışımlar ne kadar çok işlenebilir

ise o kadar kolay sıkıştırılabilmekte, kolay sıkışan karışımların da trafik altında o kadar çabuk oluklanmakta olduğu tespit edilmiştir (Uluçaylı, 1998).

1.4.5. Esneklik

Esneklik, kaplamanın çatlamadan, eğilebilme ve temel ile alttemel tabakalarının uzun dönemli oturmalarına uyum sağlayabilme yeteneğini ifade etmektedir. Farklı oturmalar veya aşırı oturmalar kaplamaya yansıtacağından çatlamalar meydana gelecektir.

Genel olarak, bir kaplama karışımının esnekliği, yüksek bitüm içeriği ve nispeten açık boşluklu (gradasyonlu) agregalar ile geliştirilebilmektedir. Ancak, kaplamanın esnekliği artarsa stabilitesinin azalacağı, düşük esnekliğinde aşırı çatlamalar ile parçalanmalara neden olacağı göz önünde bulundurulmalıdır (Tunç, 2004).

1.4.6. Yorulma mukavemeti

Bir karışımın yorulma mukavemeti, trafik yüklerinden kaynaklanan tekrarlı eğilmelere çatlamadan karşı koyabilme direnci olarak ifade edilebilir. Farklı yüklerden dolayı oluşacak farklı gerilmelerin yaratacağı farklı deformasyonlar karşısındaki yorulmanın tesbiti stabil gerilme veya sabit deformasyon altında yapılmalıdır.

Kaplamanın yeterli sıkışması yorulma mukavemetini artıran önemli bir unsurdur. Çünkü bitümlü kaplamanın rijitliği arttıkça yorulma mukavemeti de artmaktadır. Yetersiz sıkıştırma veya dizayn hatalarından dolayı yüksek hava boşluğuna sahip kaplamaların yorulma ömürleri düşüktür. Kaplamanın, yaşlanması sonucu sertleşmesi de, yorulmaya mukavemetini azaltmaktadır (Harold ve Paul, 1995).

Kaplamada meydana gelen yorulma çatlağı yavaş yavaş ve çok sayıda tekrerrür eden trafik yükleri altında oluşmaktadır. Kaplama kalınlığının yetersiz olması ve zayıf alt tabakalar olması halinde ağır yük altında aşırı deformasyon kaplama altındaki yanal çekme gerilmelerine neden olacağından yorulma çatlakları oluşacaktır. Bu nedenle, kalın ve iyi destek alan kaplamalar ve çekme mukavemeti yüksek malzeme kullanmak yorulma çatlaklarını önleyecektir. Dolayısıyla yumuşak bitüm sert bitüme nazaran

daha iyi yorulma özelliğine sahiptir. Karışımın rijitliği, yoğunluğu, kohezyonu, filler ve bitüm miktarı arttıkça yorulma mukavemeti önemli ölçüde artmakta ve yorulma çatlakları azalabilmektedir (Tunç, 2004).

1.4.7. Kayma direnci

Kayma direnci, kaplama ile teker arasında gerekli sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Agregalar arası içsel sürtünme ve bitümün kohezyonu ve viskozluğu kayma mukavemetini belirler. Uygun bitüm içerikleri ve pürüzlü yüzey dokusuna sahip agregalar, yüksek kayma direncine katkıda bulunan faktörlerdir.

Sıkıştırılmış kaplama içindeki boşlukları dolduracak derecede bitümce zengin olan karışımlar, kismaya yatkındırlar. Kusma olayı ise bitümlü malzemenin trafik etkisi, iklim şartları ve uygulama hatalarından dolayı kaplamanın yüzeyine çıkması ve burada tamamen bitümden oluşan bir film tabakasının oluşmasıdır (Kuloglu, 2004). Kusma olayı kaplama yüzeyini ıslatmasından dolayı kayma direncinin aşırı düşmesine neden olurlar.

1.5. Bitüm Özelliklerinin Performansa Etkileri

Mühendislikte kullanılan malzemeler yüke ve zamana bağlı olarak gerilme deformasyon yönünden üç gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar;

- Elastik malzemeler
- Viskoz malzemeler
- Visko-elastik malzemeler

Elastik malzemeler gerilmeye tabi tutulduklarında yükün miktarı ile doğru orantılı olarak deformasyon miktarı artar ve tatbik edilen gerilme ortadan kalktığında deformasyon da ortadan kalkar. Viskoz malzemeler de, gerilme tatbik edildiğinde deformasyon başlar ve gerilme tatbik edildiği sürece deformasyon yükün tatbik süresine bağlı olarak artar. Ancak, gerilme kalktığında deformasyon kalkmaz yani kalıcı deformasyon oluşmaktadır (Tunç, 2004). Viskoelastik malzemeler ise ne tam elastik ne de tam viskoz davranış gösterirler. Ayrıca hızlı yüklendiklerinde elastik davranış gösterirken yavaş yüklendiklerinde ise viskoz davranış gösterirler. Yükleme

hızının ne hızlı ne de yavaş olduğu durumlarda ise viskoz ve elastik davranışların bileşimi şeklinde davranırlar (Tunç, 2004). Bitüm viskoelastik malzeme olduğundan, sıcaklığa ve yükleme süresine bağlı olarak davranışları tam viskozdan elastik hale kadar değişiklik göstermektedir. Bu tip malzemeler yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) elastik, düşük yükleme hızlarında (yavaş ya da duran taşıtlar) viskoz, orta yükleme hızlarında ortak elastik ve viskoz davranış gösterirler.

1.5.1. Bitümün ısıya duyarlılığı

Bitümlü bağlayıcının sıcaklığa hassaslığının göstergesi penetrasyon indisi ile belirlenmekte olup, yumuşama noktası ve penetrasyon değerine bağlıdır. Penetrasyon indisi (I_p) aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır (TS 1081 EN 12591)

$$I_p = \frac{20 \cdot I_{RaB} + 500 \cdot \log p - 1952}{I_{RaB} - 50 \cdot \log + 120} \quad (1.1)$$

Burada;

I_{RaB} : Yumuşama noktası °C

P: 25 °C ‘daki penetrasyon, * 0,1 mm

Penetrasyon indisi, sıcaklık hassasiyeti yüksek olan bitümler için -3 civarında bir değer ile sıcaklık hassasiyeti düşük olan oksitlendirilmiş bitümler için +7 civarında bir aralıkta değişir (Whiteoak, 2004).

1.5.2. Viskozitenin bitümün performans özelliklerine etkisi

Viskozite, sıvının akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Akış karakteristiklerinin (kıvamlılığın) bir ölçüsüdür. Bu nedenle bitümün katıldıkları sıcak karışımların önemli özelliklerini (reolojik) etkilemektedir. Farklı hava sıcaklığı aralıklarında bitümün viskozitesi değişmektedir. Bu değişikliğin bitümlü kaplamada sebep olduğu sorunlar ise tekerlek izi, çatlak ve yorulma olarak karşımıza çıkmaktadır. Hizmet aşamasında

kaplama sıcaklığı yaklaşık, -25°C ile 0°C arasında iken, karışımın viskozitesi oldukça yüksektir ve bu sıcaklık aralığında düşük ısılardan dolayı, kaplamada düşük sıcaklık çatlakları oluşumu gözlenmektedir. Kaplama sıcaklığı yaklaşık 10°C ile 40°C arasında olduğunda, karışımın viskozitesi azalarak, karışım yumuşamaktadır.

Bu sıcaklık aralıklarındaki karışım, trafik yükü etkisi ile oluşan yorulma döngülerinin oluşumu artmaktadır. Kaplama sıcaklığı yaklaşık, 40°C de üstüne çıktığında ise karışımın viskozitesi daha da azalmakta ve kaplamada taşıtların etkilerinden dolayı tekerlek izi oluşumu hızlanmaktadır (Balta, 2004).

1.5.3.Kohezyonun bitümün performans özelliklerine etkisi

Bitümlü karışımın stabilitesi agregalar arasındaki içsel sürtünmeye ve bağlayıcının kohezyonuna bağlıdır. Kohezyon bir malzemenin kopmaya karşı koyan moleküller arası çekimi, içsel sürtünme veya içsel bağ olarak ifade edilmektedir. Bitümlerin kohezyon mukavemeti düşük ısıdaki duktiliteleri (sünme) ile karakterize edilmektedir. Duktilite standart bir kalıp içinde şekillendirilen bitüm numunesinin duktilite cihazı ile belli bir ısıda belirli bir hızla çekilerek sünmeye tabi tutulduğunda kopmanın olduğu uzunluk miktarıdır.

Kohezyon, yükleme hızı (trafik hızı) arttıkça, bitümlü bağlayıcının viskozitesi arttıkça yada kaplamanın sıcaklığı düştükçe artmaktadır (Kentucky, 1996).

1.5.4. Adezyonun bitümün performans özelliklerine etkisi

Bitümün adezyon özelliği bitümün kohezyon özelliğinden farklıdır. Fakat bitümlü kaplamaların kohezyon özelliği, bitümün agregaya yapışma yeteneğine yani bitümün adezyonuna bağlıdır. Bitümün adezyonu agregaya yapışabilme yeteneği olarak adlandırılırken, bitümün kohezyonu ise yük altında aynı cins malzeme içerisinde kopmadan uzayabilme yeteneğidir.

Esnek kaplamaların yüzeylerindeki kusurların büyük kısmı genellikle adezyon eksikliği veya bitümün soyulmasından kaynaklanmaktadır. Agregayı saran bitüm filmi bir takım etkenlerle birlikte su tarafından soyulmaya başlamakta ve trafiğin etkisiyle

de soyulma artmaktadır. Soyulmayı önleyici katkılar agrega ile bitüm arasındaki adezyonu artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Soyulmayı önleyici katkı maddesinin kullanılması halinde ıslak ortamda agrega yüzeyine yapışan bitüm küreciğinin temas açısı giderek artmakta yani bitüm küreciği agrega yüzeyine tamamen yapışarak güçlü bir adezyon oluşturmaktadır (Tunç, 2004).

1.6. Geri dönüşüm

1.6.1. Giriş

Bozulmuş veya eski asfalt kaplamalarının kazılarak yeni yapılacak bitümlü sıcak karışımlarla oluşturulan yollarda yeniden kullanılmasına geri kazanım adı verilmektedir (K.M. Muthen,1998). Trafik yükü ve çevre koşulları gibi nedenlerle ömürlerinin tamamlamış, bozulmuş asfalt kaplamaların bir kısmı, belirli işlemlerden geçerek yeniden kullanılabilir. Bozulmuş asfalt kaplamalar sıcak karışım olarak yeniden kullanılabileceği gibi soğuk karışım olarak da yeniden kullanılabilir (Maag ve Fager,1990).

1.6.2. Neden Geri Dönüşüm

Kazınan bozulmuş BSK tabakası tekrar kullanılarak milli kaynakların korunması sağlanırken birçok hammadde ve işletmeden doğan ekonomik kazanımlar elde edilir. Geri dönüşüm, yeni malzeme ihtiyacını azaltması doğal kaynakların korunması ve atık sahalarının oluşmaması açısından çevrenin korunmasını da sağlar. Yollardan kazınan asfaltın ve taşların doğaya bırakıldıklarında asfalt içeriğindeki petrolün yeraltı sularına karışarak oradan doğada yaşayan bitki ve hayvanlara geçerek tüm canlılara zarar vermektedir ve çevreye olan zararın maliyeti her şeyden büyük olmaktadır bu yüzden geri dönüşüm bilinci ve sistemi mutlaka şart olmalıdır.

Yollardaki uygulamalarda mevcut kaplamanın üzerine yeni kaplama yapılması halinde yansıma çatlaklarının önlenememesi, kot yükselmesi vb. sorunlar giderilebilir. Bilhassa, üstyapıda çatlak ve tekerlek izinde oturma şeklinde oluşmuş bozulmaları gidermekte kullanılabilecek bu metotta, kazıma derinliğinin, önceden, dikkatli bir çatlak etüdüyle belirlenmesi gerekir. Çatlaklı üstyapıda çatlakların hangi tabakaya

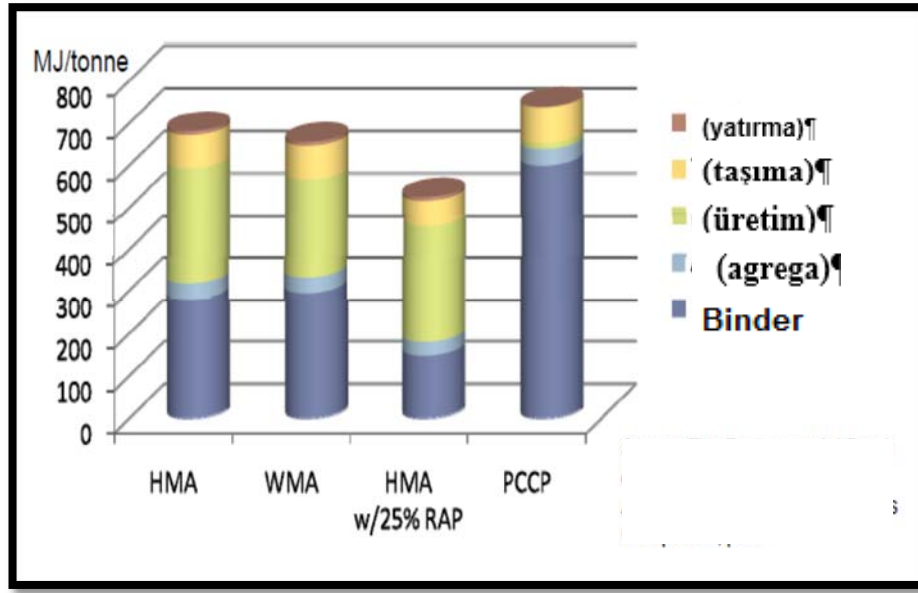
kadar devam ettiğini belirlemek için asfalt betonu kaplamanın yukarıdan aşağıya doğru her tabakası teker teker açılarak çatlağın hangi tabakaya kadar ilerlediği incelenir ve buna bağlı olarak kazıma derinliği saptanır.

Geri dönüşüm aynı zamanda mevcut kaplama yapısı üzerine kalın bir tabaka eklenmeksizin geri dönüştürülerek daha mukavim ve neredeyse kot farkı yaratmayan bir tabaka elde edilir. Geri dönüşüm, geleneksel yapım teknikleri karşılaştırıldığında büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir (K.M. Muthen,1998).

1.6.3. Geri Dönüşümün Faydaları

Bozulmuş asfalt kaplamaların kazılarak bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılması ile genel olarak aşağıdaki faydalar sağlanabilmektedir.

- 1.Yapım maliyetlerinin azaltılması: Geri dönüşüm ile yeniden yapım maliyetlerinin azaltılması sağlanmaktadır.
2. Geri dönüşüm, yeni malzeme ihtiyacını azaltarak doğal kaynakların korunması ve atık sahalarının oluşmaması açısından çevrenin korunmasına katkı sağlar.
3. Mevcut kaplamanın üzerine yeni kaplama yapılması halinde yansıma çatlaklarının önlenememesi, kot yükselmesi vb. sorunlar giderilebilir.
- 4.Mevcut kaplama yapısı üzerine kalın bir tabaka eklenmeksizin geri dönüştürülerek daha mukavim bir tabaka elde edilir.
- 5.Geri dönüşüm, geleneksel yapım teknikleriyle karşılaştırıldığında büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir.



Şekil 1.9. Yol yapım ve bakım ile ilgili enerji tüketimi (The Environmental Road, 2003).

Geri kazanılmış karışımların laboratuvar ve uygulama sonuçlarının değerlendirilmeleriyle elde edilen bilgi birikimi ve yeni gelişmelerin takibi ile geri dönüşümün en cazip rehabilitasyon tekniklerinden biri olmaya devam edecektir.

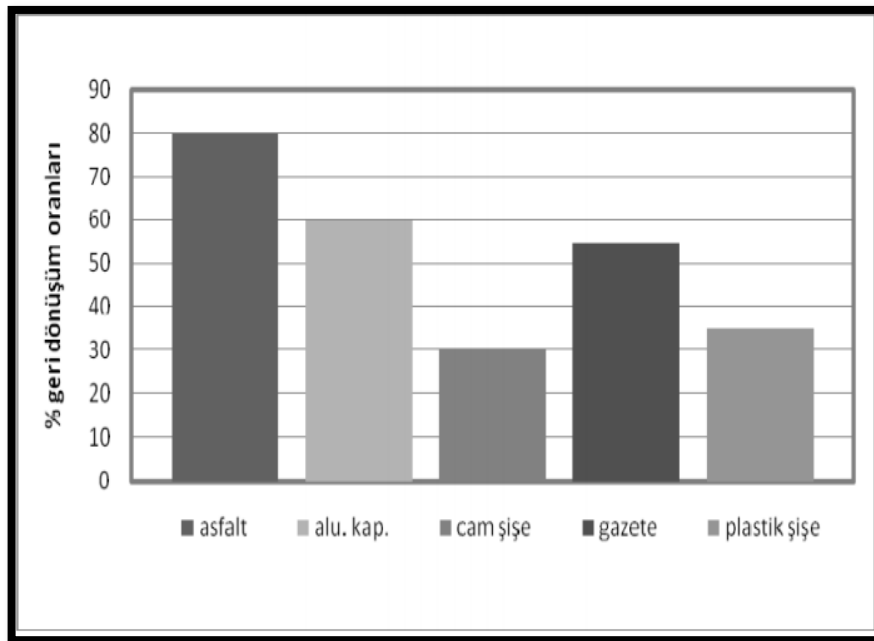
1.6.4. Geri Dönüşüm Tekniği Gelişim Süreci

Türkiyede yeni yaygınlaşan fakat dünyada en çok geri dönüşümü yapılan malzemelerin başında yer alan asfalt malzemesi, Türkiyede geri dönüşümü son yıllarda başlayan bir uygulama olmaktadır. Tekniğin geçmişi 25-30 yıl geriye dayanır ve en çok Avrupa ülkelerinde başta Almanya ve Fransa olmak üzere Amerika Birleşik Devletlerin'de geri kazanılmış asfalt kaplama karışım teknikleri uygulanmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü, Türkiye'de ilk bitümlü sıcak karışım tabakalarının geri dönüşümü uygulamasını 2007 yılında yapmıştır. Araştırmalar, geri kazanım çalışmalarına başlamadan önce kazılan asfaltın köy yolları veya başka tali yollarda kullanıldığını, ancak bir kısmını da döküm sahalarına döküldüğünü göstermiştir. ayrıca taban dolgu malzemesi, çukur kaplama veya çakıl yol ve park alanları kaplaması olarak da kullanılabilmektedir.

1.6.5. Dünyada Geri Dönüşüm

Bir çok ülkede doğal taşın olmaması ve taşıdığı açmanın Türkiye'deki kadar kolay olmaması diğer ülkelerde geri dönüşüm çalışmalarının önceden başlamasına neden olmuştur. Bu nedenle geri dönüşüm malzeme kullanımının önemli bir avantaj sağladığı ve bu konuda vergisel ve işlevsel anlamda da kolaylıklar tanınmıştır. Amerika'da 2001 yılında yapılan araştırmalara göre yaklaşık 232 milyon ton atık bulunmakta olup bunun kişi başına düşen maliyeti 4.5 pound (16.6 TL)'u bulmaktadır. Geri dönüşüm miktarı ise EPA (US Environmental Protection Agency) raporuna göre ülkede sadece bu atıkların % 30'u geri dönüştürülüyor yani 232 milyonun sadece 70 milyon tonu geri kullanıma kazandırılıyor. Amerika'da ki geri dönüşüm oranları ise malzemelerin türüne göre şöyle sıralayabiliriz;

- A. %70 Hurda Çelik
- B. %59 Alüminyum kutular
- C. %56 Kağıt ürünler
- D. %24 Plastik şişeler
- E. %29 Cam içecek kutuları



Şekil 1.10. Amerika'da geri dönüşüm uygulama dağılım yüzdeleri (Salta, 2010)

Araştırmalar Amerika'da 2.6 milyon km yolun % 94 nün asfalt ile kaplı olduğunu ve bunların her yıl yaklaşık 100 milyon tonunun % 80 'i yeni kaplama yapımında kullanılarak değerlendirilmektedir. Asfalt kaplamaların yeniden kullanımı yeni bir kavram değildir. Geri dönüştürme fikri ilk olarak Warren Brothers tarafından 1915'te dile getirilmiştir. Ancak 1970'lerin başında yaşanan petrol krizine kadar rağbet görmeyen bu fikir, asfalt ve enerji fiyatlarının hızla artmasıyla, karayolu inşaat maliyetlerini düşürmek için uygun bir metot olarak kabul grmştir. Bu metot ilk olarak Indiana'da 1971 yılında Elkhart County tarafından çalışılmıştır. Geri dönüştürülen malzemeler bitümlü kaplamalar için temel tabakası ve stabilize kaplamalar için alt temel tabakası olarak kullanılmıştır (Sargent, 1977).

1.6.6. Kazınmış Asfalt Kaplamadaki Bitüm Oranı

Eski asfalt kaplama içindeki bitüm oranı için belli bir standart belirtilmemiştir. Eski malzemenin özelliklerine, kullanılan tabakanın durumuna göre değişiklikler gösterdiği grlmştir.

Bitüm kullanım oranını belirlemede geri dönüşümde kullanılacak asfaltın kaç yıl önce serildiğinin ve asfaltın hangi hava ve trafik koşullarına maruz kaldığının büyük önemi vardır.  dört yıllık bir asfalt kaplama malzemesi ile on, on beş yıllık kaplamanın belirgin farklılıkları olacaktır.

Bu nedenle de için laboratuvar kısmı çok önemlidir. Hiçbir zaman geri dönüşüm malzeme kullandığımızda şu kadar bitüm kullanılır ve ya bitüm kullanımı şu kadar azalır denilemez. Net rakamlar için mutlaka laboratuvar çalışmalarına önem verilmelidir. Genel olarak RAP malzemesindeki bağlayıcı (bitüm) içeriği tipik olarak. şekil 1.11. ile gösterilmiştir. Kazılmış RAP malzemesi şekil 1.12. ile gösterilmiştir. Tipik işlenmiş (RAP).



Şekil 1.11. Kazılmış RAP malzemesi (Carter, T.)



Şekil 1.12. Kaba RAP malzemesi(NAPA,2011)

1.6.6.1. Agregada şeklindeki asfalt atığı

Agregada şeklinde kazılan asfalt kaplamaların geneli, ülkemizde; köy yolları, bozuk yollarda zemin malzemesi, dolgu malzemesi olarak yeniden kullanılmaktadır. Avrupa ve Asya ve Amerika ülkelerinde ise agregada şekilde kazılan asfalt kaplamaları tekrar asfalt fabrikalarında stoklanarak yeni yapılan asfalta % 20 oranında asfalt plentlerinin ek aparatları ve ek makinaları sayesinde karıştırılarak geri kazanılmaktadır. Peki neden

ülkemizde bu şekilde asfalt geri kazanılmıyor. Bunun nedeni kesinlikle teknoloji yetersizliği veya maddi imkansızlık değildir.

Ülkemiz için (Irak) tek bir sebep var. Bu konu için politikacılar ve yetkililerin ilgi eksikliği, karar vericilerin tecrübesizliyi

Çizelge 1.3. Avrupa ve diğer bazı ülkelerde kazınan asfalt kaplamaların değerlendirilmesi. Kaynak: Asfalt in 2011, EAPA (European Asphalt Pavement Association)

Ülke	Kazınmış asfalt (ton)	Kazınmış asfaltın geri kazanılan miktarı (%)				Geri kazanılm ış asfaltın toplam asfalt üretimin deki oranı (%)
		Sıcak ve Ilık geri dönüşüm	Yarı ılık geri dönüşüm	Soğuk geri dönüşüm	Bağlayıcısız tabakalar	
Belçika	1.500.000	65				50
Çek Cum.	1.500.000	14		35	15	10
Fransa	7.080.000	45				>30
Almany a	14.000.000	84			16	65
İtalya	11.000.000	20				30
Holland a	4.000.000	83		15		71
İspanya	1.350.000	73		10	17	8
İsveç	1.100.000	70	5	5	15	65
İsviçre	1.750.000	51	18	19	10	23
Türkiye *	2.809.000	23			77	11
ABD	71.400.000	84			5	72,5

1.6.7. Geri Dönüşüm İçin Sağlanması Gereken Şartlar

Asfalt sektöründe geri dönüşüm uygulayabilmek için iyi bir laboratuvara ve yeterli teknik eleman sahip olmak gereklidir. Yolun tasarım ve uygulama aşamasında tüm kontrolleri yapılmalı eksiklikler giderilmelidir. Özellikle yoldan kazınan asfaltın ne zaman serildiği ve dizayn hususları bilinmiyorsa geri dönüşümle alınan malzemenin tasarımında ve uygulamasında iyi bir laboratuvar ve kontrol sisteminin olması gerekir. Kazınmış asfalt kaplama malzemesinin gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı homojen olacaktır. Bu nedenle kazımda kullanılan makineler aynı tip ve özellikte kazınmış malzeme üretecek şekilde kazıma yapacaktır gradasyonu ve bitümlü bağlayıcı miktarı değiştiğinde karışım dizaynı tekrar hazırlanacaktır. Sıcak karışım hazırlamakta kullanılan, kazınmış asfalt kaplama malzemesinden günde en az bir kez numune alınarak bitüm miktarı ve gradasyonu belirlenecektir. Isıtılmış agregalar, kazınmış malzemeye de ısı transferi yapacağından, karışımın üniform bir sıcaklıkta olması için, agregalar gerekli sıcaklığa kadar ısıtılacaktır. Karışım hazırlamakta kullanılan plant; kazınmış asfalt kaplama malzemesini dizaynda belirtilen miktarda beslemek için gerekli donanımına sahip olacaktır. bahsedilmeyen diğer hususlar için kazınmış asfalt kaplaması ile hazırlanan karışım hangi tabakada kullanılacak ise, o tabakanın şartnamesine ait kısımlarda belirtilen esaslar geçerlidir RAP ile üretilen asfaltın kalite özellikleri geleneksel sıcak karışımlar ile benzer olmalıdır. RAP birkaç kaynaktan alındıysa stokların homojen olmasına dikkat edilmeli işlenmiş RAP kullanımı arttıkça örnek numuneden alınan test işlemleri de artırılmalıdır. Çoğu kaynak genel olarak RAP kullanım oranını % 25'i aşmayacak şekilde kullanılmasını tavsiye etmektedir.

Geri kazanılmış karışımı işlemek için herhangi bir özel tekniğe ihtiyaç yoktur. Ancak, kaplama (asfaltlama) personeli geri kazanılmış karışımın, tesisteki fazla ısınmadan koruması için kullanılmamış malzemeye (karışıma) göre daha düşük sıcaklıklarda dağıtılması gerektiğinden haberdar olmalıdır. Başarılı bir geri dönüştürme projesinin anahtar unsuru, kullanılacak malzemenin uygun değerlendirilmesi ve karakterizasyonudur. Örnekleme miktarı ve testin türü büyük ölçüde seçilen geri dönüştürme yöntemine bağlıdır. Şekil 1.13. ile gösterilmiştir .RAP karışımı temsil eden örnekler aşağıdakiler için test edilmelidir;

- Nem içeriği
- RAP 'in gradasyonu (derecesi)
- Asfalt bağlayıcı içeriği
- Düzeltilen asfalt bağlayıcı özellikleri
- Çakıl içeriği (yani derecelendirme, köşelilik)
- Mevcut karışımının hava boşluğu ve yoğunluk özellikleri
- Tam derinlik yenilemenin düşünüldüğü durumlarda, taban ve taban altı malzemeler
- Aşağıdaki başlıklar için örneklenmeli ve test edilmelidir;
- Nem içeriği
- Derecelendirme ve köşelilik
- Yoğrulabilirlik (plastisite) indeksi
- Kum eşdeğerliliği
- Materyal değerlendirmesinden elde edilen bilgiler mevcut kaplama yapısındaki
- eksikliklere işaret edecek ilave çakıl ihtiyacının belirlenmesine de yardımcı olmaktadır



Şekil 1.13. RAP karışımı (Huber,2010)

1.7. ASFALT GERİ DÖNÜŞİM YÖNTEMLERİ VE STRATEJİLERİ

1.7.1. Asfalt Geri Dönüşüm Stratejileri

Geri dönüşüm yönteminde genel olarak, bozulmuş aşınma tabakası veya gerekli ise, aşınma tabakasının altındaki tabakaların bir kısmı veya tamamı kazılır, elde edilen malzemeye dizaynla belirlenecek miktarda yeni agrega, bitümlü bağlayıcı ve zaman içerisinde sertleşmiş yaşlı bitümün viskozitesini düşürmek amacıyla katkı ilave edilir, elde edilen karışımdan istenilen kalınlıkta asfalt kaplama yapılarak geri dönüşüm uygulaması tamamlanmış olur.

1.7.2.Asfalt Geri Dönüşüm Yöntemleri

Kaplamanın iyileştirilmesi esnasında ısı kullanılıp kullanılmamasına göre, sıcak geri dönüşüm ve soğuk geri dönüşüm olarak da iki ana başlıktan söz edilebilir. Şekil 1.14. asfalt geri dönüşüm yöntemleri asfalt geri dönüşüm ve rehabilitasyon birliği beş farklı geri dönüşüm tekniği tarif etmektedir.

1. Soğuk düzeltme
2. Sıcak geri dönüşüm plente
3. yerinde Sıcak geri dönüşüm
4. Soğuk geri dönüşüm
5. Tam derinlikten geri kazanma

1.7.2.1. Soğuk düzeltme

Soğuk düzeltme mevcut kaplamanın istenilen derinlik, boykesit ve enine eğimde kontrollü olarak olduğu yerden kaldırılmasıdır. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan yüzey dokusu işlem biter bitmez yolun trafiğe açılmasına imkan verebildiği gibi, diğer asfalt geri dönüşüm yöntemlerinden biriyle müdahale edilebilmesine ya da mevcut tabaka kaldırıldıktan sonra temizlenip asfalt tabakalarının birbirine daha iyi yapışmasını sağlayan tack coat tabakası atıldıktan sonra standart sıcak karışım asfalt kaplama veya geri dönüşümlü asfalt tabakasıyla kaplanmasına izin verecek şekilde üç farklı çözüm yöntemi sunar. Soğuk düzeltme işleminde kullanılan kazıma makineleri kaplama yüzeyini istenen derinlikte ve enine eğimde kesebilen kendinden yürür ekipmanlardır. İşlem sırasında gerek makinede kullanılan parçaların olası yıpranma paylarını azaltmak, dolayısıyla servis ömrünü uzatmak, gerekse işlem sırasında ortaya çıkacak tozu kontrol edebilmek amacıyla su kullanılır. Gereken su, kesici uçların bulunduğu bölgeye çok sayıda enjektör aracılığıyla iletilmektedir. Son yıllarda üretilen tüm kazıma makinelerinde otomatik eğim kontrolü seçeneğiyle istenilen yüksek ve eğimde kazı yapmak çok kolay bir işleme dönüşmüştür. Uygulamalarda yolun bozulma derecesine göre en üstteki tabaka ya da tabakalar kaldırıldığı gibi tüm bitümlü tabakalarda kazma yapılarak yolun temel seviyesine ulaşılabilir (Şekil 1.14).

Soğuk düzeltme işlemi sırasında kazıyıcı tarafından yoldan sökülen asfalt kaplama malzemesi konveyörler aracılığıyla doğrudan kamyonlara yüklenerek sahadan uzaklaştırılır.



Şekil 1.14. Asfalt kazıma makinesi (Anonim 2)

Geri dönüştürülecek olan malzeme pek çok yerde değişik amaçlarla kullanılabilir bu çalışmanın konusu olan geri dönüşüm işlemlerinden soğuk plentte geri dönüşüm (CCPR) veya sıcak geri dönüşüm aşamalarından geçirilip yeni yapılacak asfalt karışımlarına katılabileceği gibi yol inşaatında temel gövdesini oluşturmada, hendek kaplamalarında, yol tamir işlerinde veya direkt olarak stabilize yol yapımında kullanılabilir. Soğuk düzeltme (CP) işleminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sürüş konforunu çok olumsuz etkileyen tekerlek izlerinin, bozulmuş kaplama yüzeylerinin ve /veya okside olmuş asfaltın kaldırılması.
2. Boyuna profil ve enine egimlerin istenildi gibi düzenlenmesi.
3. İsteniyorsa yolun yüzeysel drenajının yeniden modellenmesi.
4. İleriye yönelik olarak yolun yeniden yapımı ya da banket genişletilmesi gibi projelerin daha rahat uygulanabilmesi için yolun mevcut asfalt tabakalarının kaldırılması.
5. Yama ya da tamir işlerinde çatlaklı ya da bozuk kesimlerin sağlıklı şekilde kaldırılarak ön hazırlık yapılması.
6. Diğer yeniden yapım yöntemlerine göre daha az enerji tüketimi.
7. Kamuyu daha az rahatsız edip daha verimli çalışma.

1.7.2.2. Sıcak geri dönüşüm

Sıcak geri dönüşüm, hizmet ömrünü tamamlamış kaplamadan sökülen asfalt malzemesinin merkezi bir plente taşınarak yeni agrega, bitüm ve gerekirse özel katkı malzemeleriyle karıştırılmasıyla yapılan geri dönüşüm işlemidir. Özel tasarlanmış veya modifiye edilmiş harman tipi veya tambur tipi sıcak karışım plentleri geri kazanılmış karışımlar üretmek için kullanılabilir. Sıcak geri dönüşümde araziden sökülen malzeme soğuk bir şekilde plentin mikserine ilave edilebilir. Bu durumda atık malzemenin faydalanma oranı düşük olmaktadır. Özel plentlerin fiyatı yüksek olduğundan bu yeni teknoloji ülkemiz şartnamelerine soğuk besleme yöntemiyle girmiştir. Klasik yöntemlerde olduğu gibi RAP malzemeleri öğütme veya sökme ve kırma operasyonları ile elde edilebilir.

KGM teknik şartnamesi en fazla % 25 oranında atık malzemenin sıcak geri dönüşümde kullanılabileceğini belirtmiştir (Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013).

Geri kazanılmış bitümlü sıcak karışımlar için gençleştiriciler yoldan kazınarak elde edilen karışımdaki yaşlanmış bitümün kimyasal ve fiziksel özelliklerini modifiye ederek iyileştirmek için kullanılır. Kazınmış asfalt ile üretilerek yeniden serilen kaplamanın daha esnek olmasını sağlar. Plente veya yerinde hazırlanan ve kazılmış malzeme kullanılan her türlü bitümlü sıcak karışımda kullanılır. Agrega ile bitüm birbirine daha iyi yapışmasını sağlar, viskoziteyi düşürür ve antioksidan etkisi yaşlanma ile kaybedilen bitümün özelliklerini geri kazandırır.

1.7.2.2.1. Sıcak geri dönüşüm

- Yenilenemeyen kaynakları koruması
- Diğer geleneksel metotları ile karşılaştırıldığında enerji korumasını sağlamaktadır
- Geleneksel metotlarında ki doğal atık sorunlarının ortadan kalkması.

1.7.2.3. Yerinde sıcak geri dönüşüm

Sıcak yerinde geri dönüşümde katar olarak isimlendirilen birbiri ardına dizilen iş makineleriyle arazide geri dönüşüm işlemi gerçekleştirilmektedir. Sıcak yerinde geri dönüşüm yüzeysel geri dönüşüm, yeniden karıştırma ve yeniden kaplama olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilmektedir. Yüzeysel geri dönüşümde yüzey ısıtıcı taşıyan makinelerle ısıtılmakta ardından yerinden sökülme, gerekliyse geri dönüşüm katkı malzemesi ilave edilerek karıştırılmakta ve sıkıştırılmaktadır.

Bu tip geri dönüşüm genelde yeni yapılacak kaplama için temel elde edilmesi veya düşük trafik hacimli yollarda kaplama tabakası elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Yeniden karıştırma yönteminde mevcut kaplama ısıtılarak yumuşatılmakta ve kazılmakta ardından yeni agrega, yeni bitümlü bağlayıcı, katkı malzemesi ve/veya yeni hazırlanmış bitümlü sıcak karışım ile arazi ekipmanları ile karıştırılmaktadır. Homojen hale getirilen karışım tek bir tabaka halinde serilmekte ve sıkıştırılmaktadır. Bu tip geri dönüşüm yöntemi ile hazırlanan karışım genellikle aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır. Yeniden kaplama yönteminde yeni bitümlü sıcak karışım temel malzemesi ve yüzeysel geri dönüşüm veya yeniden karıştırma yöntemlerinden biri uygulanmış malzeme birlikte kullanılmaktadır.

Yöntemde yeni bitümlü sıcak karışım ve yüzeysel geri dönüşüm veya yeniden karıştırma yöntemlerinden biri uygulanmış malzeme birlikte sıkıştırılmaktadır. Yöntemde geri dönüşümü sağlanan malzeme sıkıştırılmadan yeni bitümlü sıcak karışım malzemesi uygulanmakta ve birlikte sıkıştırılmakta böylece her iki tabaka arasında bir bağ oluşması sağlanmaktadır. (Şekil 1.15). Döküm aşaması Şekil 1.16 ile gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Döküm aşaması (Anonim 4)



Şekil 1.16. Yerleşim aşaması (Salta, 2010)

1.7.2.3.1. Sıcak yerinde geri dönüşüm avantajları şunlardır:

- Yenilenemeyen kaynakları koruması
- Diğer Geleneksel metotları ile karşılaştırıldığında enerji korumasını sağlamaktadır
- Rehabilitasyon metotları ile karşılaştırıldığında kamyonların taşımalarını azaltılmaktadır.
- Geleneksel metotlarında ki doğal atık sorunları ortadan kalkması.
- Karayolların genişliğini tam çözmek veya sadece sürüş şeridi.
- Yüzey düzensizlikleri ve çatlakları kesilip ve doldurulması.
- Sürüş kalitesini geliştirmektedir.

- Tekerlek ızleri çukurları ve topakları yok edilmesi
- Ortaya çıkan yükseklik durdurması ve asma açıklık sağlanılması.
- Asfalt bağlayıcının sıyrılmış agrega karıştırlabilir ve kaplanabilir.
- Sürtünme sayların restore edilebilir.
- İnşaat yerinde trafik aksamalar ve kullanıcı rahatsızlığı azaltmaktadır.
- Karayolu trafiğe günün sonuna doğru kenar düşüş ile açılması).

1.7.2.4. Yerinde soğuk geri dönüşüm

Soğuk yerinde geri dönüşüm yönteminde mevcut kaplamanın tamamının geri dönüşümü sağlanmaktadır. Onarım derinliği 75 mm'den 100 mm'ye kadar değişmektedir. Katkı maddesi olarak asfalt emülsiyon veya emülsifiye geri dönüşüm katkısı kullanıldığında 50-100 mm kalınlıkta, portlant imentosu, kireç gibi kimyasal katkılar kullanıldığında ise 125-150 mm kalınlıkta geri dönüşüm sağlanabilmektedir. Soğuk merkezi plentte geri dönüşüm yönteminde kazınan malzeme merkezi bir plente taşınmakta ve burada sıcaklığa tabi tutulmadan katkı malzemeleri ilave edilmesi ve karıştırlmasıyla elde edilmektedir.

Bu yöntemde katkı malzemesi olarak asfalt emülsiyonları veya emülsifiye geri dönüşüm katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Soğuk yerinde geri dönüşümün avantajları; önemli bir yapısal iyileştirmeyi içermesi, çoğu kaplama bozulmalarını onarması, seyahat konforunu artırması ve minimum nakliye maliyeti olarak sıralanabilir (Güngör, 2008). Soğuk geri dönüşüm yönteminde mevcut kaplamaya herhangi bir ısı uygulanmadan kaplamanın kazınıp katkı ilave edilmesi, karıştırlması ve sıkıştırılması şeklinde uygulanmaktadır.

Soğuk geri dönüşüm; yerinde soğuk geri dönüşüm ve soğuk merkezi plentte geri dönüşüm olmak üzere iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Soğuk yerinde geri dönüşüm yönteminde sıcak yerinde karışım yönteminde olduğu gibi birbirini belirli aralıklarla takip eden tankerler, kazıma makinesi, parçalama ve eleme birimleri, karıştırmacı, serici ve sıkıştırıcıdan oluşan katar kullanılmaktadır. (şekil 1.17) (Güngör, 2008).



Şekil 1.17. Soğuk yerinde geri dönüşüm katarı (Aksoy, 1993)

Geri kazanılmış soğuk karışımlar için gençleştiriciler, yoldan kazınan yaşlanmış bitümün kimyasal ve fiziksel özelliklerini geri kazandırmak için kullanılır. Bitümlü emülsiyonların bağlayıcılık özelliklerini artırır.

- Yerinde soğuk geri kazanım uygulanır.
- Agrega ile bitümlü emülsiyon arasındaki yapışma etkisini artırır.

Aynı zamanda ısıtma özelliği dolayısıyla yoldan kazınmış malzemenin kullanılabilirliğini de artırır.

1.7.2.4.1. Soğuk geri dönüşüm

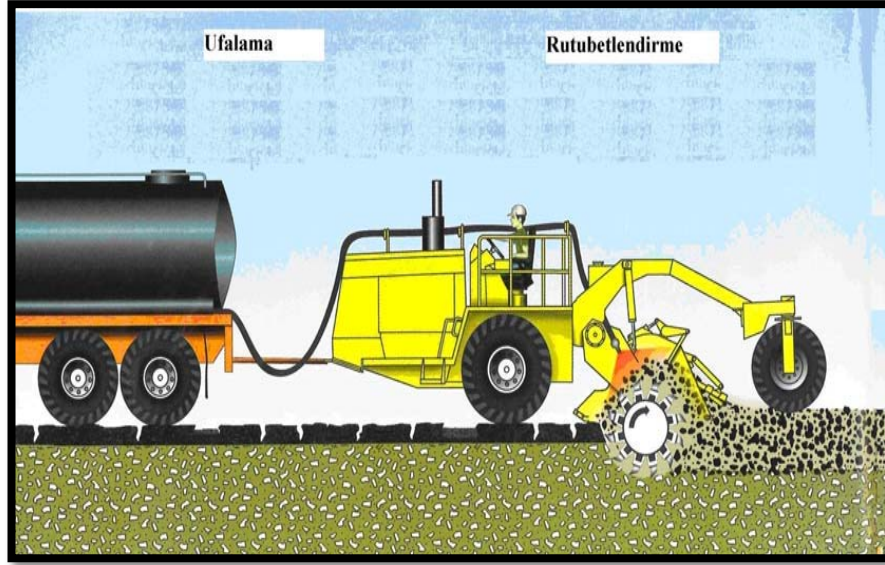
- Yeni agrega kullanımını önler veya azaltır.
- Kullanılan bitüm miktarında azalma olur.
- Depolama maliyetlerini ortadan kaldırır.
- Malzeme nakliyesi en aza indirilmiş olur. Böylece enerji ve yakıt tüketimi ve trafik yükünün yola verdiği hasarlarda da azalma olur.
- Ocak ve plant işletmesine ihtiyaç kalmaz.
- Üretimde ısıtma işlemi olmadığı için enerjiden tasarruf sağlanır.
- Soğuk uygulama olması nedeniyle üretim, serme ve sıkıştırma işlemlerinde çevreye verilen zararlı emisyon gazları en aza indirilir.
- Kaplama çapraz eğimi ve profili iyileştirilebilir.

- Önemli yapısal muamele ve sürüş kalitesini geliştirmektedir.
- İnşaat yerinde trafik aksamalar ve kullanıcı rahatsızlığı azaltmaktadır.
- Ekonomik tasarrufu gerçekleştirilmektedir.

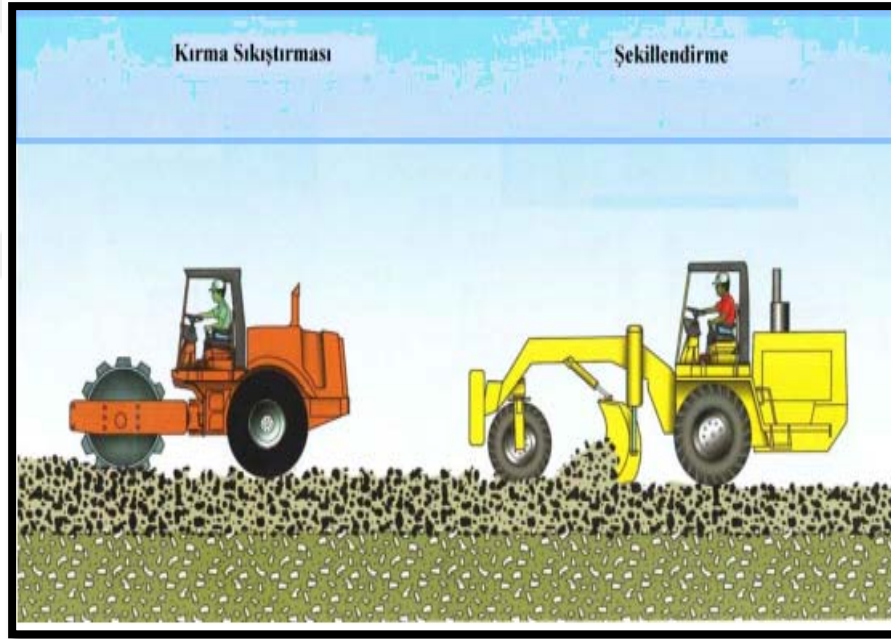
1.7.2.5. Tam derinlikten geri kazanma

Tam derinlikten geri kazanma yönteminde asfalt kaplama tabakasının tamamı ayrıca önceden belirlenmiş kalınlıkta temel, alttemel veya doğal zemin birlikte sökülme, stabilizasyon malzemesi eklenmekte, karıştırılmakta ve sıkıştırılmakta böylece ıslah edilmiş homojen temel tabakası elde edilmiş olmaktadır. Bu yöntemde soğuk yerinde geri dönüşüm yönteminde olduğu gibi ısı kullanılmamaktadır. Tam derinlikten geri kazanma yönteminde derinlik mevcut kaplamanın kalınlığına bağlı olmasına rağmen genellikle 10 ile 30 cm arasında değişmektedir. Stabilize edici malzeme olarak katı veya likit halde olan kalsiyum klorür, magnezyum klorür, kireç, uçucu kül, çimento fırını tozu, kireç fırını tozu, portlant çimentosu, asfalt emülsiyonları, köpük asfalt veya bu katkı malzemelerinin bir veya birkaçı birlikte kullanılmaktadır. Eğer mevcut gradasyon hedeflenen gradasyonu sağlamıyorsa ilave granüler agrega karışıma eklenebilmektedir. Tam derinlikten geri kazanma yöntemi ile temel tabakası elde edilmektedir. Tam derinlikten geri kazanım, stabilize bir temel tabakası oluşturmak için asfalt kaplama tabakalarının tamamının ve taban malzemesinin önceden tespit edilen miktarının işleme alındığı geri dönüşüm metodu olarak tarif edilir. İyileştirme sırasında bitüm emülsiyonu, portland çimentosu, uçucu kül ve kireç gibi kimyasal katkıları eklenebilir. Bu süreçteki beş temel adım kazıma-ufalama, katkının uygulanması, karıştırma, serme ve sıkıştırma. Bu geri dönüşüm metodu normalde 100 mm'den 305 mm kalınlığa kadar yapılır.

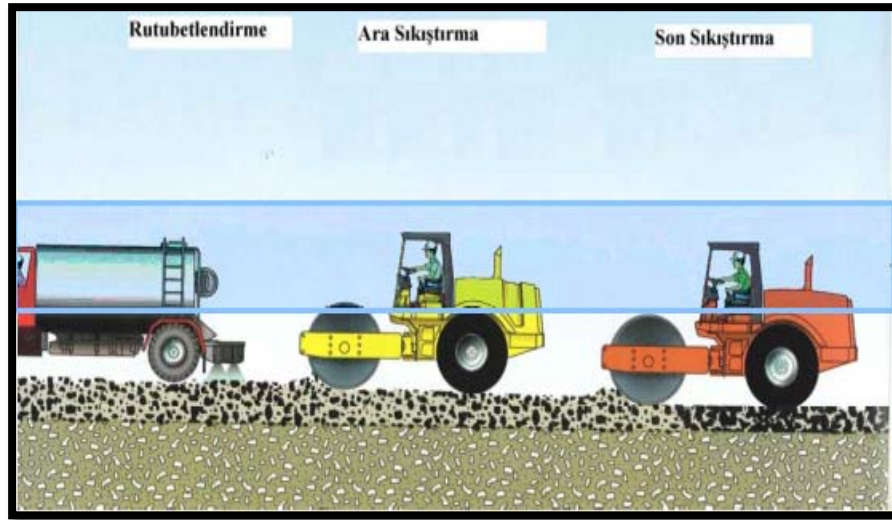
Bu yönteminin sıcak geri kazanıma göre daha az mukavemetli olması, yerinde yapılan geri kazanımların daha az kontrol dışında olması gibi dezavantajları olsa da; hafif trafikli yollarda uygulanmasında, eski kaplamalardaki yüzey bozukluklarının giderilmesi, taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması, tüm eski malzemenin nakliye yapılmadan yeniden kullanılması, trafiğe kısa sürede açılması, çevre kirliliği olmaması gibi önemli avantajları bulunmaktadır (Gürer vd, 2004).



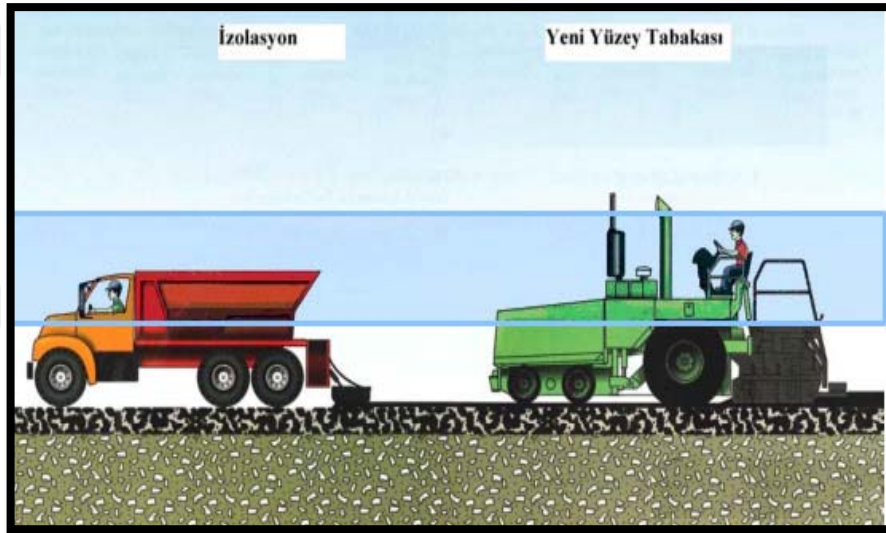
Şekil 1.18.Tam derinlikli geri dönüşümde ufalama ve rutubetlendirme (Salta, 2010)



Şekil 1.19.Tam derinlikli geri dönüşümde kırma sıkıştırma ve şekillendirme (Salta,2010)



Şekil 1.20.Tam derinlikli geri dönüşümde rutubetlendirme ve silindiraj (Salta,2010)



Şekil 1.21.Tam derinlikli geri dönüşümde izolasyon ve son tabaka uygulaması (Salta,2010)

Çizelge 1.4. Geri kazanım metodu seçim kılavuzu (Güngör ve Orhan, 2008)

Kaplama Bozulma Tipi	Soğuk Düzeltme (CP)	Sıcak Geri Dönüşüm	Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm (Hir)	Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm (CR)	Tam Derinlikten Geri Kazanım (FDR)
Yüzey kusurları					
Sökülme	X	X	X		
Cıllanma	X	X	X		
Kalıcı Deformasyon					
Tekerlek izi-sığ	X	X	X		
Tekerlek izi-derin		X		X	X
Çatlaklar/trafikten kaynaklanan					
Timsah sırtı		X			
Boyuna çatlaklar		X	X	X	X
Kaplama kenarı çatlakları		X		X	X
Yansıma çatlakları		X	X	X	X
Çatlaklar/trafikten kaynaklanmayan					
Blok tipi çatlaklar		X		X	X
Boyuna çatlaklar		X	X		
Enine çatlaklar		X		X	X
Yamalar					
Yüzeysel yamalar		X			X
Derin yamalar		X			X
Problemlili temel/alttemel					X
Seyahat konforu/pürüzlülük	X	X	X		
Genel olarak pürüzlü	X	X	X		
Çukur					X

1.7.3. Asfaltta Geri Dönüşüm

1.7.3.1. Kaplamanın kazılması

Kaplamanın sökülmesi için farklı yöntemler olmasına rağmen günümüzde en çok kırıcılı kepçelerle yoldan asfalt kırma ve asfalt kazıyıcı makinalar ile yoldaki asfaltın kazılması yöntemleri kullanılmaktadır. Her iki yöntemde de geri kazanılacak asfalt kaplamanın geri kazanılan veya kazanılmayan agregası, stabilize, plentmiks malzemeleri gibi malzemeler ile karıştırılmaması gerekmektedir. Buradaki tüm malzemeler biraraya karıştırılmamalı, malzeme özelliklerine göre ayrı ayrı depolanmalı, üst üste yığılmamalıdır.

1.7.3.2. Kazılan malzemenin depolanması

Geri kazanılmış asfalt yığınlarının yüksekliği maksimum 3 m ile sınırlandırılmalıdır. Bu kısıtlamaların amacı parçalanmış malzemelerin ilave yükten ve yüksek hava sıcaklıklarından dolayı birbirlerine yapışmalarını engellemektir. Aynı şekilde yığın üzerine yükleyici, dozer, kamyon gibi araçlar da çıkmamalıdır. Geri kazanılmış asfalt kaplama hava etkisinden korunmalı ve olabildiğince de kuru koşullarda tutulmalıdır. Depolama ve aşırı nem durumunu azaltmanın en iyi yolu, büyük bir stoklamaya gerek duyulmayacak şekilde parçalama ve sıcak karışım işlemlerini koordine etmektir. Kış aylarında kırma işlemi yapılırsa kırılmış malzeme bir örtü altında saklanmalıdır Şekil 1.23 ile gösterilmiştir.



Şekil 1.22. RAP malzemesi depolama (Anonim:5)

1.7.3.3. Kazılan malzemenin yeniden kırılması

Araziden kazılarak elde edilen kullanılmış malzeme depolandıktan sonra kullanılacak asfalt karışımındaki ebatlara göre kırıcı ekipmandan geçirilmeli ve elenerek asfalta hazır hale getirilmelidir. Geri kazanımlı asfalt üstyapı karışımlarının dizaynı, genel olarak kullanılan Marshall metodunun yanında laboratuvar deneyleri de gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda ilk olarak geri kazanılan asfalt kaplamanın kompozisyonu ve orijinal karışım içine hangi olan ile katılacağı belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada ise, laboratuvar ortamında karışımın hazırlanmasıdır. Karışım tasarımı hazırlandıktan sonra, asfalt üretimi gerçekleştirilmektedir.

1.7.4. Geri dönüşüm asfaltın üretilmesi

Asfalt plenti kullanılarak yapılan uygulama, geri kazanılmış malzemenin yeni hazırlanacak karışıma katılması şekline göre sıcak ve soğuk besleme olarak iki kısma ayrılır. Burada plentin özelliği ön plana çıkmaktadır. Plentte bulunan ilave kurutucu sayesinde geri kazanılmış asfalt kaplama ısıtılarak yeni hazırlanacak karışıma katılması sıcak besleme olarak adlandırılmaktadır. Soğuk beslemede ise ilave kurutucu yoktur ve kazanılmış asfalt malzeme ısıtılmış yeni agregaya mikserde eklenerek belirli bir süre karıştırıldıktan sonra bitüm ilavesi ile sıcak karışım hazırlanmaktadır. Bu metotla yapılan uygulamalarda geri kazanım malzemesinin kullanım oranı % 30'dan. Türkiye bu uygulamada geri kazanılmış malzeme plentte soğuk olarak beslenmiştir. Üretim esnasında 3 ayrı üretim tipi bulunmaktadır.



(A)



(B)

Şekil 1.23. (A), (B) RAP için kırma ve eleme işlemek

1.8. Araştırmanın Amacı

Bozulmuş veya eski asfalt kaplamaların kazınarak yeni yapılacak bitümlü sıcak karışımlarda yeniden kullanılmasına geri kazanım (Recycling) adı verilmektedir. Mevcut yol üstyapısından kazınarak elde edilen malzemenin yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım imalatında kullanılması, kaynaklarımızın teknik ve ekonomik açıdan doğru bir şekilde değerler dirilmesi açısından son derece önemlidir. Belirli işlemler sonucunda elde edilen malzemeler yeniden yol yapımında kullanılması, maliyetleri azaltacağı gibi çevrenin korunması açısından da son derece önemlidir.

Agreganın ve bitümün yeniden işlenmesi ile gerekli doğal kaynakların korunumu sağlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, geri kazanılmış üstyapı malzemelerinin yeni asfalt karışımlarda kullanılabilirliğini araştırmaktır. Farklı oranlarda geri kazanılmış malzeme ile yeni malzemelerin karıştırılması sonucunda elde edilecek karışımın performansını değerlendirilerek binder tabakasında yeniden kullanımı için optimum karışım oranları belirlenecektir. Deney tasarımı Taguchi tasarımı kullanılacaktır. Geri dönüşüm ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanır. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmak zorundayız. Dolayısıyla geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir.

Geri dönüşüm yöntemlerinin uygulanması ile;

- Doğal kaynakların tüketimini azaltma olanağı,
- Maliyetlerin düşmesi,
- Üretim sırasında çevreye zararlı olumsuz etkilerin azalmasına olanak vermesi,
- Enerji tasarrufu sağlanması,
- Üretim ve yapım aşamalarında zaman kazandırması,
- Yol geometrisini kontrollü düzeltme olanağı,

Trafik etkin haldeyken uygulama imkânı gibi çok önemli ve göz ardı edilemez faydalar sağlanabilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Asfalt kaplamaların yeniden kullanımı yeni bir kavram değildir. Geri dönüştürme fikri ilk olarak Warren Brothers tarafından 1915'te dile getirilmiştir. Ancak 1970'lerin başında yaşanan petrol krizine kadar rağbet görmeyen bu fikir, asfalt ve enerji fiyatlarının hızla artmasıyla, karayolu inşaat maliyetlerini düşürmek için uygun bir metot olarak kabul görmüştür. Bu metot ilk olarak Indiana'da 1971 yılında Elkhart County tarafından çalışılmıştır. Geri dönüştürülen malzemeler bitümlü kaplamalar için temel tabakası ve stabilize kaplamalar için alt temel tabakası olarak kullanılmıştır (Sargent, 1977).

Güngör vd (2008) yaptıkları çalışmada bozulmuş yol üstyapısının onarımı sırasında kazılarak elde edilen malzemenin yeni yapılacak bitümlü sıcak karışım imalatında kullanılması, kaynaklarımızın teknik ve ekonomik açıdan doğru bir şekilde kullanılması açısından son derece önemlidir. Türkiye 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 çalışmalardır. Bu ilk ciddi uygulama geri kazanılmış asfalt kaplamaların yeniden kullanılmasının önünün açılması, bu tür uygulamaların yapılabilirliğinin gösterilmesi açısından önem taşımaktadır

Valdes vd (2011), bitümlü karışımların mekanik davranışını karakterize etmek için deneysel bir çalışma . Geri kazanılmış asfalt kaplama malzemesini yüksek oranlarda içeren 12 yarı yoğun karışımı ve milimetreye göre maksimum agrega boyutu ve % 40 ve % 60 RAP, sırasıyla (S-12 ve S-20,bir otoyol bölümünün rehabilitasyonu için kullanılan İspanyolca şartnamesi) ile değerlendirilmiş, geri dönüşümlü karışımlar üzerinde RAP değişkeninin etkisi analiz edilmiştir. Mekanik özellikleri, daha sonra sertlik modülü, dolaylı çekme dayanımının belirlenmesi, çatlama ve yorulma davranışı çalışıldı. Sonuçlar geri dönüştürülmüş malzemenin yüksek oranlarının genellikle dahil edilebileceğini göstermektedir.

Yusuf vd, (2011) yüksek RAP karışımlarında kısmi harmanlama derecesini belirlemek için bir metodoloji sağlamaktır. RAP bakır agrega ve bakır bağlayıcı ile karıştırıldığında, RAP bağlayıcısının kısmen harmanlanması sıcak karışım asfaltında gerçekleşir. Ajanlar, RAP miktarını sınırlar; çünkü RAP ve bakire materyal arasındaki harman derecesi bilinmemektedir Metodoloji, YYEP karışımında kısmi harmanlama derecesini belirlemek için sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır Kısmi harmanlama derecesini doğru bir şekilde belirleme yeteneği, eklenecek bakır bağlayıcı içeriğini belirlemede yardımcı olacaktır PG 70-28 ile agrega ağırlığının% 25'i oranında RAP için bu prosedürden ölçülen kısmi harmanlama derecesi ve PG 58-28 ile agrega ağırlığının% 35'i RAP sırasıyla% 70 ve% 96'dır.

Dünya genelinde 30 yılı aşkın geçmişi olan mevcut asfalt kaplamaların geri dönüşümü uygulamalarının; Amerika, Kanada, Fransa, Almanya, Hollanda, Japonya, İngiltere, İspanya gibi ekonomik olarak güçlü, teknolojik altyapısı gelişmiş ve çevre bilinci daha üst düzeyde olan ülkelerde kabul görmesi ve pratikte uygulamaya geçişi çok daha hızlı olmuş, devlet kurumları ve yerel idarelerce adaptasyonu için yasal ve finansal destek sağlanmıştır. Avrupa'nın diğer ülkelerinde de giderek artan oranda geri dönüşümlü asfalt kaplama uygulamasına geçiş başlamıştır. Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemleri; Soğuk Düzeltme, Sıcak Geri Dönüşüm, Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm, Soğuk Geri Dönüşüm ve Tam Derinlikli Geri Dönüşüm olarak adlandırılmaktadır. İlk geri dönüşüm uygulaması 1977 yılında yapılmış ve 30 yılı aşkın süre içinde farklı tipte geri dönüşüm yöntemleri oluşmuş, her yöntem zaman içinde teknolojik ve bilimsel gelişmelere paralel olarak yenilenmiştir. Karayolları geri dönüşüm için elverişli ve oldukça yüksek ekonomik girdiler sağlayan bir sektördür ve dünyada karayolları alanında geri dönüşüm yönündeki çalışmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir. Geri dönüştürülen malzemeler bitümlü kaplamalar için temel tabakası ve stabilize kaplamalar için alt temel tabakası olarak kullanılması ile ilgili birçok araştırma vardır. Bu çalışmada, geri kazanılmış asfalt betonu malzemenin Irak karayollarında şartnameye uygun binder tabakası olarak kullanılabilirliği araştırılacaktır.

Araştırmalar, karayollarında geri dönüşüm yöntemlerinin ilk kez Amerika Birleşik Devletlerinde 1977 yılında denendiğini ve o günden bu yana yapılan uygulamalar sonucunda optimum geri dönüştürülmüş malzeme kullanım oranlarına ulaşıldığını ve

bu değerlere göre uygulamalara şartnameler ile bazı kısıtlama ve kurallar getirildiğini, bu sayede büyük ekonomik ve çevresel kazançlar sağlandığını göstermektedir.

Arianna Vd, (2016) yüksek oranda reclaimed asphalt pavement (RAP) ile yeni asfalt karışımları üretmek yol yapımında büyük bir sorun oluşturmaktadır ekonomik ve çevresel nedenlerle. Birçok laboratuvar çalışması bu konuyu ele almasına rağmen, değişkenlerin sayısıyla ilgili endişeler özellikle de stiren-butadien-stiren (SBS) modifiye bitümler kullanılmış. Bu anlamda, güvenilir performans değerlendirmeleri elde etmek için bitki tarafından üretilen karışımlar doğrudan araştırılmalıdır. Bu arka plan göz önüne alındığında, kaęıтта% 40 RAP ile yoğun sınıflandırılmış karışımların mekanik karakterizasyonu önerilmektedir. servis otoyolunun rehabilitasyon faaliyetlerinin bir parçası olarak asfalt fabrikası. karışım tasarımı optimize etmek için bailey yöntemi uygulanmıştır. karışımlar iki polimer modifiye bitüm (yüksek ve düşük SBS polimer içeriği ile) ve seçilen rap fraksiyonları kullanılarak hazırlandı. sadece sbs modifiyeli bitüm dahil asfalt tabakalarından oluşur. mevcut uygulamaya göre hazırlanan ek bir karışım otoyol kaldırımlarının bağlayıcı katmanları için karşılaştırma amaçları için üretilmiştir. gelişmiş laboratuvar testleri, ana malzeme özelliklerinin (yani sıkıştırılabilirlik, çatlama ve kabarma yeteneği, dolaylı gerilme mukavemeti, yorgunluk ve kendini iyileştirme). sonuçlar,% 40 yyep içeren karışımların karşılaştırılabilir veya özellikle düşük modifiye bitmlerle hazırlandığında referans karışımdan bile daha da geliştirilmiş olur. sonuç olarak, bu çalışma, doğru bir karışım tasarımı ve yeterli bitümlerin seçilmesi, yüksek yyep oranının kullanımıyla ilgili potansiyel dezavantajların üstesinden gelir uygun geri dönüşümlü karışımlar üretme olanağı göz önüne alındığında.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Malzeme ve Cihazlar

Bu bölümde, deney numunelerinin hazırlanabilmesi için kullanılan mineral agregası, mineral filler, asfalt çimentosu, geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi ve deneyler sırasında kullanılan cihazlar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1.1. Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan agregası

Asfalt betonu genel anlamı ile aşınma tabakasını, binder tabakasını veya bunların her ikisini birden kapsar. Binder ve aşınma tabakaları; agregası kırmataş çakıl veya bunların karışımından ibaret olacaktır.

Karışım içindeki kırma taş temiz sağlam sert ve dayanıklı danelerden ibaret olacak, bütün malzemede kil toprakları, bitkisel maddeler ve diğer zararlı maddeler serbest veya agregası tanelerini sarmış halde bulunmayacaktır.

Çalışmada kullanılan agregaları Isparta Belediyesi asfalt şantiyesinden elde edilmiştir. Karışımlar için nominal maksimum agregası boyutu 12.5 mm ve Irak karayolu şartnamesi binder tabakası standartları kullanılmıştır. Aşınma direnci "agregası aşınma kaybı için (Los Angeles) standart test yöntemi" su emme için "agregası su emme standart test yöntemleri, özgül ağırlık belirlenmesi için testler karışımında kullanılan agregası malzemesi üzerine yapılmıştır.

3.1.1.1. Binder tabakası için kaba ve ince agreganın özellikleri

Kaba agregası; kırmataş, kırma çakıl veya bunların karışımından oluşacaktır. Kaba agregası karışımının 4.75 mm (No:4) lik elek üzerinde kalan kısmından meydana gelmektedir. Kaba agreganın uyması gereken şartname değerleri aşınma ve binder tabakası için Çizelge 3.1' de verildiği gibidir.

Çizelge 3.1. Kaba agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri (Irak Şartnamesi, 2003).

Deney	Şartname Limitleri		Deney Standardı
	Binder	Aşınma	
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 30 (LA30)	≤ 27 (LA27)	(AASHTO T 96)
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp), %	18 (MS18)	16 (MS16)	ASTM D2727 AASHTO T 182
Kırılmışlık, ağırlıkça % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak)	$\geq 90 - \leq 0$ (C95/0)	$\geq 90 - \leq 0$ (C95/0)	(AASHTO T4791)
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, %	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	ASTM C 142 AASHTO T 112

İnce agrega ; Kırılmış taş, çakıl veya kum ile bunların karışımından oluşacaktır. İnce agrega karışımının 4.75 mm (No:4) lik elekten geçip 0.075 mm (No:200) elek üzerinde kalan kısmı olup temiz, sağlam ve dayanıklı olacaktır. Çizelge 3.2 İnce agreganın özellikleri Irak şartnamesine göre .

Çizelge 3.2. İnce agreganın özellikleri Irak şartnamesi, 2003)

Deney	Şartname Limitleri		Deney Standardı
	Binder	Aşınma	
Organik Madde, (% 3 NaOH ile)	Negatif	Negatif	AASHTOT17 6

3.1.2. Asfalt betonu binder tabakasında kullanılan mineral filler

Çalışmada mineral filler olarak taştuzu (kireçtaşı tozu) kullanılmıştır. Mineral filler, genel anlamı ile 0.425 mm (No:40) elekten geçip, ağırlıkça en az % 70 ‘i 0.075 mm (No:200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanır. Binder tabakaları için, mineral fillerin gradasyon limitleri Çizelge 3.4’ de belirtildiği gibi olmalıdır. Mineral filler; taş tozu, mermer tozu, sönmüş kireç veya benzeri maddelerden oluşacak; kil, toprak, organik ve zararlı madde içermeyecektir.

Çizelge 3.3. Mineral fillerin gradasyon limitleri (Irak Şartnamesi, 2003).

Elek Boyu	Elek No	Ağırlıkça % Geçen
0.600 mm	(No:30)	100
0.300 mm	(No:50)	95-100
0.075 mm	(No:200)	70-100

Çalışmada, şartname değerlerinde istenen niteliğe uygun agrega kullanılmıştır.

3.2. Bitüm

Çalışmada Irak standardına göre Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yol ağındaki bitümlü sıcak kaplamalarda en çok kullanılan 50/70 sınıfı penetrasyon kullanılmıştır. bitüm numunesi Isparta Belediyesi, Asfalt şantiyesinden temin edilmiştir.

3.3. Geri Kazanılmış Asfalt Betonu Malzemesi (RAP)

Bu çalışmada kullanılan geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi Isparta Belediyesinden temin edilmiştir.

3.4. Cihazlar

Deney numunelerinin hazırlanabilmesi ve ilgili deneylerin yapılabilmesi için Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne ait Ulaştırma laboratuvarlarında bulunan Marshall deney cihaz, Marshall sıkıştırıcısı, indirekt çekme cihazı, Marshall numune kalıpları, su banyosu, etüv, penetrasyon deney cihaz, penetrasyon numune kapları, hassas terazi, standart elekler, yumuşama noktası cihazı, ekstraksiyon deney cihazı, hidrometre deney cihaz, Los Angeles deney cihaz kullanılmıştır.

3.5. Yöntem

Optimum bitüm yüzdesi belirlemek için Marshall dizaynı, geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinin Binder tabakasında kullanılabilirliğini belirlemek için Marshall ve indirekt çekme deneyler yapılmıştır.

3.6. RAP Gradasyonu ve Bitümlü Bağlayıcı Miktarının Tayini

3.6.1. Ekstraksiyon deneyi

Bitümlü karışımların içindeki bitüm oranının saptanması amacıyla yapıldı. Karışımların bitüm yüzdesi, karışımın fiziksel karakteristikleri ve kaplamanın uzun ömürlü olması için önemlidir. Fazla bitüm stabilite problemlerine neden olurken, az bitüm de karışımın dayanıklılığını düşürmektedir. Geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinden numune alma, ekstraksiyon deneyi için örnekleme aşamaları Şekil 3.1’de görülmektedir. Sonra numune etüvde yaklaşık 60 dk bekletilmiştir. Amaç numunenin yumuşatılarak daha kolay bitümden ayrılmasını sağlamaktır. 60 dh bekletildikten sonra Ekstraksiyon cihazına yerleştirilmiştir. Yaklaşık 1,25-1,5 lt trikloretilen kullanılarak bitüm agregadan ayrılmıştır. Trikloretlen bitümün rengi sarıya dönene kadar ekstraksiyon cihazına konulmaya devam edilmiştir. Agregada etüvde her yarım saatte bir ağırlığı alınarak bekletilmiştir. Şekil 3.1.ve Şekil 3.2 ile gösterilmiştir. Ekstraksiyon deneyi uygulanma aşamaları ASTM D 2172 standardı uygulanır.



Şekil 3.1. Ekstrakssiyon deneyi için örnekleme aşamaları



Şekil 3.2. Ekstraksiyon deneyi uygulanma aşamaları (devam)

3.7. Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

3.7.1. Birim hacim ağırlık deneyi

Kazınmış üstyapının kapladığı hacmin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deney şu şekilde yapılır (ASTM D3203-94 & D3549-93a)

1. Kuru asfalt tartılır (yaklaşık olarak her numune için 500 gr).
2. Boş cam kap tartılır.
3. Daha sonra boş cam kap kısmı işaret çizgisine kadar su ile doldurulur ve tartılır. Su yükseklik ölçülür (h_1).
4. Su içine numune atılır, sonra tekrar su yükseklik ölçülür (h_2).
5. Hacim hesaplanmak için cam kap (silindir) yarıçap ölçülür (r)

6. Deney oda sıcaklığında yapılmıştır(25 °C). Birim hacim ağırlık değerleri eşitlik 3.1 ve 3.2 ile. Birim hacim ağırlık deneyi (Şekil 3.3).

$$V = \pi * r^2(h_2 - h_1) \quad (3.1)$$

$$\gamma = \frac{w}{V} \quad (3.2)$$

Burada;

V: Numune Hacmi (cm³).

r: cam kap (silindir) yarıçap (cm).

h1: Numunesiz cam kabının su yüksekliği ölçülür (cm).

h2: Su içine numune atıldıktan sonra cam kabının su yüksekliği ölçülür(cm).

γ : Birim hacim ağırlık değeri (kg/cm³).

w : Kuru numune ağırlığı (kg).



Şekil 3.3.Birim hacim ağırlık deneyi

3.8. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan hem normal mineral agreganın hem de RAP malzemesinin ekstraksiyon kalıntısı mineral agregaların fiziksel özelliklerinin tayininde iri ve ince agregalar için özgül ağırlık, mineral filler özgül ağırlık, elek analizi, su emme için aşağıdaki deneyler yapılmıştır.

3.8.1. Elek analizi

Bu deney yöntemi Irak Standartlarında nitelikleri verilmiş olan elekleri kullanarak agreganın dane büyüklüğü dağılımının belirlenmesini kapsar. Bir agreganın granülometri bileşimi numuneyi çeşitli eleklerden elemek suretiyle yapılır. Doğru numune alma, elek analizinde doğru sonuçların elde edilmesi için çok gerekli bir şarttır. Numunenin agreganın orta kısmından ve agregayı iyi temsil edecek şekilde alınmasına dikkat edilmelidir. Sonuçlar ya, her elekten geçen toplam numunenin ağırlıkça yüzdesi veya birbirini izleyen iki elek arasında kalan numune ağırlığı yüzdesi ile belirtilir. Birincisi granülometrik gösterme şekline daha uygundur ve daha çok kullanılır % kalan miktar Eşitlik 3.3'den hesaplanır. Çalışmalarda Amerikan Elek sistemi kullanılmıştır. Elek cihazı Şekil 3.4. ile gösterilmiştir.

$$\% \text{ Elekten Gecen} = (\text{Elekte Kalan} / \text{Toplam Numune Miktarı}) * 100 \quad (3.3)$$



Şekil 3.4. Elek cihazı

3.8.2. İri agregâ için özgül ağırlık deneyi

Özgül ağırlık değeri, Portland çimentosu betonu, asfalt betonu ve diğer karışımlarda kullanılan iri agreganın özelliklerini belirlemede genellikle kullanılır (ASTM C 128-88, 1989). Agreganın özgül ağırlık değeri; betonda yer alabilecek malzeme miktarlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu deneyde numunenin karışım gradasyonunu temsil etmesine dikkat edilmelidir. Deney şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

1. (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6) ile gösterilmiştir, kullanılan agregâ örneğinden yaklaşık 1 kg alınır.
2. Hazırlanan numune yıkanarak su içinde 24 saat bekletilir.
3. Su içerisinde çıkarılan numune emici özelliğe sahip olan bir bez üzerine yayılarak agregâ daneleri teker teker kurulur. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, yüzey kuru-suya doygun hale gelmiş agregâ numunesi tartılır.
4. Tel sepete konulan agregâ numunesinin 25 ± 1 °C sıcaklıktaki suda tartımı yapılır.
5. Numune tel sepet içinden bir tepsiye boşaltılarak 110 ± 5 °C'lık etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur. Etüvden çıkartılan numune 1 ile 3 saat arasında oda sıcaklığında soğutularak tartılır.
6. Özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyon yüzdesi Eşitlik 3.4, 3.5, ve 3.6'da verildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = A / B - C \quad (3.4)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = A / A - C \quad (3.5)$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = B - A / A \quad (3.6)$$

Burada;

A =Kuru numune ağırlığı (gr).

B =Yüzey Kuru-Suya Doygun numune ağırlığı (gr).

C = Yüzey Kuru-Suya Doygun numunenin sudaki ağırlığı (gr)'dır.



Şekil 3.5. Özgöl ağırlık deneyi için normal iri agregaların tartılması.



Şekil 3.6. Özgöl ağırlık deneyi için RAP malzemesinin ekstraksiyon kalıntısı iri agregaların tartılması.



Şekil 3.7. Bez üzerine yayılarak agrega daneleri

3.8.3. İnce agreganın özgül ağırlık deneyi

İnce agreganın su absorpsiyonu ve özgül ağırlığı şu şekilde belirlenir:

1. Karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde en az 500 gr agreganın kullanılır.
2. 200 nolu elekten yıkanan malzeme bir tepsi içine alınarak üzeri su ile kaplanır ve 24 saat bekletilir. Daha sonra ince malzeme kaybına neden olmayacak şekilde suyu süzülür ve absortif olmayan düzgün bir yüzey üzerine serilir.
3. Numuneyi yüzey kuru-suya doymuş hale getirebilmek için sıcak hava akımı karşısında devamlı karıştırılarak kurutma işlemine tabi tutulur. Bu işleme malzeme serbest dökülebilir hale gelinceye kadar devam edilir. Bu anı tespit etmek için koni metodu uygulanır.
4. Yüzey kuru suya doymuş hale gelen yaklaşık 500 gr numune piknometre içine konularak tartılır (Ci).
5. Üzerine numune yüzeyini kaplayacak seviyede su ilave edilir. Hava kabarcıklarının çıkması için piknometre her iki yönde 15–20 dakika çalkalanır.
6. Daha sonra piknometrenin boş kısmı işaret çizgisine kadar su ile doldurulur. $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su banyosunda bekletilir. Su ve malzeme sıcaklığı 25°C 'ye ulaştığında piknometre su banyosundan çıkarılıp kurulanır ve tartılır (Di).
7. İnce agreganın piknometreden bir tepsiye boşaltılır ve $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulur. Etüvden çıkarılan numune soğutulularak tartılır (Ei).
8. İnce agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyon yüzdesi eşitlik 3.7, 3.8, ve 3.9 verildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = E_i / (B_i + C_i - A_i - D_i) \quad (3.7)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = E_i / (B_i + E_i - D_i) \quad (3.8)$$

$$\text{Absorbsiyon Yüzdesi \%} = (C_i - A_i - E_i / E_i) * 100 \quad (3.9)$$

Burada;

A_i: Piknometre ağırlığı (gr).

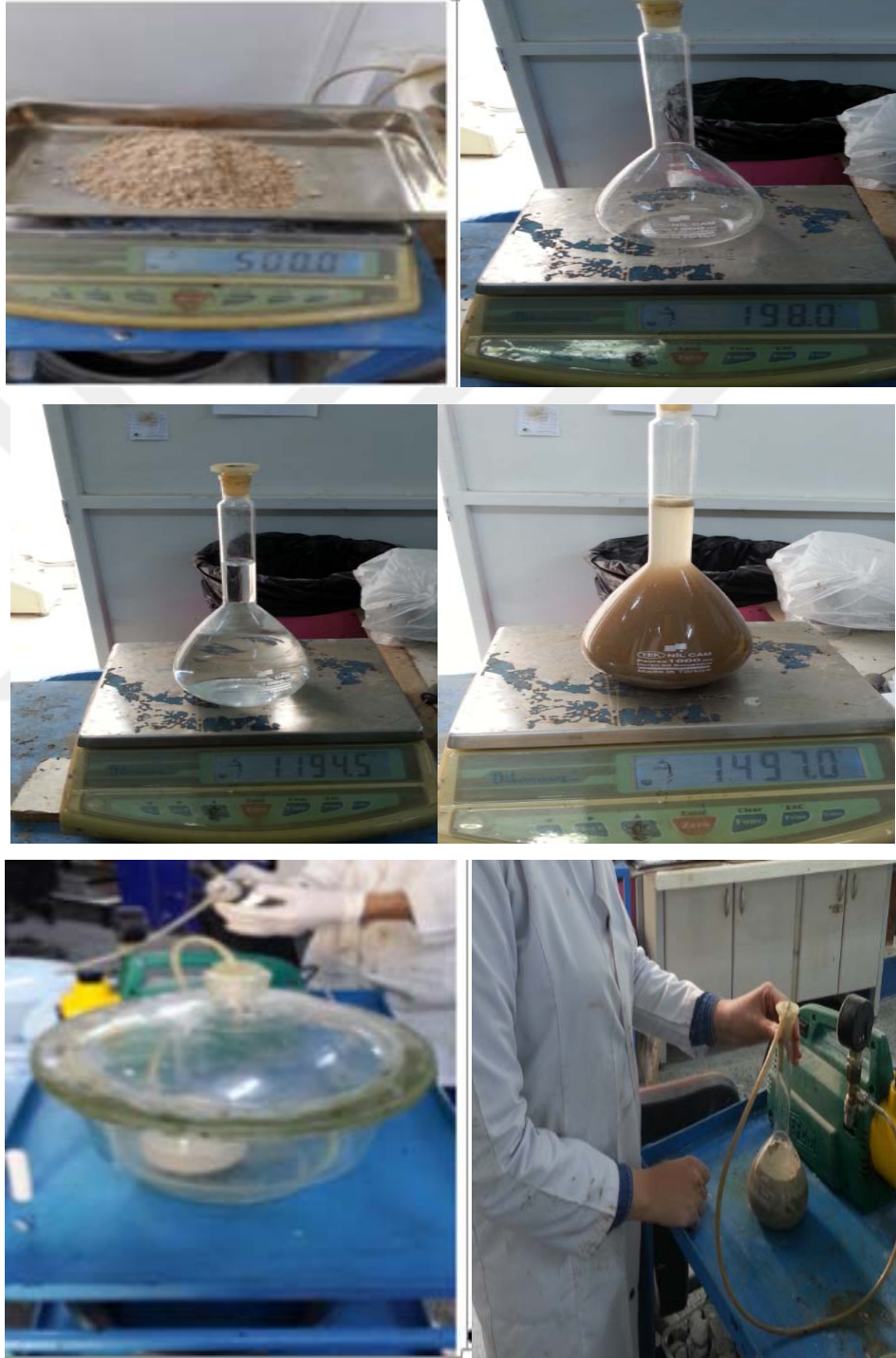
B_i: 25 °C'deki su dolu piknometre ağırlığı (gr).

C_i: Piknometre ve doymuş-yüzey kuru numune ağırlığı (gr).

D_i : 25 °C deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı (gr).

E_i : Kuru numune ağırlığı (gr)'dır.

İnce agreganın özgül ağırlık deney adımları Şekil 3.8. de görülmektedir.



Şekil 3.8. İnce agreganın özgül ağırlık deney adımları

3.8.4. Mineral filler zahiri özgül ağırlığının tayini

Filler malzemelerinin zahiri özgül ağırlıkları (TS 3526, 1980) metodu kullanılarak şu Şekil 3.9 ile gösterilmiştir belirlenir:

1. 110 ± 5 'lik etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulan filler malzemesi 4 – 5 sa kuruttuktan sonra oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur.
2. Özgül ağırlık şişesi ve kapağı temiz ve kuru olmalıdır. Bir huni yardımı ile filler şişeye boşaltılır. Şişenin üçte biri dolacak şekilde piknometrenin içerisine konularak tartılır ve kayıt edilir (C_f).
3. Piknometre yarısına kadar su doldurulur. Ağzı kapatılmış şişe birkaç kez tezgaha vurulduktan sonra en az 5 dk kadar yaklaşık 50 mbar vakum sağlayan vakum ile hava çıkarılır. Hiçbir hava kabarcığı kalmayıncaya kadar bu işlem tekrarlanır.
4. Daha sonra piknometre tamamen su ile doldurularak 25 ± 1 °C'lik su banyosunda en az 60 dk. bekletilir. Su banyosundan çıkarılır ve kurularak tartılır (D_f).
5. Fillerin zahiri özgül ağırlığı eşitlik 3.10' da verildiği gibi hesaplanır (G_f)

$$\text{Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığı} = \frac{(C_f - A_f)}{(B_f - A_f) - (D_f - C_f)} \quad (3.10)$$

Burada;

A_f : Piknometre ağırlığı (gr).

B_f : 25 C Deki su dolu piknometre ağırlığı (gr).

C_f : Piknometre ve doymun-yüzey kuru numune ağırlığı (gr).

D_f : 25 C Deki numune ve su dolu piknometre ağırlığı (gr).



Şekil 3.9. Mineral filler için zahiri özgül ağırlık deney adımları.

3.8.4.1. Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılacak agrega gradasyonunun belirlenmesi

Agrega, kırılmış çakıl veya taş, kum ve mineral fillerden oluşur. Yolun yapıldığı yörede bulunan malzemeden faydalanmak uygun bir çözümdür. Kaplama tabakası kendine gelen yükleri sabit bit deformasyona uğramadan temel tabakasına geçirecek kadar kararlı olmalıdır. Bu da agreganın granülometrik bileşimine, danelerin şekline ve direncine bağlıdır (Umar ve Ağar, 1991).

Kaplamanın stabilitesine ve yoğunluğuna etki eden önemli özelliklerden birisi de agrega gradasyonudur. Her katman için ayrı bir gradasyon geliştirilmiştir. Dolayısıyla, değişik boyutlardaki agrega danelerinin hangi oranlarda bulunması gerektiği şartnamelerde alt ve üst limitlerle belirtilmiştir. Her katman için ayrı bir gradasyon geliştirilmiştir. Agregalar konkasörlerde 0–5, 5–15, 15–20 olmak üzere değişik

boyutlandırılır. Bu agrega gruplarından her birinde ayrı ayrı elek analizi yapılmak ve belirli oranlarda karıştırılmak suretiyle nihai gradasyon elde edilir. Irak karayolu kırmataşlarında ½", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No:4, No:8, No:50, No:200 standart elekleri kullanılır. Elekler büyükten küçüğe doğru sıralanır ve malzeme en üst elekten başlanarak elenir. Elek üstü kalan malzemeler yığışımli olarak 0,1 gr hassasiyetinde bir terazi ile tartılır. Daha sonra yüzde geçenler, toplam yüzde kalanlar ve belli boyutlardaki yüzdelere toplam ağırlığın % 0,1'i yakınlığında hesaplanır. Agrega granülometrisine ve diğer özelliklerine ait Irak şartname sınırları Çizelge 3.5'de verilmiştir. seçilen agrega granülometrisi değerleri görölmektedir.

Çizelge 3.4.Binder tabakası için gradasyon limitleri (Irak şartnamesine göre, 2003)

No	Elek Boyu Mm (in,No)	Tip
1	25(1")	100
2	19 (3/4")	90-100
3	12,5 (1/2")	70-90
4	9,5 (3/8")	56-80
5	4,75 (No.4)	35-65
6	2,36(No8)	23-49
7	0.3(No50)	5-19
8	0,075 (No.200)	3-9
9	filler	4-6

3.9. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

Mekanik özelliklerin belirlenmesi için Los angeles, aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro Deval) deneyleri yapılmıştır.

3.9.1. Los Angeles (Aşınma) deneyi

Los Angeles deneyi aşınma ve darbelenme etkileri sonucunda mineral agregaların standart gradasyonunun bozulmasının ölçümü deneyidir. Bu deneyde, 14 mm deney eleğinden geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan agregalara uygulanır. Deney kısmının kütlesi (5000 ± 5) gr'dır. Deney için 31devir/dk ile 33 devir/dk arasında dönme yapabilen, 11 adet çelik bilye ile aşındırma yapabilen bir tambur kullanılır.

Los Angeles Deneyi ASTM C 131 (1992)'e göre şu şekilde yapılmıştır:

1. Tamburun içinin temizliği kontrol edildikten sonra, önce bilyeler daha sonra agreganın numunesi tambur içine yerleştirilir ve tamburun kapağı sıkıca kapatılır.
2. 500 devir dönme işlemi tamamlandıktan sonra, tamburun açıklık kısmı tepsinin tam ortasına getirilerek agregalar tepsiye dökülür.
3. Tambur temizlenir, ince tanelerin raf etrafında kalmamasına dikkat edilir.
4. Bilyeler tepsiden alındıktan sonra 1.6 mm'lik elek kullanılarak ıslak eleme yapılır.
5. 1,6 mm elekte kalan kısım 110 ± 5 °C'deki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur.

Los Angeles katsayısı LA aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$LA = (500 - M) / 50 \quad (3.11)$$

Burada;

M=1,6 mm'lik elek üzerinde kalan fraksiyon ağırlığıdır (gr).

Deney her bir numune için üçer adet yapılmış ve numuneler 500 devirlik aşınma işlemine tabi tutulmuştur. ASTM C 131–89’a göre yol kaplamalarında kullanılacak malzemelerde aşınma %35 değerinden küçük olmalıdır. (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Los Angeles aşınma deneyinde kullanılan cihaz

3.10. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

3.10.1 Bitümlü bağlayıcılar penetrasyon deneyi (TS 118 EN 1426)

Nispeten rijit (katı) bitümler. Penetrasyonlarına göre derecelendirilirler (standart bir iğnenin, standart yükleme, zaman ve sıcaklık altında batma derinliği). Bitüm ne kadar yumuşaksa, iğnenin bitüme batma derinliği yüksek ve penetrasyon sayısı büyüktür.

Soğuk havaların hakim olduğu yerlerde yüksek penetrasyonlu, sıcak havaların hüküm sürdüğü alanlarda düşük penetrasyonlu bitümlerin kullanılması tavsiye olunur. Zira esneklik ve plastik deformasyona karşı dayanım için bu bir önkoşuldur.

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir ve Şekil 3.11 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Penetrasyon deney cihazı

Penetrasyon deneyi uygulanacak bitümlü bağlayıcı aşırı ısınmalara sebebiyet vermeden kolay dökülebilecek kıvama gelinceye kadar ısıtıldıktan sonra, penetrasyon kabına dökülür. Penetrasyon kabının ağzı toz girmeyecek şekilde kapatılarak 1-1,5 saat süreyle oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Soğuduktan sonra taşıma kabı ile birlikte su banyosuna batırılır. Burada da 1-1,5 saat bekletildikten sonra numune deney için hazır hale gelmiştir. Deneyde öncelikle penetrasyon cihazı (penetrometre) düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. İçi bitüm numunesi dolu olan penetrasyon kabı, içi su dolu olan taşıma kabı ile birlikte penetrasyon cihazının tablasına yerleştirilir. Numune istenen sıcaklıkta olmalıdır (genellikle 25 °C’de). İstenilen ağırlıkla yüklenilen iğne (genellikle 100 gr) numunenin yüzeyine değecek şekilde ayarlanır. İğne belirli bir zaman aralığında (5 saniye) serbest bırakılır. Zaman bitiminde penetrasyon değeri göstergeden okunur. Kabin kenarından ve birbirlerinden 1’er cm uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda arka arkaya yapılır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetra klorür, trikloretilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir. Deneyin sonunda kabul edilecek penetrasyon, bu üç okuma değeri arasındaki farkın şartnamelerde belirtilen en yüksek ve en düşük değerler arasındaki fark sınırını aşmaması durumunda bu üç değerlerin ortalamasıdır. Eğer ölçüm sonucunda bulunan değerlerin, en yükseği ile en düşüğü arasındaki fark şartnamelerde belirtilen sınırı aşıyorsa deney ikinci bir numune ile tekrarlanır.. Viskozite ve penetrasyon derecesi benzer sayılarla verilir. Örneğin 80-100 penetrasyonlu asfalt, 50-100 viskoziteli asfalt gibi. Fakat bunlar farklı şeylerdir.

Bunların benzer şekilde ifade edilmesi yanılmalara yol açar. Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusudur. Buna karşılık viskozitede durum terstir. Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcağa daha dayanıklıdır (Umar ve Ağar, 1991).

3.10.2. Bitümlü bağlayıcılar-yumuşama noktası tayini-halka ve bilye metodu (TS 120 EN 1427- ASTM D36)

Bitümün sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılıklarını ve hangi sıcaklıkta akmaya başladığını ölçmek için uygulanan deneydir. En kısa ve basit yöntem yüzük ve bilye yöntemi ile yumuşama noktasının bulunmasıdır. 16 mm (5/8 inç) çapında ve 6,4 mm (1/4 inç) kalınlığında pirinç bir yüzük vazelinle yağlandıktan sonra, deneye tabi tutulacak bitümlü malzeme eritilerek pirinç yüzüğe doldurulur. Bir saat süre ile soğutulduktan sonra taşan kısımları ısıtılmış bir spatula ile kesilip alınır. Numune ve 9,5 mm (3/8 inç) çapındaki çelik top, 5 °C'ye kadar soğutulmuş saf su ile tabandan yaklaşık 9 cm yüksekliğe kadar doldurulmuş olan beherin içine yerleştirilir. Numuneyi taşıyan halkanın alt yüzü beherin tabanından 2,5 cm (1 inç) yukarıda olacak şekilde yerleştirilir. Termometre civa haznesinin ucu halkanın alt yüzü ile aynı düzeyde ve halkadan 0,5 cm uzaklıkta bulunacak şekilde behere sarkıtılır. Beherdeki suyun sıcaklığı 15 dakika süreyle 5 °C'de sabit tutulur. Daha sonra bilye uygun bir masa yardımı ile halka içindeki numunenin tam ortasına yerleştirilir. Beherdeki suyun sıcaklığı ilk 3 dakikadan sonra dakikada 5°C yükselecek şekilde ısıtılır. Sıcaklığın artması ile yumuşayan malzeme, beherin tabanına değdiği anda termometreden okunan sıcaklık, yumuşama noktası değeri olarak kaydedilir. Yumuşama noktası tayini iki numune üzerinde yapılır ve sonuç bu iki değerin ortalaması olarak alınır. Yumuşama noktası cihazı Şekil 3.12.ve Şekil 3.13. Bilye ve halkalar ile gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Yumuşama noktası cihazı



Şekil 3.13. Bilye ve halkalar

3.10.3. Özgöl ağırlık deneyi

Bir bağlayıcının özgül ağırlığı bunun belli bir hacminin ağırlığının aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir. Birincisi; çok defa ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi

açısından özgül ağırlık yararlıdır (Umar ve Ağar, 1991). Özgül ağırlık tayini için piknometre metodu kullanılır. Bu metotta, önce boş piknometre kabı kuru olarak tartılır, daha sonra su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Piknometre kabı boşaltılır, kurutulur, içine uygun miktarda bağlayıcı genellikle 2/3 yüksekliğine kadar ya küçük parçalar halinde veya eritilmiş malzeme akıtılarak konur. Eğer ısıtılmış malzeme akıtılacak ise malzeme içinde hava kabarcıkları kalmamasına dikkat edilmesi gereklidir. Piknometre içinde kalan boşluk su ile doldurulur ve tartılır. Deneyde kullanılacak su saf su olmalıdır. Deney, genellikle 25 °C’de yapılır. Farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25°C’ye çevirmek için çeşitli abaklardan yararlanılır (Umar ve Ağar, 1991).

$$\text{Özgöl ağırlık } \left(\frac{KN}{cm^3}\right) = (C-A)/((B-A)-(D-C)) \quad (3.12)$$

Burada;

A= Piknometre ağırlığı (gr)

B= Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)

C=Piknometre ve asfalt ağırlığı (gr)

D=Piknometre, asfalt ve su ağırlığı (gr)

3.11. Deney tasarımı

Deney tasarımı 1920’lerde ingiliz istatistikçi “Sir Ronald Fisher” tarafından tarım alanında üretim verimini arttırmak amacıyla araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika’da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için uygulanmış ve Amerika’nın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Yöntem özellikle tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama yüzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır.(Şirvancı,1997).

Herhangi bir ürün veya süreç tasarımında karşılaşılan problemlerde en iyi sonuçların elde edilebileceği şartları sağlayabilmek için performans özelliği belirlenerek bu özelliği etkileyen faktörler incelenmektedir. Bu faktörlerin performans çıktısı üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve en uygun kombinasyonunun bulunabilmesi

için kontrol edilemeyen faktörler ile deneyler yapılır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlendirilerek en uygun şartlar tespit edilmektedir. Bu yaklaşım ile deneyler sisteme sorulan soru, deney sonuçları da sistemin verdiği cevap olarak algılanabilir. Kritik olan nokta ise, doğru cevabı alabilmek için doğru sorunun sorulmasıdır (scheffler,1997).

Deney Tasarımı (DT); deney, düzen ve çözümleme olarak üç aşamaya ayrılmaktadır. Genel olarak DT'nın adımları şu şekildedir

1. Etkileri arasındaki gerçek farkların araştırılması istenen faktörler ve seviyelerinin belirlenmesi.
2. Deneyde her faktör için kaç tekrar yapılacağına karar verilmesi.
3. Veri analizinde kullanılacak tekniklerin belirlenmesi.
4. Belirlenen deney tasarımıyla elde edilen deneysel veri sonuçlarının yorumlanması.

Deney tasarımı çalışmalarında faktöryel tasarım, cevap yüzeyi metodu ve Taguchi yöntemi günümüzde yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu yöntemler içinde Taguchi yöntemi, diğer yöntemlere göre daha az deney sayısı ve daha az maliyetle hızlı bir şekilde sonuca ulaşmayı sağlaması bakımından literatürde yaygın kullanılan yöntem olarak görülmektedir.

3.11.1. Taguchi yöntemi

Temel olarak deney tasarımı yöntemleri yüzyıl başında tarımsal araştırmalarda kullanılarak Fischer tarafından geliştirilmiştir (Montgomery, 2001; Yang vd., 1998). Ancak klasik deney tasarım yöntemleri kullanımları endüstriyel şartlar altında verimli ve sağlıklı olmayan yaklaşımlardır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktadır. Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm getirmiştir (Ross, 1989). Bu sayede deney öncesinde yapılan ayrıntılı analiz ve değerlendirmelerle gereken deney sayısını önemli şekilde düşürmek mümkün olmuştur.

Taguchi metodu bir deney tasarım tekniği olmanın ötesinde yüksek kalitede sistem tasarımı için son derece faydalı bir tekniktir. Diğer taraftan deney sayısında elde edilen azalma, faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde gözardı edilmesinden kaynaklanmaktadır. Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/gürültü oranı değeri küçük değer iyi, büyük değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Hangi S/N oranı değerlendirilmede kullanılırsa kullanılsın, sonuç olarak karşımıza çıkan değerlerde daha büyük olan S/N oranı daha iyi deney sonucunu ifade eder. Böylelikle deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olan değerler en iyi performansı verecektir. Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirebilmesini sağlaması ve bunun için de tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur (Ross, 1989).

Taguchi Deney Tasarımı tekniğine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar aşağıdaki şekildedir (Yang vd., 1998):

1. Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi
2. Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi.
3. Doğru dengeli tasarımın seçimi.
4. Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki kolonlarla eşleştirilmesi.
5. Deneylerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi.
6. Sonuçların analizi.
7. Onama deneylerinin yapılması.

3.11.2 Deney tasarımı

Deneyler sırasında incelenecek faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesinden sonra yapılacak deneylerin belirlenmesi aşaması gelmektedir. Taguchi Deney Tasarımı metoduna göre seçilecek dik düzenin belirlenmesi için tespit edilecek ilk veri, toplam serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi kısa tanımı ile hangi seviyenin optimum

sonucu vereceğini belirlemek için tasarım parametreleri arasında yapılması gereken karşılaştırma sayısını gösterir.

Beş seviyeli üç faktör için serbestlik derecesinin iki olması dolayısı ile seçilecek tasarımın sağladığı serbestlik derecesi, üç faktör için ihtiyaç duyulan altı serbestlik derecesinden yüksek olmalıdır. Bu açıdan da değerlendirildiğinde çalışma için uygun tasarım olarak dokuz deneyli Taguchi L25 dik düzeyi elde edilen (Çizelge 3.6). Bu tasarım üç adet beş seviyeli faktörün ana etkilerinin incelenmesine imkan sağlamaktadır (Toplam 25 deneyin imkan verdiği maksimum serbestlik derecesi 8'dir). Çalışma çerçevesinde gerek duyulan altı serbestlik derecesi dışında kalan serbestlik dereceleri ise hata değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 3.5. Deney faktörleri ve seviyeleri

	Faktörler	1.seviye	2.seviye	3.seviye	4.seviye	5.seviye
1	Agrega gradasyonu	G1	G2	G3	G4	G5
2	% RAP	%0	%7	%14	%21	%28
3	% Bitüm	%3.7	%4.2	%4.7	%5.2	%5.7

Bu veriler minitab programı ile analiz edilmiştir üç faktör, agrega gradasyonu, % RAP ve bitüm % sinin. En yüksek seviye sayısı 5, dolayısıyla ortogonal dizilimimizi seçerken L25 değeri kullanılır.

Tam faktöriyel bir deney tasarımına göre gereken 125 deneye kıyasla Taguchi deney tasarımına göre yapılması gereken bu 25 deney Çizelge 3.7'de verilmiştir

Çizelge 3.6. Taguchi L25 deney tasarımı

No	Agrega gradasyonu	RAP%	Bitüm%
1	g1	%0	3,7
2	g1	%7	4,2
3	g1	%14	4,7
4	g1	%21	5,2
5	g1	%28	5,7
6	g2	%0	4,2
7	g2	%7	4,7
8	g2	%14	5,2
9	g2	%21	5,7
10	g2	%28	3,7
11	g3	%0	4,7
12	g3	%7	5,2
13	g3	%14	5,7
14	g3	%21	3,7
15	g3	%28	4,2
16	g4	%0	5,2
17	g4	%7	5,7
18	g4	%14	3,7
19	g4	%21	4,2
20	g4	%28	4,7
21	g5	%0	5,7
22	g5	%7	3,7
23	g5	%14	4,2
24	g5	%21	4,7
25	g5	%28	5,2

3.11.3. Tam faktöriyel tasarım

Taguchi yöntemlerinin eksikliklerini gidermek için tam faktöriyel tasarım uygulanabilir (Montgomery, 1997). Bu yaklaşım, olası tüm kombinasyonlar da dahil olmak üzere tasarım değişkenleri arasındaki etkileşimleri ortaya çıkarmaktadır. Tam faktöriyel tasarım stratejisine göre, tasarım değişkenleri birer birer yerine birlikte değiştirilir. Önce tasarım değişkenlerinin her birinin alt ve üst sınırları belirlenir (kesin

değerler bilinmiyorsa tahmini değerler kullanılır). Ardından tasarım alanı, her tasarım değişkeninin seviye değerlerini seçerek ayrık hale getirilir. İkinci durumda, deney tasarımı Çizelge 3.8 sınıflandırılır.

Çizelge 3.7. Tam faktöryel deney tasarımı

No	Agrega gradasyonu	RAP%	Bitüm%
1	g2	%21	%5.7
2	g5	%7	%5.2
3	g1	%21	%4.2
4	g5	%21	%5.2
5	g5	%28	%5.2
6	g1	%7	%4.2
7	g1	%14	%4.7
8	g5	%14	%5.7
9	g1	%0	%3.7
10	g2	%21	%5.2
11	g2	%28	%3.7
12	g1	%14	%4.2
13	g1	%0	%5.7
14	g1	%28	%3.7
15	g4	%0	%5.7
16	g3	%0	%5.2
17	g1	%0	%5.2
15	g4	%7	%3.7
19	g5	%7	%3.7
20	g4	%21	%5.7
21	g2	%0	%3.7
22	g2	%0	%4.7
23	g3	%21	%5.7
24	g2	%0	%4.2
25	g2	%28	%5.2
26	g4	%14	%4.2
27	g5	%0	%5.2
28	g5	%28	%4.7

29	g2	%7	%3.7
30	g3	%28	%5.2
31	g1	%28	%4.7
32	g4	%28	%5.7
33	g3	%14	%4.2
34	g1	%0	%4.2
35	g4	%0	%3.7
36	g3	%21	%4.2
37	g1	%7	%3.7
38	g5	%21	%4.7
39	g2	%21	%4.7
40	g1	%7	%4.7
41	g5	%0	%5.7
42	g4	%7	%5.7
43	g1	%21	%5.7
44	g1	%28	%5.2
45	g3	%28	%4.7
46	g4	%28	%5.2
47	g3	%7	%3.7
48	g1	%14	%5.2
49	g5	%28	%3.7
50	g1	%28	%4.2
51	g4	%21	%3.7
52	g1	%21	%5.2
53	g4	%7	%4.2
54	g2	%28	%4.7
55	g3	%21	%5.2
56	g5	%21	%3.7
57	g1	%21	%3.7
58	g3	%0	%5.7
59	g2	%28	%4.2
60	g5	%21	%5.7
61	g4	%14	%5.2
62	g1	%14	%3.7
63	g5	%28	%5.7

64	g4	%7	%4.7
65	g3	%14	%5.7
66	g2	%14	%3.7
67	g1	%28	%5.7
68	g1	%14	%5.7
69	g5	%0	%4.7
70	g2	%28	%5.7
71	g4	%28	%4.2
72	g2	%14	%5.7
73	g4	%0	%4.7
74	g2	%14	%4.2
75	g2	%7	%5.2
76	g4	%14	%4.7
77	g5	%14	%3.7
78	g1	%7	%5.2
79	g3	%7	%4.2
80	g3	%21	%3.7
81	g5	%14	%4.7
82	g1	%7	%5.7
83	g3	%0	%4.7
84	g4	%7	%5.2
85	g5	%14	%4.2
86	g5	%21	%4.2
87	g3	%28	%3.7
88	g5	%0	%4.2
89	g3	%7	%5.2
90	g4	%21	%4.2
91	g2	%0	%5.2
92	g2	%7	%4.2
93	g4	%21	%5.2
94	g5	%7	%4.2
95	g4	%0	%5.2
96	g3	%7	%4.7
97	g3	%0	%3.7
98	g2	%21	%3.7

99	g5	%7	%5.7
100	g3	%7	%5.7
101	g4	%14	%5.7
102	g2	%14	%5.2
103	g3	%28	%4.2
104	g3	%14	%4.7
105	g3	%14	%5.2
106	g4	%28	%4.7
107	g1	%0	%4.7
108	g4	%0	%4.2
109	g4	%28	%3.7
110	g1	%21	%4.7
111	g5	%28	%4.2
112	g2	%21	%4.2
113	g3	%14	%3.7
114	g5	%14	%5.2
115	g4	%14	%3.7
116	g5	%7	%4.7
117	g3	%28	%5.7
118	g3	%21	%4.7
119	g2	%7	%5.7
120	g4	%21	%4.7
121	g2	%0	%5.7
122	g3	%0	%4.2
123	g5	%0	%3.7
124	g2	%7	%4.7
125	g2	%14	%4.7

3.12. Marshall Stabilite Deney Numunelerinin Hazırlanması

Aynı agrega karışımına farklı oranlarda bağlayıcı karıştırarak maksimum stabiliteyi veren optimum bağlayıcı miktarının saptanmasında, bitümlü karışımındaki boşluk oranları ve kuru agrea karışımındaki boşlukların bağlayıcı ile doldurulma oranların hesaplamaya yarayan bir serbest basınç deneyidir.

Deney numuneleri; granülometrik şartlara uygun yaklaşık 1200 g agregâ hazırlanır. Filler malzemesi ve miktarı önceden belirlenmiştir. Ayrıca % 3.5, 4 , 4.5 , 5 , 5.5 , 6 , 6.5 oranlarında yedi adet bitüm hazırlanır. Hazırlanan agregâ karışımı etüvde 165 °C ye kadar bitüm ise 145 °C ye kadar ısıtılır.

Isıtılmış malzeme etüvden alınarak yukarıda belirlenen oranlarda hazırlanan bitümle karıştırılarak yedi tür bitümlü karışım hazırlanır. Farklı bağlayıcı yüzdesine sahip karışımlardan üçer adet numune hazırlanır. Hazırlanan farklı bağlayıcı yüzdesine sahip karışımlardan ısıtılmış kalıplara doldurulur.

Her numunenin üzerine ilgili numuneye ait etiket yerleştirilir. Karışım 101,6 mm çapında ve 63,5 mm yüksekliğinde numune kalıbına yerleştirilerek 457,2 mm den düşen 4536 g (10 lb.) ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılır. Numunenin her iki yüzüne trafik durumuna göre orta trafik için 50, yüksek trafik için 75 darbe vurulur.

Tokmaklanması biten numune kalıptan çıkarılarak soğumaya bırakılır. Bu çalışmada yüksek trafik dikkate alınarak numune, her iki yüzüne 75 tokmak vurularak sıkıştırılmıştır.

Marshall deney numuneleri bir gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doymuş yüzey kuru ağırlıkları tartılır ve deneye alınır. (Umar ve Ağar ,1991). Marshall deneyi uygulanma aşamaları Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Marshall briket numuneleri hazırlanmasının aşamaları



Şekil 3.15. Marshall deneyi uygulanma aşamaları



Şekil 3.16. Marshall deneyi uygulanma aşamaları

3.12.1 Marshall stabilite deneyi (ASTM D-1559)

Deneyin numuneleri 60 °C sıcaklığa getirmek için 30-40 dakika su banyosunda veya 2 saat etüvde bekletilir. Klavuz çubuğu ve deney kafaları temizlenip, üst kafa çubukta rahatça kayacak şekilde klavuz çubuğu yağlanır. Briket banyodan veya etüvden çıkarılarak kırma kafasının alt kısmına yerleştirilir. Numunenin su banyosunda çıkartılıp maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 sn den fazla olmamalıdır. Kafanın üst parçası da briketin üstüne yerleştirilerek, her şeyin deney pozisyonunda olması sağlanır. Akma ölçer yerleştirilerek sıfıra ayarlanır ve yük uygulanırken akma ölçer kolu kırma kafasının üst parçası karşısında tutulur. Maksimum yüke erişinceye kadar 50,8 mm / dk 'lık bir yükleme yapılır. Numunenin kırılma anında maksimum yük değeri ve akma değeri ölçülür. Numunenin yüksekliği 63,5 mm den farklı ise Marshall stabilitesi düzeltme katsayısı ile çarpılarak değerlere düzeltme faktörü uygulanır (Önal ve Karaca, 1984).

3.12.2. Kaplama karışım hesapları için gerekli bağıntılar

Kaplama karışım hesapları için, agregata efektif özgül ağırlığının tayini, kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesinin hesaplanması, bitüm absorpsiyon yüzdesinin hesaplanması, kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesinin hesaplanması, farklı bitüm miktarlarında hazırlanan karışımın maksimum özgül ağırlığının tayini hesapları yapılmıştır.

3.12.3. Agregata efektif özgül ağırlığının tayini

Agregata tarafından absorbe edilen asfalt hacmi, absorbe edilen suyun hacminden daha azdır. Bunun sonucu olarak agreganın efektif özgül ağırlık değeri, hacim ve zahiri özgül ağırlık değerleri arasında olmalıdır. Efektif özgül ağırlık bu limitlerin dışına düştüğünde değerin yanlış olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda ASTM D 2041'e göre yapılan teorik özgül ağırlık deneyi yeniden gözden geçirilmelidir. Bu deneyin yapılamadığı durumlarda, hacim özgül ağırlık ve zahiri özgül ağırlık değerlerinin ortalaması alınarak bulunan efektif özgül ağırlık değeri hesaplarda kullanılabilir. Agreganın efektif özgül ağırlığı eşitlik 3.13'de verildiği gibi aşağıdaki gibi hesaplanır:

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

Burada;

G_{ef} = Agrega Efektif Özgöl Ağırlığı (asfalt absorbe eden boşluklar hariç tüm boşlukları içerir.)

W_a = Agareganın Yüzdesi Olarak Bitüm

D_t = Gevşek Kaplama Karışımın Boşluksuz Maksimum Özgöl Ağırlığı

G_b = Bitüm Özgöl Ağırlığı

3.12.4. Kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesinin hesaplanması

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının agregada tarafından absorbe edilen bitüm miktarı kadar eksiktir. Bu, toplam bitüm miktarının agregada dışını kaplayan kısımdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır. eşitlik 3.14’de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$P_{bc} = W_a - P_{ba} \quad (3.14)$$

Burada;

P_{bc} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı.

W_a : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm.

P_{ba} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm.

3.12.5. Farklı bitüm miktarlarında hazırlanan karışımın maksimum özgül ağırlığının tayini (D_t)

Herbir bitüm yüzdesindeki hava boşluğu hesaplanırken, farklı bitüm yüzdelerindeki maksimum özgül ağırlığa ihtiyaç duyulur. ASTM D 2041’e göre deney yapılırken en

sağlıklı sonucu alabilmek için optimuma yakın bitüm yüzdesinde hazırlanmalı ve Dt için iki veya üç deney yapılmaya çalışılmalıdır.

Bitüm miktarının değişmesi bitüm absorpsiyonunu önemli ölçüde değiştirmez, bu sebeple maksimum özgül ağırlık (D_T), Eşitlik 3.15 kullanılarak bitüm yüzdesi ile her bitüm yüzdesi için ayrı ayrı hesaplanabilir.

$$\text{Max. Teorik Özgül Ağırlık } D_t = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (3.15)$$

Burada;

D_T = Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı (kN/cm^3)

W_a =Agrega ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr)

G_{ef} =Agreganın efektif özgül ağırlığı (kN/cm^3)

G_b =Bitüm özgül ağırlığı (kN/cm^3) (Uzun, 2011)

3.12.6. Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki boşluk hacmi yüzdesi

Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA), efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımın agrega daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak hesaplanır. VMA, agreganın hacim özgül ağırlığı esas alınarak hesaplanır ve sıkıştırılmış kaplama karışım hacminin yüzdesi olarak ifade edilir.

Böylece VMA, sıkıştırılmış kaplama karışımın hacminden agreganın hacim özgül ağırlığı ile hesaplanan hacmin çıkarılmasıyla hesaplanır. Eğer karışım kompozisyonu agreg ağırlığının yüzdesi olarak bulunmuşsa, eşitlik 3.16'da verildiği gibi hesaplanır.

$$V_{MA} = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} * \frac{100}{100 + W_a} * 100 \quad (3.16)$$

Burada;

VMA = Agregalar arası boşluk yüzdesi (%)

D_p = Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm³)

G_{sb} = Agreganın hacim özgül ağırlığı (kN/cm³)

W_a = Agreganın ağırlığının yüzdesi olarak bitüm ağırlığı (gr) (Uzun, 2011)

3.12.8 Sıkıştırılmış kaplama karışımındaki hava boşluğu (v_h) ve asfaltla dolu boşluk oranı (v_f) yüzdesinin hesaplanması

Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu, kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarından ibarettir. Eşitlik 3.17'den yararlanarak hesaplanır (Önal ve Kahramangil, 1993).

$$V_h = \frac{D_T - D_P}{D_T} \times 100 \quad (3.17)$$

Burada;

V_h = Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımındaki agrega boşluğu (%)

D_T = Kaplama karışımının maksimum özgül ağırlığı (kN/cm³)

D_p = Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı (kN/cm³)

Asfaltla dolu boşluk (V_f), sıkıştırılmış kaplama karışımının bitümle dolan boşluklarını içerir, eşitlik 3.18'den yararlanarak bu değer hesaplanır.

$$V_f = \frac{V_{MA} - V_h}{V_{MA}} \times 100 \quad (3.18)$$

Burada;

V_f : Asfaltla dolu boşluk.

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi.

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu

Bu deneyde; aşınma tabakası için gradasyonlar hazırlanmış, 21 adet biriket yapılmış ve de bu hesaplamalar kullanılmıştır.

3.12.9. Optimum bitüm yüzdesi belirlenmesi

Optimum bitüm yüzdesinin tayin edilebilmesi için çeşitli bitüm yüzdelerinde hazırlanmış olan numunelere ait Marshall Stabilite, birim ağırlık, akma, bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi ve boşluk oranını grafiklerinin çizilmesi gerekir.

Asfalt çimentosunun Marshall Stabilite değerini maksimum yaptığı değer, maksimum birim ağırlığı veren asfalt çimentosu oranı, şartnameye uygun olarak bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesini % 75 olarak sağlayan bağlayıcı oranı % 4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen % 3 - 5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranı grafiklerden bulunur. Bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir (Umar ve Ağar, 1991).

Bu şekilde belirlenen bitüm oranına göre üretilen sıcak asfalt karışımı, şartnamelerde belirtilen özellikleri taşıyacaktır. Daha sonra kontrol için optimum bitüm miktarlarının şartnamelerde belirtilen akma ve % VMA'ları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

3.13. Geri Kazanılmış Asfalt Betonu Malzemesi Kullanılan Marshall Stabilite Deney Numunelerinin Hazırlanması

Dizaynlarda ve uygulamada kazılan aşınma malzemesinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Çalışmada öncelikle Marshall metodu kullanılarak optimum asfalt miktarı belirlenmiştir. Karışım için gerekli olan optimum bağlayıcı miktarı belirlendikten sonra bu asfalt miktarı sabit kalmak şartı ile karışımın içerisine % 7, 14, 21, 28, oranlarında geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi (RAP) ilave edilmiş ve tekrar Marshall deneyine tabii tutulmuştur. Irak'ın Şartnamesinde belirtilen Binder

tabakası sıcak karışımları için tasarım değerleri aşağıdaki gibidir. Marshall metodu ile Binder tabakası tasarım kriterleri (Irak Karayolları Şartnamesi) Çizelge 3.9. ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Marshall metodu ile Binder tabakası tasarım kriterleri (Irak Karayolları Şartnamesi)

Özellikler	Binder Tabakası	
	Min.	Maks.
Darbe Sayısı	75	-
Marshall Stabilité (kg)	713.80	-
Boşluk (%)	3	5
Asfaltla Dolu Boşluk (%)	70	-
Akma (mm)	2	4
Filler/Bitüm Oranı	-	1,5
Asfalt Çimentosu	4	7
Agregalar Arası Boşluk (VMA,%)	13	

3.13.1. Deneyin yapılışı

Deney numuneleri; granülometrik şartlara uygun yaklaşık 1200 g (normal agreg + RAP malzemesi) agreg hazırlanır. Filler malzemesi ve miktarı önceden belirlenmiştir. Ayrıca % 5,25 optimum bitüm bağlayıcı miktarı sabit kalmak şartı ile karışımın içerisine % 7, 14, 21, 28, oranlarında geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi (RAP) ilave edilmiştir. Optimum bitüm oranında 75 adet Marshall numunesi hazırlanmıştır. Her RAP yüzdesi için üçer adet numune alınmıştır. Eklenecek agregalar ve kullanılacak bitüm yüzdesi için, ek-1'de gibi yararlanarak bu değerler hesaplanır. Hazırlanan agreg karışımı etüvde 165 °C ye kadar ve geri kazanılmış asfalt betonu malzemesi (RAP) 150 °C ye kadar bitüm ise 145 °C ye kadar ısıtılır. Isıtılmış malzeme etüvden alınarak yukarıda belirlenen oranda hazırlanan bitümle karıştırılır. Farklı RAP yüzdesine sahip karışımlardan üçer adet numune hazırlanır. Hazırlanan farklı RAP yüzdesine sahip karışımlardan ısıtılmış kalıplara doldurulur. Her numunenin üzerine ilgili numuneye ait etiket yerleştirilir. Karışım 101,6 mm (4 inç.) çapında ve 63,5 mm (2,5 inç.) yüksekliğinde numune kalıbına yerleştirilerek 457,2 mm (18 inç.) den düşen 4536g (10 lb.) ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılır. Numunenin her iki yüzüne trafik durumuna göre orta trafik için 50, yüksek trafik için 75 darbe vurulur. Tokmaklanması biten numune kalıptan çıkarılarak soğumaya bırakılır. Bu çalışmada

yüksek trafik dikkate alınarak numune, her iki yüzüne 75 tokmak vurularak sıkıştırılmıştır. Marshall deney numuneleri bir gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doymun yüzey kuru ağırlıkları tartılır ve deneye alınır. RAP malzemesi kullanılan Marshall briket numunelerinin hazırlanma aşamaları Şekil 3.17’de ile gösterilmiştir.



Şekil 3.17. RAP malzemesi kullanılan Marshall briket numuneleri hazırlanmasının aşamaları

3.15. İndirekt Çekme Mukavemeti

İndirekt Çekme Mukavemeti (ITS) Testi, Marshall cihazı kullanılarak dakikada 50.8 mm'lik yük artış hızında yapılır. ITS testi, çap düzlemi doğrultusunda düşey olarak yüklenen ve paralel hareket eden yüklerin sıkıştırması ile silindirik deney numunenin kırılmasını kapsar. ITS deneyi, asfalt betonunun gerilme özelliklerini belirlemek için uygulanır. Bu şekilde yol yüzeyinin kırılma özellikleriyle daha iyi bir bağlantı kurulabilir. ITS değerini hesaplamak için kırılmış olan deney numunesine uygulanan maksimum yüke göre aşağıdaki denklem kullanılır (Ahmedzade vd, 2008).

$$ITS = \frac{2 * P_{max}}{\pi * t * d} \quad (3.19)$$

Burada;

ITS: İndirekt Çekme Mukavemeti

P_{max}: Uygulanmış maksimum yük (kN),

t: Numunenin kalınlığı (mm),

d: Numunenin çapı (mm).

Yapılan Marshall sonuçlarına göre; % 0 ve % 7 ve % 14 ve % 21 ve % 28 RAP oranla koşullandırılmış numuneleri ve indirekt çekme yapılmıştır. Nem duyarlılığı testi için öncelikle elde edilen karışımdan her RAP yüzdesi için dört adet (25 numune) Marshall numunesi hazırlanır.

İndirekt Çekme Mukavemeti (ITS) testi aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Karışım hazırlanır ve sıkıştırılır. Sıkıştırılmış briketleri 24 saat boyunca kalıp içerisinde ortam sıcaklığında bekletilir.
2. 24 saat dolduktan sonra numuneleri kalıptan çıkarılır. Çıkarılan numunelerin üç noktadan yükseklik ve çap ölçümleri alınır.
3. Yükseklik ve çap ölçümleri alınan numuneleri 40°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 72 saat kurutulur.

4. 72 saat sonunda numuneleri etüvden çıkarılır ve kuru ağırlıklarını tartılır. Daha sonra bütün numuneleri 25°C sıcaklığa gelinceye kadar soğumaya bırakılır.
5. Numuneler 25°C sıcaklığa ulaştıklarında şartlandırma için hazırladıklarını 25°C sıcaklığa ayarlanmış su banyosunda yerleştirilir ve 24 saat banyoda bekletilir. Şartlandırılmadan kırılacakları da 25°C sıcaklığa ulaştıklarında bir streç film ile hava almayacak şekilde sarılır ve ortam sıcaklığında şartlandırılmış numuneler kırılınca kadar bekletilir.
6. Şartlandırılacak numuneler 24 saat su banyosunda bekledikten sonra üstünde en az 2.5 cm su olacak şekilde su dolu bir kaba koyulur ve doygunluk oranı %55 – 80 arasına gelinceye kadar vakumlanır.
7. Vakum işlemi tamamlandıktan sonra sudaki ağırlığını ve yüzey kuru suya doygun ağırlıklarını tartılır.
8. Sudaki ağırlık ve yüzey kuru suya doygun ağırlıkları tartılmış numuneleri streç film ile hava almayacak şekilde sarılır ve 16 saatliğine -18°C sıcaklığa ayarlanmış kabinde dondurulur.
9. 16 saat sonunda numuneleri donma kabininden çıkarılır ve 24 saat boyunca beklemek üzere 60°C sıcaklığa ayarlanmış su banyosunda çözündürülür.
10. 24 saat sonunda numuneleri 60°C sıcaklıktaki su banyosundan çıkarılır ve 25°C sıcaklıktaki suya 2 saatliğine yerleştirilir.
11. 2 saat sonunda numuneleri sudan çıkarılır ve şartlandırılmadan kırılacak numuneler ile birlikte 25°C ortam sıcaklığında kırılır.

Elde edilen her bir yeni karışımdan dörter adet daha 100 mm lik Marshall numuneleri hazırlanır ve ITS_{ISLAK} ve ITS_{KURU} değerleri elde edilir. hazırlanan numunelerin Çekme Mukavemeti Oranı (Tensile Strength Ratio – TSR) değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır. Şartnamede çekme dayanımı oranı % 80’ dir.

$$TSR = \frac{ITS_{ISLAK}}{ITS_{KURU}} * 100 \quad (3.20)$$

Burada ITS_{ISLAK} ve ITS_{KURU} değerleri ıslak ve kuru ITS değerlerinin ortalaması olup TSR değeri ortalama ıslak ve kuru değerlerinin oranının % olarak hesaplanmasıdır

(ASTM D6931, 2012). İndirekt çekme deneyi uygulanma aşamaları Şekil 3.18.ve Şekil 3.19 ile gösterilmiştir



Şekil 3.18. İndirekt çekme deneyi uygulanma aşamaları



Şekil 3.19. İndirekt çekme deneyi uygulanma aşamaları(devam)

3.16. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İlk yapay nöronun ortaya çıkışı 1940’larda Warren McCulloch ve Walter Pitts’in ortak çalışması sonucunda üretilmiştir. İkinci yükselişi, 1960’larda Rosenblatt’ın algılayıcı yakınsaması teoremini ortaya atması ve Minsky ve Papert’in basit bir perseptronun limitlerini göstermeleri ile olmuştur.

Son olarak 1982 yılında Hopfield’ın enerji yaklaşımı ilk gözle görünür gelişme olarak tarihe geçmiş, bunu Werbos’un çok katmanlı perseptronlar için geriye yayılma algoritması takip etmiştir (Parlakıyıldız, 2014).

Sinir hücreleri bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce nöron bulunur. Yapay nöronlar denilen işlem elemanları, sinir ağının dağılışı şekli, yapısı, ağın sahip olduğu öğrenme kuralı ve stratejisi bunların başında gelir. Nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleriyle katmanlar oluşmaktadır (Haykırı, 1994).

3.17 Biyolojik Sinir Ağı Hücresi

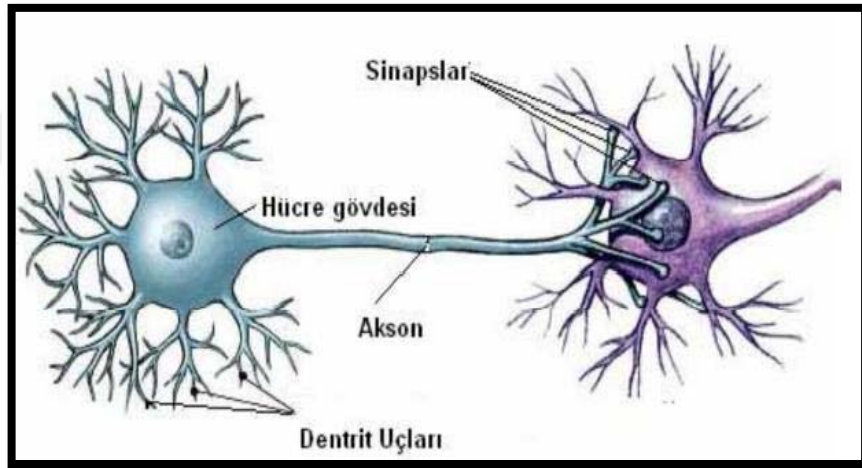
Biyolojik sinir ağları hakkındaki ilk çalışmalar bir sinir hücresinin yapısı ve bu hücrelerin birbirleri ile nasıl iletişimde bulundukları üzerine olmuştur. Bir sinir hücresinin temel elemanları ise hücre gövdesi, dendrit ve aksondur. Dendritler, sinir hücresine diğeri sinir hücrelerinden gelen elektriksel darbeleri toplarlar. Bir akson birden fazla dendrit ile iletişim kurabilir.

Bu bağlantının yapıldığı yere sinaps denir. Sinir hücrelerinden gelen uyarımların diğeri sinir hücrelerine taşınabilmesinde akson uçları ile dendritler arasındaki sinaptik boşluklar (sinaps) rol oynar. Nöronlar elektrik sinyalini hücre duvarındaki voltajı değiştirerek üretirler. Sinyaller hücrenin etkinliğini belirler. Bir hücrenin etkinliği, hücreye gelen sinaps sayısı, sinapslardaki iyonların konsantrasyonu, sinapsın sahip olduğu güç olmak üzere üç faktöre bağlıdır (Güven, 2006).

Biyolojik sinir ağı insan beynindeki çok sayıda sinir hücresinin bir araya gelerek oluşturduğu kompleks bir yapıdır. Bir sinir ağı milyonlarca sinir hücresinin bir araya

gelmesiyle oluşmaktadır. Merkezi sinir sisteminin temeli nörondur. İnsan beyinde yaklaşık 10 milyar sinir nöronu olduğu tahmin edilmektedir (Morova, 2013). Biyolojik sinir ağları duylardan gelen bilgiler ışığında algılama ve anlama mekanizmalarını uyararak olaylar arasındaki ilişkileri öğrenme yeteneğine sahiptir. Yapay sinir ağlarındaki işleme elemanları biyolojik olarak insan beyindeki nöronlarla benzer yapıdadır. Bir nöron hücresi Sekil 3.20’de şematik olacak (Öztemel, 2003). Milyonlarca nöron bir araya gelerek insanın sinir sistemini oluşturmaktadır.

Yapay sinir ağlarının işleyişi de biyolojik sinir ağına benzer olarak gelişmektedir. Nöronların iletim hızları bilgisayarlarınkinden daha yavaş olsa da sayısız sinapsın oluşturduğu bağlantılar, aynı anda birden fazla karar verilmesini ve beyin duysal verileri çok hızlı değerlendirmesini sağlamaktadır. Bu açıdan insan beyinin karmaşık yapısı hala tam olarak çözülememiş ve birçok fonksiyon hala tam olarak açıklanamamıştır (Öztemel, 2003).



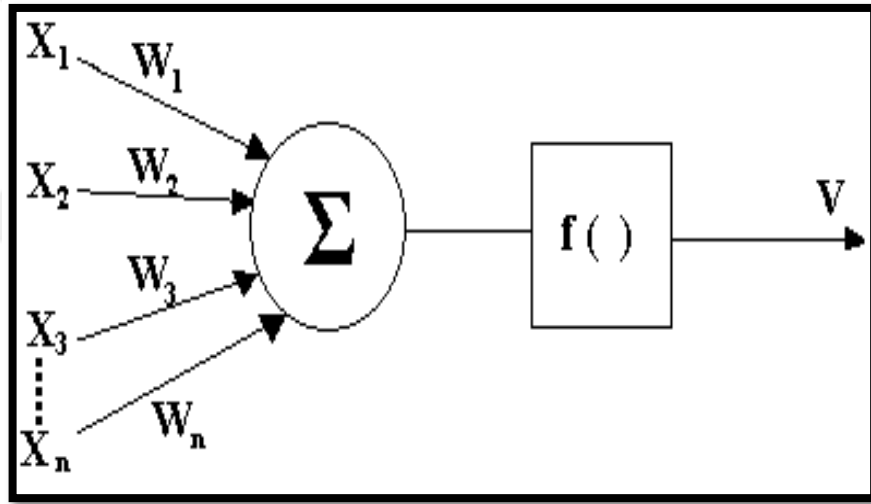
Şekil 3.20. Bir nöron hücresi şematik gösterimi (Parlakıyıldız, 2014)

3.18 Yapay Sinir Ağı Hücresi (YSA)

Yapay sinir ağları insan sinir sisteminin yapay olarak benzerini oluşturma çabaları sonucunda ortaya çıkmış yapılardır. Yapay sinir ağları günümüzde mühendislik, elektronik, matematik ve fizik gibi birçok dalda kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları klasik teknikler kullanarak çözülmesi zor olan problemlerde karşımıza alternatif bir çözüm olarak çıkmaktadır. Yapay sinir ağları çalışma şekli olarak biyolojik sinir ağları ile benzer bir yapıya sahiptir. Her bir yapay sinir ağı yapay sinir hücrelerinden

oluşturmuştur. Genel olarak bir yapay sinir hücresi 5 parçadan oluşur,.yapay sinir hücresi Şekil 3.21 görülmektedir (Berki, 2013). Bunlar:

- Girişler ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$)
- Ağırlıklar ($W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$)
- Toplama fonksiyonu (Σ)
- Aktivasyon fonksiyonu ($f()$)
- Çıkış (V)



Şekil 3.21. Yapay sinir hücresi (Berki, 2013)

Bu çalışmada Yapay sinir ağırları yöntemi kullanılarak farklı alanlarda birçok çalışma yapılmış olup; Marshal stabilite ve indirekt çekme deney aletinden elde edilmiş verilerden yola çıkarak ve yapay sinir ağırları kullanılarak yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda Marshal stabilite ve Akma ve indirekt çekme verileri kullanılarak Modelleme yapılmış ve yapay sinir ağırları test sonuçları tahmini hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölüm çalışmanın konusu olan geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinin Binder tabakasında kullanılabilirliğini belirleyebilmek için yapılan deneylerin sonuçlarını içermektedir. Elde edilen veriler kullanılarak stabilite ve Akma ve indirekt çekmenin testleri sonuçlarının tahmin edilebileceği istatistiksel ve yapay zekâ modelleri gerçekleştirilmiştir

4.1. Ekstraksiyon Deneylerinden Elde Edilen Araştırma Bulguları

Dizaynlarda ve uygulamada kazılan aşınma malzemesinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu deneyler yapılırken her deney için beşer adet numune kullanılmış çıkan sonuçların ortalamaları verilmiştir. Kazılmış aşınma malzemesi üzerinde yapılan ekstraksiyon deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de, deney sonucu elde edilen agregaya ait elek analizleri ise Çizelge 4.2 verilmektedir.

Bunlara ek olarak kazınmış malzemeden geri kazanım yoluyla elde edilen bitüm, karışıma katılacak normal bitüm ve eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ayrıca EN 13108-1:2006 standardına göre hesaplamalar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Ekstraksiyon sonrası bitüm oranı.

	Ekstraksiyon Deneyi			
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
Asfalt ağırlığı (gr)(A)	500	1000	500	500
Kuru asfalt	469	943.5	461.5	467.5
Kuru asfalt+filtre(B)	471	945.5	463.5	468.5
$A - B / A$	5.8	5,5	7.3	6.3
Ortalama% Bitüm Oranı Agreganın (%'si)	% 6.23			

Çizelge 4.2. Ekstraksiyon sonrası elek analizleri.

NO	Elek Boyu mm(in,No)	Tip	Üstte kalan agrega	Üstte kalan Agrega/ 2	Elekten gecen gr	Elekten gecen%	Aşınma tabakası için gradasyon limitleri
1	25(1'')	100	0	0	0	100	100
2	19 (3/4'')	90-100	14,5	7,25	1150	99,4	90-100
3	12,5 (1/2'')	70-90	156,5	78,25	1071,75	93	70-90
4	9,5 (3/8'')	56-80	179	89,5	982,25	85	56-80
5	4,75 (No.4)	35-65	679,5	339,75	642,5	56	35-65
6	2,36(No8)	23-49	406,5	203,25	439,25	38	23-49
7	0.3(No50)	5-19	556,5	278,25	161	14	5-19
8	0,075 (No.200)	3-9	171,5	85,75	75,25	6,5	3-9
9	Filler	4-6	150,5	75,25			
			2314,5	1157,25			

4.2. Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesinin (RAP) Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deney Bulguları

Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Kazınmış asfalt kaplama malzemesinin (RAP) birim hacim ağırlık değeri veri çizelgesi.

		Num 1
ω	RAP ağırlığı (gr).	503,61
h_1	Cam kapta su yüksekliği (cm).	8
h_2	Su içine numune attıktan sonra suyu yüksekliği (cm).	10,60
$V = \pi r^2 (h_2 - h_1)$	Numune Hacimi (cm ³).	204,1
r	Cam kap (silindir) çap yarı (cm).	5
$\gamma = \omega / v$	Birim hacim ağırlık değeri (gr/cm ³).	2,47

4.3.1. Numunelerde kullanılacak agregada gradasyonu

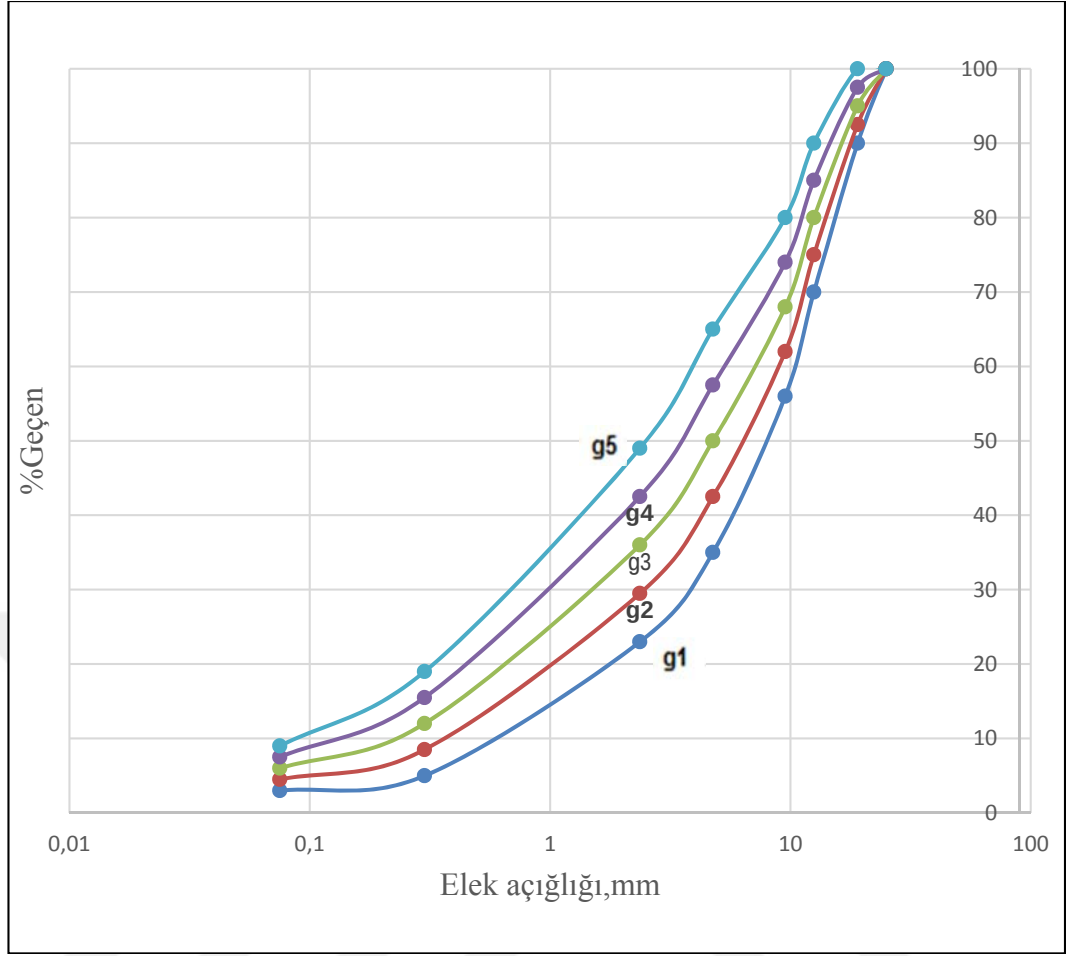
Deneyde kullanılan agreganın elek analizi ASTM C 136-84a, (1992)' ye göre yapılmıştır. Irak'ın Şartnamesinde verilen gradasyon sınır değerlerini sağlamaktadır. Bu gradasyon; % 50 Kaba agregada, % 45 İnce Agregada, % 5 'da filler malzemeden oluşmuştur. Bu değerler Çizelge 4.4' de sunulmuştur. Binder tabakasına ait oluşturduğumuz gradasyon eğrisi Şekil 4.1' de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Agrega granülometrisi (Irak binder gradasyonu şartnamasına göre 2003)

No	Elek Boyu Mm (in,No)	Tip
1	25 (1'')	100
2	19 (3/4'')	90-100
3	12,5 (1/2'')	70-90
4	9,5 (3/8'')	56-80
5	4,75 (No4)	35-65
6	2,36 (No8)	23-49
7	0,3 (No50)	5-19
8	0,075 (No200)	3-9
		4-6

Çizelge 4.5. Seçilen granülometri

NO	Elek açıklığı	g1 (Alt limit)	g2	g3 (Ortalama)	g4	g5 (Üst limit)
1	25	100	100	100	100	100
2	19	90	92,5	95	97,5	99
3	12,5	70	75	80	85	90
4	9,5	56	62	68	74	80
5	4,75	35	42,5	50	57,5	65
6	2,36	23	29,5	36	42,5	49
7	0,3	5	8,5	12	15,5	19
8	0.075	3	4.5	6	7.5	9



Şekil 4.1. Binder tabakası Seçilen gradasyon eğrisi.

4.3.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Deneyi

Bu deneyde TS 3526–2 standardına göre iri agreg (çakıl) ve ince agreg (kum) numunesinin özgül ağırlık ve su emme oranları, mineral fillerin de zahiri özgül ağırlığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7.’ de sunulmuştur Agregaların su emme yeteneği boşluk hacimlerinin oranı ile ilgili olmaktadır.

Boşluklu olan agregalarda su emme oranı fazla olmaktadır. Su emme oranı fazla olan agreganın dona karşı dayanımı da düşük olacaktır. Bundan dolayı, beton karışımlarında ve karayolu yapımında kullanılacak agregalarda su emme oranının düşük olması istenmektedir.

Çizelge 4.6. Çalışmada agrega olarak kullanılan iri ve ince kireçtaşı ve mineral fillerin malzemesinin özellikleri.

Deneyin Adı	Standartlar	Ölçülen Özellik	Test Sonuçları gr/ cm ³
İri Agrega Özgöl Ağırlık Deneyi	(ASTM C 127-88, 1992)	Hacim özgöl ağırlık	2,60
		Suya doymun özgöl ağırlık	2,62
		Zahiri özgöl ağırlık	2,67
		Su emme yüzdesi	1,02
İnce Agrega Özgöl Ağırlık Deneyi	(ASTM C 128-88, 1992)	Hacim özgöl ağırlık	2,43
		Suya doymun özgöl ağırlık	2,43
		Zahiri özgöl ağırlık	2,67
		Su emme yüzdesi	3,73
Mineral fillerin Özgöl Ağırlık Deneyi	(ASTM D 854-88, 1992)	Zahiri özgöl ağırlık	2,73

Çizelge 4.7. Çalışmada agrega olarak kullanılan kazanılmış asfaltın malzemesinden ekstraksiyon sonrası elde edilen iri ve ince kireçtaşı malzemesinin özellikleri (RAP).

Deneyin Adı	Standartlar	Ölçülen Özellik	Test Sonuçları gr/ cm ³
İri Agrega Özgül Ağırlık Deneyi	(ASTM C 127-88, 1992)	Hacim özgül ağırlık	2,530
		Suya doymun özgül ağırlık	2,630
		Zahiri özgül ağırlık	2,812
		Su emme yüzdesi	4
İnce Agrega Özgül Ağırlık Deneyi	(ASTM C 128-88, 1992)	Hacim özgül ağırlık	2,390
		Suya doymun özgül ağırlık	2,490
		Zahiri özgül ağırlık	2,670
		Su emme yüzdesi	4,4
Mineral fillerin Özgül Ağırlık Deneyi	(ASTM D 854- 88,1992)	Zahiri özgül ağırlık	2,733

4.3.3. Los Angeles (aşınma) deneyi sonuçları

Beton ve karayolu yapımında kullanılan agregalar atmosferik ve mekanik etkilerden dolayı aşınmaya, parçalanmaya, ufalanmaya ve kırılmaya maruz kalmaktadırlar. Bu yüzden agregaların kullanım yerlerine göre belli aralıklardaki sınır değerlerinde aşınmaya karşı dayanıklı olması istenmektedir. Karayolların da istenen şartname sınır değeri % 30'dur. Normal agregalar ve Ekstraksiyon Kalıntısı agregalar malzemelerinin

Los Angeles Deneyi ASTM C 131'e göre aşınma değerleri Çizelge 4.8 ve 4.9'de verilmiştir. Tablolardan da görüldüğü gibi, agregalar şartname değerini sağlamaktadır.

Çizelge 4.8. Normal agregaların kireçtaşı Los Angeles deneyi sonuç tablosu

Deneyin adı	Ölçülen özellik İlgili	Standartlar	Aşınma kaybı (%)
Los Angeles deneyi	Aşınma	ASTM C 131(1996)	20,38

Çizelge 4.9. Ekstraksiyon kalıntısının agregalarının Los Angeles deneyi sonuç tablosu

Deneyin adı	Ölçülen özellik İlgili	Standartlar	Aşınma kaybı (%)
Los Angeles deneyi	Aşınma	ASTM C 131(1996)	22,66

4.4. Bitüm Özellikleri

Deneysel çalışmalarda bağlayıcı olarak Isparta Belediyesi asfalt şantiyesinde kullanılan B 50/70 sınıfındaki asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bunlara ek olarak kazınmış malzemeden geri kazanım yoluyla elde edilen bitüm, karışıma katılacak normal bitüm ve eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Ayrıca EN 13108-1:(2006) standardına göre hesaplamalar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi, sadece geri kazanılmış bitüm kullanılmış olsa, şartname sınırlarını sağlamamaktadır.

Çizelge 4.10. B 50/70 asfalt Bitüm fiziksel özellikleri.

Deneyin Adı	Standartlar	Geri Kazanılmış Bitüm	Normal Bitüm B 50/70	Ts 1081 En 12591 B 50/70
PENETRASYON (25°C,100g,5sn.)0,1mm	TS EN 1426	61,33	66,7	50-70
YUMUŞAMA NOKTASI, °C (R/B, 25°C) °C	TS EN 1427	63,5	48,1	46-54
ÖZGÜL AĞIRLIK	TS 1087	0,987	0,958	1 civarında

EN 13108-1:2006 metoduna göre yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

A/ Karışımdaki bitümün penetrasyon değerlerin hesaplanması:

$$a * \text{pen1} + b * \text{pen2} = (a + b) * \text{pen.mix} \dots \dots \dots (4.1)$$

Burada;

Pen. Mix : bitüm karışımının penetrasyonu

Pen1: geri kazanılmış bitümün penetrasyonu

Pen2: normal bitümün penetrasyonu

a ve b : geri kazanılmış bitümün (a) ve, normal bitümün (b) kütlece oranı.(a+b=1)

Çizelge 4.11. Karışımdaki bitümün penetrasyonunun hesaplanması

PENETRASYON (25oc,100g,5sn.)0,1mm		%7 Pen1 %93 Pen2	%14 Pen1 %86 Pen2	%21 Pen1 %79 Pen2	%28 Pen1 %73 Pen2
Standartlar	TS EN 1426				
Geri Kazanılmış Bitüm (pen1)	33	2,31	4,62	6,93	9,24
Normal Bitüm B 50/70 (pen2)	57	53,01	49,02	45,03	41,61
TS EN 12591 B 50/70	50-70	55,32	53,64	51,96	50,85

$$0,28 * 33 + 0,73 * 57 = (1) \text{ pen.mix.}$$

$$\text{Pen .mix .} = 50,85$$

Sonuçlara göre % 7 ve % 14 ve % 21 ve % 28 geri kazanılmış bitüm şartnamenin sınırlarını sağlamaktadır.

B/ Karışımındaki bitümün yumuşama noktası değerinin hesaplanması:

$$TR\&B \text{ mix.} = a * TR\&B1 + b * TR\&B2 \dots\dots\dots(4.2)$$

Burada;

TR&B mix. : Karışımındaki bitümün yumuşama noktası

TR&B1: geri kazanılmış bitümün yumuşama noktası

TR&B2: ilave normal bitümün yumuşama noktası

Çizelge 4.12. Karışımındaki bitümün yumuşama noktası değerinin hesaplanması

Yumuşama Noktası, °C (R/B, 25°C) °C		%7 Tr&B1 %93 Tr&B2	%14 Tr&B1 %86 Tr&B2	%21 Tr&B1 %79tr &B2	%28 Tr&B1 %73 Tr&B2
Standartlar	TS EN 1427				
Geri Kazanılmış Bitüm TR&B1	63,5	4,445	8,89	13,335	17,78
Normal Bitüm B 50/70 TR&B2	48,1	44,733	41,336	37,999	36,075
TS EN 12591 B 50/70	46-54	49,178	50,226	51,334	53,855

Hesaplanan değer;

Burada;

Tr&B Mix. : Karışımındaki Bitümün Yumuşama Noktası

Tr&B1: Geri Kazanılmış Bitümün Yumuşama Noktası

Tr&B2: İlave Normal Bitümün Yumuşama Noktası

Sonuçlara göre %7 ve %14 ve 21 % ve 28 % geri kazanılmış bitüm şartnamenin sınırlarını Sağlamaktadır. Bitümlü karışımların sıcak havalarda deformasyona uğraması bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasına bağlıdır. 25 °C daki penetrasyonları aynı olan iki bağlayıcıdan yumuşama noktası yüksek olan sıcaklık değişimlerine daha dayanıklıdır.

Dolayısıyla kaplamada kullanılan bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası düşükse viskoz davranış ve kalıcı deformasyon erken başlar. Bitümlü kaplamanın kalıcı deformasyonlarında etkili faktörlerden biri yumuşama noktasıdır. Yumuşama noktası yüksek bağlayıcının kullanıldığı karışımlarda tekerlek etkisiyle oluşan deformasyonların daha az olduğu görülmektedir. Tekerlek izine hassas karışımlar için yumuşama noktası sıcaklığı tekerlek iziyle iyi bir korelasyon sağladığı ve yumuşama noktasındaki 5-6 °C lik bir azalmanın % 20 daha fazla tekerlek izine yol açtığı belirtilmektedir (Kutluhan, 2004).

4.5. Optimum Bitüm Yüzdesi

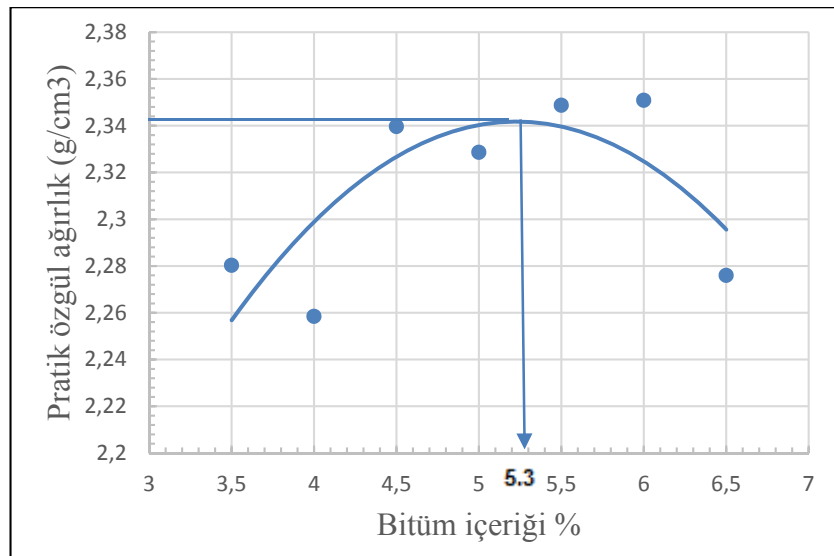
Optimum bitüm yüzdesinin tespit edilmesi için Marshall deney metodu ve numuneleri hazırlanmış, agrega gradasyonu sabit tutularak % 3,5- 4- 4,5- 5- 5,5- 6 ve % 6,5 oranlarında olmak üzere her bitüm yüzdesinden üçer adet numune hazırlanmıştır.

Binder tabakasının grafikleri aşağıda verilmiştir. Optimum Bitüm Yüzdesi bu grafikler yardımı ile hesaplanmaktadır. Buna göre pratik özgül ağırlık-% 5,3 bitüm, stabilite % 5,2 - bitüm, asfalt dolu boşluk -% 5,5 bitüm, % boşluk – 5 % bitüm, % VMA - % 4bitüm, % akma - % bitüm; grafikleri çizilmiştir Binder tabakasının pratik özgül ağırlık- bitüm miktarı grafiği Şekil 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Binder tabakası için Marshall Metodu dizayn değerleri

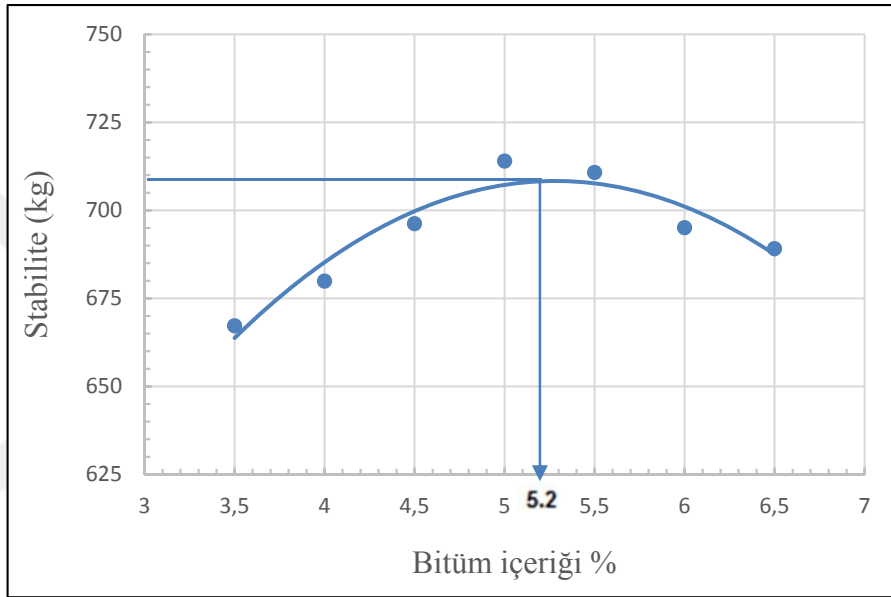
	Bitüm (%)						
	%3,5	4%	%4,5	5%	%5,5	6%	%6,5
Dp (g/cm ³)	2,28	2,26	2,34	2,33	2,35	2,35	2,28
Dt (g/cm ³)	2,41	2,39	2,46	2,44	2,45	2,41	2,39
Vh (%)	5,39	5,44	4,88	4,51	4,08	2,49	2,49
VMA (%)	14,59	13,82	12,98	13,11	13,66	14,33	15,47
Vf (%)	63,06	60,64	62,42	65,61	70,12	82,63	70,25
Akma (mm)	1,61	2,44	1,79	2,48	2,43	3,44	3,79
Düzeltilmiş Stabilite(kg)	667,23	679,93	696,25	714,02	710,78	695,12	689,15

Binder tabakasının grafikleri aşağıda verilmiştir. Optimum Bitüm Yüzdesi bu grafikler yardımı ile hesaplanmaktadır. Buna göre pratik özgül ağırlık-% 5,3 bitüm, stabilite % 5,2 - bitüm, asfalt dolu boşluk -% 5.5 bitüm, % boşluk – 5 % bitüm, % VMA - % 4bitüm, % akma - % bitüm; grafikleri çizilmiştir Binder tabakasının pratik özgül ağırlık- bitüm miktarı grafiği Şekil 4.2’ de verilmiştir.



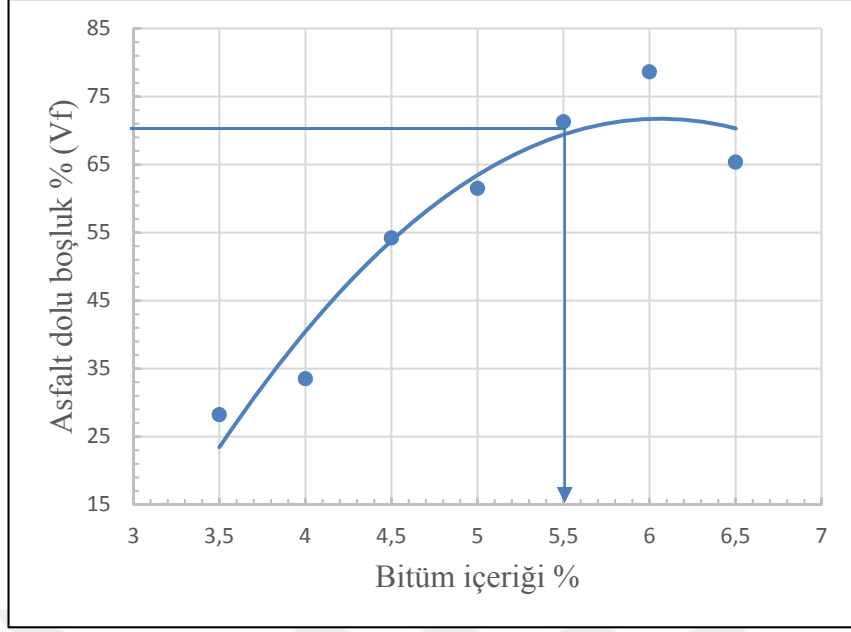
Şekil 4.2. Karışımın Pratik özgül ağırlık Dp-% bitüm ilişkisi

Artan bitüm miktarı ile yapılan asfalt çimentosuna ait briketlerin yoğunluğu artış göstermektedir. Bitümlü karışımların yoğunluğu arttıkça stabilite durabilite gibi fiziksel özelliklerinde de artış gözlenmektedir. Stabilite değeri, sıkıştırılmış bir kaplama karışımının yapısal mukavemetini ifade eder. Bu mukavemete birince derecede asfalt miktarı ile karışımdaki agregaların gradasyon ve karakteristiği etki eder. Grafik incelendiğinde bitüm miktarı arttıkça stabilite değeri azaldığı görülmektedir. Grafiğe göre max. Yoğunluktaki bitüm yüzdesi % 5,2 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.3’ de stabilite – % bitüm grafiği verilmiştir.



Şekil 4.3. Karışımın stabilite-% bitüm ilişkisi

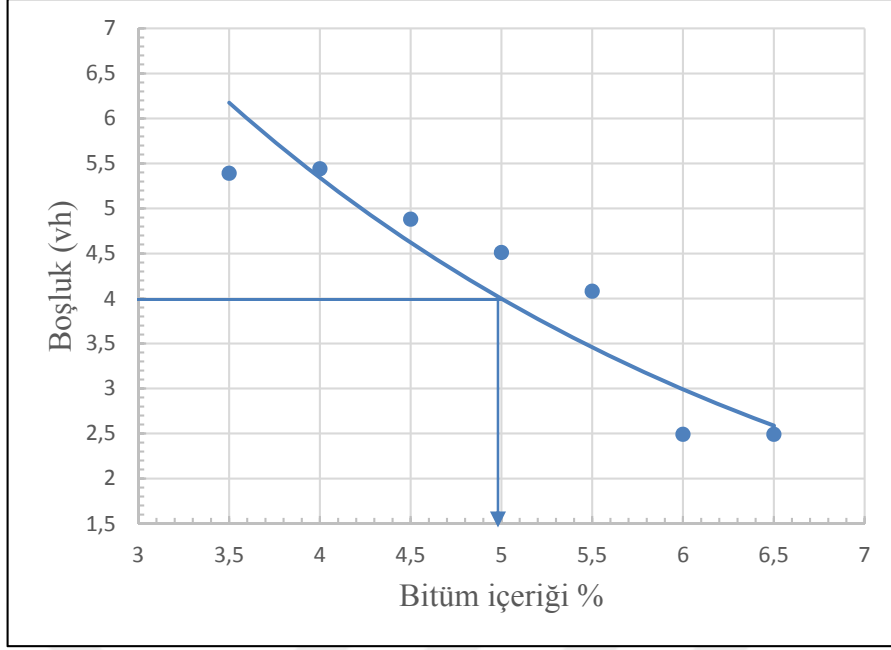
asfalt dolu boşluk oranı ile bitüm miktarı grafiği verilmiştir. Asfalt dolu boşluk oranı bitümlü agrega karışımının basınç altında boşluksuz bir kitle haline yaklaşabilme derecesini ifade eder. Bu özellik doğal olarak birinci derecede agrega boşluklarının ne dereceye kadar asfalt ile doldurulduğu ile alakalıdır. Şekil 4.4’ de Binder tabakasının asfalt dolu boşluk yüzdesi- bitüm miktarı grafiği verilmiştir.



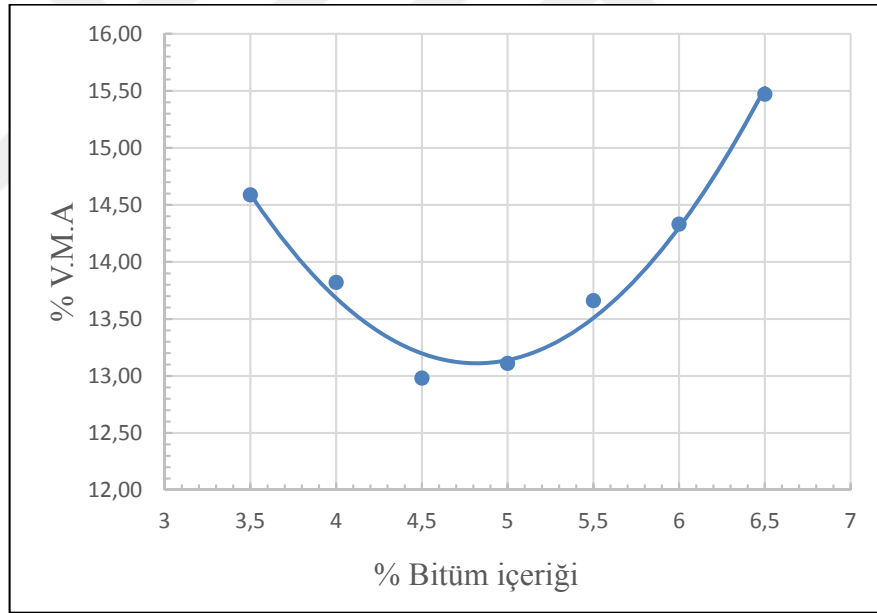
Şekil 4.4. Asfaltla dolu boşluk yüzdesi-bitüm ilişkisi

Beton asfalt karışımındaki bu boşlukların doldurulması aşırı su ve hava nüfuzunu engelleyecektir. Bu da agregalar arasındaki boşlukların maksimum derecede asfalt ile doldurulması ile mümkün olabilir. Bu şekilde yolun geçirimi azalacak, dolayısıyla yolda patlama şişleme gibi olaylar gözükmeyecektir. Grafik incelendiğinde artan bitüm miktarı ile asfalt dolu boşluk oranında artış olduğu gözlenmektedir.

Yani agregalar arasındaki boşluklar asfalt ile dolmaktadır. Bu artış bir süre sonra yavaşlamıştır. Bu durum agrega karışımındaki boşluk oranının azaldığını göstermektedir. Irak şartnamesine göre belirlenen Asfaltla dolu boşluk yüzdesi 70' dir. Buna göre bitüm yüzdesi % 5,5' dur. Şekil 4.5' da Boşluk % - Bitüm Miktarı grafiği verilmiştir. Şekil 4.6' de ise VMA- % Bitüm oranı verilmiştir



Şekil 4.5. Karışımındaki hava boşluğu - bitüm ilişkisi

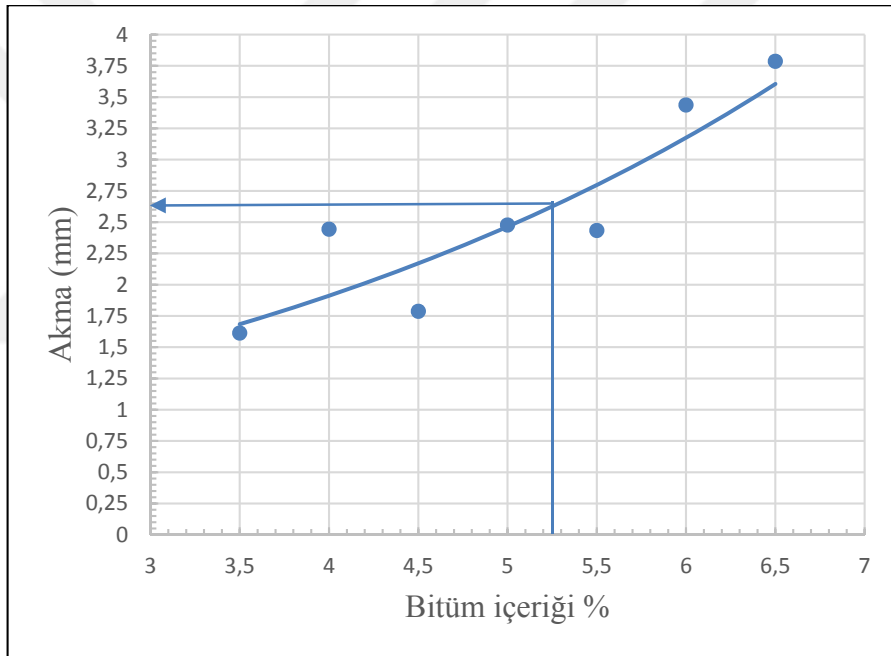


Şekil 4.6. Agregalar arası boşluk yüzdesi (% VMA) - bitüm ilişkisi

Agregalar arasındaki boşluk % boşluk oranı olarak ifade edilmektedir. Artan bitüm miktarı ile boşluklar dolmakta ve boşluk yüzdesi azalmaktadır. Boşluk yol yapımında çatlamalara, akmalara ve su girişine neden olmaktadır. Grafik incelendiğinde bitüm miktarı arttıkça boşluk oranının azaldığı görülmektedir. Bir süre sonra bitümün agregalar arasındaki boşlukları tamamen doldurduğu, bitüm yüzdesinin artsada boşluk

yüzdesinin azalmadığı görülmüştür. Irak Karayolları Şartnamesine göre ortalama boşluk oranı % 5 dır, Buna göre bitüm yüzdesi % 5 olarak belirlenmiştir.

Akma değeri; numunede kırılmayı meydana getirmek için gereken çap boyunca olan ezilmeyi ifade eder. Bu değer, plastikleşmeye veya kaplamanın trafik altında deforme olmasına karşı mukavemetin bir göstergesidir. Ayrıca akma değeri beton asfalt kaplamaların asfaltların plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan bir değerdir. Akma değerine birinci derecede etki eden faktör, agrega boşluklarının ne dereceye kadar asfalt ile doldurulmuş olduğudur. Karışımın asfalt numunesi arttıkça akma değeri de artar. Grafik incelendiğin de artan bitüm miktarı ile akma değerinde de bir artış olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.7. Karışımın akma değeri-bitüm ilişkisi

Tüm grafikler için şartname sınırları sağlanıyorsa; Marshall Deneyi için bu malzeme yol yapımına uygundur denir. Buna göre; en yüksek pratik özgül ağırlık değeri 2,340 g/cm³;bu değerle çakışan bitüm yüzdesi değeri: % 5,5 dır. Asfalt Dolu Boşluk Oranı Şartname değerine göre 68'dir. Bu değere karşılık gelen bitüm yüzdesi; %5,5dur. Stabilitate grafiğine göre, bitüm yüzdesi: % 5 e denk gelmektedir. Boşluk 5% grafiğine göre ise, şartname ortalaması olan % 5,25,değerine karşılık gelen bitüm yüzdesi olarak saptanmıştır. Optimum Bitüm Yüzdesi bu dört değerin aritmetik ortalamasıdır.

$$\text{Optimum Bitüm Yüzdesi} = \frac{5 + 5,2 + 5,5 + 5,3}{4} = \% 5,25$$

Bu değer ise 5,25 olarak saptanmıştır. Kontrol amacıyla optimum bitüm miktarlarının şartnamelerde belirtilen akma ve % VMA'ları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Buna göre yorumlanan VMA % değeri 13,2 dır, şartname değerini (% 13) sağlamaktadır. Akma değerinde 2,5 mm olarak okunmuştur şartname değerini (2-4) sağlamaktadır. Optimum bitüme göre stabilite değeri, 730 kg, Boşluk % 3,8. Asfalt Dolu Boşluk % 68, Pratik Özgül Ağırlık değeri de yine optimum bitüm yüzdesine göre, 2,340 g/cm³ olarak saptanmıştır. Hesaplanan optimum bitüm yüzdesine göre Binder tabakası dizayn verileri ve Karayolları Teknik Şartnamesi Çizelge 4.14' de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Optimum bitüm değerine göre dizayn verileri

Binder tabakası dizayn parametreleri	Optimum bitüm yüzdesi	Değer	Türkiye şartname aralığı	Sonuç	Irak şartname
pratik özgül ağırlık gr/cm ³	5,2	2,34		Uygun	
marshall stabilite/ kg	5,2	730	750	Uygun	713,80
asfalt dolu boşluk oranı %	5,2	68	60–75	Uygun	70
boşluk%	5,2	3,8	4-6	Uygun	3–5
agregalar arası boşluk yüzdesi v.m.a%	5,2	13,2	13–15	Uygun	13
akma mm	5,2	2,52	2–4	Uygun	2- 4

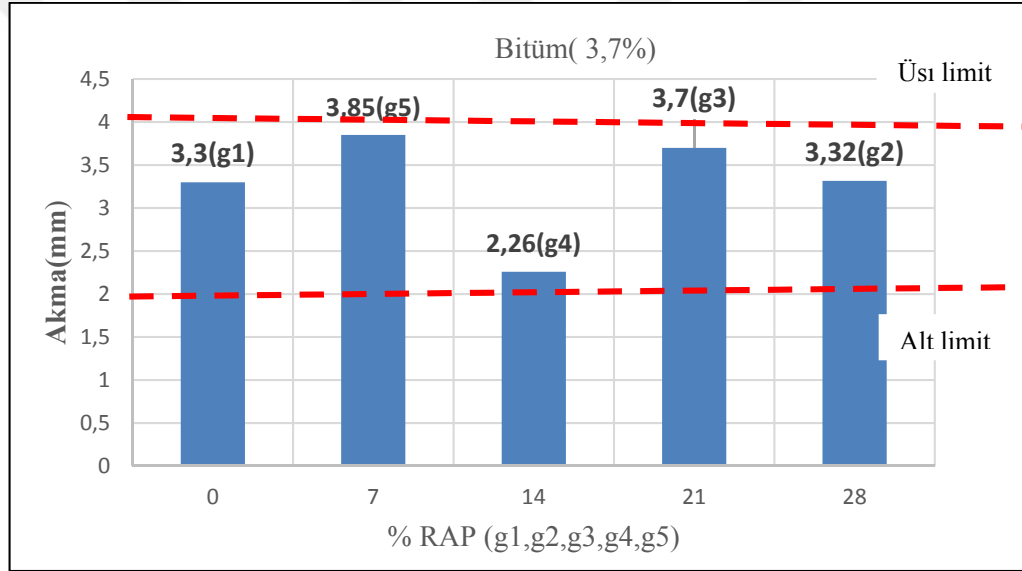
Çizelge 4.14'de görüldüğü gibi Binder tabakası için yapılan Marshall dizaynı İçin, ölçümü yapılan parametrelerin Irak şartname sınırları içerisinde olduğu görülmüştür.

4.6. Sıcak Karışımın İçerisine Kazınmış Asfalt Kaplama Malzemesin (RAP) İlave Edildiğinde Yapılan Deney Bulguları

Çalışmada öncelikle Marshall Metodu kullanılarak optimum asfalt miktarı belirlenmiştir. Karışım için gerekli olan optimum bağlayıcı miktarı belirlendikten sonra bu asfalt miktarı sabit kalmak şartı ile karışımın içerisine % 0, 7, 14, 21, 28 oranlarında geri kazanılmış asfalt betonu malzemeleri ilave edilmiş ve tekrar Marshall

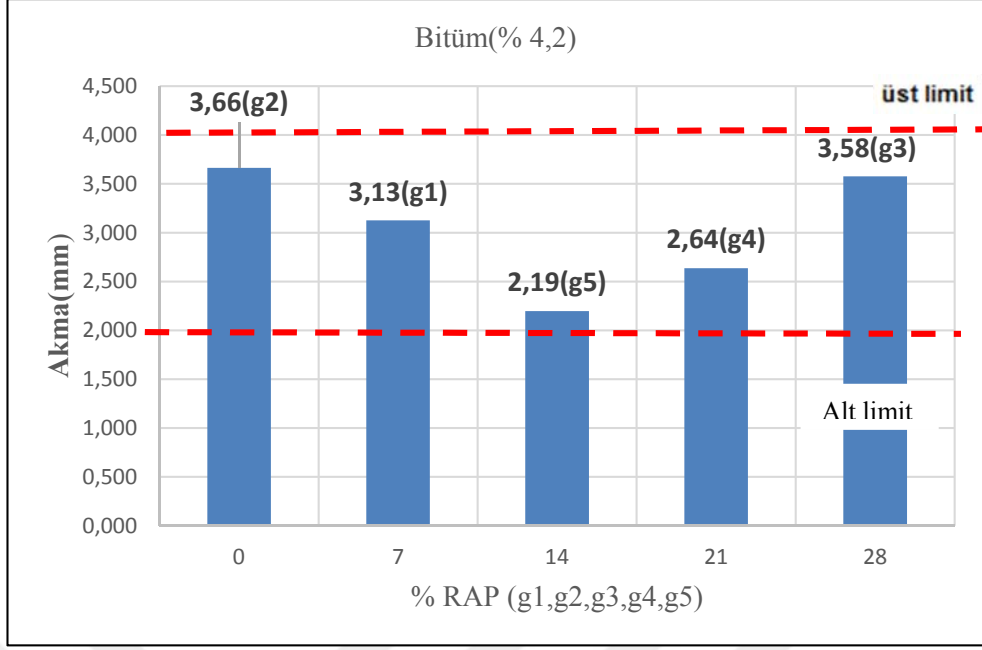
deneyi yapılmıştır. Ayrıca % 0, yani geri kazanılmış asfalt betonu malzemeleri (RAP) ilave edilmemiş kontrol numuneleri de üretilmiştir. Marshall stabilite, akma, özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, ve VMA değerlerinin RAP ilavesi ile değişimlerini gösteren grafikler, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 Şekil 4.12 Şekil 4,13 Şekil 4,14 Şekil4,15 Şekil 4,16 Şekil 4,17’da verilmiştir.

Şekil 4.8 de , %3,7 bitüm yüzdesi için ,en büyük akma değeri 3.85 mm (gradasyon 5 ,% 7 RAP) ve 3,7 mm (gradasyon 3, % 21 RAP) için olurken en az akma değeri 2,26 mm (gradasyon 4 , % 14 RAP) olmuştur. Kontrol numunesi (% 0 RAP , gradasyon 1) ve (% 28 RAP içeren gradasyon 2) numuneleri akma değerleri 3,3 ve 3,32 mm olarak özetlemiştir.



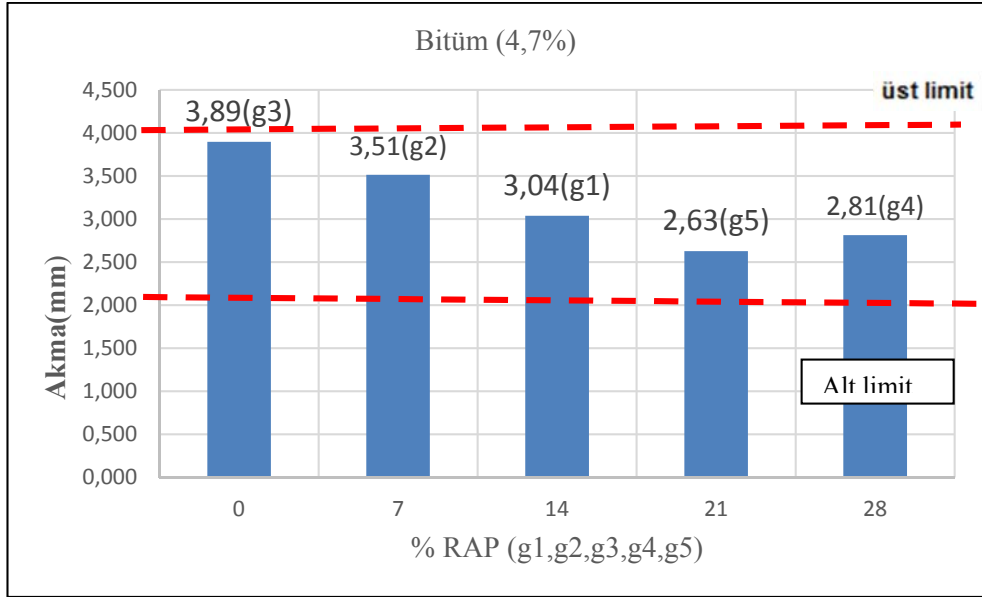
Şekil 4.8. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (3,7%) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği

Şekil 4.9 de , % 4,2 bitüm yüzdesi için ,en büyük akma değeri 3,66 mm kontrol numunesi (gradasyon 2 ,%0 RAP) ve 3.58 mm (gradasyon 3 , % 28 RAP) için olurken en az akma değeri 2.19 mm (gradasyon 5 , % 14 RAP) olmuştur (% 7 RAP , gradasyon 1)ve (% 28 RAP içeren gradasyon 3) numuneleri akma değerleri 3,13 ve 2,64 mm olarak özetlemiştir.



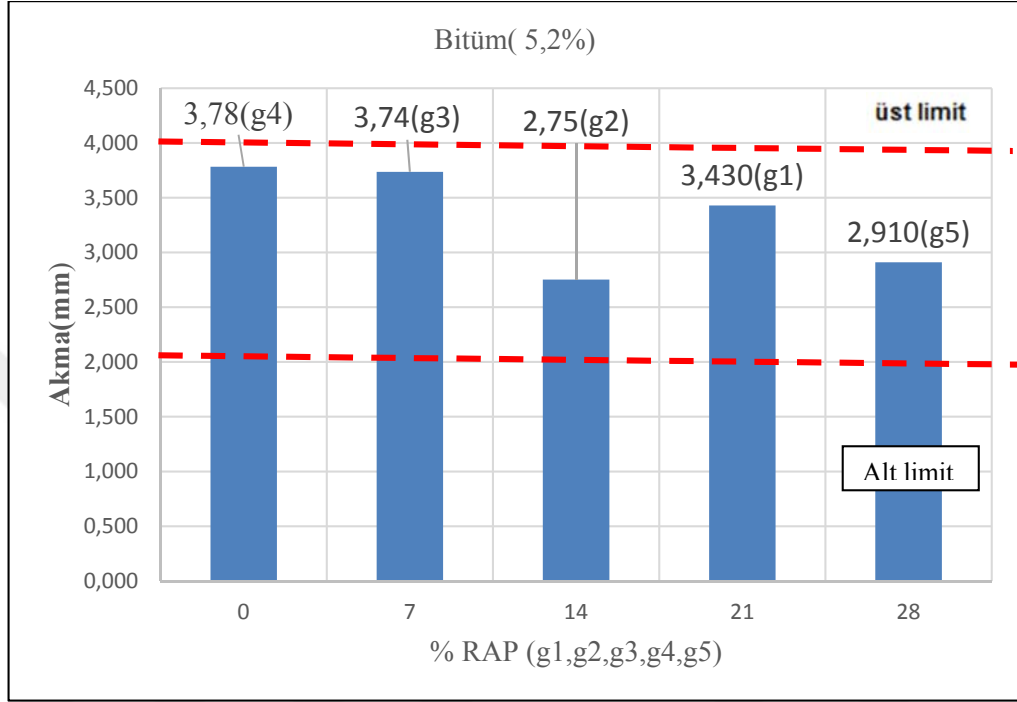
Şekil 4.9. Karışımın içerisine (%0 - %28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (4,2%) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği

Şekil 4.10 de , % 4,7 bitüm yüzdesi için, en büyük akma değeri 3.89 mm kontrol numunesi (gradasyon 3 ,%0 RAP) ve 3.51 mm (gradasyon 2 , % 7 RAP) için olurken en az akma değeri 2.81 mm (gradasyon 4 , % 28 RAP) olmuştur (% 14 RAP , gradasyon 1) ve (% 21 RAP içeren gradasyon 5) numuneleri akma değerleri 3,04 ve 2,81 mm olarak özetlemiştir.



Şekil 4.10. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4.7) ilave edildiğinde Marshall akma sonuç grafiği

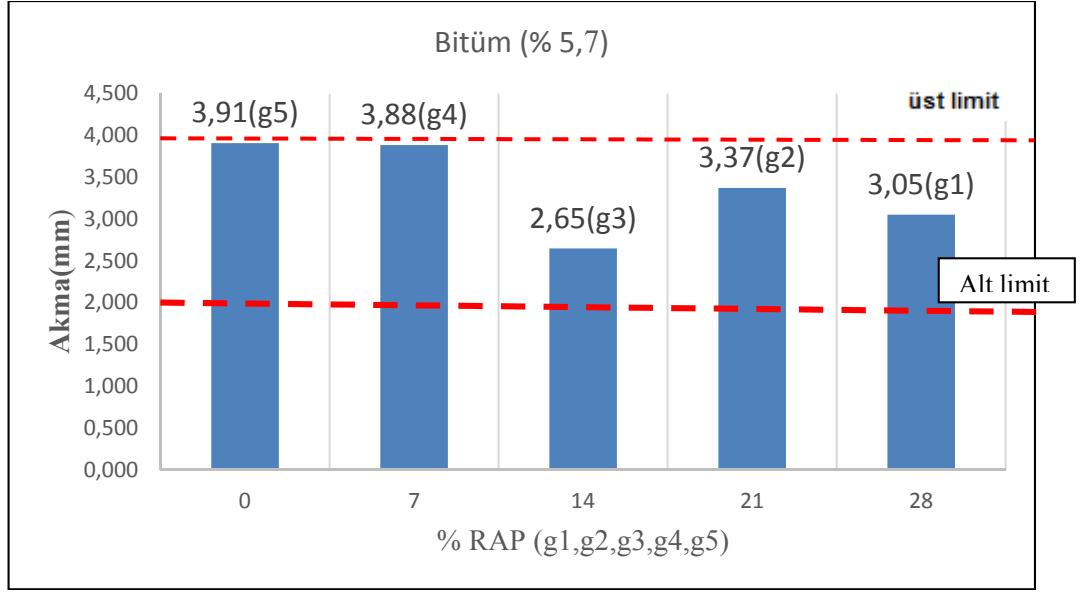
Şekil 4.11 de , % 5,2 bitüm yüzdesi için ,en büyük akma değeri 3,78 mm kontrol numunesi (gradasyon 4 ,% 0 RAP) ve 3,74 mm (gradasyon 3 , % 7 RAP) ve 3,43 mm (gradasyon 1 , % 21 RAP) için olurken en az akma değeri 2,75 mm (gradasyon 2 , % 14 RAP) ve 2,910 (% 28 RAP içeren gradasyon 5) olarak özetlemiştir.



Şekil 4.11. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,2) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği

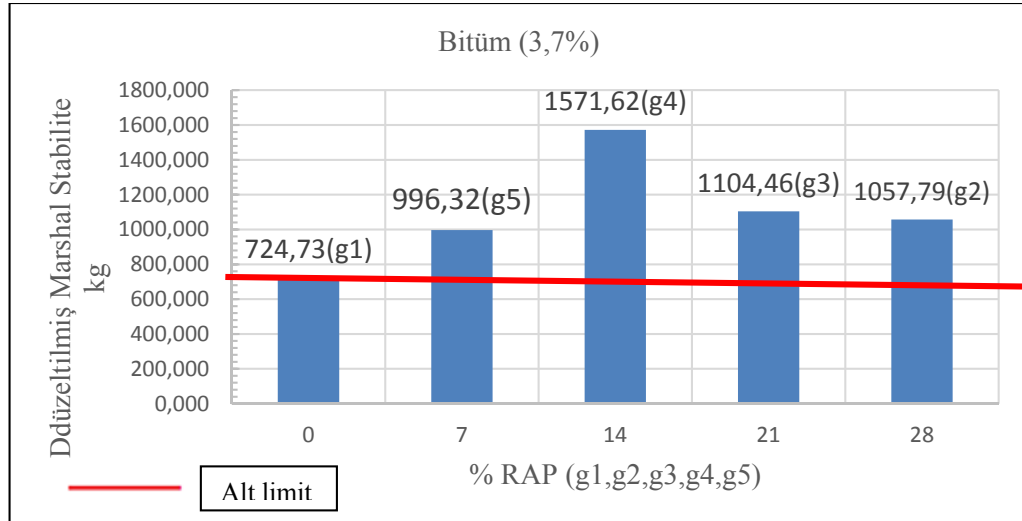
Şekil 4.12 de , % 5,7 bitüm yüzdesi için ,en büyük akma değeri 3,91 mm kontrol numunesi (gradasyon 5 ,% 0 RAP) ve 3,88 mm (gradasyon 4 , % 7 RAP) ve için olurken en az akma değeri 2,65 mm (gradasyon 3 , % 14 RAP) olmuştur (% 21 RAP , gradasyon 2) ve (% 28 RAP içeren gradasyon 1) numuneleri akma değerleri 3,37 ve 3,05 mm olarak özetlemiştir.

Marshall akma değerleri incelendiğinde RAP ilavesinin akma değerlerini şartname sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. Irak şartnamesinde binder tabakası için Marshall akma değerleri 2 – 4 mm arasında olmalıdır. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 Şekil 4.10 ve Şekil 4.12 de minimum akma değerini verdiği RAP % 14 ve en büyük akma değerini verdiği RAP % 0 ve % 7 görülmüştür ve % 21 akma değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür ve üretilen numunelerin şartname sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.12. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5.7) ilave edildiğinde Marshall Akma sonuç grafiği

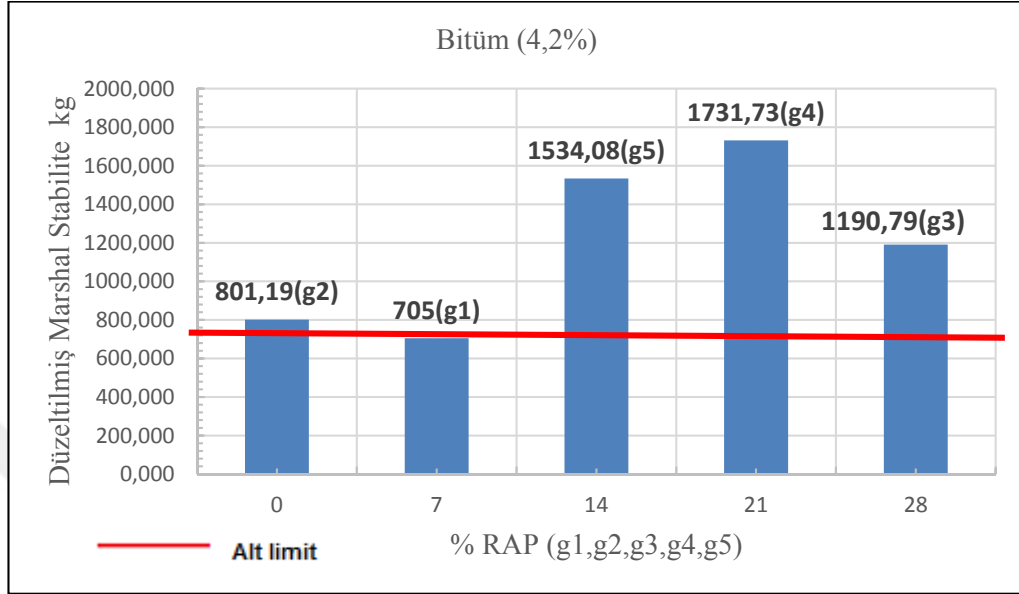
Şekil 4.13 de , %3,7 bitüm yüzdesi için ,en büyük stabilite değeri 1571,62 kg (gradasyon 4 ,% 14 RAP) ve en az stabilite değeri kontrol numunesi 724,73 kg (gradasyon 1 , % 0 RAP) olmuştur (% 7 RAP , gradasyon 5)ve (% 21 RAP içeren gradasyon 3) ve (% 28 RAP içeren gradasyon 2)numuneleri stabilite değerleri 996,32 ve 1104,46 ve 1057,79 kg olarak özetlemiştir.



Şekil 4.13. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 3.7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği

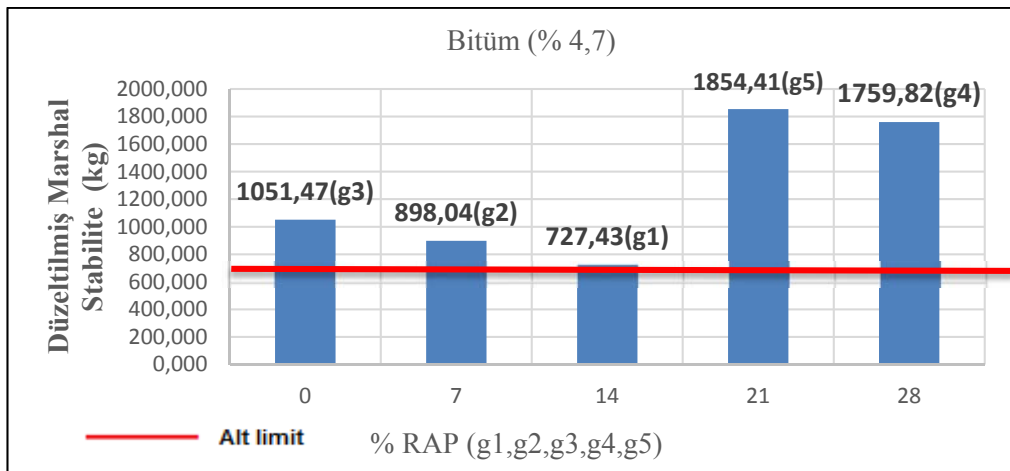
Şekil 4.14 de , % 4,2 bitüm yüzdesi için ,en büyük stabilite değeri 1731,73 kg (gradasyon 4 ,% 21 RAP) ve 1534,08 kg (% 14 RAP, gradasyon 5) en az stabilite

değeri 705 kg (gradasyon 1 , % 7 RAP) şartname sınırları içerisinde görülmemiştir ve kontrol numunesi (% 0 RAP , gradasyon 2) ve (% 28 RAP içeren gradasyon 3) numuneleri stabilite değerleri 801,19 ve 1190,79 kg olarak özetlemiştir.



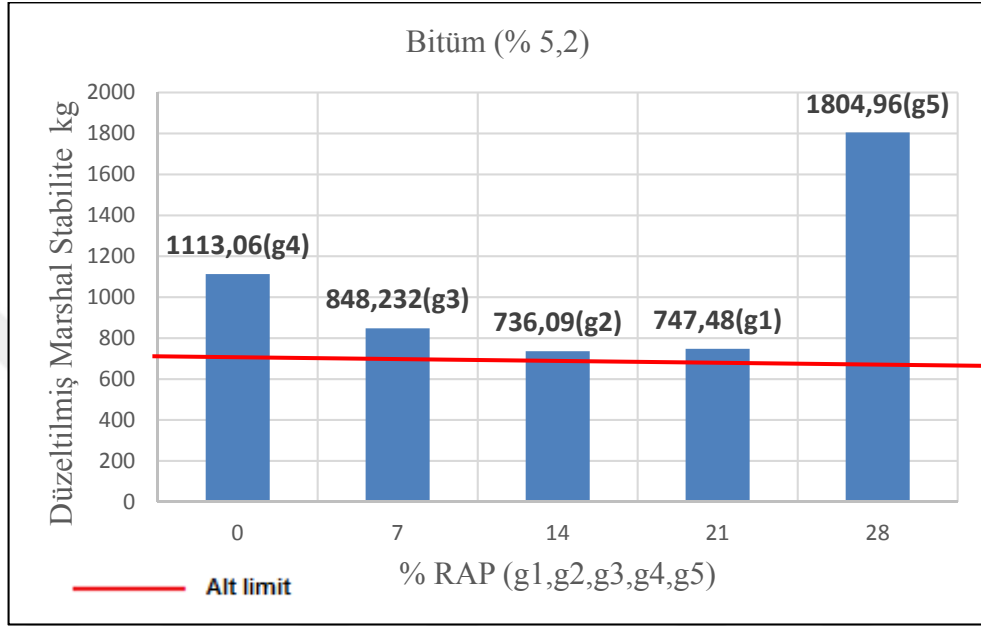
Şekil 4.14. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,2) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği

Şekil 4.15 de , % 4,7 bitüm yüzdesi için ,en büyük stabilite değeri 1854,41 kg (gradasyon 5 , % 21 RAP) ve 1759.82 kg (% 28 RAP , gradasyon 4) en az stabilite değeri 727,43 kg (gradasyon 1 , % 14 RAP) ve kontrol numunesi (% 0 RAP , gradasyon 3) ve (% 7 RAP içeren gradasyon 2) numuneleri stabilite değerleri 1051,47 ve 898,47 kg olarak özetlemiştir.



Şekil 4.15. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 4,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği

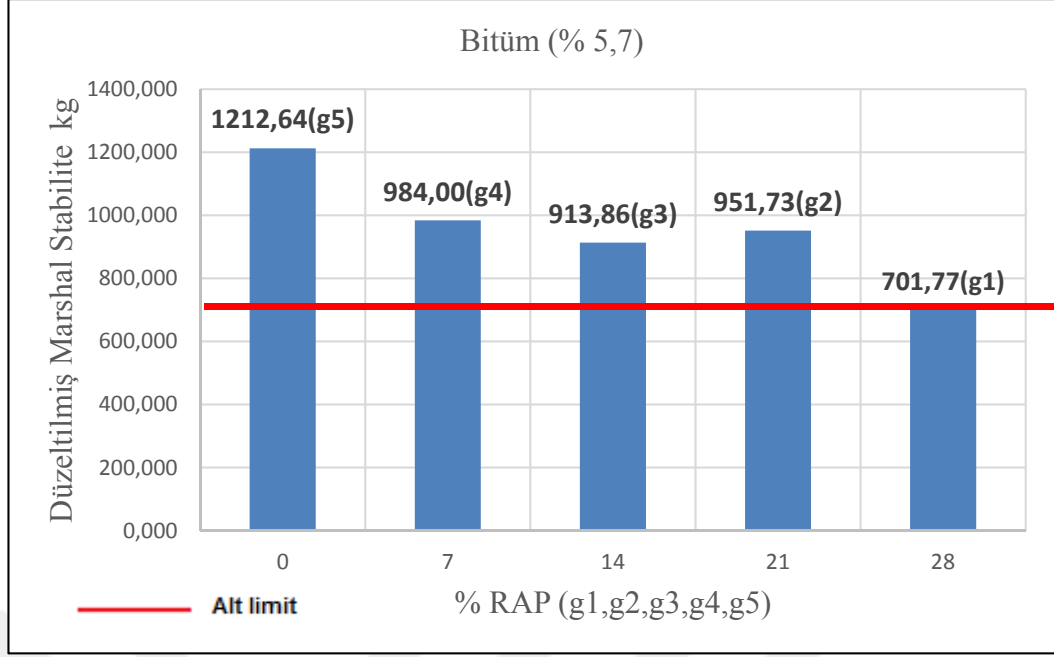
Şekil 4.16 de , % 5,2 bitüm yüzdesi için ,en büyük stabilite değeri 1804,96 kg (gradasyon 5 ,% 28 RAP) en az stabilite değeri 736,09 kg (gradasyon 2 , % 14 RAP) ve 747,48 kg (% 21 RAP içeren gradasyon 1) ve kontrol numunesi (% 0 RAP , gradasyon 4) ve (% 7 RAP içeren gradasyon 3) ve numuneleri stabilite değerleri 1113,06 ve 848,232 kg olarak özetlemiştir.



Şekil 4.16. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5.2) ilave edildiğinde Marshall Stabilesi sonuç grafiği

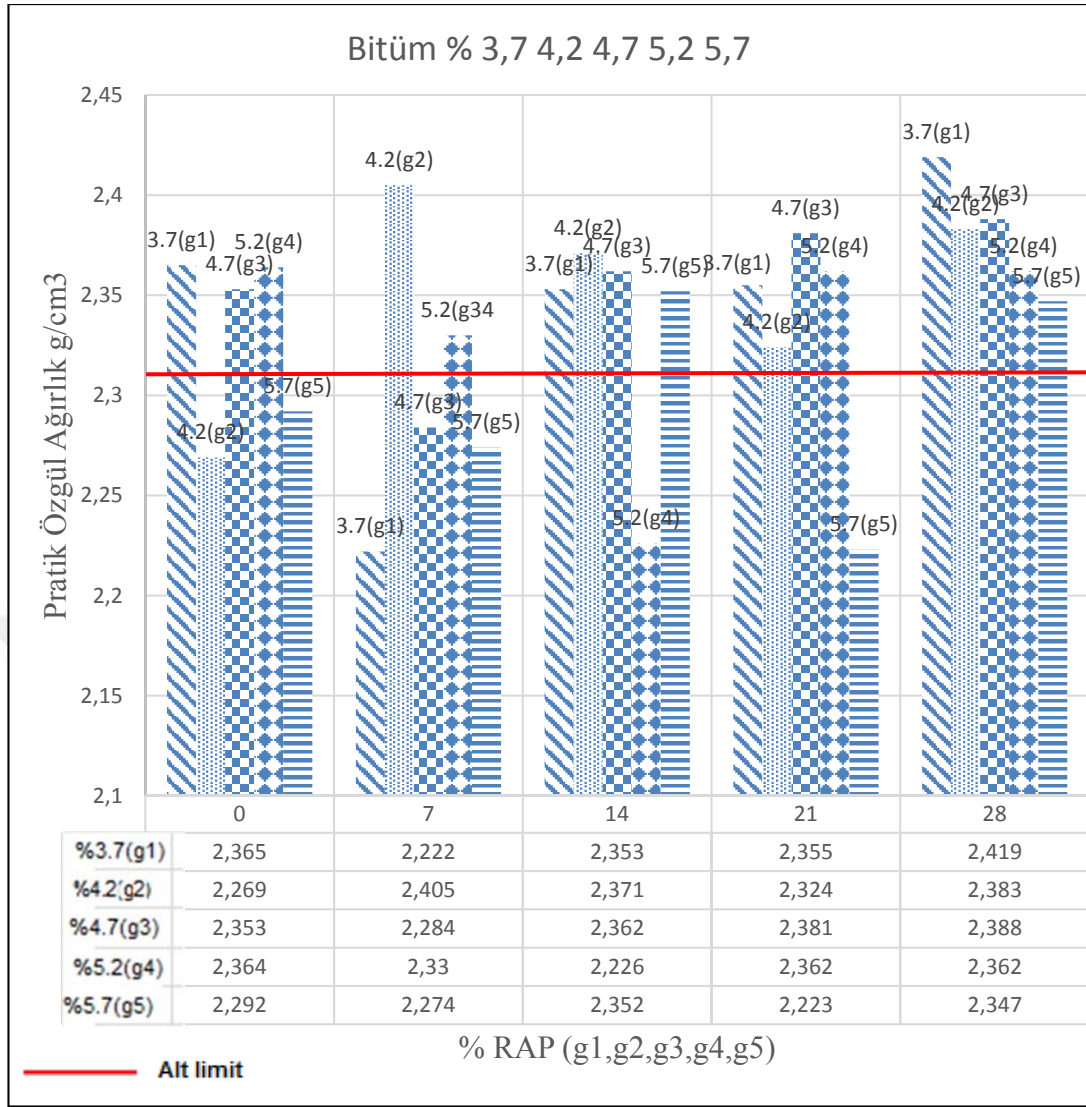
Şekil 4.17 de , % 5,7 bitüm yüzdesi için ,en büyük stabilite değeri kontrol numunesi 1212,64 kg (gradasyon 5 ,% 0 RAP) en az stabilite değeri 701,77 kg (gradasyon 1,% 28 RAP) ve 984 kg (% 7 RAP içeren gradasyon 4) ve (% 14 RAP , gradasyon 3) ve (% 21 RAP içeren gradasyon 2) ve numuneleri stabilite değerleri 913,86 ve 951,73 kg olarak özetlemiştir.

Marshall Stabilite değerleri geri kazanılmış asfalt betonu malzemeleri (RAP) ilavesi ile artırmıştır ve en büyük Stabilite değerini verdiği RAP % 14 ve % 21 görülmüştür ve % 0 ve % 7 ve % 28 akma değerlerlerinde birbirine yakın olduğu görülmüştür. en düşük 701,767 kg civarlarına kadar düşmüştür. Ancak bu değer yine Irak Şartnamesinde Binder tabakası istenilen minimum 713,80 kg değerinin üzerindedir



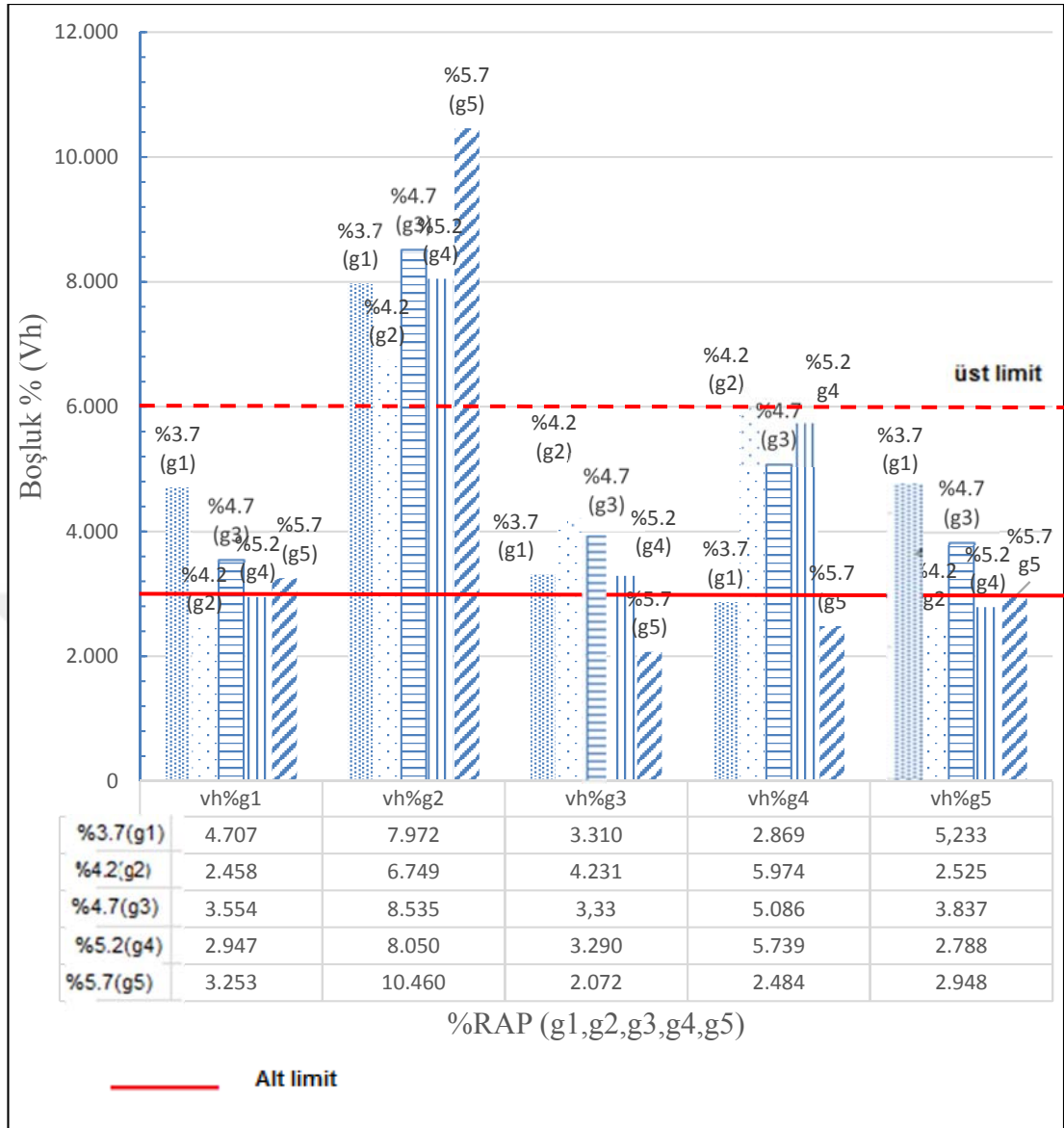
Şekil 4.17. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 5,7) ilave edildiğinde Marshall Stabilitesi sonuç grafiği

Şekil 4.18 de Pratik özgül ağırlık (Dp) değerleri incelendiğinde Irak şartnamesinde binder tabakası için Marshall Pratik özgül ağırlık (Dp) değerleri 2,310 (g/cm³) civarlarına kadar,ve % 28 sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. ve % 0 (gradasyon 2 ve gradasyon 5) ve % 7 (gradasyon 1 ve gradasyon 3 ve gradasyon 5) ve % 14 (gradasyon 3) ve % 21 (gradasyon 5) şartname sınırları içinde görülmemiştir.



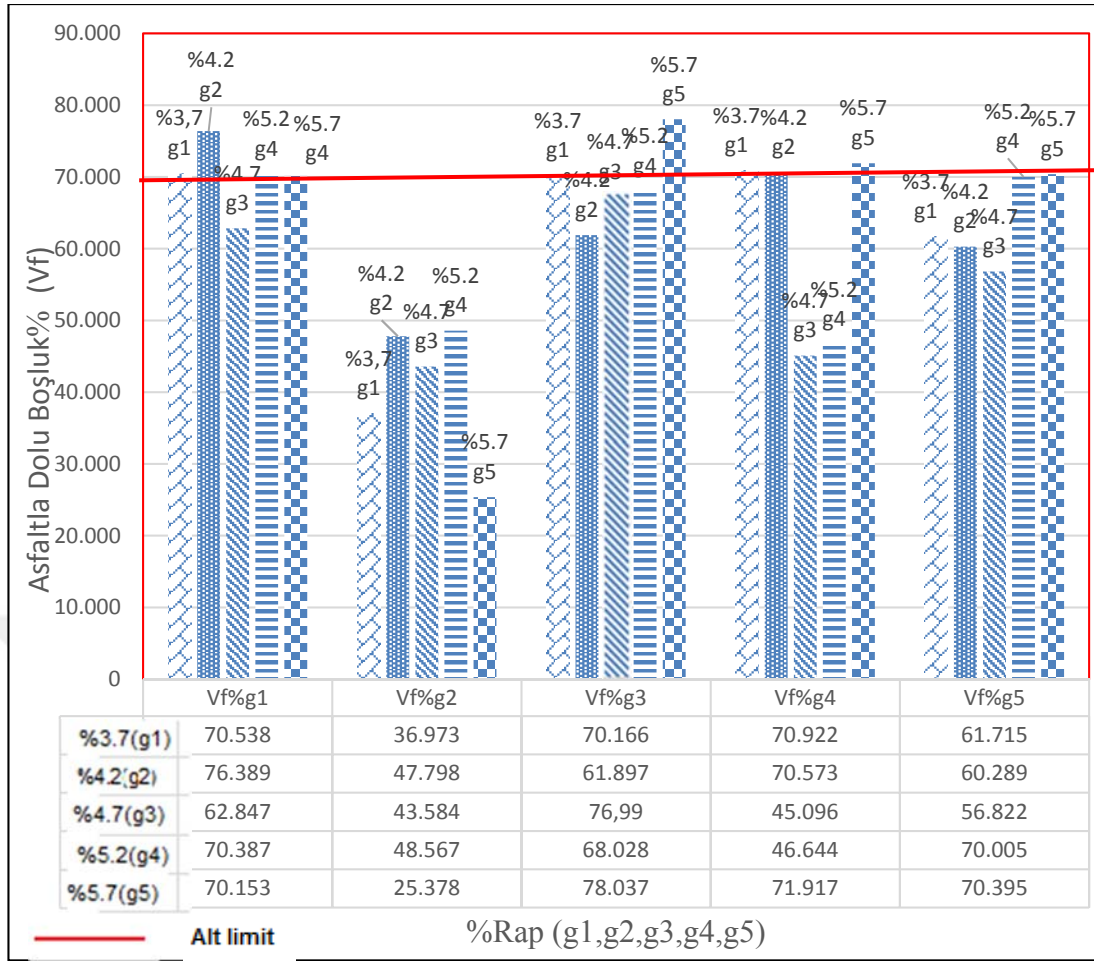
Şekil 4.18. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 3.7-4,2-4,7-5,2 -5,7) ilave edildiğinde Marshall Pratik özgül ağırlık (Dp) sonuç grafiği

Boşluk (Vh) değerleri incelendiğinde RAP ilavesinin Boşluk (Vh)değerlerini % 3,7 (gradasyon 1 ve gradasyon 3 ve gradasyon 5) ve % 4,2 (gradasyon 2) ve % 4,7 (gradasyon 1 ve gradasyon 2 ve gradasyon 3 ve gradasyon 4) % 5.2 (gradasyon 2 ve gradasyon 3 ve gradasyon 4) ve % 5,7 (gradasyon 1 ve gradasyon 3) şartname sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür ve % 3,7 (gradasyon 2 ve gradasyon 4) ve % 4.2 (gradasyon 1 ve gradasyon 3 ve gradasyon 4 gradasyon 5) ve %4,7 (gradasyon 5) ve % 5,2 (gradasyon 1 ve gradasyon 5) ve.% 5,7 (gradasyon 2 ve gradasyon 4 ve gradasyon 5) şartname sınırları içerisinde görülmemiştir. Irak şartnamesinde binder tabakası için Marshall Boşluk (Vh) değerleri (3-6) arasında olmalıdır.



Şekil 4.19. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve G1,G2,G3,G4,G5 ve bitüm yüzdesi (% 3,7-4,2-4,7-5,2-5,7) ilave edildiğinde Marshall Boşluk (Vh) sonuç grafiği

Marshall Asfaltla dolu boşluk (Vf) değerleri incelendiğinde Irakın şartnamede binder tabakası için Marshall Asfaltla dolu boşluk (Vf) değerlerien az % 65 olmalıdır. RAP ilavesinin Marshall Asfaltla dolu boşluk (Vf) değerlerini % 3,7 (gradasyon 3) ve % 4,2 ve % 4,7 (gradasyon 2) % 5,2 (gradasyon 3 ve gradasyon 4) ve % 5,7 (gradasyon 1 ve gradasyon 2 gradasyon3) şartname sınırları içerisinde görülmemiştir.



Şekil 4.20. Karışımın içerisine (% 0 - % 28) RAP ve g1,g2,g3,g4,g5 ve bitüm yüzdesi (% 3,7-4,2-4,7-5,2-5,7) ilave edildiğinde Marshall Asfaltla dolu boşluk (Vf) sonuç grafiği

4.7 Sıcak Karışımın İçerisine RAP İlave Edildiğinde İndirekt Çekme Deney Bulguları

Sıcak karışımın içerisine RAP ilave edilerek asfalt betonunun nem duyarlılığı testi ve dolaylı çekme davranışını değişimi incelemek amaçlanmıştır.

Yapılan Marshall deneyi sonuçlarına göre; % 0 RAP'in % 28 RAP'e oranla daha iyi sonuç verdiği görüldüğü için % 0 RAP'in % 28 RAP'e koşullandırılmış indirekt çekme yapılmıştır. Bunu göz önünde bulundurarak koşullandırılmış ve koşullandırılmamış dolaylı çekme deneyi için numuneler hazırlanmıştır. Her orandan 4' er numune hazırlanmıştır.

Bunun için öncelikle elde edilen karışımdan dört adet Marshall numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler öncelikle sabit ağırlığa ulaşmaya kadar 72 saat boyunca 40° C sıcaklıkta bekletilmiştir. 72 saat sonunda her dört numunede etüvden çıkarılmıştır ve ikisi 25° C sıcaklıkta su banyosuna 24 saat boyunca beklemek üzere yerleştirilmiştir. Diğer iki numune ITS_{KURU} değerini belirlemek üzere ITS cihazı ile kırılmıştır. Koşullandırılmış numuneler 24 saat su banyosunda bekledikten sonra üstünde en az 2.5 cm su olacak şekilde su dolu bir kaba koyulmuş ve doygunluk oranı % 55 – 80 arasına gelinceye kadar vakumlanmıştır. Vakum işlemi tamamlandıktan sonra sudaki ağırlığını ve yüzey kuru suya doygun ağırlıkları tartılmıştır.

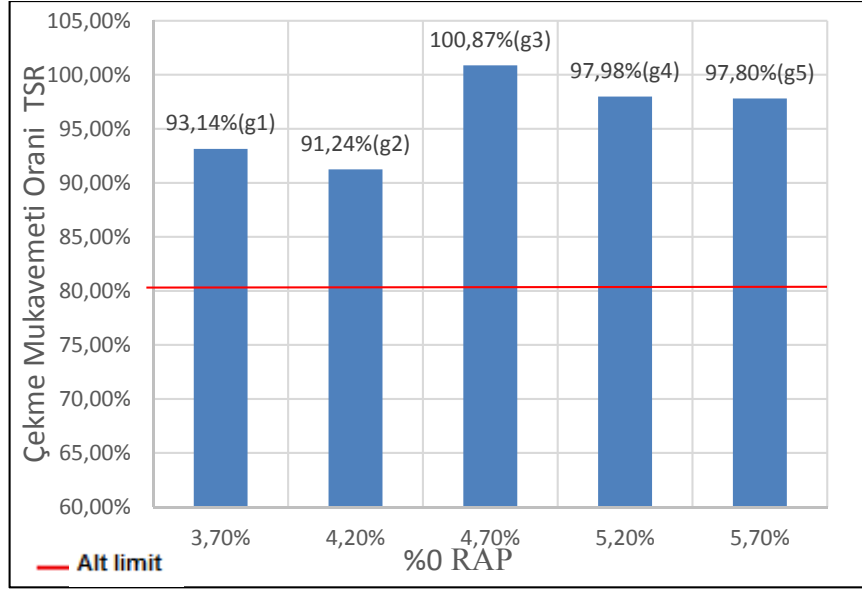
Tartılmış numuneleri streç film ile hava almayacak şekilde sarılmış ve 16 saatliğine -18°C sıcaklığa ayarlanmış kabinde dondurulmuştur. 16 saat sonunda numuneleri donma kabininden çıkarılmış ve 24 saat boyunca beklemek üzere 60°C sıcaklığa ayarlanmış su banyosunda çözdürülmüştür. 24 saat sonunda numuneleri 60°C sıcaklıktaki su banyosundan çıkarılmış ve 25°C sıcaklıktaki suya 2 saatliğine yerleştirilmiştir. 2 saat sonunda numuneleri sudan çıkarılmıştır ve 25°C ortam sıcaklığında ITS cihazı ile kırılmıştır.

İndirekt Çekme Mukavemeti (ITS) için Eşitlik 4.21 kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Ve TSR için Denklem 4.22 kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Çizelge 4.15’de görüldüğü gibi tüm numuneler % 80 TSR oranının üzerindedir ve şartnameyi sağlamaktadır.

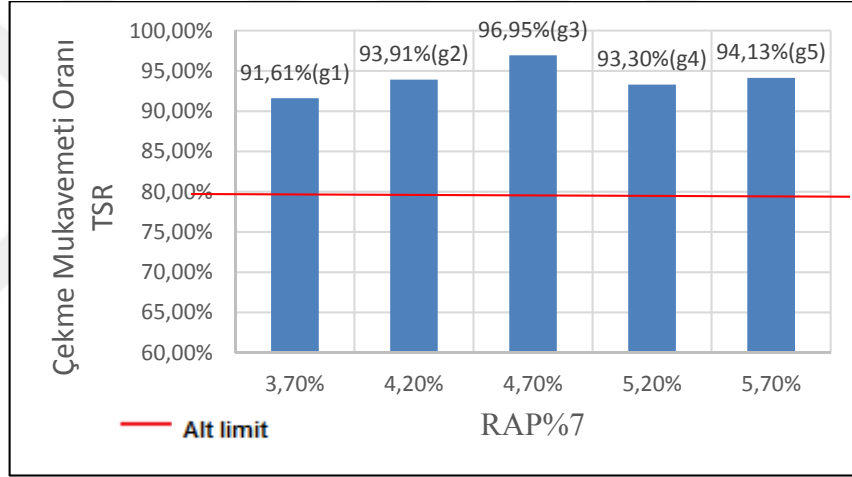
Çizelge 4.15. Çekme mukavemeti oranı (TSR) deney sonuçları

NO	Rap %	Bitüm%	İndirekt Çekme Mukavemeti ITS _{kur}	İndirekt Çekme Mukavemeti ITS _{ıslak}	Çekme Mukavemeti Oranı TSR (%)
1	0	3,70	634,78	591,25	93,14
2	0	4,20	953,44	869,91	91,24
3	0	4,70	1150,65	1160,60	100,87
4	0	5,20	1136,92	1113,98	97,98
5	0	5,70	1095,78	1071,71	97,80
6	7	3,70	1467,65	1344,48	91,61
7	7	4,20	546,61	513,33	93,91
8	7	4,70	1186,52	1150,28	96,95
9	7	5,20	940,33	877,35	93,30
10	7	5,70	1173,56	1104,72	94,13
11	14	3,70	979,00	977,18	99,81
12	14	4,20	873,55	870,20	99,62
13	14	4,70	565,56	533,85	94,39
14	14	5,20	1131,77	1097,33	96,96
15	14	5,70	1369,93	1374,25	100,31
16	21	3,70	1068,50	1050,55	98,32
17	21	4,20	868,57	869,96	100,16
18	21	4,70	994,75	892,01	89,67
19	21	5,20	689,16	651,79	94,58
20	21	5,70	980,27	982,83	100,26
21	28	3,70	978,5	897,77	91,75
22	28	4,20	979,62	923,47	94,27
23	28	4,70	1061,06	1046,78	98,65
24	28	5,20	1345,12	1189,65	88,44
25	28	5,70	950,30	825,90	86,92

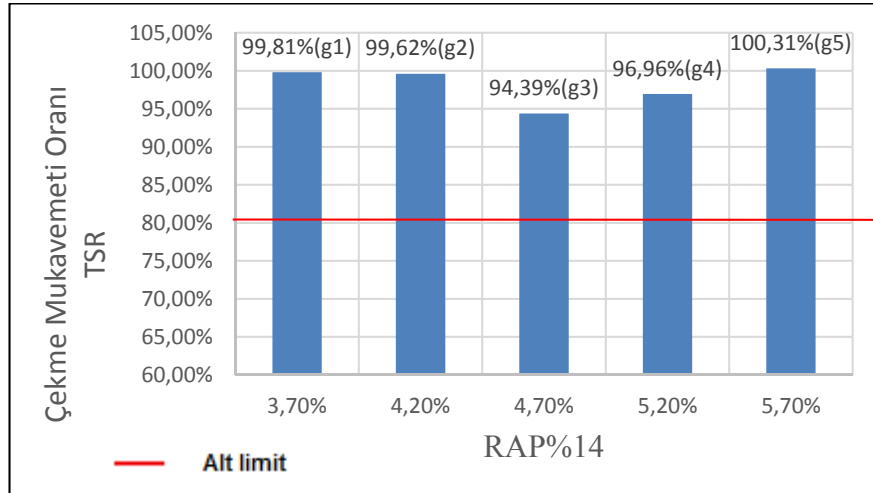
İndirekt Çekme Mukavemeti değerleri incelendiğinde Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 Şekil 4.23 Şekil 4.24 Şekil 4.25 ile gösterilmiştir tüm numuneler % 80 çekme mukaveme TSR oranının üzerinde ve şartnameyi sağlamaktadır.



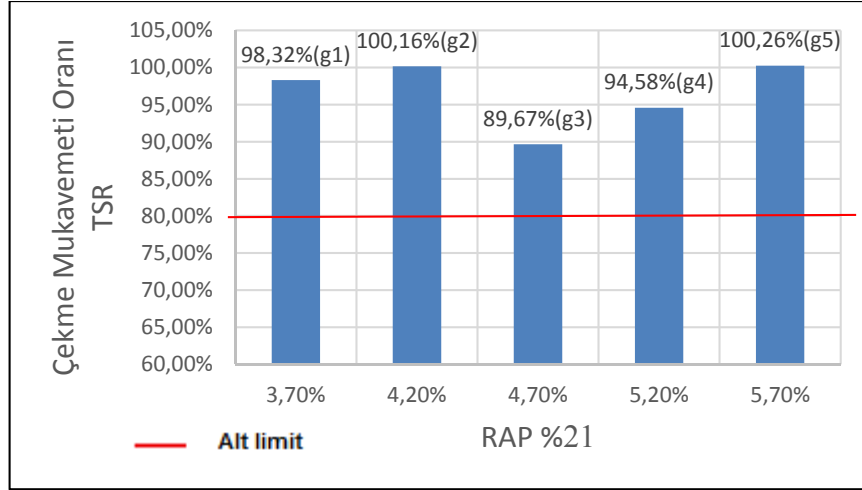
Şekil 4.21. % 0 RAP Çekme Mukavemeti Oranı (TSR) değerleri



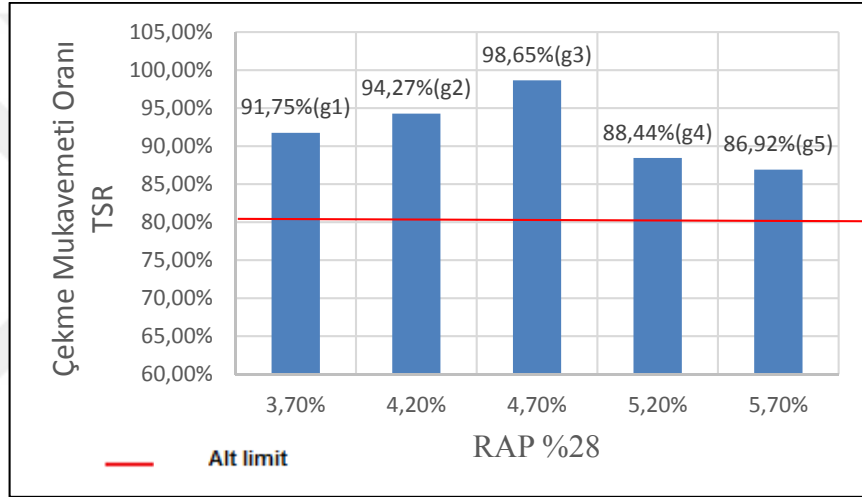
Şekil 4.22. %7 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri



Şekil 4.23. %14 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri



Şekil 4.24. % 21 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri

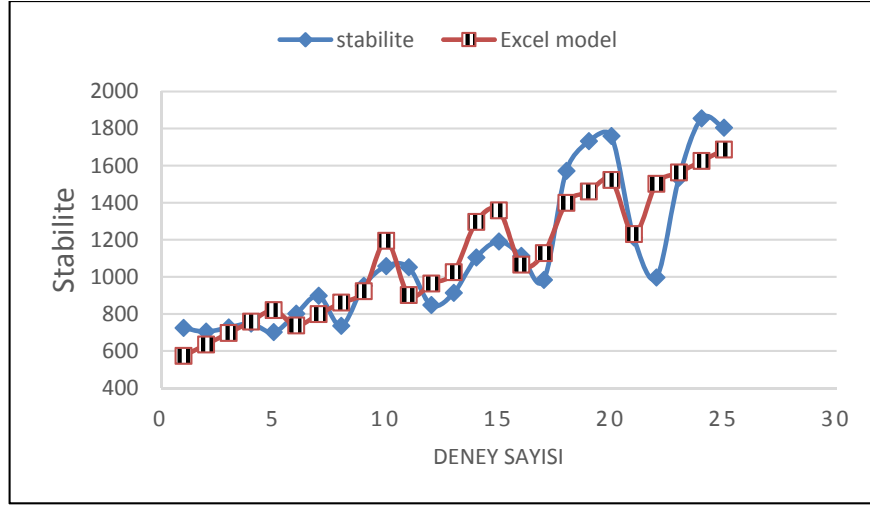


Şekil 4.25. % 28 RAP Çekme mukavemeti oranı (TSR) değerleri

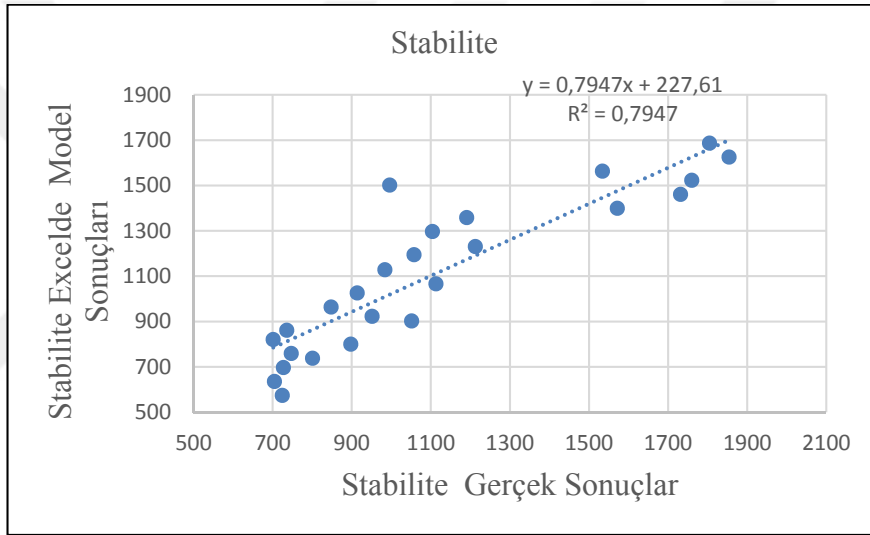
4.8 Deney Sonuçlarının Modellenmesi

4.8.1 İstatistiksel modelleme

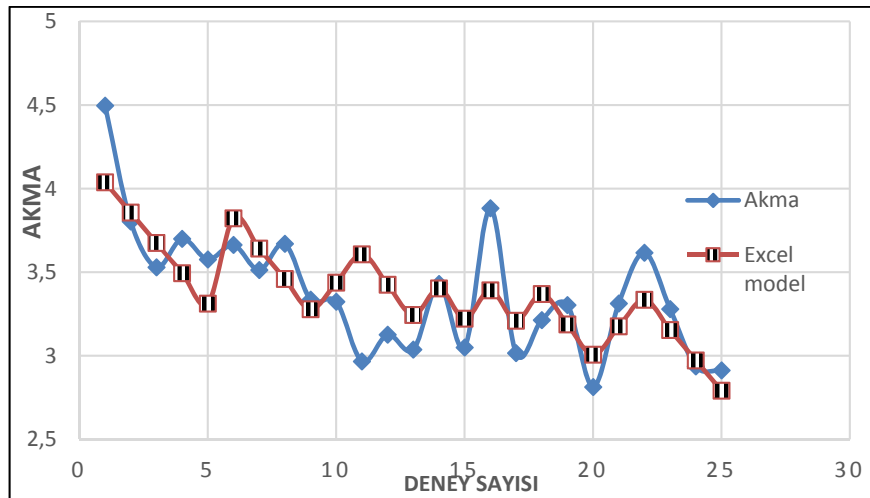
Bu bölümde önceden elde edilen verileri kullanılarak (stabilite ve akma ve indirekt çekme sonuçları) Excel kullanılarak Marshal deneyinde elde edilen stabilite ve Akma ve İndirekt çekme verilerinin sonuçları kullanılmıştır. Toplam 75 veri olması veriler % bitüm , % RAP ve gradasyon girdi olarak , stabilite ve akma ve indirekt çekme çıktı olarak doğrusal model kurulmuştur sonuç veren modeller özetlenmiştir. Modelleme aşamasında Excel kullanılmıştır ve çalışmada kullanılan modeller aşağıda detaylı şekilde anlatılmıştır



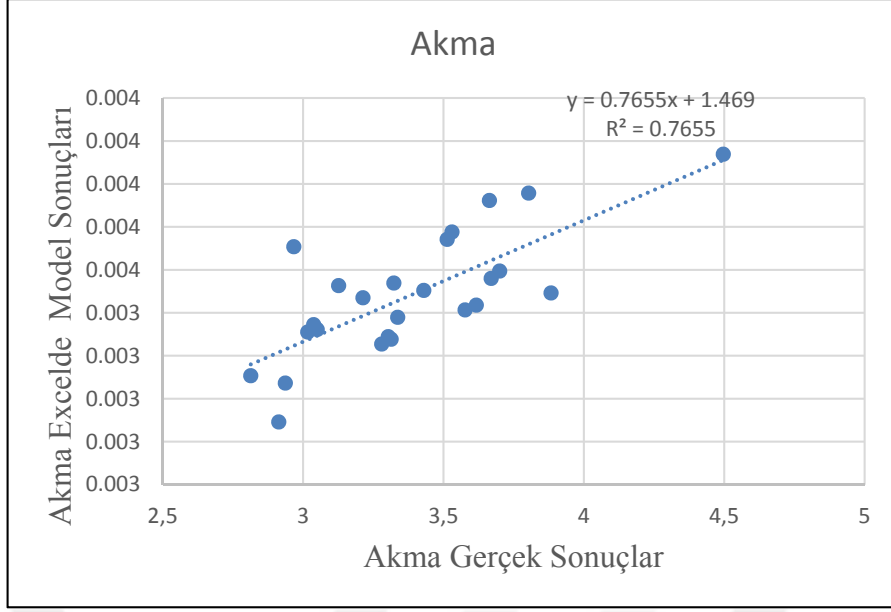
Şekil 4.26. Excelde Stabilite Sonuçlarının Modellenmesi



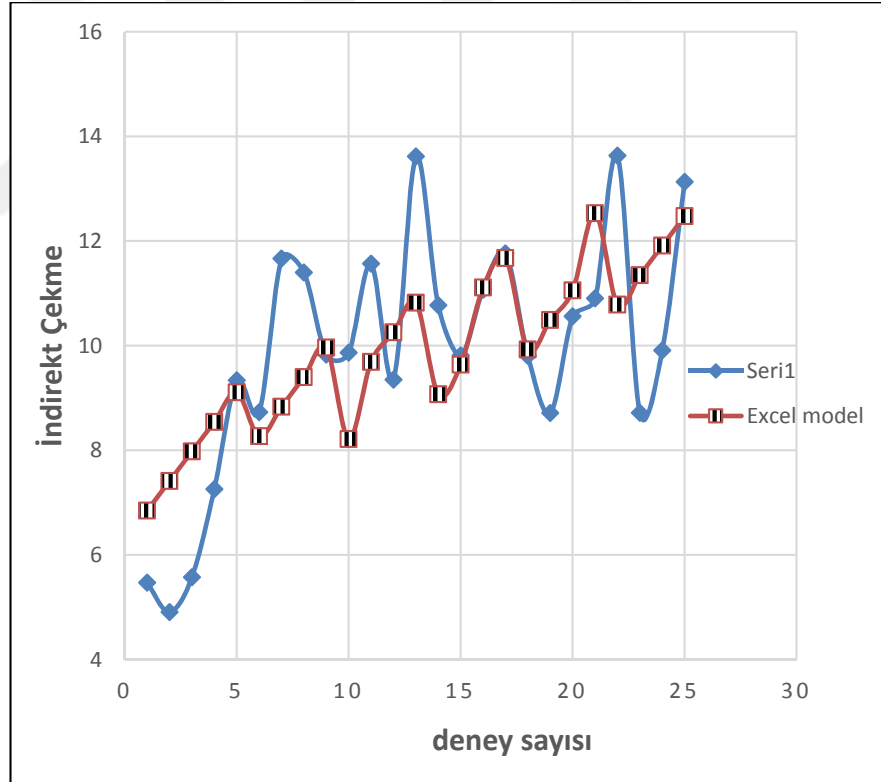
Şekil 4.27. Stabilite için gerçek veriler ile excel tahmini ilişki grafiği



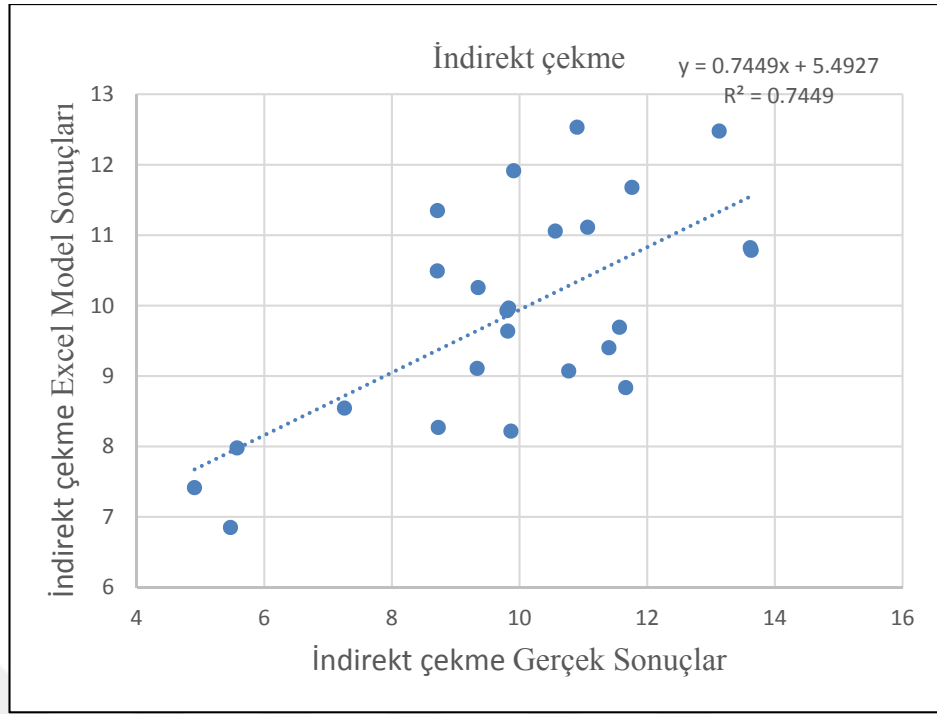
Şekil 4.28. Excelde Akma Sonuçlarının Modellenmesi



Şekil 4.29. Akma için gerçek veriler ile excel tahmini ilişki grafiği



Şekil 4.30. Excelde İndirekt çekme Sonuçlarının Modellenmesi



Şekil 4.31. İndirekt çekme için gerçek veriler ile excel tahmini ilişki grafiği

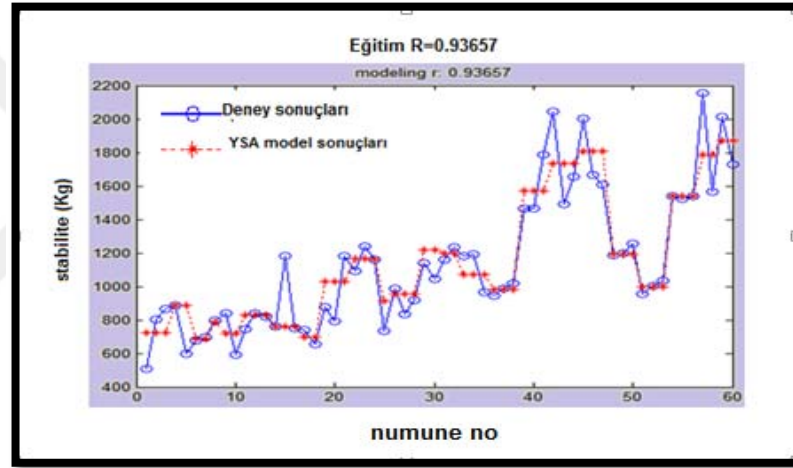
4.8.2 Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modeli

Bu bölümde önceden elde edilen verileri kullanılarak (stabilite ve akma ve indirekt çekme sonuçları) YSA kullanılarak Marshal deneyinde elde edilen stabilite ve Akma ve İndirekt çekme verilerinin sonuçları kullanılmıştır. Toplam 75 veri olması YSA modellerinin kurulmasına ve tahminlerin çok daha yüksek bir başarıyla sonuçlanmasına yardımcı olmuştur. Stabilite YSA ile tahmini için en iyi sonucu veren farklı model özetlenmiştir. Her deney için veriler tek tek ve birlikte denenmiş başarılı sonuç veren modeller özetlenmiştir. Modelleme aşamasında MATLAB kullanılmıştır ve çalışmada kullanılan modeller aşağıda detaylı şekilde anlatılmıştır

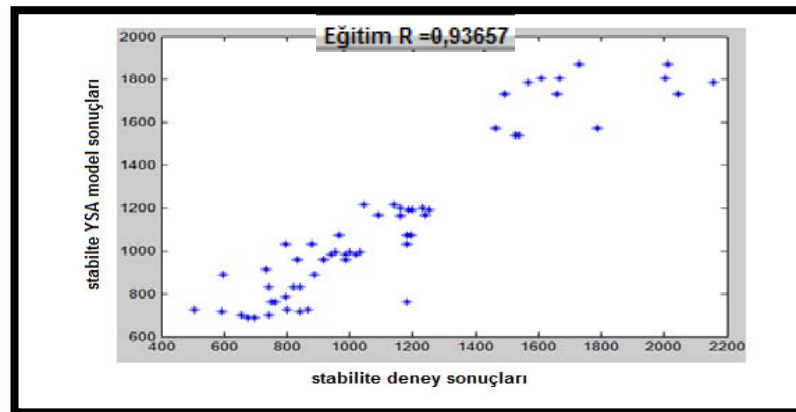
4.9 Stabilite Verilerinin YSA İle Tahmini

Stailite ve akma İndirekt çekme deney YSA ile tahmini için kurulan Model 1’de elde edilen veriler kullanılmıştır. Ayrıca modele verilerin alındığı noktadaki karışımın bitüm oranları, verilerin alındığı RAP yüzdesi ve agrega oranları tekrar sayıları tahmin edilmiştir. Sekil 4.32 ile gösterilmiştir kurulan modelin eğitim sonrasına ait regresyon grafikleri sunulmuştur. Şekilde eğitim, doğrulama, test ve tüm veriler için regresyon grafikleri görülmektedir. Yapay sinir ağı modelinde girdiler, % bitüm , % RAP ve

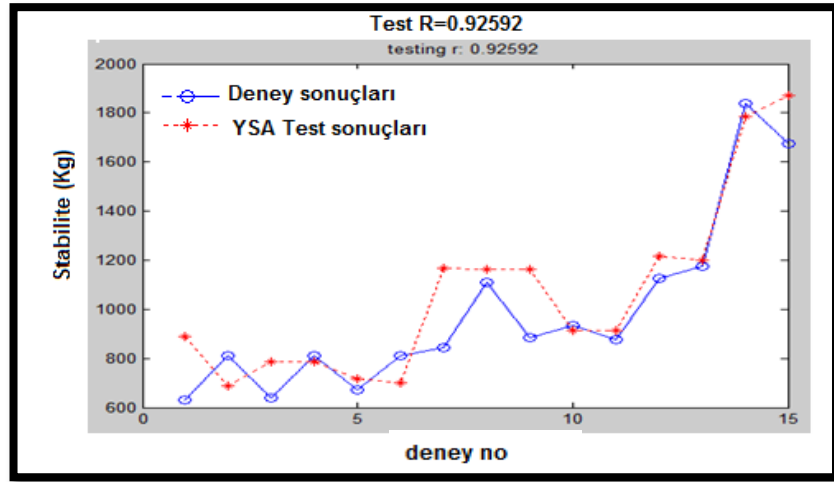
gradasyon sayısıdır. Çıktı olarak Marshal stabilite , akma ve indirekt çekme mukavemeti Modellemiştir . Toplam 75 verinin 60 i model için eğitim seti (% 80) olarak rastgele seçilmiş, geriye kalan 15 veri test seti (% 20) olarak ayrılmıştır. Kurulan model Şekil 4.32’de sunulmuş olan eğitim, test, gruplarını oluşturmuş ve modeli eğiterek kendi içerisinde verileri test etmiş ve doğrulamıştır. Model başarılı bir şekilde verileri eğittikten sonra geriye kalan 15 test verisinin sadece girdileri programa sunulmuş ve çıktılarını modelin tahmin etmesi istenmiştir. Elde edilen tahmin sonuçlarının gerçek deney sonuçları ile regresyonuna bakılmıştır. Böylece Şekil 4.32 ve Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 ile gösterilmiştir olan regresyon grafiği elde edilmiştir. Şekil 4.32 model için ayırdığı verileri % 93, doğrulama verilerini % 93, kendi ayırdığı test verilerini % 92 tahmin etmiştir.



Şekil 4.32. Eğitim verileri için stabilite sonuçlarının modellenmesi



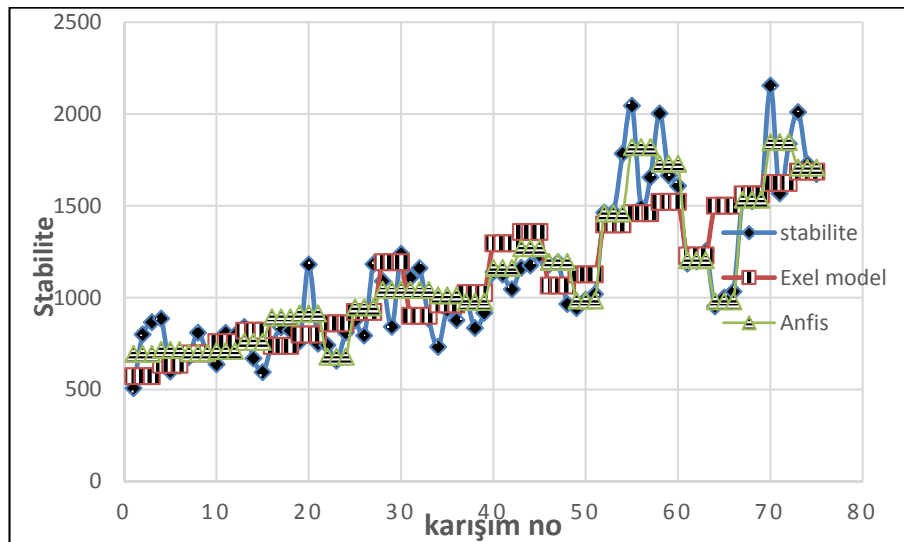
Şekil 4.33. Eğitim verileri için stabilite sonuçları ve YSA sonuçları dağılımı



Şekil. 4.34. Test verileri için stabilite sonuçlarının modellenmesi

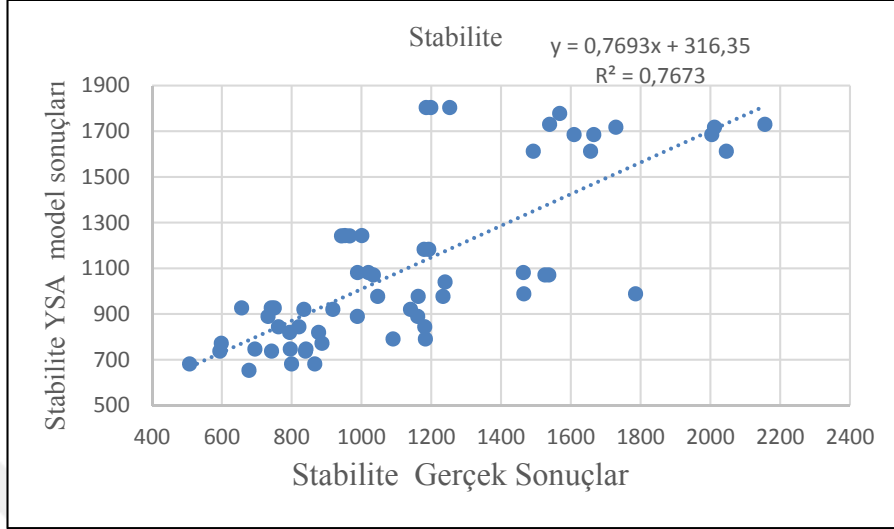
4.10. Stabilite İçin. YSA Modeli Sonuçlarının Gerçek Veriler İle Karşılaştırılması

YSA veri alanına yüklenmiş ve eğitilmiş verilerle oluşturulmuş, modelin geçmiş verilerde nasıl sonuç vereceğini ölçmek mümkündür. Modelin geçmiş eğitim ve test veri kümesine yönelik çıktıları ortaya koymak için Matlab programı kullanılabilir. Şekil 4.35 ile gösterilmiştir stabilite YSA model için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model verilerimizi % 76,73 bir regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.



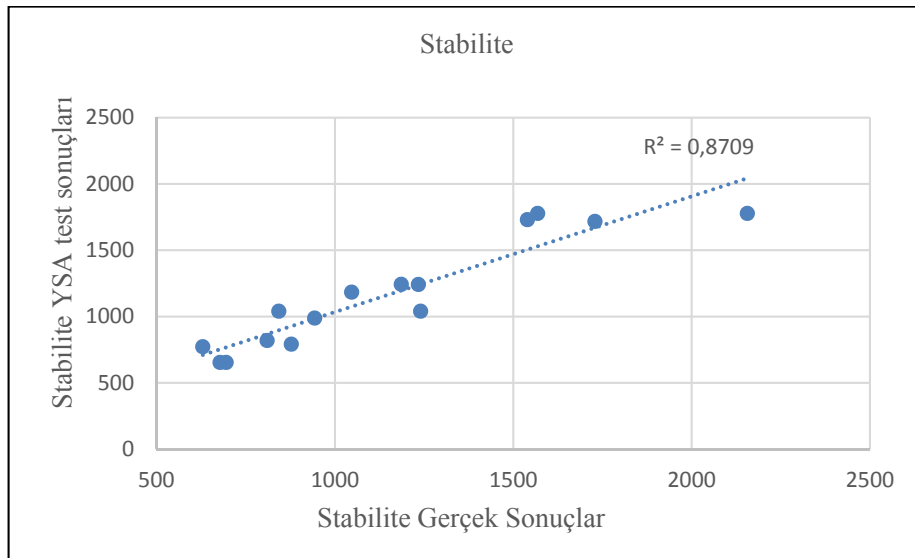
Şekil 4.35. Gerçek veriler stabilite için ve modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması

Sekil 4.36’de stabilite YSA model için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model verilerimizi % 76,73 bir regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.

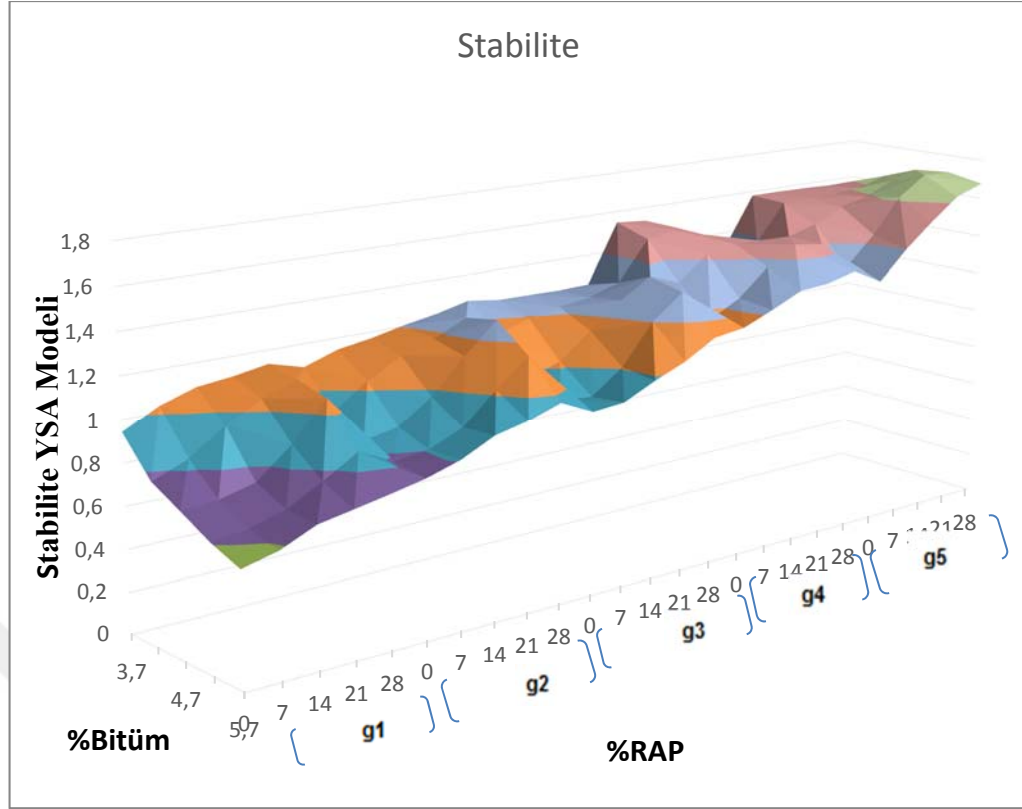


Şekil 4.36. Stabilite için gerçek veriler ile ysa tahmini ilişki grafiği

Sekil 4.37 ile gösterilmiştir test etmek için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model test verilerimizi % 87,09 bir regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.



Şekil 4.37. Stabilite için test verileri için regresyon grafiği

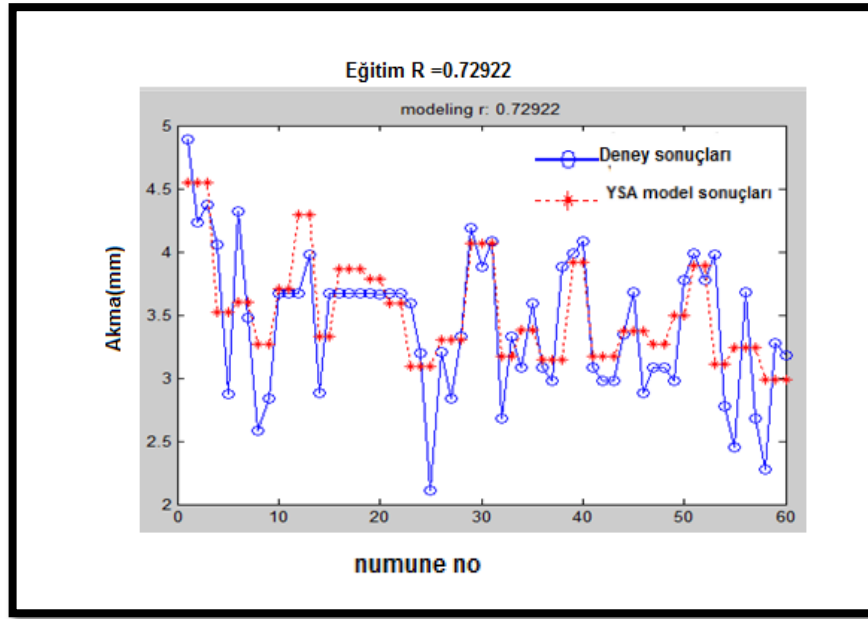


Şekil 4.38. YSA modeli ile % RAP ve % bitüm değerlerinin stabiliteye etki grafiği

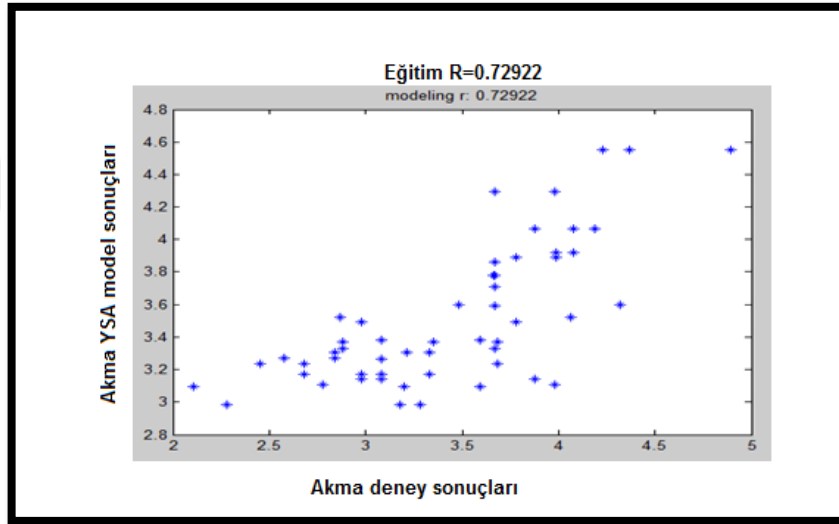
4.11. Akma Verilerinin YSA İle Tahmini

Akmanın YSA ile tahmini için Marshal deney ile elde edilen Akma verileri kullanılmıştır. Ayrıca modele verilerin alındığı noktadaki karışımın bitüm oranları, verilerin alındığı Rap yüzdesi ve gradasyon sayıları dahil edilmiştir. Her modelde olduğu gibi Mode 12’de Toplam 75 verinin 60 model için eğitim seti (% 80) olarak rastgele seçilmiş, geriye kalan 15 veri test seti (% 20) olarak ayrılmıştır.

Şekil 4.39’de sunulmuş olan eğitim, test, gruplarını oluşturmuş ve modeli eğiterek kendi içerisinde verileri test etmiş ve doğrulamıştır. Model başarılı bir şekilde verileri eğittikten sonra geriye kalan 15 test verisinin sadece girdileri programa sunulmuş ve çıktılarını modelin tahmin etmesi istenmiştir. Elde edilen tahmin sonuçlarının gerçek deney sonuçları ile regresyonuna bakılmıştır. Böylece Şekil 4.39 ve Şekil 4.40 ve Şekil 4.41 ile gösterilmiştir olan regresyon grafiği elde edilmiştir. Şekil 4.39 model için ayırdığı verileri % 74, kendi ayırdığı test verilerini % 43 tahmin etmiştir.

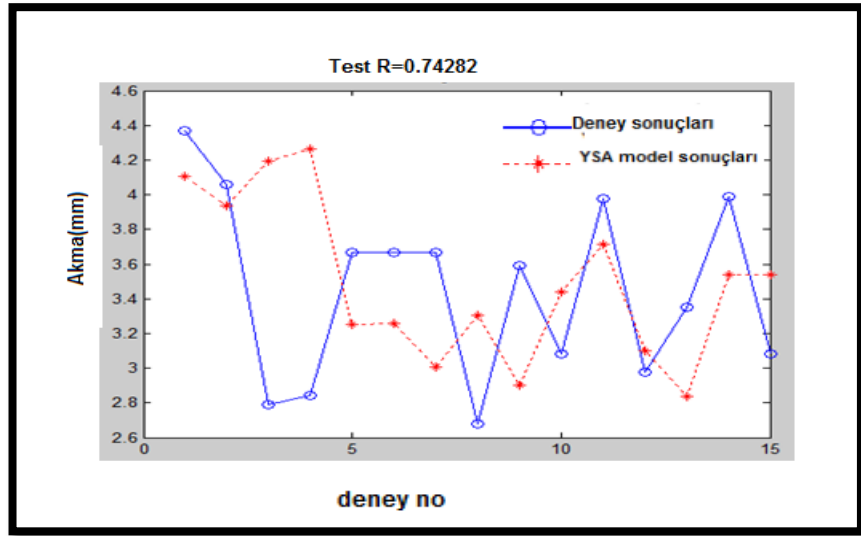


Şekil 4.39. Eğitim verileri için akma sonuçlarının modellenmesi



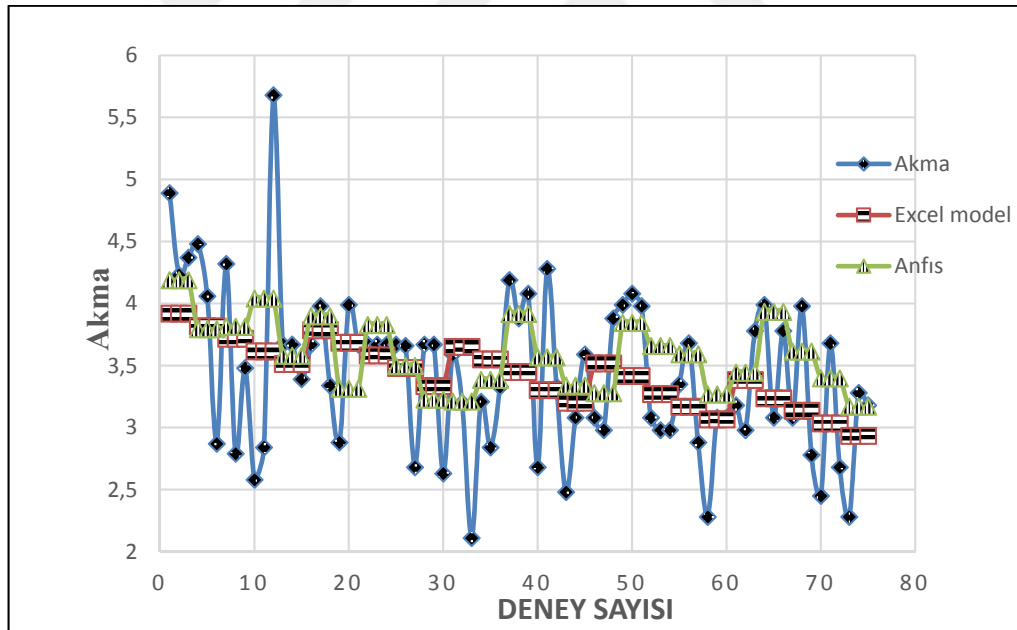
Şekil 4.40. Eğitim verileri için akma sonuçları ve ysa sonuçları dağılımı

Sekil 4.41’de test etmek için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model test verilerimizi % 74,3 bir regresyon değeri ile başarılı bir Şekilde tahmin edilmiştir.

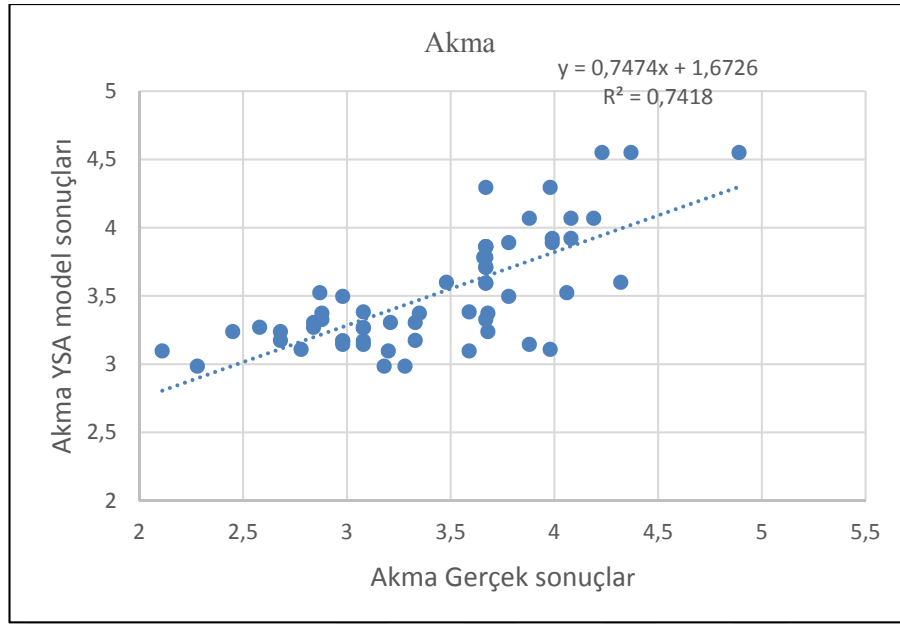


Şekil 4.41. Test verileri için akma sonuçlarının modellenmesi

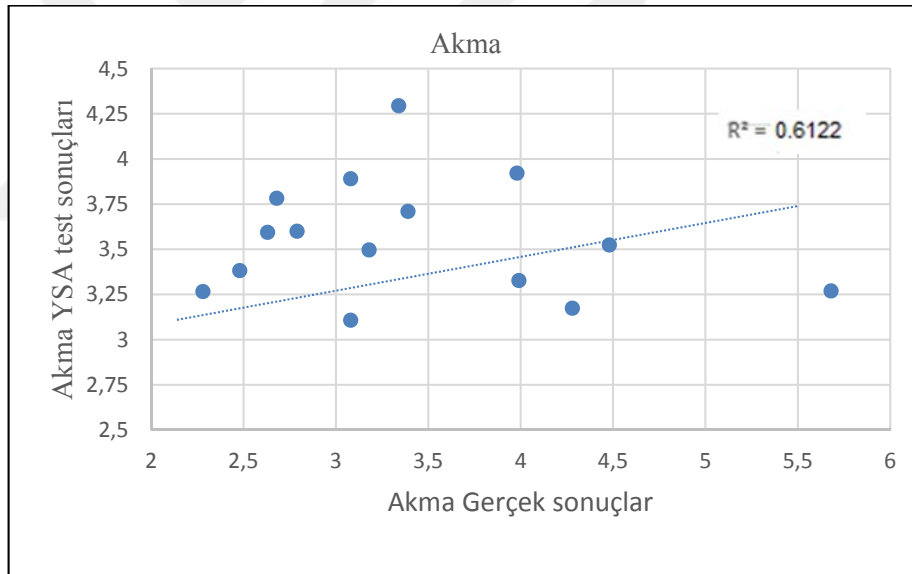
Sekil 4.42’de veriler % bitüm , % RAP ve gradasyon girdi olarak , akma çıktı olarak doğrusal model kurulmuştur . Modelin regresyon katsayısı $R^2 = 0.799$ dur .



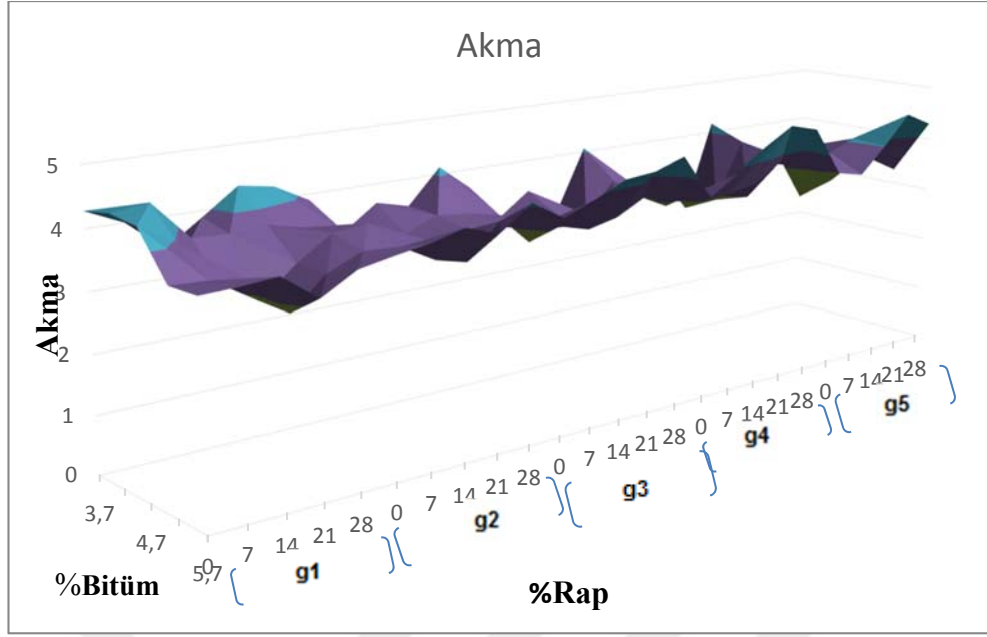
Şekil 4.42. Akma için gerçek veriler ve excel modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması



Şekil 4. 43. Akma için gerçek veriler ile YSA tahmini ilişki grafiği



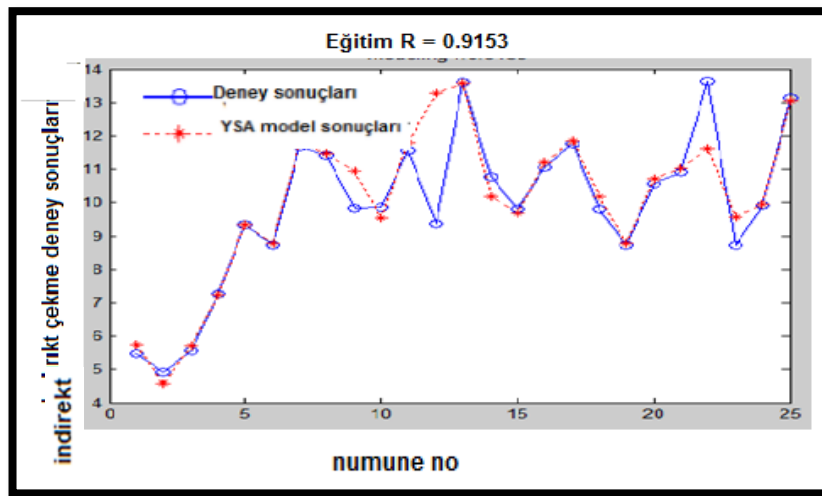
Şekil 4.44. Akma test verileri için regresyon grafiği



Şekil 4.45. YSA modeli ile % RAP ve % bitüm değerlerinin akmaya etki grafiği

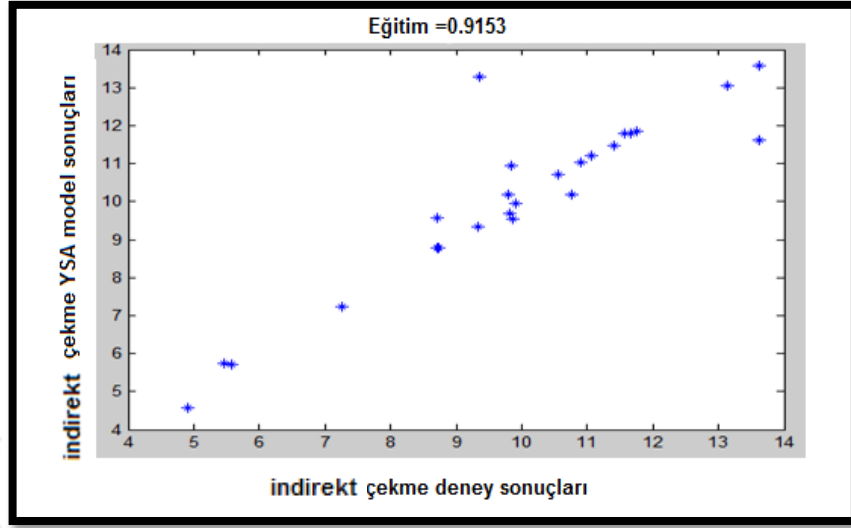
4.12. İndirekt Çekme Verileri İle YSA İle Tahmini (Model 3)

İndirikt çekme Verileri YSA ile tahmini için kurulan Model 3’de elde edilen veriler kullanılmıştır. Karışımın bitüm oranları, verilerin alındığı RAP yüzdesi ve agrega oranları ile birlikte kullanılmıştır. Şekil 4.46’te indirekt çekme verileri ile kurulan modelin eğitim sonrası regresyon grafikleri verilmiştir. Model 3’te Toplam 25 verinin 20 i model için eğitim seti (% 80) olarak rastgele seçilmiş, geriye kalan 5 veri test seti (% 20) olarak ayrılmıştır.



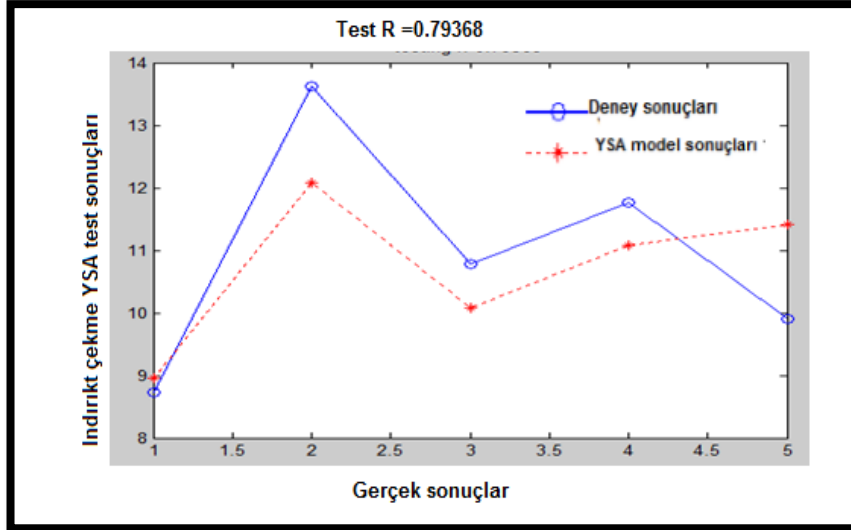
Şekil 4.46. Eğitim verileri indirekt çekme için sonuçlarının modellenmesi

Şekil 4.47’da ait eğitim sürecinde elde edilen regresyon grafiklerinden verilerin eğitime ayrılan kısmı için model % 91 oranında doğrulukla tahmin edilmiştir.

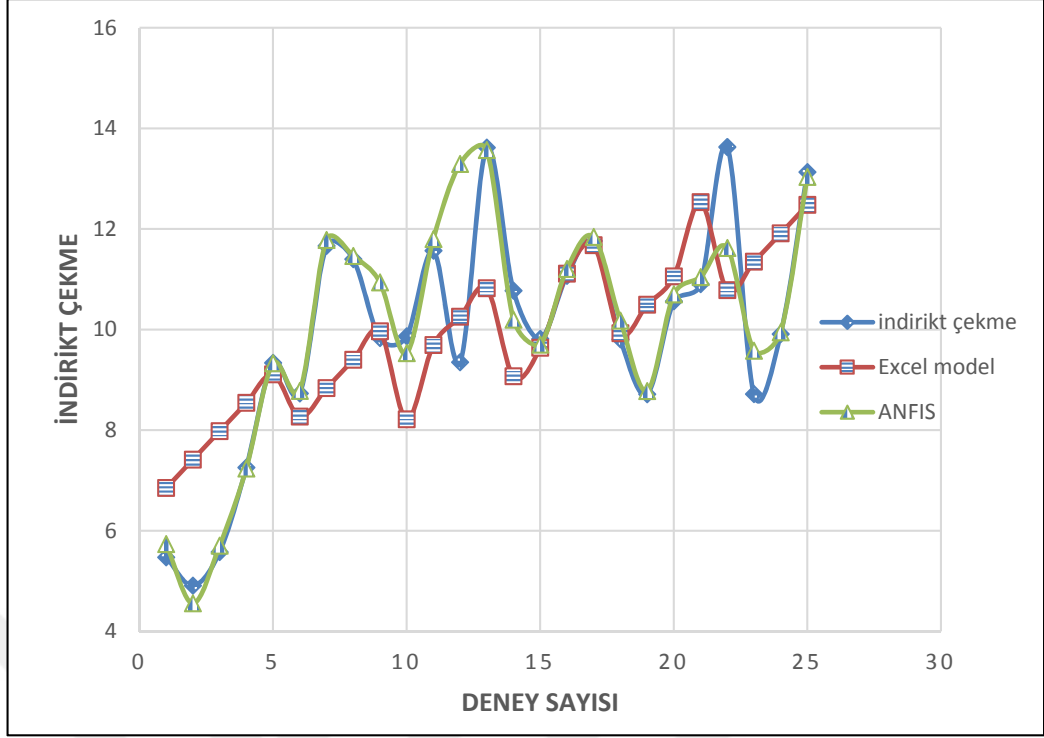


Şekil 4.47. Eğitim verileri için indirekt çekme sonuçları ve YSA sonuçları dağılımı

Şekil 4.48 ve 4.49’da test etmek için ayrılan verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. YSA ile kurmuş olduğumuz model test verilerini % 79,36 regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir.

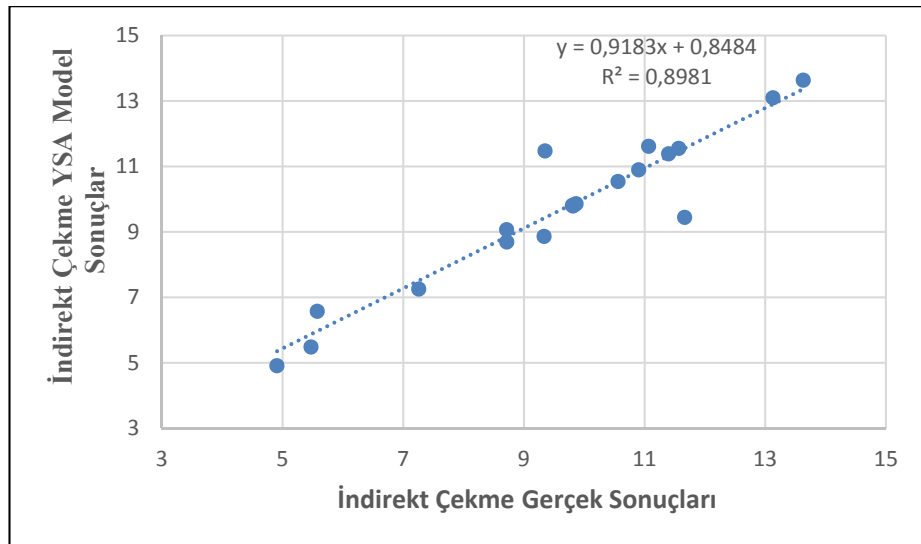


Şekil 4.48. Test verileri için İndirekt çekme sonuçlarının modellenmesi

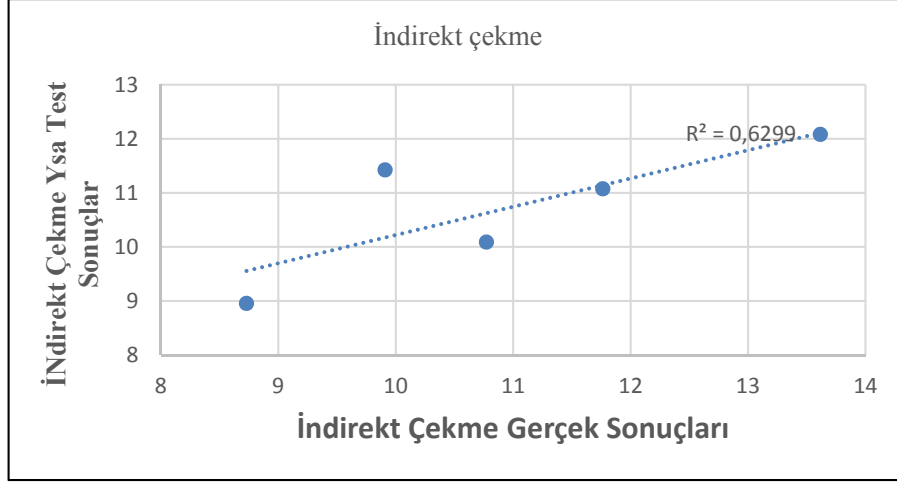


Şekil 4. 49. İndirekt çekme için gerçek verileri ve modelleme, ve YSA yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırması

Sekil 4.50’de test etmek için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model test verileri % 80,58 bir regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir.



Şekil 4.50. İndirekt çekme için gerçek veriler ile YSA tahmini ilişki grafiği



Şekil 4.51. İndirekt çekme için test verileri regresyon grafiği

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, eski asfalt kaplamaların veya bozulmuş kaplamaların kazılması sonucu elde edilen geri kazanılmış asfalt betonu malzemesin (RAP), binder tabakasında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Atıkların değerlendirilmesi ve çevreye olan zararlarının minimuma indirilmesi amacıyla, binder tabakasında geri kazanılmış asfalt betonu malzemesinin kullanılabilirliğini sorgulamak için Marshall Stabilite, akma ve indirekt çekme değerlerine odaklanılmış ve geleneksel karışım numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

- Yapılan deneyler sonucunda kullanılan normal kireçtaşı ve ekstraksiyon kalıntısı kireçtaşı örneğinin su emme oranı ve özgül ağırlık değeri ve aşınma kaybı % Irak Standartlarına göre uygundur.
- Karışımındaki bitümün penetrasyonunun hesaplanmasına göre, karışıma katılacak normal bitüm ile eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları EN 13108-1:2006 standardına göre binder tabakasında % 28'e kadar RAP kullanımına izin verdiği görülmüştür.
- Yapılan deneyler sonucunda, karışımındaki bitümün yumuşama noktası değerinin hesaplanmasına göre, karışıma katılacak normal bitüm ile eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılarak sonuçları EN 13108-1:2006 standardına göre Binder tabakasında %28'e kadar RAP kullanımına izin verdiği belirlenmiştir
- Yapılan deneyler sonucunda, RAP ilave edilerek üretilen BSK numunelerinin Marshall Stabilite değerlerinin uygun gradasyon ile RAP miktarının artması ile artırdığı görülmüştür. Ayrıca, Marshall Stabilite sonuçları % 7'den % 28'e RAP içeriğinde dahi Irak Şartnamesinde izin verilen minimum stabilite değerlerinden daha büyük değer elde edilmiştir

- Akma değeri ile yolda oluşan çatlamlar mm olarak okunur. İstenmeyen bu durum yolda büyük tehlikeler oluşturmaktadır. RAP ilaveli BSK numunelerinin akma değerleri şartname sınırları içerisinde olduğu ve yol güvenliği ve ömrü açısından bir tehlike oluşturmadığı tespit edilmiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda, indirekt çekme deneyi için stabilite değerini veren aralık dikkate alınarak % 0, 7, 14, 21, 28 RAP oranları kullanılmıştır. tüm numuneler % 80 indirekt çekme mukavem. TSR oranının üzerindedir ve şartnameyi sağlamaktadır.
- stabilite tahmini için istatistiksel ve YSA modeli stabilite tahmin modeli kurulmuştur. stabilite tahmininde en başarılı model YSA ile kurulan ve tüm verilerin birlikte kullanıldığı model olmuştur. Bu model için regresyon değeri %93,65 olarak hesaplanmıştır. ve stabilite YSA model için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model verilerimizi % 76,73 bir regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.
- Akma tahmini için istatistiksel ve YSA modeli ile akma tahmin modeli kurulmuştur. akma tahmininde en başarılı model YSA ile kurulan ve tüm verilerin birlikte kullanıldığı model olmuştur. Bu model için regresyon değeri %72,92 olarak hesaplanmıştır. ve akma YSA model için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model verilerimizi % 74,18 bir regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.
- Indirekt çekme tahmini için istatistiksel ve YSA modeli ile Indirekt çekme tahmin modeli kurulmuştur . Indirekt çekme tahmininde en başarılı model YSA ile kurulan ve tüm verilerin birlikte kullanıldığı model olmuştur. Bu model için regresyon değeri %79,36 olarak hesaplanmıştır. ve Indirekt çekme YSA model için ayırdığımız verilerin gerçek sonuçları ile kurulan modele ait tahminler karşılaştırılmıştır. Model verilerimizi % 89,81 bir regresyon değeri ile başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, binder tabakasında % kullanım miktarında elde edilen test sonuçları, kazınmış asfalt ilavesi ile asfalt şartnamesi kriterlerini sağlayan karışımlar elde edilebileceğini göstermektedir. Ayrıca, asfalt betonunun uzun dönemdeki performansına % RAP ilavesinin olumlu etki yapabileceği düşünülmektedir.

Ekonomik analiz

Ortalama % 20 RAP kullanılırsa, 10 cm binder tabakası 4 m genişliğindedir bir üstyapıda

1- Agregalar : \$ 10.00/ton; Asfalt : \$ 500.00/ton ; bitümlü yüzdesi : % 5.0

$$\$ 10 * 0.95 = \$ 9.50$$

$$\underline{\$ 500 * 0.05 = \$ 25.00}$$

Toplam \$ 34.50

2- Agregalar : \$10.00/ton ; Asfalt : \$500.00/ton ; RAP: \$ 6.00/ton (% 5 AC in RAP).

• **karışım tasarımı**

- bitümlü yüzdesi : %5.0 ; RAP miktarı % 20 (% 19 agrega, % 1 bitüm)

$$\$ 10.00 * 0.76 = \$ 7.60$$

$$\$ 500.00 * 0.04 = \$ 20.00$$

$$\underline{\$ 6.00 * 0.20 = \$ 1.20}$$

Toplam \$28.80

• orijinalin karışımı : \$ 34.50/ton

• geri dönüşümlü karışım : \$ 28.80/ton

20 RAP: tasarruflar = %16.5

5.2.Öneriler

1. Her ne kadar, yapılan testler sonucunda olumlu sonuçlar alınmış olsa da, plastik deformasyon veya tekerlek izi deneyi gibi testler ile uzun süreli performansın da araştırılması yerinde olabilecektir.
2. Ayrıca bu çalışmada kullanılan geri kazanılmış malzeme tüm geri kazanılmış malzemeleri temsil etmemektedir. Her bir geri kazanılmış malzeme için

yeniden tasarım yapılmalıdır. Gerek bitüm oranı, gerek agrega özelliği ve gradasyonu gerekse de yaşlanma parametreleri önemli değişkenlerdir.

3. Ayrıca bu çalışmada kullanılmamış olan çeşitli katkı maddelerinin kullanılması ile farklı oranda kullanımların da mümkün olabileceği dikkate alınmalıdır.



KAYNAKÇA

A Review Of The Use Of Recycled Solid Waste Materials İn Asphalt Pavements

A Study To Determine The Degree Of Partial Blending Of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Binder For High RAP Hot Mix Asphalt

AGÜB, İstanbul İli ve Çevresindeki Agrega Madenciligi Durum Tespit Raporu, 2014.

Ahmed, I., (1993). Use of Waste Materials in Highway Construction. Purdue University Department of Civil Engineering, PhD. Thesis, 114s, Indiana.

Akgün, A., 2011 Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Sınırları İçinde Karayolu Üstyapılarının Maliyet Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Aksoy, İ.M., 1993, Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 115 s. Atlanta-Georgia, 14-18 (2003).

Adalet Selin Arapoğlu, 2015. Bozulmuş Asfalt Kaplamaların Geri Dönüşüm Maliyet Analizi Ve Optimum Geri Kazanım Mesafesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon, 15.

Anonim 1: Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, 17 Subat 2015.

Anonim 2: <https://arabic.alibaba.com/product-detail-img/--60195192486.html>

Anonim 3: <http://www.kromyolasfalt.com.tr/>

Anonim:4 <http://www.abayol.com/tr/projedetay-bati-atasehir-kopru-kavsak-projesi-pmt-asfalt-kaplama-isi-10.html>

Anonim:5 Geri Dönüşüm Tasarım ve Üretimi, Isfalt Yayinlari, 2011.

Anonim:6:<http://muh.bartın.edu.tr/Files/in2xwdsidbkks5k4beaukuxg201463204020in2xwdsidbkks5k4beaukuxg201463204020.pdf>

Aravind, K., & Das, A., 2007. Bituminous Pavement Recycling, K Aravind, A Das – Journal Of Materials İn Civil Engineering, 2007.

ARRA Asphalt Recycling and Reclaiming Association Basic Manual 2001.

Asfaltsan İnşaat Turizm San.Ve Tic.A.S, <http://www.asfaltsan.com.tr>, 10 Mayıs 2015.

ASMÜD., Bitümlü Sicak Karişim Asfalt Üretimi ve Uygulaması, <http://www.asmud.com>. Asphalt Institute, Mix Desing Methods For Asphalt Concerete and Other Hot Mix Types, Asphalt Instutite, Manuel Series No.2 (MS-2) Kentucky, (1996).

Asphalt Institute, The History of the Asphalt, Annual Magazine 2002.

Abdulshafi, Osama, B. Kedzierski, M.G. Fitch. Determination of Recycled Asphalt Pavement Content in Asphalt Mixes Based on Expected Durability. Ohio Department of Transportation December 2002 Website: <http://www.dot.state.oh.us/research/2002/Materials/14734-FR.pdf>

Asphalt Recycling And Reclaiming Association, “Basic Asphalt Recycling Manual”, 2001.

Asphalt Usage, 2nd Annual Asphalt Pavement Industry Survey on, 2009–2011.

Balta, I., 2004 “Bitümlü sıcak karışımların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı duyarlılığı”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 51-52, 83.

Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Use in Bituminous Road Construction Tensile Strength of Reclaimed Asphalt Pavement Causes of bleeding in a hot-in-place asphalt pavement

Cluster phenomenon and partial differential aging in RAP mixtures.

Curi. K., Kocasoy, G., "Resources Recycling Status And Trends In The Turkish Iron And Steel Industry", Industry and Environment, 5 (1), 15-18, December 1982.

Carter, T., Rappin' on RAP, Twining Laboratories, Sacramento.

Christensen, Donald W., R.F. Bonaquist. "VMA: One Key to Mixture Performance", *North Central Superpave Center News*. Spring 2005

Daniel, Jo S., Lachance, A. Mechanistic and Volumetric Properties of Asphalt Mixtures with RAP, July 2004.

Çelik, O. N., 2004 “Bitümlü sıcak karışımların işlenebilirliği”, 4. Ulusal Asfalt. Sempozyumu, Ankara, 181-187.

ÇETİN, S., 2007. Afyon Karahisar Bölgesi Volkanik Kayaçlarının Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Y.L. Tez. Afyon S:1

Çubuk, M., 2007. Katkı maddeleri ile bitümün reolojik özelliklerinin geliştirilmesi ve esnek kaplama malzeme oluşumunda problemlerin giderilmesi, Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, 2007.

Emery, J., Cold in – place asphalt recycling, full depth recycling and hot in place recycling , alındığı tarih 08 Kasım 2009<[www.swiftconference.org/captg/09presentations/Wednesday PM John Emery. pdf](http://www.swiftconference.org/captg/09presentations/Wednesday_PM_John_Emery.pdf)>

Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP).

Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Dost, Y., Kazılmış asphalt kaplamaların yeniden kullanımı, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, 1-3 Nisan 2008.

Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Dost, Y., 2008 “Kazılmış asphalt kaplamaların yeniden kullanımı, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, 1-3 nisan.

Gürer, C., Akbulut, H. ve Kurklu, G. 2004 İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm Ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi. Wirtgen Gmbh, Cold Recycling Manual, P. 252.

Harrington, Jason. "Recycled Roadways". Fhwa Public Roadways. 2005 Website: <http://www.tfhrc.gov/pubrds/05ian/02.htm>

Harold, R., Paul, P. E., Chris, P. E., 1995 Pavement distress, Technical Assistance Report, Louisiana Transportation Research Center, Louisiana, 12-16.

Huber, G., Paving Green Conference Recycled Asphalt Pavement, California, 2010.

Influence of Recycled Asphalt Pavement on Fatigue Performance of Asphalt Concrete Base Courses.

İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi. investigation of the use of recycled asphalt concrete material to the surface layers

Irak Karayolları Şartnamesi, 2003.

ISFALT., İstanbul, 2001 Asfalt Uygulamaları El Kitabı

İnanç SALTA, 2010. Yüksek Lisans Tezi. Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Jacobson, T., 2002. Cold Recycling Of Asphalt Pavement - Mix In Plant, Swedish National Road and Transport Research Institute, SE-581 95 Linköping, İsveç.

Joe Button, R.L., "Guidelines For Using Geosynthetics With Hma Overlays To Reduce Reflective Cracking", Information & Technology Exchange Center, Texas Transportation Institute, Texas A & M University College Station, Texas 77843-3135, May 2003.

Jordison Ve Smith İowa, 1986 Ulaşım Departmanı ., K.M. Muthen, 1998 “Foamed Asphalt Mixes - Mix Design Procedure”, Contract Report Cr-98/077, 36 P. Karayolları Teknik Şartnamesi, Ankara, 2013. Kısım 413 Ve Kısım 414

Karayolları Teknik şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Kısım 413 ve Kısım 414, 2006.

Karlsson, R. And Isacsson, U., 2006 Material-Related Aspects Of Asphalt Recycling-State-Of-The-Art—, Journal Of Materials İn Civil Engineering, Vol. 18, Issue 1, Asce, Reston, Pp. 81-92.

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

KGM Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Ulaşım Maliyetleri ve Verimlilik Şubesi

Kuloglu, N., Kök, B.V., Öndas, M., 2004 “Sathi kaplamalarda kasma olayına etki eden faktörler”, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 141-148.

Kurtis, K., “Asphalt and asphalt concrete”, Georgia Institute Technology, Atlanta-Georgia, 14-18(2003).

Kutluhan, S., Ağar, E., “Bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunun incelenmesi”, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 213-223 (2004).

National Cooperative Highway Research Program Synthesis Of Highway Practice. Recycling Materials For Highways. 1978.

Maag Ve Fager, 1990, Kansas Ulaşım Departmanı.

McDaniel, Rebecca S, H. Soleymani, R.M. Anderson, P. Turner, R. Peterson. Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method. Contractor's Final Report, NCHRP Web Document 30 (Project D9-12), 2000. Website: http://trb.org/trb/publications/nchrp/nchrp_w30-a.pdf

McDaniel, Rebecca S, H. Soleymani, Shah, A. Use of Reclaimed Asphalt Pavement Under Superpave Specifications. Contractors Final Report, FHWA/IN/JTRP-2002/6 May 2002. Website: http://rebar.ecn.purdue.edu/JTRP_Completed_Project_Documents/SPR_2143/Final_Report7spr_2143_final.pdf

Michelle, S., 2007. Re-using asphalt (RAP), road recycling, <http://www.worldhighways.com> Erişim Tarihi: 30.11.2015.

Mix design validation through performance-related analysis of in plant asphalt mixtures containing high RAP contentMüdürlüğü, 2005 - 2010 Yılları Arası Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Harcamaları Analizi, Mart 2012.

NAPA., Reclaimed Asphalt Pavement, Reclaimed Asphalt Shingles, and Warm-Mix

Orhan, F., “Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları”, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 10-24 (2005).

Umar, F., and E. Ağar. "Pavement structure." İstanbul Technical University Civil Engineering Faculty Press, İstanbul (1991).

Önal, M., Karaca, S., Asfalt Betonu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metodları, 107s, Çeviri 1984.

Reclaimed asphalt binder aging and its implications in the management of RAP stockpiles.

Wirtgen GmbH, 2004.Cold recycling manual, p. 252,

Wirtgen GmbH.. 2001. Foamed bitumen mix design procedure using the wirtgen WLB, p. 10,

Salih A., 2011. Esnek Üstüapılarda İmalat Ve Uygulama Kusurları.Yüksek Lisans Tezi.Bahçeşehir Üniversitesi. T.C. Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı(11'inciUlaştırma Denizcilik Ve Haberleşme Şurası).

Salta, I., Bitümlü Karışımların Geri Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010. Carter, T., Rappin' on RAP, Twining Laboratories, Sacramento

Scheffler, E., Statische versychplaning und austwertung, Eine Einführung in die Praxis der statistichen Versuchplanunug, Deutscher Verlog für Grund staffindustrie Stuttgart, ISBN 3-342-00366-9, 1-50, 1997.

Sengöz, B., Agar, E., "Asfalt film kalınlığının bitümlü karışımlarınaşlanmasına etkisi", _TÜ Dergisi, 4 (1), 71-82 (2005).

Sondag, Michael S., B. Chadbourn, Drescher A. Investigation of Recycled Asphalt Pavement. Contractor's Final Report for the Minnesota DOT. February 2002 Website: <http://www.lrrb.org/pdf/200215.pdf>

Şırvancı, M., Kalite için deney tasarımı, Literatür yayınları, 110s, istanbul, 1997.

Thompson, Gary. Determining Asphalt Content for Recycled Asphalt Pavement Materials. Asphalt Pavement Association of Oregon. July 2003 Website: [www.oregon.gov/ODQT/TD/TP RES/docs/Reports/DetAsphConRAP.pdf](http://www.oregon.gov/ODQT/TD/TP_RES/docs/Reports/DetAsphConRAP.pdf)

The Development of Recycling in the Construction Industry and Its Effect on the Economy.

TS 1081 EN 12591, 2004 "Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar- kaplama sınıfı bitümler özellikler", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,.

Tunç, A., "Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı", Asil Yayın Dağıtım Ltd. Sti., Ankara, 54, 98, 104-115, 125-127, 163-168, 206-215 (2004).

U.S. Department of Transportation ,Federal Highway Administration "Asphalt Recycling And Reclaiming Association" USA 2001, ARRA.

Uluçaylı, M., 1998 “Modifiye bitüm ve modifikasyon katkıların kullanımı”, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 15-18.

Umar, F. ve Agar, E., 1985Yol Üstyapisi, ITÜ Yayinlari

Uzun, İ., 2011. "Yol Andezitin Asfalt Betonunda Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2011.

Whiteoak, D., 2004 “Shell Bitüm El Kitabı”, Editörleri, Abdullah Hilmi Lav, M. Aysen Lav, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.S., İstanbul, 33-34, 47, 50, 101-114, 123, 133-136, 148, 150-159.

Wirtgen Gmbh. Foamed Bitumen Mix Design Procedure Using The Wirtgen Wlb, P. 10, 2004.

Yoder, E.J., Witczak, M.W., “Principles of pavement design”, pp. 17, John Wiley and Sons., Canada, 1975.

EKLER



**Geri Kazanımlı Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynının Hazırlanması Uygun
Karışım Gradasyonunun Veren, İlave Agregaya Boyutlarının Ve Kazınmış
Asfalt Malzemesinin Karışım Oranı Hesaplanır.**

**Ek.1 Çizgele. % 7 G1 Rap geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının
hazırlanması.**

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G1)	Üstte Kalan Agrega Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt (%7 RAP)	Eklenecek Agrega
25(1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	90	120	0,50	119,49
12,5 (1/2'')	70-90	70	240	5,47	234,52
9,5 (3/8'')	56-80	56	168	6,26	161,73
4,75 (No.4)	35-65	35	252	23,78	228,21
2,36 (No 8)	23-49	23	144	14,22	129,77
0.3 (No 50)	5--19	5	216	19,47	196,52
0,075 (No.200)	3--9	3	24	6,00	17,99
Pan	4--6		36	5,26	30,73
			1200	81,00	1118,99
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 4,2)					50,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1250,4 gr.
% 7 Rap					87,52gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					5,45
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					44,95

Ek.2. Çizelge. % 14 G1 Rap Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G1)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt (%14 RAP)	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	90	120	1,01	118,98
12,5 (1/2'')	70-90	70	240	10,95	229,04
9,5 (3/8'')	56-80	56	168	12,53	155,47
4,75 (No.4)	35-65	35	252	47,56	204,43
2,36 (No 8)	23-49	23	144	28,45	115,54
0.3 (No 50)	5-19	5	216	38,95	177,04
0,075 (No.200)	3-9	3	24	12,00	11,995
Pan	4-6		36	10,53	25,46
			1200	162,01	1037,98
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 4,7)					56,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1256,4 gr.
% 14 Rap					175,89 gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					10,96
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					45,44

Ek.3. Çizelge. % 21 G1 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G1)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt % 21 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	90	120	1,52	118,47
12,5 (1/2'')	70-90	70	240	16,43	223,56
9,5 (3/8'')	56-80	56	168	18,79	149,25
4,75 (No.4)	35-65	35	252	71,34	180,65
2,36 (No8)	23-49	23	144	42,68	101,31
0.3 (No50)	5-19	5	216	58,43	157,56
0,07 (No.200)	3-9	3	24	18,00	5,99
pan	4-6		36	15,80	20,19
			1200	243,02	956,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi %5,2)					62,4 gr.
Toplam Asfalt (Agregası 1200+ Bitüm 61,20)					1262,4 gr.
%21 RAP					265,10 gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					16,52
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					45,88

Ek.4. Çizelge. % 28 G1 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen(G1)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %28 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	90	120	2,03	117,97
12,5 (1/2'')	70-90	70	240	21,91	218,09
9,5 (3/8'')	56-80	56	168	25,06	142,94
4,75 (No.4)	35-65	35	252	95,13	156,87
2,36 (No8)	23-49	23	144	56,91	87,09
0.3 (No50)	5-19	5	216	77,91	138,09
0,075 (No.200)	3-9	3	24	24,01	-0,01
pan	4-6		36	21,07	14,93
			1200	324,03	875,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi %5,7)					68,4
Toplam Asfalt (Agregası 1200+ Bitüm 61,20)					1268,4 gr.
%28 RAP					355.15
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					22,12
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					46,27

Ek.5. Çizelge. % 7 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G2)	Üstte Kalan Agregası	Kazınmış Asfalt (%7 RAP)	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	92,5	90	0,51	89,49
12,5 (1/2'')	70-90	75	210	5,48	204,52
9,5 (3/8'')	56-80	62	156	6,27	149,73
4,75 (No.4)	35-65	42,5	234	23,78	210,22
2,36 (No8)	23-49	29,5	156	14,23	141,77
0.3 (No50)	5-19	8,5	252	19,48	232,52
0,075 (No.200)	3-9	4,5	48	6	42
pan	4-6		54	5,27	48,73
			1200gr	81,02	1119
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi %4,7)					56,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1256,4 gr.
%7 RAP					87,95gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (%6,23)					5,48
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					50,92

Ek.6. Çizelge. % 14 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G2)	Üstte Kalan Agrega Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %14 RAP	Eklenecek Agrega
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	92,5	90	1,01	88,98
12,5 (1/2'')	70-90	75	210	10,95	199,04
9,5 (3/8'')	56-80	62	156	12,53	143,47
4,75 (No.4)	35-65	42,5	234	47,56	186,43
2,36 (No8)	23-49	29,5	156	28,45	127,54
0.3 (No50)	5-19	8,5	252	38,95	213,04
0,07 (No.200)	3-9	4,5	48	12,00	35,99
pan	4-6		54	10,53	43,46
			1200 gr	162,01	1037,98
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 5,2)					62,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1262,4 gr.
%14 RAP					176,73 gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					11,01
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					51,39

Ek.7. Çizelge. % 21 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen(G2)	Üstte Kalan Agreg Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %21 RAP	Eklenecek Agreg
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	92,5	90	1,52	88,47
12,5 (1/2'')	70-90	75	210	16,43	193,56
9,5 (3/8'')	56-80	62	156	18,79	137,20
4,75 (No.4)	35-65	42,5	234	71,35	162,65
2,36 (No8)	23-49	29,5	156	42,683	113,31
0.3 (No50)	5-19	8,5	252	58.433	193,56
0,075 (No.200)	3-9	4,5	48	18.01	29,99
pan	4-6		54	15,801	38,19
			1200gr	243,02	956,97
Karışmdaki Toplam Bitüm (Optimüm Bitüm Yüzdesi % 5,7)					68,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1268,4 gr.
%21 RAP					266,364gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (%6,23)					16,59
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					51,81

Ek.8. Çizelge A.3. % 28 G2 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G2)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %28 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	92.5	90	2,03	87,97
12,5 (1/2'')	70-90	75	210	21,91	188,09
9,5 (3/8'')	56-80	62	156	25,06	130,94
4,75 (No.4)	35-65	42.5	234	95,13	138,87
2,36 (No8)	23-49	29.5	156	56,91	99,09
0.3 (No50)	5-19	8.5	252	77,91	174,09
0,075 (No.200)	3-9	4.5	48	24,01	23,99
pan	4-6		54	21,07	32,93
			1200 gr	324.03	875.97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 3,7)					44,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1244,4 gr.
% 28 RAP					348,43
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					21,71
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					22,69

Ek.9. Çizelge. % 7 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G3)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %7 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	95	60	0,51	59,49
12,5 (1/2'')	70-90	80	180	5,48	174,52
9,5 (3/8'')	56-80	68	144	6,27	137,73
4,75 (No.4)	35-65	50	216	23,78	192,22
2,36 (No8)	23-49	36	168	14,23	153,77
0.3 (No50)	5--19	12	288	19,48	268,52
0,075 (No.200)	3--9	6	72	6	66
pan	4--6		72	5,27	66,73
			1200gr	81,02	1118,98
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi %5,2)					62,4 gr.
Toplam Asfalt (Agregası 1200+ Bitüm 61,20)					1262,4 gr.
%7 RAP					88,368gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					5,51
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					56,89

Ek.10. Çizelge. % 14 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G3)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %14 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	95	60	1,01	58,98
12,5 (1/2'')	70-90	80	180	10,95	169,04
9,5 (3/8'')	56-80	68	144	12,53	131,47
4,75 (No.4)	35-65	50	216	47,56	168,43
2,36 (No8)	23-49	36	168	28,45	139,54
0.3 (No50)	5-19	12	288	38,95	249,04
0,075 (No.200)	3-9	6	72	12,00	59,99
pan	4-6		72	10,53	61,46
			1200 gr	162,01	1037,98
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimüm Bitüm Yüzdesi %5,2)					62,4 gr.
Toplam Asfalt (Agregası 1200+ Bitüm 61,20)					1262,4 gr.
%14 RAP					176,736gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					11,01
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					51,39

Ek.11. Çizelge. % 21 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G3)	Üstte Kalan Agregada Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %21 RAP	Eklenecek Agregada
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	95	60	1,52	58,47
12,5 (1/2'')	70-90	80	180	16,43	163,56
9,5 (3/8'')	56-80	68	144	18,79	125,20
4,75 (No.4)	35-65	50	216	71,35	144,65
2,36 (No8)	23-49	36	168	42,68	125,31
0.3 (No50)	5-19	12	288	58,43	229,56
0,075 (No.200)	3-9	6	72	18,01	53,99
pan	4-6		72	15,80	56,19
			1200 gr	243,02	956,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 5,2)					62,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1262,4 gr.
% 21 RAP					265,10 gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					16,52
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					45,88

Ek.12. Çizelge. % 28 G3 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G3)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %28 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	95	60	2,03	57,97
12,5 (1/2'')	70-90	80	180	21,91	158,09
9,5 (3/8'')	56-80	68	144	25,06	118,94
4,75 (No.4)	35-65	50	216	95,13	120,87
2,36 (No8)	23-49	36	168	59,91	108,09
0.3 (No50)	5-19	12	288	77,91	210,09
0,075 (No.200)	3-9	6	72	24,01	47,99
pan	4-6		72	21,07	50,93
			1200 gr	327,03	872,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 5,2)					62,4 gr.
Toplam Asfalt (Agregası 1200+ Bitüm 61,20)					1262,4 gr.
% 28 RAP					353,47
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					22,02
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					40,38

Ek.13. Çizelge. % 7 G4 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G4)	Üstte Kalan Agregası	Kazınmış Asfalt % 7 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	97,5	30	0,50	29,49
12,5 (1/2'')	70-90	85	150	5,47	144,52
9,5 (3/8'')	56-80	74	132	6,26	125,73
4,75 (No.4)	35-65	57,5	198	23,78	174,21
2,36 (No8)	23-49	42,5	180	14,22	165,77
0.3 (No50)	5-19	15,5	324	19,47	304,52
0,075 (No.200)	3-9	7.5	96	6,00	89,99
Pan	4-6		90	5,26	84,73
			1200 gr	81,00	1118,99
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 5,7)					68,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1268,4 gr.
%7 RAP					88,78gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					5.53
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					62.87

Ek.14. Çizelge. % 14 G4 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G4)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt % 14 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	97,5	30	1,01	28,98
12,5 (1/2'')	70-90	85	150	10,95	139,04
9,5 (3/8'')	56-80	74	132	12,53	119,47
4,75 (No.4)	35-65	57,5	198	47,56	150,43
2,36 (No8)	23-49	42,5	180	28,45	151,54
0.3 (No50)	5-19	15,5	324	38,95	285,04
0,075 (No.200)	3-9	7,5	96	12,00	83,99
Pan	4-6		90	10,53	79,465
			1200 gr	162,01	1037,98
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 3,7)					44,4 gr.
Toplam Asfalt (Agregası 1200+ Bitüm 61,20)					1244,4 gr.
% 14 RAP					174,21 gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					10,85
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					33,55

Ek.15. Çizelge. % 21 G4 RAP Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G4)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt % 21 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1")	100	100	0	0	0
19 (3/4")	90-100	97,5	30	1,52	28,47
12,5 (1/2")	70-90	85	150	16,43	133,56
9,5 (3/8")	56-80	74	132	18,79	113,20
4,75 (No.4)	35-65	57,5	198	71,34	126,65
2,36 (No8)	23-49	42,5	180	42,68	137,31
0.3 (No50)	5-19	15,5	324	58,43	265,56
0,075 (No.200)	3-9	7,5	96	18,00	77,99
Pan	4-6		90	15,80	74,19
			1200 gr	243,02	956,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 4,2)					50,4 gr.
Toplam Asfalt (Agregası 1200+ Bitüm 61,20)					1250,4 gr.
% 21 RAP					262,58gr.
Bitüm Rap Malzemesi İçindeki (% 6,23)					16,36
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					34,04

Ek.16. Çizelge. % 28 RAP G4 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G4)	Üstte Kalan Agrega Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %28 RAP	Eklenecek Agrega
25(1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	97.5	30	2,03	27,97
12,5 (1/2'')	70-90	85	150	21,91	128,09
9,5 (3/8'')	56-80	74	132	25,06	106,94
4,75 (No.4)	35-65	57.5	198	95,13	102,87
2,36 (No8)	23-49	42.5	180	56,91	123,09
0.3 (No50)	5-19	15.5	324	77,91	246,09
0,075 (No.200)	3-9	7.5	96	24,01	71,99
pan	4-6		90	21,07	68,93
			1200 gr	324,03	875,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 4,7)					56,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1256,4 gr.
% 28 RAP					351,792 gr.
Bitüm RAP Malzemesi İçindeki (% 6,23)					21,92
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					34,48

Ek.17. Çizelge. % 7 RAP G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G5)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt % 7 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	99	12	0,50	11,49
12,5 (1/2'')	70-90	89	120	5,47	114,52
9,5 (3/8'')	56-80	87	120	6,26	113,73
4,75 (No4)	35-65	64	180	23,78	156,21
2,36 (No8)	23-49	48	192	14,22	177,77
0.3 (No50)	5-19	18	360	19,47	340,52
0,075 (No200)	3-9	8	120	6,00	113,99
Pan	4-6	5	108	5,26	102,73
			1212 gr	81,00	1130,99
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 3,7)					44,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1244,4 gr.
% 7 RAP					87,10 gr.
Bitüm RAP Malzemesi İçindeki (% 6,23)					5,43
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					38,97

Ek.18. Çizelge. % 14 RAP G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G5)	Üstte Kalan Agregaya Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt %14 RAP	Eklenecek Agregaya
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	99	12	1,01	10,98
12,5 (1/2'')	70-90	90	120	10,95	109,04
9,5 (3/8'')	56-80	80	120	12,53	107,47
4,75 (No.4)	35-65	65	180	47,55	132,43
2,36 (No8)	23-49	49	192	28,45	163,54
0.3 (No50)	5-19	19	360	38,95	321,04
0,075 (No.200)	3-9	9	120	12,00	107,99
pan	4-6	6	108	10,53	97,46
			1212 gr	162,01	1049,98
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 4,2)					50,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1250,4 gr.
% 14 RAP					175,05 gr.
Bitüm RAP Malzemesi İçindeki (% 6,23)					10,91
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					39,49

Ek.19. Çizelge. % 21 RAP /G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G5)	Üstte Kalan Agregası	Kazınmış Asfalt % 21 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	99	12	1,52	10,47
12,5 (1/2'')	70-90	90	120	16,43	103,56
9,5 (3/8'')	56-80	80	120	18,79	101,20
4,75 (No.4)	35-65	65	180	71,34	108,65
2,36 (No8)	23-49	49	192	42,68	149,31
0.3 (No50)	5-19	19	360	58,43	301,56
0,075 (No.200)	3--9	9	120	18,00	101,99
Pan	4--6	6	108	15,80	92,19
			1212 gr	243,02	968,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimüm Bitüm Yüzdesi % 4,7)					56,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1256,4 gr.
% 21 RAP					263,84 gr.
Bitüm RAP Malzemesi İçindeki (% 6,23)					16,44
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					39,96

Ek.19. Çizelge. %28 RAP G5 Geri kazanımlı bitümlü sıcak karışım dizaynının hazırlanması.

Elek Açıklığı	Binder Tabakası İçin Gradasyon Limitleri	% Seçilen (G4)	Üstte Kalan Agregası Karışım Gradasyonu	Kazınmış Asfalt % 28 RAP	Eklenecek Agregası
25 (1'')	100	100	0	0	0
19 (3/4'')	90-100	99	12	2,03	9,97
12,5 (1/2'')	70-90	90	120	21,91	98,09
9,5 (3/8'')	56-80	80	120	25,06	94,94
4,75 (No.4)	35-65	65	180	95,13	84,87
2,36 (No8)	23-49	49	192	56,91	135,09
0.3 (No50)	5-19	19	360	77,91	282,09
0,075 (No.200)	3-9	9	120	24,01	95,99
Pan	4-6	6	108	21,07	86,93
			1212 gr	324,03	887,97
Karışımındaki Toplam Bitüm (Optimum Bitüm Yüzdesi % 5,2)					62,4 gr.
Toplam Asfalt (Agrega 1200+ Bitüm 61,20)					1262,4 gr.
% 28 RAP					353,47 gr.
Bitüm RAP Malzemesi İçindeki (% 6,23)					22,92
Karışıma Eklenecek Yeni Bitüm					40,38

Ek.20. Yöntemlerin sonuçları İndirikt Çekme için(devam)

No	Gradasyon	RAP%	Bitüm%	İndirikt Çekme(Kn)	Excel Modelleme	YSA
1	1	0	3,7	5,47	6,84	5,73
2	1	7	4,2	4,90	7,41	4,55
3	1	14	4,7	5,57	7,97	5,70
4	1	21	5,2	7,25	8,54	7,23
5	1	28	5,7	9,33	9,10	9,33
6	2	0	4,2	8,72	8,26	8,78
7	2	7	4,7	11,66	8,83	11,78
8	2	14	5,2	11,41	9,39	11,46
9	2	21	5,7	9,83	9,96	10,93
10	2	28	3,7	9,86	8,21	9,53
11	3	0	4,7	11,56	9,69	11,79
12	3	7	5,2	9,35	10,25	13,29
13	3	14	5,7	13,61	10,81	13,56
14	3	21	3,7	10,77	9,07	10,19
15	3	28	4,2	9,81	9,63	9,69
16	4	0	5,2	11,06	11,11	11,20
17	4	7	5,7	11,76	11,67	11,84
18	4	14	37	9,80	9,92	10,17
19	4	21	4,2	8,71	10,49	8,77
20	4	28	4,7	10,56	11,05	10,69
21	5	0	5,7	10,90	12,53	11,04
22	5	7	3,7	13,63	10,78	11,62
23	5	14	4,2	8,71	11,34	9,57
24	5	21	4,7	9,90	11,91	9,94
25	5	28	5,2	13,12	12,47	13,03

Ek.21. Yöntemlerin Sonuçları Stabilité İçin

No	Gradasyon	RAP%	Bitüm%	Düzeltilme Stabilité	Excel Modelleme	Ysa
1	1	0	3,7	507,5	573,10	694
2	1	0	3,7	800,11	573,10	694
3	1	0	3,7	866,56	573,10	694
4	1	7	4,2	887	634,86	715,8
5	1	7	4,2	598,5	634,86	715,8
6	1	7	4,2	629,5	634,86	715,8
7	1	14	4,7	677,68	696,61	700,2
8	1	14	4,7	809,72	696,61	700,2
9	1	14	4,7	694,88	696,61	700,2
10	1	21	5,2	637,26	758,36	710,9
11	1	21	5,2	808,83	758,36	710,9
12	1	21	5,2	796,36	758,36	710,9
13	1	28	5,7	841,08	820,11	760,6
14	1	28	5,7	669,94	820,11	760,6
15	1	28	5,7	594,28	820,11	760,6
16	2	0	4,2	742,70	737,36	893,6
17	2	0	4,2	839,95	737,36	893,6
18	2	0	4,2	820,89	737,36	893,6
19	2	7	4,7	762,24	799,11	915
20	2	7	4,7	1181,64	799,11	915
21	2	7	4,7	750,22	799,11	915
22	2	14	5,2	741,54	860,86	679,3
23	2	14	5,2	657,04	860,86	679,3
24	2	14	5,2	809,67	860,86	679,3
25	2	21	5,7	877,47	922,61	947,5
26	2	21	5,7	794,47	922,61	947,5
27	2	21	5,7	1183,24	922,61	947,5
28	2	28	3,7	1090,91	1193,84	1043,5
29	2	28	3,7	842,46	1193,84	1043,5
30	2	28	3,7	1240,00	1193,84	1043,5
31	3	0	4,7	1109,16	901,61	1042,9
32	3	0	4,7	1161,25	901,61	1042,9
33	3	0	4,7	884	901,61	1042,9
34	3	7	5,2	732,61	963,36	1012,8
35	3	7	5,2	934,39	963,36	1012,8
36	3	7	5,2	877,68	963,36	1012,8
37	3	14	5,7	988,25	1025,11	978,6
38	3	14	5,7	834,95	1025,11	978,6
39	3	14	5,7	918,37	1025,11	978,6
40	3	21	3,7	1140,88	1296,34	1162,1
41	3	21	3,7	1126,00	1296,34	1162,1
42	3	21	3,7	1046,47	1296,34	1162,1
43	3	28	4,2	1162,83	1358,09	1270,6
44	3	28	4,2	1175,90	1358,09	1270,6
45	3	28	4,2	1233,63	1358,09	1270,6
46	4	0	5,2	1179,84	1065,86	1195,3
47	4	0	5,2	1193,08	1065,86	1195,3
48	4	0	5,2	966,24	1065,86	1195,3
49	4	7	5,7	943,2	1127,61	985,4

Ek.21. Yöntemlerin Sonuçları Stabilité İçin (Devam)

50	4	7	5,7	988,8	1127,61	985,4
51	4	7	5,7	1020	1127,61	985,4
52	4	14	3,7	1464	1398,84	1459
53	4	14	3,7	1465,44	1398,84	1459
54	4	14	3,7	1785,41	1398,84	1459
55	4	21	4,2	2045,76	1460,59	1820,1
56	4	21	4,2	1492,65	1460,59	1820,1
57	4	21	4,2	1656,79	1460,59	1820,1
58	4	28	4,7	2004	1522,34	1729,5
59	4	28	4,7	1666,09	1522,34	1729,5
60	4	28	4,7	1609,36	1522,34	1729,5
61	5	0	5,7	1185,6	1230,11	1204,7
62	5	0	5,7	1199,04	1230,11	1204,7
63	5	0	5,7	1253,28	1230,11	1204,7
64	5	7	3,7	953,28	1501,34	980,9
65	5	7	3,7	1001,28	1501,34	980,9
66	5	7	3,7	1034,4	1501,34	980,9
67	5	14	4,2	1536,96	1563,09	1534,5
68	5	14	4,2	1525,92	1563,09	1534,5
69	5	14	4,2	1539,36	1563,09	1534,5
70	5	21	4,7	2156	1624,85	1848,3
71	5	21	4,7	1568,16	1624,85	1848,3
72	5	21	4,7	1839,07	1624,85	1848,3
73	5	28	5,2	2011,68	1686,60	1708,7
74	5	28	5,2	1728,96	1686,60	1708,7
75	5	28	5,2	1674,24	1686,60	1708,7

Ek.22. Yöntemlerin Sonuçları Akım İçin

No	Gradasyon	RAP%	Bitüm%	Akma	Excel Model	Ysa
1	1	0	3,7	4,89	3,91	4,18
2	1	0	3,7	4,23	3,91	4,18
3	1	0	3,7	4,37	3,91	4,18
4	1	7	4,2	4,48	3,81	3,79
5	1	7	4,2	4,06	3,81	3,79
6	1	7	4,2	2,87	3,81	3,79
7	1	14	4,7	4,32	3,71	3,81
8	1	14	4,7	2,79	3,71	3,81
9	1	14	4,7	3,48	3,71	3,81
10	1	21	5,2	2,58	3,61	4,04
11	1	21	5,2	2,84	3,61	4,04
12	1	21	5,2	5,68	3,61	4,04
13	1	28	5,7	3,67	3,51	3,58
14	1	28	5,7	3,67	3,51	3,58
15	1	28	5,7	3,39	3,51	3,58
16	2	0	4,2	3,67	3,78	3,89
17	2	0	4,2	3,98	3,78	3,89
18	2	0	4,2	3,34	3,78	3,89
19	2	7	4,7	2,88	3,68	3,31
20	2	7	4,7	3,99	3,68	3,31
21	2	7	4,7	3,67	3,68	3,31
22	2	14	5,2	3,67	3,58	3,82
23	2	14	5,2	3,67	3,58	3,82
24	2	14	5,2	3,67	3,58	3,82
25	2	21	5,7	3,67	3,48	3,49
26	2	21	5,7	3,66	3,48	3,49
27	2	21	5,7	2,68	3,48	3,49
28	2	28	3,7	3,67	3,33	3,22
29	2	28	3,7	3,67	3,33	3,22
30	2	28	3,7	2,63	3,33	3,22
31	3	0	4,7	3,59	3,65	3,21
32	3	0	4,7	3,20	3,65	3,21
33	3	0	4,7	2,11	3,65	3,21
34	3	7	5,2	3,21	3,55	3,38
35	3	7	5,2	2,84	3,55	3,38
36	3	7	5,2	3,33	3,55	3,38
37	3	14	5,7	4,19	3,44	3,91
38	3	14	5,7	3,88	3,44	3,91
39	3	14	5,7	4,08	3,44	3,91
40	3	21	3,7	2,68	3,30	3,56
41	3	21	3,7	4,28	3,30	3,56
42	3	21	3,7	3,33	3,30	3,56
43	3	28	4,2	2,48	3,20	3,33
44	3	28	4,2	3,08	3,20	3,33
45	3	28	4,2	3,59	3,20	3,33

Ek.22. Yöntemlerin Sonuçları Akım İçin (Devam)

46	4	0	5,2	3,08	3,51	3,27
47	4	0	5,2	2,98	3,51	3,27
48	4	0	5,2	3,88	3,51	3,27
49	4	7	5,7	3,99	3,41	3,84
50	4	7	5,7	4,08	3,41	3,84
51	4	7	5,7	3,98	3,41	3,84
52	4	14	3,7	3,08	3,26	3,65
53	4	14	3,7	2,98	3,26	3,65
54	4	14	3,7	2,98	3,26	3,65
55	4	21	4,2	3,35	3,16	3,59
56	4	21	4,2	3,68	3,16	3,59
57	4	21	4,2	2,88	3,16	3,59
58	4	28	4,7	2,28	3,06	3,26
59	4	28	4,7	3,08	3,06	3,26
60	4	28	4,7	3,08	3,06	3,26
61	5	0	5,7	3,18	3,38	3,44
62	5	0	5,7	2,98	3,38	3,44
63	5	0	5,7	3,78	3,38	3,44
64	5	7	3,7	3,99	3,23	3,93
65	5	7	3,7	3,08	3,23	3,93
66	5	7	3,7	3,78	3,23	3,93
67	5	14	4,2	3,08	3,13	3,61
68	5	14	4,2	3,98	3,13	3,61
69	5	14	4,2	2,78	3,13	3,61
70	5	21	4,7	2,45	3,03	3,39
71	5	21	4,7	3,68	3,03	3,39
72	5	21	4,7	2,68	3,03	3,39
73	5	28	5,2	2,28	2,93	3,16
74	5	28	5,2	3,28	2,93	3,16
75	5	28	5,2	3,18	2,93	3,16

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : HUDA ABDULEHSAN DHANNOON

Doğum Yeri ve Yılı : Irak Kerkük, 1984.

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce, Arapca ve Türkçe

E-posta : Qaysadnan81@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : ALWasti lisesi, 2002.

Lisans : Kerkük Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim

Water Resources Department 2009-..... (halen).

Yayınları

TIĞDEMİR, M., DHANNOON H. A., 2017. Irak Karayolları İçin Taguchi Yöntemi Kullanarak Geri Kazanım Asfalt Malzemeleri İle Binder Tabakası Tasarımı., Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, s.s., 11