

Bitümlü Sıcak Karışımlarda Asfalt Plent Atıklarının Değerlendirilmesi

Cengiz Sefa Yavuz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2018

Evaluation of Asphalt Plant Waste in Hot Mix Asphalt

Cengiz Sefa Yavuz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

May 2018

Bitümlü Sıcak Karışımlarda Asfalt Plent Atıklarının Değerlendirilmesi

Cengiz Sefa Yavuz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Murat Karacasu

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Cengiz Sefa Yavuz'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Bitümlü Sıcak Karışımlarda Asfalt Plent Atıklarının Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Murat Karacasu

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Murat Karacasu

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şafak Bilgiç

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Polat Yalınız

Üye : -

Üye : -

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Murat Karacasu danışmanlığında hazırlamış olduğum “Bitümlü Sıcak Karışımlarda Asfalt Plent Atıklarının Değerlendirilmesi” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 10/05/2018

Cengiz Sefa Yavuz

İmza

ÖZET

Dünyamızda hızlı nüfus artışıyla beraber insanlar tarafından doğaya bırakılan atık miktarı da artmaktadır. Bu durum enstriyel üretimle artış göstermektedir. Doğaya bırakılan atık miktarını en aza indirmek ve bu atıkları tekrar kullanarak ham maddeye olan ihtiyacı azaltmak amacıyla birçok ülkede kamu ve özel sektör geri dönüşümle ilgili çalışmalara ağırlık verilmiştir.

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi son 5 yılda 404203 ton asfalt betonu üretimi yapmış ve bu süreçte yaklaşık 28295 ton plent atığı açığa çıkmıştır. İnce malzemenin oluşan bu atıklar herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğaya bırakılmaktadır.

Bu çalışmada, agregaya yerine ağırlıkça %0, %25, %30, %40, %50 oranlarında plent atığı aynı miktarda ve dane boyutunda agregaya malzemesi ile yer değiştirilmiştir. Ağırlıkça %3,5 ve %6,5 aralığında 7 farklı miktarda bitüm ilave edilerek Marshall deneyi uygulanmıştır. Marshall Stabil ile ilgili akma değerleri bulunmuştur. Plent atığı kullanarak oluşturulan karışımlar için optimum bitüm oranlarında tekrar hazırlanıp statik ve dinamik sünme deneyleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışma sonunda asfalt plentinde açığa çıkan bu atığın bitümlü sıcak karışımların binder ve aşınma tabakalarında agregaya yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu şekilde çevresel atık niteliğinde olan bir malzeme tekrar kullanılarak bertaraf edilebilecektir. Dolayısıyla kaynakların etkin kullanımı, sürdürülebilir çevre ve yaşam sağlanmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: BSK, Atıklar, Plent Atığı, Yeniden Kazanma, Sürdürülebilir Çevre

SUMMARY

Along with rapid population growth in the world, the amount of wastes left to nature by people is also increasing. In order to reduce the amount of waste left untreated to the minimum and to reduce the need for raw materials by reusing these wastes, many countries have focused on public and private sector recycling efforts.

Eskisehir Metropolitan Municipality has produced 404203 tons of asphalt in the last 5 years and about 28295 tons of plant waste has been released in this process. These wastes, which are composed of thin material, are left to nature without any treatment.

In this study, 0%, 25%, 30%, 40%, 50% of the weight of the aggregate was replaced with aggregate material in the same amount and grain size.

Marshall Test was applied by adding 7 different amounts of bitumen in the range of 3.5% and 6.5% by weight. The flow values found with Marshall Stability. The mixtures prepared by using plant wastes were prepared at optimum bitumen ratios and static and dynamic creep tests were noted and the results were examined.

As a result of this study, the bituminous hot blend of this waste which is found in the asphalt plant has reached the result that the aggregate can be used instead of binder and abrasion plates. In this way a material which is an environmental waste, can be disposed of again.

Keywords: BSK, Wastes, Plant Waste, Re-Gaining, Sustainable Enviroment and Life

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım süresince bilgisi ve görüşleriyle beni yönlendiren, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Murat Karacasu'ya, teşekkür eder, en derin saygılarımı sunarım.

Yapmış olduğu yardımlardan dolayı İnş. Yük. Müh. Mustafa Keskin'e teşekkür ederim. Eğitim öğretim hayatımda bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, sayesinde bugünleri yaşadığım anneme ve babama, oğlum Yekta Emir Yavuz ile eşim Nurdan Yavuz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3.KARAYOLU	10
3.1. Karayolu Çeşitleri	10
3.1.1. Karayolu altyapısı	10
3.1.2. Karayolu üstyapısı	10
3.1.2.1. <u>Rijit üstyapılar (beton yollar)</u>	10
3.1.2.2. <u>Esnek üstyapılar (BSK kaplamalar)</u>	11
3.1.2.3. <u>Alttemel tabakası</u>	11
3.1.2.4. <u>Temel tabakası</u>	12
3.1.2.5. <u>Kaplama tabakası</u>	12
3.2. BSK Kaplamalarında Kullanılan Malzemeler	13
3.2.1. Agregalar	13
3.2.1.1. <u>Gradasyon</u>	13
3.2.1.2. <u>Dane dayanımı</u>	14
3.2.1.3. <u>Porozite</u>	14
3.2.1.4. <u>Dane şekli ve biçimi</u>	14
3.2.1.5. <u>Cilalanma direnci (kaymaya karşı direnç)</u>	15
3.2.2. Bitüm	15
3.2.2.1. <u>Asfalt</u>	15
3.2.2.1. <u>Asfalt çimentosu</u>	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.2.2. <u>Sıvı asfaltlar</u>	16
3.2.2.3. <u>Katran</u>	16
4.ASFALT PLENT TESİSİNE GENEL BAKIŞ	17
4.1. Asfalt Betonü Üretimi.....	17
4.1.1. Ağırlıklı tip asfalt plenti	17
4.1.2. Sürekli tip asfalt plenti	19
4.2. Plent Tesisinden Çıkan Atıklar	21
4.2.1. Tez kapsamında kullanılacak ince daneli plent atığı.....	22
4.2.1.1. <u>Plent atığının elementel ve bileşik analizi</u>	25
4.2.1.2. <u>Plent atığının elek analizi (TS EN 933-10)</u>	26
4.2.1.3. <u>İnce agregaya için özgül ağırlık ve su emme deneyi</u>	28
5. MATERYAL VE YÖNTEM	30
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
6.1. Agregaya Deneyleri	31
6.1.1. Elek analizi deneyi (TS EN 933-1,2)	31
6.1.1.1. <u>Deneyin amacı</u>	31
6.1.1.2. <u>Aletler</u>	32
6.1.1.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	33
6.1.1.4. <u>Hesaplama</u>	33
6.1.1.5. <u>Tez kapsamında yapılan elek analizi</u>	33
6.1.2. Aşınmaya karşı dayanıklılık ve aşınma kaybı deneyi (Los Angeles deneyi)...	36
6.1.2.1. <u>Deneyin amacı</u>	36
6.1.2.2. <u>Gerekli aletler</u>	36
6.1.2.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	37
6.1.2.4. <u>Hesaplama</u>	38
6.1.2.5. <u>Tez kapsamında yapılan aşınma kaybı deneyi</u>	39
6.1.3. Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi (TS EN 1367-1,2).....	39
6.1.3.1. <u>Deneyin amacı</u>	39
6.1.3.2. <u>Gerekli aletler</u>	39

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.1.3.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	40
6.1.3.4. <u>Hesaplama</u>	41
6.1.3.5. Tez kapsamında yapılan hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi.....	41
6.1.4. İri agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS EN 1097-6)	41
6.1.4.1. <u>Deneyin amacı</u>	41
6.1.4.2. <u>Gerekli aletler</u>	43
6.1.4.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	43
6.1.4.4. <u>Hesaplama</u>	44
6.1.4.5. <u>Tez kapsamında yapılan iri agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi</u>	44
6.1.5. İnce agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS EN 1097-6)	45
6.1.5.1. <u>Deneyin amacı</u>	45
6.1.5.2. <u>Gerekli aletler</u>	45
6.1.5.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	45
6.1.5.4. <u>Hesaplama</u>	46
6.1.5.5. <u>Tez kapsamında yapılan ince agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi</u> ... 46	46
6.1.6. Filler agrega için özgül ağırlık deneyi (TS EN 1097-7)	47
6.1.6.1. <u>Deneyin amacı</u>	47
6.1.6.2. <u>Gerekli aletler</u>	47
6.1.6.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	48
6.1.6.4. <u>Hesaplama</u>	48
6.1.5.6. <u>Tez kapsamında yapılan filler agrega için özgül ağırlık deneyi</u>	49
6.1.7. Sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyleri (TS 3529).....	49
6.1.7.1. <u>Deneyin amacı</u>	49
6.1.7.2. <u>Gerekli aletler</u>	49
6.1.7.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	49
6.1.7.4. <u>Tez kapsamında yapılan sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlığı deneyi</u> .. 51	51
6.1.7. Yassılık indeksi tayini (TS EN 933-3)	51
6.1.7.1. <u>Deneyin amacı</u>	51
6.1.7.2. <u>Gerekli aletler</u>	51

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.1.7.3. <u>Deneyin Yapılışı</u>	52
6.1.7.4. <u>Hesaplama</u>	52
6.2. Bitüm deneyleri.....	53
6.2.1. Penetrasyon deneyi (TS EN 1426).....	53
6.2.1.1. <u>Deneyin amacı</u>	53
6.2.1.2. <u>Gerekli aletler</u>	54
6.2.1.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	54
6.2.1.4. <u>Hesaplama</u>	55
6.2.2. Yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427).....	55
6.2.2.1. <u>Deneyin amacı</u>	55
6.2.2.2. <u>Gerekli aletler</u>	55
6.2.2.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	56
6.2.2.4. <u>Hesaplama</u>	56
6.2.3. Düktilite deneyi (TS EN 13589)	57
6.2.3.1. <u>Deneyin amacı</u>	57
6.2.3.2. <u>Gerekli aletler</u>	57
6.2.3.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	58
6.2.3.4. <u>Hesaplama</u>	59
6.2.4. Parlama noktası deneyi (Cleveland açık kap metodu) (TS EN 2592)	59
6.2.4.1. <u>Deneyin amacı</u>	59
6.2.4.2. <u>Gerekli aletler</u>	59
6.2.4.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	60
6.2.4.4. <u>Hesaplama</u>	60
6.2.5. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi (TS EN 12607)	61
6.2.5.1. <u>Deneyin amacı</u>	61
6.2.5.2. <u>Gerekli aletler</u>	61
6.2.5.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	62
6.2.5.4. <u>Hesaplama</u>	62

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.2.6. Bitümün birim özgül ağırlık deneyi (piknometre metodu)(TS 1087).....	63
6.2.6.1. <u>Deneyin amacı</u>	63
6.2.6.2. <u>Gerekli aletler</u>	63
6.2.6.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	64
6.2.6.4. <u>Hesaplama</u>	64
6.2.7. Viskozite deneyi (TS 117,1093).....	64
6.2.7.1. <u>Deneyin amacı</u>	64
6.2.7.2. <u>Gerekli aletler</u>	65
6.2.7.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	65
6.2.7.4. <u>Hesaplama</u>	66
6.2.7.5. Tez kapsamında yapılan bitüm deneylerinin genel sonuçları.....	66
6.3. Bitümlü Sıcak Karışım Deneyleri.....	67
6.3.1. Marshall stabilite ve akma deneyleri(TS EN 3720,12697).....	67
6.3.1.1. <u>Deneyin amacı</u>	67
6.3.1.2. <u>Deney aletleri</u>	67
6.3.1.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	68
6.3.1.4. <u>Hesaplama</u>	69
6.3.1.5. <u>Tez kapsamında yapılan Marshall deneyi</u>	69
6.3.2. Statik ve dinamik sünme deneyi(TS EN 3720,12697).....	95
6.3.2.1. <u>Deneyin amacı</u>	95
6.3.2.2. <u>Deney aletleri</u>	95
6.3.2.3. <u>Deneyin yapılışı</u>	96
6.3.2.4. <u>Hesaplama</u>	96
6.3.2.5. <u>Tez kapsamında yapılan dinamik sünme deneyi</u>	98
6.3.2.6. <u>Tez kapsamında yapılan statik sünme deneyi</u>	100
7.SONUÇ VE ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR DİZİNİ	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Karayolu üstyapı enkesiti	11
3.2. Karayolu üstyapı katmanları.....	12
3.3. Agregalarda porozite çeşitleri.....	14
4.1. Ağırlıklı Tip Sabit Asfalt Plenti	18
4.2. Ağırlıklı Tip Sabit Asfalt Plenti Üniteleri	19
4.3 Sürekli Tip Sabit Asfalt Plenti (SIM)	20
4.4 Sürekli Tip Mobil Asfalt Plenti (SIM)	20
4.5. Sürekli Tip Sabit Asfalt Plenti Üniteleri	21
4.6. Asfalt endüstrisinin çevresel etkileri.	22
4.7. Plent atığı.....	22
4.8 Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Akpınar asfalt üretim tesisi.....	23
4.9. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Akpınar asfalt üretim tesisi.....	23
4.10 Atıkların döküm alanı.....	24
4.11. Atıkların döküm alanı.....	25
4.12 Agregada gradasyonu (Plent atığı)	28
6.1.a. Elekler	32
6.1.b. Etüvler	32
6.1.c. Teraziler	32
6.2. Deneylerde kullanılan numunelerin agregada gradasyonu	34
6.3. Los Angeles Tamburu ve Aşınma Bilyeleri	37
6.4. Donma çözülme kabini.....	40
6.5. Agregada özgül ağırlık,hacim ve ağırlık modellemesi.....	42
6.6. Özgül ağırlık deney seti.....	43
6.7. Piknometre.....	48
6.8. Ölçü kapları	50
6.9. Penetrasyon deney aleti	54
6.10. İçi Bitümle dolu deney halkaları	56
6.11.Yumuşama noktası deneyi.....	57
6.12. Düktilite cihazı	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.13. Pirinç düktilite kalıpları	58
6.14. Düktilite deneyinden bir görünüm.....	59
6.15. Cleveland açık kap cihazı	60
6.16. Isıtma kaybı deney etüvü.....	61
6.17. Deney kapları.....	62
6.18. Viskozite deney cihazı.....	65
6.19.a. Numunelerin stabilite ve akmasının ölçülmesi	70
6.19.b. Numunelerin stabilite ve akmasının ölçülmesi.....	70
6.20. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (kontrol numunesi için)	74
6.21. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (kontrol numunesi için)	75
6.22. Bitüm oranı-boşluk oranı (kontrol numunesi için).....	75
6.23. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (kontrol numunesi).....	76
6.24. Bitüm oranı- VMA (kontrol numunesi).....	76
6.25. Bitüm oranı-MQ (kontrol numunesi)	77
6.26. Bitüm oranı-akma miktarı (kontrol numunesi).....	78
6.27. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%25 plent atığı katkılı).....	79
6.28. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%25 plent atığı katkılı).....	79
6.29. Bitüm oranı-boşluk oranı (%25 plent atığı katkılı)	80
6.30. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%25 plent atığı katkılı)	80
6.31. Bitüm oranı- VMA (%25 plent atığı katkılı)	81
6.32. Bitüm oranı-MQ (%25 plent atığı katkılı)	81
6.33. Bitüm oranı-akma miktarı (%25 plent atığı katkılı)	82
6.34. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%30 plent atığı katkılı).....	83
6.35. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%30 plent atığı katkılı).....	83
6.36. Bitüm oranı-boşluk oranı (%30 plent atığı katkılı)	84
6.37. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%30 plent atığı katkılı)	84
6.38. Bitüm oranı- VMA (%30 plent atığı katkılı)	85
6.39. Bitüm oranı-MQ (%30 plent atığı katkılı).....	85
6.40. Bitüm oranı-akma miktarı (%30 plent atığı katkılı)	86

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.41. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%40 plent atığı katkılı).....	87
6.42. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%40 plent atığı katkılı).....	87
6.43. Bitüm oranı-boşluk oranı (%40 plent atığı katkılı)	88
6.44. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%40 plent atığı katkılı).....	88
6.45. Bitüm oranı- VMA (%40 plent atığı katkılı)	89
6.46. Bitüm oranı-MQ (%40 plent atığı katkılı).....	89
6.47. Bitüm oranı-akma miktarı (%40 plent atığı katkılı)	90
6.48. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%50 plent atığı katkılı).....	91
6.49. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%50 plent atığı katkılı).....	91
6.50. Bitüm oranı-boşluk oranı (%50 plent atığı katkılı)	92
6.51. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%50 plent atığı katkılı).....	92
6.52. Bitüm oranı- VMA (%50 plent atığı katkılı)	93
6.53. Bitüm oranı-MQ (%50 plent atığı katkılı).....	93
6.54. Bitüm oranı-akma miktarı (%50 plent atığı katkılı)	94
6.59. İklemlendirme kabini, güç kaynağı, veri işlemci, bilgisayar.....	96
6.55. Dinamik sünme modülü- vuruş sayısı	99
6.56. Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı	99
6.57. Statik sünme modülü- vuruş sayısı.....	100
6.58. Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı	101
6.60. Dinamik ve statik sünme deneyleri sonrası numuneler	102
7.1. Bitüm oranı - boşluk oranı (noktasal).....	103
7.2. Bitüm oranı - boşluk oranı (parabol)	104
7.3. Bitüm oranı - pratik özgül ağırlık (noktasal)	104
7.4. Bitüm oranı - pratik özgül ağırlık (parabol)	105
7.5. Bitüm oranı - boşluk oranı (noktasal).....	105
7.6. Bitüm oranı – bitümle dolu boşluk oranı (parabol)	106
7.7. Bitüm oranı – Marshall stabilitesi (noktasal)	106
7.8. Bitüm oranı – Marshall stabilitesi (parabol).....	107
7.9. Bitüm oranı – VMA (noktasal).....	107

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.10. Bitüm oranı – VMA (parabol)	108
7.11. Bitüm oranı – Akma (noktasal)	109
7.12. Bitüm oranı – Akma (parabol)	109
7.13. Bitüm oranı – MQ (noktasal)	110
7.14. Bitüm oranı – MQ (parabol).....	110



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Bitümün kimyasal bileşenleri	15
5.1. Yıllık asfalt üretimi.....	24
5.2. Oluşan atık miktarı (5 yıllık)	24
5.3. Plent atığı elementel ve bileşik analiz sonuçları.....	26
5.4. Elek analizi sonuçları (Plent atığı)	27
6.1. Elek analizi sonuçları	34
6.2. Şartname sınır değerleri.....	35
6.3.a. Deneylede kullanılan doğal agrega ve plent atığı miktarları(%25 ve %30 Katkılı) ...	35
6.3.b. Deneylede kullanılan doğal agrega ve plent atığı miktarları(%40 ve %50 Katkılı) ...	35
6.4. Aşınma deneyi numune tipleri.....	37
6.5 Kaba agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi.....	44
6.6. Kaba agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi	47
6.7. Fillerin zahiri özgül ağırlık değeri	49
6.8. Deneye alınacak minimum malzeme miktarı ve boyutları	52
6.9. Tez kapsamında kullanılacak özgül ağırlık değerleri	52
6.10. Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümün özellikleri	53
6.11. Asfalt çimentolarının katılık ve viskozite sınıflandırılması (KGM, 2006)	53
6.12. Ölçümler arasında olabilecek en büyük fark	55
6.13. Penetrasyon deneyi sonuçları	55
6.14. Basınç düzeltme değerleri	61
6.15. Isıtma kaybı duyarlılık sınırları	63
6.16. İnce film halinde ısıtma kaybı deney sonuçları	63
6.17. Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi Sonuçları	64
6.18. Banyo deney sıcaklıkları	66
6.19. 50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri (KGM, K.T.Ş. 2013).....	67
6.20. Plent atığı gradasyonu	71
6.21. Beton Asfalt Dizayn Kriterleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006).....	71
6.22. %0 Plent Atığı Katkılı (Kontrol) Numunelerin Deney Sonuçları	72
6.23. %25Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları	72

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**Çizelge****Sayfa**

6.24. %30 Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları	73
6.25. %40Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları	73
6.26. %50 Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları	74
6.31. Ortalama bitüm oranı tayini (kontrol numunesi).....	77
6.32. Ortalama bitüm oranı tayini (%25 plent atığı katkılı)	82
6.33. Ortalama bitüm oranı tayini (%30 plent atığı katkılı)	86
6.34. Ortalama bitüm oranı tayini (%40 plent atığı katkılı)	90
6.35. Ortalama bitüm oranı tayini (%50 plent atığı katkılı)	94
7.1. Optimum bitüm oranlarına karşılık gelen değerler.....	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler****Açıklama**

Δs	Sıkışık birim hacim ağırlığı
Δg	Gevşek birim hacim ağırlığı
σ_c	Numunelere uygulanan basınç gerilmesi
$\Delta v(t)$	t anında düşey yönde oluşan yer değiştirme
$E_{cq}(t)$	t anındaki sünme modülü

Kısaltmalar**Açıklama**

BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
EN	Avrupa Standartları
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
KTŞ	Karayolları Teknik Şartnamesi
MDE	Mikro-Deval Katsayısı
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
PÖA	Pratik Özgül Ağırlık
VMA	Agregalar arası boşluk yüzdesi
MS	Marshall Stabilitesi
MQ	Marshall Oranı
OBO	Optimum Bitüm Oranı
BDBO	Bitümle Dolu Boşluk Oranı
HMA	Hot Mix Asphalt
BO	Boşluk Oranı
MS	Marshall Stability

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Dünyada gelişen sanayi ve artan nüfusa bağlı olarak hammadde ihtiyaçları günden güne artmaktadır. Ancak dünya kaynakları gün geçtikçe daha hızlı biçimde tüketilmekte ve azalmaktadır.

Artan nüfusun ihtiyaçlarına cevap vermek için ulaştırma alanında ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Diğer ulaşım türlerine göre yük ve yolcu taşımacılığında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün "Karayolları ulaşım istatistikleri" ne göre yaklaşık %90 oranında büyük paya sahip olan karayolu yatırımları, dünyamızda ve ülkemizde en önemli inşaat yatırımlarındandır.

Dünyada ve ülkemizde çevre konusunda bilinçlenme ve çevreye karşı duyarlılık her geçen gün artmaktadır. Devlet politikalarında ve bireysel tercihlerde çevreye verilebilecek zararlar önemli bir ölçüt oluşturmaktadır. Bilimsel çalışmalarda da verilen zararın ve doğal kaynak kullanımının azaltılması ve kaynakların etkin kullanılması için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bunların başında da geri kazanım çalışmaları gelmektedir. Bu çalışmalarla ülke ekonomisine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bitümlü sıcak karışım (BSK) üretiminde agrega olarak atıkların kullanılması çevreye olan zararın azaltılmasını sağlayacaktır.

BSK' da kullanılan bitüm petrol kökenli olduğundan ülkemize ithali söz konusudur. İthal edilen bitümün en aza indirilmesi için farklı yöntemlerle araştırmalar devam etmektedir. BSK da kullanılan bitüm miktarında küçük bir tasarrufun yapılabilmesi durumunda bile ülke ekonomisi için önemli kazançlar elde edilmiş olacaktır.

BSK' larla yol yapımlarında ağırlıkça %95 oranında agrega kullanılmaktadır. İhtiyaca cevap verebilecek nitelikte agrega kaynakları azalmaktadır. Agrega yerine maliyeti daha düşük ve çevresel ve sanayi atıklarının kullanılabilirliği konusunda çalışmalar da artmıştır.

Asfalt plant tesislerinde plant atığı olarak çıkan malzeme bertarafında sorunların yaşandığı gözlemlenmektedir. Atığa yapışmış yağ ve bitüm atıkları çevresel hayatı olumsuz etkilemektedir. Bu malzemin çok ince yapıda olmasından dolayı toz emisyonu açısından da doğada önemli sorunlar oluşturmaktadır. Belli bir yere depolanması durumunda ise rüzgar ile çevreye yayılıp tarımsal açıdan verimli topraklarda ve bitkilerde üst katman oluşturabileceği gözlenmiştir. Sulama ve içme sularına karışması durumunda önemli sağlık sorunlarına sebep olabilecektir. Ayrıca bu atıkların doğaya doğrudan depolanarak bertaraf edildiği sahalara götürülmesi durumunda ilave iş gücü ve nakliye maliyetleriyle karşılaşmaktadır.

Bu çalışmada; esnek üstyapıların ana malzemeleri olan agregalar ve bitümler için geleneksel deneysel çalışmalar uygulanmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Yollar Fenni Şartnamesinde Aşınma Tip II gradasyon sınırları baz alınarak karışımda kullanılacak optimum bitüm oranları (OBO) tespit edilmiştir. Söz konusu gradasyonda 0,30 mm elek altı agrega yerine ağırlıkça %25, %30, %40, %50 oranlarında plant atığı aynı miktarda agrega malzemesi ile yer değiştirilmiştir. Karışımlara Marshall tasarım, dinamik ve statik sünme deneyleri uygulanmıştır. Kontrol numuneleriyle plant atığı kullanılan numunelerin performans değerleri karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Normal betonun ağırlığın azalacağını düşünerek Emiroğlu ve diğerleri, %5 , %10, %15 ve %20 oranlarında agrega çıkartılarak, aynı oranda öğütülmüş atık lastikle numuneler oluşturup, atık lastiklerin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. 100x100x500 mm ebatında kiriş numuneler hazırlanıp eğilmede çekme deneyi uygulanmış ve kiriş ortasındaki sehim ölçülmüştür. Beton içerisinde kullanılan lastik miktarı arttıkça ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleriyle, deneysel verilerle hesaplanan elastisite modülleri arasındaki ilişkinin azaldığı görülmüştür (Emiroğlu, vd.,2009).

Yapısal beton atıklarının çevreye verdiği zararın önlenmesi amacıyla Köroğlu ve Köken, 28 günlük beton basınç mukavemeti 10 MPa olan beton atıklarından elde edilecek agregaların, tekrar normal beton için kullanılabilirliğinin araştırmasını yapmışlardır. Deneyde 300 dozlu beton karışımına tamamına kırmataş agregalı, %50 kırmataş %50 öğütülmüş beton atığından elde edilen agregalar ve tamamına öğütülmüş beton atıklarından elde edilen agregalarla olmak üzere beton numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan deneyler sonunda 10MPa olan beton atıklarından öğütülerek elde edilen agregaların taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabileceği kanısına ulaşmışlardır (Köroğlu ve Köken, 2009).

Normal betona belirli oranlarda mermer fabrikalarında işleme sırasında açığa çıkan mermer tozunun katılmasıyla üretilen çimentolu betonun, donma - çözülme sonrasındaki özelliklerini araştırılmıştır. Çimento dozajı 300 ve 350 olan betonda, ince agregadan %5, %10, %15 ve %20 oranlarında eksiltip, onun yerine aynı miktarda mermer tozu yer değiştirilmiş katkı numuneler oluşturulmuştur. Katkılı numuneler ile kontrol numuneleri kalıp alındıktan 28 gün sonra 1 hafta boyunca donma-çözülme deneyine tabi tutulmuştur. 350 çimento dozajında %5-%15 oranında ince malzeme yerine kullanılacak mermer tozu betonun donma-çözülme karşı direncini arttırdığı tespit edilmiştir (Ünal ve Uygunoğlu, 2003).

Normal betona mineral katkı olarak vişne çürüğü mermer tozu, agrega olarak da en fazla 16 mm dane çapındaki pomza taşı kullanılarak numuneler elde edilmiştir. Bu

numunelerde betonun basınç dayanımını ve ultrasonik ses geçirgenliğini değişimleri incelemişlerdir. Mermer tozu çimento ile ağırlıkça %0, %10 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. 28. günden sonra %10 mermer tozu katkısı içeren beton numunelerinin katkısız kontrol numunelerine nazaran daha fazla dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. %20 mermer tozu katkılı hafif betonun basınç dayanımı, kontrol betonunundan düşük çıkmıştır (Tanyıldızı ve Coşkun, 2011).

Boraksın saflaştırılması sırasında ortaya çıkan kil pestilini betona katarak meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çimento inceliğinde öğütülen kil pestili atığı Portland Çimentolu harç içerisine farklı oranlarda katılarak sonuçları Türk Standartları (TS) Sınır Değerleri ile karşılaştırılmıştır. Atık malzemesinin betonun prizini geciktirdiğini ve betonda yoğun bir iç yapı oluşturduğundan dolayı düşük yüzdelerde ultrases geçiş sürelerini arttırdığı tespit edilmiştir (Uğurlu, vd., 2004).

Atık seramiklerin normal betonda agrega olarak kullanılarak taze ve sertleşmiş betona nasıl bir etkisinin olacağı üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Seramik atıkların, agrega olarak basınç dayanımının öncelikli istendiği yapı elemanlarında kullanılamayacağını sonucuna ulaşılmıştır. Ancak aşınma direnci ve çekme dayanımı yüksek betonun, gerekli olduğu yerlerde tercih edilebileceğini tespit etmişlerdir (Brito, vd., 2005).

Normal beton içerisinde sıhhi seramik atıklarını %15, %20, %25 oranlarında kaba agrega yerine kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Yaptıkları deneylerin sonucunda seramik atıklarının kullanıldığında betonun daha yüksek çekme ve basınç dayanımlarına ulaştığını tespit etmişlerdir (Medina, vd., 2012).

Normal betonun içerisinde kaba agrega yerine seramikli izolasyon atıklarının kullanılması durumunda oluşacak performans değişimleri incelenmiştir. Betonda seramikli izolasyon atıklarının kullanılması işlenebilirlik, eğilme ve çekme dayanım miktarları, elastisite modüllerinde doğal kırma taş agregayla yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Söz konusu atıkların çimentolu betonda kullanılabileceği ve böylece doğaya verilecek zararın azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Senthamarai, vd., 2011).

BSK marshall stabilitesine Granüler sülfürle (GSF) modifiye edilmiş bitümün etkisini araştırılmıştır. Toplam bitüm ağırlığına göre %10, %20, %30, %40 ve %50 GSF malzemesi bitüm yerine BSK'da kullanılmış ve geleneksel BSK ile karşılaştırılmıştır. Granüler sülfür oranı arttıkça stabilite değerinin yükseldiği tespit edilmiştir. En yüksek stabilite değerinin %50 Granüler sülfür ilave edilmesiyle elde edildiği görülmüştür. (Deniz ve Lav, 2010).

Atık toneri asfalt üzerinde bitümlü bağlayıcı olarak kullanılmış ve çalışma sonunda düşük sıcaklıklarda dayanımı geliştirdiği ve çatlak oluşumunu azalttığı sonucuna ulaşmışlardır (Yıldırım vd, 2004).

BSK'ya demir tozu katılarak dinamik yükler altında yorulma davranışları incelenmiş ve dolaylı çekme deneyleri sonucunda çekme dayanımlarını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca tekrarlı yükler altında yorulma ömrünü uzattığını ortaya koyulmuştur (Arabani, vd., 2011).

Asfalt betonu içerisine agrega toplam ağırlığının belirli oranlarında (%0, %5, %10 ve %15) cam atığı ilave edilerek numuneler hazırlanmıştır. ASTM ve AASHTO standartlarına göre numuneler deneylere tabi tutulmuştur. Numuneye katılan atık oranı ile stabilite değerlerinin ters orantılı olarak değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Camın bitümü emme oranının düşük olmasından dolayı ekonomik avantajları olabileceğini vurgulanmıştır (Su ve Chen 2002).

BSK'da çelikhane cürufunun agrega olarak kullanılabilirliği konusunda yapılan çalışmada, Marshall stabilite deneyinde, dolaylı çekme rijitlik modülü deneyi (aynı doğrultu ve zıt yönlerdeki kuvvetlerin oluşturduğu gerilme) ve sünme modülü deneyi sonuçları kontrol numunelerine kıyasla daha yüksek; akma sonuçları daha düşük çıkmıştır. BSK'ların performansını Ereğli Demir-Çelik Fabrikası çelikhane cürufunun artırdığı ve agrega olarak karayolu üst yapısında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Alataş, vd., 2006).

BSK kaplama tabakalarında Antalya Ferrokrom İşletmesi' nin elektrik-ark fırınlarından ortaya çıkan atık ferrokrom (FrCr) cüruflarının filler olarak kullanılabilirliğini

konusunda çalışmalar yapılmıştır. Ağırlıkça % 2.5, %5, %7 ve %10 atık filler oranları ile numuneler hazırlanmış ve bu numunelerin stabilite ve akma değerleri tespit edilerek kontrol numuneleriyle kıyaslanmıştır. Kontrol numunelerine göre stabilite daha yüksek çıkmıştır. BSK'larda filler olarak FeCr cürufunun BSK' larda filler olarak %5-10 arasındaki oranlarda kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır (Yılmaz ve Süttaş, 2008).

Asfalt betonunda filler olarak TÜPRAŞ' tan alınan siyah karbonun (HAF N326) kullanılabilirliğini konusunda çalışmalar yapılmıştır. Aynı gradasyonda kalkerli ve siyah karbon fillerini içeren numuneler hazırlanmıştır. İndirek çekme deneyleri ve sünme deneyleri sonunda sonuçlar karşılaştırılmıştır. Siyah karbonun BSK' larda filler olarak kullanıldığında stabilite, durabilite ve çekme mukavemetini arttırdığı tespit edilmiştir (Ahmedzade, vd., 2008).

BSK kaplamalarda mermer tozu, uçucu kül, fosfoalçı ve cam tozu gibi atıkların belirli oranlarda filler olarak kullanılması durumunda stabiliteye olan etkisi araştırılmıştır. Endüstriyel atıklar, %0 ila %7 arasında değişen değerlerde filler malzeme olarak BSK içine katılıp, Marshall tasarım yöntemi ile optimum bitim oranı belirlenmiştir. BSK numunelerinde endüstriyel atıkların filler olarak kullanılması Marshall dayanımını arttırdığı görülmüştür. Uçucu kül ve fosfoalçı kullanılmış numunelerin boşluk değerleri, şartname sınır değerlerini sağlamamıştır. Bundan dolayı BSK da uçucu kül ve fosfoalçının geçirimsizlik istenen durumlarda kullanılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır (Üstümkol ve Turabi, 2009).

Bitüm içerisinde atık lastiğin kullanılmasının yorulma davranışına etkisini incelenmiştir. Bitümün otomobil lastiği ile modifikasyonunun asfalt betonunun yorulma süresini artırdığı görülmüştür. 50/70 penetrasyonlu bitüm için % 5 oranında küçük bir katkının, yorulma süresini 2 kat artırırken 70/100 penetrasyonlu bitümle yapılan modifikasyonda ise yorulma süresinin 23 kat daha arttığı tespit edilmiştir (Çelik, 2001).

Bitümde granül hale getirilmiş otomobil lastiklerinin %2, %1, %0,7 ve %0,5 oranlarında katılması durumunda performansına etkisini geleneksel karışımla kıyaslanmıştır. Statik sünme, dolaylı çekme, marshall stabilite deneyleri sonucunda bitüm modifiyesi olarak %0,5 oranında granül hale getirilmiş otomobil lastiklerinin katılması

durumunda soğuk iklimli bölgelerde kalıcı deformasyonlara karşı kullanılabilceği kanısına ulaşılmıştır (Deniz vd., 2009).

Portlant çimentolu betonda ve BSK da seramik atıklarının kullanılması durumunda oluşacak değişimler incelenmiştir. Asfalt betonunda %15 oranına kadar eklenen atık seramiğin tekerlek izine karşı direnci arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Filler olarak ağırlıkça %2,5 oranında katıldığında akma değerinde, dolaylı çekme dayanımında, dinamik modülü değerlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Huang, vd., 2009).

BSK'da cam atık katkısı kullanılmasıyla oluşan değişimler gözlemlenmiştir. Dolaylı çekme rijitlik modülü deneylerinin sonunda atık miktarıyla doğru orantılı olarak rijitlik modülü değerinin arttığı tespit edilmiştir. En iyi sonuca %15 oranında atık kullanarak ulaşılmıştır (Arabani, 2011).

Atık betondan üretilen agregaların BSK'da kullanılabilirliği konusunda yapılan çalışmada deney için agrega yerine uygun superpave tasarım yöntemine göre granüle hale getirilmiş atık beton numuneleri %25, %35, %50 ve %75 oranlarında yer değiştirilerek eklemiştir. Dinamik modül değerleri hesaplanmış(AASHTO T 62-03), nem hassasiyet değerleri ölçülmüş (ASTM D 4867/D 4867-M04), dolaylı çekme deneyleri (ASTM D 4123-82) yapılmıştır. %25, %35 ve %50 oranında beton atığı kullanılan BSK numunelerinde yapılan değerlerin, istenilen sınırlarda olduğu tespit edilmiştir. BSK'lara beton agrega katılabileceğini ancak düşük hacimli yollarda kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Beale ve You, 2010).

Asfalt betonunda agrega olarak beton atıklarının kullanılabilirliği ile ilgili Avusturalya standartlarının sınır değerlerinin baz alındığı deneylerde 4,75 mm altındaki agregalar için doğal agrega kullanılırken 4,75 mm ve üzerindeki elek aralığında agraga yerine geri dönüşüm beton atıkları kullanılmıştır. Beton atıklardan hazırlanan numunelerin kontrol numuneleri ile benzer özellikler gösterdiğini gözlemiştir (Paranavithana ve Mohajerani, 2006).

BSK kaplamalarda tekne üretiminde kullanılan cam elyafı polyester atıkların parça hale getirip agrega yerine kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Hazırlanan numunelere uygulanan dolaylı çekme deneyleri ve marshall tasarım deneyleri sonunda polyester

atıkların agrega yerine kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. En iyi sonuca ise %3 oranında katılan polyesterli numunelerle ulaşılmıştır (Neşer, vd., 2010).

Kireç atıklarının asfalt betonunda kullanılabilirliğini ile ilgili yapılan çalışmada, ağırlıkça % 25, %50, %75 ve %100 oranlarında fillere kireç atığı eklenmiş numunelerin deney sonunlarına göre geleneksel BSK ile kıyaslandığında kalıcı deformasyon direncinin ve soyulma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklarda mineral filler malzemesi olarak kireç atıklarının kullanılabilceği tespit edilmiştir (Do, 2008).

BSK' larda kaba agrega olarak inşaat ve yıkım atıklarının kullanılarak bertaraf edilmesiyle ilgili yapılan deneylerde % 0, %20, %40, %60 oranlarında atık malzeme kullanılan numunelerlerin Marshall tasarım sonunlarının teknik şartname değerlerine uygun olduğu tespit edilmiş ancak soyulma direnci düşük çıkmıştır. Yıkım atıklarından elde edilen malzemenin düşük hacimli yollarda kaba agrega olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır (Perez, vd., 2012).

Asfalt betonu içerisinde petrol bazlı çatı kaplaması olan shingle'ı asfalt betonu içerisine ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında katılması durumunda asfalt betonunun özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Marshall tasarım deneyi uygulanan numunelerde tekerlek izi deneyi sonunda yorulma çatlaklarına karşı direnci arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. En iyi stabilite değerine %5 shingle atığı katılan numunelerde ulaşılmıştır (Sengz ve Topal 2005).

BSK'larda atık tuğla tozlarının ve kireç tozunun filler malzemesi yerine kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Sudan kaynaklanan bozulmalara direnci(AASHTO T283) dört nokta yüklemeli yorulma testi (AASHTO TP31) dinamik ve statik sünme deneyleri, sonucunda kireç tozu yapılan numunelerin tuğla tozuyla ile yapılan karışımlara nazaran mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Chen, vd., 2011).

BSK'larda mermer ocağından açığa çıkan atıkların agrega olarak kullanılabilirliği konusunda yapılan çalışmada uygun boyutlu agregalarla BSK numuneleri hazırlanmış ve Marshall dayanım – akma deneyleri ile dolaylı çekme deneylerine göre sınır değerler içerisinde kaldığını tespit etmişlerdir. Düşük ve orta trafik hacimli yollarda binder olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır (Akbulut ve Gürer, 2006).

Asfalt betonunun özelliklerini geliştirmek için Marshall tasarımı uygulanan karışımın toplam ağırlığının %1, %2 ve %3' ü oranlarında lastik atığı kullanılmıştır (ASTM D1559). Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyonlara karşı direnç geliştirmede ve düşük sıcaklıkta çatlama karşı direnç geliştirmede olumlu etkilerinin olduğuna ulaşılmıştır (Cao, 2007).



3.KARAYOLU

Karayolu, doğal zeminin ihtiyaca göre yarma – dolgu tesviye çalışmalarıyla uygun olan kotlara getirilerek üzerinde motorlu taşıtların istenilen hız koşullarında güvenli ve konforlu bir şekilde hareketlerinin sağlanabilmesi için inşa edilmiş tüm yapılardır (İlçalı vd., 2001).

3.1. Karayolu Çeşitleri

Karayolları altyapı ve üstyapı olmak üzere iki temel bölümden oluşmaktadır. (İlçalı vd., 2001)

3.1.1. Karayolu altyapısı

Altyapı, doğal zemin çizgisi ve tesviye sathı arasında, yolun dolgu kısımlarındaki toprak dolgu gövdesiyle oluşturulan bölüme denir. Yarma yapılan bölümlerin doğal zemini ve yarma kısımlarındaki tesviye amaçlı yapılan dolgular da karayollarında altyapıyı oluşturmaktadır. (İlçalı vd., 2001).

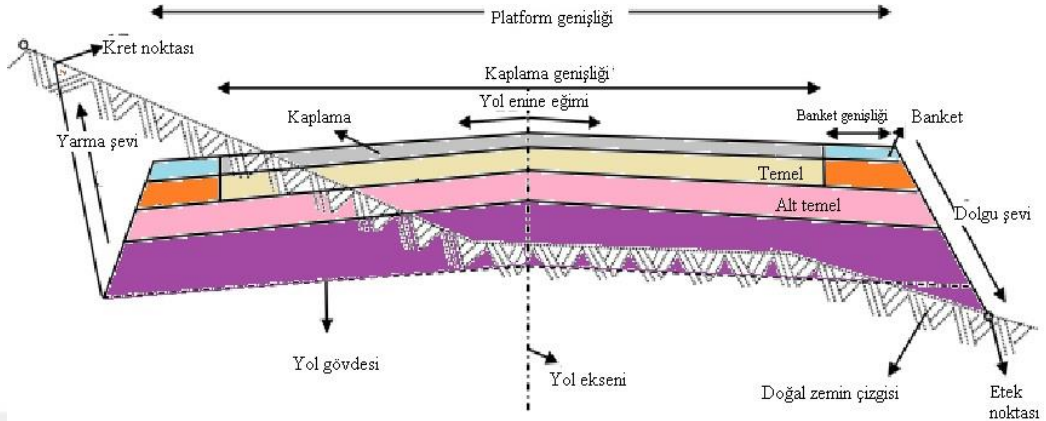
3.1.2. Karayolu üstyapısı

Üstyapı, altyapıyı dış etkenlerden korumak için inşa edilen ve taşıtlar için güvenli yuvarlanma yüzeyi sağlayan bölümdür. Üst yapılar kaplama temel ve alt temel bölümlerinden oluşur. Kaplamanın niteliğine göre esnek üstyapı ve rijit üstyapı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yol üstyapı katmanları ve isimleriyle Şekil 3.1. deki gibidir.

3.1.2.1. Rijit üstyapılar (beton yollar)

Portlant çimentosu kullanılan eğilme momenti yüksek üst yapılardır. Tek tabakalı olan betonarme plakla trafik yüklerini zemine dağıtır. (Ağar ve Süttaş, 1998). Dingil yüklerini kendi rijitliğiyle taşıyan betonarme kaplamalı olan üst yapılardır. Kaplama

performansı; beton plaklara, alttemele, temel tabakalarına ve bu tabakalardaki kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır (Ektaş, 2011).



Şekil 3.1 Karayolu üstyapı enkesiti

3.1.2.2. Esnek üstyapılar (BSK kaplamalar)

Esnek üstyapı, yükleri taban zeminine dağıtan ve ülkemizde en çok tercih edilen üstyapı şeklidir. Tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlar. Agregayla kilitlemesi kohezyona karşı dayanıklılığı ve partikül sürtünmesinden dolayı değerlerinin yüksek olmasından dolayı yüksek dayanım beklentisi vardır. (Fındık, 2005)

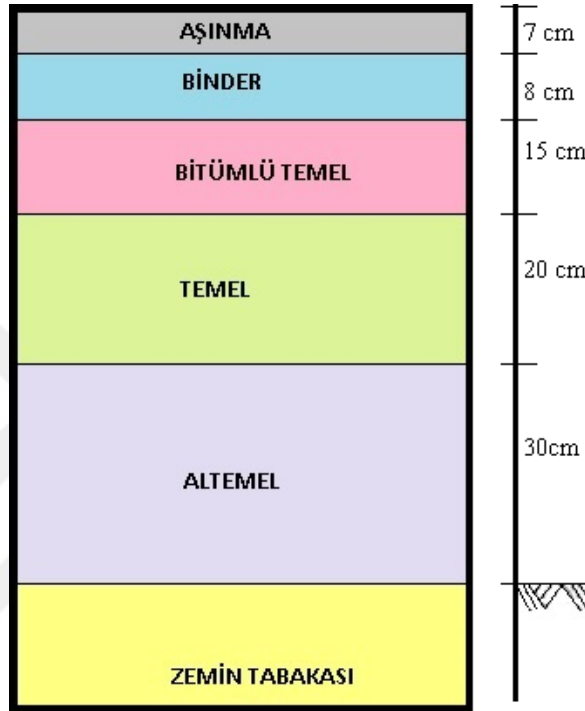
Asfalt betonu ile üst kısımlarının üretilmesinden dolayı yüzeysel suların alt temele sızmasını önlenmektedir. Ayrıca yüzeyin düzgün olduğundan sürtüş konforu yüksektir. (Umur ve Ağar, 1985) Karayolu üstyapı katmanları Şekil 3.2.'deki gibidir.

3.1.2.3. Alttemel tabakası

Esnek üstyapıların en alt tabakasıdır. Taban ile temel tabakasının arasında sıkıştırılmış daneli malzeme serilen bölümdür. Alttemel tabakası inşa edilirken zeminin özelliği göz önüne alınmalı ve taşıma gücünü aşan gerilmeleri karşılayabilecek özellikte olmalıdır. (Umar ve Ağar, 1991)

3.1.2.4. Temel tabakası

Temel tabakası, kaplama tabakasının hemen altındaki daneli veya uygun bir bağlayıcı ile işlem görmüş malzemeden oluşan tabakadır. Kaplama tabakasına dayanak oluşturan temel tabakası, taşıtlardan kaynaklı gerilmeyi alt temele veya zemine yayarak aktarmaktadır. (Umur ve Ağar, 1985)



Şekil 3.2 Karayolu üstyapı katmanları

3.1.2.5. Kaplama tabakası

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerinden kaynaklanan basınç ve çekme gerilmelerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Bu diğer tabakalara nazaran daha yüksek elastisite modülüne sahip olmaları gerekmektedir. Kaplama tabakası, aşınma ve binder olarak iki kısımdan da oluşabilir. Aşınma tabakası, su geçirimsizliğini sağlar ve sürtünme oluşturmakla görevlidir. Trafik yüküne direk maruz kalmasından dolayı gerekli performansı sağlayabilmesi için malzeme seçiminde ve imalat aşamalarında titiz davranılması gerekmektedir. Binder tabakası ise aşınma tabakasına göre daha iri agregalardan oluşur ve kalın kaplamalarda sıkıştırımda kolaylık ve ekonomi sağlamaktadır. (Umar ve Ağar, 1991)

3.2. BSK Kaplamalarında Kullanılan Malzemeler

Bitümlü sıcak karışım kaplamaları günümüzde en çok uygulanan kaplama tipidir. Sıcak karışım kaplama tiplerinden de en çok tercih edileni ise asfalt betonu kaplamalarıdır. Asfalt betonu ise agregaya ile bitümden oluşan bitümlü sıcak karışımlardır. Üç fazlı bir sistem olan bitümlü sıcak karışımları oluşturan iki ana bileşen agregaya ve bitümdür. Agregaya katı, bitüm sıvı ve boşluklar gaz fazını oluşturmaktadır (Kuloğlu, 2001).

3.2.1. Agregalar

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarının trafik yüklerine karşı performansına direkt etki eden agreganın görevi yük taşıma kapasitesini sağlamaktır. Yol yapımlarında kullanılmadan önce agregaların, özgül ağırlık değerlerinin, elek analizleri ve dane şekillerinin, aşınmaya ve donmaya karşı dirençlerinin, cilalanma dirençlerinin, soyulma değerlerinin, sürtünme etkileri gibi öncelikli özelliklerinin incelenip tespit edilmesi gerekmektedir (Konya 2006: Kara'dan 2012).

Esnek üst yapılardan ve rijit üst yapılardan oluşan yollarda kullanılan malzemelerin % 95'i agregadan oluştuğu bilinmektedir. Standartlara göre 1 km uzunluğunda ki bir otoyolun inşasında yaklaşık 32200 kg agregaya tüketilmektedir. (Zoorob ve Suparma, 2000)

Esnek üst yapıların stabilite, kohezyon, adezyon ve dane sürtünmesi gibi özelliklerini, kullanılan agregaya ve bitüm özellikleri etkilemektedir. (Alaştas vd., 2006)

3.2.1.1. Gradasyon

Asfalt betonu tabakalarının farklı kalınlıklarda olmasından dolayı maksimum dane boyutu değişkenlik göstermektedir ve bu sebepten dolayı farklı tip gradasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Maksimum dane boyutu, inşa edilecek tabaka kalınlığı arttıkça artmaktadır.(Tunç, 2004)

3.2.1.2. Dane dayanımı

BSK' da kullanılacak agregaların sıkıştırma esnasında ve üzerinde seyir edecek araçlardan kaynaklı yüklerden zarar görmemeli ve gradasyonunun bozulmasına karşı dirençli olmaları gerekmektedir.(Tunç, 2004)

3.2.1.3. Porozite

Agrega boşluk hacminin toplam agrega hacmine oranı olan porozitenin artması, agregada bitüm adezyonu da artmaktadır. Fakat % 2-2,5'den fazla olması durumunda adezyonu pozitif etkisini olmadığı gibi, bitüm ihtiyacını da arttırmaktadır. (Tunç, 2004). Gereğinden fazla poroz agregalar karışımlarda kullanıldığında özgül ağırlığın düşük olmasından dolayı dayanım değerinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı aşırı poroziteye sahip veya poroz olmayan agregaların kullanımından kaçınılması gerekmektedir.(Bkz Şekil 3.3.) (Yelken, 2009)



Şekil 3.3 Agregalarda porozite çeşitleri

3.2.1.4. Dane şekli ve biçimi

Açısal kenara ve kübik şekle sahip kırmataş agregaların kilitleme özelliği sayesinde agregaların dayanımını arttırdığından dolayı karışımlarda mutlaka kırmataş agregada kullanılmalıdır. (Tunç, 2004)

3.2.1.5. Cilalanma direnci (kaymaya karşı direnç)

Aşınma tabakasındaki agregaların trafik yükleri altında aşınmaya maruz kalması durumunda kaplama yüzeyi pürüzlü özelliğini kaybedip cilalı bir hal almakta ve sürtünme direnci azalan kaplama sürüş emniyetinde zafiyetlere sebep olabilmektedir. Bu yüzden cilalanmaya karşı dayanıklı özellikteki agregalar tercih edilmelidir. (Tunç, 2004)

3.2.2. Bitüm

Kimyasal bileşimi karışık ve değişken bir malzeme olan bitüm; temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, (Çizelge 3.1) kahverengi veya siyah renkte olup, petrolün destilasyonundan veya doğal yataklardan elde edilmektedir. (BS 3690 1989)

Çizelge 3.1 Bitümün kimyasal bileşenleri

Element	Kütle Yoğunluk
Karbon	82 – 88
Hidrojen	8 – 11
Nitrojen	0 -1
Sülfür	1 – 6
Oksijen	0 - 1,5

3.2.2.1. Asfalt

Koyu kahverenginden siyaha kadar değişen, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, doğal halde bulunan yada ham petrolün damıtılması ile elde edilen hidrokarbonlardan oluşan bir maddedir. (Tunç, 2004)

3.2.2.1. Asfalt çimentosu

Doğal asfaltın gerekli işlemlerden geçirilerek veya petrolün damıtılmasıyla elde edilen asfalt çimentosu, esnek kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan 40 ila 300 penetrasyon aralığındaki malzemedir. (Tunç, 2004)

3.2.2.2. Sıvı asfaltlar

Uygun katkıları kullanılarak sıvılaştırılmış asfaltlardır. Sıvı asfaltlar katbek ve emülsiyon olmak üzere iki türü vardır. Katbek asfaltı, bitüme benzin, gazyağı veya madeni yağ gibi çözücüler katılarak elde edilmektedir. Asfal emülsiyonu ise bitümün 0,1 – 0,5 mikron sboyutunda parçalanarak partükül hale getirilmesi ve su ile karıştırılarak akıcı hale getirilmesiyle elde edilmektedir (Erdal, 2015).

3.2.2.3. Katran

Kapalı sistem içerisinde odun veya kömürün kuru kuruya damıtılmasıyla elde edilen ham katran arındırılıp yol kaplamalarında kullanılmaktadır. Doğal bitümlü ve petrol kökenli bağlayıcıların özgül ağırlığı yaklaşık $1,00 \text{ t/m}^3$ iken, katranın özgül ağırlığı $1,25 \text{ t/m}^3$ tür (Çelik, 2006).

4.ASFALT PLENT TESİSİNE GENEL BAKIŞ

4.1. Asfalt Betonü Üretimi

Sıcak karışım asfaltın üretimin yapıldığı sabit veya hareketli olarak inşa edilmiş karışım tesisinde, (asfalt plantinde) uygun gradasyona sahip agrega ile sıcak bitüm mikserde karıştırılarak serime hazır hale getirilmektedir. Mobil tesisler taşınabilirken sabit tesisler ise daha uzun süre faaliyette bulunmak üzere kalıcı olarak bir şantiye alanına kurulmaktadır. (Çalış ve Çalış, 2009)

Asfalt plantleri, agreganın karışım için beslenme biçimindeki ve üretim sürecindeki farklılardan dolayı “Ağırlıklı Tip” ve “Sürekli Tip” tesisler olmak üzere iki ana tipe ayrılmaktadır.

4.1.1. Ağırlıklı tip asfalt planti

İngilizcede “Batch Type” olarak adlandırılan ağırlıklı tip asfalt plantleri, Karayolları Genel Müdürlüğü şartnamelerinde “Ağırlıklı Tip”olarak TS-EN 536’da ise “Bir Dolumluk Tesis”olarak isimlendirilmektedir. Sürekli tip asfalt plantinden farklı olarak bunker altı toplama bandı ile beslenen agrega kurutulduktan sonra bu plant tipinde sıcak agrega elevatörü ile eleklerle yönlendirilmekte boyutlarına göre yeniden agregalar ayrılmaktadır. Daha sonra karışım için uygun oranlarda mikserde bitüm ile karıştırılmaktadır. Üretim sürekli tip asfalt planti gibi kesintisiz devam etmeyip her seferinde mikser kapasitesi doğrultusunda karışım hazırlanabilmektedir (Bkz. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2)(Yonar, 2007).



Şekil 4.1 Ağırıklı Tip Sabit Asfalt Plenti

Ağırıklı tip asfalt plentinde bulunan üniteler ve bu ünitelerde yapılan işler şunlardır:

Soğuk Mal Siloları: Kontrollü bir şekilde agregaların agrega depo alanından plent bünyesine katılmasını sağlayan depolardır.

Bantlar: Taşıma üniteleridir.

Drayer: Kazan şeklinde olan ve içinden alev geçirilen bu ünite de agregalar kurutulur.

Elevatör: Drayerden çıkan agreganın üst ünitelere taşınan ünite dir.

Elek: Agregaların boyutlarına göre ayrıldığı ünite dir.

Sıcak Mal Silosu: Sıcak agreganın tartıma hazır bekletildiği ünite dir.

Tartım Ünitesi: Agregaların istenilen miktarlarda tartılıp karışıma katıldığı ünite dir.

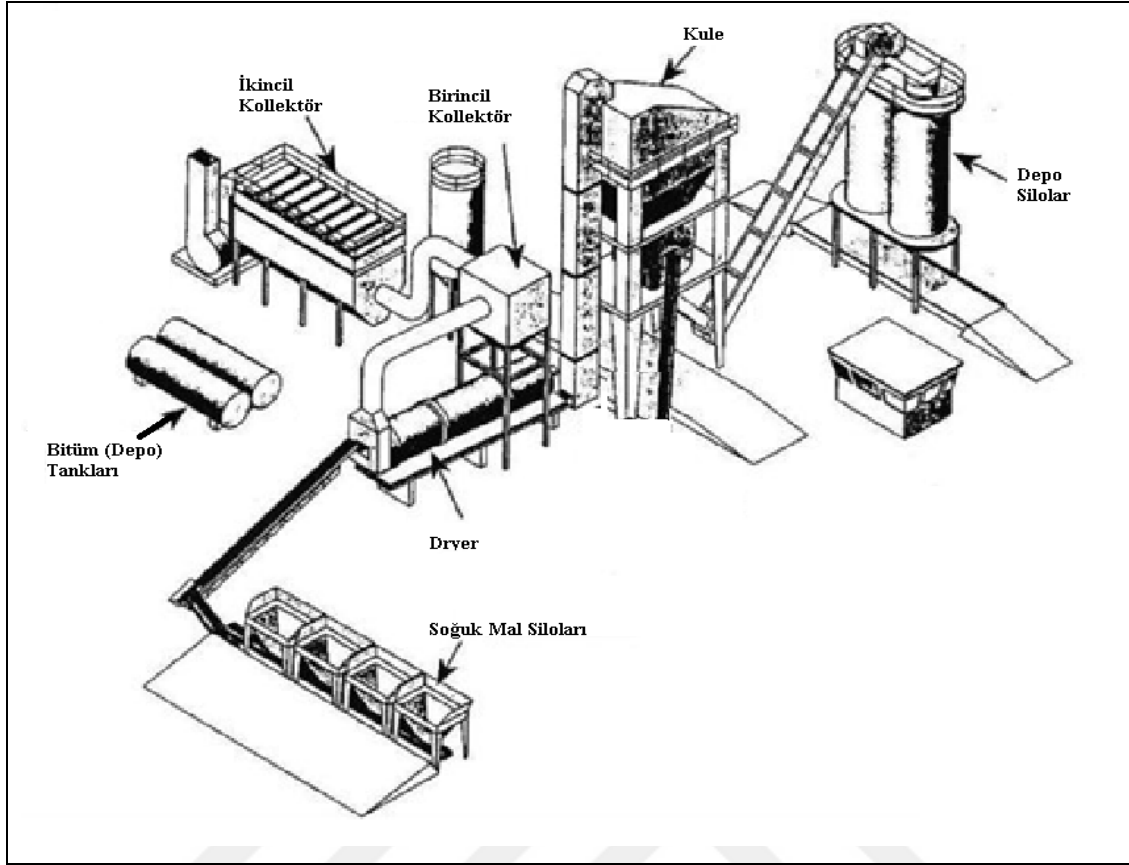
Sıcak Bitüm Tankı: Sıcak bitüm oluşturmak için ısıtılan bitüm tankıdır.

Bitüm Tankları: Üretim için gerekli fazla bitümün depolandığı ünite dir.

Bitüm Tartım Ünitesi: Pompalar yardımıyla istenilen miktarda bitüm ekleyen ünite dir.

Mikser: Agrega ve bitümün belirli süre karıştırılarak sıcak asfaltın hazırlandığı paletli karıştırıcıdır.

Kuru Siklon: Drayerden çıkan tozun tutan ünite dir. (Çalış ve Çalış, 2009)



Şekil 4.2 Ağırıklı Tip Sabit Asfalt Plenti Üniteleri

4.1.2. Sürekli tip asfalt plenti

İngilizcede sürekli tip asfalt plenti “Continuous Type” veya “Drum-mix Type” olarak adlandırılmaktadır. TS-EN 536 ve Karayolları Genel Müdürlüğü Şartnamelerinde “Sürekli Tip Asfalt Plenti” olarak tanımlanmıştır. Bunker altı toplama bandı ile beslenen agrega bitümlle kurutucu/mikserde karıştırılır ve üretim kesintisiz devam eder (Bkz. Şekil 4.3.). Sürekli tip asfalt plentinin uygulama alanının yakına taşınabilen mobil asfalt plentleri de mevcuttur (Bkz. Şekil 4.4)(Yonar, 2007).



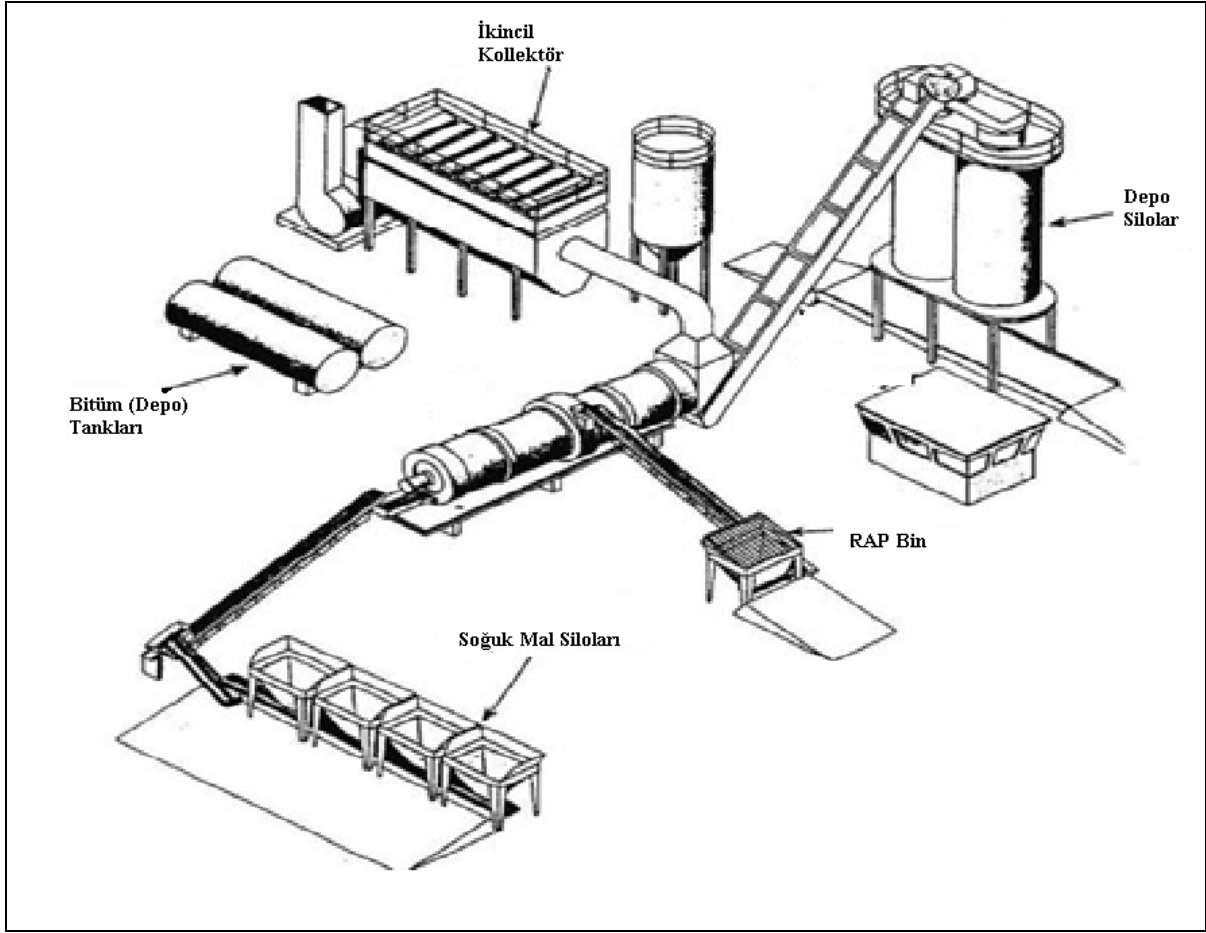
Şekil 4.3 Sürekli Tip Sabit Asfalt Plenti (SIM)



Şekil 4.4 Sürekli Tip Mobil Asfalt Plenti (SIM)

Sürekli tip asfalt plantinde, tambur sadece agregayı değil, asfaltı da karıştırarak sıcak karışım oluşturur. Yani görünüm olarak benzesede ağırlıklı tip plantindeki tamburdan üstlendiği görev bakımından farklıdır. Ağırlıklı tip plantindeki drayerde ısıtıcı ve agrega akış yönü zıt iken sürekli tip asfalt plantinde genellikle soğuk agrega girişi ve brülör aynı uçtadır ve malzemenin akış yönü ve sıcak hava akımı aynı yönlüdür. (Bkz. Şekil 4.5) (Çalış ve Çalış, 2009)

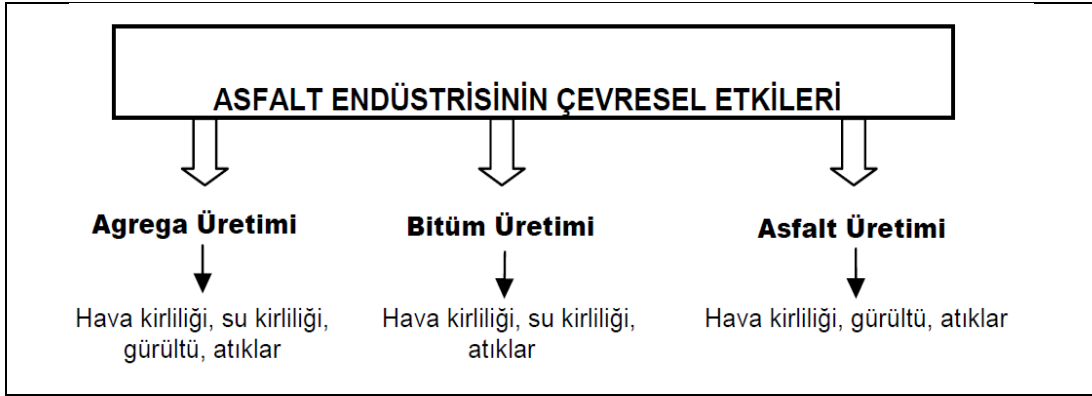
Sürekli tip asfalt plantinde tamburlarında geri kazanılmış malzemenin ve asfalt çimentosunun karışımında kullanılmasını sağlayan bir giriş bulunabilmektedir. (Çalış ve Çalış, 2009)



Şekil 4.5 Sürekli Tip Sabit Asfalt Plenti Üniteleri

4.2. Plent Tesisinden Çıkan Atıklar

BSK sektörünün, hammadde ve enerji kullanılan sektörlerden biri olması nedeniyle birçok atık açığa çıkmasıyla olumsuz çevresel etkileri mevcuttur. Çevresel açıdan gerekli teknik, hukuki ve idari önlemlerin mutlaka alınması gerekmektedir. Ülkemizde çevresel etkilerin oluşmasından sonra onarıcı çevre politikaları malesef yapılmamaktadır. Bunun yerine, çevre bozulması oluşmadan önce, önlem alan koruyucu çevre politikalarına önem verilmektedir. Sivil toplum hareketleri veya baskı grupları tarafından yapılan faaliyetlerde ise yeşile verilen önem paydasında buluşulmakta, konunun teknik ve hukuki boyutları göz ardı edilmektedir. Oysa çevre koruma konusu hukuku da içine alan teknik bir konudur. Etik olarak herkes tarafından korunması gereken doğa, yapılan faaliyetler sonucu kirlenmekte ve hasar görmektedir. Çevresel açıdan yapılacak işlemlerde herşeyin mühendislik formasyonu içerisinde planlanması ve uygulanması gerekmektedir. (Ceylan, 2009)



Şekil 4.6 Asfalt endüstrisinin çevresel etkileri.

4.2.1. Tez kapsamında kullanılacak ince daneli plent atığı

Tez kapsamında Eskişehir Büyükşehir Belediyesinin Akpınar Mahallesinde bulunan asfalt üretim tesisinde açığa çıkan atık malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Plent atığı



Şekil 4.8 Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Akpınar asfalt üretim tesisi



Şekil 4.9 Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Akpınar asfalt üretim tesisi

Eskişehir Büyükşehir Belediyesinin Akpınar mahallesinde bulunan şantiyesinde görev yapan şantiyede şantiye şefi Mak. Müh. Namık Aykanat, şantiyede en önemli sorunlarından birinin plentten çıkan atık olduğunu belirtmektedir. Her 100 ton asfalt betonu üretiminde yaklaşık 7 tonluk plent atığının oluştuğunu bu atıkların tekrar kullanılması için herhangi bir deneysel çalışmanın ellerinde bulunmadığından, doğaya direk depolanarak bertaraf edildiğini beyan etmiştir. Malzemenin ince olmasından dolayı rüzgarla etrafa yayılmakta ve nakliyesinde sıkıntılar oluşmaktadır. Çıkan malzeme asfalt üretim tesisinin arkasında bulunan alana depolanmaktadır (N. Aykanat, 2018, sözlü görüşme) (Bkz Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).

Büyükşehir belediyesine ait iki adet asfalt üretim tesisi bulunmaktadır. Bu iki tesiste yapılan asfalt üretimi yıllara göre dağılımı aşağıda verilmiştir (Bkz Çizelge 4.1). Asfalt üretimine bağlı 5 yıllık ortalama atık miktarı yaklaşık 28294 ton olarak hesaplanmıştır. (Bkz Çizelge 4.2) (N. Aykanat, 2018, sözlü görüşme)

Çizelge 4.1 Yıllık asfalt üretimi

YILLIK ASFALT ÜRETİMİ			
AKPINAR		HAMİDİYE	
YIL	ÜRETİM (TON)	YIL	ÜRETİM (TON)
2013	98,463	2013	-
2014	104851,010	2014	-
2015	8318,040	2015	24609,920
2016	113492,360	2016	24644,880
2017	108397,540	2017	19791,280

Çizelge 4.2 yaklaşık oluşan atık miktarı (5 yıllık)

Yıl	Toplam üretim (ton)	Oluşan Atık Oranı (%)	Oluşan atık miktarı (ton)
2013-2017	404203,443	~ %7	28294,241



Şekil 4.10 Atıkların döküm alanı



Şekil 4.11 Atıkların döküm alanı

Asfalt tesisinde laboratuvar kısım şefi Erhan Ünsal üretimde kullanılan agreganın hangi taş ocağından alım yapıldığına göre atığın miktarında ve renginde farklılıklar oluştuğunu belirtmiştir. Agregada olarak üç farklı taş ocağından (Orfer, Bilginoğlu, Çimsa) agregada temini yapılmaktadır. Farklı şehirlerdeki belediyelerle yapılan görüşmelerde ocaktan çıkartılan agregaya göre bu atık miktarının daha aşağıya çekildiğini ancak asfalt üretim tesisine yakın mesafede bulunan taş ocaklarından getirilen malzemeden üretim yapıldığında atık miktarı artmaktadır. (E. Ünsal, 2018, sözlü görüşme)

4.2.1.1 Plent atığının elementel ve bileşik analizi

Plent atığı kül fırında önce 105 °C sıcaklıkta bekleterek nemi alınmıştır. Bu işlem sırasında numunelerin % 0,8'lük bir kütle kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. Daha sonra numune 400 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletilmiş ve %1,1'lik bir kütle kaybı olduğu görülmüştür. Son aşamada ise numune 850 °C sıcaklıkta 90 dakika bekletildi ve %40'lık bir kütle kaybı daha gözlemlenmiştir. Numunenin %41,9'lük ateş kaybı sonrasında elementel analiz cihazıyla elementel ve bileşik içeriği tespit edilmiştir. (Bkz Çizelge 4.3.)

Çizelge 4.3 Plent atığı elementel ve bileşik analiz sonuçları

Elementel Analiz Sonuçları			Bileşik Analiz Sonuçları		
Rapor Adı	Sonuç	Birim	Rapor Adı	Sonuç	Birim
Mn	91,2	ppm	L.O.I	0	%
Ti	107,6	ppm	P2O5	0,106	%
Ca	7,082	%	SO3	0,477	%
Fe	0,113	%	K2O	0,314	%
Sr	39,9	ppm	MgO	13,637	%
Br	0,607	%	AlO3	2,368	%
Ni	42,7	ppm	SiO2	6,263	%
Al	0,147	%	Fe2O3	1,098	%
Mg	0,95	%	NiO	0,037	%
O	60,99	%	SrO	0,027	%
Si	0,354	%	CaO	75,472	%
K	329,5	ppm	TiO2	0,122	%
S	236,1	ppm	MnO	0,08	%
P	57,2	ppm			

4.2.1.2. Plent atığının elek analizi (TS EN 933-10)

Bu deneyle agrega olarak kullanılacak olan eleme yoluyla dane boyu dağımı tespit edilmektedir.

Elekler: 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36mm, 2 mm, 0.425 mm, 0,300mm 0,180 mm, 0,150mm, 0,075 mm elek açıklığına sahip elekler kullanılır. Eleklerin en üstünde kapa en altında ise elek altı kabı bulunmalıdır. Her elek için yaklaşık 2 dakika sarma makinesi ile eleme işlemi yapılır. Eleme işlemi dane boyutları ayrılana denk elle sarsma yöntemiyle de yapılabilmektedir.

Terazi: En az 0,1 gram hassasiyetli terazi.

Etüv: 165 °C' ye ayarlanabilen ve deney için yeterli büyüklükte bir etüv.

Hesaplama: Her elek üstünde kalan malzeme oranı, o elek üzerinde kalan agrega ağırlığının deneyde kullanılan toplam agrega ağırlığına orantılanarak bulunur.

$$S_u = \frac{W_u}{W_0} \times 100 \quad (4.1)$$

Formülde;

S_u : Baz alınan elek aralığı için elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

W_u : Baz alınan elek aralığı için elek üstünde kalan malzeme ağırlığı (gr)

W_0 : Deneyde kullanılan toplam malzeme ağırlığı (gr)

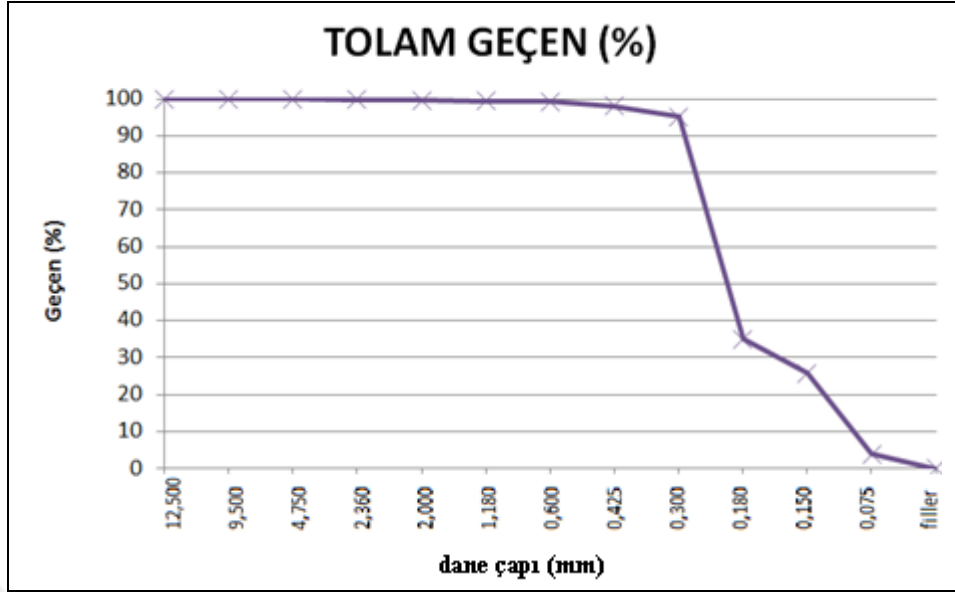
Deney yapılışı ve sonuçları:

Plent atığından 500 gr numune 12,5 mm elek aralığı olan elekten başlanarak sırasıyla 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36mm, 2 mm, 0.425 mm, 0,300mm 0,180 mm, 0,150mm, 0,075 mm elek aralığına sahip eleklerden elenip elek üstünde kalan ve elekten geçen malzeme miktarları hassas terazi ile ölçülmüştür. Ölçülen değerler toplam malzeme miktarıyla orantılanarak dane çapı dağılımı tespit edilmiştir(Bkz. Çizelge 4.4, Şekil 4.12)

Elek analizi sonuçları baz alındığında numunelerin 0,30 mm elek altı agrega yerine ağırlıkça %25, %30, %40, %50 oranlarında plent atığı yer değiştirilerek karışıma dahil edilmiştir. Çünkü plent atığı maks boyutu bu elek çapına denk gelmektedir.

Çizelge 4.4 Elek analizi sonuçları (Plent atığı)

Elek boyutu (mm)	Elek üstü kalan (gr)	Elek üstü kalan (%)	Toplam Kalan (%)	Toplam geçen (%)
12,500	0,0	0,0	0,0	100,0
9,500	0,0	0,0	0,0	100,0
4,750	0,0	0,0	0,0	100,0
2,360	0,9	0,2	0,2	99,8
2,000	1,5	0,3	0,5	99,5
1,180	0,2	0,0	0,5	99,5
0,600	1,0	0,2	0,7	99,3
0,425	5,9	1,2	1,9	98,1
0,300	14,8	3,0	4,8	95,2
0,180	301,0	60,2	65,0	35,0
0,150	45,3	9,1	74,1	25,9
0,075	110,0	22,0	96,1	3,9
filler	19,5	3,9	100,0	0,0



Şekil 4.12 Agrega gradasyonu (Plent atığı)

4.2.1.3. İnce agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS 3526; ISO 6783 NEQ)

Bu deney 4.75 mm elek altına geçen dane büyüklüğündeki ince agregaların özgül ağırlık ve su emme yüzdesi tayini için yapılır. Deney için aşağıdaki aletlere ihtiyaç duyulmaktadır.

- Terazi: 0,1 gr hassasiyette bir terazi
- Tablalı ısıtıcı veya hava üflemeli ısıtıcı: Numunesinin yakın çevresini yaklaşık 105 °C sıcaklığa çıkarabilecek, gazla veya elektrikle ısıtılmalı hava üflemeli bir ısıtıcı
- Cam levha: Ölçü kabının üst kısmını kapatacak cam levha
- Piknometre: 500 veya 1000 ml' lik cam bir ölçü kabı
- Sıkıştırma çubuğu: Pirinçten yapılmış, ucu yuvarlatılmamış, 25 mm çaplı ve 350 gr ağırlığındaki çubuktur.
- Metal kalıp: Üst iç çapı 38 mm, alt iç çapı 89 mm ve yüksekliği 73 mm olan kesik koni biçimli metal bir kalıp.
- Bezler: Havlu veya benzeri kurutma bezleri, mala, tavalar, vantilatör, desikatör, termometre

Deney yapılışı:

Deney numunesi tartılır (F) ve sonra su içerisinde 24 saat bekletilir. İnce taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek akıtılır ve bir tava içine yayılır. Tava, tablalı ısıtıcı üzerinde konarak doygun kuru yüzey durumuna getirilir ve tartılır(E).

Numune etüv kurusu durumuna getirilip oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Piknometre tartılır (A). Numune piknometreye doldurulur ve tekrar tartılır (C). Numune kuru ağırlığı, önceden ölçülen piknometrenin ağırlığı toplam ağırlığından çıkartılarak bulunur.

Ölçü kabı yaklaşık 20 °C’ deki su ile yarıya kadar doldurulur ve hafif hafif vurulup sallanıp hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Bir saat sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C’ deki su ile 500 ml (veya 1000 ml) işaret çizgisine kadar doldurulur ve tartılır (d). Bu ağırlıktan numune kuru ağırlığı çıkarılarak “cam ölçü kabı + su ağırlığı” bulunmuş olur. (b)

Hesaplama ve Deney Sonuçları:

Deney sonunda ölçümler baz alınarak ince agregalara ait özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (4.2)$$

A: Piknometre boş ağırlığı (137,7 gr)

B: Piknometrenin su ile dolu ağırlığı (637gr)

C: Piknometrenin numune ile dolu ağırlığı (239gr)

D: Piknometrenin su ve numune ile dolu ağırlığı (637gr)

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{239 - 137,7}{(637 - 137,7) - (637 - 239)} = 2,57$$

5. MATERİYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

Deney kapsamında Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesinde Aşınma Tip II gradasyonuna göre agregalar kullanılmış. Agregaya yerine kullanılan katkı Eskişehir Büyükşehir Belediyesinin Akpınar Mahallesi'ndeki Asfalt plant tesisinden açığa çıkan ince daneli plant atığıdır. Bitüm deneylerinde ve bitümlü karışım deneylerinde 50-70 penetrasyonlu bitüm kullanılmıştır.

5.2. Yöntem

Kullanılan atık malzemesi elementel ve bileşik analizi yapısı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Laboratuvarında yapılmıştır.

Agregalar için; elek analizi, aşınmaya dayanıklılık ve aşınma kaybı deneyi (Los Angeles deneyi), hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi, su etkilerine karşı dayanıklılık (soyulma) deneyi, yassılık indeksi deneyi, özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyonu) deneyi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ulaştırma Laboratuvarında yapılmıştır.

Bitüm için; penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, parlama noktası, ısıtma kaybı, özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

Atık malzemesi için; elek analizi, özgül ağırlık ve su emme (absorbsiyonu) deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Karayolları Genel Müdürlüğü Yollar Fenni Şartnamesinde Aşınma Tip II gradasyonuna göre 0,30 elek altı agregaya yerine farklı oranlarda asfalt atığı katılarak oluşturulan bitümlü sıcak karışımlar için; Marshall tasarım deneyleri, statik ve dinamik süne deneyleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ulaştırma laboratuvarında gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılacak deneyler üç ana başlık altında toplanmıştır.

Bunlar;

- Agregaya deneyleri
- Bitüm deneyleri
- Bitümlü Sıcak Karışım deneyleridir.

6.1. Agregaya Deneyleri

Agregaya uygulanan deneylerde, agregaların güvenilir şekilde değerlendirilebilmesi için özenle temsili numuneler seçilmelidir. Aksi durumda bulunan değerler agregaların gerçek nicel değerlerini temsil etmeyecektir. Bitümlü sıcak karışım kaplamalarında aşağıdaki deneylerle agreganın uygunluğu tespit edilmektedir. (Konya 2006, Kara'dan 2013).

1. Elek Analizi
2. Aşınma Kaybı Deneyi (Los Angeles Deneyi)
3. Hava Etkilerine Karşı Dayanıklılık Deneyi
4. Cilalanma Deneyi
5. Su Etkilerine Karşı Dayanıklılık (Soyulma) Deneyi
6. Yassılık İndeksi Deneyi
7. Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorbsiyonu) Deneyi
8. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

6.1.1. Elek analizi deneyi (TS EN 933-1,2)

6.1.1.1. Deneyin amacı

Bu deneyle karışımda kullanılacak agregaların eleme yoluyla dane boyutu dağılımları tespit edilmektedir.

6.1.1.2. Aletler

Elekler: 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 0,425 mm, 0,180 mm, 0,075 mm elek aralığına sahip elekler kullanılır. Eleklerin en üstünde kap, en altında ise elek altı kabı bulunmalıdır. Her elek için yaklaşık 2 dakika sarma makinesi ile eleme işlemi yapılır. Eleme işlemi dane boyutları ayrılana kadar elle sarsma yöntemiyle de yapılabilir. (Bkz Şekil 6.1.a)

Terazi: En az 0,1 gram hassasiyetli terazi. (Bkz Şekil 6.1.c)

Etüv: 165 °C' ye ayarlanabilen ve deney için yeterli büyüklükte etüv. (Bkz Şekil 6.1.b)



Şekil 6.1.a Elekler Şekil 6.1.b Etüvler



Şekil 6.1.c Terazi

6.1.1.3. Deneğin yapılışı

Homojen şekilde karıştırılan agrega numunesi 110 °C sıcaklığındaki etüvde 24 saat kurutulur. Oda sıcaklığında bekletilip soğuması sağlandıktan sonra tartılır (W_0). Elekler, yukarıdan aşağıya elek aralıklarının açıklığı azalacak şekilde üst üste koyulup elek sarsma aleti üzerine yerleştirilir. En üstte buluna elek aralığı en büyük elek içerisine agrega koyulup sarsma makinesiyle 2 dakika sarsma işlemi yapılır. Daha sonra elek üzerlerinde kalan agregalar tartılır (W_u).

6.1.1.4. Hesaplama

Her elek üstünde kalan malzeme oranı, o elek üzerinde kalan agrega ağırlığının deneyde kullanılan toplam agrega ağırlığına orantılanarak bulunur.

$$S_u = \frac{(W_u)}{(W_0)} \times 100 \quad (6.1)$$

Formülde;

S_u : Baz alınan elek boyutu için elek üstünde kalan malzeme oranı (%)

W_u : Baz alınan elek boyutu için elek üstünde kalan malzeme ağırlığı (gr)

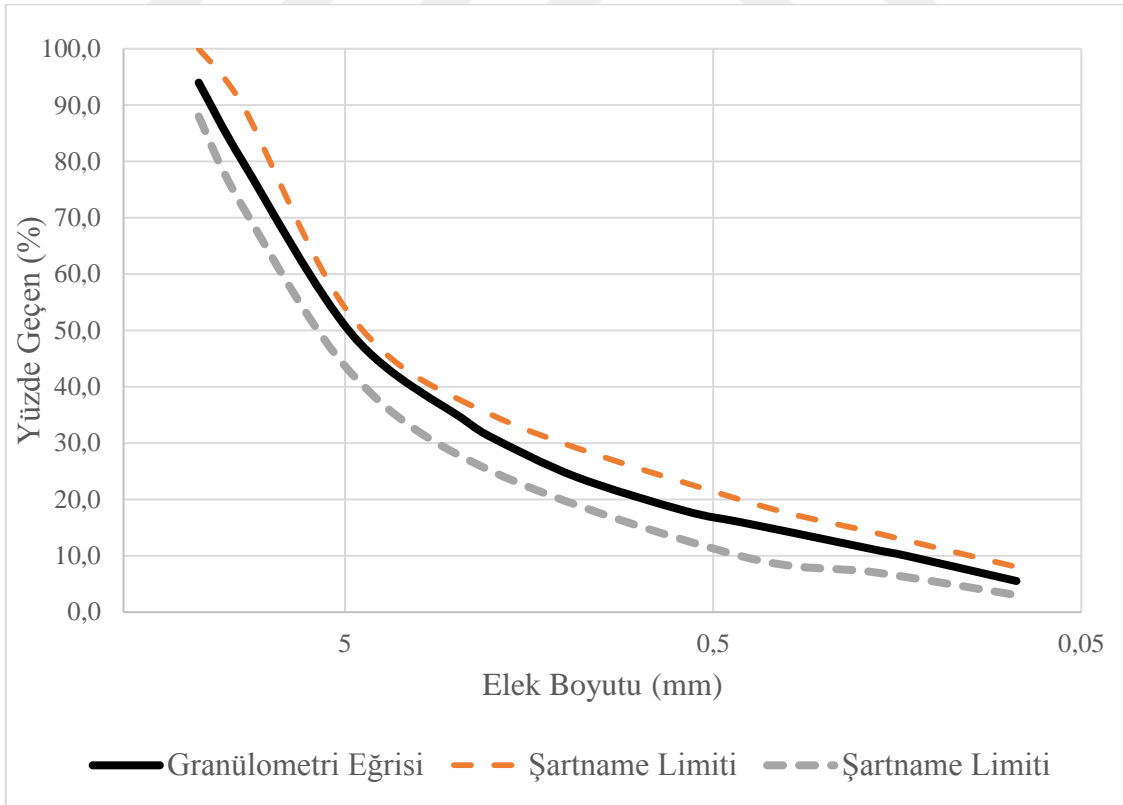
W_0 : Deneyde kullanılan toplam malzeme ağırlığı (gr)

6.1.1.5. Tez kapsamında yapılan elek analizi

Aşınma tabakasında kullanılmak üzere numunelerde en büyük agrega dane boyutu 12,5 mm kullanılmıştır. Toplam 1150 gram olacak şekilde teknik şartnamedeki alt ve üst sınırın ortalaması alınıp doğal agrega ve plent atığı katkılı agrega karışımları oluşturulmuştur. (Bkz.Şekil 6.1) Doğal agrega için kullanılan elek analizi değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Elek analizi sonuçları

AGREGA	ELEK (inç)	ELEK (mm)	Elek Üstü Kalan (g)	Elek Üstü Kalan (%)
KABA	1/2''	12,5	69	6,0
KABA	3/8''	9,5	161	14,0
KABA	# 4	4,75	356,5	31,0
İNCE	# 8	2,36	172,5	15,0
İNCE	# 10	2	34,5	3,0
İNCE	# 16	1,18	80,5	7,0
İNCE	# 30	0,6	69	6,0
İNCE	# 40	0,425	23	2,0
İNCE	# 50	0,3	23	2,0
İNCE	# 80	0,18	34,5	3,0
İNCE	# 100	0,15	11,5	1,0
İNCE	# 200	0,075	51,75	4,5
FİLLER			63,25	5,5
			1150	100,0



Şekil 6.2 Deneylerde kullanılan numunelerin agrega gradasyonu

Deneyleerde kullanılan doğal agrega ve plentatığı miktarları gradasyon oranına bağlı kalınarak hazırlanmıştır. Katılan plent atığı miktarı kadar gradasyon oranında 0,30 mm elek altı agrega çıkartılmıştır.(Bkz Çizelge 6.3.)

Çizelge 6.2 Şartname sınır değerleri

ELEK (inç)	ELEK (mm)	Min(%)	Max(%)
1/2''	12,5	88	100
3/8''	9,5	72	90
# 4	4,75	42	52
# 10	2	25	35
# 40	0,425	10	20
# 80	0,18	7	14
# 200	0,075	3	8

Çizelge 6.3.a Deneyleerde kullanılan doğal agrega ve plent atığı miktarları (%25 ve %30 Katkılı)

AGREGA	ELEK (inç)	ELEK (mm)	Atık Miktarı (%25) (gr)	Doğal Agrega miktarı (%25)(gr)	Atık Miktarı (%30) (gr)	Doğal Agrega miktarı (%30)(gr)
KABA	1/2''	12,5	0	69	0	69
KABA	3/8''	9,5	0	161	0	161
KABA	# 4	4,75	0	356,5	0	356,5
İNCE	# 8	2,36	0	172,5	0	172,5
İNCE	# 10	2	0	34,5	0	34,5
İNCE	# 16	1,18	0	80,5	0	80,5
İNCE	# 30	0,6	0	69	0	69
İNCE	# 40	0,425	0	23	0	23
İNCE	# 50	0,3	0	23	0	23
İNCE	# 80	0,18	8,625	25,875	10,35	24,15
İNCE	# 100	0,15	2,875	8,625	3,45	11,5
İNCE	# 200	0,075	12,9375	38,8125	15,525	51,75
FİLLER			15,8125	47,4375	18,975	63,25

Çizelge 6.3.b Deneylerde kullanılan doğal agrega ve plent atığı miktarları
(%40 ve %50 Katkılı)

AGREGA	ELEK (inç)	ELEK (mm)	Atık Miktarı (%40) (gr)	Doğal Agrega miktarı (%40)(gr)	Atık Miktarı (%50) (gr)	Doğal Agrega miktarı (%50)(gr)
KABA	1/2''	12,5	0	69	0	69
KABA	3/8''	9,5	0	161	0	161
KABA	# 4	4,75	0	356,5	0	356,5
İNCE	# 8	2,36	0	172,5	0	172,5
İNCE	# 10	2	0	34,5	0	34,5
İNCE	# 16	1,18	0	80,5	0	80,5
İNCE	# 30	0,6	0	69	0	69
İNCE	# 40	0,425	0	23	0	23
İNCE	# 50	0,3	0	23	0	23
İNCE	# 80	0,18	13,8	20,7	17,25	17,25
İNCE	# 100	0,15	4,6	6,9	5,75	5,75
İNCE	# 200	0,075	20,7	31,05	25,875	25,875
FİLLER			25,3	37,95	31,625	31,625

6.1.2. Aşınmaya karşı dayanıklılık ve aşınma kaybı deneyi (Los Angeles deneyi) (TS EN 1097-2)

6.1.2.1. Denevin amacı

Bu deneyin amacı, kaba agregaların Los Angeles aşınma aleti yardımıyla % cinsinden aşınma kaybını tayin etmektir.

6.1.2.2. Gerekli aletler

Bilyeli tambur: Bu deney aletinin, yatay olarak dönebilen ~70 cm çaplı ~50 cm yüksekliği olan silindir şeklinde bir tamburu vardır. Bu tambur yaklaşık 30- 35 devir /dakika ile ekseni etrafında döner. (Bkz. Şekil 6.3)

Aşındırma bilyeleri: Yaklaşık ~4,8 cm 390-450 gram aralığında 12 adet dökme demir veya çelikten yapılmış bilyelerdir.



Şekil 6.3 Los Angeles Tamburu ve Aşınma Bilyeleri

6.1.2.3. Denevin yapılışı

Deneyde kullanılacak agrega numunesi yıkanarak elenir ve dane sınıflarına ayrılır. Agregalar 110 °C sıcaklığındaki etüvde kurutulduktan sonra oluşturulmak istenen numune tipi için gerekli olan miktarlara ayrılarak tambura yerleştirilir. (W_1).

Granülometrik sınıfı belli numunenin aşındırma yükü, yani kaç çelik bilye kullanılacağı belirlenir. Tamburun kapağı kapatılıp 30-33 devir/dakika hızla 100 devir tambur döndürülür. İşlem sonunda numune tamburdan çıkartılıp 1,6 mm elek aralığına sahip eleklerle elenir. Elek üzerinde kalan malzeme hassas terazi ile tartılır. (W_2).

Çizelge 6.4 Aşınma deneyi numune tipleri

Numune Tipi	A	B	C	D	E	F	G
Bilye Sayısı	11	8	6	12	12	12	11
Bilye ağırlıkları	4575 ±25	3325 ±20	2500 ±15	5000 ±25	5000 ±25	5000 ±25	4575 ±25

Tüm agregalar tekrar tambura koyulur. Elek üstünde kalan ve elekten geçen agregalar, bilyeler tekrar tambura konur. Bilyelere A, B, C, D tipi numunelerde 400 dönüş daha daha yaptırılır. İşlem sonunda numune tamburdan çıkartılıp 1,6 mm elek aralığına sahip eleklerle elenir. Elek üzerinde kalan malzeme hassas terazi ile tartılır. (W_2)

Tüm agregalar tekrar son kez tambura koyulur. Elek üstünde kalan ve elekten geçen agregalar, bilyeler tekrar tambura konur. E, F, G tipi numunelerde 500 dönüş daha yaptırılır. İşlem sonunda numune tamburdan çıkartılıp 1,6 mm elek aralığına sahip eleklerle elenir. Elek üzerinde kalan malzeme hassas terazi ile tartılır. (W_3)

6.1.2.4. Hesaplama

Kullanılan agreganın aşınma direnci, aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$La_1 = \frac{(W_1) - (W_2)}{(W_1)} \times 100 \quad (\%) \quad (6.2)$$

$$La_2 = \frac{(W_1) - (W_3)}{(W_1)} \times 100 \quad (\%) \quad (6.3)$$

Formüllerde;

La_1 : 100 dönüş sonunda aşınma oranı

La_2 : A, B, C, D tipi numunelerde 500 dönüş sonundaki aşınma oranı; E, F, G tipi numunelerde 1000 dönüş sonundaki aşınma oranı

W_1 : Kuru numune ağırlığı (gram)

W_2 : 100 dönüş sonunda elek üzeri malzemenin (aşınmayan kısmının) ağırlığı (gram)

W_3 : 500 veya 1000 dönüş sonunda numunenin elek üzeri (aşınmayan kısmının) ağırlığı (gram)

Aşınma direnci deneyinde (Los Angeles deneyi), sonuçlar arasındaki farkın 2 veya daha küçük olması durumunda aşınma oranlarının ortalaması aşınma oranı kabul edilmektedir.

6.1.2.5. Tez kapsamında yapılan aşınma kaybı deneyi

B Tipi Numune İçin;

Numune ağırlığı 5000 gram (W_1)

Bilye Sayısı: 11

100 devir sonunda 1.4 mm elek üstündeki malzeme miktarı: 4865 gram (W_2)

$$La_1 = \frac{(W_1)-(W_3)}{(W_1)} \times 100 \quad (6.4)$$

$$La_1 = \frac{5000-4865}{5000} \times 100 = 2.70 (\%)$$

500 dönüş sonunda 1.4 mm elek üstünde kalan malzeme: 3783.4 gram (W_3)

$$La_2 = \frac{(W_1)-(W_3)}{(W_1)} \times 100 = \frac{5000-3783.4}{5000} \times 100 = 24.33(\%)$$

KTŞ'ne göre agregada aşınma deneyi sonucunun ağırlıkça %35'i aşmaması gerekmektedir. Deney kapsamında kullanılan agregaların tektik şartname değerlerini sağladığı görülmüştür.

6.1.3. Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi (TS EN 1367-1,2)

6.1.3.1. Deneyin amacı

Bu deneyle agregaların doygun magnezyum sülfat ($MgSO_4$) veya sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltileriyle agregaların don etkisiyle parçalanmaya karşı dayanımları tespit etmek için yapılmaktadır.

6.1.3.2. Gerekli aletler

Deney elekleri: Deney elekleri

Terazi: En az 2000 g çekerli 0,1 gram hassasiyette terazi

Donma çözülme kabini: Yatayda ve Düşeyde hava dolaşımı sağlayan kabin



Şekil 6.4. Donma çözülme kabini

Etüv: Hava dolaşımli bir etüv

Su: Deiyonize veya damıtık su (su yerine sodyum ve magnezyum sülfat çözeltileri de kullanılabilir)

Metal kutular: Kaynaklı veya dikişsiz çekilmiş korozyona dayanıklı metal kutular. (Metal kutular 0,6 mm et kalınlığı, 2000 ml kapasitesi, 120 mm - 140 mm iç çap ve 170 mm - 220 mm yüksekliği olmalıdır)

6.1.3.3. Deneyin yapılışı

Bu deney 10-14 mm arasındaki dane büyüklüğündeki agregalara uygulanmaktadır. 1 litre suya Na_2SO_4 tuzu veya 350 gr MgSO_4 tuzu ekleyerek oluşturulur. İki adet numune hazırlanıp tel sepete koyulur. Üst yüzeyde en az 5 cm çözelti olacak şekilde çözelti konulur ve yaklaşık 17 saat bekletildikten sonra numuneler çıkartılır ve $110\text{ }^\circ\text{C}$ de 2 saat kurutulur. Daha sonra 5 saat oda sıcaklığında bekletilir. Bu döngü 5 defa tekrarlanır ve son döngü sonunda numuneler yıkanır ve $110\text{ }^\circ\text{C}$ de değişmez kütleye erişinceye kadar kurutupu tartılır. (W_s)

6.1.3.4. Hesaplama

Donma çözülme deneyi sonrası kütlece yüzde kaybı (FTR), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$FTR = \frac{(W_i)-(W_s)}{(W_i)} \times 100 \quad (6.5)$$

Bu formülde;

W_i : Deney başlangıcındaki kuru numune ağırlığı (gr)

W_s : Deney sonundaki numune ağırlığı (gr)

FTR: Yüzde cinsinden don kaybı oranı (%)

6.1.3.5. Tez kapsamında yapılan hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi

$W_i = 304$ gr (Deneyden önceki numune kuru ağırlığı)

$W_s = 294$ gr (Deneyden sonraki numune kuru ağırlığı)

$$FTR = \frac{(M_1)-(M_2)}{(M_1)} \times 100 = \frac{(304)-(294)}{(304)} \times 100 = 3,289 \text{ (\%)}$$

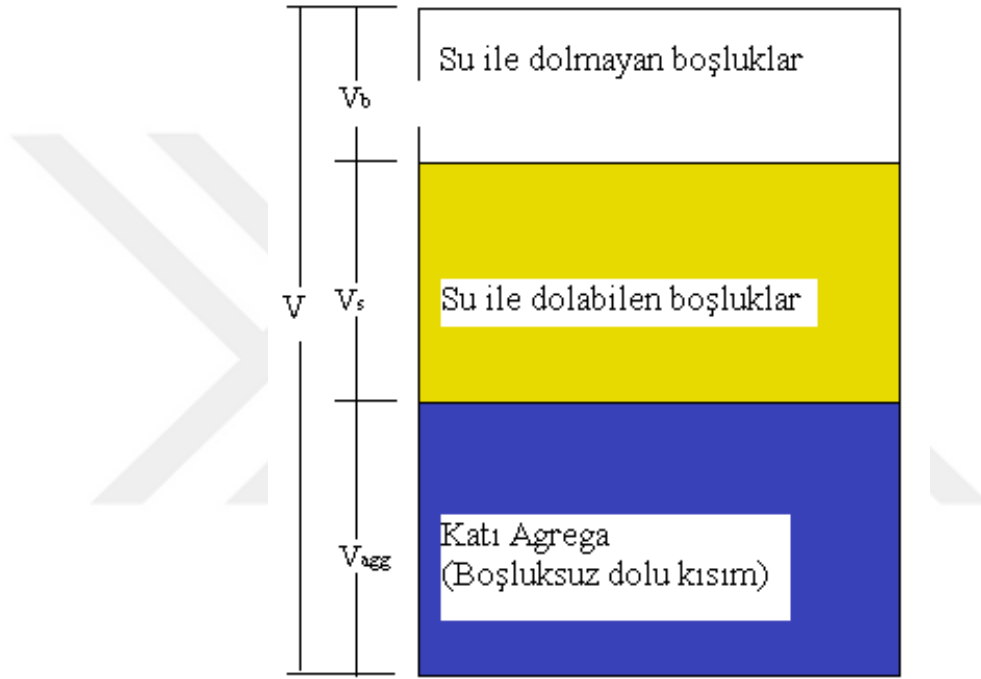
6.1.4. İri agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS EN 1097-6)

6.1.4.1. Deneyin amacı

Bu deney 4.75 mm elek üzerinde kalan dane büyüklüğündeki iri agregaların özgül ağırlık ve su emme yüzdesi tayini için yapılır. Agreganın birim hacim ağırlığının, 25 °C sıcaklığa sahip aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak tanımlan özgül ağırlığın, 3 türü vardır. Bunlar;

- Zahiri Özgül Ağırlık(SG_a) : Belirli sıcaklıktaki agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki suya ağırlığına oranıdır.

- Hacim Özgül Ağırlık (SG_b) : Belirli sıcaklıktaki agreganın geçirgen olan ve geçirgen olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki suya ağırlığına oranıdır
- Yüzey Kuru Suya Doymun Özgül Ağırlık (SG_{SSD}) : Belirli sıcaklıktaki suya doymun yüzey kuru agreganın geçirgen olan ve geçirgen olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki suya ağırlığına oranıdır.



Şekil 6.5. Agregat özgül ağırlık, hacim ve ağırlık modellemesi

M_k = Kuru agregat ağırlığı (gr)

M_{SSD} = Suya doymun yüzeyi kuru agreganın ağırlığı (gr)

M_s = Sudaki agregat ağırlığı (gr)

$$SG_a = \frac{M_k}{V_{agg} + V_b} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.6)$$

$$SG_b = \frac{M_k}{V_{agg} + V_b + V_s} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.7)$$

$$SG_{SSD} = \frac{M_{SSD}}{V_{agg} + V_b + V_s} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.8)$$

$V_{agg} + V_b < V = V_{agg} + V_b + V_s$ olduğundan dolayı; $SG_a > SG_{SSD} > SG_b$

Su emme miktarı;

$$SE = \frac{M_{SSD} - M_k}{M_k} \quad (\%) \quad (6.9)$$

6.1.4.2. Gerekli aletler

Terazi: Su içinde de tartım yapabilecek 1 gr duyarlı terazi.

Kafes örgülü sepet: Elek telinden yapılmış 4 mm göz açıklı bir sepet.

Kova: İçerisine tel sepetin sığabildiği büyüklükte bir kova.

Bezler: Kurulama işleminde kullanılacak havlu veya bezler.

Özgül ağırlık sehpası: Suda tartma işlemini yapmaya sağlayan alet



Şekil 6.6. Özgül ağırlık deney seti

6.1.4.3. Deneyin yapılışı

Deney numunesi su içinde 24 saat bekletilir sonra yüzeyi kurutulup tartılır (C). Numeneler kafes örgülü sepete koyulup, su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda olacak şekilde su dolu kovaya daldırılır ve doygun malzemenin sudaki ağırlığı bulunur(B). Sudan çıkartılmadan önce su içinde hareket ettirilerek tanelerin arasındaki hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. En son aşamada sudan çıkartılan numune etüv koyulup kurutulur ve oda sıcaklığına ulaşıncaaya denk soğutulup havadaki kuru ağırlığı tartılır (A).

6.1.4.4. Hesaplama

Deney sonunda ölçümler baz alınarak iri agregalara ait özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{A}{A-C} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.10)$$

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{A}{B-C} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.11)$$

$$\text{Yüzey Kuru Suya Doygun Özgül Ağırlık} = \frac{A}{A-C} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.12)$$

$$\text{Absorpsiyon\%/si} = \frac{B-A}{A} \times 100(3.4) \quad (\%) \quad (6.13)$$

Bu formülde;

A : Numunenin havadaki ağırlığı (gram)

B : Numunenin sudaki ağırlığı (gram)

C : Numunenin doygun yüzey kuru ağırlığı (gr)

6.1.4.5. Tez kapsamında yapılan iri agregata özgül ağırlık ve su emme deneyi

Asfalt betonunda kullanılacak iri agregalar için özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Deney sonunda iri agregalara ait zahiri özgül ağırlık, hacim özgül ağırlık, yüzey kuru suya doygun özgül ağırlık ve absorpsiyon yüzdeleri tespit edilmiştir. (Bkz. Çizelge 6.5)

Çizelge 6.5 Kaba agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi

		1.Numune	2.Numune	Ortalama
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı, gr	1981,9	1979,6	
B	Doygun yüzey kuru malzemenin ağırlığı, gr	1999,9	1993,9	
C	Sudaki ağırlık, gr	1258,5	1271,5	
Zahiri özgül ağırlık, gr/cm ³		2740,0	2796,0	2768,0
Hacim özgül ağırlık, gr/cm ³		2673,0	2740,0	2707,0
Yüzey Kuru Suya Doygun Özgül Ağırlık, gr/cm ³		2697,0	2760,0	2729,0
Absorpsiyon yüzdesi, %		0,91	0,72	0,82
Standart		ASTM C 127-04		

6.1.5. İnce agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS EN 1097-6)

6.1.5.1. Deneyin amacı

Bu deney 4.75 mm elek altına geçen dane büyüklüğündeki ince agregaların özgül ağırlık ve su emme yüzdesi tayini için yapılır.

6.1.5.2. Gerekli aletler

Terazi: 0,1 gr hassasiyette bir terazi

Tablalı ısıtıcı veya hava üflemlili ısıtıcı: Numunesinin yakın çevresini yaklaşık 105 °C sıcaklığa çıkarabilecek, gazla veya elektrikle ısıtmalı hava üflemlili bir ısıtıcı

Cam levha: Ölçü kabının üst kısmını kapatacak cam levha

Piknometre: 500 veya 1000 ml' lik cam bir ölçü kabı

Sıkıştırma çubuğu: Pirinçten yapılmış, ucu yuvarlatılmamış, 25 mm çaplı ve 350 gr ağırlığındaki çubuktur.

Metal kalıp: Üst iç çapı 38 mm, alt iç çapı 89 mm ve yüksekliği 73 mm olan kesik koni biçimli metal bir kalıp.

Bezler: Havlu veya benzeri kurutma bezleri, vantilatör, tavalar, desikatör, mala, termometre (1 °C bölüntülü).

6.1.5.3. Deneyin yapılışı

Deney numunesi tartılır ve sonra su içerisinde 24 saat bekletilir. İnce taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek akıtılır ve bir tava içine yayılır. Tava, tablalı ısıtıcı üzerinde konarak doymuş kuru yüzey durumuna getirilir ve tartılır(E).

Numune etüv kurusu durumuna getirilip oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Piknometre tartılır (A). Numune piknometreye doldurulur ve tekrar tartılır (C). Numune kuru ağırlığı, önceden ölçülen piknometrenin ağırlığı toplam ağırlığından çıkartılarak bulunur.

Ölçü kabı yaklaşık 20 °C’ deki su ile yarıya kadar doldurulur ve hafif hafif vurulup sallayıp hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Bir saat sonra ölçü kabı yaklaşık 20 °C’ deki su ile 500 ml (veya 1000 ml) işaret çizgisine kadar doldurulur ve tartılır (D). Bu ağırlıktan numune kuru ağırlığı çıkarılarak “cam ölçü kabı + su ağırlığı” bulunur (B).

6.1.5.4. Hesaplama

Deney sonunda ölçümler baz alınarak ince agregalara ait özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{E}{B+C-A-D} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.14)$$

$$\text{Hacim Özgül Ağırlık} = \frac{C-A}{B+C-A-D} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.15)$$

$$\text{YKSD Özgül Ağırlık} = \frac{E}{B+E-D} \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (6.16)$$

$$\text{Absorpsiyon yüzdesi} = \frac{C-A-E}{E} \times 100 \quad (\%) \quad (6.17)$$

A: Piknometre boş ağırlığı (gr)

B: Piknometrenin su ile dolu ağırlığı (gr)

C: Piknometrenin numune ile dolu ağırlığı (gr)

D: Piknometrenin su ve numune ile dolu ağırlığı (gr)

E: Numunenin doymuş yüzey kuru durumundaki ağırlığı (gr)

6.1.5.5. Tez kapsamında yapılan ince agrega için özgül ağırlık ve su emme deneyi

Agrega dane dağılımını temsil edecek gradasyonda 4,75 mm – 0,075 mm arasındaki agregalardan oluşan karışım 24 saat su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra deney aşamaları uygulanarak zahiri özgül ağırlık, hacim özgül ağırlık, YKSD özgül ağırlık değerleri ve absorpsiyon yüzdesi tespit edilmiştir.(Bkz Çizelge 6.6)

Çizelge 6.6 Kaba agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi

	1. Numune	2. Numune	Ortalama
A	Piknometre ağırlığı, gr	224,1	145,9
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	1220,2	638,8
C	Piknometre + doymuş yüzey kuru numune ağırlığı, gr	1030,7	572,5
D	Piknometre + su + numune ağırlığı, gr	1713,8	907,5
E	Kuru numune ağırlığı, gr	781,9	419,9
	Zahiri özgül ağırlık, gr/cm ³	2712	2777
	Hacim özgül ağırlık, gr/cm ³	2498	2659
	YKSD özgül ağırlık, gr/cm ³	2577	2702
	Absorpsiyon yüzdesi, %	3,16	1,6
	Standart	ASTM C 128-04	

6.1.6. Filler agrega için özgül ağırlık deneyi (TS EN 1097-7)

6.1.6.1. Deneyin amacı

Bu deney 0,075 mm elekten geçen agregaların (filler) piknometre yardımıyla zahiri özgül ağırlığını tespit etmek için yapılmaktadır.

6.1.6.2. Gerekli aletler

Piknometre: 500 ml veya 1000 ml kapasiteli (Bkz. Şekil 6.7)

Terazi: 0,001 gr duyarlı bir terazi.

Vakum pompası: Ortam basıncını 3 kPa a düşürebilecek güçte

Su banyosu: Sıcaklığı ayarlanabilen



Şekil 6.7 Piknometre

6.1.6.3. Deneyin yapılışı

Numuneler yaklaşık 110°C sıcaklığındaki etüvde en az 4 saat kurutulup, soğumaya bırakılır. Özgül ağırlık şişesinin üçte biri kurutulan agrega doldurulur ve şişe yarısına kadar su koyulur. Ağız kapatılmış şişe birkaç kez tezgaha vurulur. Hava kabarcıkları tamamen bitene kadar en az 5 dakika bir vakum pompası ile içerisindeki hava çıkartılır. Daha sonra şişe ağzına kadar su ile doldurulup 25°C sıcaklıktaki su banyosunda en az 60 dakika bekletilir. İşlem sonunda banyodan çıkarılan şişe kurutulup tartılır.

6.1.6.4. Hesaplama

Deney sonunda ölçümler baz alınarak ince agregalara ait özgül ağırlığı ve su emme oranı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = \frac{A}{A+B-C} \quad (6.18)$$

A = Kuru numune ağırlığı, gr

B = Piknometre + su ağırlığı, gr

C = Piknometre + su + numune ağırlığı, gr

6.1.5.6. Tez kapsamında yapılan filler agregata için özgül ağırlık deneyi

Deneyde kullanılacak 0,075 mm elekten geçen (filler) agregata için deney aşamaları uygulanmış ve filler agreganın özgül ağırlığı tespit edilmiştir. (Bkz. Çizelge 6.7)

Çizelge 6.7 Fillerin zahiri özgül ağırlık değeri

		1.Numune	2.Numune	Ortalama
A	Kuru numune ağırlığı, gr	50,40	50,12	
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	666,00	664,29	
C	Piknometre + su + numune ağırlığı, gr	698,00	695,92	
Hacim özgül ağırlık, gr/cm ³		2739	2710	2725
Standart		ASTM D 854-83		

6.1.7. Sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık deneyleri (TS 3529)

6.1.7.1. Deneyin amacı

Bu deney agregaların sıkışık ve gevşek durumlarında birim hacim ağırlıklarının hesaplanması amacıyla yapılır.

6.1.7.2. Gerekli aletler

Terazi: 1 gr duyarlı bir terazi.

Şişleme çubuğu: 600 mm boya ve 16 mm çapa sahip düz çelik çubuk.

Ölçü kapları: Silindirik şekilde ve hacimleri belli deforme olmayacak metalden yapılmış kaplar.

6.1.7.3. Deneyin yapılışı

Agreganın sıkışık birim hacim ağırlığını tespit etmek için darası ve hacmi belli olan bir kapların üçte birine numune doldurulup her bir tarafına 25 vuruş yapılarak sıkıştırma işlemi yapılır. İkinci defa 2/3' ü ve üçüncü defa da tamamı taşarcasına

doldurularak oluşturulan ikinci ve üçüncü tabakalar için de 25'er defa şişlenip sıkıştırılır ve ölçü kabı üst yüzü düzeltilir. Ölçü kabı agrega ile tartılır.



Şekil 6.8 Ölçü kapları

Agreganın gevşek birim hacim ağırlığı tespit etmek için darası tespit edilmiş ve hacmi belli ölçü kabına numuneler doldurulur. Ölçü kabının üst yüzeyi sıyrılarak düzlenir ve ölçü kabı içerisindeki agrega ile birlikte tartılır.

6.1.6.4. Hesaplama

Sıkışık birim hacim ağırlığı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$\Delta s = \frac{(W_2) - (W_1)}{(V)} \quad (gr/cm^3) \quad (6.19)$$

Δs : Sıkışık birim hacim ağırlığı (kg / m^3)

W_2 : Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

V : Ölçü kabının iç hacmi (m^3)

Gevşek birim hacim ağırlığı ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır :

$$\Delta g = \frac{(W_2) - (W_1)}{(V)} \quad (gr/cm^3) \quad (6.20)$$

Δg : Gevşek birim hacim ağırlığı (kg / m^3)

W_2 : Gevşek agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (gr)

W_1 : Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

V : Ölçü kabının iç hacmi (m^3)

6.1.6.5. Tez kapsamında yapılan sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlığı deneyi

Δg =Gevşek birim ağırlık (kg/m^3)

Δs =Sıkışık birim ağırlık (kg/m^3)

V = Ölçü kabı iç hacmi (m^3)

W_1 =Ölçü kabı boş ağırlığı (kg)

W_2 = Agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı (kg)

Sıkışık birim hacim ağırlık ;

$W_1 = 4,2583 \text{ kg}$ $W_2 = 9,944 \text{ kg}$ $V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$

$$\Delta s = \frac{(W_2) - (W_1)}{(V)} = \frac{(9,944 - 4,2583)}{(0,003)} = 1887 \text{ gr/cm}^3$$

Gevşek birim hacim ağırlık

$W_1 = 4,2575 \text{ kg}$ $W_2 = 9,5264 \text{ kg}$ $V = 3 \text{ dm}^3 = 0,003 \text{ m}^3$

$$\Delta g = \frac{(W_2) - (W_1)}{(V)} = \frac{(9,4364) - (4,2575)}{(0,003)} = 1726,3 \text{ gr/cm}^3$$

6.1.7. Yassılık indeksi tayini (TS EN 933-3)

6.1.7.1. Deneyin amacı

Nominal boyutunun 0.6'sından daha küçük olan agregada danelerinin yassı olarak sınıflandırılmasına dayanan bir deneydir.

6.1.7.2. Gerekli aletler

Teraziler: 2 adet terazi ihtiyacı vardır (Bir tane en az 15 kg kapasiteli , 1 gram hassasiyetli terazi Bir tane 2-3 kg kapasiteli 0,1 gram hassasiyetli terazi)

Yassılık indeksi şablonu: Elipsoit açıklığa sahip deliklerin bulunduğu şablondur.

Elekler: Yassılık indeksi tayini elek seti.

6.1.7.3. Deneyin Yapılışı

Elek analizi ile numuneler dane boyutu dağılımı 63 mm elekten geçip 6,3 mm elek üzerinde kalacak şekilde ayarlanır. Yassılık elek seti kullanılıp her elek arasında en az yine tablodaki miktarlarda numune elenerek deneye hazırlanır. Düzeltilmiş dane boyutu dağılımına göre iki elek arasında kalan malzeme oranı %5 ‘ten az çıkarsa o aralıkta malzeme deneye alınmamalıdır. Bu durumda yassı dane oranı sıfır olarak kabul edilir. Her elek aralığı için elekler arasında kalan malzemeler, elek açıklığı baz alınarak şablondan geçip geçmediğine teker teker bakılır, her aralık için yassı tanelerinin ağırlığı tartılır. (Bkz. Çizelge 6.8)

Çizelge 6.8 Deneye alınacak minimum malzeme miktarı ve boyutları

Elek Açıklıkları (mm)	Her Fraksiyon için Min. Malzeme Mik. (kg)
63-50	25
50-37,5	18
37,5-25	8
25-19	2,5
19.Ara	1
12-9,5	0,5
9,5-6,3	0,25

6.1.7.4. Hesaplama

Deney sonunda her aralık için ölçülen ağırlıklar baz alınarak yassı dane yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Yassı dane yüzdesi} = \frac{W_2 \times 100}{W_1} \quad (\%) \quad (6.21.)$$

Bu formülde;

W₁: Deneye alınan malzeme ağırlığı (gr)

W₂: Deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığı (gr)

Çizelge 6.9. Tez kapsamında kullanılacak özgül ağırlık değerleri

	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kaba Agregat Özgül Ağırlığı	2737
İnce Agregat Özgül Ağırlığı	2662
Mineral Filler Özgül Ağırlığı	2725

6.2. Bitüm deneyleri

Doğal kaynaklardan veya petrolün destilasyonundan elde edilen bitüme belirli dane çaplarında agregaların karıştırılmasıyla BSK elde edilir. Bitüm malzemesi, 50 ile 100°C arasında yumuşayan, yoğunluğu l'e yakın petrol eterinde erimeyen, ama karbon sülfürde eriyen bir maddedir. Ham petrolün en ağır kısmıdır. Düşük basınç altında damıtılarak yada çökeltim yöntemiyle elde edilir.

Tez kapsamında kullanılacak bitüm için aşağıdaki deneyler yapılmıştır. Deneylere ait standartlar ve sınır değerleri aşağıdaki gibidir. (Bkz. Çizelge 6.10-11)

Çizelge 6.10 Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümün özellikleri

Deneyin Adı	Standart (KGM, 2013)	Sınır Değerleri	Birimi
1-Penetrasyon, 25°C	TS EN 1426	50/70, 70/100, ...	1/10 mm
2-Yumuşama Noktası	TS EN 1427	46 - 54	°C
3-Düktilite, 25°C	TS 119	100 (max.)	cm
4-Parlama Noktası	TS EN ISO 2592	230 (min.)	°C
5-Yanma Noktası	TS EN ISO 2592	270 (min.)	°C
6-İ. F. Hal. Isıtma. Kaybı	TS 121	0,5 (min.)	%
7-Özgül Ağırlık, 25°C	TS 1013 EN ISO 3675	1,0 - 1,1	gr/cm ³

Çizelge 6.11 Bitüm katılık ve viskozite sınıflandırılması (KGM, 2006)

Penetrasyon (25°C, 100gr,5 sn)	Viskozite (60°C, Poise)	Penetrasyon Sınıflaması	Viskozite Sınıflaması
40	4000±800	40-50 Pen, AC	AC-40
60	2000±400	60-70 Pen, AC	AC-20
80	1000±200	85-100 Pen, AC	AC-10
140	500±100	120-150 Pen, AC	AC-5
220	250±50	200-300 Pen, AC	AC-2,5

6.2.1. Penetrasyon deneyi (TS EN 1426)

6.2.1.1. Denevin amacı

Bu deney, belli sıcaklıktaki bağlayıcıya bir iğnenin belirlemiş yük altında belli bir süre içerisindeki batma miktarını tayin etmeye yarar.

6.2.1.2. Gerekli aletler

Penetrometre: Otomatik penetrasyon cihazı.

Penetrasyon iğnesi: Martenzitik paslanmaz çelikten yapılmış, temperlenmiş ve parlatılmış Rockwell sertliği C54-C60 arasında olan TS 2535'e uygun iğne.

Numune kabı: Cam veya metalden yapılmı silindirik şekle sahip, derinliği en az 35 mm, iç çapı en az 55 mm en fazla 70mm olan kap.

Aktarma kabı: Numune kabının tamamen su içerisinde kalmasını sağlayacak en az 350 cm³ hacimli kap

6.2.1.3. Deneyin yapılışı

Penetrometre düzgün bir yere yerleştirilir ve sıfırlanır. İğne istenilen ağırlıkta hazırlanmış numune yüzeyine batmadan temas şekilde ayarlanı iğne serbest bırakılır ve 5 sn'lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kap kenarından ve birbirlerinde en az 1 cm uzaklığı olan 3 farklı noktadan okuma yapılır.



Şekil 6.9 Penetrasyon deney aleti

6.2.1.4. Hesaplama

Penetrometrede okunan milimetrenin onda biri cinsinden üç değerin değerlerin aritmetik ortalaması en yakın tam sayıya yuvarlanır ve penetrasyon değeri olarak kabul edilir. (Bkz. Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13)

Çizelge 6.12 Ölçümler arasında olabilecek en büyük fark

0.1 mm olarak penetrasyon	<49	50-149	150-249	>250
En büyük fark	2	4	6	8

Çizelge 6.13 Penetrasyon deneyi sonuçları

	1.Okuma	2.Okuma	3.Okuma	Ortalama
1.Numune	6,39	6,25	6,18	6,27
2.Numune	7,12	6,98	7,21	7,1
				66,85mm

6.2.2. Yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427)

6.2.2.1. Denevin amacı

Bu deney bitümlü bağlayıcıların sıcaklık karşısında davranışını, kıvamlılığının belirlenmesi için yapılır.

6.2.2.2. Gerekli aletler

Isıtıcı: Isıtmak için kullanılan deney aleti.

Halkalar: Uygun boyutlu, pirinç esaslı iki adet halka.

Bilyeler: Çapları yaklaşık 9,50 mm kütlesi yaklaşık 3,5 gr olan iki adet çelik bilye.

Kap: İç çapı 8,5 cm ve yüksekliği 12 cm'den büyük 600 veya 800 cm³'lük cam beher

Karıştırıcı: Banyoda düzgün sıcaklığı sağlayacak beher dibinde dönen miknatis.

Su: Damıtılmış ve yeni kaynatılmış su.

Termometre: Uygun cıvalı termometre.

6.2.2.3. Deneyin yapılışı

Bitüm numunesi akıcı hale getirilmek için ısıtılır. Hava kabarcığı kalmayınca kadar karıştırılır. Üzerine yapışmayı önleyici bir madde sürülmüş bir pirinç levhaya halkalar koyulur ve numune bu halka içine üst seviyesini geçecek kadar dökülür. Numune 1 saat soğumaya bırakılır. Taşan bitüm numuneleri ıslatılan spatula yardımıyla kesilir.



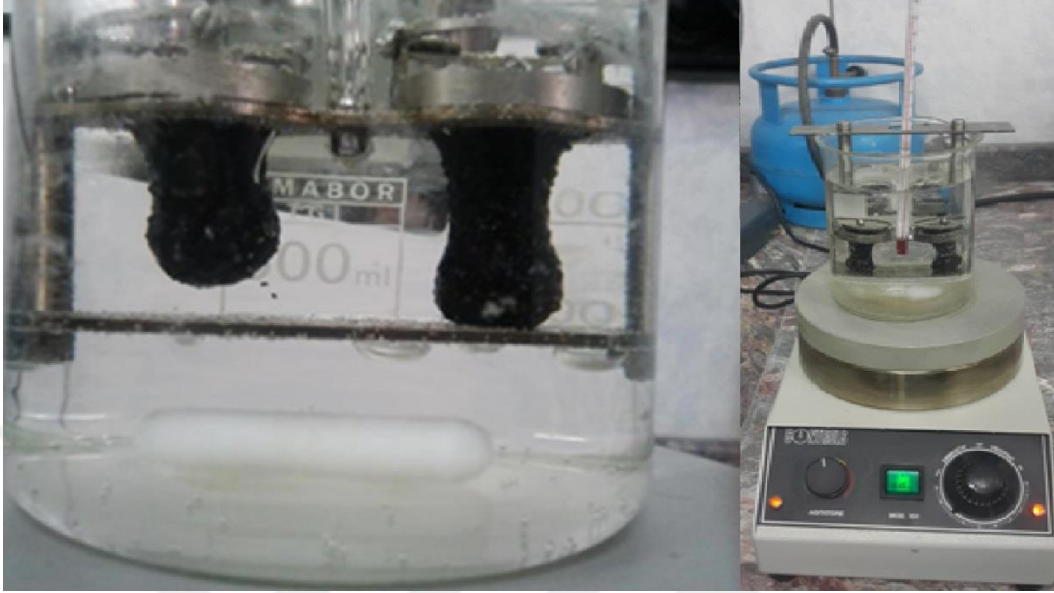
Şekil 6.10 İçi Bitümle dolu deney halkaları

İkinci aşamada ise cam kaba yüksekliği 8,25 cm olacak şekilde 5°C sıcaklıkta saf su konur. İçinde bitüm olan halka kabın dibinden 2,52 cm yukarıda ve su seviyesinden 5,08 cm aşağıda olacak şekilde suyun içine sarkıtılır. Su içerisine bilyeler atılır. Halkalara yaklaşık 5 mm uzaklıkta ve cıva haznesinin alt kısmı halkanın alt yüzeyi ile aynı yükseklikte olacak şekilde termometre yerleştirilir. Daha sonra da beher tabanına atılmış bilyeler halkanın içindeki bitüm numunesinin ortasına koyulur. Beher ısıtılarak suyun sıcaklığı dakikada 5°C arttırılır. Deney halkaları içerisindeki bitümün, bilyelerle birlikte aşağı sarkan kısmı düzeneğin taban yüzeyine değdiği anda termometreden sıcaklık okunur. Yumuşama noktası tayini iki numune ile yapılır (Bkz. Şekil 6.10-11).

6.2.2.4. Hesaplama

Yumuşama noktası, bitümün cam kabın dibine değdiği anda termometrede okunan sıcaklık değeridir. İki numune arasında okunan sıcaklık değerlerin farkın, 80 °C altında 1

°C veya 80 °C üstünde ise 2 °C' den büyük olması durumunda deneyin tekrar yapılması gerekmektedir.



Şekil 6.11 Yumuşama noktası deneyi

6.2.3. Düktilite deneyi (TS EN 13589)

6.2.3.1. Deneyin amacı

Bu deney, bağlayıcı olarak seçilecek bitümün kopmadan uzama miktarını ölçmek için yapılmaktadır.

6.2.3.2. Gerekli aletler

Düktilite Cihazı: Kalıptaki bitüm numunesini suda her iki ucundan tutarak belli bir hızda çeken cihaz (Bkz Şekil 6.12).

Prinç Kalıp: Standartlara uygun düktilite kalıpları. (Bkz Şekil 6.13)

Tuz ve metil alkol: Suyun özgül ağırlığını ayarlamak için kullanılabilir.

Su Banyosu: En az 10 lt su alabilen, sıcaklığı 0,1 °C hassasiyette sabit tutan, bitüm numunesini dipten 5 cm yukarıda ve su yüzeyinden 10 cm derinlikte tutabilecek delikli bir rafa sahip deney aletidir.

sökülüp numune hemen düktilite cihazına yerleştirilir. Numune dakikada 5 cm hızla kopuncaya kadar çekilir. Koptuğu anda cihazdaki cetvelden kopma mesafesi okunur. (Bkz. Şekil 6.14)



Şekil 6.14. Düktilite deneyinden bir görünüm

6.2.3.4. Hesaplama

Bu deney üç kez tekrarlanır deney sonunda düktilite cetvelinden okunan üç değerin ortalaması alınarak numunenin düktilite değeri tespit edilmiş olur.

6.2.4. Parlama noktası deneyi (Cleveland açık kap metodu) (TS EN 2592)

6.2.4.1. Denevin amacı

Parlama noktası, bitüm numunesinin ısıtıldığında buharına deney alevinin temas ettirilmesi sonucunda numunenin parladığı ancak yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Parlama noktası 79 °C'nin üstündeki petrol ürünlerine uygulanan bu deneydeki sonuçlara göre uygulamalarda oluşabilecek tehlikelere karşı önlem alınmaktadır.

6.2.4.2. Gerekli aletler

Cleveland açık kap cihazı: Cihaz, ısıtma levhası, deney kabı, alev çubuğu ve termometreden oluşmaktadır. (Bkz. Şekil 6.15)



Şekil 6.15 Cleveland açık kap cihazı

6.2.4.3. Deneyin yapılışı

Deney yapılacak bitümlü bağlayıcı 140 - 160 °C sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra seviye çizgisine kadar doldurulur. Şayet cihazda seviye çizgisi yoksa üstten 1 cm kalana kadar doldurulmalıdır. Başlangıçta sıcaklığı dakikada 14–17°C arttırılır ancak beklenen parlama noktasına 28°C yaklaştığı anda sıcaklık dakikada 5 – 6 °C artacak şekilde ayarlanmalıdır. Beklenen parlama noktasına en az 28 °C önceden sıcaklığın her 3°C yükselmesinde numune üzerinden 4mm çaplı deney alevi geçirilir ve numune üzerinde tutuşma olup olmadığı gözlemlenir. Tutuşma oluştuğu anda termometreden okunan sıcaklık değeri deney numunesinin parlama noktası olarak kabul edilir.

Yanma noktası ise parlama noktasından sonra deneye devam edilmesiyle numune yüzeyinde en az 5 saniye boyunca alevlenmenin gözlemlendiği numune sıcaklığı olarak tanımlanabilir. Aynı ortamda aynı numune için yapılan bu deney sonuçları arasındaki farkın 6 °C den fazla olmaması gerekmektedir.

6.2.4.4. Hesaplama

Tutuşma oluştuğu anda termometreden okunan sıcaklık değeri deney numunesinin parlama noktası olarak kabul edilir. Yüzeyinde en az 5 saniye boyunca alevlenmenin

gözlemlendiği numune sıcaklığı yanma noktasıdır.Şayet ortamda atmosfer basıncı < 95.3 kPa ise sonuçlara düzeltme değerleri eklenmelidir. (Bkz. Çizelge 6.14)

Çizelge 6.14 Basınç düzeltme değerleri

Atmosfer Basıncı kPa (mbar)	Düzeltilme, °C
95,3-88,7	2
88,6-81,3	4
81,2-73,3	6

6.2.5. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi (TS EN 12607)

6.2.5.1. Denevin amacı

Bu deney bitümlerin sıcaklığa ve hava etkilerine karşı göstermiş oldukları davranışı incelemek amacıyla yapılmaktadır.

6.2.5.2. Gerekli aletler

Etüv: Sıcaklığı $163\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de tutabilen, yaklaşık 250 mm çapında, delikli, yuvarlak ve dönen alüminyum bir rafı bulunan etüv. (Bkz. Şekil 6.16)



Şekil 6.16 Isıtma kaybı deney etüvü

Deney kabı: Metal veya camdan imal edilmiş, 15 cm çapa ve 3,5 mm derinliğe sahip olan bir kap. (Bkz. Şekil 6.17)



Şekil 6.17 Deney kapları

6.2.5.3. Denevin yapılışı

Ağırlığı önceden edilmiş deney kabına 50 gr nemsiz bitüm koyulup tartılır (W_1). Etüv 163 °C sıcaklığa ulaştığında, bitümlle dolu deney kabı etüvün içine koyulur. Etüvün döner rafında dakikada 5-6 devir hızla dönerek 5 saat bekletilen numune etüvden çıkartılır ve o da sıcaklığında soğutulup tartılır. (W_2)

6.2.5.4. Hesaplama

Bitümün ısıtma kaybı deneyle okunan değerler baz alınarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır;

$$\text{Isıtma kaybı yüzdesi} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1} \quad (\%) \quad (6.23)$$

Isıtma kaybı deneyi sonunda bitümüğn sınır değerlerinde kalındığı tespit edilmiştir. (Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16)

Çizelge 6.15 Isıtma kaybı duyarlılık sınırları

Isıtma Kaybı Değeri (%)	Sayısal Düzeltme	Isıtma Kaybının Gerçek Değeri (%)
5	±0,50	4,50-5,50
5,5	±0,51	4,99-6,01
6	±0,52	5,48-6,52
10	±0,60	9,40-10,60
15	±0,70	14,30-15,70
25	±0,90	24,10-25,90
40	±1,20	38,80-41,20

Çizelge 6.16 İnce film halinde ısıtma kaybı deney sonuçları

Numune	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Isıtma kaybı (%)
1	50,45	50,44	0,02
2	50,39	50,32	0,14
ORTALAMA			0,08

6.2.6. Bitümün birim özgül ağırlık deneyi (piknometre metodu) (TS 1087)

6.2.6.1. Denevin amacı

Bu deney bitümlü bağlayıcıların özgül ağırlıklarını tayini için kullanılmaktadır.

6.2.6.2. Gerekli aletler

Terazi: 0,1 mg hassasiyetle ölçüm yapılabilen analitik terazi

Piknometre: Camdan yapılmış, konik veya silindirik biçimde bir piknometre.

Su banyosu: İstenilen sıcaklığa ayarlanabilen su banyosu.

6.2.6.3. Deneyin yapılışı

Piknometre boş olarak tartılıp su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Tartma işleminden sonra piknometre içerisindeki su boşaltılıp, piknometre kurulanır. Daha sonra içerisine yüksekliğin 2/3'üne kadar bitümlü bağlayıcı numunesi küçük parçalar şeklinde koyulur veya eritilmiş malzeme olarak akıtılır. Piknometre içinde kalan boşluk saf su ile doldurulur ve tartılır. Deney, genellikle 25 °C 'de yapılır veya farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C' ye çevirmek için abaklardan yararlanır. (Bkz. Çizelge 6.17)

6.2.6.4. Hesaplama

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (6.24)$$

A= Piknometrenin boş ağırlığı(gr)

B= Su ile dolu piknometrenin ağırlığı (gr)

C= Piknometrenin ve 2/3 oranında asfaltla dolu ağırlığı (gr)

D= Piknometre, asfalt ve su ağırlığı

Çizelge 6.17 Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi Sonuçları

NUMUNE NO	A (gr)	B (gr)	C (gr)	D (gr)	ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm ³)
1	28,44	78,78	47,34	79,49	1039
2	30,07	122,43	59,67	123,47	1036
ORTALAMA					1038

6.2.7. Viskozite deneyi (TS 117, 1093)

6.2.7.1. Deneyin amacı

Bu deney bağlayıcının uygulama esnasındaki sıcaklık sınırlarında akma özelliğinin tayin edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

6.2.7.2. Gerekli aletler

Saybold vizkozimetre tüpü: Standartlara uygun boyutlarda korozyona dayanıklı bir tüp.

Kronometre: 0,1 saniye taksimatlı olacaktır.

Termometre: 0,05 °C hassasiyetli ve 0,1 °C bölmeli termometre.

Banyo: Tüpleri dik olarak tutabilen, karıştırma ve soğutma yapabilen banyo.

6.2.7.3. Deneyin yapılışı

Deney tüpünü, üst seviyesinden 6 mm aşağısına kadar banyo yağı doldurulur. Deney sıcaklığı baz alınarak aşağıdaki tabloya göre banyo şartları sağlanmalıdır. Tüpe konulan numunenin sıcaklığı, deney sıcaklığını aşmamalıdır. Ayrıca alevlenme noktasının da 10 °C altındaki sıcaklığı geçmemelidir. Numune 160 mikronluk elekten süzülüp, deney tüpünün galeri seviyesinin az üstüne kadar tüpe doldurur ve bir dakika karıştırılır. Toplama balonu, ilk damla balonun kenarına ve deney tüpünün altına degecek şekilde yerleştirilip deney tüpünün ucunda bulunan mantar çekilir. İlk damla toplama balonunun kenarına değdiği an ile numune balonun boyundaki çizgiye geldiği an arasında geçen saniye cinsinden süre akma süresi olarak kabul edilir (Bkz. Şekil 6.18)



Şekil 6.18 Viskozite deney cihazı

6.2.7.4. Hesaplama

Viskoziteyi ölçmek için genel olarak iki yöntem kullanılır. Bunlar Sabolt ve Kinematik viskozite deneyleridir.

Saybolt viskozitesi; bitümün viskoziteni ölçmeye yarayan bir deney olup 60 cm³ bitümün, belirli çaptaki delikten belirli bir sıcaklıkta akma süresinin saniye cinsinden değeridir.

Saybolt Üiversal Viskositesi (sn)= 10 × Saybolt Furol Viskositesi (sn)

Kinematik viskozite birimi Stoke olarak adlandırılır ve St simgesiyle ifade edilir.

p= Mutlak viskozite

d= yoğunluk (gr/cm³)

$$\text{Kinematik viskozite} = \frac{p}{d} \text{ (St)}$$

Çizelge 6.18 Banyo deney sıcaklıkları

Deney Sıcaklığı (°C)	Tavsiye Edilen Banyo ortamı	Maksimum Sıcaklık farkı	Minimum Sıcaklık Toleransı
21,0	Su	±0,1	±0,05
25	Su	±0,1	±0,05
38	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 50 ila 70 sn.	0,25	±0,05
50	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 120 ila 150 sn.	0,5	±0,05
51	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 120 ila 150 sn.	1	±0,1
82	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 330 ila 370 sn.	1,5	±0,1
99	Su ve yağ, Viskozite 83.0 °C 330 ila 370 sn.	2	±0,1

6.2.7.5. Tez kapsamında yapılan bitüm deneylerinin genel sonuçları

50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleriyle ilgili yapılan deney sonuçları ve teknik şartnamede istenen sınır değerler aşağıdaki çizelgedeki gibidir. (Bkz. Çizelge 6.19)

Çizelge 6.19. 50-70 penetrasyonlu bitümün fiziksel özellikleri (KGM, K.T.Ş. 2013)

Malzeme özelliği	Sonuç	İlgili standart	İstenilen sınırlar
Penetrasyon (25°C, 1/10 mm)	66,85	TS EN 1426	50-70
Yumuşama noktası	49,6	TS EN 1426	46-54
Düktilite (25°C 5cm/dk)	>100	TS EN 13589	-
Parlama noktası (°C)	326	TS EN 22592	>230
Isıtma kaybı (%)	0,08	TS 12607	0.5
Özgül ağırlık (kg/m ³)	1038	TS 1087	-

6.3. Bitümlü Sıcak Karışım Deneyleri

Bitümlü sıcak karışım deneyleri kapsamında plent atığı katılan numunelerin özellikleri standartlara göre hazırlanmış kontrol numunelerinin özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Bitümlü sıcak karışımlar için tez kapsamında; Marshall stabilite ve akma deneyleri ile statik ve dinamik sünme deneyi deneyleri yapılmıştır.

6.3.1. Marshall stabilite ve akma deneyleri (TS EN 3720,12697)

6.3.1.1. Deneyin amacı

Bu deney, BSK' ların laboratuvar tasarımı için Marshall tasarım metodu uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Marshall tasarımında, asfalt-agrega karışımı ısıtılır, karıştırılır ve sıkıştırılıp yaklaşık 63,5 mm yüksekliğe sahip 101,6 mm çapında numuneler hazırlanır. Hazırlanan numuneler Marshall dayanım cihazında test edilerek stabilite ve akma değerleri belirlenir; pratik özgül ağırlık, Marshall oranı (MQ), bitümle dolu boşluk oranı (BDBO), boşluk oranı (BO), Agregalar arası boşluk oranı (VMA) değerleri tespit edilir. Deney sonucunda trafik yüklerine doğrudan maruz kalan, BSK'da aşınma tabakasında kullanılmak üzere, istenilen agregası cinsi ve gradasyonu göre optimum bitüm muhtevası tespit edilir. (Anadolu Üniversitesi Deney Katalogları, 2009)

6.3.1.2. Deney aletleri

Marshall tokmağı: Yol yapımında silindirin görevini laboratuvar ortamında üstlenen bu cihaz, 4536 gr ağırlığındaki silindirik tokmağın 45,7 cm yükseklikten malzeme üzerine serbest düşerek sıkıştırma işlemi yapar.

Mikser: Homojen şekilde asfalt içindeki agrega ve bitümün birbirine karıştırılmasını sağlayan cihazdır.

Mikser ısıtma kabı: Mikserde agrega ve bitümü karıştırırken ısı kaybını önlemek için kullanılan cihaz.

Numune kalıpları: 6,35 cm yüksekliğinde 10 cm çapında silindirik bir kalıptır. Üst kısmında ilave bir kalıp ile altında taban plakası vardır.

Kriko: Sıkıştırma işlemi yapılmış numuneleri kalıplardan çıkarmaya yarayan düzenek.

Dijital terazi: En az 0,1 gram hassasiyetle tartabilecek bir terazi.

Sıcak su banyosu: Kalıptan çıkarılan numuneleri 60 °C' lik su içerisinde tutmaya yarayan banyo.

Marshall test cihazı: Marshall briketlerinin stabilite ve akma değerini ölçen ölçme aleti.

6.3.1.3. Denevin yapılışı

1150 gr plent atığı – agrega karışımı uygun granülometrik şartlarda hazırlanır. Hazırlanan karışımlar etüve 18 saat önceden konulur ve 160 °C'ye ayarlı etüvde bekletilir. Yaklaşık 4 saat bekletilen bitüm hassas terazide uygun oranlarla tartım yapılarak karışım elde edilir. Bu karışım mikser kabına koyulur ve 90 sn. mikserde karıştırılır. Karışımın sıcaklığını kaybetmemesi için mikser kabı dışında elektrikli ısıtma kabı kullanılır. Numune kalıbının taban kısmına uygun ölçülerde kesilmiş yağlı kâğıtlar koyulur. Karışım sona erdikten sonra karışımın sıcaklığını düşürmemesi için etüvde tutulan kürek yardımıyla, mikser kabında bulunan malzeme numune kalıbının içerisine koyulur. Etüvden çıkartılan şişleme çubuğu yardımıyla boşluksuz ve homojen karışım elde etmek için malzemeler boşaltılırken şişleme işlemi yapılır. Üst kısmına da yağlı kâğıt konulan Marshall tokmağına yerleştirilip 75 vuruş yapılır. Aynı işlem kalıp ters çevrilip diğer yüzeyine de uygulanır. Diğer yüzüne de 75 vuruş yapıldıktan sonra kâğıtlar sökülür ve 3 saat soğuması beklendikten sonra kriko yardımıyla briketler çıkartılır. Oda sıcaklığında bir gün bekletilen briketlerin yüzeyleri briketeye zarar vermeden ege ile düzeltilir ve yükseklikleri üç farklı noktadan ölçülür. 40 dakika 60 °C sıcaklıkta bekletilen briketler kurulanıp Marshall test aletine yerleştirilip kırılır. Akma değerleri ve stabilite değerleri cihazdan okunup not alınır. (Özen,2005)

6.3.1.4. Hesaplama

Marshall stabilite ve akma değerleri dijital olarak Marshall test cihazından okunur. Briketlerin daha önceden üç farklı noktadan kumpas yardımıyla ölçülmüş yüksekliklerinin ortalamasına göre okunan değerler düzeltme faktörleriyle çarpılarak gerçek stabilite değerleri tespit edilir.

6.3.1.5. Tez kapsamında yapılan Marshall deneyi

1150 gr plent atığı – agrega karışımı uygun granülometrik şartlarda hazırlanmıştır (a,b). Hazırlanan karışımlar etüve bir gün önceden koyulup ve 160 °C'ye ayarlı etüvde bekletilmiştir (c). 160 °C ayarlı etüvde en az 4 saat bekletilen bitüm hassas terazide uygun oranlarla tartım yapılarak karışım elde edilmiştir(d, e). Bu karışım mikser kabına koyulup ve 90 sn. mikserde karıştırılmıştır. Karışımın sıcaklığını kaybetmemesi için mikser kabı dışında elektrikli ısıtma kabı kullanılmıştır. Numune kalıbı malzeme karışırken uygun sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.(f) Numune kalıbının taban kısmına, uygun ölçülerde kesilmiş yağlı kâğıtlar koyulmuştur . Karıştırma işleminden sonra karışımın sıcaklığını düşürmemesi için etüvde tutulmuş olan kürek yardımıyla, mikser kabında bulunan malzeme numune kalıbının içerisine koyulmuştur. Etüvden çıkartılan şişleme çubuğu yardımıyla boşluksuz karışım elde etmek için malzemeler boşaltılırken şişleme işlemi yapılmıştır (g). Üst kısmına da yağlı kâğıt koyulan numune Marshall tokmağına yerleştirilip 75 vuruş yapılmıştır. Aynı işlem kalıp ters çevrilip diğer yüzeyine de uygulanmıştır (h). Tokmaklama işleminden sonra kâğıtlar sökülmüş ve 3 saat soğuması beklendikten sonra kriko yardımıyla briketler çıkartılmıştır (i). Oda sıcaklığında bir gün bekletilen briketlerin yüzeyleri eğe ile düzeltilmiş ve yükseklikleri üç farklı noktadan kumpasla ölçülmüştür. 40 dakika 60 °C sıcaklıkta bekletilen briketler kurulanıp Marshall test aletine yerleştirilip kırılmıştır. Akma değerleri ve stabilite değerleri cihazdan okunup not alınmıştır (j). (Bkz Şekil 6.19)(Özen,2005).



Şekil 6.19.a Numunelerin stabilite ve akmasının ölçülmesi



Şekil 6.19.b Numunelerin stabilite ve akmasının ölçülmesi

Plent atığı ve doğal agreganın toplam ağırlığı 1150 gr olarak belirlenmiştir. Gradasyon oranına göre 0,300 elek altı agrega yerine ağırlıkça %0, %25, %30, %40, %50 oranlarında plent atığı yer değiştirilerek 5 seri halinde asfalt betonu numuneleri hazırlanmıştır. Her bir seri için toplam agrega ağırlığının %3,5 - %6,5' i oranlarında 50-70 penetrasyonlu bitümden, agregalara eklenmiş ve tüm bitüm oranlarıyla üçer adet karışım olmak üzere toplam 21'er adetten toplam 105 adet numune hazırlanmıştır. Marshall testlerine tabi tutulan numunelerden çıkan değerlerin Karayolları Teknik Şartnamesi' ne uygunluğu kontrol edilmiştir. (Bkz. Çizelge 6.20 ve Çizelge 6.21)

Çizelge 6.20 Plent atığı gradasyonu

NO	Elek boyutu(mm)	Elek üstü kalan(gr)	Elek üstü kalan %	Toplam Kalan %	Toplam geçen %
1	12,500	0,00	0,00	0,00	100,00
2	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
3	4,750	0,00	0,00	0,00	100,00
4	2,360	0,85	0,17	0,17	99,83
5	2,000	1,45	0,29	0,46	99,54
6	1,180	0,24	0,05	0,51	99,49
7	0,600	1,01	0,20	0,71	99,29
8	0,425	5,92	1,18	1,89	98,11
9	0,300	14,77	2,95	4,85	95,15
10	0,180	301,00	60,20	65,05	34,95
11	0,150	45,30	9,06	74,11	25,89
12	0,750	110,00	22,00	96,11	3,89
13	filler	19,46	3,89	100,00	0,00

Çizelge 6.21 Beton Asfalt Dizayn Kriterleri (Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006)

ÖZELLİKLER	BİNDER		AŞINMA	
	MİN.	MAKS.	MİN.	MAKS.
Marshall Stabilitesi (kg)	750	—	900	—
Boşluk (%)	4	6	3	5
Bitümle Dolu Boşluk (%)	60	75	65	75
Akma (mm)	2	4	2	4
Filler/Bitüm Oranı	—	1,4	—	1,5
Bitüm (Ağırlıkça %)	3,5	6,5	4,0	7,0

Marshall cihazından okunan stabilite değerleri, Marshall düzeltme katsayıları ile çarpılarak gerçek değerleriyle hesaplanmıştır. Bitüm oranına bağlı olarak %0, %25, %30, %40 %50 plent atığı katkılı tüm serilerin, pratik özgül ağırlık (PÖA), Marshall stabilitesi

(MS), boşluk oranı (BO) ve bitümle dolu boşluk oranı (BDBO), akma, toplam boşluk yüzdesi (VMA), ve Marshall Oranı (MQ) değerleri hesaplanmış. (Bkz Çizelge 6.22-26)

Çizelge 6.22 %0 Plent Atığı Katkılı (Kontrol) Numunelerin Deney Sonuçları

50-70	Bitüm Oranı(%)	VMA	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	MarshallStabilite (kg)	Akma	MQ
1	3,5	14,63	53,94	6,75	2,40	1255,92	1,51	833,19
2	4	14,09	64,38	5,02	2,42	1724,97	1,89	1030,34
3	4,5	13,67	75,01	3,42	2,45	1704,43	1,81	956,27
4	5	13,18	87,03	1,73	2,47	1620,24	3,14	523,44
5	5,5	13,25	94,98	0,67	2,48	1299,78	3,02	432,77
6	6	14,10	96,42	0,51	2,47	1142,41	3,88	295,21
7	6,5	14,84	98,41	0,24	2,46	1011,64	4,34	236,37

Çizelge 6.23. %25Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları

Kontrol(%25 Atık) 50-70	Bitüm Oranı(%)	VMA	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	MarshallStabilite (kg)	Akma	MQ
1	3,5	13,56	58,91	5,58	2,43	1780,92	2,12	840,85
2	4	12,92	71,12	3,74	2,46	1787,42	1,61	1124,50
3	4,5	13,08	78,88	2,76	2,46	1517,57	2,11	720,36
4	5	12,76	90,18	1,26	2,48	1347,34	3,23	444,36
5	5,5	13,25	95,01	0,66	2,48	1117,88	3,30	345,69
6	6	14,02	97,07	0,41	2,47	1042,99	4,12	255,27
7	6,5	14,90	97,97	0,31	2,46	871,15	5,80	150,71

Çizelge 6.24. %30 Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları

Kontrol(%30 Atık) 50-70	Bitüm Oranı(%)	VMA	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	MarshallStabilite (kg)	Akma	MQ
1	3,5	14,95	52,52	7,10	2,39	1463,81	1,93	852,69
2	4	14,11	64,28	5,04	2,42	1430,93	1,95	738,43
3	4,5	13,92	73,45	3,70	2,44	1335,13	2,04	674,02
4	5	13,09	87,58	1,63	2,47	1250,93	2,70	504,35
5	5,5	13,52	92,81	0,97	2,47	1124,93	3,51	327,33
6	6	14,47	93,56	0,93	2,46	1012,34	4,37	233,70
7	6,5	15,29	95,03	0,76	2,45	842,84	5,36	163,60

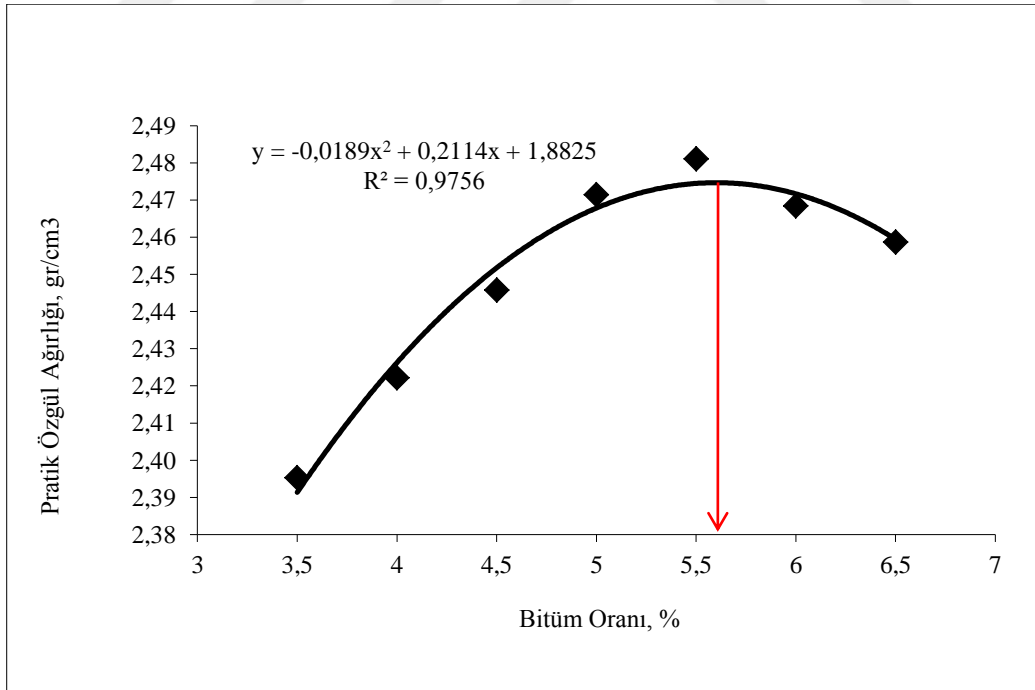
Çizelge 6.25. %40Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları

Kontrol(%40 Atık) 50-70	Bitüm Oranı(%)	VMA	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	MarshallStabilite (kg)	Akma	MQ
1	3,5	13,65	58,65	5,67	2,42	1532,21	1,58	999,21
2	4	13,50	67,60	4,38	2,44	1536,42	2,14	724,11
3	4,5	13,35	77,07	3,07	2,45	1453,86	1,98	768,18
4	5	13,22	86,60	1,77	2,47	1237,31	2,64	475,81
5	5,5	13,58	92,35	1,04	2,47	1070,25	4,15	263,73
6	6	14,42	93,94	0,87	2,46	956,96	5,37	178,85
7	6,5	14,99	97,25	0,41	2,45	853,73	5,60	154,35

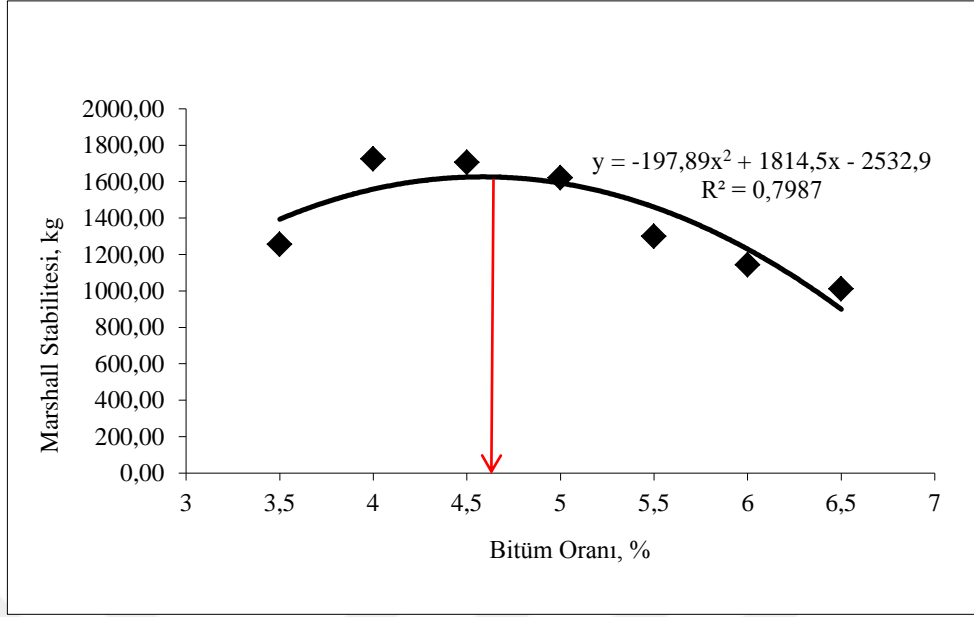
Çizelge 6.26. %50 Plent Atığı Katkılı Numunelerin Deney Sonuçları

Kontrol(%50 Atık) 50-70	Bitüm Oranı(%)	VMA	Bitümle Dolu Boşluk Oranı (%)	Boşluk Oranı (%)	Pratik Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	MarshallStabilite (kg)	Akma	MQ
1	3,5	14,76	53,31	6,89	2,39	1461,80	1,75	871,05
2	4	13,61	66,97	4,50	2,44	1531,41	1,84	866,85
3	4,5	13,55	75,77	3,28	2,45	1372,85	2,07	663,98
4	5	13,70	83,14	2,32	2,46	1112,49	2,14	530,01
5	5,5	13,61	92,10	1,08	2,47	984,47	4,18	237,84
6	6	14,52	93,21	0,99	2,46	905,99	5,56	167,56
7	6,5	15,34	94,69	0,82	2,44	796,17	5,90	141,35

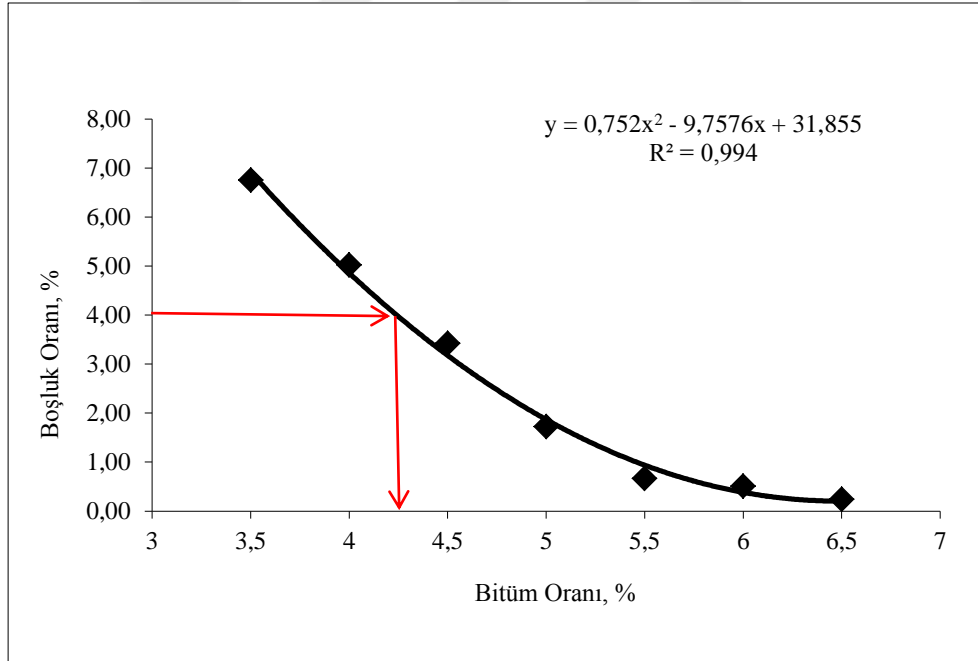
%0, %25, %30, %40 %50 plent atığı katkılı tüm serilerin, pratik özgül ağırlık (PÖA), Marshall stabilitesi (MS), boşluk oranı (BO) ve bitümle dolu boşluk oranı (BDBO), akma, toplam boşluk yüzdesi (VMA), ve Marshall Oranı (MQ) değişim grafikleri çizilmiş ve optimum bitüm oranları tespit edilmiştir (Bkz Şekil 6.20-25 ve Çizelge 6.31).



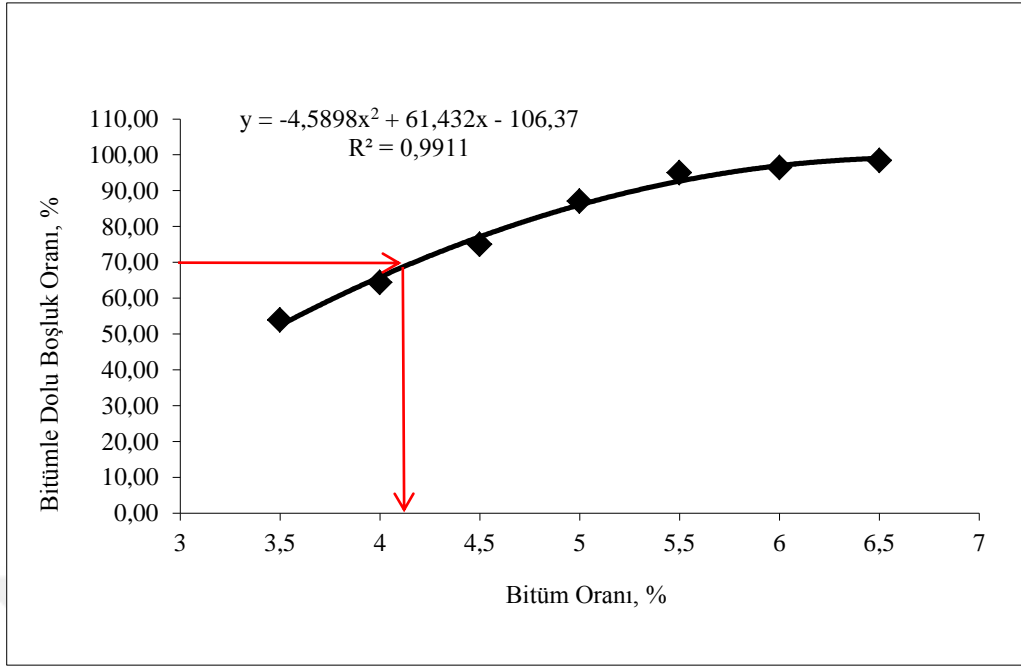
Şekil 6.20. Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (kontrol numunesi için)



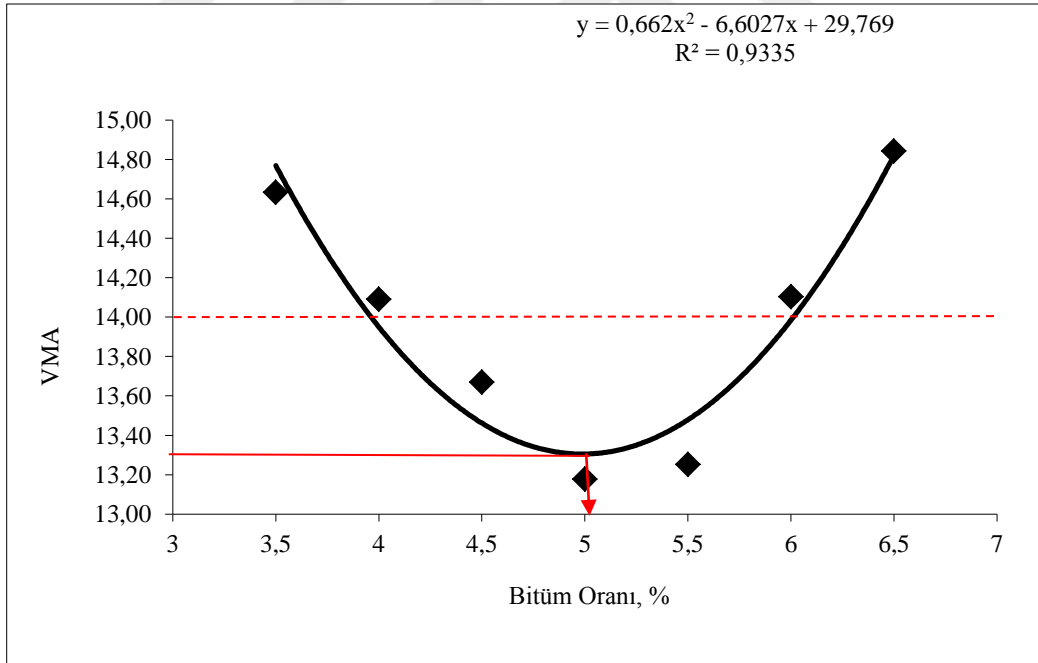
Şekil 6.21. Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (kontrol numunesi için)



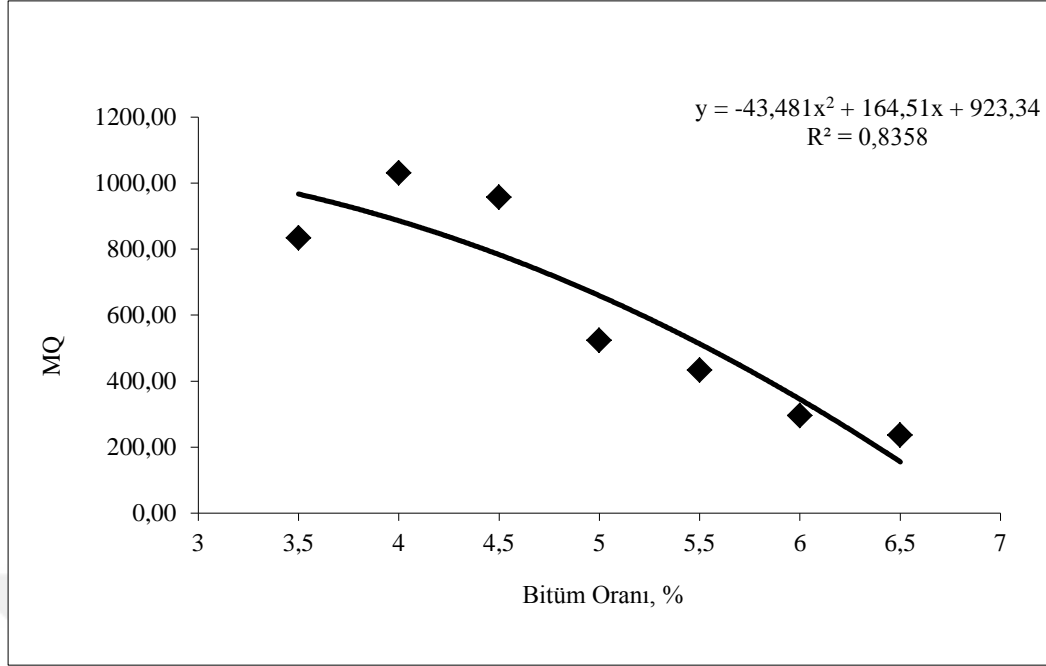
Şekil 6.22. Bitüm oranı-boşluk oranı (kontrol numunesi için)



Şekil 6.23. Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (kontrol numunesi)



Şekil 6.24. Bitüm oranı- VMA (kontrol numunesi)

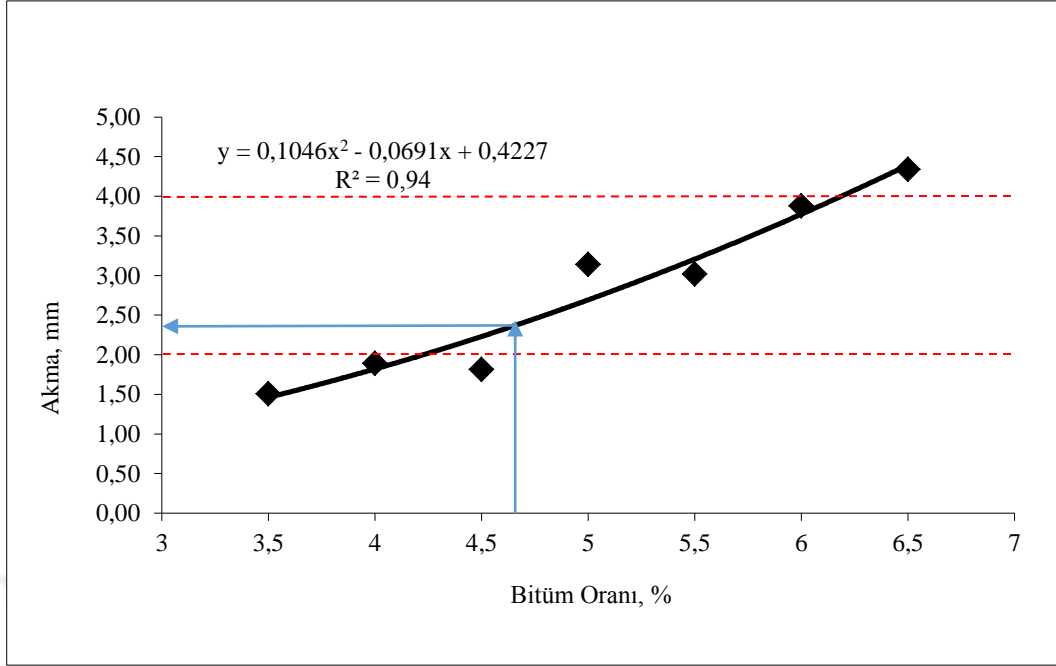


Şekil 6.25. Bitüm oranı-MQ (kontrol numunesi)

Çizelge 6.31. Ortalama bitüm oranı tayini (kontrol numunesi)

	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	VMA	MQ
PÖA	5,59	2,47						
MS	4,59		1640,3					
BO	4,24			4,0				
BDBO	4,17				70,0			
ORT	4,65					2,36	13,38101	748,3954

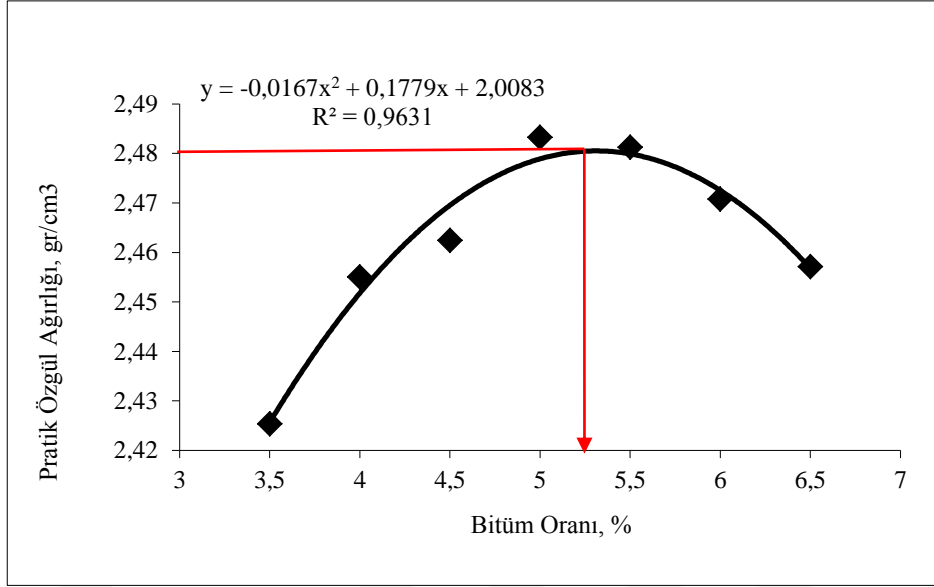
Kontrol numunesi olan 1. Serinin grafikleri incelendiğinde; maksimum stabilite, maksimum birim ağırlık, % 4 boşluk oranı ve %70 asfalt ile dolu boşluk oranı değerlerini sağlayan bitüm yüzdeleri PÖA için %5,59; MS için 4,59; BO için %4,24 BDBO için %4,17 olduğu görülmüştür. Birinci seriye ait optimum bitüm oranı ise %4,65 olduğu tespit edilmiştir (Bkz Şekil 6.20-25 ve Çizelge 6.31).



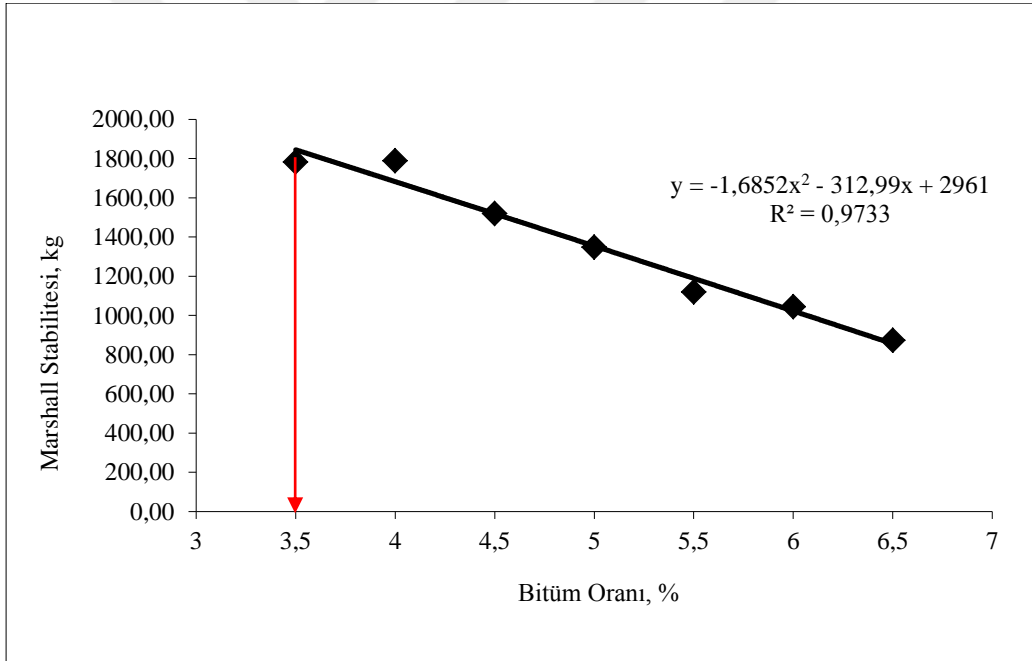
Şekil 6.26 Bitüm oranı-akma miktarı (kontrol numunesi)

Optimum bitüm oranı %4,65 e karşılık gelen akma değeri 2,36 mm bulunmuştur. Sınır değerleri sınırları içinde kaldığı görülmüştür.(Bkz. Şekil 6.26)

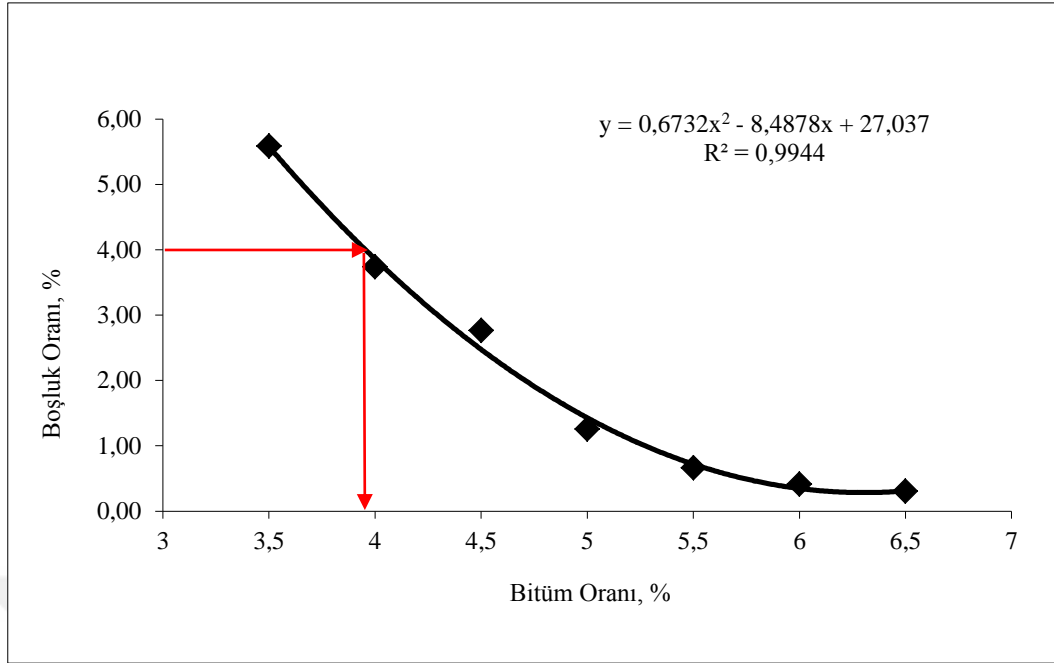
Akma değeri; BSK kaplamalarda dingil yükleri altındaki davranışlarını belirleyen değeridir. Bu değer baz alınarak kaplamanın plastiklik ve esneklik özellikleri kontrol edilir. Marshall akma değeri ise sıkıştırılmış karışımlarda içsel sürtünmenin ölçüsüdür. Şartnamelerde belirtilen en alt akma değeri karışımın dayanıklılığını ve gevrekliğini, en yüksek akma değeri ise karışımın plastikliğini ve kullanılabilir en yüksek bağlayıcı yüzdesini kontrol eder (Umar ve Ağar, 1991).



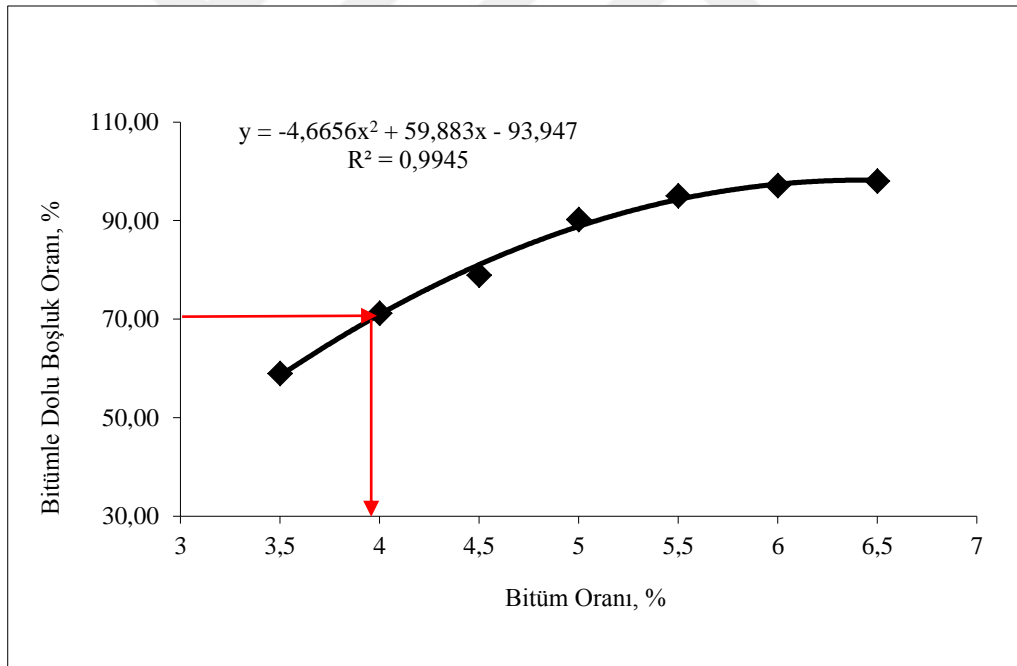
Şekil 6.27 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%25 plent atığı katkı)



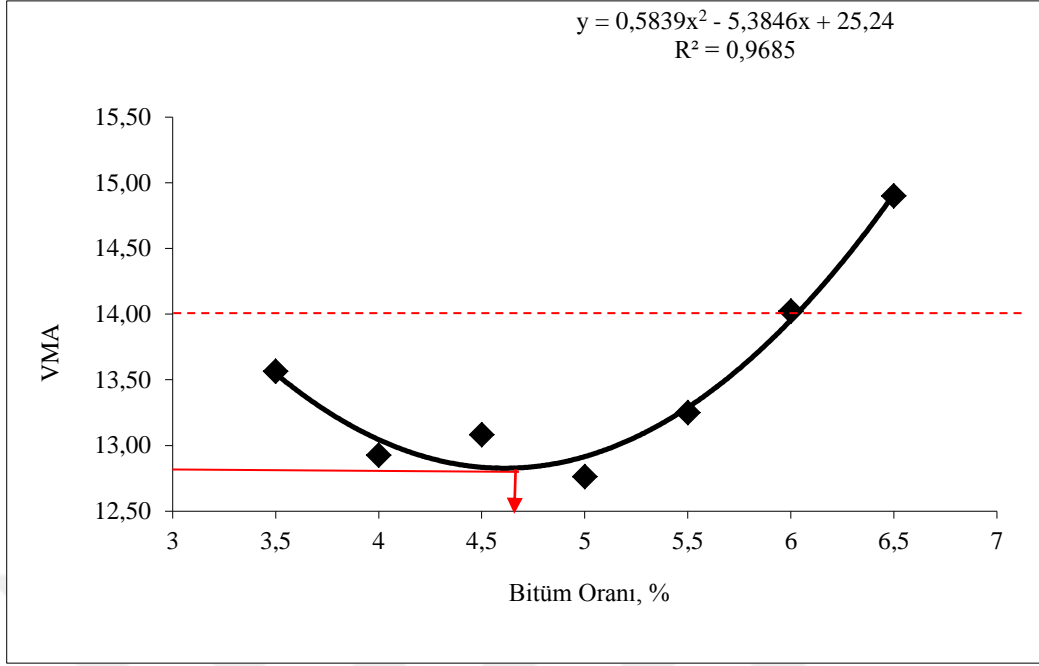
Şekil 6.28 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%25 plent atığı katkı)



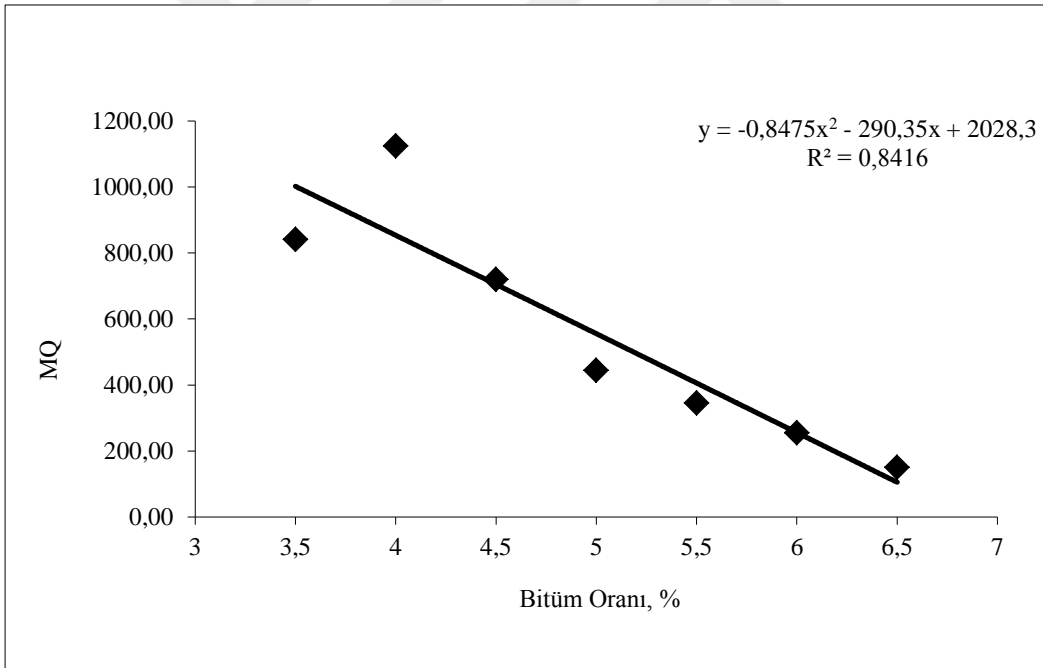
Şekil 6.29 Bitüm oranı-boşluk oranı (%25 plent atığı katkıli)



Şekil 6.30 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%25 plent atığı katkıli)



Şekil 6.31 Bitüm oranı- VMA (%25 plent atığı katkı)

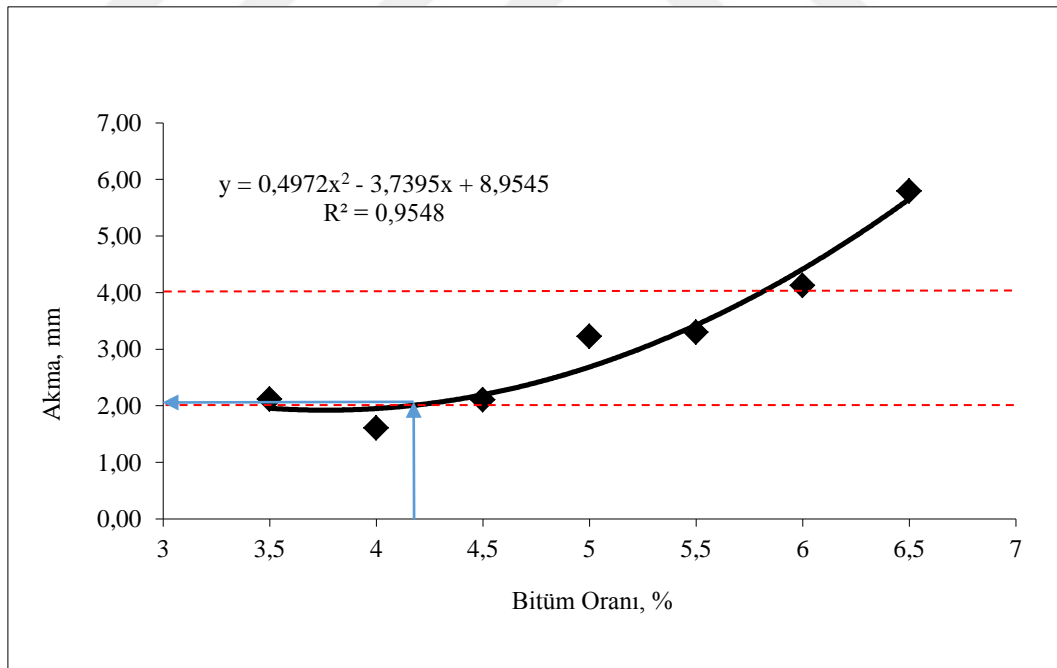


Şekil 6.32 Bitüm oranı-MQ (%25 plent atığı katkı)

Çizelge 6.32 Ortalama bitüm oranı tayini (%25 plent atığı katkılı)

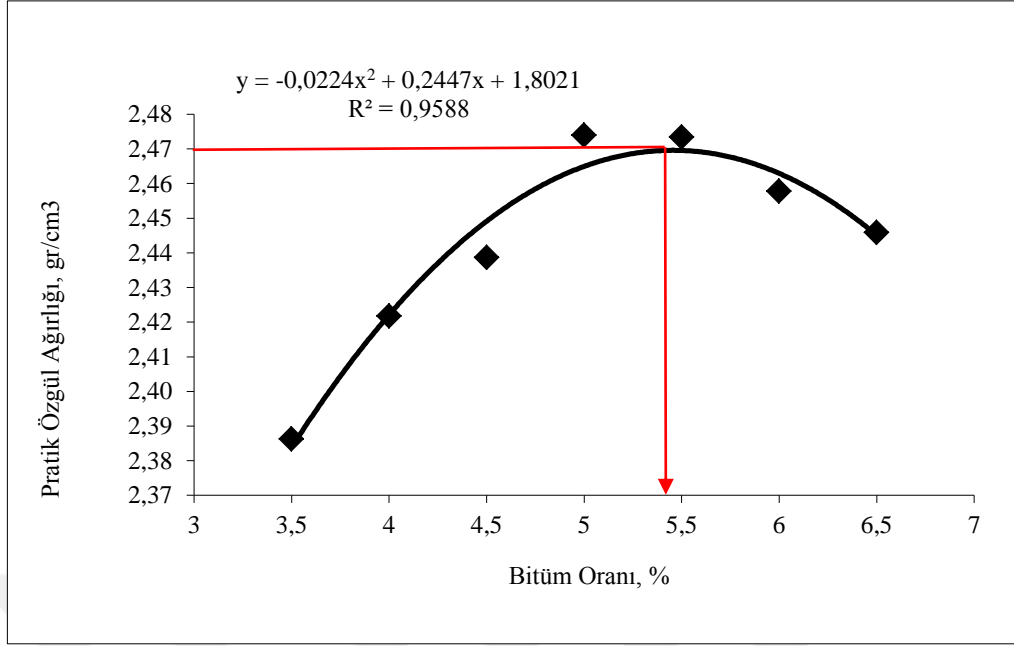
	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	VMA	MQ
PÖA	5,33	2,48						
MS	3,50		1844,9					
BO	3,95			4,0				
BDBO	3,96				70,0			
ORT	4,18					2,01	12,93207	798,382

Ağırlıkça %25 oranında 0,30 mm elek altı agrega plent atığı yer değiştirilerek oluşturulan briketlerde; kabul edilebilir maksimum MS ve maksimum PÖA, % 4 BO ve %70 BDBO değerlerini sağlayan bitüm yüzdeleri PÖA için %5,33; MS için 3,50; BO için %3,95; BDBO için %3,96 olduğu görülmüştür. İkinci seriye ait optimum bitüm oranı ise %4,18 olduğu tespit edilmiştir. (Bkz Şekil 6.27-32 ve Çizelge 6.3).

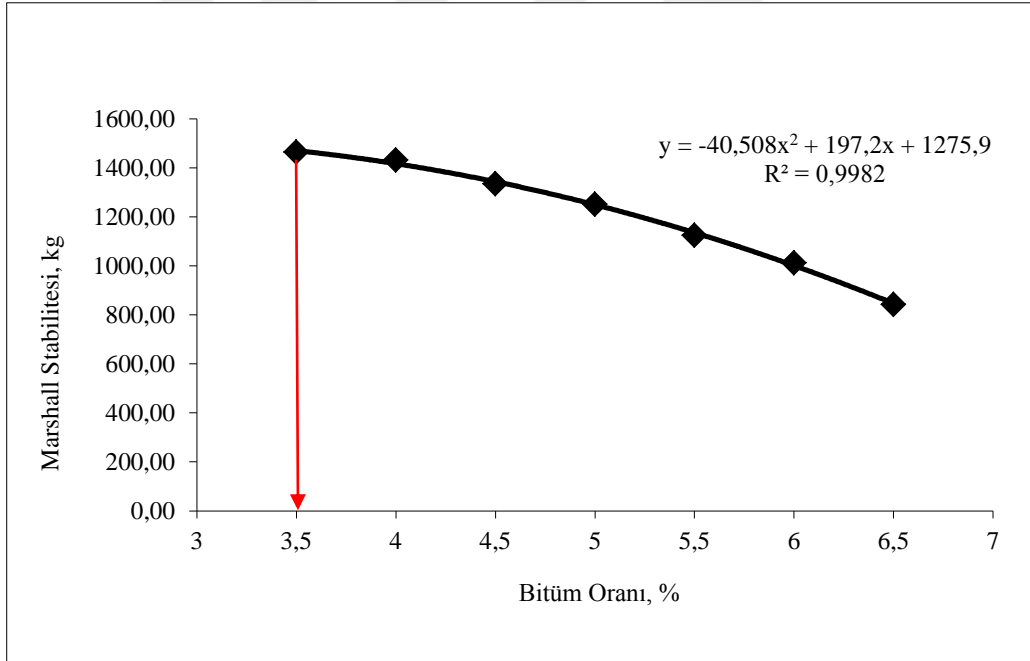


Şekil 6.33 Bitüm oranı-akma miktarı (%25 plent atığı katkılı)

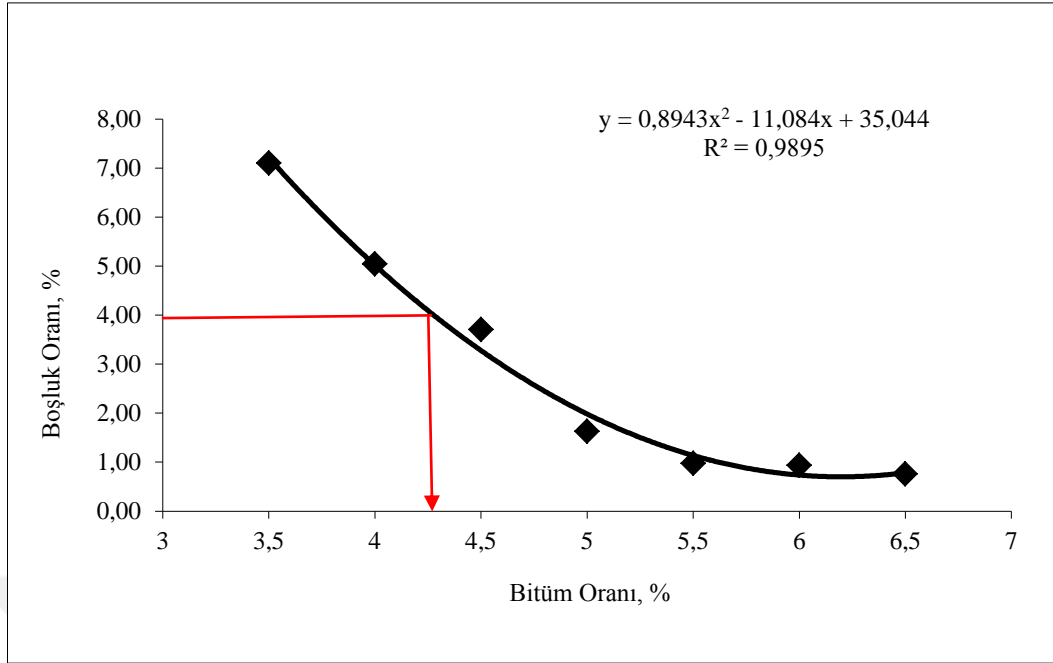
Optimum bitüm oranı 5,67' ye karşılık gelen akma değeri **2,01 mm** bulunmuştur. Sınır değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. (Bkz. Şekil 6.33)



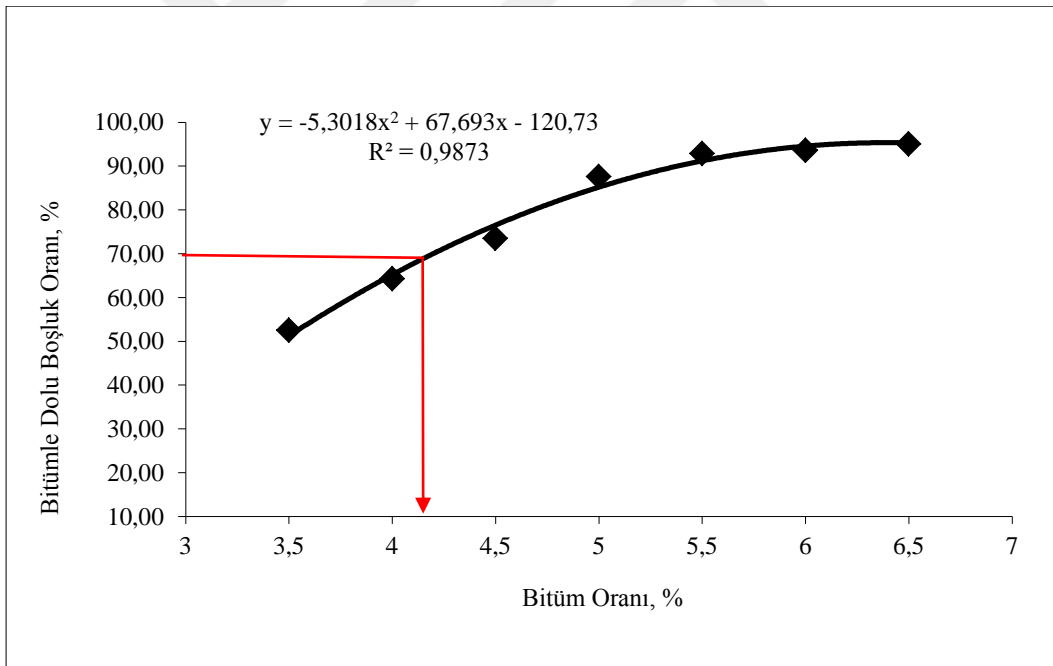
Şekil 6.34 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%30 plent atığı katkılı)



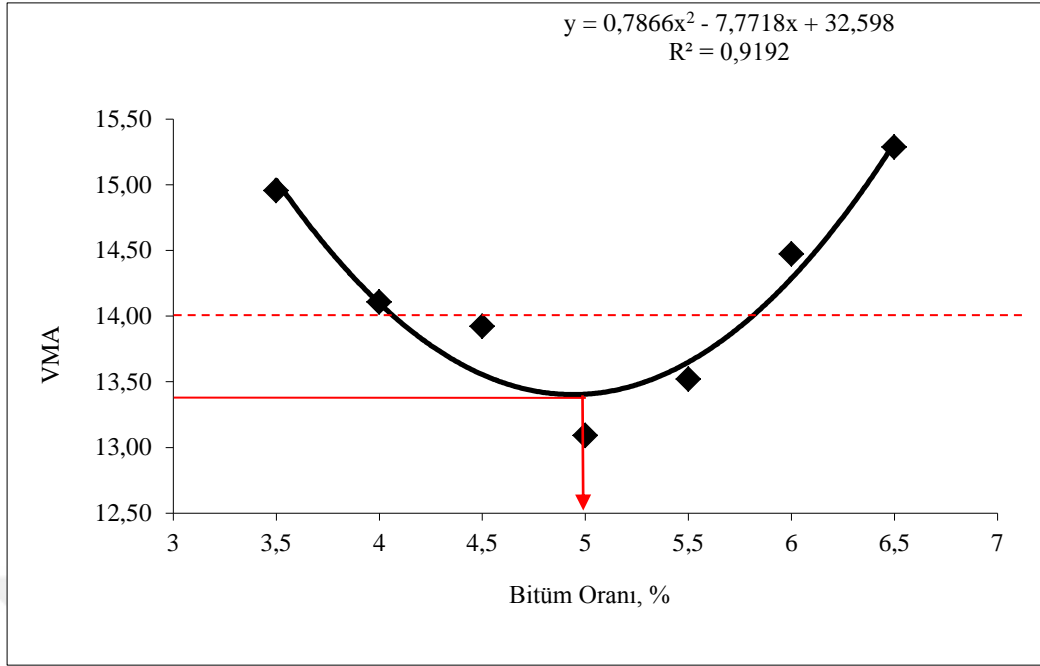
Şekil 6.35 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%30 plent atığı katkılı)



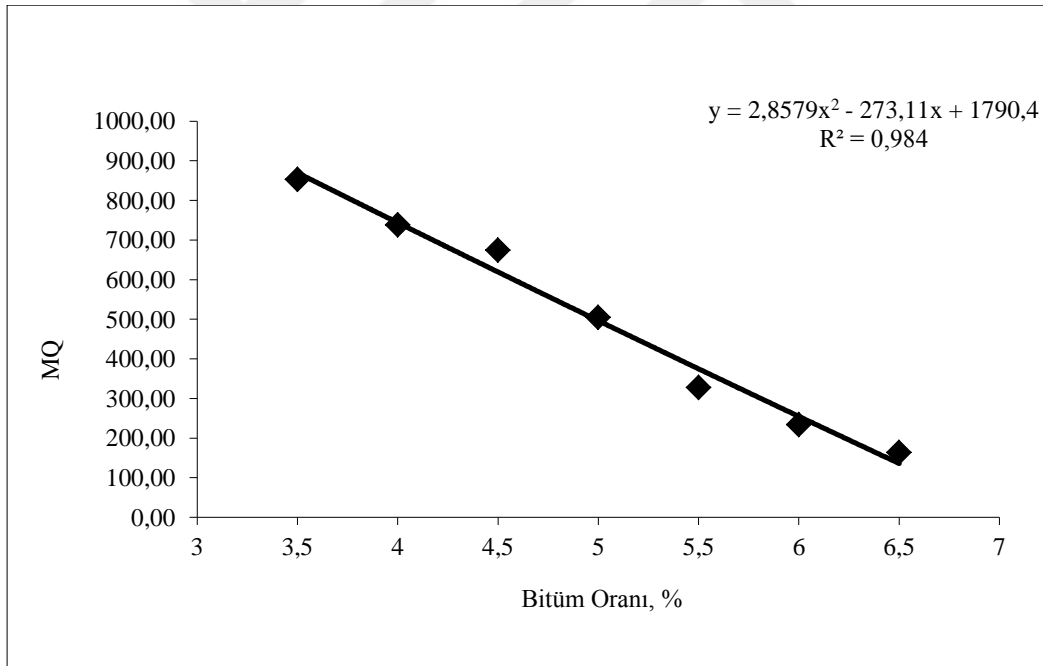
Şekil 6.36 Bitüm oranı-boşluk oranı (%30 plent atığı katkılı)



Şekil 6.37 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%30 plent atığı katkılı)



Şekil 6.38 Bitüm oranı- VMA (%30 plent atığı katkı)

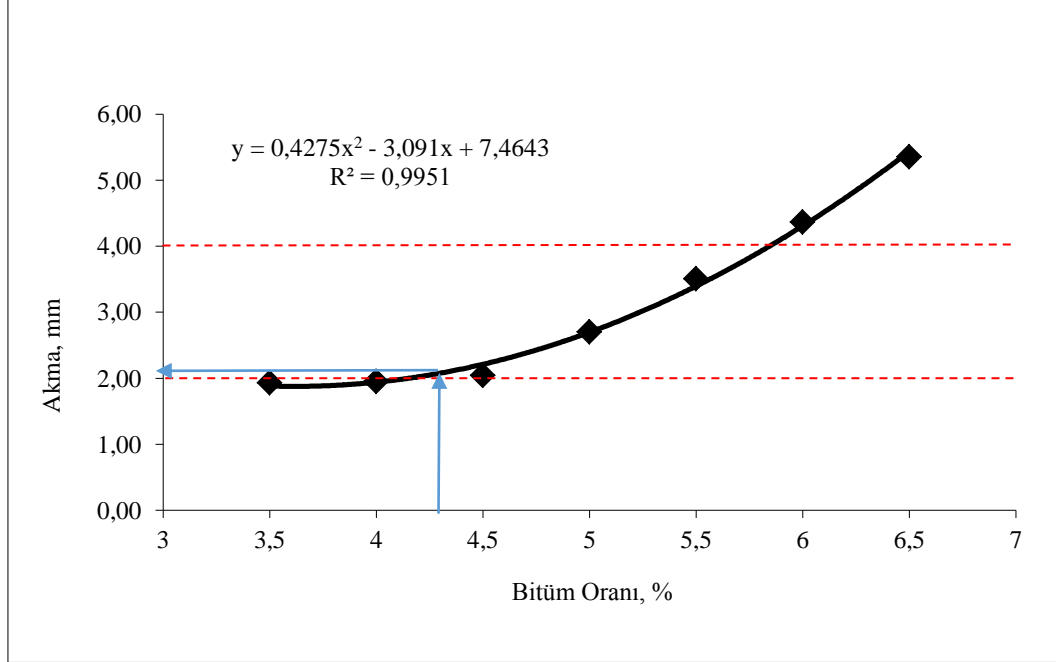


Şekil 6.39 Bitüm oranı-MQ (%30 plent atığı katkı)

Çizelge 6.33 Ortalama bitüm oranı tayini (%30 plent atığı katkılı)

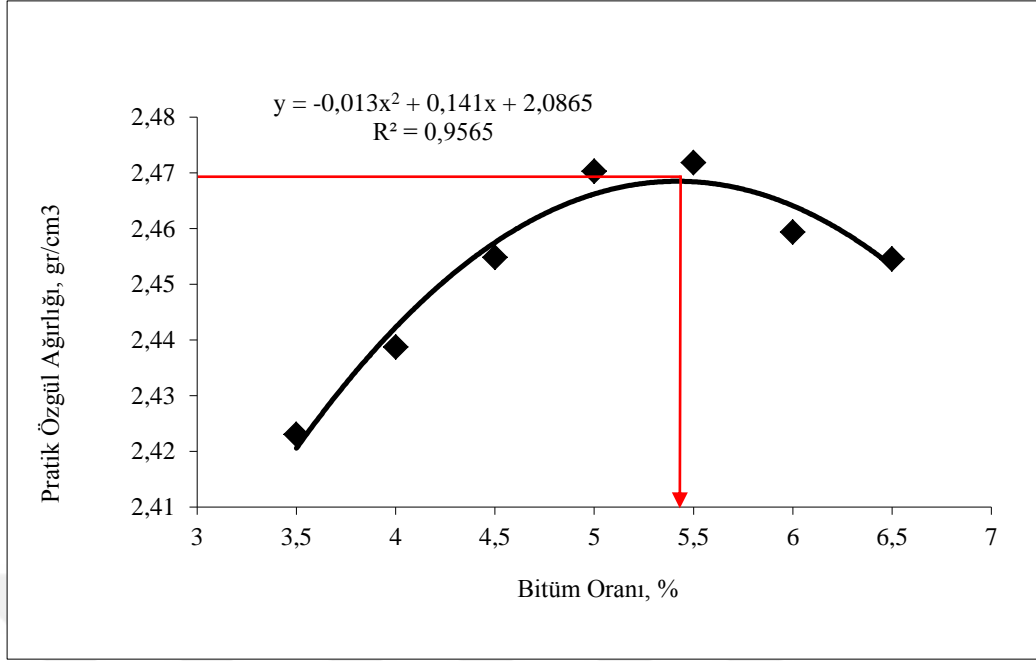
	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	VMA	MQ
PÖA	5,46	2,47						
MS	3,50		1469,9					
BO	4,28			4,0				
BDBO	4,20				70,0			
ORT	4,36					2,11	13,66688	649,1045

Ağırlıkça %30 oranında 0,30 mm elek altı agrega plent atığı yer değiştirilerek oluşturulan briketlerde; kabul edilebilir maksimum MS ve maksimum PÖA, % 4 BO ve %70 BDBO değerlerini sağlayan bitüm yüzdeleri PÖA için %5,46; MS için 3,50; BO için %4,28 ; BDBO için %4,20 olduğu görülmüştür. Üçüncü seriye ait optimum bitüm oranı ise %4,36 olduğu tespit edilmiştir (Bkz Şekil 6.34-39 ve Çizelge 6.33).

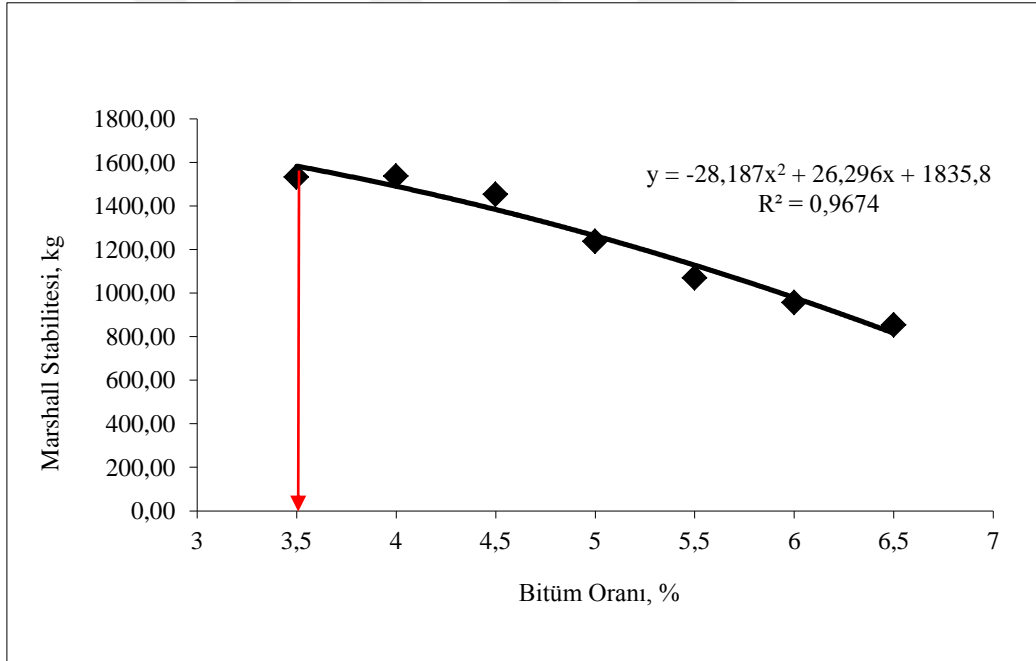


Şekil 6.40 Bitüm oranı-akma miktarı (%30 plent atığı katkılı)

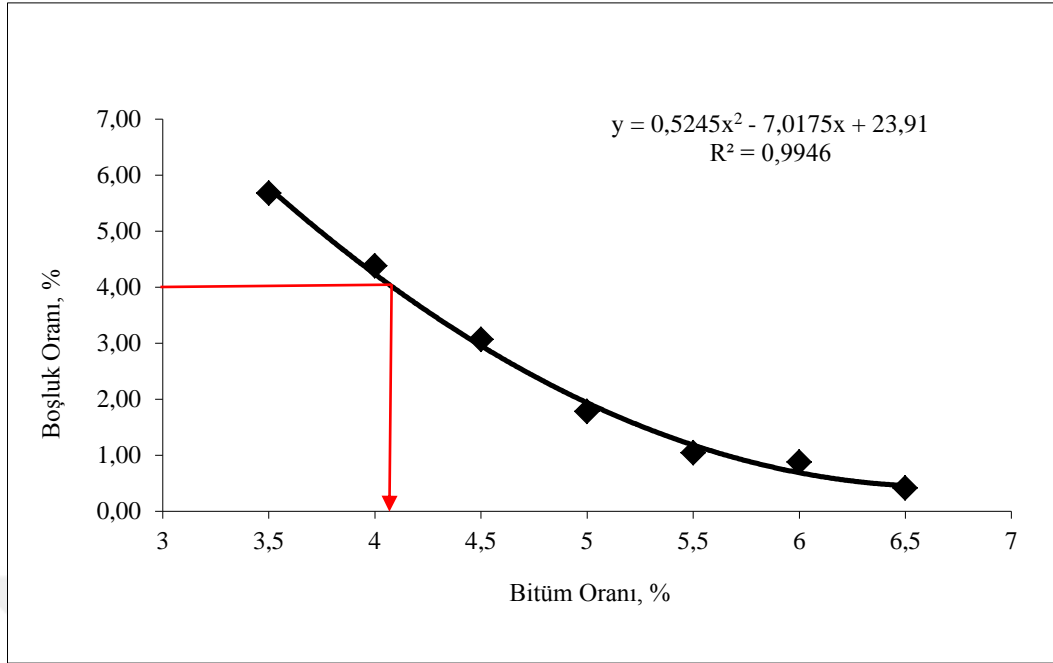
Optimum bitüm oranı % 4,36' ya karşılık gelen akma değeri **2,11 mm** bulunmuştur. Sınır değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. (Bkz. Şekil 6.40)



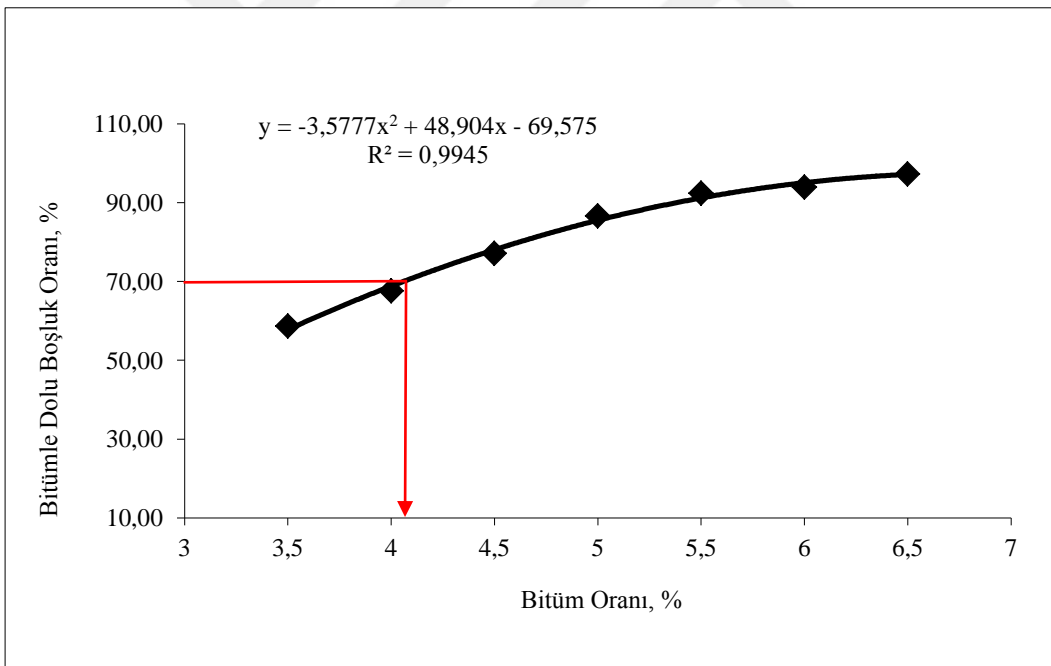
Şekil 6.41 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%40 plent atığı katkılı)



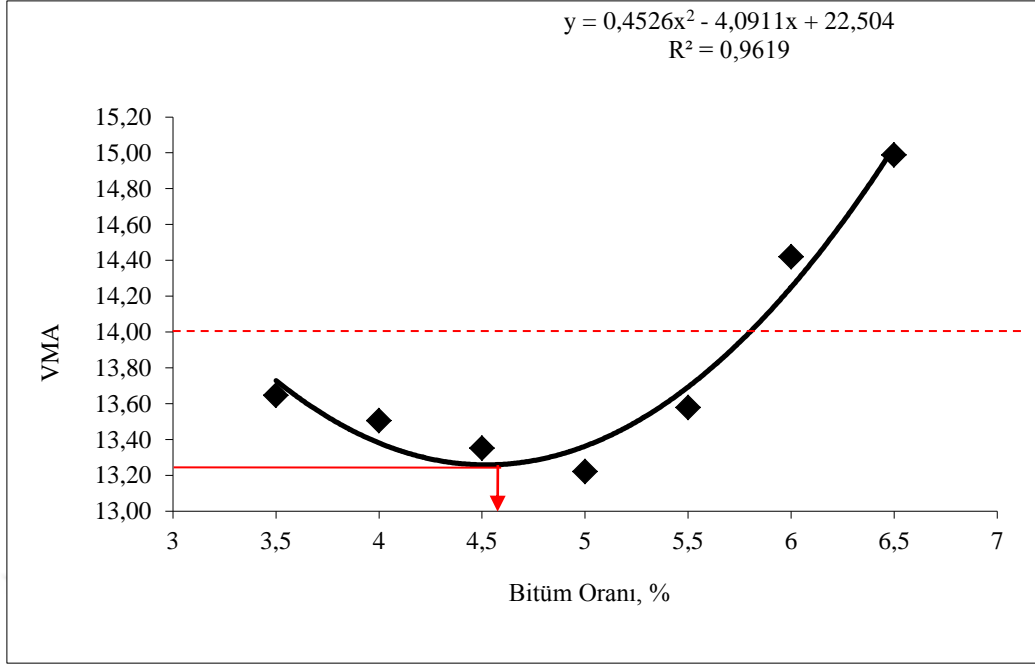
Şekil 6.42 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%40 plent atığı katkılı)



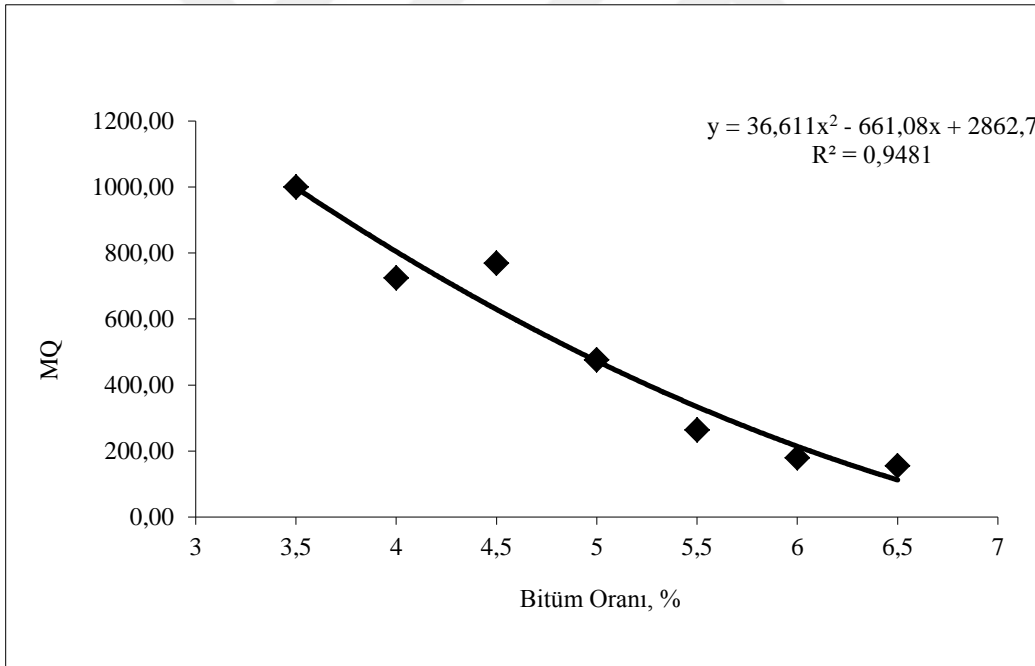
Şekil 6.43 Bitüm oranı-boşluk oranı (%40 plent atığı katkı)



Şekil 6.44 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%40 plent atığı katkı)



Şekil 6.45 Bitüm oranı- VMA (%40 plent atığı katkılı)

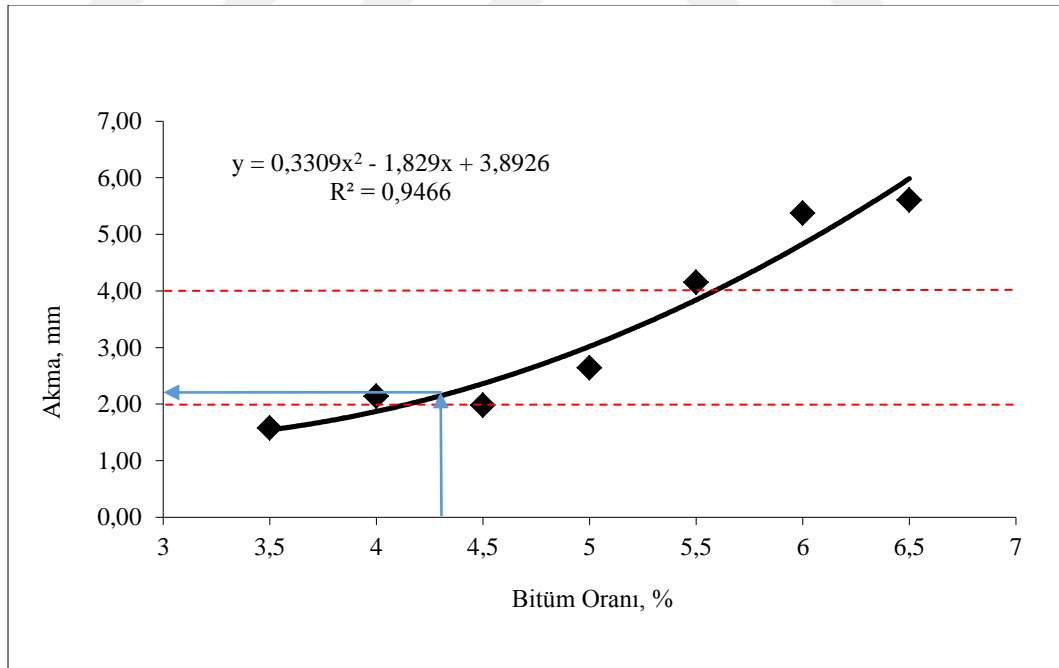


Şekil 6.46 Bitüm oranı-MQ (%40 plent atığı katkılı)

Çizelge 6.34 Ortalama bitüm oranı tayini (%40 plent atığı katkılı)

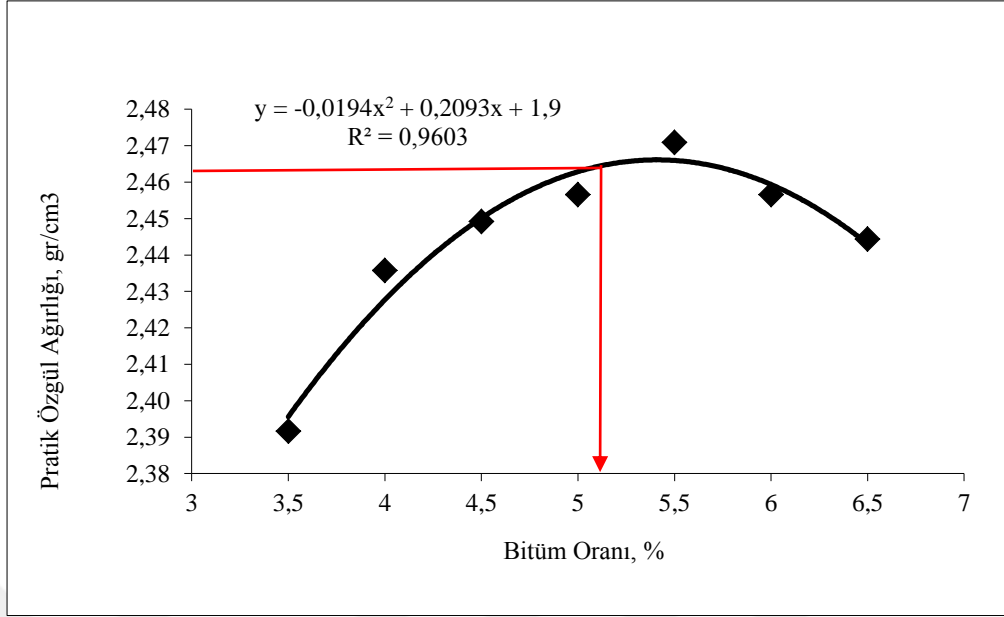
	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	VMA	MQ
PÖA	5,42	2,47						
MS	3,50		1582,5					
BO	4,08			4,0				
BDBO	4,06				70,0			
ORT	4,27					2,11	13,28798	708,5889

Ağırlıkça %25 oranında 0,30 mm elek altı agrega plent atığı yer değiştirilerek oluşturulan briketlerde; kabul edilebilir maksimum MS ve maksimum PÖA, % 4 BO ve %70 BDBO değerlerini sağlayan bitüm yüzdeleri PÖA için %5,42; MS için 3,50; BO için %4,08; BDBO için %4,06 olduğu görülmüştür. Dördüncü seriye ait optimum bitüm oranı ise %4,27 olduğu tespit edilmiştir. (Bkz Şekil 6.41-46 ve Çizelge 6.34).

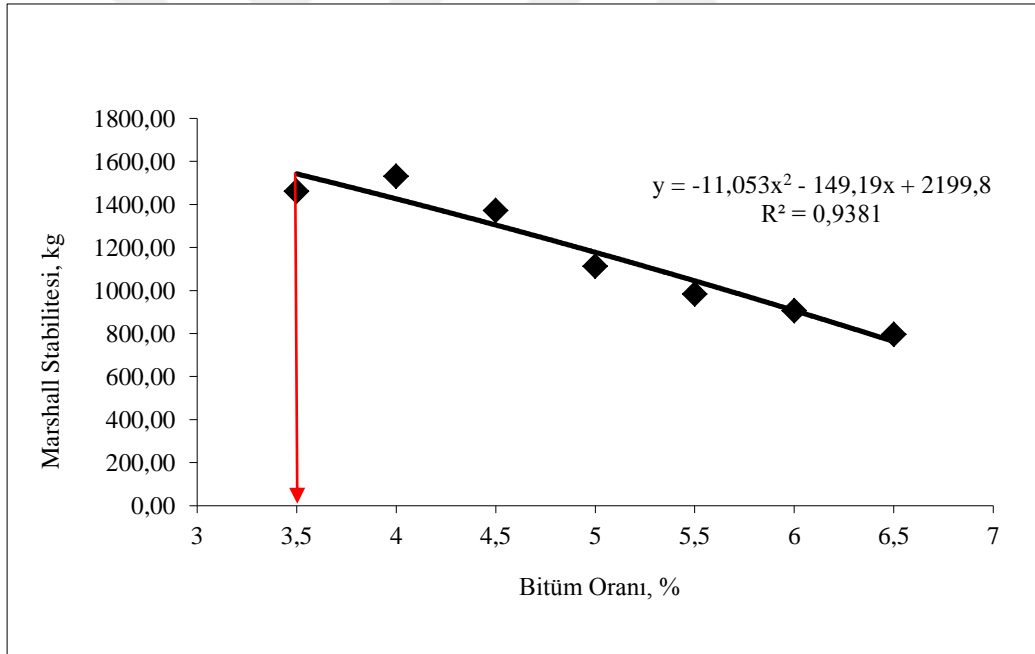


Şekil 6.47 Bitüm oranı-akma miktarı (%40 plent atığı katkılı)

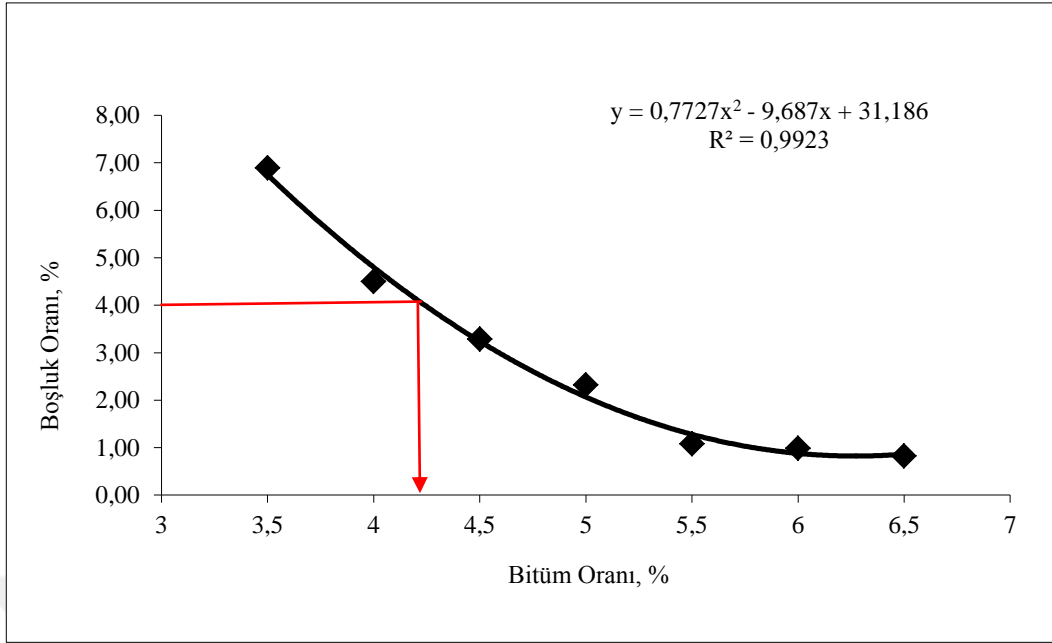
Optimum bitüm oranı 4,27 ye karşılık gelen akma değeri **2,11 mm** bulunmuştur. Sınır değerleri sağladığı tespit edilmiştir. (Bkz. Şekil 6.47)



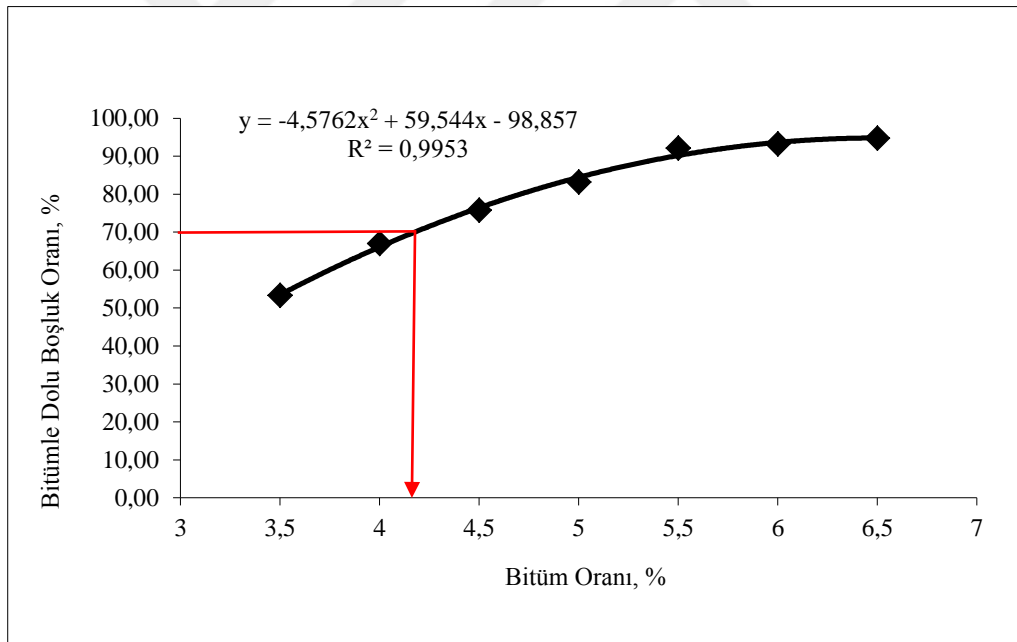
Şekil 6.48 Bitüm oranı- pratik özgül ağırlık (%50 plent atığı katkılı)



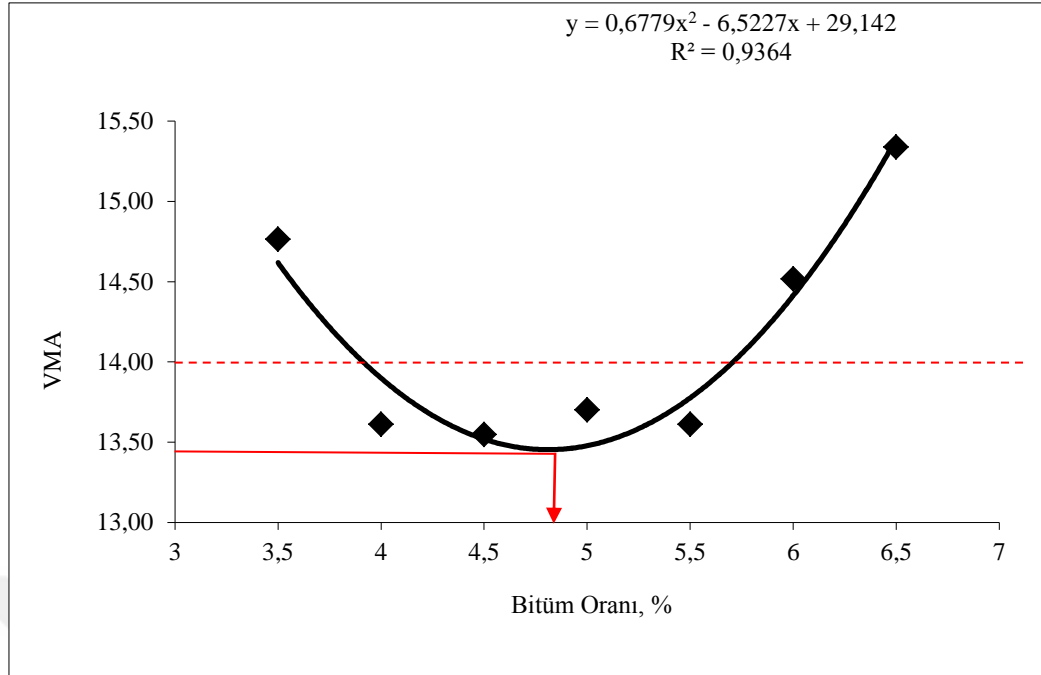
Şekil 6.49 Bitüm oranı-Marshall stabilitesi (%50 plent atığı katkılı)



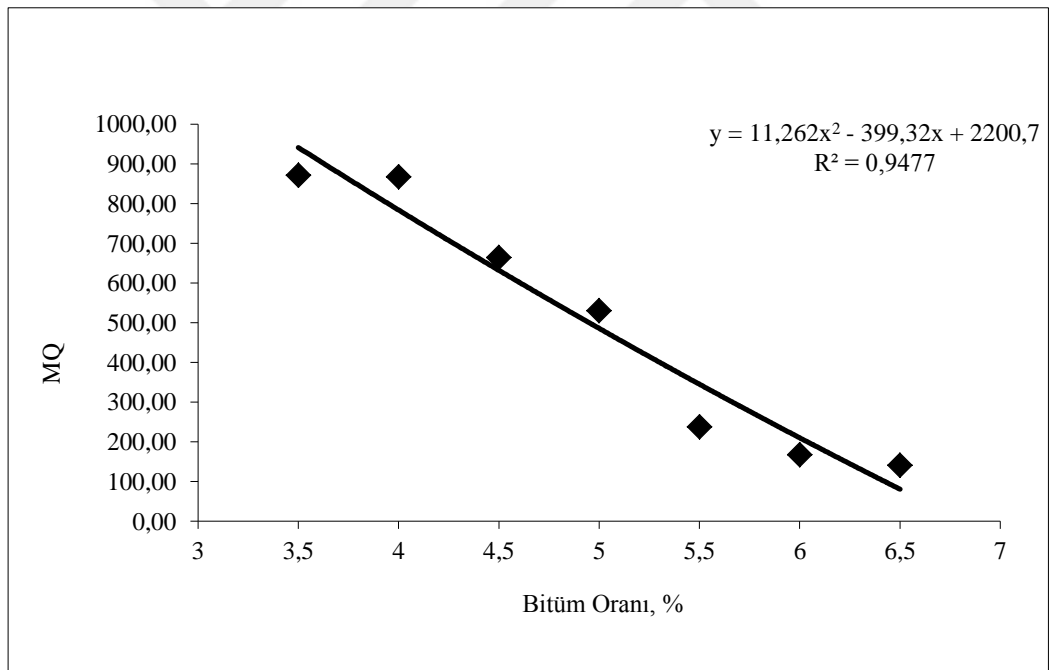
Şekil 6.50 Bitüm oranı-boşluk oranı (%50 plent atığı katkılı)



Şekil 6.51 Bitüm oranı-bitümle dolu boşluk oranı (%50 plent atığı katkılı)



Şekil 6.52 Bitüm oranı- VMA (%50 plent atığı katkılı)

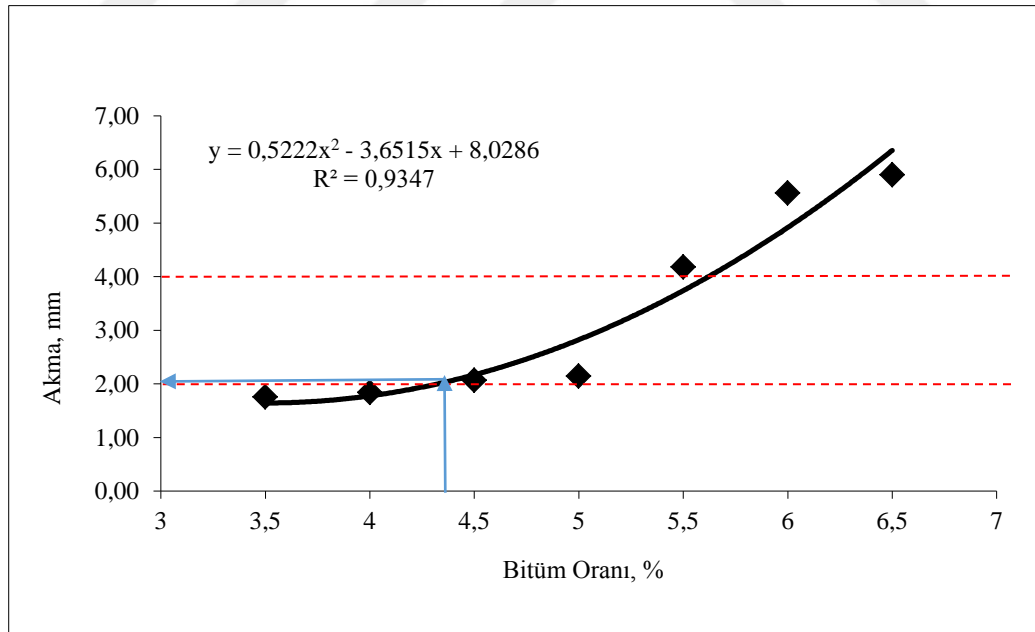


Şekil 6.53 Bitüm oranı-MQ (%50 plent atığı katkılı)

Çizelge 6.35 Ortalama bitüm oranı tayini (%50 plent atığı katkılı)

	Oran	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	VMA	MQ
PÖA	5,39	2,46						
MS	3,50		1542,2					
BO	4,24			4,0				
BDBO	4,18				70,0			
ORT	4,33					2,01	13,6099	683,3985

Ağırlıkça %50 oranında 0,30 mm elek altı agrega plent atığı yer değiştirilerek oluşturulan briketlerde; kabul edilebilir maksimum MS ve maksimum PÖA, % 4 BO ve %70 BDBO değerlerini sağlayan bitüm yüzdeleri PÖA için %5,39; MS için 3,50; BO için %4,24; BDBO için %4,18 olduğu görülmüştür. Beşinci seriye ait optimum bitüm oranı ise %4,33 olduğu tespit edilmiştir (Bkz Şekil 6.48-53 ve Çizelge 6.35).



Şekil 6.54 Bitüm oranı-akma miktarı (%50 plent atığı katkılı)

Optimum bitüm oranı 4,33' ye karşılık gelen akma değeri de **2,01 mm** bulunmuştur. (Bkz. Şekil 6.54)

6.3.2. Statik ve dinamik sünme deneyi (TS EN 3720,12697)

6.3.2.1. Deneyin amacı

BSK' larda sünme deneyleri ile tekrarlı ve sabit trafik yüklerinden kaynaklı kalıcı deformasyon ve yorulma özelliklerinin tespiti sağlanmaktadır. Yoğun asfalt betonu karışımlarına uygulanabildiği gibi karot numunelerinde uygulanabilmektedir. Deneylerden elde edilen sünme modülü değeri, BSK' ların düşük sıcaklıklardaki çatlama potansiyelinin veya tekerlek izinin hesaplanması ve karışım rijitliğinin tahmininde de kullanılabilir (Ektaş 2011).

6.3.2.2. Deney aletleri

Klimatik kabin: Numuneyi deney için uygun sıcaklıkta tutacak etüv. (Bkz Şekil 6.59)

Sünme cihazı: Yatayda ve düşeyde numuneyi belli bir zaman boyunca yük uygulayabilen cihaz.

Ara depolama kompresörü: Deney sırasında hava basıncının sürekliliğini sağlamak için kullanılır.

Veri İşlemci (data Looger): Yükleme başlığı ile bilgisayar arasında veri akışını sağlayan elektronik düzendir.

Bilgisayar:Yazılımın çalışmasını sağlayacak nitelikte bilgisayar

Kompresör: Sünme deneyinin gerçekleşmesi için gerekli hava basıncı sağlayacak kapasiteli kompresör düzeneği

Kesintisiz güç kaynağı: Elektrik kesilmesi durumuna karşı en az 30 dakika deneyin devam etmesini sağlayacak kapasiteye sahip güç kaynağıdır.

LVDT (Linear Variable Displacement Transducers): Düşey deformasyonları ölçmeye yarar olanlardır. En ki adet olmalıdır.

Yükleme başlığı: En az 14kN yük dayanıklı başlık seti



Şekil 6.59 İklimlendirme kabini, güç kaynağı, veri işlemci, bilgisayar

6.3.2.3. Deneğin yapılışı

Deneğe başlanmadan önce numunelere ait özgül ağırlıklar gerekli ölçümlerle hesaplanır. Etüve yerleştirilen numuneler deney için 50°C sıcaklığa gelinceye kadar bekletilir ve sünme cihazına yerleştirilir. Ana kompresör ile yede depolama kompresörü çalıştırılır ve 8 atm basınç oluşması sağlanır. Deneyde kullanılan yazılıma numune ile ilgili bilgiler girilir. (Özen, 2005)

Statik sünme deneyinde numuneye 4200 sn boyunca 500 kPa sabit yük uygulanır. Numuneler için 4200 sn yükleme ve %10 deformasyon belirlenebilir. (Karacasu, 2016)

6.3.2.4. Hesaplama

Her numune için 1., 10., 100., 1000. ve 3600. sn.'deki sünme modülü değerleri hesaplanır ve deformasyon süre eğrisi de çizilir.

Tek eksenli basınç numunelerine ait hesaplamalar;

$$E_{c(t)} = \frac{\sigma_c}{\epsilon_c(t)} \quad (6.25)$$

Bu formülde;

$E_c(t)$: t anındaki sünme modülü (psi).

σ_c : Numunelere uygulanan basınç gerilmesi (psi).

$$E_c(t) = \frac{\Delta v(t)}{l} \quad (6.26)$$

Bu formülde;

$E_c(t)$: t anında tek eksenle oluşan deformasyon (in/in).

l : Numune yüksekliği (in).

$\Delta v(t)$: t anında düşey yönde oluşan yer değiştirme (in).

Dolaylı Çekme Gerilmesi numunelerine ait hesaplamalar;

$$E_c(t) = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_t(t)} \quad (6.27)$$

Bu formülde;

$E_c(t)$: t anındaki sünme modülü (psi).

σ_c : Numunelere uygulanan dolaylı çekme gerilmesi (psi).

$$\sigma_t(t) = \Delta v(t) \times \frac{(0,03896 + V \times 0,1185)}{(0,0673 + V \times 0,2494)}$$

$$\sigma_t = 0,156 \times \frac{P}{h} \quad (6.28)$$

Bu formülde;

$\Delta v(t)$: t anındaki yatay yer değiştirme (in).

V : Poisson oranı

$$\sigma_t = \frac{\Delta r(3600)}{\Delta v_h(3600)} \quad (6.29)$$

Bu formülde;

X : Numunenin geriye dönüş kabiliyeti.

$\Delta r(3600)$: Yükün uygulandığı ikinci 3600 sn deki Deney sonunda tek eksenli basınç deneyinde geriye dönen düşey deformasyon veya dolaylı çekme deneyi için geriye dönen yatay deformasyondur.

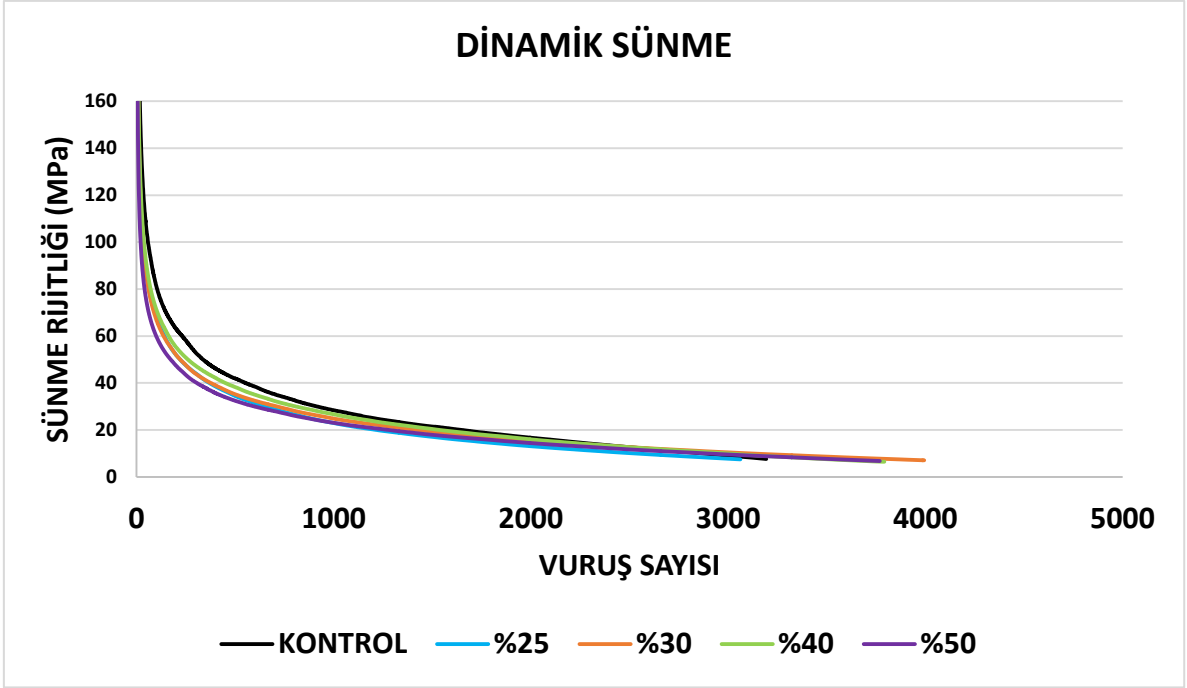
$\Delta v_h(3600)$: 1. 3600 sn.'nin sonundaki tek eksenli deneydeki düşey veya dolaylı çekme deneyindeki yatay deformasyondur.

6.3.2.5. Tez kapsamında yapılan dinamik sünme deneyi

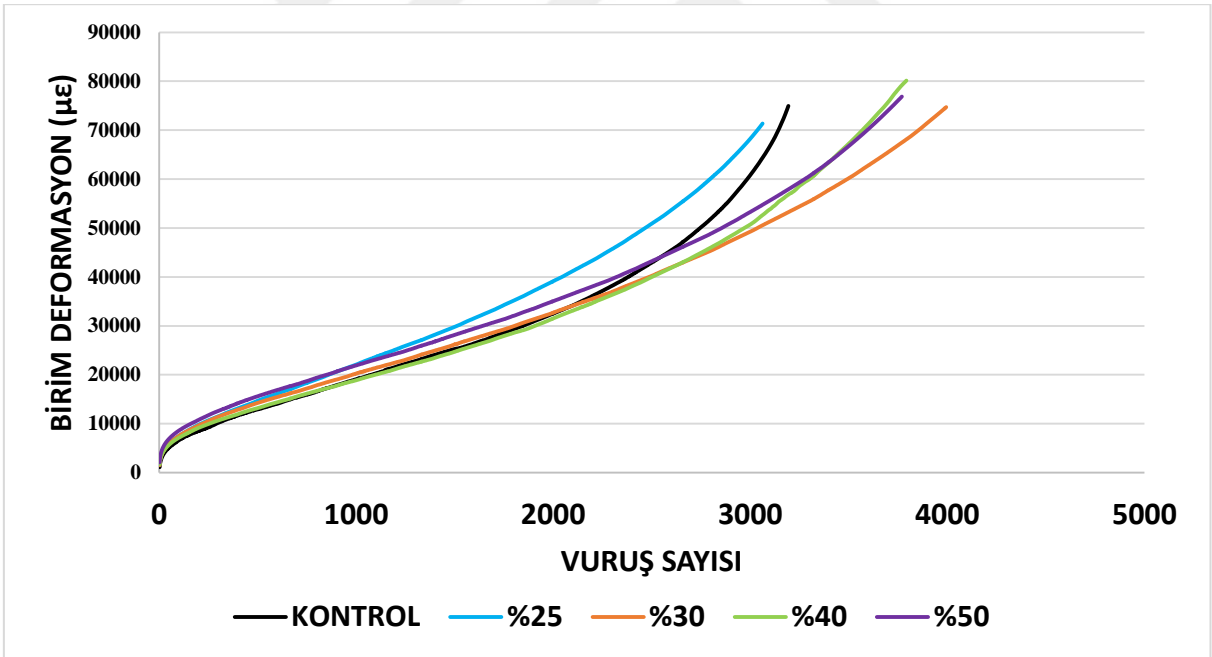
Gradasyon oranlarına göre ağırlıkça %0, %25, %30, %40, %50 oranlarında 0,30 mm elek altı agrega yerine plent atığı yer değiştirilerek dinamik sünme deneyinde kullanılmak üzere tüm seriler için 3'er adet olmak üzere toplam 15 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler yükleme işlemine başlamadan 24 saat 50 °C'ye ayarlı kabinde bekletilmiş daha sonra 500 ms süre ile 500 kPa'lık yükle yüklü ve 1500 ms boyunca yüksüz olarak deneye tabi tutulmuştur. Deney tamamlandıktan sonra bilgisayar yardımıyla elde edilen excel formatındaki verilere göre, aynı oranda plent katkılı numune sonuçlarının ortalaması alınıp vuruş sayısına bağlı dinamik sünme modülü ve birikimli deformasyon grafikleri çizilmiştir.

Deneyde Marshall tasarım yöntemiyle tespit edilen optimum bitüm oranlarında bitüm katılmıştır. Seriler içinde diğer ikisinden çok farklı sonuçlar veren numune varsa bu değerler ortalamaya dahil edilmemiştir. Tekrar döküm yapılarak deney tekrarlanmıştır.

Dinamik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği incelendiğinde ilk yüklemelerde, kontrol numunelerinin rijitlik modül değerlerinin azda olsa plent atığı kullanılan numunelere kıyasla yüksek çıktığı görülmüştür. 1500 vuruştan sonra numunelerin tamamında sünme değerlerinin yakın olduğu görülmüştür. Tekrarlı trafik yükleri altındaki BSK kaplamalarda plent atığının kullanılmasının sünekliği çok fazla etkilemediği tespit edilmiştir. (Bkz. Şekil 6.55)



Şekil 6.55 Dinamik sünme modülü- vuruş sayısı



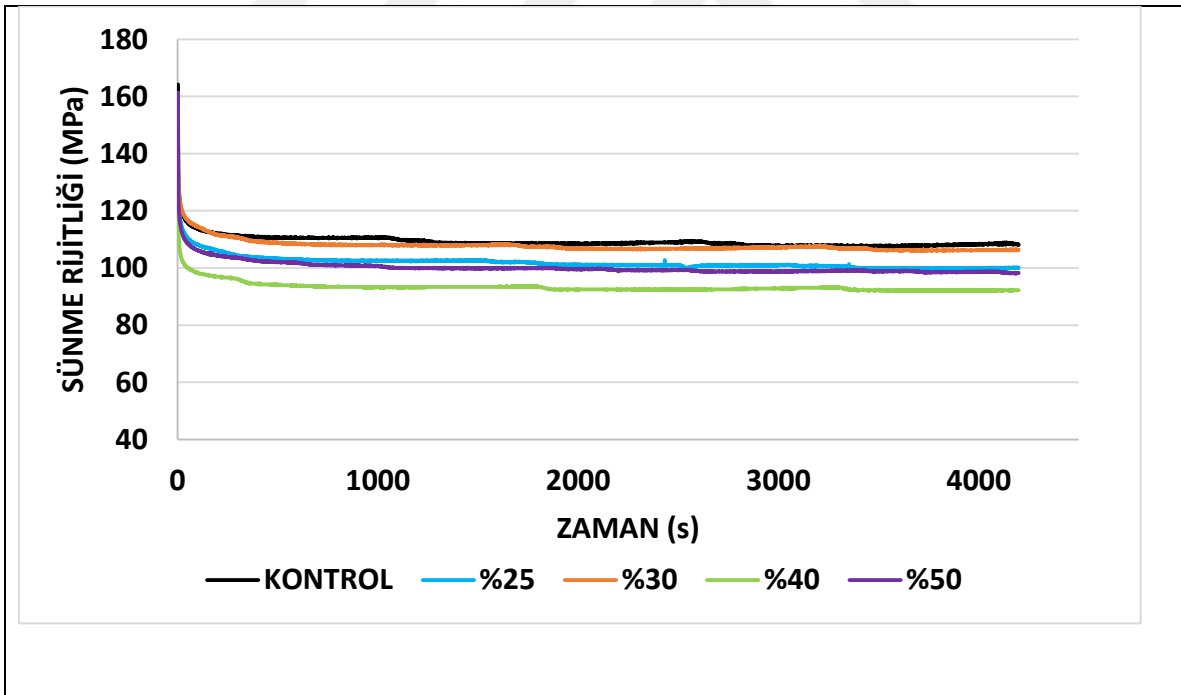
Şekil 6.56 Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı

Birikimli şekil değiştirme miktarı- vuruş sayısı grafiği incelendiğinde ilk yüklemelerde kontrol numunelerinde, plent atığı kullanılan numunelere kıyasla deformasyon değerinin düşük olduğu görülmektedir. Genel olarak 200 vuruşa kadar tüm numunlerin deformasyon değerleri birbirine yakındır. 3000 vuruştan sonra %25 oranında

plent atığı kullanılan numuneler hariç diğer katkılı numunelerin kontrol numunesine nazaran deformasyonlarının düşük olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 6.56)

6.3.2.6. Tez kapsamında yapılan statik sünme deneyi

Gradasyon oranlarına göre ağırlıkça %0, %25, %30, %40, %50 oranlarında 0,30 mm elek altı agrega yerine plent atığı yer değiştirilerek statik sünme deneyinde kullanılmak üzere tüm seriler için 3'er adet olmak üzere toplam 15 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler yükleme setine koyulup 10 dakika boyunca 100 kPa'lık ön yüklemeye maruz bırakılmıştır. Daha sonra da 1 saat 500kPa yükleme yapılmıştır. Her numuneye 4200sn yükleme yapıldıktan sonra bilgisayar yardımıyla elde edilen excel formatındaki verilere göre, aynı oranda plent katkılı numune sonuçlarının ortalaması alınıp vuruş sayısına bağlı dinamik sünme modülü ve birikmiş deformasyon grafikleri çizilmiştir. (Bkz. Şekil 6.57 ve Şekil 6.58)

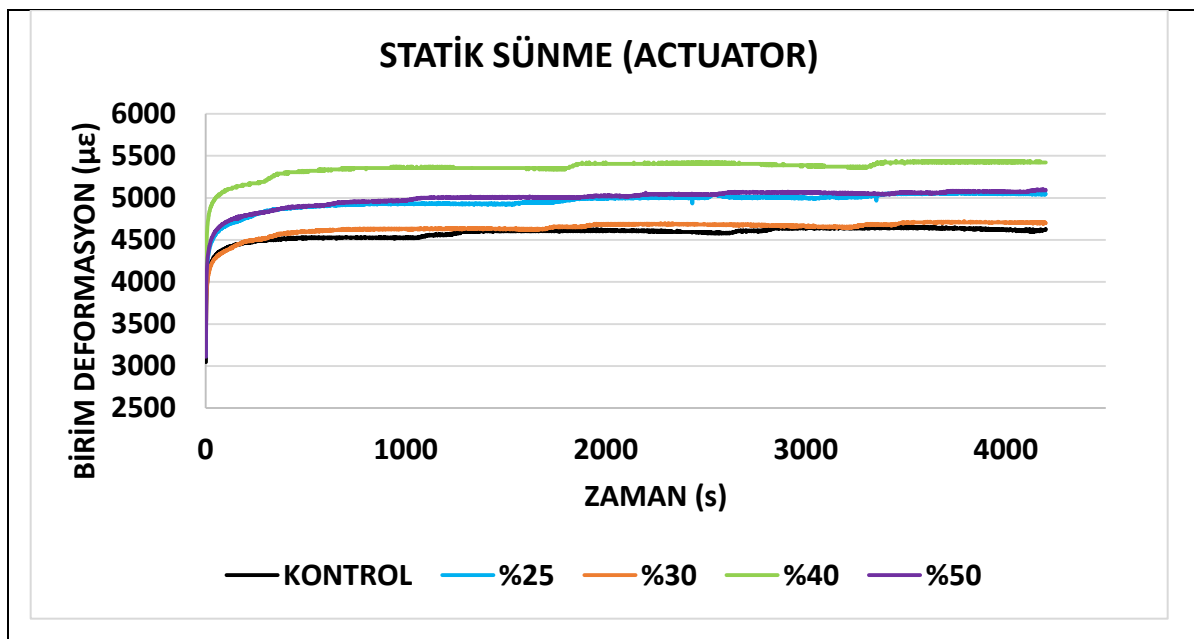


Şekil 6.57 Statik sünme modülü- vuruş sayısı

Statik sünme modülü-vuruş sayısı grafiği incelendiğinde, kontrol numunelerinin sünme modül değerlerinin plent atığı katılan numunelere nazaran genel olarak yüksek olduğu görülmektedir. Kontrol numunesine en yakın sünme modülüne %30 oranında plent

atığı katılan numunelerin ulaştığı görülmüştür. En düşük sünme modülüne %40 oranında katkı olan numunelerin sahip olduğu tespit edilmiştir. (Bkz. Şekil 6.57)

Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı grafiği incelendiğinde, kontrol numunelerinin deformasyon değerlerinin plent atığı katılan numunelere nazaran genel olarak düşük olduğu görülmektedir. Kontrol numunesine en yakın deformasyon %30 oranında plent atığı katılan numunelerin olduğu görülmüştür. En yüksek deformasyon %40 oranında katkı olan numunelerin sahip olduğu tespit edilmiştir. (Bkz. Şekil 6.58)



Şekil 6.58. Birikimli şekil değiştirme miktarı - vuruş sayısı

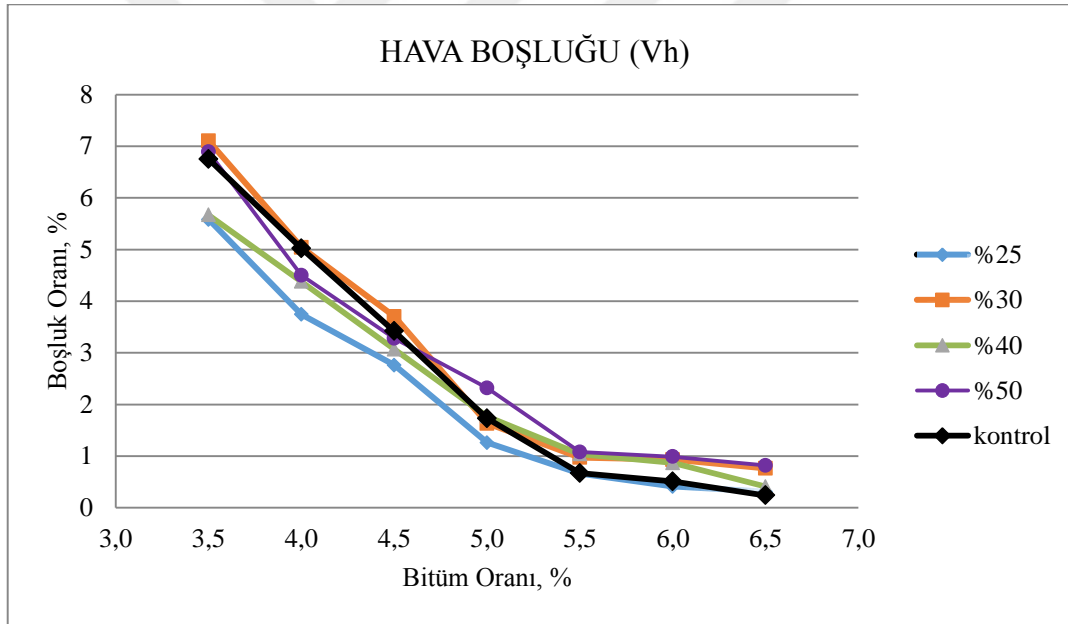


Şekil 6.60 Dinamik ve statik sünme deneyleri sonrası numuneler

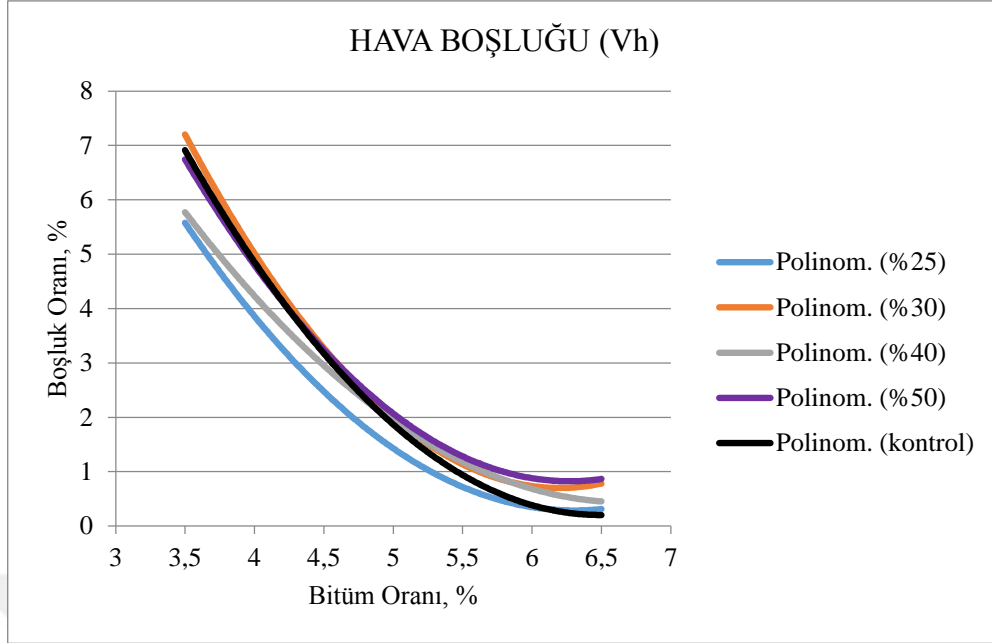
Deney sonrası numunelerde oluşan deformasyonlar gözlemlenmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. (Bkz. Şekil 6.60)

7.SONUÇ VE ÖNERİLER

Deney sonuçlarına göre plent atıklarının agregalarla yakın boşluk oranına sahip olmasından dolayı boşluk oranı kontrol numunelerinin boşluk oranına yakın çıkmıştır. Hatta %5 bitüm oranının üzerindeki numunelerde boşluk oranı kontrol numunesine göre daha az hava boşluğu olduğu görülmüştür. Bunun plent atığının üzerine yapışmış olan bitüm veya yağ atıklarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Atık miktarı değiştiğçe de boşluk oranı kontrol numunesiyle paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bitüm oranı arttıkça boşluk oranı tüm serilerde azalmaktadır. Maksimum bitüm oranında tüm seriler için numunelerin minimum boşluk oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 7.1).

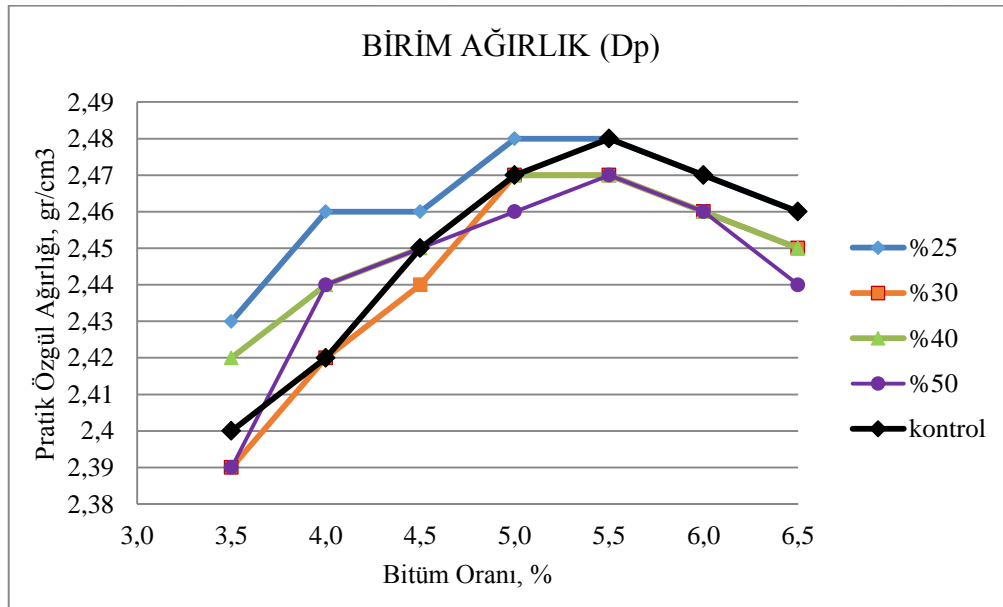


Şekil 7.1 Bitüm oranı - boşluk oranı (noktasal)

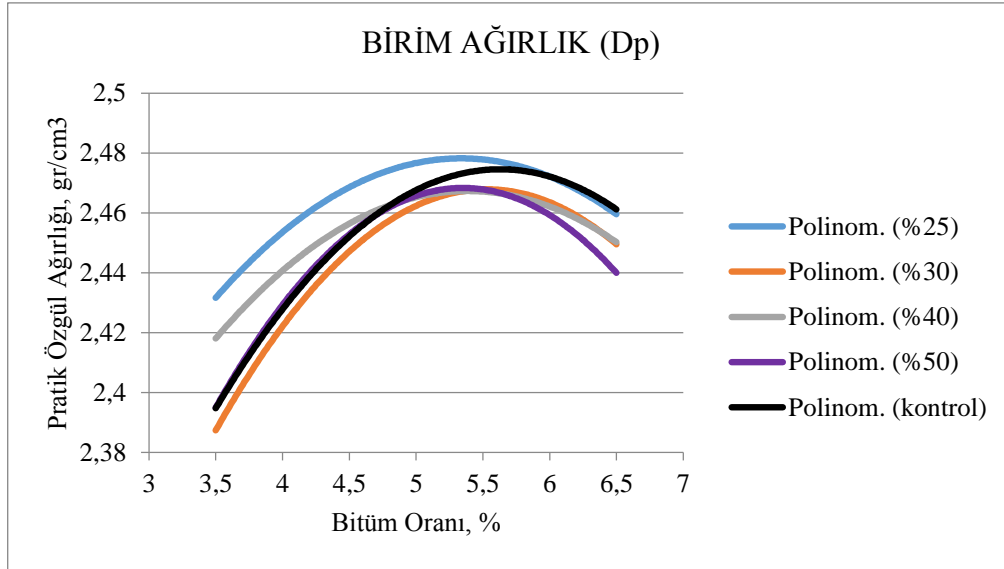


Şekil 7.2 Bitüm oranı - boşluk oranı (parabol)

Pratik özgül ağırlık değerleri, numunelere katılan bitüm miktarı arttıkça, hava boşluklarını bitümün doldurmasından dolayı artmaktadır. Tüm numunelerde %5,5 bitüm oranından sonra pratik özgül ağırlık düşmektedir. (Bkz. Şekil 7.3 ve Şekil 7.4)

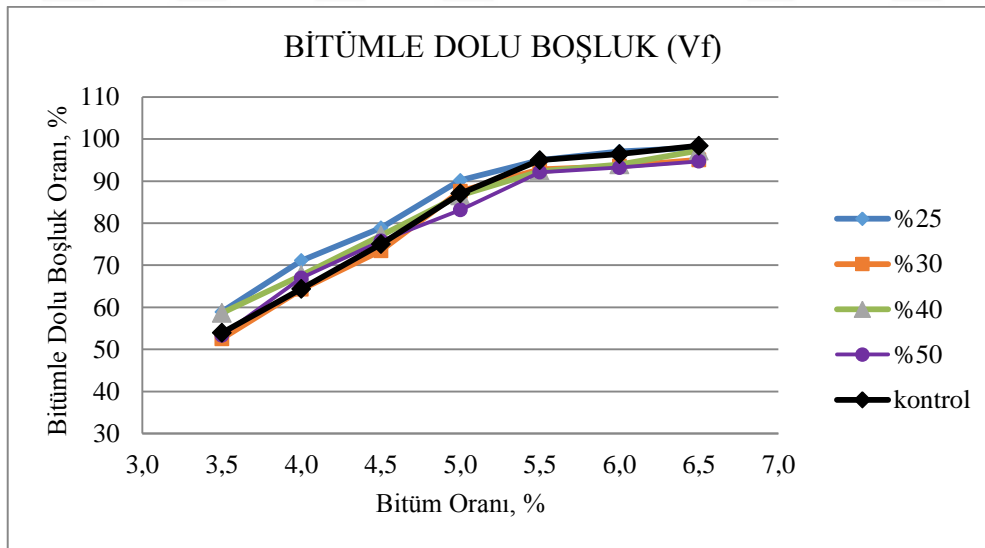


Şekil 7.3 Bitüm oranı - pratik özgül ağırlık (noktasal)

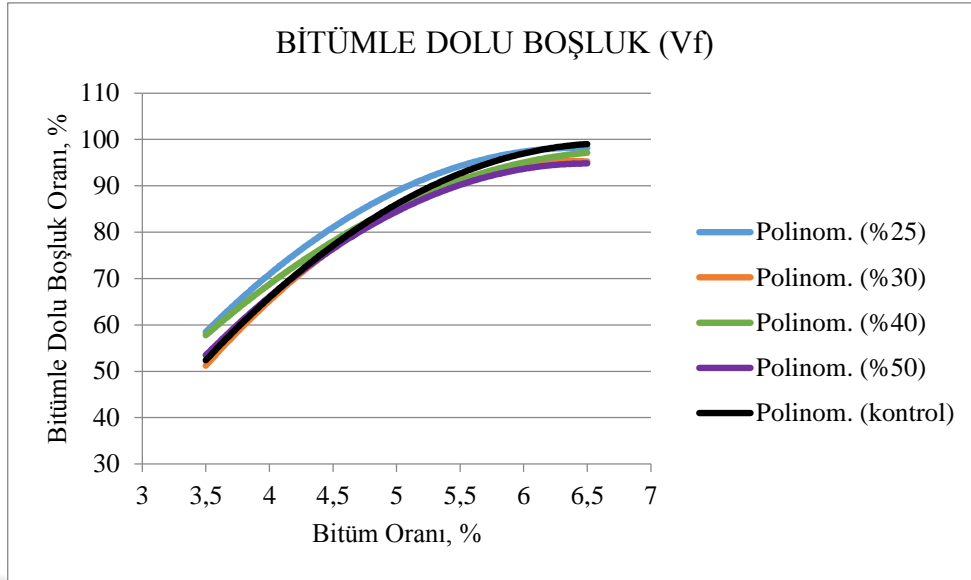


Şekil 7.4 Bitüm oranı - pratik özgül ağırlık (parabol)

Bitümle dolu boşluk oranı, bitümün daneler arası boşluğu doldurma yüzdesidir. Numunelerdeki bitüm oranı arttıkça BDBO artmaktadır. Plent atığı katkılı numunelerin, kontrol numunesinin bitümle dolu boşluk oranına yakın değerlere sahip olduğu görülmüştür. (Bkz. Şekil 7.5 ve Şekil 7.6)

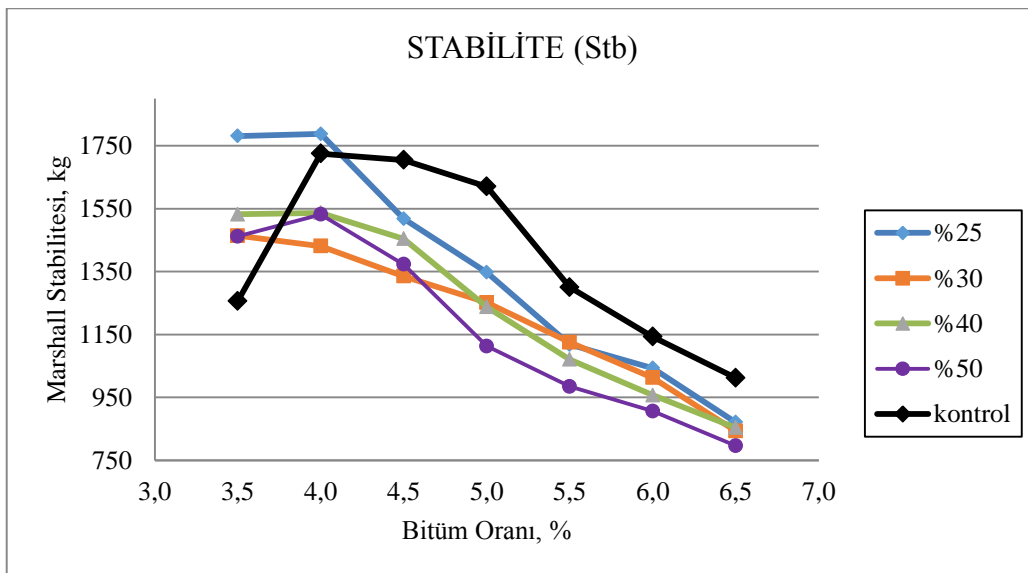


Şekil 7.5 Bitüm oranı - boşluk oranı (noktasal)

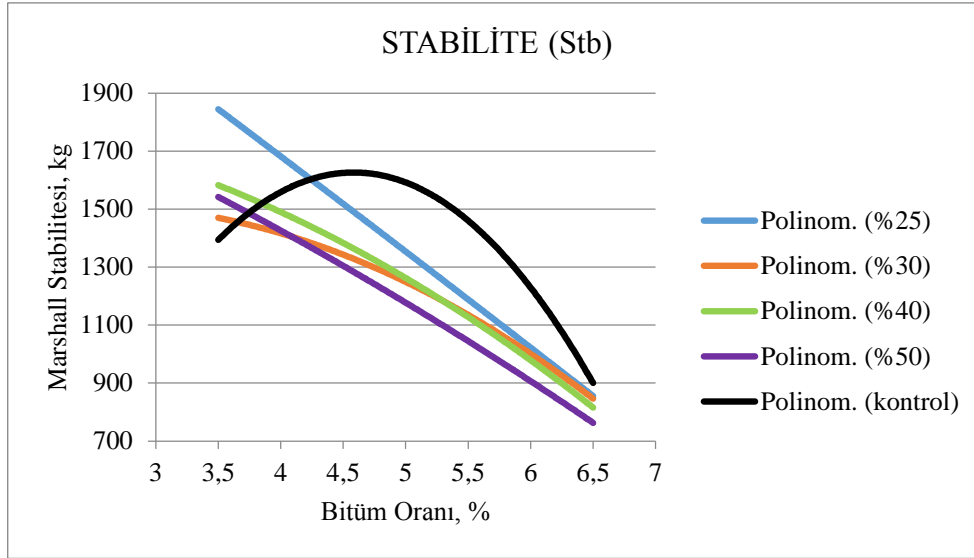


Şekil 7.6 Bitüm oranı – bitümle dolu boşluk oranı (parabol)

Tüm katkılı numunelerin % 3,5 bitüm oranında Marshall dayanımlarının kontrol numunesine nazaran daha yüksek sonuç verdiği gözlemlenmiştir. %4,5 ve daha yüksek bitüm oranlarında ise atık katkılı numunelerin stabilite değerlerinin kontrol numunesine göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek stabilite değerine %4 bitüm oranlı 0,30 mm elek altı agrega malzemesi yerine ağırlıkça %25 oranında plent atığı katkılı numunelerde ulaşıldığı görülmüştür (Bkz. Şekil 7.7 ve Şekil 7.8).

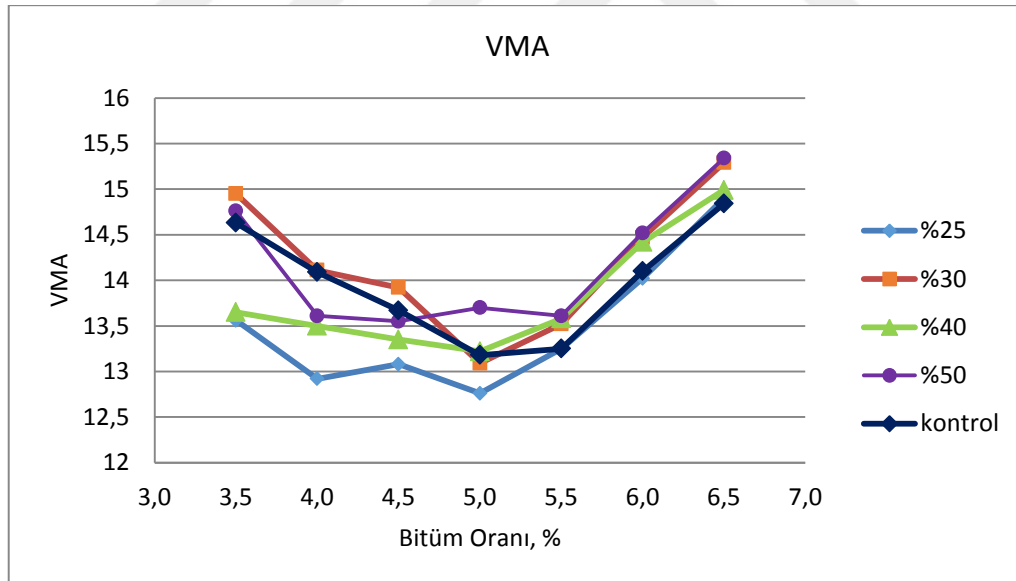


Şekil 7.7 Bitüm oranı – Marshall stabilitesi (noktasal)

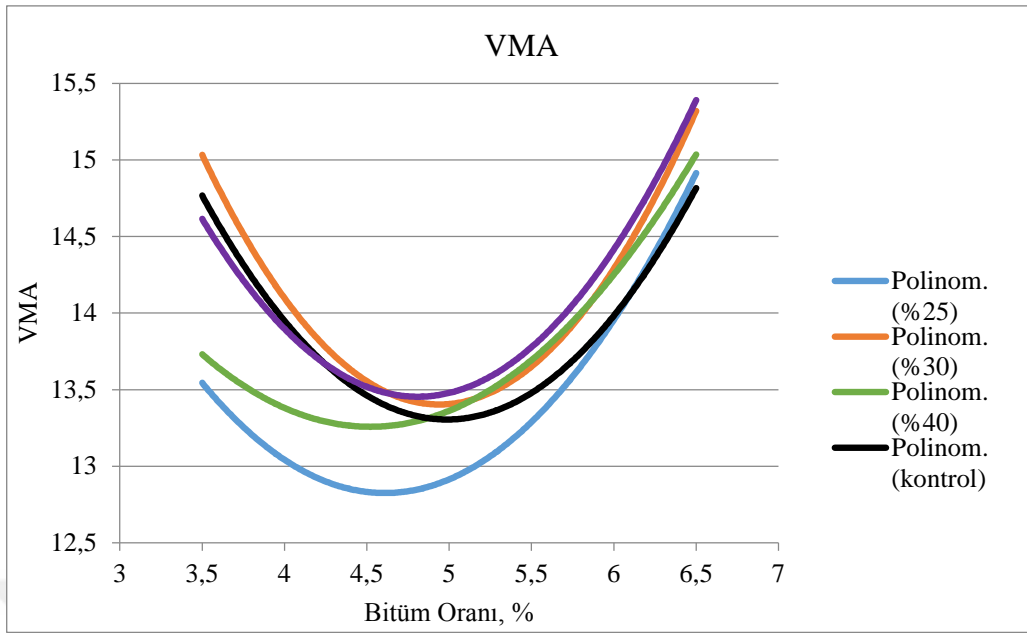


Şekil 7.8 Bitüm oranı – Marshall stabilitesi (parabol)

VMA tüm numuneler için belirli bitüm oranlarıyla karıştırılan numunelerde minimum değere inmekte ve daha sonra bitüm miktarının artışıyla orantılı olarak artmaktadır. (Bkz. Şekil 7.9 ve Şekil 7.10)



Şekil 7.9 Bitüm oranı – VMA (noktasal)



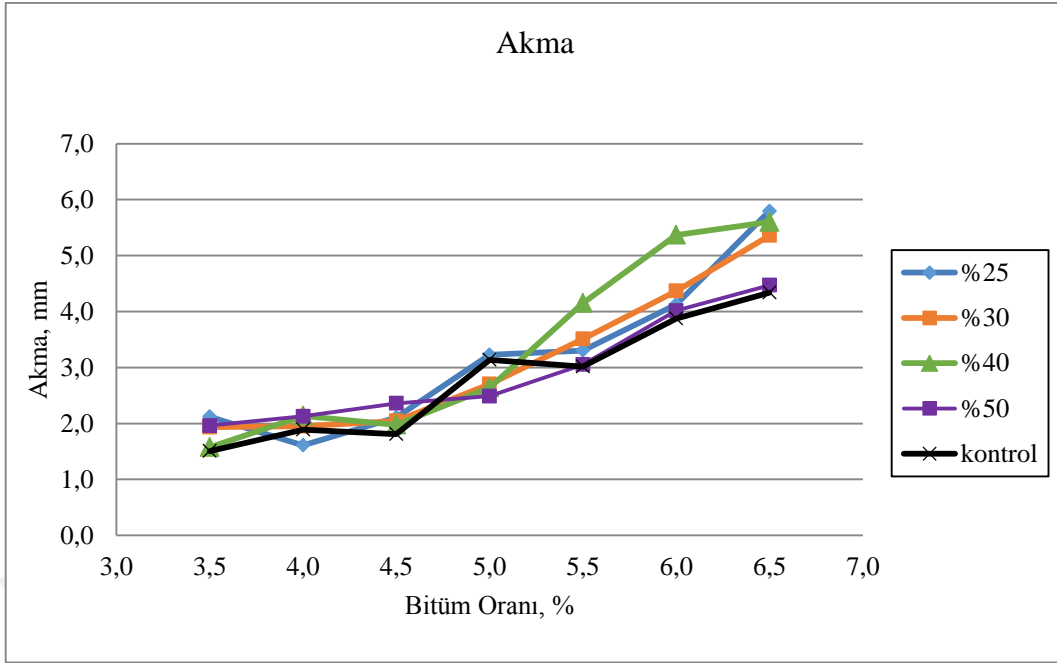
Şekil 7.10 Bitüm oranı – VMA (parabol)

Optimum Bitüm Oranın Tayini

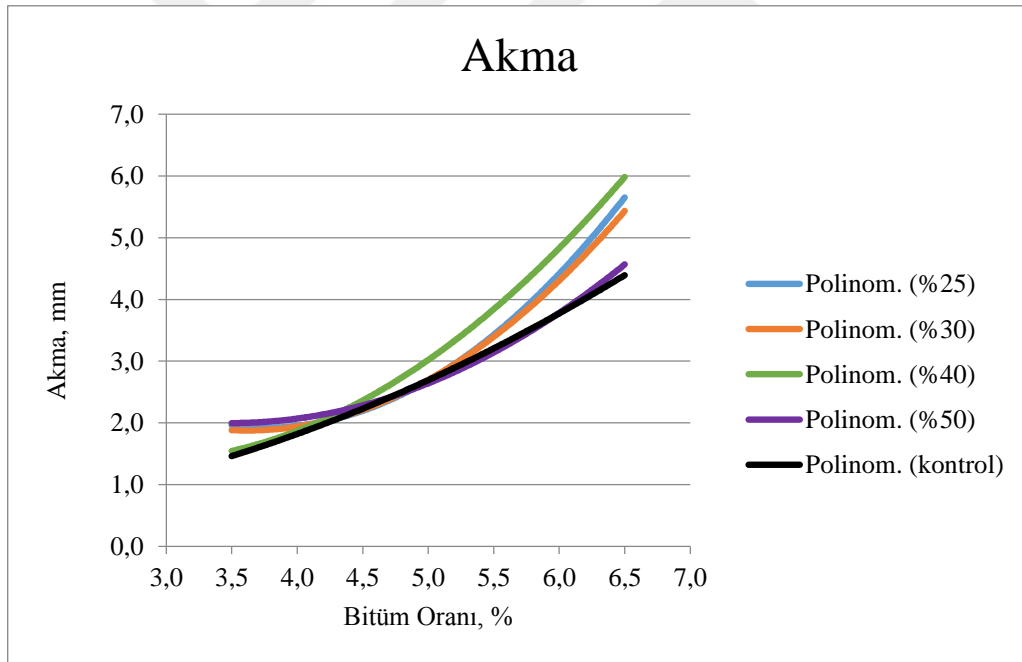
Çizelge 7.1.' de 0,30 mm elek altı agrega yerine %0, %25, %30, %40 ve %50 oranında plent atığı kullanılan numunelere ait optimum bitüm oranlarına karşılık gelen OBO, PÖA, MS, BO, BDBO, Akma, VMA ve MQ değerleri verilmiştir. (Bkz Çizelge 7.1)

Çizelge 7.1 Optimum bitüm oranlarına karşılık gelen değerler

ATIK (%)	OBO	PÖA	MS	BO	BDBO	Akma	VMA	MQ
0	4,65	2,46	1639,6	2,7	80,0	2,36	13,38	748,14
25	4,18	2,46	1623,3	3,3	74,8	2,01	12,93	799,83
30	4,36	2,44	1365,7	3,7	73,6	2,11	13,67	648,84
40	4,27	2,45	1434,2	3,5	74,0	2,12	13,29	707,41
50	4,33	2,44	1346,6	3,7	73,2	2,01	13,61	682,79

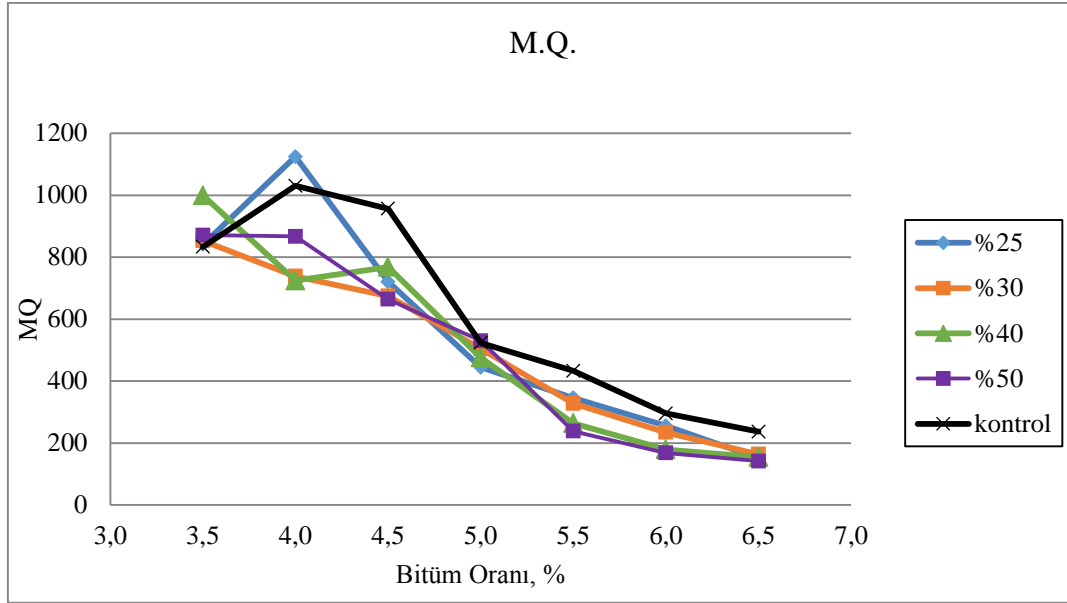


Şekil 7.11 Bitüm oranı – Akma (noktasal)

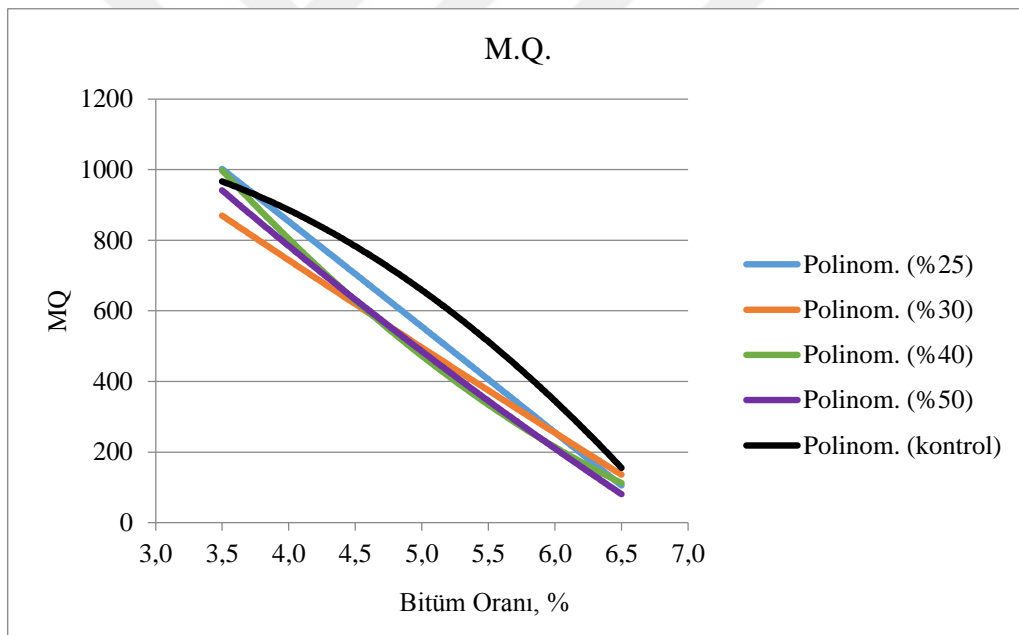


Şekil 7.12 Bitüm oranı – Akma (parabol)

Bitüm oranı - Akma grafiği incelendiğinde %5,5 bitüm oranına kadar plent atığı kullanılan numunelerin akma değerleri kontrol numunesine yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 7.13 Bitüm oranı – MQ (noktasal)



Şekil 7.14 Bitüm oranı – MQ (parabol)

Şekil 7.13, Şekil 7.14 ve Çizelge 7.1 incelendiğinde MQ değerlerinin %5 bitüm oranının tüm numunelerde en yakın sonucu verdiği görülmüştür. Genel olarak plent atığı kullanılan numuneler kontrol numunelerinin MQ değerinin altında olmasına rağmen yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Marshall oranı (MQ), MS' nin akma değerine (mm) oranı olarak hesaplanır. Belirli test koşulları altında yükün deformasyona oranına yakın bir değerini simgeleyerek kalıcı deformasyona karşı malzemenin direncini ifade eder. Birimi ise kg/mm'dir

Mühendislik ilkeleri gereği asfalt betonu üretiminde de malzeme seçimi yapılırken beklenen performansı karşılayacak malzemeler seçilmelidir. Aynı zamanda ekonomik olması göz önünde bulundurulması gerekir. BSK' larda malzeme seçimi yapılırken hem ekonomik olması hem de kendinden beklenen performans değerlerini sağlaması istenir. Plent atığının özellikleri şartnamede istenilen limitlerle karşılaştırıldığında BSK' larda belirli oranlarda 0,30 mm elek altı agrega yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Optimum bitüm oranlarına karşılık gelen ortalama MS ve akma değerleri baz alındığında plent atığının 0,300 mm elek altı agrega olarak kullanıldığı katkılı numunelerin kontrol numunelerinden yakın performansa sahip olduğu ve şartname limitlerini sağladığı görülmüştür. Agrega yerine %25 oranında plent kullanılması durumunda kontrol numunesine oranla optimum bitüm oranının yaklaşık %10 düştüğü tespit edilmiştir.

Asfalt üretim tesislerinde plent atıkları doğaya doğrudan atık olarak bırakılmaktadır. İnce bir malzeme olduğundan toz emisyonunununa sebep olmaktadır. Rüzgâr ile çok kolay yayılabilmesinden dolayı depolama yapılan açık alanların çevresindeki tarımsal alanlara ve sulama sularına karışma ihtimali yüksektir. Bu atıkların BSK'darda kullanılarak bertaraf edilmesi durumunda bitüm oranlarında kayda değer ekonomik kazançların oluşabileceği görülmüştür. Petrol ithal edilen ülkemizin ekonomisi için tüketim miktarında küçük bir düşüş ciddi getirileri olacaktır.

Sonuç olarak plent atıklarını BSK'da kullanılarak taşıma maliyetleri de göz önüne alındığında hem ekonomik açıdan daha az maliyetli üretim gerçekleştirilecektir. Hem de çevresel ve görsel kirliliği önüne geçilebileceği kanısına ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ağar, E., Süttaş, İ., Öztaş, G., 1998, Beton Yollar, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Akbulut, H., Gürer, C., 2006, Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, 3943-3960.
- Akya Proje Etüt Müh. Dan. Ltd. Şti, 2014, Asfalt Plent Tesisi Proje Tanıtım Dosyası, Bolu Ömerler Köyü
- Alataş, T., Ahmedzade, P., Doğan, Y., 2006, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. (1), 81-89, 2006
- Alataş, T., Somunkıran, E.T., Ahmedzade, P., 2006, Ereğli demir-çelik fabrikası çürufunun asfalt betonunda agrega olarak kullanılması, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Der., 18 (2), 225-234.
- Anadolu Üniversitesi Deney Katalogları, (www.anadolu.edu.tr/dosyalar/mmf.pdf)
- Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Ayniyat, 2009 (<https://www.anadolu.edu.tr/dosyalar/mmf.pdf>)
- Arabani, M., Mirabdolazimi, S.M., 2011, Experimental investigation of the fatigue behaviour of asphalt concrete mixtures containing waste iron powder, Materials
- Arabani, M., 2011, Effect of glass cullet on the improvement of the dynamic behaviour of asphalt concrete, Construction and Building Materials, 25, 3, 1181–1185.
- Cao, W., 2007, Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process, Construction and Building Materials, 21, 1011–1015.
- Ceyhan, H., 2009, Asfalt Endüstrisi Çevre Kanunu İlişkisi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 25 (1-2) 71 - 98 (2009)
- Chen, M., Lin J., Wu, P., Liu, C., 2011, Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture, Construction and Building Materials, 25, 1532–1536.
- Çakar, B., 2009, Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 127 s.
- Çalış, A., Çalış M., 2009, <https://erolcalisyolveinsaatmak.wordpress.com/teknik-dokumanlar/>, erişim tarihi:01.03.2018

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çelik, O.N., 2001, Öğütülmüş Atık Otomobil Lastiğiyle Modifiye Edilmiş Bitümler ile Yapılan Asfalt Betonunun Yorulma Davranışı, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 25, 487-495.
- Çelik, O.N. 2006. Karayolu Ders Notları. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Deniz, M.T. ve Lav, A.H., 2010, Asfaltlarda bitümle birlikte granüler sülfür kullanımının stabiliteye etkisi, itüdergisi / d mühendislik, Cilt:9, Sayı:6, 137- 148.
- Do, H.S., Mun, P.H., Keun, R.S., 2008, A study on engineering characteristics of asphalt concrete using filler with recycled waste lime, Waste Management, 28, 191–199.
- Drew, L. J., Langer,W. H., Sach, Janet, S., Environmentalism and Natural Aggregate Mining”, Natural Resources Research, Vol.11, No:1, pp.19-28, 2002.
- Ektaş, S., 2011, Beton Atıklarının Asfalt Betonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Emiroğlu, M., Yıldız, S., Özgan, E., 2009, Lastik agregalı betonlarda elastisite modülünün deneysel ve teorik olarak incelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 3, 469-476.
- E Erdal, O, 2015, Asfalt(Bitüm) Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler, <http://slideplayer.biz.tr/slide/2919675>, erişim tarihi: 24.05.2018
- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2010-2011 Öğretim Yılı Karayolu Ders Notları
- Fındık, F.S., 2005, Karayolu esnek üstyapıları alttemel tabakasının stabilizasyonunda hafif agregaların kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Huang, B., Dong, Q., and Burdette, E. G., 2009, Laboratory evaluation of incorporating waste ceramic materials into Portland cement and asphaltic concrete, Construction and Building Materials, 23, 3451–3456.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., Eren, K., 2001, Asfalt ve uygulamaları, İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- İnşaat Mühendisliği Laboratuvar –I Deney Föyü 2009-2010, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- İsfalt A.Ş., (2002), Asfalt El Kitabı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kara, Ç., 2012, Fayans Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Performans Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2006, Karayolu Teknik Şartnamesi, KGM Yayınları, Ankara
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013, Karayolu Teknik Şartnamesi, KGM Yayınları, Ankara
- Köken, A., Köroğlu M. A., Yonar F., 2008, Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik Online Dergi, 7, 1, 86-97.
- Köroğlu, M.A., Köken, A., 2008, Düşük mukavemetli atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, Üniversite öğrencileri III. Çevre Sorunları Kongre Kitabı, 22-27.
- Kuloğlu, N., 2001, Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler, Turk J Engin Environ Sci 25 (2001) , 61- 67 TÜBİTAK
- MEB Mevzuat, 1983, Karayolları Trafik Kanunu (<http://mevzuat.meb.gov.tr>)
- Medina, C., Sanchez, R., Frias, M., 2012, Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes, Cement & Concrete Composites, 34, 48–54.
- Neşer, G., Şengöz, B., Görkem, Ç., 2010, Tekne üretimi kaynaklı cam takviyeli polyester atıkların asfalt betonu kaplamalarında geri dönüşümü, Ulusal Hakemli Dergi, 182s, 27-33.
- Paranavithana, S., Mohajerani, A., 2006, Effect of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete, Resource Conservation and Recycling, 48,
- Sengoz, B., Topal, A., 2005, Use of asphalt roofing shingle waste in HMA,
- Senthamarai, R. M., Manoharan P.D, Gobinath, D., 2009, Concrete made from ceramic industry waste Durability properties
- Su, N., Chen, J. S., 2002, Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass, Resource Conservation and Recycling, 35, 259-274.
- Tanyıldızı, H., Coşkun A., 2011, Elazığ yöresi vişne mermer tozu katkılı hafif betonun basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliğinin araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 27, 2, 1012-2354.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tunç, A., 2004, Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara
- Tunç, A., 2004, Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, İstanbul
- Uğurlu, A., Özdemir. M., Topçu İ.B., 23-25 Eylül 2004, Bor içeren kil atıkların çimento içerisinde değerlendirilmesi, Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye, 405-411.
- Umar, F., Açar, E., 1991, Yol Üstyapısı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Umur, F., Açar, E., 1985, Yol Üst Yapısı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., 18-19 Aralık 2003, Atık mermer tozu katkılı betonların donma-çözülme etkisinde mekanik özelliklerinin araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı, 147-157.
- Üstümkol, F.N., Turabi, A., 2009, Endüstriyel atıkların karayolu üstyapısında değerlendirilmesi, BAÜ FBE Dergisi, Cilt:11, Sayı:1, 15-27
- Yelken, F., 2009, Belen-Topboğazı (Hatay) arası yol yapım çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yildirim, Y., Hazlett, D., Davio, R., 2004, Toner-modified asphalt demonstration projects, Resource Conservation and Recycling, 42, 295-308.
- Yonar, F., 2007, Asfalt Plentlerinin Üretim Aşamaları ve Performans Bakımından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Zoorob, S.E., Suparna, L.B., Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), Cement & Concrete Composites, Elsevier Science, Vol.22 pp 233-242, 2000.