

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ASFALTİTİN ASFALT BETONUNDA MİNERAL FİLLER OLARAK
KULLANILMASI**

İnş. Müh. Ümit EREN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13.05.2008
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2008**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şeref ORUÇ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK
Jüri Üyesi : Prof. Dr. H. Hulusi ACAR**

Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bana değerli zamanını ayıran, çalışmada hiçbir yardımını esirgemeyen, hem bilimsel anlamda, hem de kişiliğiyle kendime örnek aldığım, ufkumu açan; tecrübeleri ile mesleki deneyim kazanmamı sağlayan, saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Şeref ORUÇ'a içtenlikle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ders aldığım, almadığım, kendini bilime adanmış, birçok kaliteli insan yetiştirmiş, bütün hocalarımın önünde saygıyla eğilir, teşekkür ederim.

Gerek laboratuvar çalışmalarında gerekse de malzeme temininde bana yardımcı olan Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Beni yetiştirip bu topluma kazandıran ve sabırla destek olan aileme, çalışma süresince yardımını görüp ismini sayamadığım herkese içtenlikle teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Ümit EREN

Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve İçeriği	4
1.3. Asfaltitler	5
1.3.1. Asfaltitlerin Doğada Bulunuş Şekilleri	6
1.3.2. Türkiye’de Asfaltitler	7
1.3.3. Asfaltitlerin Kullanıldığı Yerler	9
1.3.4. Asfaltitlerin Kimyasal Özellikleri	9
1.4. Karayolu Üstyapısı	10
1.5. Yol Üstyapısında Kullanılan Malzemeler	13
1.5.1. Agregalar	13
1.5.1.1. Agregaların Sınıflandırılması	13
1.5.1.1.1. Doğal Agregalar	13
1.5.1.1.2. Suni (Yapay) Agregalar	13
1.5.1.2. Yol Üstyapısında Kullanılan Agregaların Özellikleri	14
1.5.2. Bitümlü Bağlayıcılar	15
1.5.2.1. Katranlar	16
1.5.2.2. Asfaltlar	17
1.5.2.2.1. Asfalt Çimentoları (AC)	18
1.5.2.2.2. Okside Asfaltlar (Blown Asfaltlar)	19
1.5.2.2.3. Termal Asfalt (Cracking)	19

1.5.2.2.4.	Sıvı Asfaltlar	20
1.5.2.2.5.	Doplar	22
1.6.	Bitümlü Karışımlar	23
1.6.1.	Bitümlü Karışımların Sınıflandırılması	23
1.6.2.	Bitümlü Kaplamalardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler	24
1.6.2.1.	Stabilite	25
1.6.2.2.	Durabilite	26
1.6.2.3.	Geçirimsizlik	26
1.6.2.4.	İşlenebilirlik	26
1.6.2.5.	Esneklik	27
1.6.2.6.	Yorulmaya Karşı Direnç	27
1.6.2.7.	Kayma Direnci	28
1.7.	Bitümlü Sıcak Karışım Dizayını.....	28
1.7.1.	Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynının Amaçları	29
1.7.2.	Marshall Metodu ile Karışım Dizayını	29
1.7.2.1.	Agrega Granülometrisinin Belirlenmesi.....	30
1.7.2.2.	Agrega Karışımının Özgül Ağırlıklarının Belirlenmesi	30
1.7.2.3.	Agrega ve Bitüm Miktarının Belirlenmesi	31
1.7.2.4.	Briketlerin Hazırlanması ile İlgili Hesaplar	31
1.7.2.5.	Briketlerin Yoğunluk ve Boşluk Analizleri	34
1.7.2.6.	Stabilite ve Akma Değerlerinin Belirlenmesi	36
1.7.2.7.	Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi	36
1.8.	Esneklik Modülü İçin Dolaylı Çekme Deneyi	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	41
2.1.	Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	41
2.1.1.	Agrega.....	41
2.1.1.1.	Elek Analizi	42
2.1.1.2.	Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri	43
2.1.1.3.	Aşınma (Los Angeles) Deneyi	44
2.1.1.4.	Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi)	45
2.1.1.5.	Yassılık Deneyi	46
2.1.1.6.	Cilalanma Deneyi	47
2.1.2.	Asfaltit	48

2.1.3.	Asfalt Çimentosu	49
2.1.3.1.	Özgül Ağırlık Deneyi	49
2.1.3.2.	Penetrasyon Deneyi	50
2.1.3.3.	Düktilite Deneyi	51
2.1.3.4.	Yumuşama Noktası Deneyi	52
2.1.3.5.	Parlama Noktası Deneyi	52
2.2.	Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı	53
2.2.1.	Karışımlarda Kullanılan Agrega ve Bitüm Miktarları	53
2.2.2.	Yoğunluk, Boşluk ve Stabilite Analizleri	53
2.3.	Dolaylı Çekme Deneyi.....	58
3.	BULGULAR VE İRDELEME	59
3.1.	Marshall Deneyi ile Optimum Bitüm Oranlarının Bulunması	59
3.1.	Marshall Deneyinden Elde Edilen Karşılaştırmalı Bulgular ve İrdeleme	68
3.2.	Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme	71
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
5.	KAYNAKLAR	74

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Ulaşım koşulları, trafik yükleri ve çevresel etkiler değıştikçe, karayollarının performansını etkileyecek ve yol yapım maliyetlerini daha ekonomik kılacak, günün trafik ve çevre koşullarına uygun, yeni malzemeler araştırılmakta ve yeni tasarım yöntemleri geliştirilmektedir.

Bu çalışmada, petrol kökenli bir maden olan asfaltitin filler malzemesi olarak sıcak karışım asfalt betonunda kullanılabilirliği incelenmiştir. Aynı agrega gradasyonuna sahip kalker ve asfaltit filleri içeren asfalt karışımları hazırlanmış ve optimum bitüm oranları Marshall deneyi yapılarak belirlenmiştir. Asfaltit ve kontrol karışımlarının mekanik özellikleri Marshall stabilite, dolaylı çekme ve su hasarı deneyleri yapılarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, karışımların yoğunluk-boşluk özellikleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Bu çalışma sonucu elde edilen bulgulardan, asfaltitin, asfalt betonu karışımında bütünüyle mineral filler olarak kullanılması yerine, özellikle boşluk oranı ve stabilite değerleri açısından, belli bir miktar kullanılmasının daha iyi sonuçlar verebileceği açıkça gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asfaltit, Mineral Filler, Asfalt Betonu, Boşluk Analizi, Mekanik Özellikler

SUMMARY

Use of Asphaltite as Mineral Filler in Asphalt Concrete

Changing the conditions of transportation, the traffic loads and the environmental effects, it will affect the performance of highways and will make economic the costs of road-construction, suitable for today's traffic and environment conditions that the new materials are researched and the new design methods are improved.

In this study the use of asphaltite, a mine originated from petroleum, was investigated as mineral filler in hot-mix asphalt concrete. The asphalt mixture in which asphaltite and limestone fillers that have the same aggregate gradation prepared and optimum bitumen contents were determined by the Marshall method. Mechanical characteristics of the asphaltite and control mixtures were evaluated with Marshall stability, indirect tensile and water damage tests. However, the properties of density-void of the mixtures comparatively were investigated.

By the findings of this study, it is clear that, using a little asphaltite in the asphalt concrete mixture may give better results, instead of using completely as mineral filler, especially from the point of view of the values of emptiness rate and stability.

Key words: Asphaltite, Mineral Filler, Asphalt Concrete, Void Analysis, Mechanical Properties

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Petrolden metamorfoz sonucu oluşan asfaltik maddeler	5
Şekil 2. Tipik esnek üstyapı tabakaları.....	11
Şekil 3. Sıvı asfalt türleri.....	20
Şekil 4. Dolaylı Çekme Deneyi numune ve yükleme durumu	38
Şekil 5. Dolaylı Çekme Deneyi yükün uygulanması ve deformasyon durumu.....	39
Şekil 6. Çalışmada kullanılan agrega granülometrisi.....	43
Şekil 7. $D_p - W_a$ grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)	59
Şekil 8. Stabilite – W_a grafiği (tamamı kalker olan numuneler için).....	60
Şekil 9. Asfaltla dolu boşluk – W_a grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)	60
Şekil 10. Boşluk yüzdesi – W_a grafiği (tamamı kalker olan numuneler için).....	61
Şekil 11. VMA – W_a grafiği (tamamı kalker olan numuneler için).....	61
Şekil 12. Akma – W_a grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)	62
Şekil 13. $D_p - W_a$ grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)	62
Şekil 14. Stabilite – W_a grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)	63
Şekil 15. Asfaltla dolu boşluk – W_a grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)	63
Şekil 16. Boşluk yüzdesi – W_a grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)	64
Şekil 17. VMA – W_a grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için).....	64
Şekil 18. Akma – W_a grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)	65
Şekil 19. Karışımların optimum bitüm oranlarının karşılaştırılması	68
Şekil 20. Karışımların stabilite değerlerinin karşılaştırılması	69
Şekil 21. Karışımların akma değerlerinin karşılaştırılması	69
Şekil 22. Karışımların pratik özgül ağırlık değerlerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 23. Karışımların asfaltla dolu boşluk oranı değerlerinin karşılaştırılması	70
Şekil 24. Karışımların boşluk oranı değerlerinin karşılaştırılması	71
Şekil 25. Tamamı kalker ve asfaltitli karışımların koşullu/koşulsuz esneklik modülü değişimi.....	72

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye’de önemli asfaltit filonları ve asfaltit rezervleri.....	8
Tablo 2. Asfaltitlerin kimyasal özellikleri.....	10
Tablo 3. Asfalt çimentolarının sınıflandırılması.....	19
Tablo 4. Katbek asfalt tipleri	21
Tablo 5. Asfalt Emülsiyon Tipleri	22
Tablo 6. Düşük stabilite sebep ve etkileri	25
Tablo 7. Düşük durabilite sebep ve etkileri.....	26
Tablo 8. Karışımları geçirimli yapan sebep ve etkiler	26
Tablo 9. İşlenebilirlik problemlerinin sebep ve etkileri	27
Tablo 10. Zayıf yorulma direncinin sebep ve etkileri.....	28
Tablo 11. Düşük kayma direnci sebep ve etkileri.....	28
Tablo 12. Marshall stabilite faktörleri.....	33
Tablo 13. Karışımlarda kullanılan agrega granülometrisi ve şartname sınırları	42
Tablo 14. Deneilerde kullanılan agrega karışımının özgül ağırlıkları ve su emmesi	44
Tablo 15. Agreganın aşınma kaybı	45
Tablo 16. Agreganın donma kaybı deneyi sonuçları	46
Tablo 17. Yassılık indeksinin belirlenmesinde kullanılan elekler ve malzeme miktarları.....	47
Tablo 18. Agrega granülometrisinin yassılık indeksi deney sonuçları	47
Tablo 19. Asfaltitin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	48
Tablo 20. Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı	50
Tablo 21. Asfalt çimentosunun penetrasyonu	51
Tablo 22. Asfalt çimentosunun duktilitesi	52
Tablo 23. Kullanılan malzemelerin özgül ağırlığı	54
Tablo 24. Tamamı kalker olan karışımlar için Marshall deney formu	56
Tablo 25. Mineral filleri asfaltit olan karışımlar için Marshall deney formu.....	57
Tablo 26. Kalkerli ve Asfaltitli Karışımların Esneklik Modülleri.....	58
Tablo 27. Kalkerli ve Asfaltitli Karışımların Elastik Deformasyon Sonuçları	58
Tablo 28. Asfalt betonu için şartname dizayn kriterleri	66
Tablo 29. Karışımların Marshall dizayn sonuçları	68

SEMBOLLER DİZİNİ

- A : Briketin havadaki ağırlığı
B : Briketin doygun yüzey-kuru ağırlığı
C : Briketin sudaki ağırlığı
D_P : Briketin hacim özgül ağırlığı
D_T : Briketin maksimum teorik özgül ağırlığı
% F : Mineral fillerin ağırlıkça yüzdesi
G_b : Bitüm özgül ağırlığı
G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı
G_{fa} : Mineral fillerin zahiri özgül ağırlığı
G_{ia} : İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı
G_{ib} : İnce agreganın hacim özgül ağırlığı
G_{ka} : Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı
G_{kb} : Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı
G_{sa} : Agregası karışımının zahiri özgül ağırlığı
G_{sb} : Agregası karışımının hacim özgül ağırlığı
% İ : İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi
% K : Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi
l : Numune yüksekliği (mm)
M_R : Esneklik modülü (MPa)
M_{Rkuru} : koşullandırma öncesinde numunenin esneklik modülü
M_{Ryaş} : Islak (suya koşullanmış) numunenin esneklik modülü
P : Uygulanan yük (N)
% P : Ağırlıkça yüzde geçen
P_{ba} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak emilen bitüm yüzdesi
P_{be} : Agreganın yüzdesi olarak efektif bitüm yüzdesi
RM_R : Esneklik modül oranı
V : Briket hacmi
V_f : Briketteki asfaltla dolu boşluk yüzdesi

- V_h : Numunedeki hava boşlukları yüzdesi
 VMA : Agregalar arası boşluk yüzdesi
 V_R : Poisson oranı
 W_a : Agregaların ağırlığına göre bitüm yüzdesi
 W_b : Normal bitüm yüzdesi
 Δ_H : Geri dönen yatay deformasyon (mm)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İyi bir karayolu ağının sağladığı ulaşım kolaylığının bir ülke için ekonomik kalkınma ve refah bakımından büyük bir itici güç olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Tüm ülkeye dengeli şekilde yayılmış, yeterli uzunlukta, fiziki ve geometrik standartları yüksek bir yol ağının varlığı çevre ve ülke için çok yönlü kalkınma bakımından son derece önemli ve gereklidir.

Türkiye gibi kalkınma çabasında bulunan ülkelerin sınırlı olan ekonomik olanaklarını en iyi şekilde değerlendirmeleri gerekmektedir. Yatırımların; ayrıntılı ve çok yönlü etütlere dayalı, uzun vadeli planlamalara bağlı olarak yapılması gerektiği de herkesçe kabul edilen bir husustur. Bunun içindir ki yeni yol yapımı veya mevcut bir yolun iyileştirilmesi ile ilgili planlamalar ve projelendirmeler sırasında mevcut ve geleceğe ait trafik gereksinimlerinin en ekonomik biçimde karşılanması yanında, söz konusu yatırımın o bölge ve tüm ülke için sosyo-ekonomik kalkınmayı teşvik edici, kullanılmayan atıl potansiyeli harekete geçirici ve malzeme, işçilik gibi konularda mümkün mertebe ulusal kaynaklara dayalı olması da istenir [1].

Kalkınmadaki rolü ve yapım maliyeti yüksek olan karayollarının her geçen gün daha fazla sayıda trafiğe maruz kalması, araçların artan yük taşıma kapasiteleri ve çevresel etkiler günümüzde mevcut kullanılan malzeme tipinin ve bunların karışım tasarımının yeterliliğinin sorgulanmasına yol açmıştır. Böylece araştırmacıları yeni teknikler ve gelişmeler ortaya koymaya itmiş, günün trafik ve çevre koşullarına uygun, daha gerçekçi yaklaşımların ortaya konulması bakımından yeni projelerin hazırlanması gündeme gelmiştir [2].

Yol üstyapılarında kullanılan bağlayıcı bitümün veya asfalt karışımının performansını artırmak ve karışım maliyetini düşürmek için bir takım katkı maddeleri karıştırılmakta ve yeni malzemeler araştırılmaktadır [3]. Asfalt betonu, mineral agrega, filler, bitüm ve havadan oluşan çok fazlı kompleks bir malzemedir. Filler malzemesi, asfalt karışımların ana bileşenlerinden biri olarak dikkate alınır. Mineral filler malzemesinin özellikleri, onun asfalt betonunun performansını geliştirmedeki potansiyelini tespit etmek, özellikle de sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini artırarak ötelenme ve tekerlek izi

oluşumu ile ilgili sorunları azaltmak için araştırılmıştır. Bu sebeple asfalt karışımlarda filler yerine değişik karakterdeki malzemeler denenmiş ve denenmekte olup stabiliteyi artırıcı olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Vassiladau [4], araştırmasında kömür küllerinin asfalt betonu karışımlarda filler agrega olarak kullanıldığı zaman ortaya çıkan etkileri göstermektedir. Değişen oranlarda kömür külü karışımlarda kullanılmıştır (0, %6, %8). Çekme mukavemeti gibi fiziksel özellikler ölçülmüş ve statik analizleri yapılmıştır. Sonuçta gözlenmiştir ki filler olarak kömür kullanılması stabilite üzerinde olumlu etkiler yapmaktadır.

Ahmedzade [5] ve diğerleri, filler yerine kullanılan siyah karbonun asfalt karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak asfalt betonunda filler olarak siyah karbonun kullanılmasının, karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiği ve siyah karbonun bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Shahrour ve Saloukeh [6], karışımlarda seçilen farklı fillerlerin etkisini değerlendirmişlerdir. Filler olarak kullanılan çimento, hidrate kireç ve sodyum silikat karışımlara eklenmiş ve çalışmada dikkate alınmıştır. Fillerlerin gradasyon, parçacık şekli, yüzey özellikleri, sıkıştırılmış numunede boşluk oranı, su emme ve özgül ağırlıkları tayin edilmiştir. Değişik filler malzemeleri, bitüme ağırlıkça 0,5 ve 1,5 oranlarında ilave edilmiştir. Filler oranı arttığında yumuşama noktasının ve penetrasyon indeksinin arttığını, penetrasyon değerinin düştüğünü göstermişlerdir. Marshall karışım dizaynı çalışması, bitümlü karışımlarda filler miktarı ve farklı tiplerinin performansını değerlendirmede kullanılmıştır. Değişik filler malzemelerinden farklı sonuçlar elde etmişlerdir.

Tyson [7], kömür tozunun kullanım alanları hakkında bilgi vermiş ve kömür tozunun bitümlü karışımlarda mineral filler olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Güngör [8], Afşin Elbistan uçucu külünün esnek yol üst kaplamalarında filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Taş tozu, portlant çimentosu ve uçucu kül fillerli karışımlara Marshall deneyi yapılmış, optimum bitüm yüzdesi, bağlayıcı ile dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi, akma ve stabilite değerleri elde edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda uçucu külün esnek üst yapılarda filler malzemesi olarak kullanılabilmesi kanısına varılmıştır.

Karşahin [9] ve diğerleri, Isparta Belediyesi'nin asfalt betonu üretiminde kullandığı kaba agregalar, ince agregalar ve filler malzemeleri kullanarak Marshall numuneleri hazırlamış, Marshall stabilite deney aletinde kırmışlardır. Benzer olarak ISBAS şirketinden pomza numunesi alınmış ve Isparta Belediyesi'nin kullandığı normal filler yerine

pomzadan elde edilen filler kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, pomza filler olarak kullanıldığında bağlayıcı olarak daha fazla bitüm kullanılması gerektiği halde, normal fillere göre daha büyük stabilite değeri elde edilmiştir.

Terzi [10]; çalışmasında mermer toz atıklarının asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Taş tozu yerine mermer tozu kullanılması hem Marshall deney sonuçları hem de plastik deformasyon deney sonuçları dikkate alındığında önemli bir farklılık göstermemektedir. Dolayısıyla, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceği kanaati oluşmuştur.

Sayed ve diğerleri [11], Bahreyn' de kullanılan bitümlü yol karışımlarında mineral filler olarak pıssu atığı külünün kullanılmasını araştırmışlardır. Atıkların kimyasal ve fiziksel özellikleri araştırılmış, atık içeren asfalt betonu karışımlar hazırlanmıştır. Marshall deney metodu asfalt betonunda filler olarak atığın uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Değerlendirme parametreleri, sıkışmış karışım yoğunluğu, karışımda hava katkılarının yüzdesi, mineral agregalarda boşluk yüzdesi, bitüm ile dolu boşluk yüzdesi, Marshall Stabilitesi ve akmadır. Optimum bitüm oranı ile hazırlanan numuneler, Bahreyn' de hâkim olan yüksek sıcaklıklarda karışımın çevre sıcaklığından etkilenme durumunun belirlenmesinde kullanılmış, 70 °C ve 80 °C' de akma ve stabilite değeri belirlenmiştir. Atık madde içeren numunelerin Bahreyn standart şartnamesinin minimum stabilite değerini sağladığı görülmüştür.

Lav ve Süttaş [12]'in çalışmalarında, bitümlü karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılan Taş tozu ve Portlant Çimentosunun yanı sıra sülfürik asit üreten fabrikaların yan ürünü olan Pirit Kalsinesinin de yer alabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla şartnamelere uygun şekilde hazırlanan numuneler Marshall deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak Pirit Kalsinesinin diğer filler malzemesi gibi esnek yol kaplamalarında kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

Literatür çalışmaları göstermiştir ki; mineral filler, toplam agreganın çok küçük yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerine önemli etkide bulunur.

1.2. Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bu çalışmanın esasını teşkil eden asfaltit, ülkemizde Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 80 milyon ton gibi geniş bir rezervi olan, petrol kökenli bir kayaç ve tam anlamıyla ulusal bir kaynaktır.

Yapılan araştırma ve ön bilgilerden sonra asfaltit, bünyesinde %20 civarında petrole benzer sıvı ürünler bulundurması sebebiyle değerlendirilmesi ekonomik açıdan önem arz etmektedir [13, 14]. Asfaltitin, asfalt çimentosu gibi esas itibariyle hidrokarbonlardan oluşması ve bitümlü malzemelerle çeşitli yönlerden benzerlik göstermesi asfalt karışımlarda kullanılmasının, gerek ekonomik gerekse de performans açısından olumlu katkı yapacağı fikrini doğurmuştur. Bu doğrultuda bu çalışmayla ülke ekonomisine, ulusal ve uluslararası bilime katkıda bulunmak hedeflenmektedir.

Mineral fillerin; bitümlü karışımlarda ince agrega oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılması; belli bir orana kadar kullanılmasının, boşlukları doldurduğu için, ince agrega gradasyonunu değiştirmesi ve böylece agrega tanecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak daha yoğun karışımların elde edilmesinde rol oynaması; bunun yanı sıra, bitüm ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırma ve bağlayıcı etkisi göstererek harç elde etmeyi sağlaması gibi özellikleri de göz önüne alınarak bu çalışmada petrol kökenli asfaltitin, asfalt karışımlarda mineral filler yerine kullanılması araştırılmaktadır.

Bu çalışmada, asfaltit ilk kez bir yol malzemesi olarak denenmiş olup, asfalt betonunda filler malzemesi olarak kullanılması durumunda karışım performansına etkisi araştırılmıştır. Asfalt betonunda kullanılan agrega granülometrisi esas alınarak mineral filler yerine öğütülen asfaltit filler kullanılarak Marshall numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin optimum bitüm oranları Marshall deneyi ile belirlenmiş ve karışımların mekanik özellikleri Marshall stabilite, dolaylı çekme ve su hasarı deneyleri yapılarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte karışımların yoğunluk-boşluk özellikleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Asfaltitin asfalt karışımlarda kullanılabilirliğini konu alan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Laboratuvar'ında ve Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

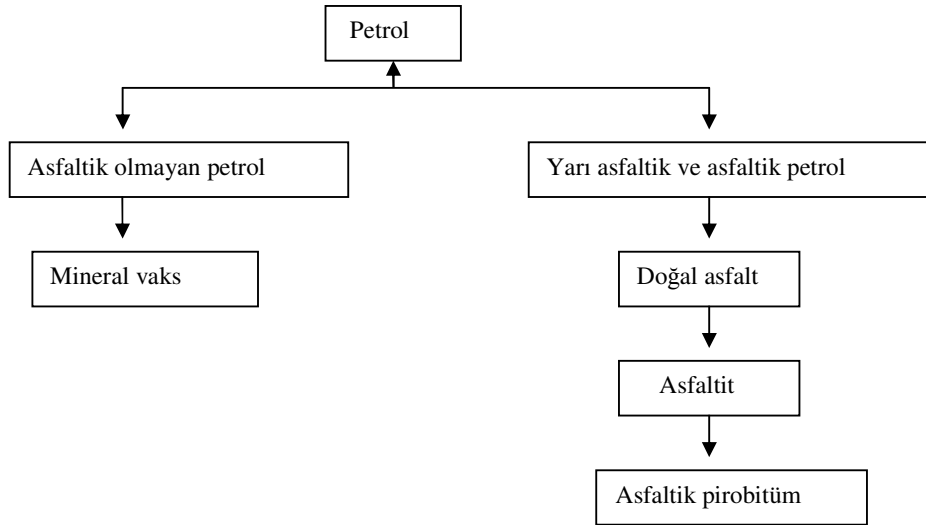
Çalışmanın birinci bölümünde, konu ile ilgili genel bilgiler, ikinci bölümde kullanılan malzemeler ve malzeme özelliklerini belirlemek için uygulanan deney yöntemleri ile Marshall metodu ile sıcak karışım tasarımı anlatılmakta, üçüncü bölümde uygulanan deneylerden elde edilen bulgular verilmekte ve sonuçlar irdelenmekte, dördüncü bölümde ise sonuçlar ve öneriler verilmektedir.

1.3. Asfaltitler

Yeraltında petrolden oluşan veya kökeni petrole benzeyen çeşitli hidrokarbonlar bulunur. Bunların en başında petrol çanağının üstünün açılması sonucu veya jeolojik olaylarla petrolün çanağını terk etmesi ve hafif maddelerin uçmasıyla meydana gelen “Asfalt Gölleri” ve “Bitümlü Kumlar” gelir. Kayaç çatlaklarında asfalta veya asfalt içeren kayaçlara da çok rastlanır. Bunların dışında kayaç çatlaklarını dolduran veya damar şeklinde bulunan hidrokarbonlar asfaltit olarak adlandırılır [15, 16, 17].

Geçmişte, filon şeklinde yataklanmış olan asfaltit zuhurları genellikle kömür, turba gibi bitkisel artıkların bir ürünü olarak kabul edilmiştir. Bu düşüncenin geçersiz olduğu bugün kesinlikle anlaşılmıştır. Asfaltitin petrol kökenli olduğunun en iyi kanıtı içerdiği oksijen miktarının %3 civarında iken, değişik kömür türlerinde bu oran %3–44 arasında değişmektedir [15, 17].

Bugüne kadar yapılmış incelemeler, asfaltik maddelerin petrolün metamorfoz (başkalaşma) denilen değişikliğe uğramasıyla oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu değişme zaman, ısı, basınç etkileri ile karışık kimyasal reaksiyonlar sonucu gerçekleşmiştir. Metaformozun kademeler halinde ilerleme derecesine bağlı olarak petrolden değişik karakterlerde asfaltik madde cinsleri meydana gelmiştir [18, 19]. Şekil 1’de petrolün maruz kaldığı metamorfozun ilerleyiş derecesine bağlı olarak oluşan değişik karakterdeki asfaltik maddeler gösterilmektedir.



Şekil 1. Petrolden metamorfoz sonucu oluşan asfaltik maddeler

Bu şekilde petrol, metaformorfizma olayının ilerleyiş derecesine göre;

- Önce koyu renkli, ısıtılınca eriyebilen, bir dereceye kadar uçucu olmayan ve karbon sülfür de fazla miktarda çözünen doğal asfaltlara,
- Daha sonra koyu renkli, ısıtılınca oldukça zor eriyen, uçucu olmayan ve karbon sülfürde çözünen sert asfaltlara,
- Sonra koyu renkli, nispeten sert, uçucu olmayan ve karbon sülfürde çözünen asfaltitlere,
- En sonunda siyah, sert, ısıtılınca erimeyen, karbon sülfürde çözünmeyen ve uçucu olmayan asfaltik pirobotümlere dönüşür [15].

Bu maddelerin en önemli karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir:

Doğal asfaltlar: Koyu renkli, değişik sertlikte, nispeten uçucu olmayan, esas itibariyle hidrokarbonlardan oluşan, oksijenli bileşikleri ve kristalleşen parafinleri içermeyen veya çok az içeren, ısıtılınca eriyebilen, karbon sülfürde büyük oranda çözünen ve suda çözünmeyen sülfonasyon mahsulleri veren maddelerdir.

Asfaltitler: Koyu renkli, nispeten sert (2–2,5) ve uçucu olmayan katı maddelerdir. Esas itibariyle hidrokarbonlardan oluşurlar, oksijenli bileşikleri ve kristalleşen parafinleri içermez veya çok az içerirler. Isıtılınca güç erirler (Erime noktaları 120 – 315 °C). Karbon sülfürde çözünürler, sülfonasyon mahsulleri suda çözünmez [17, 18, 20, 21].

Asfaltik pirobotümler: Koyu renkli, nispeten sert, uçucu olmayan katı maddelerdir. Esas itibariyle hidrokarbonlardan meydana gelen, oksijenli bileşikleri içermezler veya çok az ihtiva ederler, ısıtılınca erimezler ve karbon sülfürde çözünmezler [18].

1.3.1. Asfaltitlerin Doğada Bulunuş Şekilleri

Asfaltik maddelerin yerleşmesi, petrolün göçüne neden olan, hidrostatik basınç, gaz basıncı, kapilarite, gravitasyon ve sıcaklık gibi etkenlerle olup, bunun sonucu hareket eden sıvı – yarı sıvı durumdaki asfalt, çeşitli yapılara yerleşir veya yüzeye kadar çıkarak yüzeyde akar. Asfaltitlerin doğada bulunuş şekilleri şöyledir:

1- Yüzeyde akma: Sızıntı, göl ve sıvama şeklinde görülür.

a) Sızıntı Şeklinde: Sıvı haldeki asfalt veya petrol kırık, yarık ve faydan sızar.

b) Göl şeklinde: Yüzeye sızan büyük ölçekli sıvı veya yarı sıvı asfaltın geniş alana yayılarak göl oluşturması şeklindedir.

c) Sıvama şeklinde: Asfaltik maddenin mostradan güneş ısı ve basınç ile kurtulması sonucu yamaç aşağı akarak, yamaçta asfaltla sıvanmış yüzey oluşturmasıdır.

2- Empenye kayaçlar: Bunlar başlıca iki şekildedir.

a) Örtü kayanın aşınması ile bazı uçucuların başkalaşması sonucu geriye kalan asfaltik maddenin katılaşması şeklinde oluşur.

b) Altındaki tabakalar içindeki sıvı asfaltın basınç veya kapilarite ile üstteki kayaların gözenek veya çatlakları içine girmesi halidir.

3- Dolgusu Yapılar: Asfaltitlere çoğunlukla bu tür yapılarda rastlanır.

a) Fay ve çatlak dolguları: Tektonik hareketlerle oluşan açık fay ve çatlakların basınç etkisi ile asfaltik madde tarafından doldurulması sonucu oluşur.

Güneydoğu Anadolu'daki asfaltit oluşumları bu tür oluşumlardır.

b) Yatay kaymaların neden olduğu dolgular: Bunlar iki tabakanın birbirini üzerinden kaymasıyla oluşan boşlukların asfaltik madde ile dolması sonucu oluşur.

4- Sedimenter şekilli yataklanmalar: Önceden oluşmuş asfaltik madde birikimlerinin daha sonra çökeller tarafından örtülmesi ile meydana gelirler [17].

1.3.2. Türkiye'de Asfaltitler

Asfaltit rezervlerinin dünya üzerinde sınırlı oluşu ve bulunduğu yerlerde de yakıt olarak kullanılışı yüzünden yakın zamana kadar dünya ekonomisinde özel bir yeri olmamıştır. Dünyadaki kömür ya da petrol kökenli, bitüm ve pirobitüm içeren oluşumların, alternatif sıvı/gaz yakıt ve kimyasal hammadde üretimine yönelik kullanım olanaklarının araştırılmasıyla birlikte, konu Türkiye'de de gündeme gelmiş ve asfaltitlerin tanınması ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hızlanmıştır.

Önceleri, yöre sakinlerince, ev yakıtı ihtiyacını karşılamak üzere, yerel olarak kullanılan, linyitlere göre daha yüksek ısı değerli (2600–5536 kcal/kg) asfaltitler, uzun zaman linyit olarak kabul edilmiş ve işletilmiştir. Fakat 1962 yılında bu zuhurların linyit olmadıkları anlaşılmıştır. 1965 yılında, Yeni Çeltik Kömür ve Madencilik A.Ş. tarafından düzenli üretimine geçilmiştir. Üretim Şırnak ilindeki Avgamasya ve kısmen de Segürük filonlarının açık işletmeye elverişli kesimlerinde sürdürülmüştür. Üretilen asfaltitin, örneğin, 1976 yılında Türkiye'nin doğu illeri ile birlikte Ankara, Kayseri, Sivas ve Rize dâhil en az yirmi bir ilinde yakacak olarak satıldığı bilinmektedir (TÜRKİYE SINAİ KALKINMA BANKASI, 1979). Aynı yıl, üretilen ama işleme tabi tutulmayan asfaltit

miktarı yaklaşık 450 000 ton olmuştur. Arada bir dönem TKİ tarafından devralınan işletmelerde, üretim sürmektedir. Ancak, kısıtlı doğalgaz ve petrol kaynakları olan Türkiye için, asfaltitlerin önemi, zengin bir kimyasal hammadde ya da sentetik sıvı ve gaz yakıt kaynağı olmalarındadır [15].

Asfaltitlerin dünya üzerinde bilinen varlıkları oldukça sınırlıdır. Çin'de geniş yatakların bulunduğu, yine İspanya, Küba ve Arjantin'de de asfaltit yataklarının varlığı bilinmektedir.

Türkiye'de asfaltitler filonlar (çatlak dolgusu) şeklinde olup tamamen Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunmaktadır [22, 23, 24]. Bu filonlar bulunduğu köy veya mevki isimlerine göre adlandırılmıştır. 2005 yılı sonu itibariyle filon bazında asfaltit rezervleri Tablo 1'de gösterilmektedir [22, 23].

Tablo 1. Türkiye'de önemli asfaltit filonları ve asfaltit rezervleri (1000 ton)

Filon adı	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Silopi-Harbul	17845	7851	-	25696
Silopi-Silip	3071	1335	-	4406
Silopi-Üçkardeşler	9472	10861	-	20333
Şırnak-Avgamasya	5204	673	-	5877
Şırnak-Milli	1962	2900	1600	6462
Şırnak-A.Karatepe	473	2000	2500	4973
Şırnak-Seridahli	3534	1254	1279	6067
Şırnak-Nivekara	286	1000	700	1986
Şırnak-A.İspindoruk	100	500	500	1100
Şırnak-Segürük	81	450	-	539
Şırnak-Rutkekurar	551	53	-	604
TOPLAM	42587	28877	6579	78043

Kaynak: MTA-TKİ (2005)

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) kurumuna ait Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 2 adet asfaltit sahası bulunmakta olup yukarıda belirtilen tüm filonlar bu iki ruhsatın içinde bulunmaktadır. TKİ kurumuna ait bu sahalar rüdvansla (ton başına belli bir ücretle) İl Özel İdaresi tarafından işletilmektedir.

2007 yılı başı itibariyle yukarıda belirtilen filonları kapsayan TKİ sahalarının toplam rezervi 78 Milyon tondur.

Yukarıdaki filonların dışında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Uludere ilçesi civarında da yaklaşık 600 bin ton toplam rezervli Ortasu ve Alancık filonları da bulunmaktadır [17, 22, 23].

1.3.3. Asfaltitlerin Kullanıldığı Yerler

Asfaltitler; teshinde (ısıtmada), boya, vernik, oto lastiği, elektrik yalıtımı, batarya koruyucuları, matbaa mürekkebi, genişletilmiş kauçuk, zemin karoları, su geçirmez kablolar, paslanmayı önleyici örtü boyaları vb. yapımında kullanılır.

Petrolde olduğu gibi asfaltitlerden de benzer rafineri işlemleri sonucu sentetik gaz ve sıvı yakıt, amonyak, kükürt ve metalürjik kok elde edilmektedir.

Ayrıca bunlar termik santrallerde yakılarak elektrik üretiminde kullanılabileceği gibi geriye kalan küllerinden de nadir elementler elde edilme olanağı vardır [17, 23].

Enerji kaynaklarının kıtlığı, asfaltit enerji kaynaklarının değerlendirilmesini kaçınılmaz hale getirmektedir. Asfaltitlerin değerlendirilmesine yönelik çalışmaları; asfaltitten kükürt giderilmesi [25], yağ aglemerizasyonu ile mineral madde uzaklaştırılması [26], farklı reaktörde ısıl işlemler [27, 28, 29] ve asfaltitin yapısının aydınlatılması [30] olarak sıralayabiliriz.

1.3.4. Asfaltitlerin Kimyasal Özellikleri

Türkiye'de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan asfaltitlerin kimyasal analiz değerleri Tablo 2'de verilmektedir [17, 18, 22, 23,24, 31, 32].

Tablo 2. Asfaltitlerin Kimyasal Özellikleri

Parametreler	Şırnak		Silopi	
	Orijinal Kömür	Kuru Kömür	Orijinal Kömür	Kuru Kömür
Nem, %	1,18	-	3,79	-
Kül, %	38,67	39,13	34,67	36,03
Uçucu Madde, %	35,28	35,70	47,21	49,07
Bağlı Karbon, %	24,88	25,17	14,33	14,90
Toplam, %	100	100	100	100
Yanar kükürt, %	1,26	1,27	4,02	4,18
Külde Kükürt, %	4,10	4,15	3,44	3,58
Toplam Kükürt %	5,36	5,42	7,46	7,76
Alt ısı değeri, kcal/kg	5142	5221	5413	5650
Üst ısı değeri, kcal/kg	5296	5359	5619	5840

Kaynak:TKİ (2005)

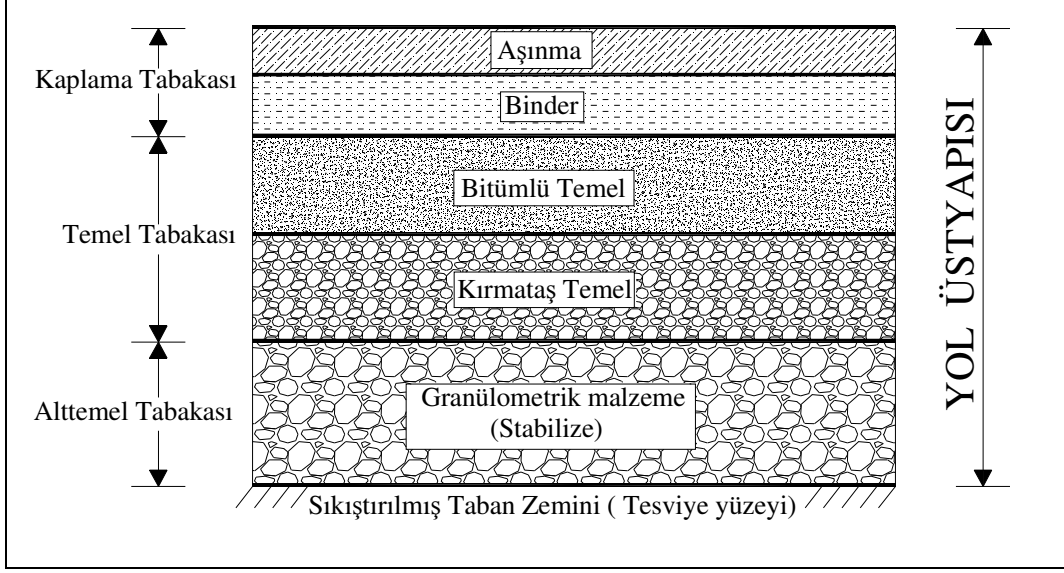
MTA tarafından gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarında basit ortalama değerlere indirgenerek söylemek gerekirse; her ton asfaltitten elde edilebilenler ağırlık olarak şöyle sıralanabilir.

- % 19,6 Sıvılaştırılmış gaz (5000 kcal/m³ ısı değeri)
- % 11,8 Sentetik Ham Petrol
- % 65 Asfalt koku (4000 kcal/m³ ısı değeri)

Ayrıca bu kokun yakılması ile elde edilen külün yapısında Nikel, Molibden, Vanadyum, Kadmiyum, Kobalt, Uranyum gibi nadir elementler bulunur ve bunların değerlendirilebilirliği ekonomik sınırlar içinde kalmaktadır. Yukarıdaki oranlardan da görüldüğü gibi ancak % 4 dolayında bir artık oran vardır. Doğada bu oranda değerlendirilebilen kaynak hemen hemen yoktur denilebilir [19, 24].

1.4. Karayolu Üstyapısı

Yolun, trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere alt yapı üzerine inşa olunan ve alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan kısmına üst yapı denilmektedir [33].



Şekil 2. Yüksek standartlı esnek üstyapı tabakaları

Karayolu üstyapısı çok tabakalı yapılardır. Her bir tabakanın kalınlığı ve fonksiyonu birbirinden farklıdır. Tabakaların tipleri ve kalınlıkları yolun sahip olduğu trafiğin hacmi, zemin taşıma gücü, çevresel faktörler, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri, vb. hususlar göz önüne alınarak saptanır.

Kaplamayı meydana getiren tabakalar yukarıdan aşağıya doğru;

- Kalınlıkları artarak
- Kaliteleri ve maliyetleri azalarak
- Yapım tekniği kolaylaşarak
- Yapım hızı artarak önemli ölçüde değişmektedir [34, 35].

Alttemel Tabakası:

Tesviye (sıkıştırılmış taban zemini) yüzeyi üzerine serilen ve genellikle kum, çakıl, taş kırığı, yüksek fırın cürufu gibi taneli malzemeden inşa edilen tabakadır. Zeminlerin don kabarması veya şişme ve büzülme gibi hacim değişimlerine karşı koymak, kaplama altında gerekli drenajı sağlamak, kaplamanın taşıma gücünü artırmak, vb. nedenlerden ötürü kaplamaların en altında alttemel tabakası yapılır. Alttemel tabakası üstteki tabakalara nazaran daha az gerilmeye maruz kalacağından daha düşük kaliteli fakat dren kabiliyeti yüksek ve yeterince stabil olan granüler malzemelerden yapılır. Bu tabaka sayesinde daha pahalı malzemeden oluşan temel tabakasının kalınlığı azaltılarak ekonomi sağlanmış olur [33, 34].

Temel Tabakası:

Alttemel tabakası ile kaplama tabakası arasına yerleştirilen, kaplamaya ve banketlere temel teşkil etmek üzere granüler malzemelerden bağlayıcı ve bağlayıcısız olarak farklı kalınlıklarda ve farklı tabakalar halinde yapılan tabakadır. Bu tabakanın başlıca görevi kaplamadan gelen trafik yükünü taban zeminine yaymak, kaplamalar için gerekli stabiliteyi ve drenajı sağlamaktır. Eğer temel tabakasının yüksek stabiliteli olması gerekiyorsa bitüm veya çimentoyla stabilize edilmelidir [34, 36].

Kaplama Tabakası:

Esnek üstyapının en üst tabakası olan, temel tabakası üzerine inşa edilen ve trafiğin doğrudan doğruya temas ettiği, bitümlü karışımlar, beton, parke vb. malzeme ile yapılan tabakaya kaplama tabakası adı verilir. Taşıtlara sürüş konforu ve emniyeti sağlamak amacıyla yapılırlar. Yüksek standartlı yollarda kaplama tabakası aşınma ve binder olmak üzere iki tabaka halinde bitümlü sıcak karışımlar ile yüksek kaliteli yapılmaktadır. Düşük standartlı yollarda kaplama tabakası tek kat veya çift kat sathi kaplama olarak yapılmaktadır.

Trafik yükleri nedeniyle oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin en yüksek seviyede olması kaplama tabakasının üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek bir plastisite modülüne sahip olmasını gerektirmektedir. Kaplama tabakası yüksek ısılardaki deformasyon gerilmelerine ve düşük ısılardaki gevrek kırılmalara karşı dayanıklı olmalıdır.

Bitümlü kaplama tabakaları, yapım ve çalışma ilkeleri oldukça farklı iki tipe ayrılırlar;

1. Yüzeysel (sathi) kaplamalar
2. Bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamalar

Yüzeysel kaplamalarda agrega ve bağlayıcı yol yüzeyine ayrı ayrı serilerek sıkıştırılmaktadır. Karıştırma söz konusu değildir. Bitümlü karışım tabakalarda ise agrega bağlayıcı ile karıştırılmış halde yola serilir [34, 37, 38].

Kaplama tabakası için gerekli kıstaslar Yollar Fenni Şartnamesi'nde bulunmaktadır [39].

1.5. Yol Üstyapısında Kullanılan Malzemeler

1.5.1. Agregalar

Agrega yol kaplamasının stabilitesinden sorumlu olduğu kadar miktar olarak ta önemli bir paya sahiptir. Çünkü bağlayıcısız temel ve alttemel tabakalarının tamamı, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %90-95'i ve hacimce %80-85'i, beton rijit kaplamaların ağırlıkça %70-80'i ve hacimce %60-75'i agregata tarafından sağlanır.

En genel tanımıyla kum, çakıl, kırma taş, cüruf ve diğer mineral bileşiklerin bağlayıcı bir ortamda (bitümlü karışım, portlant çimentosu betonu, harç, makadam vb.) veya bu malzemelerin bağlayıcısız kullanılmak üzere (demir yollarında balast malzemesi gibi) bir araya getirilmiş şekline agregata denir [34, 40].

1.5.1.1. Agregaların Sınıflandırılması

En geniş olarak agregalar kökenlerine göre Doğal Agregalar ve Suni (Yapay) Agregalar olmak üzere ikiye ayrılır.

1.5.1.1.1. Doğal Agregalar

Bu gruba kum ve çakıl gibi granüler malzemeler girer. Yol inşaatlarında kullanılan taş ve agregata malzemesi, doğal kayalardan faydalanarak ta sağlanabilir. Doğal kayalar büyük bloklar halinde veya bunların ufalanmasıyla elde edilen malzeme (çakıl) şeklinde kullanılır.

1.5.1.1.2. Suni (Yapay) Agregalar

Endüstriyel işlemler sonucu elde edilen bu agregalar cüruf, klinker, çimento olmak üzere üç grupta incelenebilir.

Cüruflar çeşitli metalürji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından birisidir. Yol inşaatlarında çoğunlukla yüksek fırın cürufları kullanılmaktadır [41]. Demir filizinin

endüstride indirgenmesi sırasında atık madde olarak elde edilen cüruf, kalsiyum, alüminyum ve magnezyumun çeşitli karmaşık karışımıdır.

Klinker; fırınların bir atığı olup küllerin eriyerek topaklaşmasıyla oluşur. Klinker çok değişebilen bir malzemedir. Şartnamelere uygun klinkerler asfalt kaplamalarda kullanılabilirler.

Çimento ise ilave edildiği bitümlü karışımda sadece filler olarak işlev görür. Çimentoların filler olarak kullanılmalarının nedeni çimentonun bağlayıcı özelliğinden yararlanmak değildir. Çimento standart granülometrik bileşimleri, saflıkları ve bitümlü bağlayıcılarla herhangi bir reaksiyona girmediği için filler olarak kullanılmaya çok elverişlidir [40].

1.5.1.2. Yol Üstyapısında Kullanılan Agregaların Özellikleri

Esnek kaplamaların temel ve alttemel tabakalarında kullanılacak agregaların, kaplamadan gelen yükü zemine emniyetle iletmek, drenajı sağlamak, çevre ve trafik etkilerine karşı dayanıklı (durabil yani dane mukavemeti yüksek) ve stabil olmak gibi amaçları sağlaması gerekir [34].

Bitümlü tabakalarda kullanılan agregalar ise, granülometrisi, maksimum dane boyutu, dane yüzey dokusu ve porozitesi ile kazanacağı adezyonla karışımın stabilitesini artırmaktadır. Ayrıca bitümlü karışımlarda kullanılan agregalar, bitümlü tabakaların daha çok gerilme alması ve trafiğin aşındırıcı etkisine daha çok maruz kalması gibi nedenlerden ötürü temel tabakasında kullanılan agregalara göre daha üstün niteliklere sahip olmalıdır.

Farklı boyutlardaki agrega grupları, kaplama karışımlarına farklı nitelikler sağlarlar. Bu nedenle, boyutlarına göre kaba (iri) agrega, ince agrega ve mineral filler olmak üzere üç farklı gruba ayrılan agreganın, ayrı ayrı incelenmesi gerekir.

Kaba agrega, agrega karışımının 4,75 mm'lik (No 4) elek üzerinde kalan kısmı olup kırılmış, taş, çakıl veya elenmiş çakıl ile bunların karışımından ibarettir. Kaba agrega temiz, pürüzlü, sağlam ve dayanıklı danelerden oluşmalı ve içinde yumuşak ve dayanıksız parçalar, kil, organik ve diğer maddeler bulunmamalıdır [36, 42].

Bitümlü karışımlarda kullanılan kaba agrega, karışım içerisinde bir iskelet oluşturur ve karışımın akmaya karşı direncinde önemli bir rol oynar. Bu işlem dane şekli ve dokusu ile de yakından ilgilidir. Kaba agrega oranı % 55 olan asfalt betonu kaplamalarının, kaba

agrega oranı % 25 olan asfalt betonu kaplamalarından daha fazla deformasyona uğradığı tespit edilmiştir [37, 42].

İnce agrega, agrega karışımının 4,75 mm'lik (No 4) elekten geçip 0,075 mm'lik (No.200) elek üzerinde kalan kısmı olup kırılmış taş, çakıl veya kum ile bunların karışımından ibarettir. İnce agrega, kaba agreganın oluşturduğu iskeletin boşluklarını doldurarak daha yoğun bir karışımın elde edilmesini sağlar. İnce agreganın yüzey dokusu deformasyon direncine etkisi bakımından önemlidir. Örneğin, pürüzsüz bir çakıl kumu, kırma malzeme veya cürufa nazaran daha düşük bir deformasyon direnci sağlar. Cilalı yüzeyli agregaların asfaltla kaplanması kolay olmasına rağmen adezyonu zayıf olduğundan kolaylıkla soyulabilmektedir.

Mineral filler, genel anlamı ile tamamı 0,600 mm (No 30) elekten geçip, ağırlıkça en az % 70' i 0,075 mm (No.200) elekten geçen malzeme olarak tanımlanır. Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılır. Filler genellikle bitümlü karışım içinde % 3 ile % 9 oranları arasında kullanılır. Belli bir orana kadar filler, boşlukları doldurduğu için, ince agrega gradasyonunu değiştirir ve böylece agrega tanecikleri arasında daha fazla temas noktası sağlayarak daha yoğun karışımların elde edilmesinde rol oynar. Bunun yanı sıra, bitüm ile birlikte ince agregaya karşı kayganlaştırma ve bağlayıcı etkisi göstererek harç elde etmeyi sağlar. Mineral filler, toplam agreganın çok küçük yüzdesini oluşturmasına karşın, karışımın özelliklerinin düzenlenmesinde önemli rol oynar. Filler, bitümlü karışımlarda ince agrega oranını artırmak, boşluk miktarını azaltmak ve yüksek sıcaklıklarda asfalt betonunun deformasyona karşı dayanımını artırmak için kullanılır. Mineral filler düzgün bir granülometrik bileşime sahip olmalı ve aynı zamanda 0,001 mm' den ince boyutlu daneler de içermelidir. Filler kimyasal bakımdan atıl olmalı, yani bitümlü malzeme ile reaksiyona girmemelidir. Ayrıca, bitümlü karışımın yapıldığı sıcaklıkta bir değişikliğe uğramamalı, bağlayıcıya karşı iyi bir yüzey adezyonu göstermelidir [42, 43, 44, 45, 46, 47, 48].

1.5.2. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm, doğal ya da pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup yapıştırıcı(bağlayıcı) özelliği olan ve karbon disülfürde (C₂S) tamamen çözünen madde olarak tanımlanır [37, 40, 42].

Bitümlü bağlayıcıların esas özelliği, adında anlaşılacağı gibi, agrega parçacıklarını veya agrega ile yol yüzeyi altındaki temel tabakasını yapıştırmaktır. Bitümlü bağlayıcılar agrega danelerini birbirine bağlayarak trafik yükleri altında dağılmasını önlemekte, oluşturdukları düzgün yüzeyler ile sürüş konforu sağlamakta, kohezyonu ile karışımın stabilitesini artırmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar ağırlıkça en fazla % 5–7 ve hacimce en fazla % 13–15 gibi küçük oranlarda kullanılsa da esnek kaplamalar için önemli ve pahalı bir yol malzemesidir [34, 38].

Bitümlü bağlayıcılar, sıvı, yarı katı ve katı halde bulunurlar. Yarı katı ve katı haldekileri, ısıtarak sıvı hale getirip kullanmak mümkündür. Sıvı halden tekrar önceki haline gelebilirken yapışkanlıkları sayesinde kohezyon ve adezyon gibi iki önemli özelliğe sahiptirler. Kohezyon, çatlama ve ayrılma olmaksızın şekil değiştirme özelliğidir. Adezyon ise yapışma özelliğidir [37, 38, 42, 49].

Bitümlü bağlayıcılar esas olarak “Katranlar” ve “Asfaltlar” olmak üzere iki kısma ayrılır.

1.5.2.1. Katranlar

Kömürün damıtılması ile elde edilen sıvıdan yarı katıya kadar değişen bitümlü malzemelerdir. Katran, zift ile hafif ve ağır yağların doğal veya yapay karışımıdır. Genellikle ham maden kömürünün karbonizasyonu sırasında açığa çıkan buharın yoğunlaştırılmasıyla elde edilen bir yan üründür.

Karbonizasyon işlemi esas itibariyle, ince tabakalar halindeki kömürün ateş tuğlasından bir fırında birkaç süreyle 1000 °C 'de ısıtılmasıdır. Bu işlem sırasında kömür yumuşar, bir takım gazlar çıkar ve kömür, kok kömürü haline gelir. Çıkan bu gazlar ve buharlar soğutulursa ham katran yoğunlaşarak ayrılır. Bu şekilde elde edilen ham katranın içinde benzol gibi kıymetli çözücüler, bir takım boya ve plastik ana ham maddeleri ile kimyasal maddeler bulunur. Bunlar ayrılmadan katran kaplamalarda kullanılmaz. Ham katranın içinde suyun da uzaklaştırılması gerekmektedir.

Ham katranın damıtılmasında katranın, önce ısıtılarak suyu giderilir. Bu arada bir miktar benzol elde edilir. Daha ileri derecelerde ısıtma ile kaynama noktaları farklı birtakım yağlar elde edilir. Damıtma işlemine 360 °C a kadar devam edildiğinde geride sadece zift kalır. Zift oldukça sert bir maddedir ve kaplamada kullanılmaz. Bu nedenle damıtma daha erken kesilir ve zifte oranla daha yumuşak bir katran elde edilir ya da

damıtma sonucu elde edilen zifte yine damıtmadan elde edilen hafif ve ağır yağlardan uygun oranlarda katılarak istenilen kıvamda yol katranı elde edilir.

RT (Road Tar) sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlarına göre, RT-1, RT-2, RT-3, RT-4, RT-5, RT-6, RT-7, RT-8, RT-9, RT-10, RT-11, RT-12, RTCB-5, RTCB-6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar. Sembollerin yanındaki numaralar büyüdükçe kıvamları artar. Katranlar kıvamlılıklarına göre astar uygulamalarında, yolda hazırlanan karışım tipi (roadmiks) kaplamalarda, sathi kaplamalarda, tesislerde hazırlanan karışım tipi kaplamalarda ve yama işlerinde kullanılırlar.

Katranın agregaya yapışma özelliği asfalta göre daha iyi olmasına karşın katranın kıvamı sıcaklığın değişimi ile daha çok değişiklik gösterdiğinden daha çabuk bozulur. Bu sakıncayı gidermek amacıyla katrana mümkün olduğu kadar ağır yağlar katılır. Katranın özelliklerini iyileştirmenin diğer bir yolu ise % 15-20 oranında asfalt ilave etmektir. Böyle katranlara asfaltlı katran adı verilir. Fakat asfalt oranının % 20'yi aşması halinde katran dibe çöker.

Katranın içerisine su ilave etmek suretiyle katran emülsiyonları elde edilir. Bu durumda normal sıcaklıkta çok düşük bir viskozite söz konusudur. Katran emülsiyonlarının hazırlanması ve kullanılması oldukça zor olduğu için yol inşaatlarında genellikle kullanılamamaktadır [36, 40, 50].

1.5.2.2. Asfaltlar

Asfalt, doğal halde bulunabilen ya da ham petrolün damıtılması sonucu elde edilen, koyu kahve-siyah renkte, katı, yarı katı ve sıvı halde olabilen, başlıca hidrokarbonlardan oluşan, kuvvetli bağlayıcı özelliğine sahip bir inşaat malzemesidir. Asfalt yol inşaatında kullanılmasının yanında su yalıtımında, karo yapımında ve elektrik sanayinde kullanılmaktadır.

Asfaltlar kökenlerine göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar diye iki gruba ayrılırlar. Ancak doğal asfaltları da çok defa kullanılır hale getirmek için birtakım işlemlerden geçirmek gerekir.

Doğal asfaltlar doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Doğal asfalt kaynakları kaya asfaltları ve göl asfaltlarıdır. Kaya asfaltları, çoğunlukla gözenekli bir kalkerin veya daha seyrek olarak ta kumtaşının, doğal olarak asfaltı emmesinden oluşur. Malzemenin % 90'ı mineral madde, % 10'u ise asfalttır. Göl

asfaltlarının ise esas elemanı asfalttır ve mineral malzeme çok ince taneler halinde bu asfalt ortamı içinde yayılmış durumda bulunmaktadır. Bu malzeme çok sert olduğundan uygun bir yumuşatıcı ile rafine edilmek suretiyle esnek yol kaplamalarında kullanılabilir. En tanınmış göl asfaltı Trinidad adasındaki göl asfaltıdır [40, 42, 51, 52].

Yapay asfaltlar ise ham petrolün arıtılmasıyla elde edilirler. Bunlara çökelek veya rafineri asfaltı da denilmektedir. Ham petrolün içinde doğal atmosfer sıcaklığında uçucu olan ve olmayan birtakım yağlarla birlikte eriyik halde asfalt bulunur. Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol önce rafineye getirilir. Buradan da tanklara boşaltılır. Oradan ısıtma kulelerine gönderilerek sıcaklığı yükseltelen ham petrol daha sonra damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaşarak ayrılırlar. Bunlar hafif ürünleri oluştururlar. Daha az uçucu olanlar aynı şekilde orta ürünleri, en ağır uçanlar ise ağır ürünleri meydana getirirler. Başlıca asfaltı içeren kalıntı ise kulenin dibine birikir. Bu şekilde ham petrol başlıca beş kısma ayrılmış olur.

1. Benzin (Gazolin)
2. Gaz yağı (Kerosen)
3. Dizel yağları (Mazot)
4. Yağlama yağları
5. Ağır kalıntı maddeleri

Bunların hepsine gerektiğinde tekrar damıtma işlemi uygulanarak daha değişik petrol ürünleri elde edilebilir. Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yol yağları elde edilebilir. Geride asfalt çimentosu kalır. Şartların değiştirilmesi ile istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir [40, 53].

1.5.2.2.1. Asfalt Çimentoları (AC)

Yol üst yapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır. Akıcı hale gelebilmesi için ısıtılması gereken asfalt çimentosu AC sembolü ile gösterilir. Asfalt çimentoları penetrasyon derecelerine veya viskozite değerlerine göre sınıflandırılırlar.

Tablo 3. Asfalt çimentolarının sınıflandırılması

Penetrasyon Sınıflaması	Viskozite Sınıflaması
40 – 50 Pen. AC	AC – 40
60 – 70 Pen. AC	AC – 20
85 – 100 Pen. AC	AC – 10
120 – 150 Pen. AC	AC – 5
200 – 300 Pen. AC	AC – 20,5

Penetrasyon dereceleri yükseldikçe asfalt çimentosu yumuşar dolayısıyla bağlayıcılık gücü azalır. AC 40–50, AC 200–300 ‘ye göre daha sert asfalt çimentosunu ifade eder. Asfalt çimentosu, sıvı petrol asfaltları ve asfalt emülsiyonlarının da ana maddesidir [34].

1.5.2.2.2. Okside Asfaltlar (Blown Asfaltlar)

Arıtma işlemi sonunda ele geçen kalıntı içerisinde hava geçirerek yarı katı asfaltlara yeni özellikler kazandırılabilir. Bu iş için normal damıtma, kalıntı henüz sıvı iken kesilir. Bu sıvı kalıntı ayrı bir tanka alınır ve yüksek sıcaklıkta tutularak içerisinde hava geçirilir. Böylece çok sert olan blown asfaltlar elde edilir.

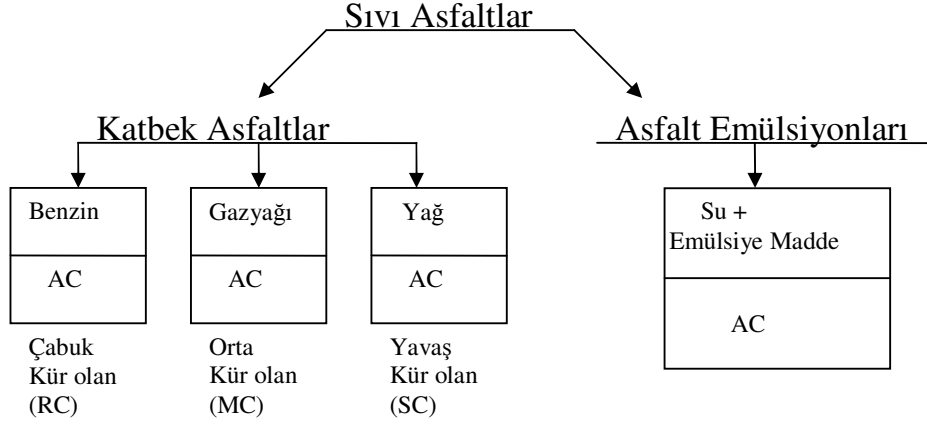
Okside asfaltlar genellikle kaplamalarda kullanılmaz. Daha özel amaçlar için yalıtım işlerinde, elektrik, otomobil veya boya sanayinde kullanılır [34, 40].

1.5.2.2.3. Termal Asfalt (Cracking)

Petrolde daha çok benzin elde etmek amacıyla hem petrolün kimyasal değişikliğe uğratılması ile elde edilir. Normal distile asfaltlara nazaran durabilitesi daha düşük olduğundan yol inşaatlarında kullanılması sakıncalıdır [34].

1.5.2.2.4. Sıvı Asfaltlar

Yol inşaatlarında astar ve yapıştırma tabakalarında püskürtme (sprey) şeklinde kullanılmak üzere uygun katkılarla sıvılaştırılmış asfaltlardır. Sıvı asfalt türleri Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. Sıvı asfalt türleri

Katbek Asfalt:

Katı asfaltların yüksek ısı derecelerine kadar ısıtıldıktan sonra sıvılaştırılması yerine asfalt çimentosuna benzin, gazyağı veya madeni yağ gibi çözücüler katarak elde edilen sıvı asfaltlardır. Kür (geri kesilme) süresine göre; çabuk kür olan RC sınıfı, orta hızda kür olan MC sınıfı ve yavaş kür olan SC sınıfı olmak üzere katbek asfaltlar üç tipe ayrılırlar.

Dolayısıyla katbek asfaltın sahip olduğu çözücünün uçarak katı asfalt haline dönüşmesine kür olma denir.

Çabuk kür olan (RC) katbek asfaltlarında, asfalt çimentosu ile kaynama noktası düşük olan, yani kolay uçan bir çözücü (örneğin benzin veya nafta) karıştırılır. Orta hızda kür olan (MC) katbek asfaltları, AC ile gazyağı gibi orta derecede uçucu bir çözücünün karıştırılmasıyla elde edilir. Kuruma süresi RC sınıfına göre daha fazladır. Yavaş kür olan (SC) katbek asfaltları ise, AC ile kaynama noktası yüksek bir yağın karıştırılması veya doğrudan doğruya ham petrolün damıtılmasından elde edilir.

Viskozlukları ise çözücü miktarı ile ayarlanır. Her sınıf kendi arasında kinematik viskozite değerlerine göre tiplere ayrılır. Tablo 4’te verilen katbek asfalt türlerinde, RC, MC, SC harflerinden sonra gelen sayılar o tipin kinematik viskozitesinin alt sınırını gösterir. Bu sayılar asfaltın kıvamlılığının artması yani viskozitesi ile büyür. Örneğin, MC-30, MC-3000’e göre çok ince ve akıcıdır [34, 40, 42].

Tablo 4. Katbek asfalt tipleri

Yavaş Kür Olanlar	Orta Hızda Kür Olanlar	Çabuk Kür Olanlar
	MC -30	
SC -70	MC -70	RC -70
SC -250	MC -250	RC -250
SC -800	MC -800	RC -800
SC -3000	MC -3000	RC -3000

Asfalt Emülsiyonları:

Asfalt çimentosunu çok küçük partiküller (0,1–0,5 mikron) halinde parçalayıp suda koloidal halde dağıtılması sonucu akıcı hale getirilmesiyle elde edilir. Emülsiyon asfaltın taşınma, boşaltma, çalkalanma ve depolanma sırasında çökme ile birbirine yapışarak sudan ayrılmasını önlemek için emülsif maddeler (gliserin, sabun hammaddesi vb.) katılır. Emülsif madde, asfalt küreciklerinin çevresini bir film gibi sararak kendi aralarında birleşmesine engel olur. Asfalt emülsiyonu yola serildiğinde yoldaki agregaya ve tozlar tarafından emilmesi sonucu emülsif madde kaybolur. Bu olaya emülsiyon kesilmesi denir. Bu kesilme hızlarına göre asfalt emülsiyonları, çabuk kesilen RS, orta hızda kesilen MS, yavaş kesilen SS olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Bu sembollerin yanına gelen sayılar emülsiyonun kıvamını(viskozitesini) gösterir. Ayrıca asfalt emülsiyonları kullanılan emülsif maddenin cinsine bağlı olarak anyonik (asidik) ve katyonik (bazik) olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Asfalt emülsiyonları, yüzeysel kaplamalarda, astar uygulamalarında, penetrasyon makadamlı kaplamalarda, zemin stabilizasyonunda ve çok zayıf agregalarda emdirme işleminde kullanılır [34, 36, 37, 40, 54].

Tablo 5. Asfalt Emülsiyon Tipleri

	Çabuk Kesilen	Orta Hızda Kesilen	Yavaş Kesilen
Anyonik Asfalt Emülsiyonu	RS – 1	MS -1	SS -1
	RS - 2	MS -2	SS -1h
		MS -2h	
Kasyonik Asfalt Emülsiyonu	CRS -1	CMS -2	CSS -1
	CRS -2	CMS -2h	CSS -1h

1.5.2.2.5. Doplar

Bitümlü bağlayıcıların agregaya daha iyi bir şekilde yapışmasını sağlamak yani adezyonunu artırmak amacıyla bağlayıcıya katılan malzemelere dop adı verilir. Katranların adezyonu iyi olduğu için dop pek gerekli olmaz. Saf asfaltlara uygulanması da azdır. Zira dopun etkin olabilmesi için bağlayıcı viskozitesinin düşük olması gerekir. Ayrıca sıcaklık 100–150 °C’yi geçince dop bozulur. Dop moleküllerinin bağlayıcı içinde dağılarak agregaya yüzeyine ulaşabilmesi gerekir. Bağlayıcının viskozitesi artıkça bu dağılma azalır.

Katbek asfaltlarda kullanmak yararlıdır. Doplar, çözücünün buharlaştığı anda şiddetli bir yağmur etkisiyle agreganın bağlayıcıdan ayrılmasını yani soyulma denen olayı önler. Esası sileks olan taşlarla suyun mevcut olduğu durumda dahi bağlayıcının yapışmasını sağlayan kuvvetli doplar vardır [36, 42].

1.6. Bitümlü Karışımlar

Bitümlü karışımlar, agregaya ile bitümlü bağlayıcı malzemenin belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Bu karışımlar serbest agregaya malzemesine göre çok pahalı olduklarından yol inşasında çoğunlukla kaplama tabakalarının yapımında kullanılırlar. Ülkemizde bitümlü karışımlar için bir terminoloji birliği olmadığından dolayı, bitümlü sıcak karışım, sıcak bitümlü karışım, beton asfalt, asfalt betonu, sıcak asfalt karışımı, asfalt kaplama vb. birçok isimle anılmaktadır.

Bitümlü karışımlar;

- Aşınma
- Binder

- Bitümlü temel

tabakalarında kullanılır. Trafik yüklerinin yarattığı gerilmelere ve çevresel etkilere en fazla maruz olduklarından dolayı temel ve alttemel tabakalarına nazaran daha stabil ve durabil olmalıdırlar [34].

Bitümlü karışımlar pahalı olmakla beraber birçok yararlı özelliğe sahiptir:

- Yol düzgün yüzeyli olur. Taşıtların tekerlek sürtünmesi nedeniyle yaptığı gürültü önemli ölçüde azalır, konfor artar. Tekerlekler daha az aşınır.
- Bağlayıcı malzeme agrega danelerini çok iyi şekilde birbirine bağladığı için taşıtların taş fırlatması tehlikesi ortadan kalkar.
- Oldukça geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edilir [34, 37, 55, 56, 57].

1.6.1. Bitümlü Karışımların Sınıflandırılması

Bitümlü karışımlar, karışımda kullanılan bitümün ısıtılıp ısıtılmamasına bağlı olarak Sıcak karışımlar ve Soğuk karışımlar olmak üzere ikiye ayrılır. Ayrıca karışımlar yapıldıkları yere bağlı olarak yolda karışım ve plentte karışım olmak üzere de ikiye ayrılır.

a) Bitümlü Soğuk Karışımlar

Asfalt emülsiyonunun veya katbek asfaltın, agrega ile soğuk halde ya da agrega yüzeyindeki nemin kurummasına yetecek kadar sıcaklıkta karıştırılması ile elde edilen karışımlara soğuk karışımlar denir. Ülkemizde çok yaygın olarak kullanılmayan soğuk bitümlü karışımlar, genel olarak kışın acil onarım işlerinde ve asfalt plentinin olmadığı veya ekonomik olmadığı durumlarda çok küçük miktarda bitümlü karışım gereken yerlerde kullanılmaktadır [41, 42, 58] .

b) Bitümlü Sıcak Karışımlar

Yüksek standartlı karayollarında, otoyollarda ve havaalanlarında yapılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar hem asfalt bağlayıcınının hem de agreganın uygun sıcaklığa kadar ısıtılıp uygun oranlarda plentte karışımı ile elde edilmekte ve yüksek standartlı esnek kaplamaların üst tabakalarında kullanılmaktadır. Sıcak karışım, karışımda kullanılan agrega granülometrisi sınıflarına göre dört gruba ayrılır.

- Açık gradasyonlu sıcak karışımlar: Bu karışımlarda ince agrega oranı çok az, dolayısıyla boşluk oranı çok olup %12'den fazladır. Makadam tipi kaplamalar bu sınıfa girer.
- Kesikli gradasyonlu sıcak karışımlar: Ara boyutlu malzeme çok azdır veya hiç yoktur. Boşluk oranı % 8–12 arasında olan bu tür karışımlar, pürüzlü bir yüzey verirler ve tekerlek izine karşı dirençleri yüksektir.
- Yoğun gradasyonlu sıcak karışımlar: Agrega granülometrisi düşük boşluk verecek şekilde süreklilik gösterir. Boşluk oranı % 8'den azdır. Bitümlü temel ve asfalt betonu bu sınıfa girer.
- Harç tipi karışımlar: İnce malzeme oranı fazladır. Kaba agrega, ince malzeme ve bitüm karışımı içinde dağılmış halde bulunur. Bu tür karışımlarda boşluk oranı çok düşüktür, bitüm yüzdesi çok yüksek olduğundan penetrasyonu düşük asfalt kullanılır. Beton ve çelik köprüler üzerinde de kullanılan mastik asfalt ve gussasfalt bu tür kaplamalara örnek olarak verilebilir [36, 42].

1.6.2. Bitümlü Kaplamalardan Beklenen Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Agrega-asfalt karışımlarının yol kaplaması olarak kullanılabilmesi, istenilen verimin alınabilmesi ve düşünülen hizmet süresini bozulmadan tamamlayabilmesi için belirli bazı özelliklere sahip olması ve bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu koşul ve özellikler teknik şartnamelerde verilmiştir. Karışımların dizayn edilmeleri sırasında aşağıdaki özellikler dikkate alınır:

- Stabilite
- Durabilite
- Geçirimsizlik
- İşlenebilirlik
- Esneklik
- Yorulmaya karşı direnç
- Kaymaya karşı direnç

1.6.2.1. Stabilite

Asfalt kaplamanın stabilitesi, trafik yüklerine, ötelenme ve tekerlek izleri oluşmayacak şekilde direnç gösterme yeteneğidir. Stabilite trafik yüklerini karşılayacak kadar yüksek olmalıdır. Ancak çok yüksek stabilite, çok sert bir karışım anlamına gelir ki bu tür kaplamalar trafik yükleri altında oluşan defleksiyonlara uyamayıp çatlarlar. Bu nedenle düşük stabilite gibi çok yüksek stabilite de zararlıdır [34, 55, 59].

Stabilite, agregalar arası içsel sürtünmeye ve bitüm-agrega kohezyonuna bağlıdır. Agregalar arası içsel sürtünme agregada danesinin şekli ve yüzey yapısı ile ilgilidir. Kohezyon, yükleme hızı ve asfaltın viskozitesi arttıkça, kaplama ısısı azaldıkça artar. Ayrıca asfalt yüzdesinin bir noktaya kadar artmasıyla kohezyon da artar. Ancak bitüm filmi daha fazla arttığına, içsel sürtünme ile birlikte stabilite de azalır [55].

Düşük stabiliteye neden olan etkenler ve etkileri Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Düşük stabilite sebep ve etkileri

DÜŞÜK STABİLİTE	
Sebep	Etki
Yüksek asfalt %'si	Oluklaşma, tekerlek izinde oturma ve kuma
Karışımında fazla kum %'si	Sıkıştırma sırasında ve inşaat sonrasında yumuşaklık, sıkıştırma zorluğu
Yuvarlak agregada, kırılmamış veya az kırılmış agregada yüzeyi	Tekerlek izinde oturma

1.6.2.2. Durabilite

Bir karışımın durabilitesi, karışımındaki asfaltın özelliklerinin değişmesine (oksidasyon, v.s.), agreganın kırılmasına ve asfaltın agregada yüzeyinden soyulmasına karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilir. Bu faktörler iklim, trafik veya her ikisinin birleşimi sonucu ortaya çıkar. Yüksek durabilite, yüksek asfalt %'si kullanarak, yoğun gradasyonlu, soyulma direnci yüksek agregada kullanarak ve karışımı en yüksek geçirimsizlik verecek şekilde dizayn edip sıkıştırarak sağlanır. Düşük durabiliteye neden olan bazı sebepler ve etkileri Tablo 7 'de verilmiştir [34, 55].

Tablo 7. Düşük durabilite sebep ve etkileri

Düşük Durabilite	
Sebeup	Etki
Düşük asfalt %'si	Kuru bir görünüş, agregaların sökülmesi
Yetersiz sıkışma ve dizayn hatası nedeniyle yüksek boşluk %'si	Kırılma ve ayrışmaya neden olan asfaltın erken yaşlanması
Soyulmaya karşı hassas agreganın kullanılması	Asfaltın agregadan soyulması ve agregaların sökülmesi

1.6.2.3. Geçirimsizlik

Geçirimsizlik, asfalt kaplamanın hava veya su geçişine olan direnci olarak tanımlanır. Geçirimsizlik, karışımdaki hava boşluğu yüzdesi ile belirlenir. Karışımdaki boşlukların, birbiri ile bağlantılı olması ve boşlukların yüzeye irtibatlı olması, geçirimsizliği etkileyen başlıca faktörlerdir. Karışımları geçirimli yapan sebepler ve etkiler Tablo 8'de verilmiştir [55, 60].

Tablo 8. Karışımları geçirimli yapan sebep ve etkiler

Geçirimsizlik	
Sebeup	Etki
Düşük asfalt %'si	İnce asfalt filmi erken yaşlanmaya ve sökülmeye neden olur.
Karışım dizaynında yüksek boşluk %'si	Su ve hava kolaylıkla karışım içine girer, oksidasyona ve agregaların ayrışmasına neden olur.

1.6.2.4. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, karıştırılma ve sıkıştırılmadaki kolaylık olarak ifade edilebilir. Çok fazla iri agreganın bulunduran karışımlar kolay işlenebilir olmazlar. Fillerin de çok fazla kullanılması işlenebilirliği düşürür. Ancak işlenebilirliği çok iyi olan karışımlar yumuşak karışımlardır ve bunların trafik yükleri altında deforme olmaları kolaydır. İşlenebilirlik problemlerinin sebepleri ve etkileri Tablo 9'da verildiği gibi özetlenebilir [55].

Tablo 9. İşlenebilirlik problemlerinin sebep ve etkileri

İşlenebilirlik Problemleri	
Sebep	Etki
Çok büyük dane boyutu	Pürüzlü bir yüzey, serim zorluğu
Çok fazla iri agrega	Sıkıştırma zorluğu
Çok düşük karışım sıcaklığı	Kaplanmamış agrega, düşük durabilite, pürüzlü bir yüzey, sıkıştırma zorluğu
Çok fazla ara boyutlu malzeme	Karışımın silindir altında ötelenmesi, sıkıştırma zorluğu
Düşük filler %'si	Yumuşak karışım, yüksek geçirgenlik
Yüksek filler %'si	Karışı çok kuru görünür, durabil olmaz ve işlenmesi çok zor olur.

1.6.2.5. Esneklik

Esneklik üstyapının taban zeminindeki geçici oturma ve hareketlere karşı, çatlamaya neden olmadan uyum gösterebilmesidir. Bitüm yüzdesi yüksek, açık gradasyonlu karışımlar, bitüm yüzdesi düşük yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha esnekler. Ancak bazen esnekliği yüksek karışımların stabilitesi düşük olabilir [55].

1.6.2.6. Yorulmaya Karşı Direnç

Bir üstyapının yorulmaya karşı direnci trafik yükleri altında oluşan tekrarlanan eğilmeye karşı direncidir. Karışımdaki boşluk yüzdesi ve asfaltın viskozitesi yorulmaya karşı direnç üzerinde çok etkilidir. Yetersiz sıkışma, yüksek boşluk yüzdesi, asfaltın yaşlanması ve sertleşmesi yorulma direncini azaltır. Üstyapının kalınlığı ve mukavemeti, taban zemininin taşıma gücü, üstyapı ömrünü etkileyen diğer faktörlerdendir. Tablo 10'da zayıf yorulma direncinin sebep ve etkileri verilmiştir [55, 61].

Tablo 10. Zayıf yorulma direncinin sebep ve etkileri

Zayıf Yorulma Direnci	
Sebep	Etki
Düşük asfalt %'si	Yorulma çatlakları
Yüksek dizayn boşluğu	Asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlakları
Yetersiz sıkışma	Asfaltın çok erken yaşlanmasını takiben yorulma çatlakları
Yetersiz üstyapı kalınlığı	Aşırı eğilmeyi takiben yorulma çatlakları

1.6.2.7. Kayma Direnci

Asfalt kaplama yüzeylerinde, özellikle yağışlı havalarda araç tekerleğinin kaymasına karşı oluşan dirence kayma direnci denir. Kayma direncinin yüksek olması için hem agrega sert ve pürüzlü olmalı hem de asfalt kaplama yüzeyi pürüzlü olmalıdır. Maksimum dane boyutu 1/2 in. veya 3/8 in. olan açık gradasyonlu karışımların kayma direnci yüksek olur. Tablo 11'de düşük kayma direncini oluşturan sebepler ve bunun etkileri verilmektedir [55].

Tablo 11. Düşük kayma direnci sebep ve etkileri

Düşük Kayma Direnci	
Sebep	Etki
Fazla asfalt %'si	Kusma, düşük kayma direnci
Agrega gradasyonunun kötü olması	Çok düzgün yüzeyle kaplama, suyun yüzeyden drene olamaması
Agrega cilalanma değerinin düşük olması	Düşük kayma direnci

1.7. Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynı

Agregaların kurutulması, iyi bir karıştırma ve işlenebilirlik sağlamak için asfalt çimentosunun uygun bir akıcılığa getirilmesi amacıyla karıştırmadan önce agrega ve asfalt çimentosunun (AC-bitüm) ısıtılmaları gerektiğinden, bu tür karışımlara bitümlü sıcak karışım denilmektedir [55, 62].

Bitümlü sıcak karışım dizaynında, agregalar ile bitümlü bağlayıcının uygun biçim ve oranlarının tespit edilmesinde, kullanılacak agreganın kalitesi ve granülometrisi, uygun bağlayıcının seçimi ve kullanılacak bitümlü bağlayıcı miktarının belirlenmesi gibi hususlarda son derece dikkatli olunması ve şartnamedeki koşullara uyulması gerekir.

1.7.1. Bitümlü Sıcak Karışım Dizaynının Amaçları

Asfalt kaplama karışım dizaynının amaçları,

- Sağlam (durabil) bir üstyapı elde etmek için gerekli bitüm miktarını bulabilmek;
- Trafik yükleri altında deformasyon göstermeyecek yeterlilikte karışım stabilitesini oluşturabilmek;
- Sıkıştırılmış karışımında kuma, akma ve stabilite düşüklüğü olmaksızın trafik tarafından oluşturulacak çok az miktardaki sıkışmaya imkân verecek, ancak karışım içinde rutubet ve fazla hava barındırmayacak ölçüdeki boşluğu sağlamak;
- Segregasyona uğramaksızın uygun serimi sağlayacak bir işlenebilirliği verecek, ekonomik bir karışım ve agrega gradasyonu belirlemek; olarak özetlenebilir [55, 62].

1.7.2. Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı

Ülkemizde ve diğer birçok ülkede bitümlü karışım dizaynı olarak, en yaygın olarak Marshall metodu kullanılmaktadır. Metot, sıcak karışımların laboratuvar dizaynı ve sıcak karışım asfalt kaplamalarının uygulamadaki kontrolleri için kullanılır [62, 63].

Bu çalışmada da karışım dizaynı metodu olarak Marshall Metodu kullanılmıştır.

Marshall metodu ile hazırlanan sıcak karışım dizaynı aşağıdaki işlem sırasına göre yapılmaktadır.

- Agregada gradasyonunun belirlenmesi
- Agregaların ve bitümün özgül ağırlıklarının belirlenmesi
- Agregada ve bitüm miktarının hesabı
- Briketlerin hazırlanması, ilgili hesaplamalar ve boşluk analizleri
- Stabilite ve akma değerlerinin bulunması
- Optimum bitüm miktarının belirlenmesi

1.7.2.1. Agrega Granülometrisinin Belirlenmesi

Karışımında kullanılacak değişik boyutlardaki agreganın elek analizi yapılarak karışımın granülometrisi belirlendikten sonra agrega karışımının granülometri eğrisi çizilir. Tolerans sınırları belirlenerek tolerans eğrileri ve şartname sınır eğrileri de çizilir. Karışım granülometri eğrisinin, şartname ideal eğrisiyle çakışması her zaman arzu edilen en ideal durumdur. İdeal granülometri eğrisi ile çakışacak veya ona çok yakın bir granülometri sağlayacak karışım oranlarını belirlemek amacıyla analitik yöntem, grafik yöntem ve deneme-yanılma yöntemi olmak üzere üç değişik yöntem kullanılmaktadır.

Agrega granülometrisi, bu çalışma için Yollar Fenni Şartnamesinde Aşınma Tabakası Tip-2 olarak belirtilen alt ve üst sınır değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

1.7.2.2. Agrega Karışımının Özgül Ağırlıklarının Belirlenmesi

Agrega karışımı, her biri değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerden oluştuğundan, toplam agreganın hacim veya zahiri özgül ağırlığı aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%İ}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (1)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%İ}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (2)$$

G_{sb} = Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı

G_{sa} = Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı

$\%K, \%İ, \%F$ = Agregaların ağırlıkça yüzdeleri

G_{kb}, G_{ib} = Agregaların hacim özgül ağırlıkları

G_{ka}, G_{ia}, G_{fa} = Agregaların zahiri özgül ağırlıkları

1.7.2.3. Agregaya ve Bitüm Miktarının Belirlenmesi

Marshall deney numuneleri (briketleri) için yaklaşık 1100–1300 gr agregaya ihtiyaç vardır. Briketler set halinde hazırlanır. Farklı bitüm yüzdelere sahip her set için en az 3, tercihen 5 briket hazırlanır [62]. Karışımdaki bitüm yüzdesi, agregaya ağırlığına göre bitüm yüzdesi ve karışım içindeki bitümün ağırlıkça yüzdesi olmak üzere iki şekilde belirlenebilir.

Agregaya Ağırlığına Göre Bitüm Yüzdesi (W_a): Hazırlanacak bir brikette, kullanılan agregaya ağırlığına göre ne kadar bitüm katılacağını ifade eder. Briketler, farklı bitüm yüzdelere sahip setler halinde hazırlanır.

Karışım İçindeki Bitümün Ağırlıkça Yüzdesi (W_b) : normal bitüm yüzdesi olarak ifade edilir. Örneğin, 1100 gr kuru agregaya ile 66 gr bitüm karıştırılırsa, oluşan 1166 gramlık karışımda, $W_b = 66/(66+1100)=\% 5,66$ olur.

1.7.2.4. Briketlerin Hazırlanması ile İlgili Hesaplar

Marshall numuneleri (briketleri) aşağıda verilen işlem sırasına göre şartlara uygun olarak hazırlanır.

1. Her bitüm yüzdesi için üçer numune hazırlanacağı düşünülerek, her bir numunede kullanılacak agregaya belirlenen granülometriye uygun olarak tartılarak hazırlanır. 1100-1300 gramlık agregaya karışımları ayrı ayrı kaplara konarak 165 °C lik etüvde 24 saat bekletilir.
2. Karışımda kullanılacak olan asfalt çimentosu da etüvde 165 °C'ye kadar ısıtılır.
3. Deneyde kullanılacak olan spatula, briket kapları, karıştırma kabı, kürek vb. aletler de 165 °C'lik etüvde ısıtılır.
4. 160 °C deki agregaya yine aynı sıcaklıktaki karıştırma kabına boşaltılır ve karıştırılır. Bu şekilde hazırlanan agregaya içerisine bir çukur açılır ve agregaya ağırlığına göre karışımın içerisine konulması gereken asfalt miktarı açılan çukura ilave edilir.
5. Asfalt çimentosunun agregaya içerisinde uniform bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla karıştırma işlemi mekanik bir karıştırıcı ile ya da kürek kullanarak elle mümkün olduğu kadar çabuk ve iyi bir şekilde yapılması gerekir.

6. Karışım, kalıba boşaltılır ve 45,7 cm (18 inch) yükseklikten düşüş yapan 4,536 kg'luk sıkıştırma tokmağı ile numunenin bir dizayn trafik sınırmasına göre belirlenen 75 vuruş uygulanarak sıkıştırılır ve daha sonra kalıp ters çevrilerek numunenin diğer yüzü de aynı vuruş sayısında bir defa daha sıkıştırılır.
7. Sıkıştırılmış numuneler numaralandırılır ve kalıptan çıkarılırken hiç deformasyon meydana gelmeyecek duruma gelene kadar kalıpla birlikte soğumaya bırakılır. Daha çabuk bir soğutma isteniyorsa masa vantilatörü kullanılabilir.
8. Numuneler soğuduktan sonra kriko yardımıyla kalıptan çıkarılır ve düz bir yüzey üzerine konulur ve bir gece soğumaya bırakılır.

Briketlerin Yüksekliklerinin Belirlenmesi:

Standart briket yüksekliği 63,5 mm olup mukavemet değeri bu yüksekliğe göre değerlendirilir. Standart briket yüksekliğine karşılık gelen katsayı 1'dir. Yüksekliğin 63,5 mm den büyük olduğu durumda bu katsayı azalır, 63,5 mm den küçük olduğu durumda ise katsayı artar. Briketin ölçülen stabilitesi ile numunenin yüksekliğine bağlı olan katsayının çarpımı, 63,5 mm yükseklikteki standart briketeye göre düzeltilmiş stabilite değerini verir. Bu stabilite faktörleri Tablo 12'de verilmektedir.

Setteki her briketin değişik yerlerinden üç okuma alınır ve bu okumaların ortalaması briket yüksekliği olarak Marshall deney formuna kaydedilir.

Briketlerin Hacimlerinin Belirlenmesi:

Bir briketin hacmi doygun yüzey-kuru ağırlığından sudaki ağırlığının çıkarılması ile elde edilir. Briketler önce havada tartılır ve ağırlıkları kaydedilir (A). Numune su havuzu içerisine konulur ve su emmesi iyice tamamlanana kadar beklenerek sudaki ağırlığı kaydedilir (C). Sudan çıkan numune, sadece yüzeyi üzerindeki serbest suyu alacak şekilde dikkatlice kurulur ve doygun yüzey-kuru ağırlığı tartılarak belirlenir (B). Numunenin hacmi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V = B - C \quad (3)$$

V: Briketin hacmi

B: Briketin doygun yüzey- kuru ağırlığı

C: Briketin sudaki ağırlığı

Tablo 12. Marshall Stabilite Faktörleri

Boy (mm)	Faktör	Boy (mm)	Faktör	Boy (mm)	Faktör	Boy (mm)	Faktör	Boy (mm)	Faktör
50,0	1,470	55,3	1,256	60,6	1,079	65,9	0,943	71,2	0,834
50,1	1,467	55,4	1,253	60,7	1,076	66,0	0,940	71,3	0,832
50,2	1,463	55,5	1,250	60,8	1,073	66,1	0,938	71,4	0,830
50,3	1,460	55,6	1,247	60,9	1,070	66,2	0,936	71,5	0,829
50,4	1,456	55,7	1,243	61,0	1,067	66,3	0,934	71,6	0,828
50,5	1,453	55,8	1,239	61,1	1,064	66,4	0,932	71,7	0,826
50,6	1,449	55,9	1,235	61,2	1,062	66,5	0,930	71,8	0,825
50,7	1,446	56,0	1,231	61,3	1,059	66,6	0,927	71,9	0,824
50,8	1,442	56,1	1,228	61,4	1,056	66,7	0,925	72,0	0,822
50,9	1,439	56,2	1,224	61,5	1,053	66,8	0,922	72,1	0,821
51,0	1,435	56,3	1,220	61,6	1,050	66,9	0,920	72,2	0,820
51,1	1,432	56,4	1,216	61,7	1,047	67,0	0,918	72,3	0,818
51,2	1,428	56,5	1,214	61,8	1,044	67,1	0,915	72,4	0,817
51,3	1,425	56,6	1,210	61,9	1,041	67,2	0,913	72,5	0,815
51,4	1,421	56,7	1,206	62,0	1,038	67,3	0,911	72,6	0,814
51,5	1,418	56,8	1,202	62,1	1,036	67,4	0,908	72,7	0,812
51,6	1,414	56,9	1,198	62,2	1,033	67,5	0,906	72,8	0,811
51,7	1,411	57,0	1,194	62,3	1,031	67,6	0,904	72,9	0,810
51,8	1,407	57,1	1,190	62,4	1,028	67,7	0,901	73,0	0,809
51,9	1,404	57,2	1,187	62,5	1,026	67,8	0,899	73,1	0,808
52,0	1,400	57,3	1,184	62,6	1,023	67,9	0,897	73,2	0,806
52,1	1,397	57,4	1,181	62,7	1,021	68,0	0,894	73,3	0,804
52,2	1,393	57,5	1,178	62,8	1,018	68,1	0,892	73,4	0,802
52,3	1,390	57,6	1,175	62,9	1,016	68,2	0,890	73,5	0,800
52,4	1,382	57,7	1,172	63,0	1,013	68,3	0,888	73,6	0,799
52,5	1,375	57,8	1,169	63,1	1,011	68,4	0,886	73,7	0,797
52,6	1,368	57,9	1,164	63,2	1,008	68,5	0,885	73,8	0,795
52,7	1,359	58,0	1,161	63,3	1,006	68,6	0,883	73,9	0,794
52,8	1,351	58,1	1,158	63,4	1,003	68,7	0,881	74,0	0,792
52,9	1,344	58,2	1,155	63,5	1,000	68,8	0,879	74,1	0,790
53,0	1,337	58,3	1,152	63,6	0,998	68,9	0,877	74,2	0,788
53,1	1,328	58,4	1,149	63,7	0,995	69,0	0,875	74,3	0,786
53,2	1,320	58,5	1,146	63,8	0,992	69,1	0,874	74,4	0,784
53,3	1,337	58,6	1,143	63,9	0,990	69,2	0,872	74,5	0,782
53,4	1,328	58,7	1,140	64,0	0,988	69,3	0,870	74,6	0,780
53,5	1,320	58,8	1,137	64,1	0,985	69,4	0,868	74,7	0,779
53,6	1,317	58,9	1,133	64,2	0,982	69,5	0,866	74,8	0,777
53,7	1,314	59,0	1,130	64,3	0,980	69,6	0,864	74,9	0,776
53,8	1,311	59,1	1,127	64,4	0,978	69,7	0,862	75,0	0,775
53,9	1,308	59,2	1,124	64,5	0,975	69,8	0,860	75,1	0,773
54,0	1,305	59,3	1,120	64,6	0,972	69,9	0,858	75,2	0,772
54,1	1,302	59,4	1,117	64,7	0,970	70,0	0,856	75,3	0,771
54,2	1,299	59,5	1,114	64,8	0,967	70,1	0,854	75,4	0,770
54,3	1,296	59,6	1,110	64,9	0,965	70,2	0,852	75,5	0,769
54,4	1,293	59,7	1,107	65,0	0,962	70,3	0,850	75,6	0,767
54,5	1,290	59,8	1,104	65,1	0,960	70,4	0,849	75,7	0,766
54,6	1,286	59,9	1,100	65,2	0,957	70,5	0,847	75,8	0,765
54,7	1,283	60,0	1,097	65,3	0,955	70,6	0,845	75,9	0,764
54,8	1,280	60,1	1,094	65,4	0,953	70,7	0,843	76,0	0,762
54,9	1,277	60,2	1,090	65,5	0,951	70,8	0,841	76,1	0,761
55,0	1,274	60,3	1,088	65,6	0,949	70,9	0,839	76,2	0,760
55,1	1,271	60,4	1,085	65,7	0,947	71,0	0,837	76,3	0,759
55,2	1,268	60,5	1,082	65,8	0,945	71,1	0,836	76,4	0,758

1.7.2.5. Briketlerin Yoğunluk ve Boşluk Analizleri

Her briket için yoğunluk ve boşluk analizleri bu bölümde verilen formüllerle hesaplanır.

- Briketin Hacim Özgül Ağırlığı (D_p) : Briketin ağırlığının hacmine oranıdır.

$$D_p = \frac{A}{V} \quad (4)$$

D_p : Briketin hacim özgül ağırlığı

A : Briketin havadaki ağırlığı

V : Briketin hacmi

Aynı briket grubu içinde bulunan yani bitüm yüzdeleri aynı olan numunelerin hacim özgül ağırlıkları arasındaki fark 0.02 den fazla olmamalıdır. Olması halinde numune atıl olur ve yeniden yapılması gerekir.

- Briketin Maksimum Teorik Özgül Ağırlığı (D_T) : Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığıdır.

$$D_T = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (5)$$

D_T = Kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı

W_a = Agreganın ağırlığının yüzdesi olarak bitüm

G_{ef} = Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_b = Bitümün özgül ağırlığı

Agreganın efektif özgül ağırlığı, ASTM D 2041'e göre yapılan maksimum teorik özgül ağırlık deneyiyle elde edilen D_T değerinin denklemde yerine yazılması ile bulunur. Agreganın emilen asfalt hacmi, emilen suyun hacminden daha azdır. Bunun sonucu olarak agreganın efektif özgül ağırlığı, zahiri özgül ağırlığı ve hacim özgül ağırlığı değerlerinin arasında bir değer olacaktır. D_T deneyinin yapılamadığı durumlarda efektif

özgül ağırlık agreganın hacim özgül ağırlık değeri ile zahiri özgül ağırlık değerinin ortalaması olarak alınabilir. Bulunan efektif özgül ağırlık değeri denklem (18) de yerine koyularak maksimum teorik özgül ağırlık bulunabilir.

- Bitüm Emmesi (Absorpsiyonu) (P_{ba}) : Agregada tarafından emilen asfalt hacmi emilen suyun hacminden daha azdır. Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak emilen bitüm aşağıdaki formül yardımı ile bulunmaktadır.

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb}} \times G_b \quad (6)$$

P_{ba} : Absorbe edilen bitüm, agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak

G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı

$$P_{be} = W_a - P_{ba} \quad (7)$$

P_{be} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif bitüm miktarı

Efektif bitüm yüzdesi, toplam bitüm miktarının agregaların dışını kaplayan kısmıdır ve kaplama karışımının performansına etki edecek bitüm miktarıdır.

- Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) : Efektif bitüm miktarını ve hava boşluğunu içeren, sıkıştırılmış kaplama karışımının agrega daneleri arasındaki boşluk olarak tanımlanır ve toplam hacmin yüzdesi olarak hesaplanır.

$$VMA = 100 - \frac{D_p}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + W_a} \times 100 \quad (8)$$

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi

- Hava Boşluğu $\%(V_h)$ ve Asfaltla Dolu Boşluk $\%(V_f)$: Sıkıştırılmış kaplama karışımı içinde hava boşluğu, kaplanmış agrega daneleri arasındaki küçük hava boşluklarıdır. Asfaltla dolu hava boşluk ise adından anlaşılacağı üzere briketteki asfaltla dolu boşlukların yüzdesidir.

$$V_h = \frac{D_T - D_p}{D_T} \times 100 \quad (9)$$

$$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} \times 100 \quad (10)$$

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu (%)

V_f : Asfaltla dolu boşluk (%)

1.7.2.6. Stabilite ve Akma Değerlerinin Belirlenmesi

Briketler üzerinde stabilite deneyi uygulanmadan önce numuneler yaklaşık 40 dakika 60°C'lik su banyosunda bekletilir. Sudan çıkartılan numuneye yaklaşık 30 sn içinde bezle suyu alınıp stabilite aletinin kırma kafasının içine yerleştirilir ve numuneye yük uygulanmaya başlanır. Uygulanan yük sabit bir deformasyon hızıyla kırılma anındaki yük değerine kadar devam eder. Brikette kırılma meydana geldiği andaki yük miktarı (kg) ve akma miktarı (inch) kaydedilir. Her briket için aynı işlemler tekrarlanır. Bu işlemlerin oldukça hızlı olması gerekmektedir. Su banyosundan ilk alınan numune ile son alınan numune arasında zaman farkı fazla olması, sonradan alınan numunelerin 60°C deki su içinde daha fazla kalması demektir. Bu durumda numuneler için eşit şartlar oluşmaz. Bunu önlemek için numuneler su banyosuna yaklaşık 30 sn aralıklarla koyulabilir.

Marshall stabilite değerlerini ifade eden yük miktarı, Tablo 12'de verilen düzeltme faktörleri ile çarpılarak her bir briket için düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplanır.

1.7.2.7. Optimum Bitüm Yüzdesinin Belirlenmesi

Briketlerin yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra, $D_p - W_a$, $V_f - W_a$, $V_h - W_a$, Stabilite - W_a , Akma - W_a , VMA - W_a grafikleri çizilir. İlk dört grafikten elde edilen bitüm yüzdeleri değerlerinin ortalaması alınarak, dizayn optimum bitüm değeri bulunur.

1.8. Esneklik Modülü İçin Dolaylı Çekme Deneyi

Elastik malzemelerde modül (elastik ya da Young modülü), gerilmenin deformasyona oranı olarak tanımlanır. Burada, deformasyon yükleme zamanının bir fonksiyonu değildir. Bununla birlikte viskoelastik malzemeler test edildiğinde, aynı bağıntı kullanılır, fakat kısa yükleme zamanı, uzun yükleme zamanına göre daha yüksek bir modül değeri verdiği için deneyin yükleme süresi tanımlanmalıdır. Asfalt karışımlar viskoelastik malzemeler olması nedeniyle böyle karışımların gerilme-şekil değiştirme karakteristikleri, yani tanımlanan modülleri zaman bağımlıdır. Zamana bağlı olan modül değeri elastisite modülü olarak tanımlanıp, eğer yükleme zamanı kısa ise esneklik modülü olarak adlandırılır [64, 65].

Literatür incelemesi, esneklik modülünün, asfalt karışımların karakterize edilmesinde kullanılan idealize edilmiş en yaygın modül olduğunu göstermektedir. Esneklik modülü, kısa bir zaman aralığında dinamik bir yükleme yapıldığında uygulanan gerilmenin geri dönen şekil değiştirmeye oranı olarak ifade edilir. Viskoelastik bir malzeme kısa bir süre yüklendiği zaman elastikmiş gibi cevap verir. Daha ileri literatür incelemesi, şu anda esneklik modülünün direkt basınç deneyi [65, 66], dolaylı çekme deneyi [67], burulma deneyi ve direkt çekme-basınç deneyi gibi farklı yöntemler kullanılarak belirlendiğini göstermektedir. Ancak, bu yöntemlerden son ikisi komplike, zaman alıcı ve pahalı iken direkt basınç deneyi ve dolaylı çekme deney yöntemleri daha sadedir. Ayrıca dolaylı çekme deney yöntemi, kolay oluşu ve deney için Marshall numunesi gerektirmesinin yanında, direkt basınç deneyine göre karışımdaki bağlayıcı etkisine karşı daha duyarlıdır [64].

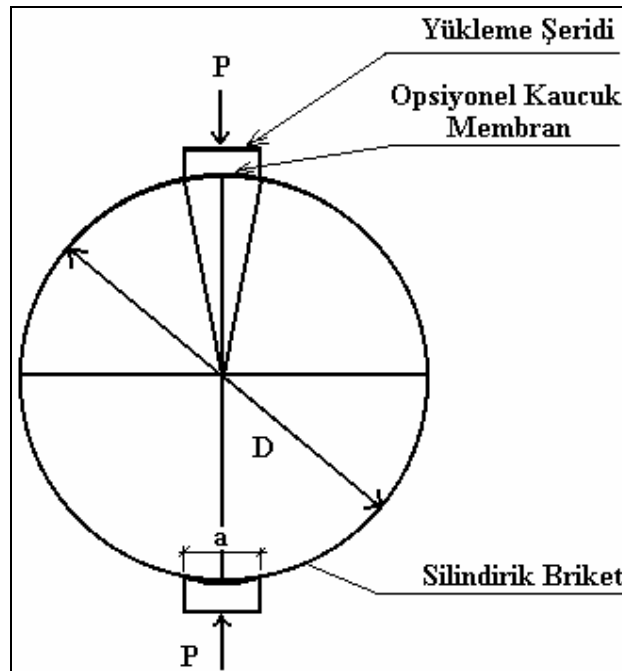
Son yıllarda, ampirik yaklaşımdan daha çok elastik teoriye dayanan mekaniksel yaklaşıma doğru giden bir süreçte esnek kaplamalar konusunda değişme söz konusudur [68]. AASHTO, 1986 yılında ileri sürdüğü tabakalı elastik teori formundaki mekanik yaklaşımı kullanmaktadır. Bitümlü karışımların esneklik modülünün değerlendirilmesinde ASTM D 4123 gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını ortaya koyan en popüler deney yöntemidir.

Esneklik modülü değerleri, malzemelerin rölatif kalitesini değerlendirmesinin yanı sıra kaplama tasarımı veya değerlendirme ve analizleri için girdi üretmeye yaramaktadır. Bu deney sayesinde sıcaklık, yükleme hızı ve süresi gibi etkiler araştırılmaktadır. Deney

tahribatsız olduğu için bir numune üzerinde sıcaklık veya nem koşullarını değerlendirmek amacıyla deneyler tekrarlanabilir [69, 70, 71].

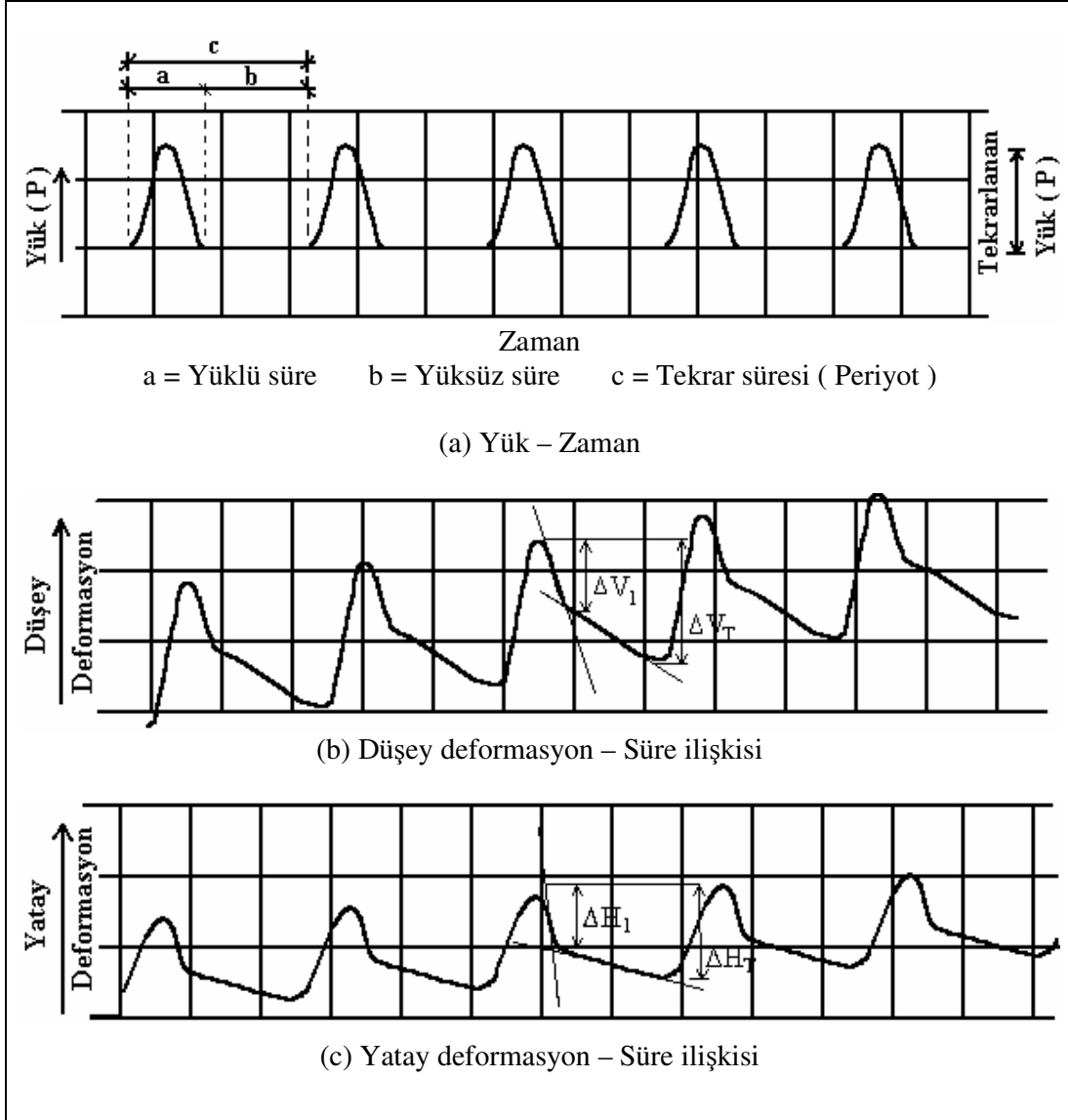
Bu çalışmada, SCHMİDT [67] tarafından geliştirilen ve detayları ASTM D 4123-82 de verilen [72], esneklik modülü için dolaylı çekme deneyi, standart deney yöntemi kullanılmıştır.

Dolaylı çekme deneyi ile esneklik modülü değerlerinin tespit edilmesinde, Marshall numunelerine yarı sinüzoidal (haversin) bir formda basınç yükü uygulanır. Şekil 4'te görüldüğü gibi, yük, silindirik numune üzerine düşey olarak uygulanır.



Şekil 4. Dolaylı Çekme Deneyi numune ve yükleme durumu

Deney, Şekil 5'te verilen süre-yük eğrisine uygun olarak yapıldıktan sonra numunenin nihai yatay deformasyonu ölçülür ve bir poisson oranı kabul edilerek numunenin esneklik modülü hesaplanır.



Şekil 5. Dolaylı Çekme Deneyi yükün uygulanması ve deformasyon durumu

Numuneler sıcaklık kontrollü hücreye yerleştirilerek belirlenen sıcaklığa gelmesi için 24 saat beklenir. Numunelerin istenilen sıcaklığa gelip gelmediği kukla numune içerisine yerleştirilen bir derece ile tespit edilir. Numuneler deney ekipmanına yerleştirilir. Ön hazırlık yüklemesi yapılarak numunenin yerleşmesi yapılır.

Numuneye dolaylı çekme mukavemeti değerinin % 10'u ile % 50'si arasında değişen bir yük belirlenen bir periyot boyunca beş kez yarı sinüzoidal (haversin) olarak uygulanır ve numune içerisinde oluşan yatay ve düşey deformasyonlar ölçülür. Deney aşamasında yük tekrüründe 0.33, 0.5 ve 1 Hz'lik frekansların uygulanması önerilmektedir.

Esneklik modülü değeri için bir numuneye iki defa deney uygulanır. İlk deney tamamlandıktan sonra numune 90° çevrildikten sonra ikinci kez deneye tabi tutulur ve esneklik modülü değeri olarak iki deney sonucunun ortalaması alınır.

Deneyin tahribatsız olması nedeniyle, bir numuneye birden fazla deney yapılması imkanı vardır. Bu nedenle numunede kalıcı deformasyonları azaltmak için en düşük sıcaklıklarda, en kısa yükleme süresi ve en düşük yük ile başlanmalıdır.

Esneklik modülü, uygulanan yük, kabul edilen veya hesaplanan poisson oranı ve numune yüksekliğine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_R = \frac{P}{l \times \Delta H} (V_R + 0,27) \quad (11)$$

Burada;

M_R : Esneklik modülü (MPa)

P : Uygulanan yük (N)

V_R : Poisson oranı

l : Numune yüksekliği (mm)

Δ_H : Geri dönen yatay deformasyon (mm)

Karışımın su hasarına karşı gösterdiği direncin belirlenmesi için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bitümlü karışımların soyulma potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılan deney yöntemlerinde amaç çeşitli suya karşı koşullandırmalar sonucunda malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimi yansıtmaktır. Sonuçta elde edilen oransal ifadelerle soyulma hasarının nicel bir ölçüsü ortaya konulmuş olur. Bu çalışmada, suya maruz bırakılmış (koşullu) numunelerden elde edilen esneklik modülü değerlerinin, suya maruz bırakılmadan önceki (koşulsuz) esneklik modülü değerlerine oranlamasını esas alan yöntem kullanılmıştır [73, 74, 75].

$$RM_R = M_{R_{\text{Yaş}}} / M_{R_{\text{kuru}}} \quad (12)$$

Burada;

RM_R : Esneklik modül oranı

$M_{R_{\text{Yaş}}}$: Islak (suya koşullanmış) numunenin esneklik modülü

$M_{R_{\text{kuru}}}$: koşullandırma öncesinde numunenin esneklik modülü

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, asfaltitin asfalt karışımlarda mineral filler olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışma için iki farklı agregaya karışımı hazırlanmıştır. İlk agregaya karışımında kaba agregaya, ince agregaya ve mineral filler malzemesi olarak kalker kullanılmıştır. İkinci agregaya karışımında ise kaba agregaya ve ince agreganın cinsi ve miktarı değişmezken filler olarak kalker yerine öğütülmüş asfaltit kullanılmıştır.

Bu bölümde, asfalt betonu içerisindeki performansını belirlemek amacıyla, kullanılan malzemeler (asfaltit, agregaya, bitüm) ile karışımlar üzerinde yapılan deneyler anlatılmakta ve uygulanmış deneylerin sonuçları verilmektedir.

2.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1. Agregaya

Bitümlü karışım kaplamaların performansına doğrudan etki eden agreganın görevi, üstyapının yük taşıma kapasitesini sağlamaktır. Bitümlü karışımlarda, düşük boşluk ve yüksek stabilite elde edilmesi agregaya gradasyonunun iyi olmasına bağlıdır. Agregaya – bitüm adezyonunun iyi olması, suyun etkisiyle soyulma (bağlayıcının agregadan ayrılması) olayının olmaması agreganın yüzey yapısı, dane boyutu, gözenekliliği ve su absorpsiyonu özellikleri ile doğrudan ve yakından ilgilidir. Ayrıca agreganın ısı değişimleri neticesinde oluşan donma ve çözölmeye, aşınmaya, kaymaya ve trafik yüklerinden doğan sürtünme ile meydana gelecek cilalanmaya karşı mukavemetli, sağlam ve dayanıklı olması gerekir. Bitümlü karışım tabakalarında kullanılacak agregada aranan özellikleri belirlemek amacıyla bazı kalite kontrol deneyleri yapılır [42].

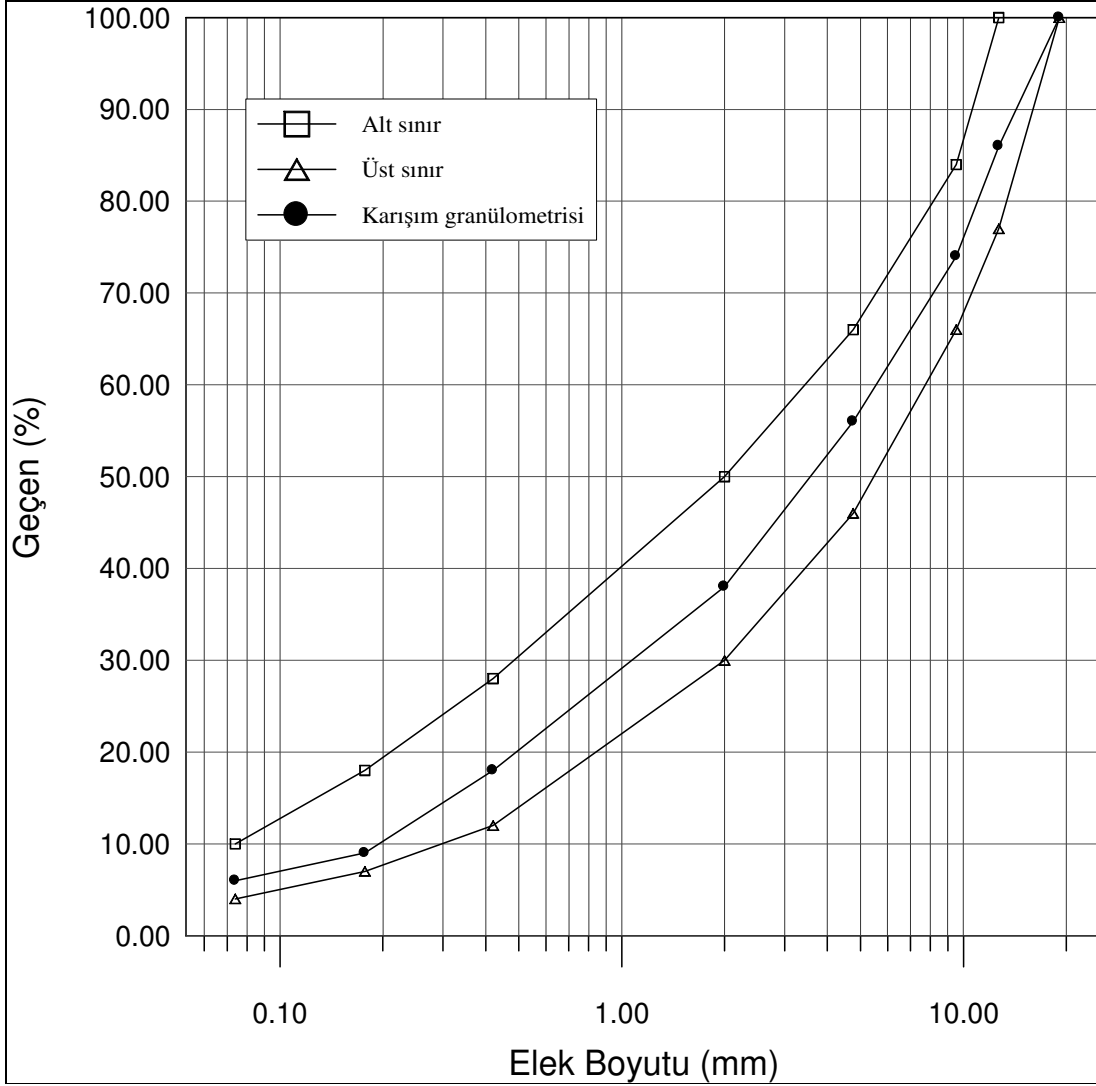
Çalışmada kullanılan agregaya Trabzon İli Maçka yakınlarındaki Meryemana Kalker Taşocağından alınarak konkasörde kırılmış kalkerdir. Agregaya üzerinde bazı kalite kontrol deneyleri yapılarak deneylerden elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmektedir.

2.1.1.1. Elek Analizi

Deneyleerde, Yollar Fenni Şartnamesi [39] Aşınma Tabakası Tip-2 olarak belirtilen granülometri sınırları arasında kalan agrega karışımı kullanılmıştır. Taşocağından alınan agrega malzemesi öngörülen granülometri için elemeye tabi tutulmuş; bir numunede kullanılacak malzeme miktarlarına ilişkin her bir elek üzerinde kalan miktarlar Tablo 13'te verilen şekilde belirlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan tüm deneyleerde kullanılan karışım numuneleri, Şekil 6'da verilen bu yoğun agrega granülometrisi kullanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 13. Karışımlarda kullanılan agrega granülometrisi ve şartname sınırları

Elek Boyutu		Şartname Sınırları Toplam Geçen	Karışım Granülometrisi Toplam Geçen	Elek Üzerinde Kalan	Bir Numune İçin Kullanılan Miktar
Inch	mm	%	%	%	Gr
(3/4)"	19,1	100	100	0	0
(1/2)"	12,7	77-100	86	14	154
(3/8)"	9,5	66-84	74	12	132
No.4	4,76	46-66	56	18	198
No.10	2,00	30-50	38	18	198
No.40	0,42	12-28	18	20	220
No.80	0,177	7-18	9	9	99
No.200	0,074	4-10	6	3	33
TAVA	-	-	0	6	66



Şekil 6. Çalışmada kullanılan agrega granülometrisi

2.1.1.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Bir agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacmindeki ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Mineral agrega gözenekli olup suyu ve asfaltı değişik ölçülerde absorbe edebilmektedir. Danenin hacim tanımlamasına bağlı olarak zahiri özgül ağırlık, hacim özgül ağırlık ve efektif özgül ağırlık olmak üzere üç tip özgül ağırlık türü vardır [76].

Hacim Özgül Ağırlık, geçirimsiz ve geçirimli tüm boşluklarla birlikte katı dane hacmini kapsar.

Zahiri Özgül Ağırlık, geçirimsiz boşluklarla birlikte katı dane hacmini kapsar.

Efektif Özgül Ağırlık ise, asfalt absorbe (emme) eden boşluklar dışındaki tüm dane hacmini kapsar.

Bu deneyler sayesinde agreganın hacim-ağırlık ilişkileri ve suya hassasiyeti, bitümlü karışımdaki boşluk yüzdesi, karışımın teorik özgül ağırlığı ve karışımdaki asfaltla dolu boşluk yüzdesi tespit edilir.

Çalışmada kullanılan agrega malzemesinin doğal nem oranı 0,34 olarak belirlendikten sonra, kalker olan kaba agrega, ince agrega ve mineral filler malzemeleri ayrı ayrı özgül ağırlık deneylerine tabi tutuldu. ASTM C 127 [77], ASTM C 128 [78] ve BS 12 [55] standartlarına göre gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 14'te topluca özet olarak verilmiştir.

Tablo 14. Deneylerde kullanılan agrega karışımının özgül ağırlıkları ve su emmesi

Agrega Boyutu	Özellik	Deney Sonucu
Kaba Agregası	Hacim Özgül Ağırlık	2,698
	Zahiri Özgül Ağırlık	2,714
	Su Emme Yüzdesi	0,33
İnce Agregası	Hacim Özgül Ağırlık	2,683
	Zahiri Özgül Ağırlık	2,735
	Su Emme Yüzdesi	0,62
Filler	Zahiri Özgül Ağırlık	2,743

2.1.1.3. Aşınma Deneyi

Agregalar, asfalt kaplama karışımlarının üretilmesi, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında kırılma ve aşınmaya maruz kalırlar. Ayrıca trafik yükü de yoldaki agreganın aşınmasına sebep olur. Aşınma deneyi, agreganın aşınma ve darbelenme etkilerine karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Bu aşınma ve çarpma etkileri, numunenin granülometrisine bağlı olarak seçilen sayıdaki çelik kürelerin dönen bir silindir içine konulmasıyla oluşturulur. Makine kullanılan malzeme sınıfına göre uygun sayıda döndürüldükten sonra içindekiler çıkarılır ve agrega elenerek aşınan kısım % kayıp olarak

bulunur. ASTM C 131 standardına [79] göre yapılan deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 15'te özet olarak verilmiştir. Beton asfalt kaplama agregaları için kabul edilen maksimum aşınma kaybı % 30 dur [39].

Tablo 15. Agreganın aşınma kaybı

A	Numunenin ilk ağırlığı	5000,6
B	Numunenin son ağırlığı	3926,8
$100 \times (A-B)/A$	Aşınma kaybı	21,57

2.1.1.4. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık Deneyi (Donma Deneyi)

Hava tesirleri altında kalan agregalar, donma ve çözülme olayları sonucunda granülometrik olarak bozulmaya uğrarlar. Agreganın granülometrisinin bozulması, yolun bozulmasına neden olur. O nedenle yol yapımında kullanılan agregaların donma ve çözülmeye karşı istenen sağlamlıkta olması gerekmektedir.

Bu deney yöntemi, doymuş sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltileri kullanılarak agregaların hava tesirleriyle donarak ufalanmaya karşı dirençleri hakkında, laboratuarda kısa süre içinde bir karar verebilmek amacı ile uygulanan hızlandırılmış bir deneydir.

Deney için sodyum sülfat çözeltisi kullanıldı. Buharlaşmayı önlemek için ağzı kapalı bir kaptan 48 saat sabit sıcaklıkta bekletilen çözeltinin özgül ağırlığı belirlendi. Burada dikkat edilecek bir husus, sodyum sülfat çözeltisi özgül ağırlığının 1,151 ile 1,174 arasında olması gerektiğidir.

Deneyde kullanılan agreganın 63, 50, 37,5, 25, 19, 12,5, 4,75 ve 2 mm'lik eleklerden elenerek elekler arasında kalan malzeme yıkandıktan sonra 110°C 'lik etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutuldu. Her elek üzerinde kalan numuneden, esas numunenin %5'inden az olmayacak şekilde standardına uygun olarak gerekli miktarda malzemeler alındıktan sonra ASTM C 88 standardına uygun olarak deneye tabi tutuldu. Donma kaybı, numunenin deneyden önceki ağırlığı ile deneyden sonraki ağırlıkları farkının ilk ağırlığa oranı olarak belirlendi. Bu kayıp yüzdeleri esas granülometri ile çarpılmak suretiyle düzeltilmiş kayıp yüzdeleri bulundu. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 16'da verilmiştir. Ağır trafikli

yollarda aşınma tabakası için kullanılacak agreganın donma kaybı maksimum % 12 olmalıdır [39].

Tablo 16. Agreganın donma kaybı deney sonuçları

Elek No	Numune Granulometrisi		Düzeltilmiş Her Elek Üzerinde % Kalan	Deneyden Önceki Numune Ağırlığı (gr)	Deneyden Sonraki Ağırlık (gr)	Deney Sonrası Kayıp (gr)	Düzeltilmiş Kayıp (%)
	% Geçen	Her Elek Üzerinde % Kalan					
		B	$C=100 \times B/A$	D	E	F=D-E	$G=F \times C/D$
¾"	100						
½"	85,8	14,2	21,7	676	642,1	33,9	1,09
3/8"	79,3	6,5	9,9	330	315,2	14,8	0,44
No.4	55,8	23,5	36,0	302	297,3	4,7	0,56
No.10	34,6	21,2	32,4	100	98,9	1,1	0,35
Toplam, A = 65,4			100	Numunenin Toplam Donma Kaybı			2,44

2.1.1.5. Yassılık Deneyi

Bu deney yöntemine göre bir agrega malzemesinin yassı kabul edilebilmesi için deneye alınan herhangi bir agrega danesinin kalınlığının, nominal boyutunun 0.6'sından küçük olması gerekir. Yassı danelerden oluşan bir yapı, trafik yükü altında stabil değildir. Yassı daneler yük altında kolaylıkla kırılır ve karışımın mukavemeti düşer.

BS 812 standardına göre yapılan deney ile agrega malzemesinin yassılık indeksi belirlenir [55]. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Deney, 63 mm'den küçük 6,3 mm'den büyük agrega malzemesine uygulanır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan agrega granulometrisine göre, deneyde kullanılan elekler ve bu eleklerle göre belirlenen malzeme miktarları Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. Yassılık indeksinin belirlenmesinde kullanılan elekler ve malzeme miktarları

Elek Açıklığı (Inch)	Elekler Arası Kalan (%)	Her Elek Üzerinde Düzeltilmiş Kalan (%)	Deney İçin Kullanılan Miktar (gr)
3/4-1/2	14	33,3	1080
1/2-3/8	12	28,6	550
3/8-1/4	16	38,1	300

Elekler arası kalan malzeme miktarları alınarak denenmiş ve her elek için yassı dane ağırlığı belirlenmiştir. Her elek üzerinde kalan malzeme için yassı dane yüzdesi, deneyde bulunan yassı malzeme ağırlığının deneye alınan malzeme ağırlığına oranlanmasıyla elde edildi. Her eleğe ait yassı dane yüzdesi, o elek için düzeltilmiş granülometri yüzdesi ile çarpılmak suretiyle gerçek yüzdeler bulundu. Bu düzeltilmiş yüzdelerin toplamı, malzemenin yassılık indeksi olarak belirlendi. Deney sonuçları Tablo 18’de verilmiştir. Yassılık indeksi, ağır trafikli yollarda aşınma tabakası için maksimum % 30 olmalıdır.

Tablo 18. Agrega granülometrisinin yassılık indeksi deney sonuçları

Elek No	Her Elek Üzerinde Kalan (%)	Düzeltilmiş Her Elek Üzerinde Kalan (%)	Deneye Alınan Numune Ağırlığı (gr)	Yassı Numune Ağırlığı (gr)	Yassı Dane Yüzdesi (%)	Düzeltilmiş Yassı Dane Yüzdesi (%)
	K	$M=100 \times K/L$	N	P	$R=100 \times P/N$	$S=R \times M$
3/4"-1/2"	14	33,3	1080	4,39	0,41	13,65
1/2"-3/8"	12	28,6	550	1,12	0,20	5,72
3/8"-1/4"	16	38,1	300	0,21	0,07	2,67
Toplam, L = 42		100	Agrega Malzemesinin Toplam Yassılık İndeksi			22,04

2.1.1.6. Cilalanma Deneyi

Bu deneyin amacı, kaplama tabakasında kullanılan agreganın, trafik yükleri altında sürtünme sonucu ne dereceye kadar aşınacağını, yol koşullarına benzer şekilde

laboratuarda kısa sürede tespit etmektir. Yol kaplamasının, cilalanmaya karşı mukavemeti düşük agregadan yapılması, yolun kaymaya karşı direncini düşürür. Dolayısıyla taşıtların, özellikle yağışlı havalarda kaymasına neden olur. Agreganın cilalanma değeri ile kaymaya karşı direnç arasındaki ilişki, trafik koşullarına, kaplama tipine ve diğer bazı faktörlere bağlı olarak değişir. Cilalanma deneyi iki aşamadan ibarettir.

1. Deney için hazırlanan numuneler, hızlandırılmış cilalanma makinesinde cilalanma işlemine tabi tutulur.

2. Cilalanan numunelerin, sürtünme aleti ile cilalanma değerleri bulunur.

BS 812 standardına [55] uygun olarak yapılan deneyde öncelikle cilalanma değeri belirlenecek olan agrega malzemesinin, 9,5 mm ile 8 mm elekler arasında kalan kısmından, yassı ve uzun olmayan agregalar alınarak deney numuneleri hazırlandı. Hazırlanan numuneler cilalanma işlemine tabi tutularak numunelerin cilalanması sağlandı. Cilalanan numunelerin cilalanma değerinin bulunması için numuneler sürtünme aletine yerleştirilerek sürtünmeleri sağlanmış ve cilalanma değerleri kaydedilmiştir. Standardına uygun olarak gerçekleştirilen deney sonucunda agreganın cilalanma değeri 0,47 olarak bulunmuştur.

2.1.2. Asfaltit

Çalışmada Şırnak Avgamasya Filonu'ndan temin edilen asfaltit kullanılmıştır. Karışımlarda filler olarak kullanılan asfaltit, KTÜ Ulaştırma Laboratuvarı'nda öğütülmüş ve 200 nolu elekten elenerek elde edilmiştir. Asfaltitin kimyasal özellikleri ise KTÜ Kimya Bölümü laboratuvarlarında belirlenmiştir. Ayrıca kimyasal çözücülerle asfaltitten yaklaşık % 12 oranında asfaltik bitüm elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan asfaltitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 19'da verilmektedir.

Tablo 19. Asfaltitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Uçucu Madde (%)	Isıl Değer (Kcal/Kg)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Deney Sonucu	0,65	44,82	5,63	23,34	4705	1,152

2.1.3. Asfalt Çimentosu

Yol inşaatında kullanılacak asfalt çimentosunun şartnamelerde istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek maksadıyla bir takım standart deneylere tabi tutularak özellikleri belirlenir. Bu özelliklerin yol kaplamasının durumuna ve dayanıklılığına önemli etkileri vardır.

Bu çalışmada karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılmak üzere sıcak karışım tasarım ölçütleri ışığında, Türkiye Petrol Rafineleri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ)'nden temin edilen 100/150 penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmıştır.

Asfalt çimentosunun bazı fiziksel özelliklerini belirlemek ve şartname sınırlarıyla karşılaştırmak için aşağıdaki deneyler yapılmıştır. Aşağıda deneylerin yapılışı ve deneylerden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2.1.3.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Bitümlü maddelerin özgül ağırlığı, bunların 25 °C de hacmi bilinen bir miktarının ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına bölünmesinden elde edilen orandır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir. Birincisi; çok defa ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık önemlidir. [33].

Bu çalışmada asfalt çimentosunun özgül ağırlığı piknometre yöntemiyle [80] bulundu. Piknometre, deneyden önce temizlenip kurutulduktan sonra cam kapağıyla birlikte 0,1 g'a duyarlı terazide tartıldı (A). Sonra saf su ile tamamen doldurularak tartılır (B). Piknometre içerisindeki su tamamen boşaltıldı ve 110 °C lik etüvde kurutuldu. Etüvde kurutulduktan sonra piknometre içerisine uygun miktarda (piknometrenin yaklaşık 2/3 ü kadar) ısıtılıp akıcı hale getirilmiş asfalt çimentosu konuldu ve tartıldı (C). Daha sonra numunenin üzeri saf su ile doldurularak yaklaşık 40 dakika 25 °C'lik su banyosunda bekletildikten sonra tartıldı (D). Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı aşağıdaki formülle

hesaplanarak 1.021 olarak belirlendi. Tablo 20’de asfalt çimentosu üzerinde yapılan özgül ağırlık deneyinin sonuçları verilmektedir.

$$\frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (13)$$

A= Piknometrenin boş ağırlığı, gr

B= Su dolu piknometre ağırlığı, gr

C= Piknometre ve doymuş yüzey numune ağırlığı, gr

D= Numune ve su dolu piknometre ağırlığı, gr

Tablo 20. Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı

A	Piknometrenin boş ağırlığı, gr	26,00
B	Piknometre+su ağırlığı, gr	76,72
C	Piknometre+numune ağırlığı, gr	45,67
D	Piknometre+su+numune ağırlığı, gr	77,13
$\frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$	Özgül ağırlık, gr/cm ³	1,021

2.1.3.2. Penetrasyon Deneyi

Penetrasyon, standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde, asfalt numunesi içersine düşey olarak batma derinliğinin 0,1 mm cinsinden değeridir [81]. Penetrasyon birimi santimetrenin yüzde biridir. Deney sonunda okunan değer 100 ise, asfaltın penetrasyonu 100 demektir; iğne asfaltın içersine 1 cm batmış anlamına gelir. Penetrasyon değeri kıvamlilikla ters orantılıdır, penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar.

Deney için, asfalt çimentosunun konulduğu numune kabı, 25⁰C sıcaklıktaki su dolu bir kap içersine konularak, düzgün bir yere konulmuş ve göstergesi sıfıra getirilmiş olan penetrasyon cihazının tablasına yerleştirildi. 100 gram yük ile yüklenen iğne, numune yüzeyine degecek şekilde ayarlandıktan sonra 5 saniye süreyle serbest bırakıldı ve bu süre sonunda penetrasyon değeri göstergeden okundu. Kap kenarından ve birbirinden 1 cm uzaklıkta arka arkaya 3 batma yapıldı. Burada dikkat edilecek husus her batmadan sonra

iğnenin uygun bir çözücü ile temizlenip kurulanması gerekir. Kalıntı asfaltın penetrasyon değeri 3 batma miktarının ortalaması alınıp 136 olarak bulundu. Penetrasyon deneyinin sonuçları Tablo 21’de verilmektedir.

Tablo 21. Asfalt çimentosunun penetrasyonu

Deney No	Penetrasyon (0,1 mm, 100 gr, 5 sn)	Penetrasyon (ortalama)	Şartname	Şartname Sınırları
1	134	136	EN 1426	100–150
2	136			
3	138			

2.1.3.3. Düktilite Deneyi

Düktilite, uzama veya çekilebilme anlamına gelmektedir. Asfalt çimentolarının önemli özelliklerinden biridir. Uzama yeteneği fazla olan asfalt çimentoları, düktilite değeri daha düşük olan asfalt çimentolarına göre daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptirler. Diğer yandan çok yüksek düktilite değerine sahip olan asfaltlar ise, ısı değişimlerine karşı fazla duyarlık gösterirler. Bu nedenle, çeşitli asfaltların düktilite değerleri sınırlandırılmıştır.

Asfalt çimentosunun düktilitesi, standart kalıpta hazırlanmış bir numunenin belirli deney koşulları altında kopmaksızın uzayabildiği miktarın cm cinsinden değeridir.

TS 119 standardına [82] göre deney için, asfalt çimentosu ısıtılarak akıcı hale getirilerek 280 µm elekten süzöldükten sonra vazelinlenmiş olan düktilite kalıbına dökülmek suretiyle 3 adet düktilite numunesi hazırlandı. Yaklaşık 40 dakika oda sıcaklığında ve 30 dakika da 25⁰C’lik su banyosunda bekletilen numunelerin fazla kısımları ısıtılmış bir spatula ile kesilerek düzeltildikten sonra 25⁰C’lik su banyosunda 1.5 saat daha bekletildi. Levhadan ayrılan ve kalıp yan parçaları çıkarılan numuneler çabucak düktilite cihazına konularak dakikada 5 cm’lik bir hızla kopuncaya kadar çekilmeye bırakıldı. Numunelerin koptuğu an cihaz kenarındaki cetvelden uzama miktarları cm cinsinden okundu ve bu üç numunenin ortalaması alınarak asfalt kalıntısının düktilitesi 110 (cm) olarak bulundu. Tablo 22’de düktilite deneyinin sonuçları verilmektedir.

Tablo 22. Asfalt çimentosunun düktilitesi

Numune no	Briketin uzama miktarı, cm	Düktilite (ortalama)	Şartname	Şartname Sınırları
1	110	110	TS 119	Min. 100
2	108			
3	112			

2.1.3.4. Yumuşama Noktası Deneyi

Asfalt çimentolarının kıvamlılıkları ısı değişimlerinden fazla etkilenmektedir. Asfaltların bu özelliklerine ısıya karşı duyarlılık denir. Değişik ham petrolerden üretilmiş asfaltların ısı değişimlerine karşı duyarlılıkları farklıdır. Asfaltların sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılıklarını ölçmek için en kısa ve en basit yöntem yüzük ve bilya yöntemiyle yumuşama noktasının bulunmasıdır.

Yumuşama noktası, bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde standart çaplı bir bilya bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü maddenin belli bir hızla ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır.

TS 120 [40] standardına göre yapılan deneyde kap 5 °C' ye kadar soğutulmuş saf su ile dolduruldu. Numuneyi taşıyan halka özel yerine oturtulduktan sonra bilya da suya kondu. -2 ila 80 °C arasında bölmelenmiş termometre, civa haznesinin ucu, halkanın alt yüzü ile aynı düzeyde ve halkadan 0,5 cm uzaklıkta bulunacak şekilde banyoya sarkıtıldı. Su banyosunun sıcaklığı 15 dakika süreyle 5 °C 'da sabit tutuldu. Sonra bilya uygun bir maşa yardımıyla halka içindeki numunenin tam ortasına yerleştirildi. Banyonun suyu ilk 3 dakikadan sonra dakikada 5 °C yükselecek şekilde ısıtıldı. Sıcaklığın artmasıyla yumuşayan malzemenin, kabın tabanına değdiği andaki termometreden okunan değer yumuşama noktası olarak kaydedildi. Çalışmada kullanılan AC' nin yumuşama noktası 42 °C bulunmuştur.

2.1.3.5. Parlama Noktası Deneyi

Parlama noktası, bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Bir malzemenin parlama noktasının

bilinmesi, o malzemenin uygulanması sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından çok önemlidir.

Bu çalışmada asfalt çimentosunun parlama noktası genellikle Cleveland açık kap yöntemiyle bulundu. Küçük bir kaba konulan asfalt çimentosu sıcaklığı dakikada 15 °C artacak şekilde ısıtıldı. 4 mm çapındaki küçük bir alev zaman zaman numune üzerine yaklaştırıldı. Numune yüzeyinin herhangi bir noktasında alevin görüldüğü andaki sıcaklık değeri asfalt çimentosunun parlama noktasıdır. Bu çalışmada kullanılan asfalt çimentosunun parlama noktası 325 °C olarak belirlenmiştir. Deneye devam edildiğinde numunenin en az 5 saniye yandığı andaki 360 °C lik sıcaklık ise asfalt çimentosunun yanma noktasıdır.

2.2. Marshall Metodu ile Sıcak Karışım Dizaynı

2.2.1. Karışımlarda Kullanılan Agregalar ve Bitüm Miktarları

Daha önce de anlatıldığı gibi karışımda kullanılmak üzere şartname sınırları içinde kalacak şekilde Aşınma Tabakası Tip-2'ye uygun bir agregalar granülometrisi belirlenmiştir. Bu karışım granülometrisine göre her bir Marshall numunesi için toplam 1100 gr agregalar kullanılmıştır. Agregalar karışımları % 44 oranında kaba agregalar, % 50 oranında ince agregalar, % 6 oranında da mineral filler içermektedir.

Tamamı kalker olan karışımlarda her set için agregalar ağırlığına göre bitüm yüzdeleri sırasıyla 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 şeklinde, mineral filler asfaltit olan karışımlarda her set için agregalar ağırlığına göre bitüm yüzdeleri sırasıyla 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 şeklinde ayarlanmıştır. Bu bitüm yüzdelerinde kullanılan bitüm miktarları Tablo 24 ve Tablo 25 'te (Marshall Deney Formlarında) verilmektedir.

2.2.2. Yoğunluk, Boşluk ve Stabilite Analizleri

Her bir numunenin yoğunluk boşluk analizleri yapılmıştır. Bu analizlerle briketlerin hacim özgül ağırlıkları, maksimum teorik özgül ağırlıkları, bitüm emme ve efektif bitüm yüzdeleri, agregalar arası boşluk yüzdeleri (VMA), hava boşluğu ve asfaltla dolu boşluk yüzdeleri hesaplanmıştır.

Briketlerin stabilite ve akma değerleri Marshall Test Aleti ile belirlenmiştir. Brikette kırılma anındaki yük miktarı ve akma miktarı kaydedilmiştir. Marshall stabilite değerini ifade eden yük miktarları Tablo12’de verilen düzeltme faktörleri ile çarpılarak her bir briket için düzeltilmiş stabilite değerleri hesaplanmıştır.

Agrega granülometrisine göre, karışımdaki agreganın yüzdesi şu şekildedir:

$$\text{Kaba agreganın yüzdesi, \% K} = \frac{(154 + 132 + 198)}{1100} = 0,44 \quad \rightarrow \quad \% 44$$

$$\text{İnce agreganın yüzdesi, \% İ} = \frac{(198 + 220 + 99 + 33)}{1100} = 0,50 \quad \rightarrow \quad \% 50$$

$$\text{Filler yüzdesi, \% F} = \frac{66}{1100} = 0,06 \quad \rightarrow \quad \% 6$$

Agregalar ve asfalt çimentosu üzerine yapılan özgül ağırlık deneylerinin sonuçları Tablo 23’te toplu olarak verilmektedir.

Tablo 23. Kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları

Bitüm özgül ağırlığı	1,021
Kaba agreganın hacim özgül ağırlığı	2,698
Kaba agreganın zahiri özgül ağırlığı	2,714
İnce agreganın hacim özgül ağırlığı	2,683
İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı	2,735
Mineral filler zahiri özgül ağırlığı	2,743
Asfaltitin filler olarak zahiri özgül ağırlığı	1,152

Tamamı kalker olan karışımların hacim özgül ağırlığı;

$$G_{sb1} = \frac{100}{\frac{44}{2,698} + \frac{50}{2,683} + \frac{6}{2,743}} = 2,693$$

Tamamı kalker olan karışımların zahiri özgül ağırlığı;

$$G_{sa1} = \frac{100}{\frac{44}{2,714} + \frac{50}{2,735} + \frac{6}{2,743}} = 2,726$$

Tamamı kalker olan karışımların efektif özgül ağırlığı;

$$G_{ef1} = (2,726 + 2,693)/2 = 2,709$$

Tamamı kalker olan karışımların bitüm emmesi;

$$P_{ba1} = 100 \cdot \left(\frac{2,709 - 2,693}{2,709 \cdot 2,693} \right) \cdot 1,021 = 0,23$$

Mineral filleri asfaltit olan agreganın hacim özgül ağırlığı;

$$G_{sb2} = \frac{100}{\frac{44}{2,698} + \frac{50}{2,683} + \frac{6}{1,152}} = 2,491$$

Mineral filleri asfaltit olan agreganın zahiri özgül ağırlığı;

$$G_{sa2} = \frac{100}{\frac{44}{2,714} + \frac{50}{2,735} + \frac{6}{1,152}} = 2,519$$

Mineral filleri asfaltit olan agreganın efektif özgül ağırlığı;

$$G_{ef2} = (2,491 + 2,519)/2 = 2,505$$

Mineral filleri asfaltit olan agreganın bitüm emmesi;

$$P_{ba2} = 100 \cdot \left(\frac{2,505 - 2,491}{2,505 \cdot 2,491} \right) \cdot 1,021 = 0,23$$

Karışımla ilgili bu genel hesaplar yapıldıktan sonra, her briket için gerekli yoğunluk, boşluk, stabilite ve akma analizleri Bölüm 1.7’de anlatıldığı gibi yapılmış ve Tablo 24 ve Tablo 25’te toplu olarak Marshall deney formlarında verilmiştir.

Tablo 24. Tamamı kalker olan karışımlar için Marshall deney formu

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği (mm)				Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doy. Yüz. K. Ağırlık (gr)	Hacim V (cm ³)	Hac.Öz. Ağırlık (Dp)	Maks. Teo. Öz.Ağ. (D _T)	Boşluk % V _h	VMA (%)	Asf.Dolu Boşluk % V _f	Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düzeltil. Faktörü	Düzeltil. Stabilite										
	Wa (%)	Wb (%)	W (gr)	1	2	3	Ort.																							
1	4,0	3,8	44,0	60,9	61,2	61,6	61,2	1141,54	667,12	1149,62	482,5	2,366	2,548	7,110	15,59	54,39	2,24	1339	1,062	1422										
2	4,0	3,8	44,0	60,8	60,8	61,1	60,9	1137,52	664,79	1145,19	480,4	2,368					2,42	1308	1,070	1400										
3	4,0	3,8	44,0	60,7	60,9	60,8	60,8	1139,48	665,83	1147,32	481,49	2,367					2,29	1329	1,067	1418										
ORTALAMALAR																														
4	4,5	4,3	49,5	60,5	60,4	60,6	60,5	1144,08	668,67	1147,18	478,51	2,391	2,529	5,180	14,81	65,02	2,61	1399	1,082	1514										
5	4,5	4,3	49,5	59,9	60,0	59,7	59,9	1143,71	670,31	1145,75	475,44	2,406					2,53	1368	1,100	1505										
6	4,5	4,3	49,5	60,2	60,1	60,4	60,2	1142,84	669,76	1146,53	476,77	2,397					2,44	1378	1,090	1502										
ORTALAMALAR																														
7	5,0	4,8	55,0	60,1	59,9	60,2	60,1	1147,33	675,43	1148,5	473,07	2,425	2,512	3,740	14,45	74,12	2,68	1460	1,094	1597										
8	5,0	4,8	55,0	59,5	59,6	59,9	59,7	1144,74	671,79	1146,21	474,42	2,413					2,91	1520	1,107	1683										
9	5,0	4,8	55,0	59,7	59,9	59,6	59,7	1144,46	671,78	1145,24	473,46	2,417					2,76	1497	1,107	1657										
ORTALAMALAR																														
10	5,5	5,2	60,5	59,2	59,0	59,2	59,1	1149,01	679,82	1149,72	469,9	2,445	2,495	2,320	14,18	83,64	3,11	1566	1,127	1765										
11	5,5	5,2	60,5	59,7	59,8	59,5	59,7	1149,09	677,03	1149,57	472,54	2,432					3,20	1551	1,107	1717										
12	5,5	5,2	60,5	59,5	59,4	59,3	59,4	1148,86	678,22	1150,21	471,99	2,434					3,18	1554	1,104	1716										
ORTALAMALAR																														
13	6,0	5,7	66,0	60,3	60,1	60,2	60,2	1158,23	681,44	1159,11	477,67	2,425	2,477	1,980	14,98	86,80	3,41	1490	1,090	1624										
14	6,0	5,7	66,0	60,1	60,4	60,5	60,3	1157,61	682,4	1158,38	475,98	2,432					3,43	1308	1,088	1423										
15	6,0	5,7	66,0	60,2	60,2	60,3	60,2	1158,15	681,37	1158,17	476,8	2,429					3,57	1375	1,097	1508										
ORTALAMALAR																														
Bitüm özgül ağırlığı (G _b)				1,021				Kaba agrega % si (%K)				44		Kaba agrega hac.öz.ağ. (G _{kh})				2,698												
Bitüm Penetrasyonu				136				İnce agrega yüzdesi (%İ)				50		Kaba agrega zahiri öz.ağ. (G _{kz})				2,714												
Agreganın bitüm Abs. (P _{ba})				0,23				Filler yüzdesi (%F)				6		İnce agrega hac.öz.ağ. (G _{ih})				2,683												
Agr. Kar. Efektif öz. Ağır. (G _{ef})				2,709				Agrega kar. Hac. Öz. Ağ. (G _{sb})				2,693		İnce agrega zahiri öz.ağ. (G _{iz})				2,735												
Briketteki agrega miktarı (gr)				1100				Agrega kar. Zahiri. Öz. Ağ. (G _{sa})				2,726		Filler zahiri öz.ağ. (G _f)				2,743												

Tablo 25. Mineral Filleri asfaltit olan karışımlar için Marshall Deney formu

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği (mm)				Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doy. Yüz. K. Ağırlık (gr)	Hacim V (cm ³)	Hac.Öz. Ağırlık (Dp)	Maks. Teo. Öz.Ağ. (D _T)	Boşluk % V _h	VMA (%)	Asf.Dolu Boşluk % V _f	Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düzeltil. Faktörü	Düzeltil. Stabilite												
	Wa (%)	Wb (%)	W (gr)	1	2	3	Ort.																									
1	3,0	2,9	33	62,2	62,8	62,3	62,4	1104,18	615,21	1108,23	493,02	2,240	2,408	6,94	12,66	45,18	2,09	791	1,028	813												
2	3,0	2,9	33	63,0	62,5	63,2	62,9	1122,36	624,81	1125,54	500,73	2,241					2,25	760	1,016	772												
3	3,0	2,9	33	62,7	62,9	63,1	62,9	1118,61	622,61	1121,88	499,27	2,240					2,14	741	1,016	753												
ORTALAMALAR																																
4	3,5	3,4	38,5	62,8	63,1	62,6	62,8	1129,81	639,01	1136,5	497,49	2,271	2,394	5,68	12,42	54,27	2,32	772	1,018	786												
5	3,5	3,4	38,5	63,9	63,8	63,3	63,7	1128,11	630,56	1132,51	501,95	2,247					2,38	794	0,995	790												
6	3,5	3,4	38,5	63,4	63,2	63,1	63,2	1126,77	633,72	1133,43	499,71	2,255					2,43	822	1,008	829												
ORTALAMALAR																																
7	4,0	3,8	44,0	63,0	62,9	63,2	63,0	1144,04	647,27	1150,16	502,89	2,275	2,379	4,250	12,07	64,79	2,59	865	1,013	876												
8	4,0	3,8	44,0	62,2	63,1	63,0	62,8	1140,24	649,12	1148,64	499,52	2,283					2,44	834	1,018	849												
9	4,0	3,8	44,0	62,6	62,4	62,4	62,5	1136,21	643,82	1142,94	499,12	2,276					2,48	856	1,026	878												
ORTALAMALAR																																
10	4,5	4,3	49,5	62,1	61,8	61,6	61,8	1138,41	649,02	1143,69	494,67	2,301	2,364	2,580	11,53	77,62	3,04	1020	1,044	1065												
11	4,5	4,3	49,5	62,0	62,5	62,3	62,3	1147,07	659,91	1154,2	496,26	2,307					2,93	905	1,031	933												
12	4,5	4,3	49,5	61,9	62,0	62,3	62,1	1142,62	653,02	1149,54	496,52	2,301					3,12	927	1,036	960												
ORTALAMALAR																																
13	5,0	4,8	55,0	61,8	61,5	62,0	61,8	1150,55	658,94	1154,62	495,68	2,321	2,349	1,190	11,26	89,43	3,27	939	1,044	980												
14	5,0	4,8	55,0	61,9	62,6	62,2	62,2	1147,70	657,13	1151,86	494,73	2,320					3,49	1001	1,033	1034												
15	5,0	4,8	55,0	62,6	62,5	62,7	62,6	1149,53	658,91	1154,19	495,29	2,321					3,33	957	1,023	979												
ORTALAMALAR																																
16	5,5	5,2	60,5	61,0	61,2	61,4	61,2	1153,84	661,87	1155,91	494,04	2,336	2,335	0,860	11,22	92,34	3,41	1051	1,062	1116												
17	5,5	5,2	60,5	62,1	62,5	61,3	62,0	1156,92	663,04	1159,03	495,99	2,333					3,38	1039	1,038	1078												
18	5,5	5,2	60,5	62,6	62,5	62,7	62,6	1154,61	661,22	1156,79	495,57	2,330					3,42	1045	1,023	1069												
ORTALAMALAR																																
19	6,0	5,7	66,0	62,5	62,2	61,9	62,2	1162,49	665,38	1165,52	500,14	2,324	2,321	0,430	12,13	96,46	3,49	970	1,033	1002												
20	6,0	5,7	66,0	62,5	63,0	62,5	62,7	1161,79	662,67	1164,01	501,34	2,317					3,36	958	1,021	978												
21	6,0	5,7	66,0	62,4	62,7	62,3	62,5	1159,41	662,28	1162,38	500,11	2,318					3,51	980	1,026	1005												
ORTALAMALAR																																
Bitüm özgül ağırlığı (G _b)				1,021				Kaba agrega % si (%K)				44				Kaba agrega hac.öz.ağ. (G _{kb})				2,698												
Bitüm Penetrasyonu				136				İnce agrega yüzdesi (%I)				50				Kaba agrega zahiri öz.ağ. (G _{kz})				2,714												
Agreganın bitüm Abs. (P _{ba})				0,23				Filler yüzdesi (%F)				6				İnce agrega hac.öz.ağ. (G _{ib})				2,683												
Agr. Kar. Efektif öz. Ağ.(G _{ef})				2,505				Agrega kar. Hac. Öz. Ağ. (G _{sb})				2,491				İnce agrega zahiri öz.ağ. (G _{iz})				2,735												
Briketteki agrega miktarı (gr)				1100				Agrega kar. Zahir. Öz. Ağ. (G _{sa})				2,519				Filler zahiri öz.ağ. (G _f)				1,152												

2.3. Dolaylı Çekme Deneyi

Deney için asfalt karışım numuneleri, geleneksel sıcak karışım için optimum bitüm muhtevası olan % 5,27 asfalt içeriğinde, asfaltitli karışım için ise % 5,16 optimum asfalt içeriğinde hazırlanmıştır. Karışım numuneleri üzerinde ASTM D-4123-82 standardına [68] uygun olarak 25⁰C sıcaklıkta Dolaylı Çekme Deneyine tabi tutulmuştur.

Numuneler üzerinde yapılan tüm deneylerde, yüksek yoğunluklu trafiği temsilen yükleme periyodu 1000 ms, yüksek taşıt hızlarını temsilen yükleme hızı 40 ms olarak seçilmiş, numunelere 750 N yük tatbik edilmiştir.

Su hassasiyeti ve soyulma arasında yakın bir ilişki vardır. Soyulma, öncelikli olarak suyun etkisiyle asfalt çimentosu kohezyon kuvvetinin azalması ya da asfalt çimentosu ile agrega arasındaki adeziv bağın bir bozulmasıdır. Su hasarının değerlendirilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu çalışmada, suya maruz bırakılmış (koşullu) numunelerden elde edilen esneklik modülü değerlerinin, suya maruz bırakılmadan önceki (koşulsuz) esneklik modülü değerlerine oranlanmasını esas alan yöntem kullanılmıştır [73].

Kalkerli ve asfaltitli numuneler üzerinde su hasarının etkisini gözlemlemek amacıyla numuneler 24 saat boyunca 50⁰C sıcaklıktaki suya maruz bırakılmak suretiyle koşullandırılmıştır. Sudan çıkarılan numuneler 24 saat 25⁰C'lik ısı kabinde bekletildikten sonra esneklik modülü için deneye tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen esneklik modüllerine ilişkin sonuçlar Tablo 26'da, elastik deformasyon değerlerine ilişkin sonuçları ise Tablo 27 'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 26. Kalkerli ve Asfaltitli Karışımların Esneklik Modülleri

Asfaltit Katkı Miktarı (%)	Esneklik Modülü (Mpa)		
	Kuru Koşul (Koşulsuz)	Islak Koşul (Koşullu)	Oran
0	5128	4667	0,91
6	3782	3556	0,94

Tablo 27. Kalkerli ve Asfaltitli Karışımların Elastik Deformasyon Sonuçları

Asfaltit Katkı Miktarı (%)	Elastik Deformasyon (µε)		
	Kuru Koşul (Koşulsuz)	Islak Koşul (Koşullu)	Oran
0	27,12	29,64	1,09
6	35,32	37,44	1,06

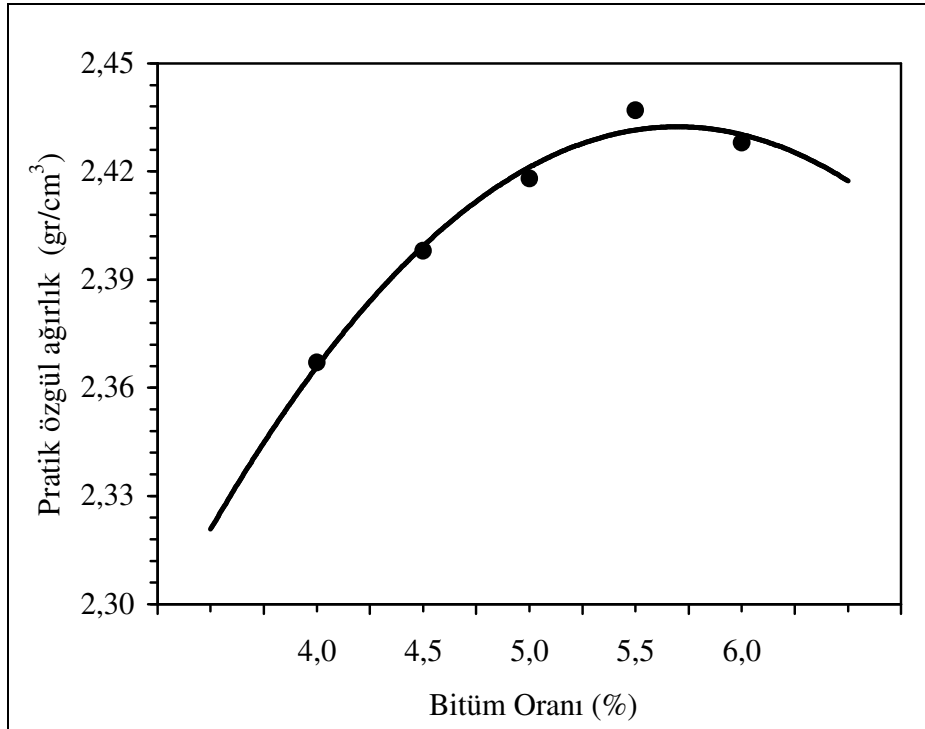
3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, tamamı kalker olan ve asfaltit filleri içeren karışımlara uygulanan deneylerden elde edilen bulgular grafik olarak verilmekte ve bu grafikler doğrultusunda deney sonuçlarına ilişkin irdeleme ve değerlendirmeler yapılmaktadır.

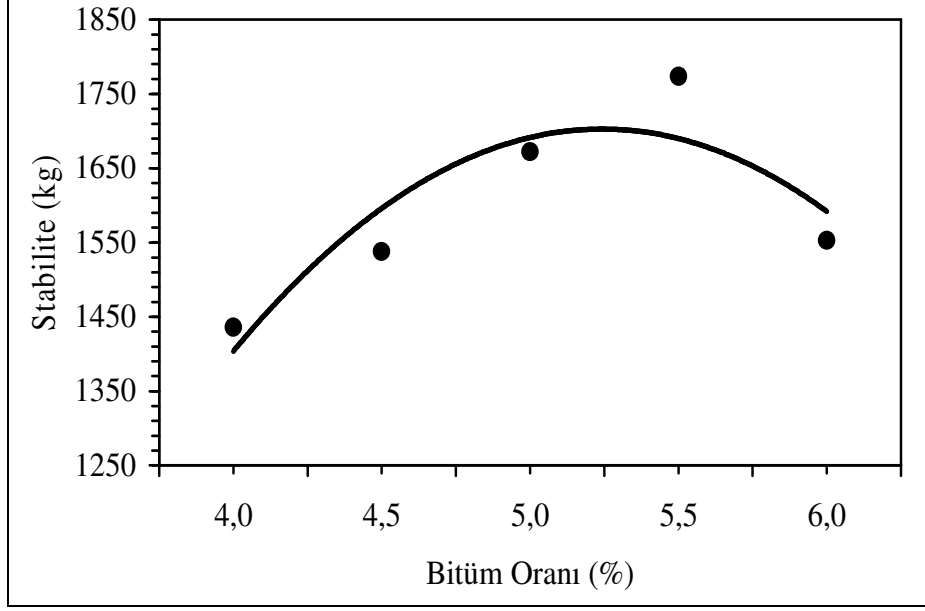
3.1. Marshall Deneyi ile Optimum Bitüm Oranlarının Bulunması

Her briket için gerekli yoğunluk, boşluk ve stabilite analizleri yapıldıktan ve Marshall Deney Formu doldurulduktan sonra her yüzde grubu için (her set için) ortalama değerler bulunarak grafikler oluşturulmuştur. (Şekil 7 -Şekil 18)

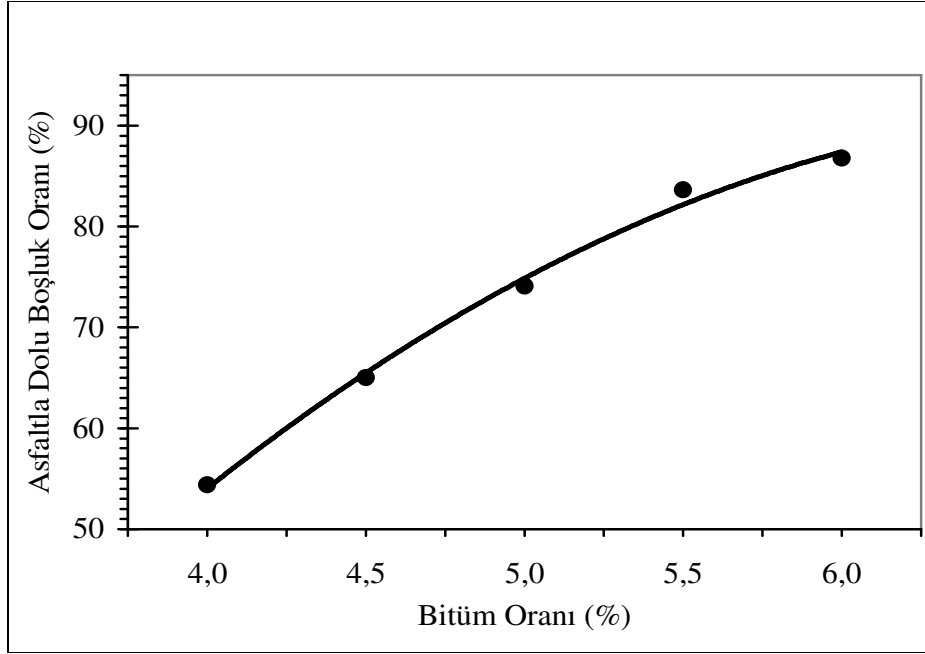
- Tamamı Kalker olan numuneler için grafikler;



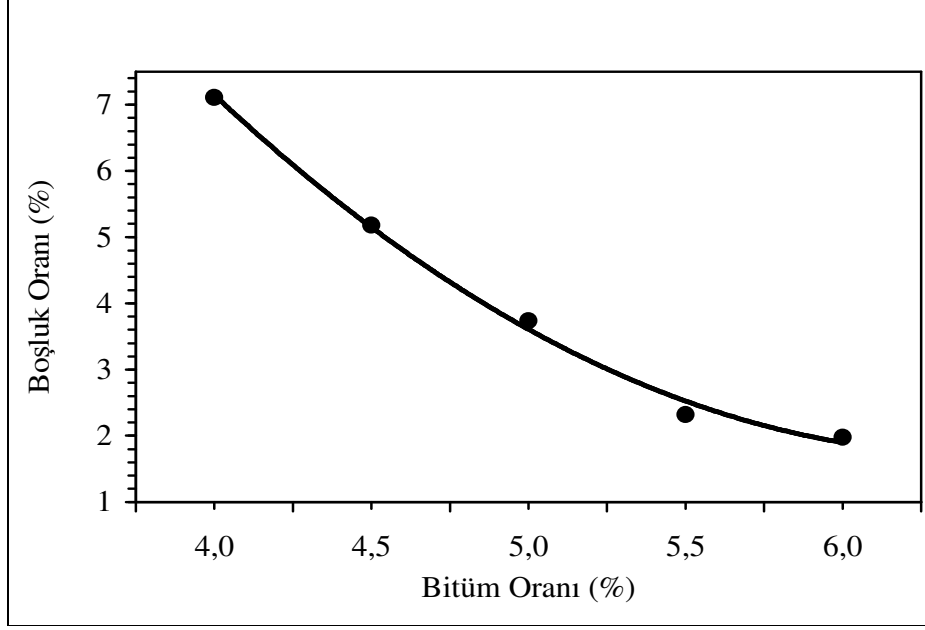
Şekil 7. $D_p - W_a$ grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)



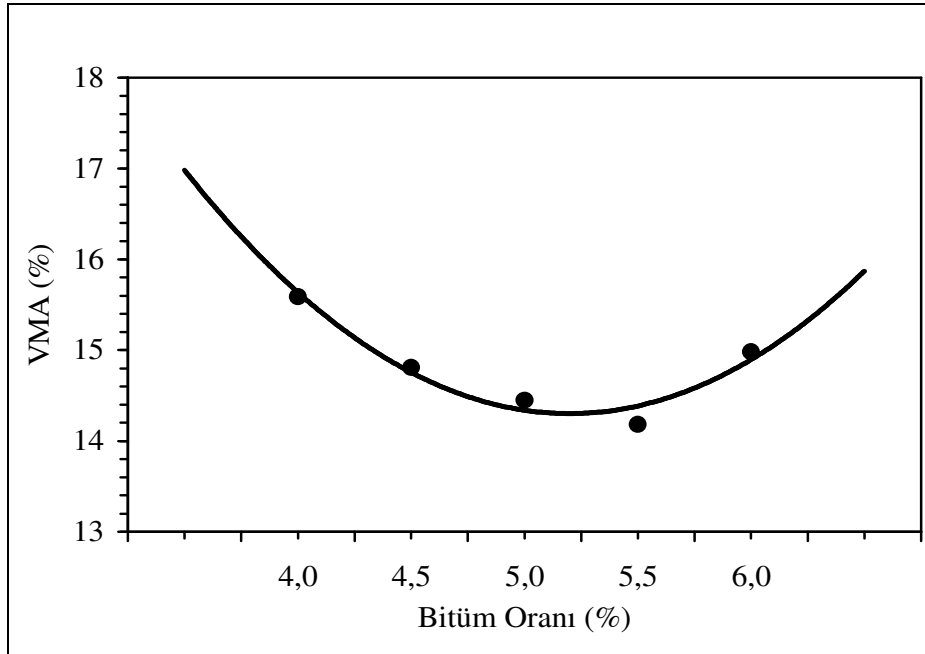
Şekil 8. Stabilite – Wa grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)



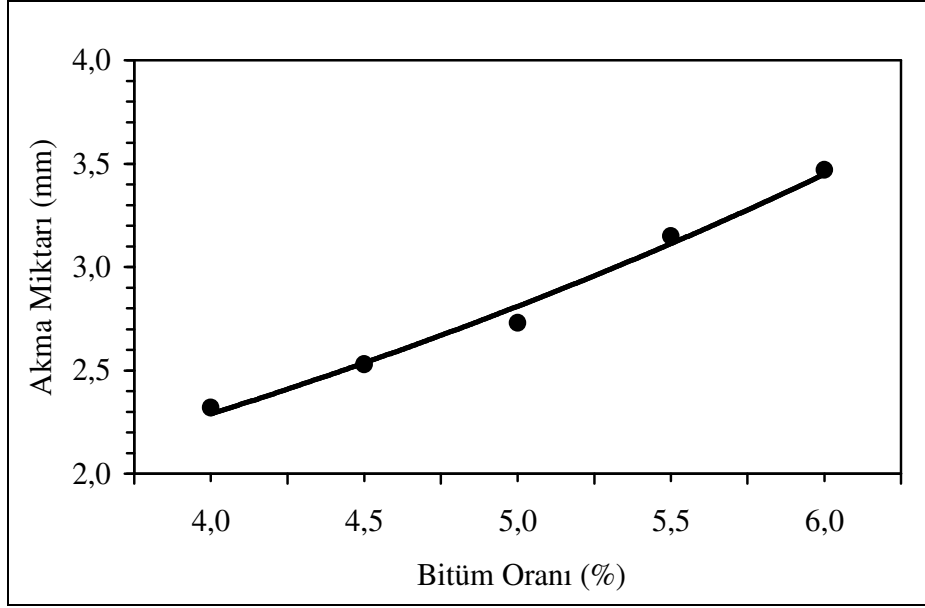
Şekil 9. Asfaltla dolu boşluk – Wa grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)



Şekil 10. Boşluk yüzdesi – Wa grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)

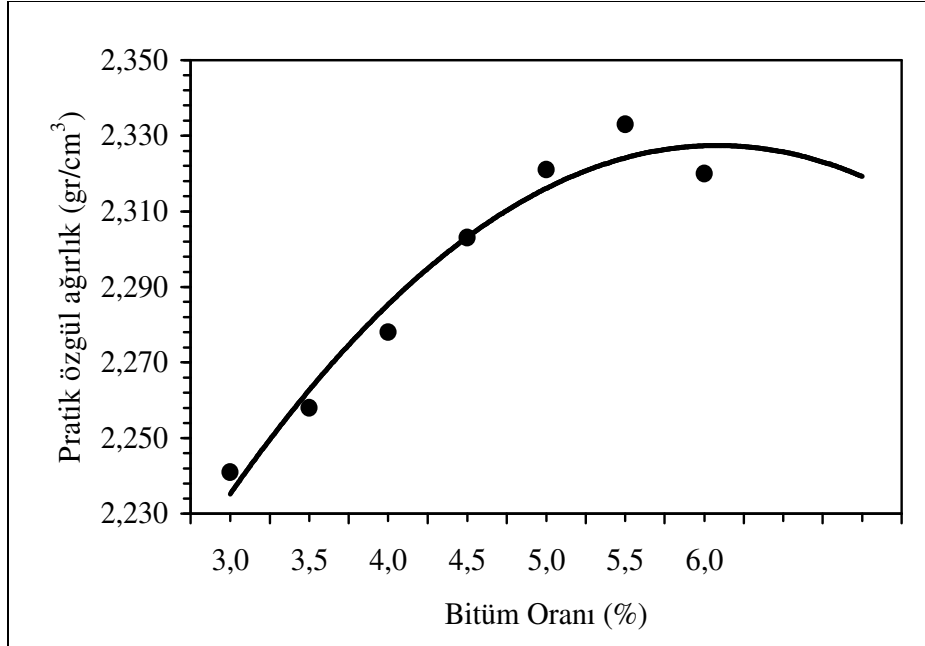


Şekil 11. VMA – Wa grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)

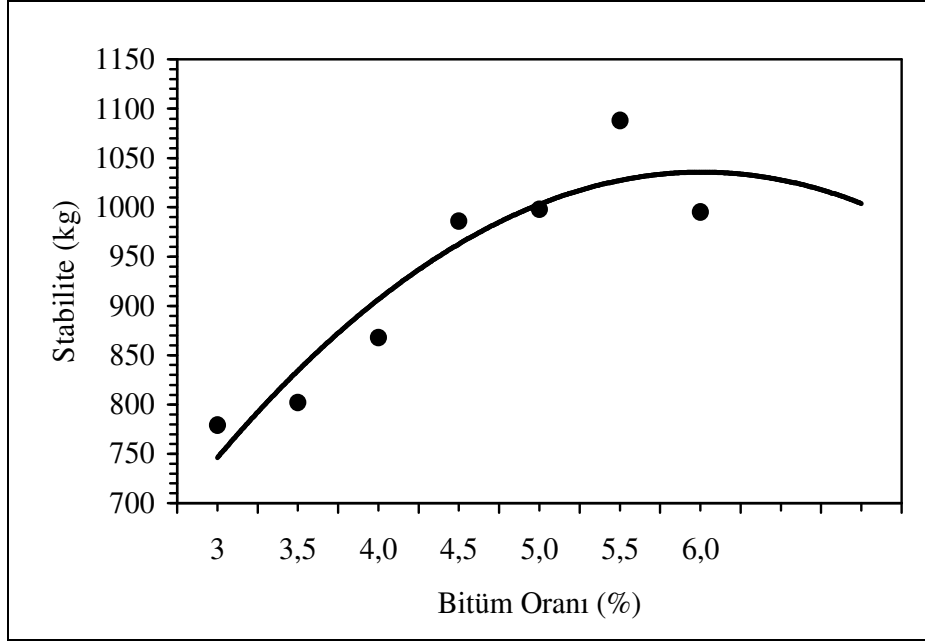


Şekil 12. Akma – Wa grafiği (tamamı kalker olan numuneler için)

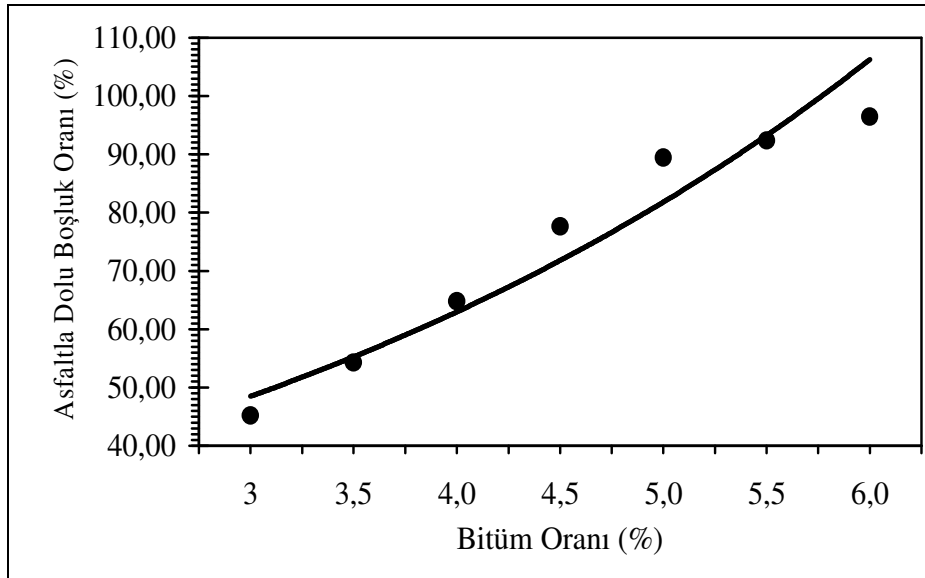
- Filler olarak asfaltit kullanılan numuneler için grafikler;



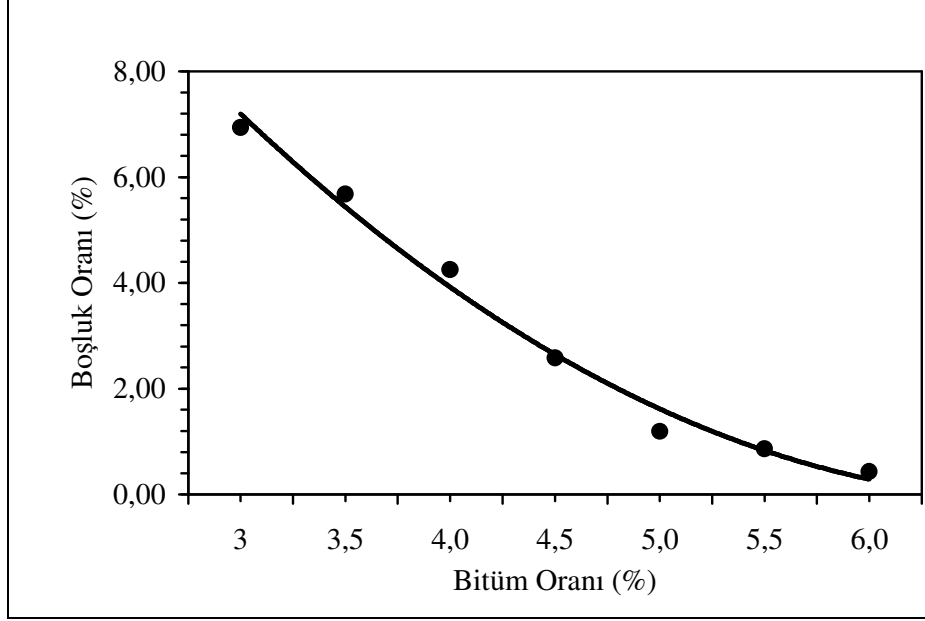
Şekil 13. Dp – Wa grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)



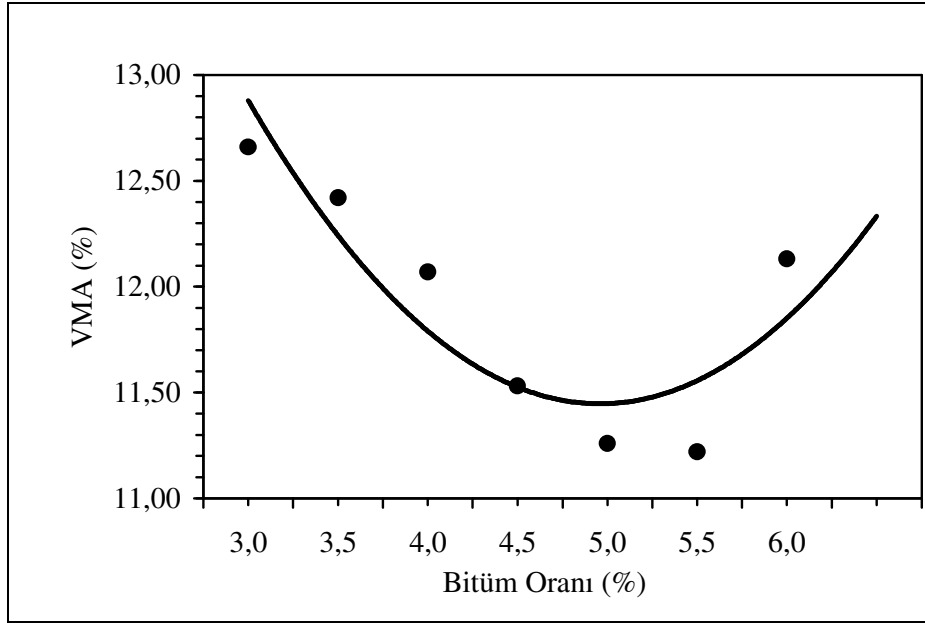
Şekil 14. Stabilite – Wa grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)



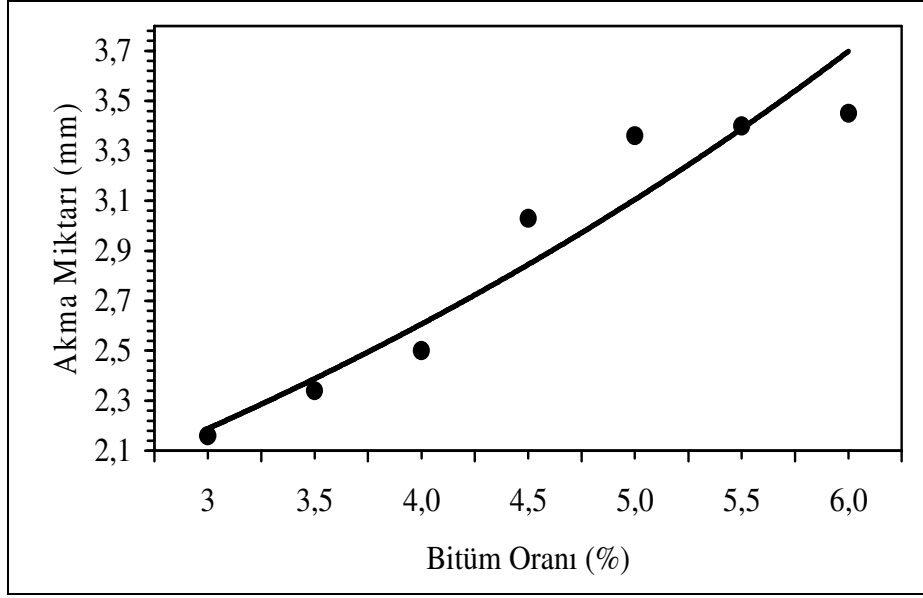
Şekil 15. Asfaltla Dolu Boşluk – Wa grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)



Şekil 16. Boşluk Yüzdesi – Wa grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)



Şekil 17. VMA – Wa grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)



Şekil 18. Akma – Wa grafiği (mineral filleri asfaltit olan numuneler için)

Şekil 7 ve Şekil 13'te verilen $D_p - W_a$ grafiklerinden görüleceği gibi, bitüm yüzdesi arttıkça pratik özgül ağırlık artarak bir maksimumdan geçmekte ve sonra düşmektedir. Şekil 7'de tamamı kalker olan karışımların maksimum özgül ağırlığını veren bitüm yüzdesi %5,66 iken Şekil 13 de filleri asfaltit olan karışımlar için bu değer % 6,08 olmaktadır. Şekil 8 ve Şekil 14'de de benzer durum görülmektedir. Şekil 8'de maksimum stabiliteyi veren bitüm yüzdesi % 5,23 iken asfaltitli karışımlar için bu değer % 5,92 olmaktadır. Şekil 9 ve Şekil 15'te verilen Asfaltla dolu boşluk – W_a grafiklerinde, bitüm yüzdesinin artmasıyla birlikte asfaltla dolu boşluk yüzdesi arttığı görülmektedir. Şekil 10 ve Şekil 16'da verilen Boşluk – W_a grafiklerinde boşluk yüzdesi, bitüm yüzdesinin artmasıyla minimum bir boşluk yüzdesine yaklaşarak düşmektedir. Şekil 11 ve Şekil 17'de verilen VMA – W_a grafiklerinde ise bitüm yüzdesi arttıkça agregalar arası boşluğun azalarak bir minimum değere ulaştığı daha sonrada yükseldiği görülmektedir. Bu minimum değeri veren bitüm yüzdesi kalker karışımlar için % 5,12, asfaltitli karışımlar için % 4,98'dir.

Şekil 12 ve Şekil 18'de verilen Akma – W_a grafiklerinde akma değerlerinin, bitüm yüzdesinin artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. Asfalt betonu kaplamaların trafik yükleri altında davranışını yansıtan akma değeri, şartnamelerde sınırlandırılmıştır. Asfalt betonu (binder, aşınma) için şartnamede verilen kriterler Tablo 28'de verilmektedir.

Tablo 28. Asfalt betonu için şartname dizayn kriterleri [39]

ÖZELLİKLER	Hafif Ve Orta Trafikli Yollar				Ağır Trafikli Yollar, Otoyollar, Tırmanma Şeritleri			
	BİNDER		AŞINMA		BİNDER		AŞINMA	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Briket yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	50	-	50	-	75	-	75	-
Marshall Stabilitesi, kg	600	-	750	-	750	-	900	-
Boşluk, %	4	6	3	5	4	6	3	5
Asfaltla dolu boşluk, %	65	75	75	85	65	75	75	85
Akma, mm, (10 ⁻² inç)	2,5 (10)	4,6 (18)	2,5 (10)	4,6 (18)	2 (8)	4 (16)	2 (8)	4 (16)
Filler/Bitüm oranı	-	-	-	-	-	1,4	-	1,5
Asfalt çimentosu, (ağırlıkça % de)	3,5	6,5	4,0	7,0	3,5	6,5	4,0	7,0

Deney sonuçlarından yararlanılarak tamamı kalker olan numune grubu için optimum bitüm yüzdesini bulmak amacıyla;

- Maksimum özgül ağırlığı veren asfalt çimentosu oranı (Şekil 7) : % 5,66
- Marshall stabilitesini maksimum yapan asfalt çimentosu oranı (Şekil 8) : % 5,23
- Şartnamede asfalt betonu aşınma tabakası için öngörülen asfaltla dolu boşluk yüzdesi sınırları arasında kalan % 80 asfaltla dolu boşluk yüzdesine karşılık gelen asfalt çimentosu oranı (Şekil 9) : % 5,33
- Şartname sınırları arasında kalan tam orta değerine karşılık gelen % 4 boşluk oranını sağlayan asfalt çimentosu oranı (Şekil 10) : % 4,86 değerleri bulunmuştur.

Bu şekilde bulunan dört asfalt çimentosu yüzdelерinin ortalaması alınarak kaba agregası, ince agregası ve mineral filleri kalker olan agrega karışımı için optimum bitüm yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Optimum bitüm yüzdesi} = \frac{5,66 + 5,23 + 5,33 + 4,86}{4} = 5,27$$

Bulunan bitüm yüzdesine göre tamamı kalker olan karışımların dizayn sonuçları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\begin{aligned} D_p &= 2,424 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Stabilite} &= 1655 \text{ kg} \\ \text{Asfaltla Dolu Boşluk} &= \% 79 \\ \text{Boşluk} &= \% 3,0 \\ \text{Akma} &= 2,97\text{mm} \end{aligned}$$

Aynı işlemler filleri asfaltit olan karışımlar için yapıldığında;

- Maksimum özgül ağırlığı veren asfalt çimentosu oranı (Şekil 13) : % 6,08
- Marshall stabilitesini maksimum yapan asfalt çimentosu oranı (Şekil 14) : % 5,92
- Şartnamede asfalt betonu aşınma tabakası için öngörülen asfaltla dolu boşluk yüzdesi sınırları arasında kalan % 80 asfaltla dolu boşluk yüzdesine karşılık gelen asfalt çimentosu oranı (Şekil 15) : % 4,65
- Şartname sınırları arasında kalan tam orta değerine karşılık gelen % 4 boşluk oranını sağlayan asfalt çimentosu oranı (Şekil 16) : % 3,98 değerleri bulunmuştur.

Bu şekilde bulunan dört asfalt çimentosunun yüzdelerinin ortalaması alınarak filleri asfaltit olan agrega karışımı için optimum bitüm yüzdesi aşağıdaki hesaplanmıştır:

$$\text{Optimum bitüm yüzdesi} = \frac{6,08 + 5,92 + 4,65 + 3,98}{4} = 5,16$$

Bulunan bitüm yüzdesine göre asfaltitli karışımlar için dizayn sonuçları aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\begin{aligned} D_p &= 2,319 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Stabilite} &= 1012 \text{ kg} \\ \text{Asfaltla Dolu Boşluk} &= \% 87 \\ \text{Boşluk} &= \% 1,33 \\ \text{Akma} &= 2,97\text{mm} \end{aligned}$$

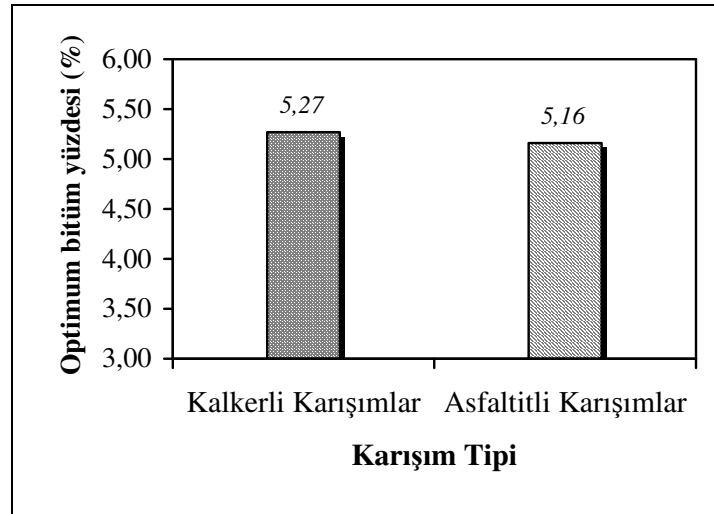
İncelenen iki grup agrega karışımından elde edilen dizayn sonuçları Tablo 29'da toplu halde verilmektedir.

Tablo 29. Karışımların Marshall dizayn sonuçları

ÖZELLİK	Karışım Tipi	
	Tamamı Kalker Olan Karışımlar	Mineral Filleri Asfaltit Olan Karışımlar
Optimum bitüm yüzdesi (%)	5,27	5,16
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,424	2,319
Marshall stabilitesi (kg)	1655	1012
Asfaltla dolu boşluk (%)	79	87
Boşluk (%)	3	1,33
Akma (mm)	2,97	3,04
VMA (%)	14,49	11,51

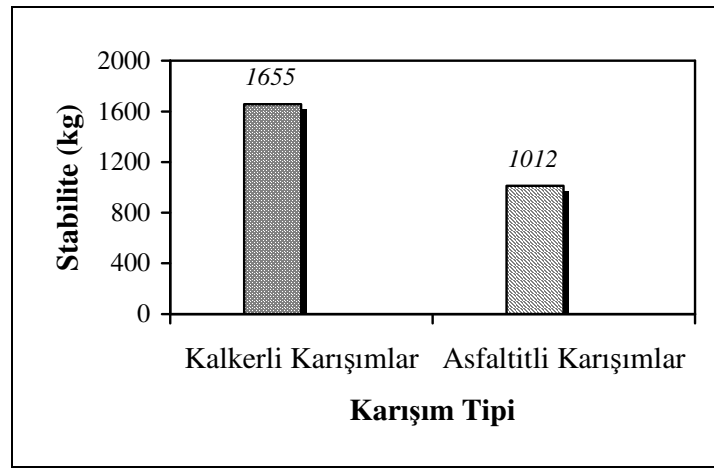
3.2. Marshall Deneylerinden Elde Edilen Karşılaştırmalı Bulgular ve İrdeleme

Aynı agrega gradasyonuna sahip kalker ve asfaltit fillerini içeren karışımlara uygulanan Marshall Deneyinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi karşılaştırmalı olarak grafik şeklinde verilmiştir.

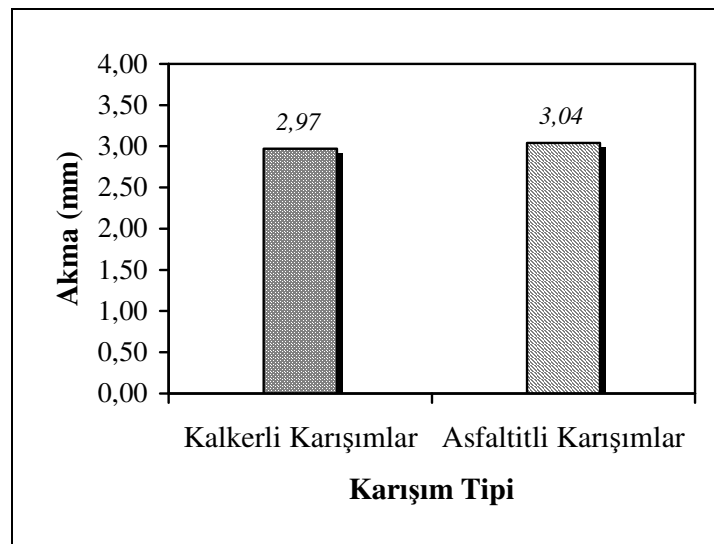


Şekil 19. Karışımların optimum bitüm oranlarının karşılaştırılması

Şekil 19’da görüldüğü gibi tamamı kalker olan agrega ile hazırlanan karışımın optimum bitüm yüzdesi 5,27, mineral filleri asfaltit olan karışımın optimum bitüm yüzdesi ise 5,16 olarak bulunmuştur. Burada mineral filleri kalker olan karışımların daha fazla bitüme gereksinim duyduğu; bu yüzden optimum bitüm yüzdesinin yüksek çıktığı söylenebilir. Başka bir deyişle, asfaltit ile hazırlanan karışımın optimum bitüm yüzdesinin düşük çıkmasının nedeni, asfaltit malzemesi içerisinde bulunan petrol kökenli maddenin (bitümün) karışım bünyesindeki bitüm ile benzer doğrultuda işlev gördüğü sonucuna varılmıştır.

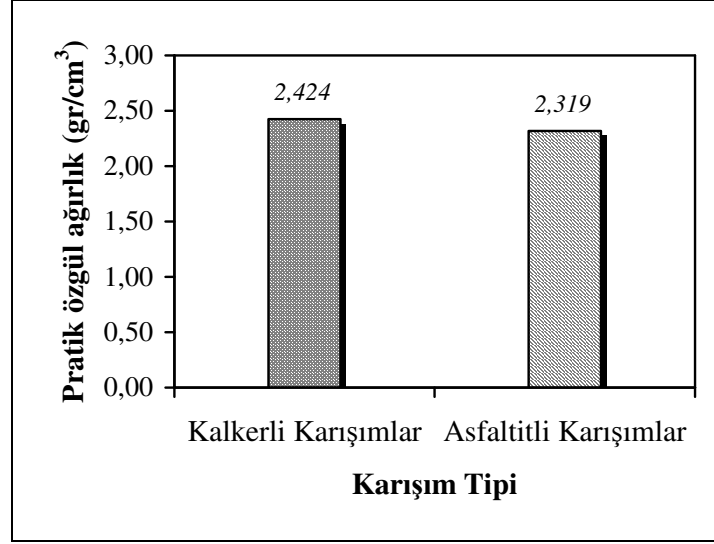


Şekil 20. Karışımların stabilite değerlerinin karşılaştırılması

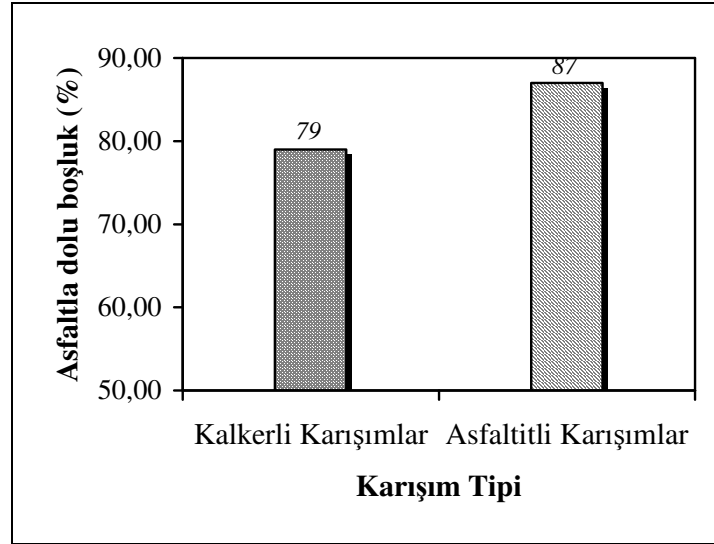


Şekil 21. Karışımların akma değerlerinin karşılaştırılması

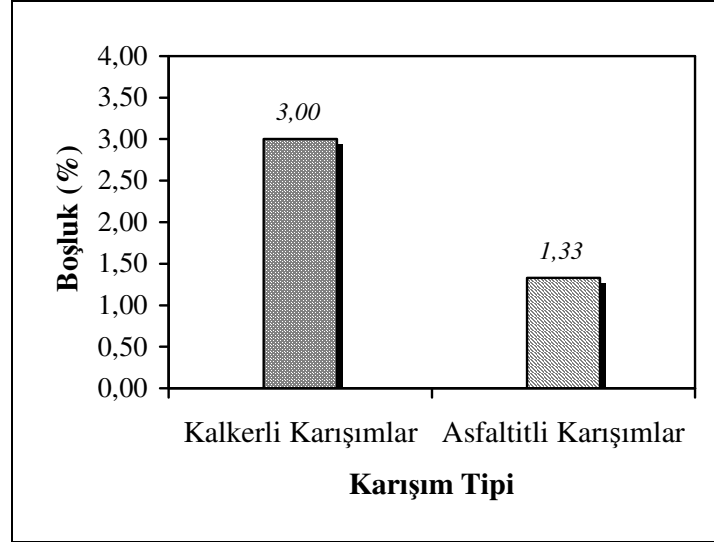
Şekil 20 ve 21’de verilen sonuçlardan da görüleceği üzere filler malzemesi asfaltit olan karışımın stabilite değeri, kalkerli karışıma göre daha düşük olmasına karşın, her iki karışımın akma değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Asfaltitli karışımın stabilitesi, kalkerli karışıma göre düşük çıkmıştır ancak, asfaltitli karışımın hem stabilite hem de akma değerleri şartname sınırları içinde kalmaktadır.



Şekil 22. Karışımların pratik özgül ağırlık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 23. Karışımların asfaltla dolu boşluk oranlarının karşılaştırılması



Şekil 24. Karışımların boşluk oranlarının karşılaştırılması

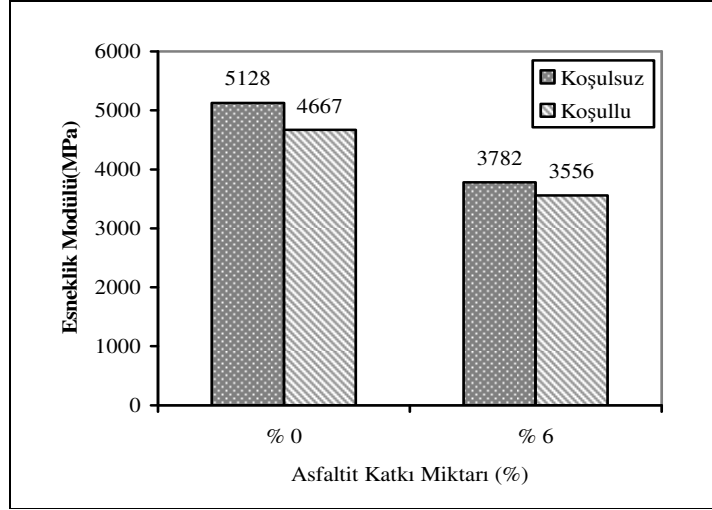
Şekil 22'den görüleceği gibi asfaltitli karışımın pratik özgül ağırlığı, kalkerli karışıma göre az da olsa biraz düşük çıkmıştır. Bu durum, karışımda kalker tozu filleri yerine konulan asfaltit fillerinin özgül ağırlığının ($1,152 \text{ gr/cm}^3$), kalker fillerine göre düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 23'te verilen asfaltla dolu boşluk yüzdesine ilişkin bulgulardan kalker tozu fillerli karışımın şartname sınırları içinde kaldığı, asfaltit fillerli karışımın asfaltla dolu boşluk yüzdesinin ise şartname üst sınırının biraz üzerine çıktığı görülmektedir. Şekil 24'te verilen boşluk oranına ilişkin bulgulardan görüleceği üzere asfaltit fillerli karışımın boşluk oranı şartname alt sınırından düşük çıkmıştır. Bu durumda, asfaltitli karışımın özellikle sıcaklığın iyice yükseldiği yaz aylarında bağlayıcı bitümün hacminin artması sonucu boşlukların tamamen dolarak kusmanın gerçekleşebileceği söylenebilir.

3.3. Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Bulgular ve İrdeleme

Bu deney için hazırlanan numuneler, Bölüm 2.3 te (Yapılan Çalışmalar Bölümü) belirtilen koşullarda deneye tabi tutulmuştur. Kalker tozu ve asfaltit ile hazırlanan numuneler, önce kuru koşulda deneye tabi tutulmuş, sonra suya koşullandırma işlemi yapılarak tekrar denenmiştir. Deneyden elde edilen koşullu ve koşulsuz esneklik modül

değerleri (koşullu/koşulsuz) birbirine oranlanmak suretiyle numunelerdeki esneklik modülü kayıpları bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 25' te görülmektedir.



Şekil 25. Tamamı kalker ve asfaltitli karışımların koşullu/koşulsuz esneklik modülü değişimi

Yukarıda verilen şekilden de görüleceği gibi, kalker tozu ile hazırlanan geleneksel asfalt karışım numunelerinin esneklik modülü, asfaltitli karışım numunelerinden daha yüksek çıkmıştır. Bu veriler Marshall stabilite sonuçları ile de örtüşmektedir. Ancak, asfaltitli karışımın su hasarına karşı gösterdiği direnç ise daha yüksek çıkmıştır. Kalkerli karışımın esneklik modülü oranı ($M_{R_{yaş}}/M_{R_{kuru}}$) % 91 iken, asfaltitli karışımda bu oran % 94 olarak kaydedilmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, ülkemizde büyük rezervi olan petrol kökenli asfaltitin bitümlü sıcak karışımlarda mineral filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu doğrultuda yapılan Marshall ve dolaylı çekme deneylerinden elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Asfaltitli karışımın optimum bitüm yüzdesi (%5,16), kalkerli karışıma (% 5,27) göre daha düşük çıkmıştır. Bu durum, asfaltit bünyesinde bulunan petrol kökenli maddenin (bitümün) karışımın esas bağlayıcısı olan asfalt çimentosu ile benzer doğrultuda işlev görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Filler malzemesi asfaltit olan karışımın stabilite değeri, kalkerli karışıma göre daha düşük olmasına karşın, her iki karışımın akma değerleri birbirine çok yakın çıkmış olmakla birlikte asfaltitli karışımın hem stabilite ve hem de akma değerleri şartname sınırları içerisinde kalmaktadır.
- Asfaltit fillerli karışımın boşluk oranı şartname alt sınırının altında düşük çıkmıştır. Bu durumda, asfaltitli karışımın hava sıcaklığının iyice yükseldiği zamanlarda bağlayıcı hacminin artması sonucu boşlukların tamamen dolarak kusmanın gerçekleşebileceği söylenebilir.
- Kalker tozu ile hazırlanan geleneksel asfalt karışım numunelerinin esneklik modülü, asfaltitli karışım numunelerinden daha yüksek çıkmıştır. Bu veriler Marshall stabilite sonuçları ile de örtüşmektedir. Ancak, asfaltitli karışımın su hasarına karşı gösterdiği direnç ise daha yüksek çıkmıştır. Kalkerli karışımın esneklik modülü oranı ($M_{Ryaş}/M_{Rkuru}$) % 91 iken, asfaltitli karışımda bu oran % 94 olarak kaydedilmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgulardan, asfaltitin, asfalt betonu karışımlarında bütünüyle mineral filler olarak kullanılması yerine belli bir miktar kullanılmasının karışım performansı açısından daha iyi sonuçlar verebileceği, özellikle boşluk oranının şartname sınırları içerisinde kalmasını sağlayacak tasarımların yapılması gerektiği düşünülebilir.

Ayrıca, asfaltit bünyesindeki bitümün, ayrıştırılarak özelliklerinin tespiti ve asfalt karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılabilirliği konusunda yapılacak araştırmanın yararlı olacağı kanaatine varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Yayla, N., Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.
2. Dinç, E. ve Yazıcı, A., Superpave Bitüm Deneyleri ve Agregada Gradasyonu, Asfalt'2000-3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Kasım 2000, Ankara, Bildiriler Kitabı.
3. Malkoç, G., Yol Üstyapılarında Kullanılan Modifiyeli Asfaltlar ve KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Tarafından Hazırlanan Modifiyeli Bitüm Teknik Şartnamesi, 1998.
4. Vassiliadou, E. ve Amirkhanian, S.N., Coal Ash Utilization in Asphalt Concrete Mixtures, Journal of Materials in Civil Engineering, 1999.
5. Ahmedzade, P., Alataş, T. ve Geçkil, T., The Effect of Carbon Black on the Mechanical Properties of Asphalt Mixtures, Journal of Engineering and Natural Sciences, 25 (2007) 179-189.
6. Shahrour, A. M. ve Saloukeh, G. B., Effect of Quality and Quantity of Locally Produced Filler (Passing Sieve No. 200) on Asphalt Mixtures in Dubai, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance: ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (1992) 187-208,
7. Tyson, S. S. PE., Present and Future Use of Coal Ash in Construction, Utilization of Industrial By Products for Construction Materials Proc. ASCE Natl. Conc. Expo., Publ. by ASCE, New York, NY, USA, (1993) 1-14
8. Güngör, M. M., Afşin Elbistan Uçucu Külünün Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1996.
9. Kardeşahin, M., Tığdemir, M., Fincanoğlu, A. ve Saltan, M., Asfalt Betonunda Pomzanın Filler Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, I. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta, 1997.
10. Terzi, S., Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2000.
11. Sayed, M.H., Madany, I.M. ve Buali, R.M. Use of Sewage Sludge Ash in Asphaltic Paving Mixtures in Hot Regions, Construction and Building Materials, 9, (1995) 19-23.
12. Lav, A.H. ve Süttaş, İ., Pirit Kalsinesinin Esnek Yol Kaplamalarında Filler Olarak Değerlendirilmesi, Teknik Dergi, 4, 1 (1993).

13. Sezer, M., Karaduman, A. ve Bilgesü, A.Y., Silopi Asfaltinin Yarı Kesikli Reaktörde Pirolizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 2 (2007) 307-313.
14. Anonim, Güneydoğu Anadolu Zuhurlarının Çok Yönlü Değerlendirilmesi Projesi, MTA, (1977) 1-18.
15. Kural, O., Kömür, Kurtiş, Matbaası, İstanbul, Ocak-1991.
16. Gönenç, O., Asphaltite and Asphaltite Reserves in Turkey, MTA Report, 1990.
17. Asfaltit, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Eğitim Dairesi Başkanlığı, Ankara, Sayı: B.15.2.TKİ.0.72.02.00/622.02.01/2257, 18 Aralık 2007.
18. Orhun, F., Güneydoğu Türkiye'deki Asfaltik Maddelerin Özellikleri, Metamorfoz dereceleri ve Klasifikasyon Problemleri, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Ankara, 72 (1969) 146-158.
19. Asfaltitler Üzerine, Madencilik, Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 15, 6 (1976).
20. Lebküchner, R.F., Güneydoğu Türkiye'deki Asfaltik Maddelerin Zuhur ve Teşekkülleri, MTA Dergi, 72 (1969) 124-145.
21. Abraham, H., Asphalts and Allied Substances Historical Review and Natural Raw Materials, 1, 1960.
22. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddesi Alt Komisyonu, Linyit ve Taşkömürü Çalışma Grubu Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Ankara, 2006.
23. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddesi Alt Komisyonu, Kömür Çalışma Grubu Raporu, DPT, Mayıs 1996, Ankara.
24. Alp, İ., Asfaltit, Madencilik-Madencilik Odası Dergisi, 16, 3, Mayıs 1977.
25. Hamamcı, C., Kahraman, F. ve Düz, M.Z., Desulfurization of Southeastern Anatolian Asphaltites by the Meyers Method, Fuel Processing Technology, Elsevier, 50 (1997) 171-177.
26. Abakay, H., Ayhan, F.D. ve Kahraman, F., Selective Oil Agglomeration in Sırnak Asphaltite Benefication, Fuel, 83 (2004) 2081-2086.
27. Altun, N.E. ve Hiçyılmaz, C.Kok, M.V., Effect of Particle Size and Heating Rate on the Pyrolysis of Silopi Asphaltite, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 67 (2003) 369-379.
28. Apak, E., Yardım, M.F. ve Ekinci, E., Preparation Of Carbon Fibre Precursors From The Prolysis And Coprolysis Of Avgamasya Asphaltite And Göynük Oil Shale: Vacuum Distillation And Hexane Extraction, Carbon, 40 (2002) 1331-1337.

29. Ballice, L., Classification of Volatile Products Evolved from Temperature-Programmed Pyrolysis of Soma-Lignite and Şırnak-Asphaltite from Turkey, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 63 (2002) 267-281.
30. Akrami, H.A., Yardım, M.F., Akar, A. ve Ekinci, E., F.T.-I.r. Characterization of Pitches Derived from Avgamasya Asphaltite and Raman Dinçer Heavy Crude, Fuel, 76, 14-15 (1997) 1389-1394.
31. Karayiğit, A.İ., Minerology and Elemental Contents of the Şırnak Asphaltite, Southeast Turkey, Energy Sources, 24 (2002) 1085-1100.
32. Moroz, L.V., Ion Irridation of Asphaltite:Oil Effects and Implications for Trans-Neptunian Objects and Centaurs, Earth, Moon and Planets, 92 (2003) 279-289.
33. Umar, F. ve Yayla, N., Yol İnşaatı, IV. Baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1994.
34. Tunç, A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2001.
35. Tunç, A., Esnek Kaplama Malzeme El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2004.
36. Macit, S., Reverber Fırın Cürufunun Sıcak Karışım Asfalt Betonunda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
37. Ağar, E. ve Umar, F., Yol Üstyapısı, 3. Baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1985.
38. Bituminous Materials in Road Construction, U.K. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, England, 1969.
39. Yollar Fenni Şartnamesi, Yayın No: 170/2 Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1994.
40. Keçeciler, A.F., Gümrükçüoğlu, A., Akkol, G. ve Gökçe, A.F., Bitümlü Malzemeler Laboratuar El Kitabı, KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Yayın No. 239, Ankara, 1990.
41. Atmaca, F., Sönmemiş Kirecin (CaO) Asfalt Emülsiyonlu Yoğun Karışım Asfalt Betonu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
42. Oruç, Ş., Torul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçerisindeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
43. Guirguis, H.R., Daoud, O.E.K. ve Hamdani, S.K., Asphalt Concrete Mixtures Made With Cement-Coated Aggregates, Transportation Research Record, 843 (1990) 80-85.
44. Ishai, I., Graus, J. ve Sides, A., A Model for Relating Filler Properties to Optimal Behavior of Bituminous Mixtures, Proc., Assosiation of Asphalt Paving Technologists, 49 (1980) 416-436.

45. Tayebali, A. A., Malpass, G. A. ve Khosla, N. P., Effect of Mineral Filler Type and Amount on Design and Performance, Transportation Research Record, 1609 (1998) 36-43.
46. Puzinauskas, V. P., Filler in Asphalt Mixtures, The Asphalt Institute, Research Report, Maryland, USA, 69, 2 (1983).
47. Suhaibani, A., Mudaiheem. J. ve Fozan, F., Effect of Filler Type and Content on Properties of Asphalt Concrete, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance: ASTM STP 1147, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (1992) 107-130.
48. Harris B. M. ve Stuart K. D., Analysis of Mineral Fillers and Mastics Used in Stone Matrix Asphalt, Asphalt Paving Technology, Association of Asphalt Paving Technologists Proceeding of the Technical Sessions, v 64, Assosiation of Asphalt Paving Technologists , Maplewood, MN, USA, (1996) 54-95.
49. Yoder, E.J. ve Witczak, M.W., Principles of Pavement Design, Second Edition, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley&Sons, Inc., New York, London, Sydney, Toronto, 1975.
50. TS 1084, Yol Üst Yapılarında Kullanılan Katranlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1972.
51. Yağız, F., Keçeciler, A.F., Işıksalan, C. ve Akkol, G., Bitümlü Malzemeler, İş Matbaacılık ve Ticaret, Ankara, 1967.
52. Van der Heide, J.P.J., Materials and Mix Design, Proceeding of the 1992 Asphalt Paving Technology, Charleston, SC, USA, Asphalt Paving Technology, (1992) 584-611.
53. TS 1081, Yol Üst Yapılarında Kullanılan Asfalt Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1972.
54. TS 1082, Yol Üst Yapılarında Kullanılan Asfalt Emülsiyonları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1972.
55. Önal, M.A., Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı, KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1993.
56. Hopman, P.C., Valkering, C.P. ve Van der Heide, J.P.J, Mixes and Five Procedures, Search For A Performance-Related Mix Design Procedure, Proceedings of the 1992 Asphalt Paving Technology, Charleston, SC, USA, (1992) 188-216.
57. Croney, D., The Design and Performance of Road Pavement, Her Majesty's Stationary Office, London, 1997.
58. Karpuz, O., Asfalt Emülsiyonu ile Hazırlanan Soğuk Karışımların Stabilitelerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.

59. Koca, İ., Bitümlü Kaplamalar Yapım Tekniği, T.C.K. 14. Bölge Müdürlüğü, Bursa, 1987.
60. Uzuner, Ş., Bitümlü Sıcak Karışımlar, Karayolları Vakfı Dergisi, Ankara, 1989.
61. Tayebali, A.A., Rowe, G.M. ve Souse, J.B., Fatigue-Response of Asphalt Aggregate Mixtures, Proceedings of the 1992 Asphalt Paving Technology, Charleston, SC, USA, (1992) 333-360.
62. Önal, M.A. ve Karaca, S., Asfalt Betonu ve Diğer Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metotları (Çeviri), Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1990.
63. TS 3720, Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları-Marshall ve Hubbart- Field Metotları ile, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1983.
64. Hınıslioğlu, S., An Investigation on the Marshall and Resilient Characteristics of Asphalt Concrete with Bituminous Binder Modified with High Density Polyethylene, Doctorate Thesis, İ.T.Ü., Institute of Science and Technology, İstanbul, 1998.
65. Kallas, B.F. ve Riley, J.C., Mechanical Properties of Asphalt Pavement Materials, Proceedings, Second International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan (1967) 932.
66. Papazian, H.S., The Response of Linear Viscoelastic Materials in the Frequency Domain with Emphasis on Asphalt Concrete Proceedings, International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan (1962) 454-463.
67. Schmidt, R.J., A Practical Method for Measuring the Resilient Modulus of Asphalt Treated Mixes, Highway Research Record No. 404, Highway Research Board, Washington, D.C., (1972) 22-32.
68. Brown, E.R., Foo, K.Y., Evaluation of Variability in Resilient Modulus Test Results (ASTM D 4123), Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, 19, 1, (1991) 1-13.
69. Majidzadeh, K., Herin, M., Modes of Failure and Strength of Asphalt Films Subjected to Tensile Stresses, Highway Research Record, 67 (1965) 98.
70. Kulash, D.J., Toward Performance – Based Specifications for Bitumen and Asphalt Mixtures, Proceedings of Institution of Civil Engineering Transport, 105 (1994) 187-194.
71. Tian, P., Zaman, M.M., Joakim, G., Laguros, G., Variation of Resilient Modulus of Aggregate Base and Its Influence on Pavement Performance, Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, 26, 4 (1998) 329-335.

72. ASTM D 4123-82, Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1987.
73. Stuart, K. D., Evaluation of Procedures Used to Predict Moisture Damage in Asphalt Mixtures, Report No. FHWA-RD-86-090, Federal Highway Administration, Washington, D. C., 1986.
74. Lee, K.W., Prediction and Evaluation of Moisture Effects on Asphalt Concrete Mixture in Pavement Systems, Doctor of Philosophy, Austin, Texas University, December 1982.
75. The Asphalt Institute, Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements, Educational Series – 10, Second Edition, Maryland 20740.
76. Oruç, Ş., Yoğun Granülometrilili Emülsifiye Asphalt Betonunda Çimentonun Karışım Performansı Üzerindeki Etkisi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
77. ASTM C 127-88, Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.
78. ASTM C 128-88, Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.
79. ASTM C 131-89, Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregates by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards, USA, 1992.
80. TS 1087, Bitümlü Maddelerde Özgül Ağırlık Tayini (Hidrometre, Piknometre ve Su İçinde Tartma Metotları ile), T.S.E., Ankara, Şubat 1972.
81. TS 118, Petrol Ürünleri-Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Penetrasyonu Tayini, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 1998.
82. TS 119, Bitümlü Maddelerin Düktilite Deneyi İçin Metot, T.S.E., Ankara, 1964.

ÖZGEÇMİŞ

Ümit EREN, 1982 yılında Rize’de doğdu. İlkokul tahsilini Süleyman Sami Kepenek İlkokulu’nda (SİVAS) ve Ortaokul tahsilini Kadıburhanettin İlköğretim Okulu’nda (SİVAS), Lise tahsilini de Trabzon Lisesi (Y. D. A)’nde tamamladıktan sonra 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Öğrenimi sırasında onur ve yüksek onur alma başarılarını göstererek 2006 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Gazi Üniversitesi’nde 2001 yılında da bir yıl dil eğitimi alan Ümit EREN yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.