



T.C.

**AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MODİFİYE TAŞ MASTİK ASFALTIN NORMAL AŞINMA
TABAKASINA GÖRE PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nijyar ISMAEL ISMAEL

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Salih BEKTAŞ

AKSARAY, 2020

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142303801 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Nijyar İSMAEL İSMAEL tarafından hazırlanan “MODİFİYE TAŞ MASTİK ASFALTIN NORMAL AŞINMA TABAKASINA GÖRE PERFORMANSININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

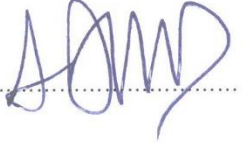
Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Salih BEKTAŞ

Üniversite Adı : Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Doç.Dr.Gökhan DURMUŞ

Üniversite Adı : Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Prof.Dr.Ömer KÖSE

Üniversite Adı : Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 09/01/2020

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

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

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

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

Nijyar ISMAEL ISMAEL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, konu seçimi ve çalışmaların devam etmesi aşamalarında gerekli yönlendirmeleri yapan, zamanını, ilgisini, maddi ve manevi her konuda desteğini esirgemeyen, bu çalışmayı yapmamda bana esin kaynağı olan saygı değer hocam Dr. Öğr. Üyesi Salih BEKTAŞ'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Yüksek lisans çalışmam boyunca manevi desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili ebeveynlerime, eşime, çocuklarıma ve kardeşlerime, Dohuk İnşaat Laboratuvarı Müdürlüğünde çalışan sevgili dostlarıma çok teşekkür ederim.

Nijyar ISMAEL ISMAEL
AKSARAY, 2020

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Genel Bilgiler.....	2
1.2.1 Bitümlü bağlayıcılar.....	2
1.2.2 Normal bitümlere uygulanan deneyler.....	4
1.2.2.1 Penetrasyon deneyi.....	5
1.2.2.2 Yumuşama noktası deneyi.....	6
1.2.2.3 Düktilite deneyi	7
1.2.2.4 Özgül ağırlık deneyi	7
1.2.2.5 Viskozite deneyi.....	8
1.2.2.6 Parlama noktası deneyi.....	8
1.2.2.7 Isıtma kaybı deneyi	8
1.2.3 Modifiye bitümlere uygulanan deneyler.....	9
1.2.3.1 Brookfield rotary viskozite deneyi	9
1.2.3.2 Elastik geri dönme deneyi	10
1.2.3.3 Dinamik kesme reometresi deneyi (DSR).....	11
1.2.3.4 Dönen ince film etüvü deneyi (RTFOT)	11
1.2.3.5 Basınçlı yaşlandırma kabini (PAV).....	12
1.2.3.6 Eğilme kirişi reometresi (BBR).....	13
1.2.4 Agregalara uygulanan deneyler	14
1.2.4.1 Elek analizi deneyi	14
1.2.4.2 Aşınma Deneyi (Los Angeles)	15
1.2.4.3 Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi.....	16
1.2.4.4 Kum eşdeğerlilik değeri	16
1.2.4.5 Kırılmışlık oranı	17
1.2.4.6 Su emme deneyi	17
1.2.4.7 Yassılık İndeksi Deneyi	18
1.2.4.8 Soyulma deneyi	19
1.2.4.9 Kil toprakları deneyi	19
1.2.4.10 Kaba agregaların özgül ağırlığı deneyi	20
1.2.4.11 Likit limiti, plastik limit ve plastisite indeksi.....	21
1.2.5 Marshall dizayn yöntem.....	22
1.2.6 Geleneksel asfalt betonu	23
1.2.7 Asfalt kaplamalarda bozulmalar	24
1.2.7.1 Yorulma çatlakları.....	24
1.2.7.2 Blok çatlakları	25
1.2.7.3 Boyuna çatlaklar.....	26
1.2.7.4 Yama belirleme	26
1.2.7.5 Çukur	26
1.2.7.6 Tekerlek izi.....	27

1.2.7.7 Öndülasyon	27
1.2.7.8 Kusma	28
1.2.7.9 Cilalanma (Kayme direnci kaybı)	28
1.2.7.10 Sökülmeler	28
1.2.7.11 Su sıçraması ve pompaj.....	29
2. TAŞ MASTİK ASFALT	30
2.1 Taşmastik asfaltın avantajları	31
3. LİTERATÜR İNCELENMESİ.....	32
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	38
4.1 Malzemeler	38
4.1.1 Bitüm	38
4.1.2 Modifiyer malzeme.....	38
4.1.2.1 Stiren-bütadien-stiren (SBS)	38
4.1.2.2 Superplast.....	39
4.1.2.3 Elyaf selüloz.....	41
4.1.3 Kaba ve ince agrega	42
4.1.3.1 Geleneksel asfalt	42
4.1.3.2 Taş mastik asfalt (TMA)	42
4.2 Dizayn Yöntemi.....	42
4.2.1 Marshall dizaynı.....	42
4.2.1.1 Gradasyon	43
4.2.1.2 Marshall briketlerinin hazırlanması	43
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	47
5.1 Bitümün fiziksel özellikleri	47
5.1.1 Normal bitümün deney sonuçları.....	47
5.1.2 Modifiye bitümün deney sonuçları.....	47
5.2 Agrega Deney Sonuçları.....	49
5.3 Geleneksel Asfalt Karışımı (BSK) Deney Sonuçları.....	50
5.3.1 Taş Mastik Asfalt (TMA)	54
5.4 Karışımların marshall parametrelerinin karşılaştırılması	58
5.5 Tekerlek izi deney sonuçları.....	62
5.6 (SBS) ve (SP) modifiye bitüm arasındaki karşılaştırma.....	64
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ.....	78

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MODİFİYE TAŞ MASTİK ASFALTIN NORMAL AŞINMA TABAKASINA GÖRE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Nijyar ISMAEL ISMAEL

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Salih BEKTAŞ

ÖZET

Bu araştırmada, yerel kırma malzemeleri (Zakho) şehrinde, agrega ve normal bitüm (Erbil) şehrinde, ve filler malzemesi ise (Duhok) şehrinin (Kwashi) sanayi bölgelerinden temin edilmiştir. Bunun yanı sıra İtalya'dan ithal edilen SBS, Selüloz ve Superplast (SP) gibi bazı malzemeler, de kullanılmıştır.

Çalışmamızda ilk normal bitümün özellikleri belirlenmiş ve daha sonra normal bitüme SBS ve superplast (SP) malzemeleri eklenerek bitümü iyileştirmeye ve performansının incelenmeye çalışılmıştır. Buna ek olarak DSR, RTFOT, PAV, BBR, Elastik Geri Kazanım, Yumuşama Noktası vb. deneyler uygulandıktan sonra SBS'nin bitümün özelliklerini iyileştirmek için Superplast'tan daha fazla başarılı olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, Taşmastik asfalt aşamasında SBS kullanılarak bitüm modifiye edilmiştir.

Bu araştırma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada modifiye edilmemiş bitüm kullanarak normal sıcak asfalt karışım (BSK) dizaynı, ikinci aşama ise SBS polimerleri kullanılarak Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımının tasarımıdır. Her iki aşama için Marshall tasarım yöntemi kullanılmış ve tüm tasarım aşamaları ve testleri Duhok şehrindeki inşaat malzemeleri laboratuvarlarında hazırlanmıştır.

Bu iki karışım üzerinde, özellikle Hamburg tekerlek izi deneyi yapıldıktan sonra, yük katmanlarına (uzama direnci), hava koşullarına dayanıklılık ve ömrünü uzatma kabiliyetine sahip bir karışım bulmak olan bu araştırmanın amacına ulaşılmıştır. İstenilen tüm bu özellikler Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımında bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taş Mastik Asfalt, Süperplast, Marshall dizaynı, Bitüm, Aşınma tabakası.

Ocak, 2020; 78 Sayfa

M.Sc.THESIS

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF MODIFIED STONE MASTIC ASPHALT ACCORDING TO THE NORMAL WEARING COURSE

Nijyar ISMAEL ISMAEL

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Salih BEKTAŞ

ABSTRACT

In this research, local crushed materials of (Zakho) City crushers and normal bitumen from (Erbil) City and Filler from (Kwashi) industrial area in (Duhok) City were used. In addition, some imported materials were used, SBS, Fiber Cellulose and Superplast (SP) from Italy. Initially the physical properties of bitumen were improved through the addition of SBS and Superplasts individually and special tests of BG grade such as (DSR, RTFOT, PAV, BBR, Elastic Recovery, Softening Point...etc.) After the results were obtained, SBS showed more susceptibility than Superplast to improving the properties of bitumen. Therefore, the bitumen was improved with SBS used in Stone mastic asphalt (SMA) equation.

After the best modified bitumen was selected (normal bitumen + SBS), a new stage was started in this research, namely the designing of equations for asphalt mixtures of the surface layer. Two equations were designed in this research. The first equation is to design the normal hot mix asphalt (BSK) mixture using unmodified bitumen and the second equation is the design of a Stone Mastic Asphalt (TMA) mixture using SBS polymers for modifying. The Marshall design method were used for both equations and all the design steps and tests are prepared in the construction materials laboratories in Duhok City.

After conducting tests on these two mixtures especially the Hamburg wheel track test, it was reached the objective of this research, which is to find a mixture that has the ability to resistant to loads tiers (rutting resistance) and weather conditions and increase the life of the layer. All these specifications include in the Stone Mastic Asphalt (TMA) mixture.

Keywords: Stone Mastic Asphalt, Superplast, Marshall Design, Bitumen, wearing course.

Jan, 2020; 78 Pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Penetrasyon deney aletleri.	5
Şekil 1.2. Yumuşama noktası deney aletleri.	6
Şekil 1.3. Düktilite deney aletleri.	7
Şekil 1.4. Parlama noktası deney aletleri.	8
Şekil 1.5. Isıtma kaybı deney etüvü.	9
Şekil 1.6. Brookfield rotary viskozite deney aleti.	10
Şekil 1.7. Elastik kurtarma deney aleti.	10
Şekil 1.8. Dinamik kesme reometresi deney aleti.	11
Şekil 1.9. Dönen RTFOT ince film etüvü.	12
Şekil 1.10. PAV deney aleti.	13
Şekil 1.11. BBR deney aleti.	13
Şekil 1.12. Elek analizi deney aletleri.	15
Şekil 1.13. Aşınma deney cihazı [36].	15
Şekil 1.14. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık test aletleri.	16
Şekil 1.15. Kum eşdeğerlilik deney aletleri.	17
Şekil 1.16. Yassı agrega.	17
Şekil 1.17. Su emme deney malzemeleri.	18
Şekil 1.18. Yassılık indeksi deneyi.	19
Şekil 1.19. Soyulma deneyi.	19
Şekil 1.20. Kil topakları deneyi.	20
Şekil 1.21. Kaba agreganın özgül ağırlığını belirlemek için kullanılan aletler.	21
Şekil 1.22. Likit limit deney ekipmanları.	22
Şekil 1.23. Geleneksel asfalt bileşenleri.	23
Şekil 1.24. Asfalt katmanları.	24
Şekil 1.25. Yorulma çatlağı.	24
Şekil 1.26. Blok çatlağı.	25
Şekil 1.27. Kenar çatlakları.	25
Şekil 1.28. Boyuna çatlaklar.	26
Şekil 1.29. Yoldaki yama.	26
Şekil 1.30. Çukur.	27
Şekil 1.31. Tekerlek izi.	27
Şekil 1.32. Öndülasyon.	27
Şekil 1.33. Kusma.	28
Şekil 1.34. Cilalı agrega.	28
Şekil 1.35. Sökülme.	29
Şekil 1.36. Su sıçraması ve pompaj.	29
Şekil 2.1. Taş mastik asfalt (TMA).	30
Şekil 2.2. Taş üzerine SMS.	30
Şekil 2.3. TMA'nın yola döşenmesi.	31
Şekil 4.1. Stiren bütadien stiren örneği.	39
Şekil 4.2. Superplast örneği.	40
Şekil 4.3. Elyaf selülozü örneği.	41
Şekil 4.4. Marshall biriketlerinin hazırlanması.	44
Şekil 4.5. Hamburg tekerlek izi için numunelerin hazırlanması.	45
Şekil 4.6. Polietilen kalıplarda numunelerin taraflarının kesilmesi.	45
Şekil 4.7. Hamburg tekerlek izi ekipmanları.	46
Şekil 5.1. Marshall gradasyon grafik ve BSK şartname sınırları.	51

Şekil 5.2. Marshall tasarım grafikleri.	53
Şekil 5.3. TMA grafiği ve şartname limitleri.	55
Şekil 5.4. Taş mastik asfaltın Marshall grafikleri.	57
Şekil 5.5. BSK ve TMA pratik özgül ağırlıkların karşılaştırılması.	59
Şekil 5.6. TMA ve BSK'nın Boşluk Yüzdelerinin karşılaştırılması.	59
Şekil 5.7. TMA ve BSK'nın Agregalar arası boşluk yüzdesinin karşılaştırılması.	60
Şekil 5.8. TMA ve BSK'nın asfalt dolu boşluk yüzdelerinin karşılaştırılması.	60
Şekil 5.9. TMA ve BSK'nın stabilite karşılaştırılması.	61
Şekil 5.10. TMA ve BSK'nın akma değerlerinin karşılaştırılması.	61
Şekil 5.11. BSK örnekleri için Hamburg tekerlek izi grafiği.	63
Şekil 5.12. Taş mastik asfaltın (TMA) tekerlek izi grafiği.	64
Şekil 5.13. SBS ve SP bitümün penetrasyonların karşılaştırılması.	64
Şekil 5.14. SBS ve SP bitümünde yumuşama noktalarının karşılaştırılması.	65
Şekil 5.15. SBS ve SP bitümün duktilite deneylerinin karşılaştırılması.	65
Şekil 5.16. SBS ve SP bitümlerinin elastik geri dönme karşılaştırılması.	66
Şekil 5.17. SBS ve SP bitümlerin dinamik kesme reometresinin karşılaştırılması.	66
Şekil 5.18. SBS ve SP kırış bükme reometresinin (BBR) karşılaştırılması.	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Polimer tipleri (Avantajlar ve dezavantajlar).	3
Çizelge 4.1. 40/50 sınıf bitümün şartname limitleri.	38
Çizelge 4.2. SBS'nin fiziksel özellikleri.	38
Çizelge 4.3. Superplast'ın fiziksel özellikleri.....	39
Çizelge 4.4. Modifiye bitümün özellikleri.....	40
Çizelge 4.4. (devam) Modifiye bitümün özellikleri.....	41
Çizelge 4.5. Geleneksel asfaltın özellikleri.....	42
Çizelge 4.6. Taş mastik asfaltın özellikleri.....	42
Çizelge 5.1. Normal bitümün özellikleri.....	47
Çizelge 5.2. Modifiye bitümün deney sonuçları.....	48
Çizelge 5.3. Elek analizi deney sonuçları.....	49
Çizelge 5.4. Filler (kalsit) parçacık büyüklüğü dağılımı (elek analizi).	49
Çizelge 5.5. Kaba agrega deney sonuçları.....	50
Çizelge 5.6. İnce agrega fiziksel özellikleri.....	50
Çizelge 5.7. BSK JMF'nin deney sonuçları.....	51
Çizelge 5.8. Sıcak asfalt karışımların Marshall tasarım verileri.....	52
Çizelge 5.9. BSK Marshall deney sonuçları.....	52
Çizelge 5.10. BSK için son JMF deney sonuçları.....	54
Çizelge 5.11. TMA JMF'nin gradasyon sonuçları.....	55
Çizelge 5.12. TMA'nın Marshall tasarım verileri.....	56
Çizelge 5.13. Taşmastik asfaltın (TMA) tasarım sonuçları.....	56
Çizelge 5.14. TMA için son iş karışımı formülü (JMF) deney sonuçları.....	58
Çizelge 5.15. BSK için Hamburg tekerlek izi deney sonuçları.....	62
Çizelge 5.16. TMA için Hamburg tekerlek izi deney sonuçları.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

AC	Asfalt çimentosu
AB	Asfalt betonu
BSK	Bitümlü sıcak karışım
ÇBGT	Çimento bağlayıcılı granüler temel
DSR	Dinamik kayma reometresi
FI	Flakiness endeksi
GT	Granüler temel
BSK	Sıcak asfalt karışımları
İÇM	İndirekt çekme mukavemeti
KGM	Karayolları genel müdürlüğü
KTŞ	Karayolu teknik şartnamesi
NCHRP	Ulusal kooperatif yolu araştırma programı
NAPA	Ulusal asfalt kaplama birliği
NCAT	Ulusal asfalt teknolojisi merkezi
MR	Esnek modülü
PMB	Polimer modifiye bitüm
PMT	Plent-miks temel
TMA	Taş mastik asfalt
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurulu
TSE	Türk standartları enstitüsü
TMA	Taş mastik asfalt
TPE	Termoplastik elastomerler
WMA	Sıcak asfalt karışımı
PSV	Cilalanma direnci
ZVS	Sıfır Kesme Viskozite

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Karayolları herhangi bir ülke için en önemli altyapılardan biridir, yaşamın çeşitli alanlarındaki gelişim, ulaşımına bağlıdır ve toplumun tüm kesimleri ve üyeleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu da yolların iyi bir şekilde tasarlanmasını ve inşa edilmesini gerektirir. Kaplama tabakasının bağlayıcısı olan bitümün performansını artırmak için, bitümlü sıcak karışımlarda (BSK), özellikle kırılma çatlaklarına, yorulma ve gerilmelere karşı polimer malzemeler katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Yapılan araştırmalara bakıldığında birçok polimer asfalt karışımlarda kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan bitüm stiren-bütadien-stire ve süper plast ile modifiye edilmiştir. Her ikisi de, bitüme farklı oranlarda eklenerek performans ölçümleri deneylerle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu araştırmanın asıl amacı, eklenen polimerlerin fiziksel özelliklerinin sıcak asfalt karışımlarda (BSK) ve Taş mastik asfaltlarda (TMA) karışımlarının özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmektir.

Yapılan çalışmada Irak'ın Zaho bölgesinden gelen nehir malzemesi (silika), tüm asfalt karışımlarında kullanılmıştır, çünkü bu malzemeler (nehir), dağ malzemelerine göre daha güçlü ve dayanıklı olarak kabul edilir. Kireçtaşı, sıcak asfalt karışımı ve taş mastik asfalt (TMA) karışımlar için karışım agregası olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada Marshall Tasarım yöntemi ile iki tür karışım hazırlanmış ve deneysel performansları karşılaştırılmıştır.

- Normal bitüm kullanılarak hazırlanan aşınma tabakası (BSK).
- Modifiye bitüm (STM) kullanılarak hazırlanan taş mastik asfalt tabakası.

1.2 Genel Bilgiler

1.2.1 Bitümlü bağlayıcılar

Asfalt çimentosu bağlayıcıları veya basitçe asfalt çimentosu olarak adlandırılan asfalt bağlayıcıları, asfalt betonunun temel bir bileşenidir; bunlar, agregayı bir arada tutan çimentolardır. Asfalt bağlayıcılar, benzin, mazot, yağlama yağları ve diğer pek çok petrol ürününü üretmek için rafine ham petrolün bir ortak ürünüdür. Asfalt bağlayıcısı, yakıtlardan sonra kalan kalın, ağır tortudan üretilir ve yağlar ham yağdan çıkarılır. Bu ağır tortu, asfalt bağlayıcılar için istenen özellik setini karşılayana kadar buhar azaltması ve oksidasyon gibi çeşitli şekillerde işlenebilir. Zorlu, yüksek performanslı uygulamalar için, az miktarda polimer bazen asfalt bağlayıcıya harmanlanır, bu da polimer modifiyeli bir bağlayıcı üretir [1].

Bitüm, tortul havzaların dibinde biriken bitkiler şeklinde bulunan bir hidrokarbon malzemesidir. % 85 karbon, % 15 hidrojen ve % 3 oksijen, kükürt ve azottan oluşur. Bilinen en eski mühendislik malzemelerinden biri bitümdür. Bitüm binlerce yıldan beri yapışkan malzeme, sızdırmazlık maddesi ve koruyucu madde, su yalıtım maddesi ve asfalt gibi çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. 1900'lerin başında, ABD'de ham petrolü rafine ederek bitümün ilk ürün olarak rafine edilmesine başlandı. Bitümün dünya tükenmesi hızla arttı. Asfalt Enstitüsü ve Euro bitümün ortak yayınına göre, dünyadaki bitüm tüketimi yılda yaklaşık 102 milyon tondur ve bunun % 85'i çeşitli üstyapı türlerinde kullanılır, üretilen bitümün kimyasal bileşimi çok karmaşık ve değişkendir. Üretilen bitümün özellikleri ham petrol kaynakları ve rafineri işlemleriyle ilgilidir. Üstyapı endüstrisi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, son birkaç on yıllık dönemde tüm dünyada hızla gelişmiştir. Hızlı gelişmenin ardından, artan trafik yükü, daha yüksek trafik hacmi ve yetersiz bakım, yol yüzeylerinin bozulmasına ve çatlaması gibi birçok ciddi sıkıntıya neden olmaktadır.

Yüksek kaliteli bitüm elde etmek için, bitüm modifikasyonuna odaklanmaya pek çok araştırma yapılmaya başlandı. İncelenen tüm bitüm modifikasyon yöntemleri arasında, polimer modifikasyonu en popüler yaklaşımlardan biridir.

Bitüm esas olarak yol yapım dünyasında kullanılmaktadır. Otomobillerin gelişimi ile daha özel olarak dünya çapında yollculukların artması, bitüm kullanımının güçlendirilmesiyle yakından bağlantılıdır. Yollardaki bitüm kullanımı, trafiğin yol

açtığı yollardaki toz sorununu gidermeye yardımcı olmuştur. Bitümlü kaplamalar dünyanın her yerindeki yolları kapladı. Bitüm, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra katranın yerini aldı. Talepteki artış ve karayolu ağının genişlemesi, işçilerin yaşam ve çalışma koşullarını iyileştirirken, daha iyi kalite ve üretkenliğe yol açmıştır. Asfalt karışımları % 95 agrega ve % 5 bitümden oluşur. Bir yol inşa etmek için gereken bitümün % 10'unun performansını değiştirmek için ilave ürünlerle karıştırıldığı değerlendirilmektedir. Bu katkı maddelerinden biri, mekanik performansı arttırmak için veya yapışmayı arttırmak için reçineler kullanılan polimerlerdir.

Bitümün polimer modifikasyonu, bitümdeki polimerlerin mekanik karıştırma veya kimyasal reaksiyonla birleştirilmesidir. Son 50 yıl boyunca, daha fazla araştırmacı, bitümün polimer modifikasyonuna odaklanmaya başlamıştır. Araştırılan çeşitli polimerler, polietilen (PE), polipropilen (PP), etilen-vinil asetat gibi plastomerler (EVA), etilen-butil akrilat (EBA) ve stiren-bütadien-stiren (SBS), stiren-izopren-stiren (SIS) ve stiren etilen / butilen-stiren (SEBS) gibi termoplastik elastomerlerdir. Polimer tiplerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Polimer tipleri (Avantajlar ve dezavantajlar).

Polimer Tipi	Üretilen Örnek	Avantajlar	Dezavantajlar
Plastomerler	•Polietilen (PE) •Polipropilen (PP)	•Yüksek ısı özellikleri •Nispeten düşük maliyetli	•Esneklikte sınırlı gelişme •Faz ayırma problemleri
	•Etilen-vinil asetat (EVA) •Etilen-butil akrilat (EBA)	•Nispeten iyi depolama kararlılığı •Isırmaya karşı yüksek direnç	•Esnek geri kazanımda sınırlı gelişme •Düşük sıcaklık özelliklerinde sınırlı gelişme
Termoplastik elastomerler	•Stiren-bütadien-stiren (SBS) •Stiren-izopren-stiren (SIS)	•Arttırılmış sertlik •Düşük sıcaklık hassasiyeti •Geliştirilmiş elastik tepki	•Bazı bitümlerde uyumluluk problemleri •Düşük ısıya, oksidasyona ve morötesi •Nispeten yüksek maliyet
	•Stiren etilen / bütilestir ve (SEBS)	•Isıya, oksidasyona ve ultraviyole karşı yüksek direnç	•Storage instability problems •Relatively reduced elasticity •High cost

Başlangıçta bu polimerlerin hiçbirisi bitüm modifikasyonu için tasarlanmamıştı. Bu polimerler, yüksek sıcaklıklarda daha yüksek sertlik, düşük sıcaklıklarda daha yüksek çatlama direnci, daha iyi nem direnci veya daha uzun yorulma ömrü gibi bazı bitüm özelliklerine yöneliktir. Polimer içeriği ve üretim prosesleri, polimer modifiye bitümün (PMB) nihai özelliklerini belirler. PMB için ideal mikro yapı, bitüm modifikasyonu için optimum polimer içeriğini belirleyen iki birbirine bağlı sürekli faz içerir. Bu, birbirine bağlı iki kesintisiz faz ile PMB genellikle mekanik özellikler, depolama kararlılığı ve maliyet etkinliği açısından daha iyi genel performans gösterir.

Plastomer modifikasyon materyali, 1960'lardan önce üretilen en popüler plastomer materyal olan termoplastik plastomerlerden daha uzun yapay sentez geçmişine sahiptir. Ticari olarak kabul edilebilir ilk SBS ürünü olan termoplastik elastomerler, ABD'de 1965'te geliştirildi ve ilk hidrojene edilmiş ürün SEBS, 1972'de yapıldı. İlk olarak, bu ticari polimerler esas olarak paketlenme, kauçuk, ayakkabı ya da yapışkan endüstrilerinde kullanılmıştır.

1990'lı yıllarda, birçok ülkede polimer modifikasyon bitümlerinin (PMB) araştırılmasına olan ilginin arttığı görülmüştür. Araştırmacılar, farklı PMB'lerin mekanik özelliklerini, reolojisini, sıcaklık hassasiyetini, morfolojiyi, termal davranışı, depo stabilitesini ve yaşlanmasını sistematik olarak araştırmıştır. Yaygın olarak kullanılan PMB'lerin hem avantajları hem de dezavantajları kademeli olarak tespit edilmiştir. Bir yandan, polimer modifikasyonunun, daha iyi elastik geri kazanımı, düşük sıcaklıklarda daha yüksek çatlama direnci ve yüksek SBS ile modifiye edilmiş bitüm sıcaklıklarında daha yüksek tekerlekizi direnci gibi bazı gelişmiş bitüm özelliklerine yol açtığı sonucuna varılmıştır. Öte yandan, bazı polimer değiştiricilerin ısı kararsızlığı ve bazı PMB'lerin faz ayrılma problemleri gibi bazı dezavantajları kanıtlanmıştır.

1.2.2 Normal bitümlere uygulanan deneyler

Neredeyse sonsuz çeşitte bitüm üretilebildiği için, farklı dereceleri karakterize edebilecek deneylerin yapılması gerekmektedir. Bitümleri karakterize etmek için en sık kullanılan iki ana deney penetrasyon ve yumuşama noktasıdır. Bu iki deney, farklı bitüm derecelerini belirlemek için kullanılır. Her ne kadar deneysel olsalar da, bunlardan yüksek sıcaklık viskozitesi ve düşük sıcaklık sertliği gibi önemli

mühendislik özelliklerini tahmin etmek mümkündür. Bitümün kıvamını karakterize etmek için penetrasyon deneyin kullanımı 19. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. Sızma ve yumuşama noktası deneyleri deneysel olarak türetildiği için, daima aynı koşullar altında gerçekleştirilmeleri esastır. Petrol Enstitüsü, Amerikan Deney Malzemeleri Derneği (ASTM) ve İngiliz Standartları bitüm deneyi için standart ve yönetmelikler yayınlamaktadır.

1.2.2.1 Penetrasyon deneyi

Standart yüklü bir iğnenin 5 saniye içinde dikey olarak nüfuz edeceği milimetrenin onda birindeki derinliği ölçerek bitümün sertliğini veya yumuşaklığını ölçer. Penetrometre, toplam ağırlığı 100 gr olan bir iğne tertibatından ve herhangi bir konumda serbest bırakılması ve kilitlenmesi için bir tertibattan oluşur. Bitüm, dökme kıvamında yumuşatılır, iyice karıştırılır ve beklenen penetrasyonun ötesinde en az 15 mm derinlikte kaplara dökülür. Deney, 25 °C'lik belirli bir sıcaklıkta yapılmalıdır. Sızma değerinin, dökme sıcaklığı, iğnenin boyutu, iğnenin üzerine yerleştirilen ağırlık ve deney sıcaklığı ile ilgili herhangi bir yanlışlıktan büyük ölçüde etkilendiği not edilebilir. 40/50 bitümlü bir sınıf, standart deney koşullarında penetrasyon değerinin 40 ila 50 aralığında olduğu anlamına gelir. Sıcak iklimlerde, daha düşük bir penetrasyon derecesi tercih edilir.

Penetrasyon deney cihazı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Penetrasyon deney aletleri.

1.2.2.2 Yumuşama noktası deneyi

Bu deney; bitümün akmaya başladığı sıcaklığı belirlemek için kullanılır. Bu deneyin yapılışında esas alınan standart TSE 120 satandardıdır. Deneyin temel amacı sıcaklık derecesinin asfalt üzerinde nasıl bir iz bıraktığıdır. Bitüm üretiminde farklı ham petrol maddelerinin kullanılmasından dolayı her asfalt için sıcaklığının etkisi değişmektedir. Bundan ötürü bu deney tüm bitüm bağlayıcılara uygulanması gerekmektedir [2].

Yumuşama noktası, bitümün deney şartnamesi altında belirli bir yumuşama derecesine ulaştığı sıcaklığı belirtir. Deney, halka ve top aparatı kullanılarak gerçekleştirilir. Bitüm deney örneğini içeren bir pirinç halka, belirli bir sıcaklıkta su veya gliserin gibi sıvı içinde süspansiyon halinde tutulur. Bitüm numunesinin üzerine çelik bilye konulur ve sıvı ortam dakikada 5°C oranında ısıtılır. Yumuşatılmış bitüm, aşağıda belirtilen mesafedeki metal plakaya temas ettiğinde sıcaklık not edilir. Genel olarak, daha yüksek yumuşama noktası düşük sıcaklık duyarlılığına işaret eder ve sıcak iklimlerde tercih edilir.

Yumuşama noktası deney ekipmanları Şekil 1.2’de verilmiştir.



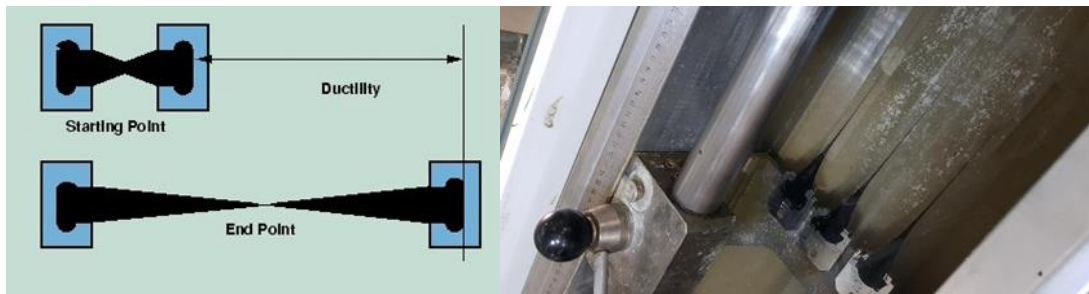
Şekil 1.2. Yumuşama noktası deney aletleri.

1.2.2.3 Düktilite deneyi

Bu deney TSE 119 standardına göre uygulanmaktadır. Düktilite deneyi; bitümün belli bir sıcaklık ve hıza tabi tutulduğunda kopmadan uzanabileceği uzunluğun cm olarak tanımlanabilmesidir. Uzama değeri fazla olan bitümler, düşük değerli bit mlerden daha güçlü bağlanabilirlirler. Fakat uzama değeri çok yüksek olan bitümler sıcaklık değişimlerinin sonucunda aşırı tepkpi gösterirler. Bundan dolayı bitümün düktilite değerlerine sınırlama getirilmiştir [3].

Düktilite, büyük deformasyon veya uzamaya izin veren bitümün özelliğidir. Düktilite, malzemenin standart bir numunesinin veya briketinin kopmadan uzatılacağı cm cinsinden mesafe olarak tanımlanmaktadır. Bitüm numunesi ısıtılır ve bir plaka üzerine yerleştirilmiş kalıp tertibatına dökülür. Bu numuneler havada ve daha sonra 27  C sıcaklıkta su banyosunda soğutulur. Aşırı bitüm kesilir ve yüzey sıcak bir bıçakla dengelenir. Ardından montaj içeren numuneli kalıp düktilite makinesinin su banyosunda yaklaşık 90 dakika tutulur. Kalıpların kenarları çıkarılır, klipsler makineye bağlanır ve makine çalıştırılır. İplik kopma noktasına kadar olan mesafe cm cinsinden bildirilen düktilite değeridir. Dökme sıcaklığı, deney sıcaklığı, çekme hızı vs. gibi faktörler düktilite değerini etkiler.

Düktilite deney cihazı şekil 1.3'te verilmiştir.



şekil 1.3. Düktilite deney aletleri [4].

1.2.2.4 Özgül ağırlık deneyi

Asfaltlama işlerinde, bir bağlayıcıyı sınıflandırmak için, yoğunluk özelliği büyük kullanım alanıdır. Çoğu durumda, bitüm tartılır, ancak agrega ile birlikte kullanıldığında, bitüm, yoğunluk değerleri kullanılarak hacme dönüştürülür. Bitüm yoğunluğu kimyasal bileşimi tarafından büyük ölçüde etkilenir. Bitümün  zg l

ağırlığı, bilinen içeriğe sahip bitüm hacminin kütesinin, 27°C'deki eşit hacimdeki kütenin oranı olarak tanımlanır. Bitümün özgül ağırlığı 0,97 ile 1,02 arasında değişmektedir.

1.2.2.5 Viskozite deneyi

Viskozite, ASTM deney yöntemi D2044'e göre 135°C ve 165°C'deki Brookfield viskozimetresi kullanılarak belirlenir.

1.2.2.6 Parlama noktası deneyi

Bitüm sınıflarına bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda, buharlaşmayabildiği gibi buharlaşabilirler ve bu çok tehlikeli olan ateş alabilir. Bu nedenle her bir bitüm sınıfı için sıcaklığı nitelemek gerekir. Parlama noktası, bitüm buharının kısa süre içinde belirtilen deney koşulları altında parlama şeklinde tuttuğu sıcaklık olarak tanımlanmıştır. Ateş noktası, bitümlü malzemenin tutuşup yakıldığı belirtilen deney koşulları altında en düşük sıcaklık olarak tanımlanır.

Parlama noktası deney aletleri Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Parlama noktası deney aletleri [5].

1.2.2.7 Isıtma kaybı deneyi

Bitüm ısıtıldığında içindeki gazları kaybeder ve sertleşir. Belirli bir bitüm miktarı tartılır ve bu deney için tasarlanmış belirli bir etüvda 5 saat boyunca 163°C'lik bir sıcaklıkta ısıtılır. Numune, ısıtma süresinden sonra tekrar tartılır ve ağırlık kaybı, orijinal numunenin ağırlık yüzdesi olarak ifade edilir. Kaplama karışımlarında kullanılan bitüm ağırlıkça % 1'den fazla kayıp göstermemelidir.

Isıtma kaybı deney etüvü Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Isıtma kaybı deney etüvü.

1.2.3 Modifiye bitümlere uygulanan deneyler

Polimer modifiyeli bitüm (PMB), olumsuz hava koşullarında ve ağır taşıt trafiğinin fazla olduğu yollarda, yol direncini artırmak için kullanılan bir karışım türüdür. PMB, ilave polimer ile normal bir bitümdür, bu da ekstra güç, yüksek yapışkanlık ve yorulma, sıyırma ve deformasyonlara karşı direnç sağlar, bu da altyapı için elverişli bir malzemedir.

Polimer modifiye bitüm, yorulma ömrünü, yumuşama noktasını, parlama noktasını, bağlayıcının yaşlanma direncini, tekerlek izi direncini artırabilir ve yapısal kaplama için zaman süresini arttırabilir, bu nedenle bakım maliyetini azaltır. Bu avantajlar için, polimer modifiye bitüm yol ve otoyol projelerinde potansiyel bir uygulama alanı bulmuştur. Polimer modifiyeli bitüm kullanılarak yapılan ilk yapım maliyeti, geleneksel karışımdan daha fazladır, ancak polimer modifiyeli bitüm daha az kalınlık gerektirir [1].

1.2.3.1 Brookfield rotary viskozite deneyi

Brookfield vizkosite deney aleti, verilen kesme oranlarında sıvı viskozitesini ölçer. Viskozite, bir sıvının akmaya karşı direncinin bir ölçüsüdür. Dial Viscometer, bir akmakan içindeki bir algılama elemanını döndürür ve indüklenen harekete karşı viskoz direnci aşmak için gereken torku ölçer. Bu, iş mili denilen daldırılmış eleman sürülerek gerçekleştirilir. Yay gösterme derecesi, kırmızı işaretçi ile belirtilir, sıvının viskozitesi ile orantılıdır. Viskozimetre, belirli bir yay sapması için gerçek viskozite, iş mili hızı ile orantılı olduğundan ve iş mili büyüklüğü ve şekli ile ilişkili olduğundan, çeşitli aralıklar üzerinde ölçüm yapabilir. Belirli bir viskoziteye sahip bir malzeme için

direnç, iş mili boyutu ve / veya dönme hızı arttıkça artacaktır. Asgari viskozite aralığı, en büyük mil en yüksek hızda kullanılarak elde edilir [6].

Brookfield rotary viskozite deney aleti Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6. Brookfield rotary viskozite deney aleti [7].

1.2.3.2 Elastik geri dönme deneyi

Elastik toparlanma deneyi elastomerlerle modifiye edilmiş bağlayıcılara uygulanabilir ve bağlayıcı maddenin modifikasyonunu açıklar. Numune sabit bir sıcaklıkta ve maksimum 20 cm hızda gerilir ve ardından yakalanır. Belirli bir süre geçtikten sonra, elastik toparlanma derecesi orijinal uzunluğa göre belirlenir.

Elastik geri kazanım deneyinin bitüm performansına iyi bir polimer katkısı ölçümü olduğu gösterilmiştir [8].

Elastik kurtarma deney aleti Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Elastik kurtarma deney aleti.

1.2.3.3 Dinamik kesme reometresi deneyi (DSR)

Dinamik kesme reometresi deneyinin yüksek sıcaklıktaki birincil amacı, uygun şekilde belirlenmiş bir asfalt bağlayıcı maddenin yüksek sıcaklıkta uygun mühendislik özelliklerine sahip olmasını sağlamaktır. Dinamik kesme reometresi, ince bir asfalt bağlayıcı örneğinin iki dairesel plaka arasında kesildiği burulma deneyidir. Aynı zamanda dinamik bir deneydir. Yüksek sıcaklık deneyinde, çelik plakaların çapı 25 mm'dir ve örnek yaklaşık 1 mm kalınlığındadır. Uygulanan gerilme, bağlayıcı maddenin sertliğine bağlı olarak değişir. Deney, asfaltın derecesine bağlı olarak (46, 52, 58, 64, 70, 76 ve 82 °C) çeşitli sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Örneğin, PG 76-16 bu bağlayıcıdaki yüksek sıcaklık DSR deneyi 76 °C'de gerçekleştirilir [1].

Dinamik kesme reometresi deney cihazı Şekil 1.8'de verilmiştir.



Şekil 1.8. Dinamik kesme reometresi deney aleti.

1.2.3.4 Dönen ince film etüvü deneyi (RTFOT)

RTFOT yaşlandırması, karıştırma, taşıma ve yerleştirme sırasında meydana gelen asfalt bağlayıcı yaş sertleşmesini simüle etmek içindir. Bu prosedürde asfalt, özel olarak tasarlanmış bir etüve dairesel bir rafa yerleştirilen cam şişelere dikkatlice tartılır. Etüv 323 °C deney sıcaklığını korurken raf şişeleri yavaşça döndürür. Deney sırasında, her rotasyonda birkaç saniye boyunca şişelere bir hava jeti üflenir. Deney 75 dakika sürdürülür; Şişeler daha sonra etüvdan çıkarılır, soğutulur ve tartılır. Yüzde kütle kaybı, şişedeki asfalt bağlayıcı maddenin ilk ve son ağırlığından hesaplanır. Yüksek kütle kaybı değerleri yaşlanma sırasında önemli miktarda hafif yağın buharlaştığı ve bunun sonucunda asfalt bağlayıcısının aşırı yaş sertleşmesine,

büzülmesine ve çatlamasına neden olabileceği anlamına gelir. Mevcut performans sınıflandırma standartları, RTFOT yaşlandırması sırasındaki kütle kaybının % 1,0'dan fazla olmamasını gerektirir [9].

Dönen RTFOT ince film etüvü Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. Dönen RTFOT ince film etüvü.

1.2.3.5 Basınçlı yaşlandırma kabini (PAV)

PAV yaşlandırma deneyinde, RTFOT deneyinde daha önce yaşlandırılmış olan 125 mm çapında paslanmaz çelik tencereleri asfaltla dolduruyor. Bu tavalar dikey bir rafa yerleştirilir, daha sonra bir etüv içine yerleştirilen basınçlı kabın içine yerleştirilir. Basınçlı kap, PAV deneyinde kullanılan yüksek basınç ve sıcaklığa dayanacak şekilde tasarlanmış, ağır şekilde inşa edilmiş bir çelik odadır. Bu yüksek sıcaklıklar ve basınçlar asfalt binderin yaşlanmasını hızlandırır. PAV deneyinin sonunda, asfalt bağlayıcı, birkaç yıllık hizmetten sonra tipik olarak kaplamada oluşacak kadar yaşlanmaktadır [9].

PAV deney cihazı Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. PAV deney aleti.

1.2.3.6 Eğilme kirişi reometresi (BBR)

Eğilme kirişi reometresi deneyinin amacı, asfalt bağlayıcıların düşük sıcaklıklarda çok sert ve kırılgan olmadığından emin olmaktır, çünkü bu BSK kaplamalarında enine çatlamaya neden olabilir. BBR deneyi bir eğilme sertliği deneyidir, 1 dakika boyunca küçük bir asfalt demeti yüklenir ve sapma ölçülür. Uygulanan yük ve ortaya çıkan sapmadan, asfalt binderin sünme sertliği hesaplanır. BBR verilerinin analizinde, m değeri olarak adlandırılan başka bir miktar da hesaplanmaktadır. M değeri, belirli bir yükleme zamanında sürünme eğrisinin log-log eğimidir. BBR örneği 125 milimetre uzunluğunda, 12,5 milimetre genişliğinde ve 6.25 milimetre kalınlığındadır. Deney -36 , -30 , -24 , -18 , -12 , -6 ve 0 °C deney sıcaklıklarında çalıştırılabilir. Performans bir asfalt bağlayıcıyı derecelendirirken, BBR deneyi düşük derecelendirme sıcaklığından 10 °C daha yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Örneğin, performans 76-16 bağlayıcı BBR kullanılarak -6 °C'de deney edilecektir. BBR deneyinde izin verilen maksimum sertlik 60 saniyede 300 MPa ve minimum m -değeri 0.300'dür [9].

BBR deney aleti Şekil 1.11'de verilmiştir.



Şekil 1.11. BBR deney aleti.

1.2.4 Agregalara uygulanan deneyler

Agrega, kaplama üzerindeki farklı gerilmeleri devralan ve kontrol eden asfalt karışımının temel yapısal çerçevesidir [10]. Agregaların özellikleri sıcak asfalt karışımı(BSK) kaplamaların performansı için çok önemlidir. Sık sık kirlenme, sıyırma, yüzey parçalanması ve yeterli yüzey sürtünme direncinin olmaması gibi kaplama sıkıntısı, doğrudan uygun olmayan agregaya seçimi ve kullanımına bağlanır. Mevcut toplu deneylerin çoğu, deneyime dayalı toplam özellikleri karakterize etmek için geliştirilmiştir. Çoğu, bir süre boyunca geliştirildi ve yerel koşulları ve mevcut toplam kaynakların özelliklerini yansıtır [11]. Agregalar mineral, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Kaplama endüstrisi tipik olarak performans karakterizasyonu için fiziksel özelliklere dayanır. Bir agreganın fiziksel özellikleri doğrudan mineral ve kimyasal özelliklerinin bir sonucudur [1].

Maksimum agregaya boyutu, sıcak karışım asfaltını ve temel / alttemel tabakaları çeşitli şekillerde etkileyebilir. BSK'da dengesizlik aşırı küçük boyutlardan, zayıf işlenebilirlik ve / veya aşırı büyük boyutlardan kaynaklanabilir. ASTM C 125 maksimum agregaya boyutunun iki yoldan birisini tanımlar.

Maksimum boyut: Toplam numune parçacıklarının yüzde 100'ünün geçtiği en küçük elek. Öte yandan, nominal maksimum boyuttan daha büyük bir elektir.

Nominal maksimum boyut: Bazı tanecikli parçacıkların bir kısmını tutan ancak genellikle ağırlıkça yüzde 10'dan fazla olmayan en büyük elek. Öte yandan, malzemenin yüzde 10'undan fazlasını tutmak birinci elekten daha büyük bir elektir [1].

1.2.4.1 Elek analizi deneyi

Bu deney yöntemi öncelikle, agregaya olarak kullanılmak üzere önerilen malzemelerin derecesini belirlemek için kullanılır. Sonuçlar, partikül büyüklüğü dağılımının uygulanabilir şartname gerekliliklerine uygunluğunu belirlemek ve çeşitli agregaya ürünlerinin ve agregaya içeren karışımların üretiminin kontrolü için gerekli verileri sağlamak için kullanılır. Veriler ayrıca gözeneklilik ve paketleme ile ilgili ilişkilerin geliştirilmesinde de faydalı olabilir [8].

Elek analiz ekipmanı Şekil 1.12'de verilmiştir.



Şekil 1.12. Elek analizi deney aletleri [12].

1.2.4.2 Aşınma Deneyi (Los Angeles)

Bu deney, agregaların darbe etkilerinin sonucunda oluşacak olan aşınmaya karşı dayanıklılığını ölçmek için yapılır. Aşınma deneyi ASTM C131 ve TS EN 1097-2 standartlarına göre uygulanmaktadır [8].

Deneye tabi tutulan agregaya yıkanmalı ve büyük ölçüde sabit kütleye gelinceye kadar 110 ± 5 °C (230 ± 9 °C) etüve yerleştirilmelidir. Daha sonra hazırlana malzeme Los Angeles deney makinesine yerleştirilir. 500 devirden sonra 30 ila 33 r / dak hızla devir, makineden toplanır ve 1.70-mm'den (No. 12) daha kalın olan agregalar, 110 ± 5 °C'de (230 ± 9 °F) etüvde kurutulur. Sabit kütle ve en yakın 1 g'a kadar olan ağırlık. Sonunda toplam kayıp yüzdesi hesaplanır, nominal 19.0 mm (3/4 - inç) koduna göre, toplam kayıp yüzdesi % 10 ila 45 arasında olmalıdır [2].

Aşınma deney cihazı Şekil 1.13'te verilmiştir.



Şekil 1.13. Aşınma deney cihazı [13].

1.2.4.3 Hava etkilerine karşı dayanıklılık deneyi

Hava etkilerine dayanıklılık deneyi; agreganın ağır hava şartlarında uzun süre beklemesi sonucunda donma ve çözölmeye karşı dayanıklılığın ölçölmesi için yapılan bir deneydir. Bu deney ASTM C88 standardına göre yapılmaktadır. Deneyde Na₂SO₄ ve MgSO₄ gibi çözeltileri kullanılabilmektedir [3].

Belirlenen agrega malzemesi magnezyum sülfatın doymuş çözeltilerine 24 saat bekletilir ve bu aşama 5 gün tekrarlanır. Ardından geçirgen gözenek alanlarında çöken tuzu kısmen veya tamamen dehidre etmek için etüvde kurutulup tarılır. Bu deney yöntemi, gerçek hava koşullarına maruz kalan malzemenin servis kayıtlarından yeterli bilgi bulunmadığında, agregaların sağlamlılığının değeriendirilmesinde yardımcı olan bilgileri sağlar.

Hava tesirlerine karşı dayanıklılık test ekipmanı Şekil 1.14'te verilmiştir.



Şekil 1.14. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık test aletleri [14].

1.2.4.4 Kum eşdeğerlilik değeri

Bu test yöntemi, deney numunesinde bulunan kil benzeri malzemenin nisbi miktarına, inceliğine ve karakterine ampirik bir değeri belirler. Bir agrega içerisinde izin verilen kil miktarını sınırlamak için minimum kum eşdeğeri bir değeri belirtilebilir. Bu deney yöntemi, üretim veya yerleştirme sırasında agrega kalitesindeki değışiklikleri belirlemek için hızlı bir alan yöntemi sağlar [15].

Kum eşdeğerlilik deney cihazı Şekil 1.15'te verilmiştir.



Şekil 1.15. Kum eşdeğerlilik deney aletleri [16].

1.2.4.5 Kırılmışlık oranı

Agregaların yüzey kırılmışlığı ne kadar fazla ise taşıma gücü o oranda artmaktadır. Kırılmışlığı belirlemek için, kırılmamış yüzeyli agregaya sayısı, deneye tabi tutulan agregaya oranı şeklinde belirlenir.

Yassı agreg örnekleri Şekil 1.16’da verilmiştir.



Şekil 1.16. Yassı agreg [17].

1.2.4.6 Su emme deneyi

Su emme değerleri, agreganın absorpsiyon potansiyelinin çoğunu tatmin edecek kadar uzun süre su ile temas halinde olduğu düşünüldüğünde, bileşen parçacıkları içindeki gözenek boşluklarında emilen su nedeniyle bir agreganın ağırlığındaki değişimin kuru duruma göre hesaplanmasında kullanılır. Su emme değeri laboratuvar şartlarında, kuru agreganın yaklaşık 24 saat suya batırılmasından sonra elde edilir. Su tablasının altından mayınlı agregalar, kurumasına izin verilmediğinde, kullanıldığında daha yüksek bir emilim gösterebilir. Tersine, kullanıldığında bazı agregalar 24 saatlik ıslatılmış durumdan daha az bir miktar emilmiş nem içerebilir. Su ile temas halinde olan ve parçacık yüzeylerinde serbest neme sahip olan bir agregaya için, serbest nem

yüzdesi, Deney Yöntemi C 566 ile belirlenen toplam nem muhteviyatından emilimin düşürülmesiyle belirlenebilir. Deney yöntemi, kaynar su veya vakum doygunluğu gibi 24 saatlik bekletme dışındaki şartlandırmaya sahip agrega emilimini belirlemek için uygundur. Diğer deney yöntemleriyle absorpsiyon için elde edilen değerler, öngörülen 24 saatlik ıslatma ile elde edilen değerlerden farklı olacaktır. Hafif agregalardaki gözenekler 24 saat daldırıldıktan sonra esasen suyla doldurulabilir veya olmayabilir. Aslında, bu tür toprakların çoğu, toprakların emme potansiyelinin çoğunu tatmin etmeden birkaç gün suya batırılmış halde kalabilir. Bu nedenle, bu deney yönteminin hafif agrega ile kullanılması amaçlanmamıştır [18].

Şekil 1.17 su emme deney malzemelerine örnek olarak verilmiştir.

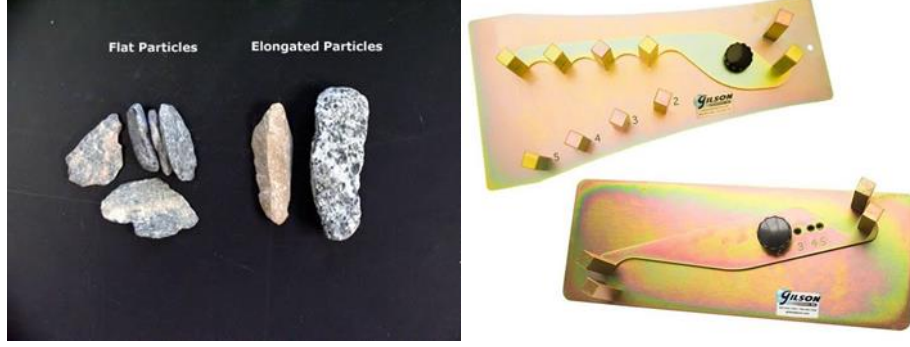


Şekil 1.17. Su emme deney malzemeleri [19].

1.2.4.7 Yassılık İndeksi Deneyi

Yassılık bir agregada üçüncü boyutun diğer iki boyuttan daha fazla olmasıdır. Yassı agregası fazla malzemelerden elde edilen asfalt karışımlarda stabilite problemi oluşur. Elek analizi sonucunda, elek üzerinde kalan agregaların ağırlıkları ve bunlardan yassılık aparatından geçen/geçmeyen agrega ağırlıkları belirlenerek yassılık oranı hesaplanır. Yassılık indeksi, yassı danelerin ayrılması ile bulunan ağırlığın deneye alınan toplam örnek ağırlığının yüzdesi olarak açıklanır. Deney 5 mm'den büyük ve 80 mm'den küçük malzemeye uygulanır.

Şekil 1.18 yassılık indeksi deneyine örnektir.



Şekil 1.18. Yassılık indeksi deneyi [20].

1.2.4.8 Soyulma deneyi

Bu deney yoluyla, su ve sıcaklık etkisi altında kalan agreganın bitüm adezyonundaki azalma miktarı belirlenir. "Soyulma miktarı" kullanılan agreganın cinsine (kalker, bazalt, gibi) ve bitümlü bağlayıcının tipine göre değişir. Eğer agreganın mukavemeti düşük ise asfalt çimentosuna deneyle belirlenen oranda katkı maddeleri eklenerek, soyulma mukavemeti artırılır [3].

Soyulma deneyin örneği Şekil 1.19'da verilmiştir.



Şekil 1.19. Soyulma deneyi [21].

1.2.4.9 Kil topakları deneyi

Bu deney; agregaların üzerindeki yapışmış kil parçacıkların oranını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu parçacıklar, agrega üzerinde yapışmış agregadan ayrılmayan parçacıklardır. Agregaların aşırı oranda kil topakları içermesi agreganın su gereksinimini artırır, asfaltın dayanıklılığı azaltır ve asfalt tabakaların yüzeylerinde çukurları oluşturarak asfalt kaplamaların görüntülerini bozmaktadır [22].

Sıcak karışım asfaltında kullanılması amaçlanan işlenmiş bir agregada aşırı kil topakları, agregada ve çimento esaslı malzeme arasındaki bağ ile etkileşime girebilir. Bu, malzemenin kaplamaya veya yapıya dahil edilmesi halinde dağılma, çatlama veya sıyrılma ve zayıf noktalar ve boşluklar oluşmasına neden olacaktır. İşlenmiş agregada içerisindeki kil topaklarının ve gevrek parçacıkların miktarının doğru bir şekilde belirlenmesi, uygun şekilde elde edilen temsili örneklerle bağlıdır [11].

Kil topakları deneyin örnekleri Şekil 1.20’de verilmiştir.



Şekil 1.20. Kil topakları deneyi.

1.2.4.10 Kaba agregaların özgül ağırlığı deneyi

Özgül ağırlık deneyin yöntemi ASTM C 127’de açıklandığı gibi uygulanacak. Yaklaşık 5 kg 4.75 mm elek üstü kalan malzeme etüvde sabit ağırlığa ulaşınca kadar bekletildikten sonra 24 saat su içinde bekletilir. Suda doymun hale gelen malzeme 24 saat sonra süzülüp daha sonra kurutulur. Kurutulan malzemenin ağırlığı tespit edildikten sonra suya batırılır ve su tabakasının agregada üzerinde olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Daha sonra malzemenin sudaki ağırlığı tartılıp kurutulmak üzere etüve konulur. Daha sonra kuru malzemenin ağırlığı tartılır ve sonuçlar hesaplanır [13].

Kaba agreganın özgül ağırlığını belirlemek için kullanılan aletler Şekil 1.21’de gösterilmiştir.

$$\text{Kaba Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı} = M1/(M2-M3) \quad (1.1)$$

$$\text{Kaba Agreganın Doymun Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı} = M2/(M2-M3) \quad (1.2)$$

$$\text{Kaba Agreganın Görünen (Zahiri) Özgül Ağırlığı} = M1/(M1-M3) \quad (1.3)$$

$$\text{Kaba Agreganın Su Emme Oranı \% si} = [(M2-M1)/M1]*100 \quad (1.4)$$

İfadelerin açılımı;

M1 : Agreganın Kuru Ağırlığı (gr),

M2 : Agreganın Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı (gr),

M3 : Agreganın Sudaki Ağırlığı (gr) [13]



Şekil 1.21. Kaba agreganın özgül ağırlığını belirlemek için kullanılan aletler.

1.2.4.11 Likit limiti, plastik limit ve plastisite indeksi

Likit limit deneyi; akıcı durumdaki zeminin, plastik duruma dönüştüğü anda içinde barındırdığı su miktarını ölçmek için yapılan deneydir [3].

Plastik limit Deneyi; ıslak zeminin yoğrulma esnasında yüzeyinde çatlakların belirdiği andaki su içeriğini belirlemek için yapılan bir deneydir [3].

Likit limit değeri ile plastiklik limiti (PL) değerinin arasındaki farka plastiklik indisi adı verilir [3].

Kohezyonlu zeminlerde zeminin yumuşaklık sertlik durumu kıvam ile belirtilir. Kohezyonlu zeminlerin bünyesindeki su oranı artıkça zemin katı olmaktan akmayan bir sıvı kıvamına kadar çok geniş bir aralık içinde değişim gösterebilir. Dolayısıyla, yük altında olan zeminin şekil değiştirme ve sıkışma gibi mühendislik özelliklerinde büyük farklılıklar meydana gelebilmektedir.

Bu yöntem, toprakların ve inşaat malzemelerinin ince tanecikli kısımlarını belirlemek için çeşitli mühendislik sınıflandırma sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olarak

kullanılır. Zeminlerin Likit limiti, plastik limit ve plastisite indeksi, sıkıştırılabilirlik, hidrolik iletkenlik (geçirgenlik), uyumluluk, b       kabarması ve kayma dayanımı gibi mühendislik davranışlarıyla ilişkili olarak ayrı ayrı veya birlikte, diğer toprak özellikleriyle birlikte, yaygın olarak kullanılır. Bir toprağın likit ve plastik limiti ve su içeriği, nispi tutarlılık veya likidite endeksini ifade etmek için kullanılabilir. Ek olarak, plastisite indeksi ve 2-  m parçacık boyutundan daha ince olan yüzde, aktivite numarasını belirlemek için kullanılabilir. Bu yöntemler bazen killi malzemelerin ayrışma özelliklerini değerlendirmek için kullanılır. Tekrarlanan ısıtma ve kurutma işlemlerine maruz kaldığında, bu malzemelerin sıvı limitleri artma eğilimindedir. Artış miktarının, şeylin hava koşullarına duyarlılığının bir   l       olduğu düşülmektedir.   nemli miktarda organik madde içeren bir toprağın likit limiti, deneyden önce toprak etüvda kurutulduğunda çarpıcı biçimde azalır. Bu nedenle, fırının kurutulmasından önce ve sonra bir numunenin sıvı sınırının karşılaştırılması, bir toprağın organik madde içeriğinin niteliksel bir   l       olarak kullanılabilir.

Likit limit deney ekipmanları Ő ekil 1.22’de verilmiştir.



Ő ekil 1.22. Likit limit deney ekipmanları [23].

1.2.5 Marshall dizayn yöntemi

Marshall Mix tasarım yönteminin temeli, aslen Missisipi Otoyol Departmanı'ndan Bruce Marshall tarafından 1939'da geliştirildi ve daha sonra ABD Ordusu tarafından rafine edildi. Karışım tasarımının Marshall Stabilesi, sıkıştırılmış bir numune numunesi tarafından 60   C'lik standart bir sıcaklıkta taşınan maksimum yük olarak tanımlanabilir [24].

1950'lerde, Marshall Yöntemi rafine malzemeler, trafik yükleme ve hava koşulları üzerinde farklı deneyler uygulandı. Bugün Marshall yöntemi, eksikliklerine rağmen, belki de dünyadaki en yaygın kullanılan karma tasarım yöntemidir [24].

1.2.6 Geleneksel asfalt betonu

Sıcak asfalt karışımlarının çoğu iki ayrı ana malzemeden oluşur. Birincisi agrega diğeri ise bitümdür. Agregalar taş ocaklarında ezilme ile elde edilirken, rafinerilerdeki yağ rafine edilerek bitüm elde edilirken, bu çekme malzemeleri iyi kontrol edilmeli ve sıcak asfalt üretim alanının teknik özellikleri ve sınırları dahilinde sağlanmalıdır.

Asfalt betonu, kaba agrega, ince agrega, mineral dolgu maddesi ve bitümün bir araya getirilmesinden oluşan bir karışımdır, bu agrega, mineral dolgu maddesi yüksek yoğunlukta optimum bitüm oranına sahip çok stabil bir karışımla birleştirilmesinin sonucudur.

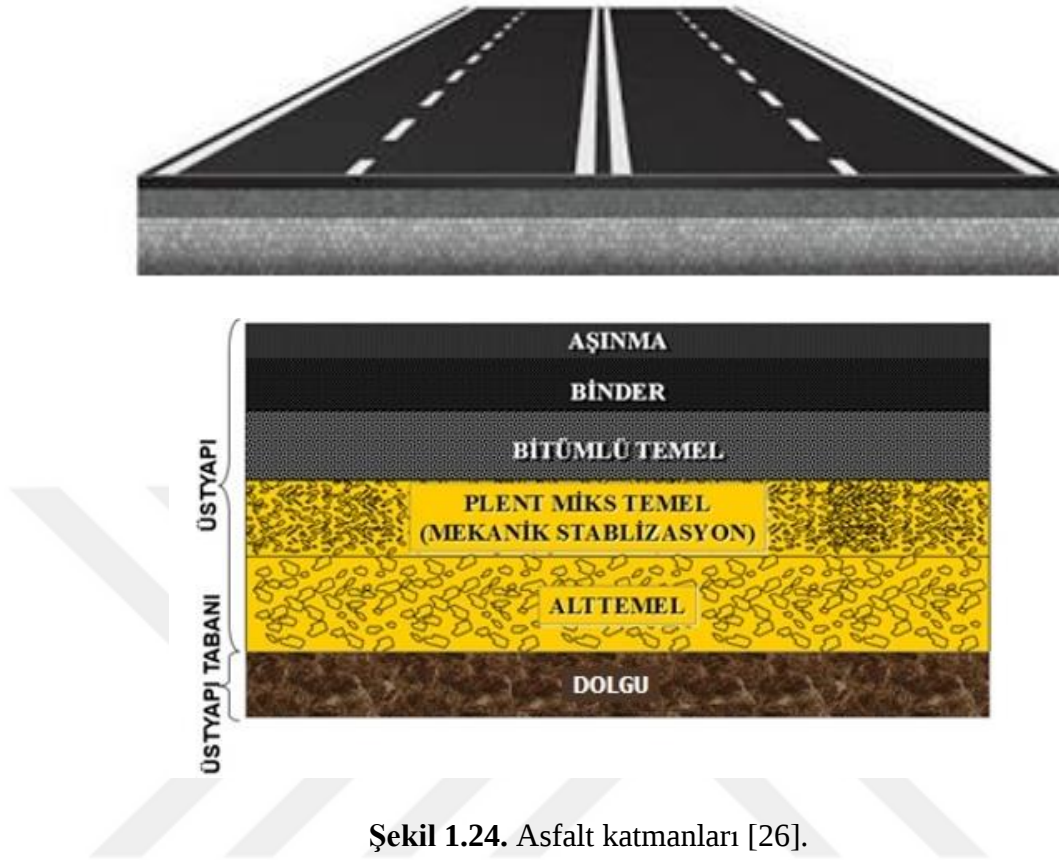
Geleneksel asfalt bileşenlerinin örneği Şekil 1.23'te verilmiştir.



Şekil 1.23. Geleneksel asfalt bileşenleri [25].

Genellikle yollar, üç tip asfalt tabakası kullanılarak inşa edilir, temel tabakası (Stabilizer), ezilmiş taş tabakasının (Baz tabakası) üstündedir ve genellikle (10-30) cm kalınlığındadır ve ikinci tabaka bir (Binder) tabakasıdır ve kalınlık (5-10) cm'dir ve son tabaka (yüzey) tabakadır ve kalınlık (2.5-5) cm'dir ve asfalt tabakaların kalınlığı bir tabakadan diğerine farklılık gösterir. Yollardaki araçlar ve yükler asfalt katmanlarının kalınlığını kontrol eder.

Asfalt katmanları Şekil 1.24'te gösterilmiştir.



Şekil 1.24. Asfalt katmanları [26].

1.2.7 Asfalt kaplamalarda bozulmalar

1.2.7.1 Yorulma çatlakları

Tekrarlanan trafik yüküne maruz kalan alanlarda oluşur. Gelişimin erken aşamalarında birbirine bağlı bir dizi çatlak olabilir. Karakteristik olarak daha sonraki aşamalarda bir timsah sırtı modeliyle, genellikle en uzun tarafta 0,3 m'den daha düşük, çok taraflı, keskin açılı parçalar halinde gelişir [27].

Yorulma çatlağı Şekil 1.25'te verilmiştir.



Şekil 1.25. Yorulma çatlağı [28].

1.2.7.2 Blok çatlakları

Kaplamayı yaklaşık dikdörtgen parçalara bölen bir çatlak şeklindedir. Dikdörtgen blokların boyutları yaklaşık 0.1 ila 10 m² arasında değişmektedir [27].

Şekil 1.26 blok çatlağına örnektir.



Şekil 1.26. Blok çatlağı [29].

1.3.5.3 Kenar çatlakları

Sadece asfaltsız omuzlu kaplamalar için geçerlidir. Kaplama, kenarı kesip alan ve omuza bitişik kaplama kenarının 0,6 m içinde yer alan hilal şeklindeki çatlaklar veya sürekli çatlaklar. Tekerlek yolunun dışında ve kaplama kenarının 0,6 m yakınında uzunlamasına çatlaklar içerir [27]. Tekerlek yolunun dışında ve kaplama kenarının 0,6 m'lik bölgelerde meydana gelmektedir.

Kenar çatlakları Şekil 1.27'de gösterilmiştir.

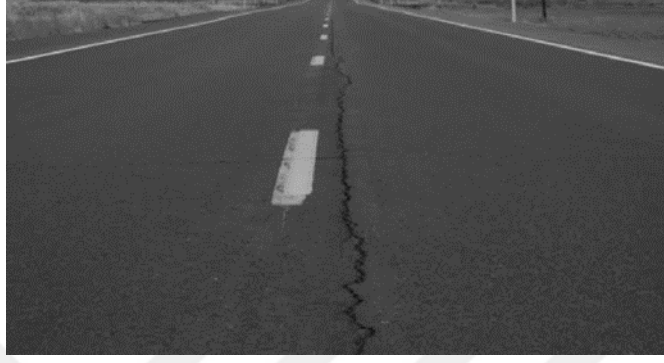


Şekil 1.27. Kenar çatlakları [30].

1.2.7.3 Boyuna çatlaklar

Çoğunlukla kaplamanın merkez hattına paralel olarak meydana gelen çatlaklardır. Şerit içindeki yer (tekerlek yolu ile tekerlek olmayan yol) önemlidir [27].

Boyuna çatlakların örneği Şekil 1.28’de verilmiştir.



Şekil 1.28. Boyuna çatlaklar [31].

1.2.7.4 Yama belirleme

Kaplama yüzeyinin 0,1 m²'ye eşit veya daha büyük bir kısmı çıkarılır ve değiştirilir veya orijinal yapıdan sonra kaplamaya ek malzeme uygulanır [27].

Şekil 1.29 yolda oluşan yamaya örnektir.



Şekil 1.29. Yoldaki yama [32].

1.2.7.5 Çukur

Kaplama yüzeyinde çeşitli boyutlarda kase şeklinde deliklerdir. Dairesel çukurların asgari çapı 150 mm’dir. 150 mm çapında bir daire düzensiz şekilli çukurların içine sığmalıdır.

Şekil 1.30 kaplamaların üzerinde oluşan çukurlara örnektir.



Şekil 1.30. Çukur [33].

1.2.7.6 Tekerlek izi

Tekerlek yolunda uzunlamasına doğru bir yüzey çökmesidir. Bu da yol eninin yer değiştirmesi ile ilişkili olabilir [27].

Tekerlek izinin örneği Şekil 1.31’de verilmiştir.



Şekil 1.31. Tekerlek izi [34].

1.2.7.7 Öndülasyon

Kaplama yüzeyinin yerleştirilmiş bir alanının uzunlamasına doğru yer değiştirmesidir. Genellikle araçların frenleme veya hızlanmasından kaynaklanır ve çoğu zaman tepelerde, eğrilerde veya kesişme noktalarında ortaya çıkar. Bu tip bozulmalar yolun dikey yer değiştirmesi ile ilgili olabilmektedir [27].

Şekil 1.32 öndülasyonlara örnektir.



Şekil 1.32. Öndülasyon [35].

1.2.7.8 Kuma

Kuma, kaplama yüzeyinde meydana gelen aşırı bitümlü bağlayıcıdır ve genellikle tekerlek yollarında meydana gelir. Kaplamanın diğer kısımlarına göre renklendirilmiş bir yüzeyden, aşırı asfalt nedeniyle yüzey dokusunu kaybedecek bir yüzey haline, agreganın muhtemelen parlak, cam benzeri, yansıtıcı bir yüzeye sahip aşırı asfaltla gizlenebileceği bir duruma kadar değişebilir [27].

Şekil 1.33 kaplama yüzeyinde meydana gelen kumalara örnektir.



Şekil 1.33. Kuma [36].

1.2.7.9 Cilalanma (Kayma direnci kaybı)

Cilalanma ya da kayma direnci kaybı; kaplama yüzeyindeki kaba agreganın cilalı ve pürüzsüz hale gelmesidir [27].

Cilalanmış agrega Şekil 1.34'te gösterilmiştir.



Şekil 1.34. Cilalı agrega [37].

1.2.7.10 Sökülmeler

Aşınma tabakasının parçacıklar veya tabakalar şeklinde soyulması sebebiyle oluşan deformasyon türüdür [27].

Şekil 1.35 kaplamalarda oluşan sökülmelere örnektir.



Şekil 1.35. Sökülme [38].

1.2.7.11 Su sızması ve pompaj

Suyun kaplamanın altındaki çatlaklardan sızması veya dışarı fırlamasıdır. Bazı durumlarda, döşeme yüzeyinde kalan, destek katmanlarından aşınmış (pompalanan) ve yüzeyi lekeleyen ince malzeme birikintileriyle tespit edilebilir [27].

Şekil 1.36’da su sızması ve pompaj örnekleri verilmiştir.



Şekil 1.36. Su sızması ve pompaj [39].

2. TAŞ MASTİK ASFALT

Taş mastik asfalt (TMA), ağır trafikli yollarda, yolların ömrünü uzatabilme amaçlı kullanılan, yüksek dirence sahip olan sıcak asfalt karışımıdır. Bu, asfalt çimentosu, dolgu maddesi ve selüloz elyafından oluşan zengin bir karışımla bir arada tutulan, taş üzerine sabit bir taş iskeleti sağlar, ilk kez 1960'ların başında Almanya'da geliştirilmiştir ve birçok ülkede daha iyi tekerlek izi sağlamak için kullanılmıştır. Yollarda çivili lastiklerin neden olduğu direnç, ağır kamyon trafiği ve aşınmaya karşı son derece etkili olduğu kanıtlanmıştır. Bazı Amerikan Devletleri, Avrupa'daki TMA'yı, 1990'lardan bu yana federal otoyol idaresinin işbirliği ile kullanmaya ve geliştirmeye başlamıştır. O zamandan beri TMA Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'da geniş kullanımına sahiptir [18].

Taş mastik asfalt örneği Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Taş mastik asfalt (TMA).

Yapının boşlukları yüksek viskoziteli bitümlü bir mastik ile doldurulur. En az % 70'lik yüksek taş içerir. Sıkıştırma sonrasında teması taş üzerine taş sağlar.

Taş üzerinde SMS örneği Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Taş üzerine SMS.

Taş mastik asfalt kaplamaların kalınlığı normalde 2 inç kalınlığındadır. Nominal olarak kullanıldığında agrega boyutu sırasıyla ¾ inç (19 mm), ½ inç (12,5 mm) veya 3/8 inç (1 inç) kalınlıkta yerleştirilir. Köprü için taş mastik asfalt kaplamaların kalınlığı ise 3 inçtir.

TMA'nın yola döşenmesinin örneği Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. TMA'nın yola döşenmesi [40].

Agregalar yük altında asfalt bağlayıcılar kadar deforme olmadığı için taş üzerine taş temasının kopmayı büyük ölçüde azaltacağı beklenir. Ayrıca, yüksek kaliteli, aralıklı boşluk derecesine sahip agreganın birbirine kenetlenmesi, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi kaplamanın mukavemetinin artırır.

2.1 Taş mastik asfaltın avantajları

- TMA, yavaş, ağır ve yüksek hacimli trafikten kaynaklanan bozulmalara karşı direnci artırır.
- TMA, yüksek kaplama sıcaklıklarında deformasyona karşı direnci artırır.
- TMA kayma direncini artırır.
- TMA, düşük sıcaklıklarda yorulma deformasyonuna ve çatlamaya karşı direnci artırır.
- TMA, pürüzlüğü azaltır.
- TMA dayanıklılığı artırır, geçirgenliği ve neme karşı hassasiyeti azaltır.

3. LİTERATÜR İNCELENMESİ

TMA, iri agregadan oluşmuş bir iskelet ile boşlukları dolduran ince agrega filler-bitüm harcının (mastik harç) karışımıdır. TMA aşınma tabakaları genel olarak % 70-80 kaba agrega, % 20-30 ince agrega ve % 6-7 gibi oldukça fazla asfalt içeren kesikli gradasyona sahip asfalt bağlayıcılı karışımlardan imal edilmektedir. TMA karışımlarında kullanılan kaba agrega asfalt betonunda kullanılan kaba agregaya nazaran daha sağlam ve filler yüzdesi daha fazla olup yüksek asfalt içeriğini sağlamak ve asfaltın dren olmasını önlemek amacıyla elyaf (fiber) türü stabilizör katılmaktadır. Ayrıca kesikli gradasyona sahip olduğundan dolayı boşluklar, mastik (yani asfalt+filler+ince agreganın küçük boyutlu kısımları) ile doldurulmaktadır [24,41].

TMA, yol üstyapısının aşınma tabakasında kullanılan bir karışımdır. TMA kaplamalarının en önemli özelliği, kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olmasıdır. TMA kaplamaları ile sürüş konforu ve emniyeti, durabilitesi daha fazla yüksek ve daha ince tabakalı yüzeyler elde edilmektedir. TMA, yüksek asfalt içeriği ve daha dayanıklı agrega kullanımının olarak kabul edilir.

Ancak, TMA'nın performansı artırıcı etkisi ile bu yüksek başlangıç maliyeti, orta ve ağır trafik koşullarının hâkim olduğu yollarda telafi edilebilir. Yüksek dayanım gibi yararlarına ek olarak, yorulmaya, tekerlek izine, iri yüzey dokusundan kaynaklanan yağışlı havalardaki kaymaya karşı gösterdiği direnç sayılabilir. TMA literatürde sessiz asfalt olarak ta anılmaktadır [41,42].

TMA karışımlar başlangıçta Alman yüklenicileri tarafından 1970'lerde geliştirilmiş ve Avrupa ve İskandinavya genelinde çivili lastiklerin yol açtığı aşınmaya karşı direnç sağlamak için kullanılmıştır. 1975 yılında çivili lastiklerin kullanımının yasaklanmasıyla, TMA kullanımı, yoğun gradasyonlu geleneksel BSK'larına nazaran daha yüksek inşaat ve malzeme maliyetleri nedeniyle düşmüş; 1980'lerde ise, lastik basınçları, tekerlek yükleri ve trafik hacmi artışına bağlı olarak, artan tekerlek izi problemlerine karşı TMA kullanımı, Avrupa ülkelerinde yeniden kullanılmaya başlamıştır [43,44,45].

TMA kaplama 1999'dan beri Türkiye'de kullanılmaktadır. KGM'nin, 1999 yılında yaptığı deneme kesimlerinden elde ettiği veriler, TMA'nın kaplama performansına olumlu katkısı olduğunu göstermiş ve böylelikle Türkiye'deki kullanımı başlamıştır.

Daha sonraları İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSFALT), bu konudaki çalışmalarına 2003 yılında başlamıştır. Günümüzde ise TMA, özellikle ağır trafik hacmine sahip olan yollarda ilk tercih edilen kaplama türü olarak karşımıza çıkmaktadır [46,47,48]. Agregaya yol yapımında kullanılan en önemli malzemedir. TMA'nın ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agregaya, yola etkileyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır [49]. Bu nedenlerden dolayı, TMA'nın yapısal hizmet ömrünü tasarlanan şekilde tamamlaması için TMA betonu yapımında kullanılan agregaların özellikleri, yol mühendisleri için çok önemli olup, değişik agregaya tiplerinin kaplama performansına etkisinin bilinmesi, yol üst yapılarının sağlıklı bir şekilde projelendirilebilmesi açısından önemlidir. Bu çerçevede, TMA üzerine yapılan çalışmalar, yurtiçi ve yurtdışı olarak iki ayrı bölümde ele alınmıştır.

Taşdemir [48], TMA karışımını ayrıntılı olarak tanıtmış, karışımın tasarımı, üretilmesi, sıkıştırılması, bu karışımların üstünlükleri, sakıncaları hakkında bilgi vermiştir. Kutluhan ve Ağar [50], 1998 yılı 2. Ulusal Asfalt Sempozyumunda, ülkemizde artan trafik yüklerine karşı, geleneksel bitümlü karışımların bu değişime ayak uyduramaması sebebiyle TMA kaplamalarının uygulanabilirliği, yine aynı sempozyumda Önal vd. [51] tarafından da tartışılmıştır. Ergün vd. [47], yol yüzeyi bozulmalarının önüne geçebilmek için, ince (5-4 cm kalınlığındaki geleneksel asfalt betonu ve yüzeysel kaplamalar), çok ince (3-2 cm kalınlığındaki TMA ve geçirimli kaplamalar) ve süper ince bitümlü karışımların (< 2cm kalınlığındaki yüzeysel kaplamalar) fiziksel ve kimyasal özelliklerini irdelemişler, hizmet ömrü geleneksel asfalt betonundan çok daha yüksek olan bu tip karışımların deneylerinin yapılarak incelenmesi gerekliliğini vurgulamıştır.

Önal vd. [51], ileride yapılacak TMA karışımları için bilgi birikimi sağlamak ve oluşabilecek problemleri tahmin etmek amacıyla; Ankara yakınlarında iki farklı TMA karışımı ile deneme kesimleri oluşturmuşlar ve bu tabakaların performansını gözlemişlerdir. Tuğlu vd. [22] Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolunda uygulanan ilk TMA karışımlarının hizmete girmesinden itibaren yaklaşık 5-6 sene geçmesine karşın henüz hissedilir bir tekerlek izi oluşmadığını, TMA tabakası sathının hala pürüzlü olduğunu, TMA ile sağlanan fren emniyetinin oldukça uzun ömürlü ve yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca iklim şartlarına göre modifiye bitüm kullanılmasını, normal asfalt betonu granülometrisinin TMA granülometrisi gibi kesikli granülometri

haline getirilmesini, tabaka kalınlığının maksimums 4 cm olmasını, karışımda taşın taşta temasının sağlanmasını, tabakanın plastik deformasyon yerine elastik deformasyon yapacak şekilde davranması ve ve yaşlanmanın önüne geçebilmek için karışımda yüksek oranda (% 6 -% 7gibi) bitüm kullanılmasını, bu yönde şartnamelerin geliştirilmesini önermişlerdir. Deniz vd. [52] metrobüs hattı üstyapısında kullanılan geleneksel karışıma göre farklı özelliklere sahip TMA betonunun analizini yapmışlardır. Bu karışım tasarımı, iri agrega olarak, Çorlu-Karatepe Taş ocağından elde edilen “bazalt”, ince agrega olarak İstanbul-Cebeci bölgesinden elde edilen “kalker”, filler olarak, Eskişehir’den temin edilen “kalsit” kullanmışlardır. Bitümün karışımdan ayrışmasını önlemek amacıyla selülozik elyaf (viatop), bitüm modifikasyonunda ise SBS (Stiren-Bütadien-Stiren) blok kopolimerleri kullanılmışlardır. Karışımdaki SBS miktarını azaltmak ve karışımın işlenebilirliğini arttırmak amacıyla ek olarak Sasobit katkı maddesi ilave etmişlerdir. Ayrıca mineral agrega olarak kalkerin kullanıldığı kontrol amaçlı geleneksel karışımlar hazırlamışlardır. Ve bu iki karışımın birbirlerine üstünlükleri irdelenmiş ve çalışmanın sonucunda, TMA karışımlarında meydana gelen tekerlek izi derinliklerinin geleneksel karışımlara göre iki kat daha az olduğunu analiz etmişlerdir.

Tayfur vd. [53], İstanbul ilinde yer alan taş ocaklarındaki agrega talebinin daha çok asfalt betonu için olması nedeniyle bu yönde üretim yapıldığını bildirmişlerdir. BSK’larda kullanılan İstanbul çevresi taş ocaklarından elde edilen agregalarla Marshall Sıcak Asfalt Karışım Tasarım Yöntemi ile hazırlanan karışımların optimum bitüm ve stabilite sonuçlarını açıklamışlar ve İstanbul taş ocaklarının genel değerlendirmesini yapmışlardır. Kutluhan ve Ağar [50],tekerlek izi oluşumuna etki eden iç faktörlerden agregayı ve bitümlü bağlayıcıyı ele almışlardır. Agregaların sert ve dayanıklı olması, yabancı madde içermemesi, keskin köşeli, ayrıtlı (mikropürüzlülüğü yüksek), yuvarlak daneler yerine kırılmış daneler olması gerektiğini, iri agrega oranının yüksek olması karışımın akmaya ve plastik deformasyona karşı direncin fazla olmasına neden olduğunu, TMA kaplamanın tekerlek izine karşı daha dirençli olduğunu, fillerin karışımda iri ve ince agregalar arasındaki boşluğu doldurmasından ve bağlayıcı film kalınlığını azaltmasından dolayı tekerlek izi açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Akbulut vd. [54], yolun aşınma tabakasında kullanılacak agreganın, cilalanmaya karşı direncinin yüksek olması için, % 50 yumuşak ve %50 sert minerallerden oluşması gerektiğini, Avrupa ile entegrasyon

sürecinde, ülkemizde kaliteli agrega kullanımının, yol standartlarının yükseltilmesi ile giderek önem kazanacağından ve Avrupa ve ABD’de kullanılan TMA olarak adlandırılan kaplama türünde kullanılan agreganın kaplama içerisindeki rolünün farklı bir öneme sahip olduğunu bildirmişlerdir. Topal vd. [55], göre her trafik ve iklim şartlarında kaplamanın performansını arttırmak için modifiye bitüm veya modifiye bitüm katkılarına ihtiyaç yoktur. Kaplamanın performansını arttırmak için Türkiye’de karışım gradasyonlarını değiştirmek, köşeli agrega kullanmak gerekmektedir. Aşınma tabakasında kullanılacak agregaların fiziksel özelliklerinin diğer tabakalarda kullanılacak agregalara göre üstün olması gerekmektedir. Sönmez vd. [56], yaptıkları çalışmanın sonucunda asfalt kalitesi bakımından en yüksek değerleri, bazalt agregalı karışımların verdiğini, iri agregaları yıkanmamış bazalt karışımların bitüm içeriklerinin, diğer karışımlara göre daha düşük olduğunu, buna karşılık en yüksek yoğunluk değerlerini ve en yüksek stabilite değerlerini bu karışımların verdiğini tespit etmişlerdir. Alataş vd. [57], en ekonomik karışımın kalker, dayanımı en yüksek olan karışımın ise bazalt karışımı olduğunu, ekonomik karışımın kireçtaşı karışım olmasına karşın uzun vadede yolun işletilmesi sırasında stabilite problemleri ile karşı karşıya kalılabileceği belirtilmektedirler. Kutluhan [49]. Kutluhan ve Ağar [50], nominal (anma) maksimum agrega dane boyutunun büyük olmasının ve bağlayıcı modifikasyonunun, tekerlek izine gösterdiği dayanım açısından olumlu etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Çetin [58], ise bitümlü bağlayıcıların TMA karışımların deformasyon direnci üzerindeki etkisinin, iri agrega miktarının olumlu etkisinden daha az olduğunu belirtmektedir. Almanyada yapılan bir araştırmada, özellikle TMA karışımlarda kullanılan selülozik elyaf olan Viatop ile Stiren-Butadin-Stiren (SBS) elastomeri olan Kraton katkı maddeleri, BSK üzerinde gösterdikleri performans açısından, diğer katkı maddelerin gerisinde kaldıkları tespit edilmiştir [50].

1991 yılında Kanada’da, yeni yapılacak yüzeylerde kullanılmak üzere maksimum dane çapı 6,7 mm den küçük agrega gradasyona sahip bir TMA tanıtımı yapılmıştır. Maksimum dane çapı 6,7 mm olan TMA kullanımı henüz Kuzey ABD’de yaygın değildir. Bu kaplamalarda, termal çatlamayı ve kalıcı deformasyonu azaltmak için polimer modifiye bitüm kullanılmış ve bu kaplama tekerlek izi deneyine tabii tutulmuş, sarmal olarak dönen kompaktör ile de karışımın sıkışması tahmin edilmeye çalışılmıştır. Proje tamamlandıktan sonra sözkonusu yol gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilerin, ileri zamanlarda dünyanın değişik yerlerinde yapılacak bu tip

karışımlar için son derece yararlı veriler sağlayacağı umulmaktaydı. Sonuç olarak, ince gradasyonlu TMA kaplamasının, kayma direnci ölçümleri dâhil olmak üzere gürültü, pürüzlülük, yapısal mukavemet açısından uzun vadede malzeme mühendisliği için yararlı birimalat olacağı düşünülmektedir [59]. Brown ve Bassett [41] çalışmalarında, agrega gradasyonu olarak sırasıyla Dmax'ları 3/8";1/2";3/4";1", ve 1-1/2" olan beş farklı karışım tasarımı değerlendirmişlerdir. Karışımların hepsi için % 4 oranında hava boşluğu verecek bitüm içeriği seçilmiş ve karışımlar, 75 adet Marshall tokmağı ile sıkıştırılmıştır. Bu karışımlar üzerinde, Marshall stabilite and akma, dolaylı çekme mukavemeti, sünme ve esnek modülü testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, % 4 hava boşluğuna göre dizayn edilen kaba agrega oranı daha yüksek karışımlar, Marshall stabilitesi ve akma değerleri dışında, daha küçük agrega ile hazırlanan karışımlara göre daha üstün özellikler sergilemişlerdir.

Brown vd. [45], Amerika Birleşik Devletleri'nde, tekerlek yüküne gösterdiği dayanım sebebiyle TMA kullanımının giderek yaygınlaştığını, bu dayanımın TMA iskeletini oluşturan kaba agrega ile sağlanan yüksek orandaki taşın taşa temasından kaynaklandığını belirtmektedirler. Ayrıca çalışmalarında, TMA karışımı içerisindeki kaba agregadaki taşın taşa temasının istenilen düzeyde olup olmadığını ölçmek için bir yöntem önermişlerdir. Ayrıca, Los Angeles aşınma deneyinin agrega kalitesini ölçmekte iyi görüldüğünü, fakat kesin bir ölçü olmadığını belirtmektedirler. Mokhtari ve Nejad [60], daha verimli asfalt karışımları üretmek için, selilozik elyaf ve SBS, FT balmumu (wax) kullanarak TMA ve Warm Mastic Asphalt (WMA) karışımlar elde etmişler, balmumu etkisinin, TMA karışımlarının performans özellikleri üzerindeki çok anlamlı olmadığını, bağlayıcı malzemenin süzülmesini engellemesine rağmen, ikinci bir katkı malzemesi kullanımını gerektirdiğini, ancak TMA ve WMA karışımlarında Stiren-Butadien-Stiren (SBS), balmumu ve selilozik elyaf kullanımının kaplamanın hizmet ömrünü, sırasıyla 1,243; 1,154 ve 1,08 kat uzattığını belirtmektedirler. Blazejowski [59], 2011 yılında yayınlanan "Stone Matrix Asphalt; Theory and Practice" isimli kitabında, TMA kaplamaları hakkında kapsamlı bilgivermiştir. TMA'nın tasarımı ile ilgili olarak iskelet yapısındaki kaba agreganın önemini, mastik kısmını oluşturan ince agreganın pasif durumunu, fillerin-bağlayıcının ve bitümün drenajını engelleyen fiberlerin TMA'daki etkisini çeşitli kaynaklara atıfta bulunarak kitabında sunmuştur. Dünyada uygulanan metotları

(Alman, Amerika, Hollanda, İrlanda vb.) karşılaştırmıştır. İmalat, nakliye, serme ve sıkıştırma gibi süreçlerde karşılaşılan problemleri incelemiştir.

TMA'nın tekerlek izine, çatlamaya, yorulmaya ve kaymaya karşı direnci üzerinde durmuştur. Bu bölümde, TMA'nın işlenebilirliği, sıkışabilirliği, suya ve donmaya karşı dayanımı, ışık yansıtma özelliği, geçirgenliği, bitüm tüketimi ve ekonomik etkinliğini ayrıca ele almıştır. Hafeez vd. [61] çalışmalarında, agrega maksimum boyutunun, özellikle yüksek sıcaklıklardaki taş mastik asfaltın kalıcı deformasyon özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır Bunun için, Dmax'ları sırasıyla 9,5 mm;12mm;19 mm ve 25,4 mm olan dört ayrı karışım hazırlanmıştır. Karışımlar üzerinde, 25;40 ve 60 °C sıcaklıklarda tekerlek izi deneyi yapılmıştır. Bu çalışma, taş mastik asfaltın (herhangi bir tekerlek sayısı geçişi için), tekerlek izine karşı gösterdiği duyarlılığın, agreganın en büyük boyutu ile test sıcaklığının bir fonksiyonu olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuçlara göre sıcaklığın artması ile özellikle küçük agrega boyutuna sahip TMA karışımlarında tekerlek izi artmakta, agreganın boyutu artıkça tekerlek izi azalmaktadır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Malzemeler

4.1.1 Bitüm

Bu çalışmada kullanılan 40/50 sınıf bitümü, Erbil'den temin edilmiştir. Normal bitüm özelliklerinin şartname değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 40/50 sınıf bitümün şartname limitleri.

Deney Türü	Birim	Şartname sınırı	Standart
Penetrasyon, 250C, 100g, 5'	°C	40-60	ASTM D5-06
Düktilite	cm	100 min	ASTM D113-07
Yumuşama noktası, Halka ve Top	°C	51-62	ASTM D36-09
RTFOT	%		ASTM D2872
Penetrasyon	%	55 min	ASTM D1754-97
RTFOT’ten sonrası düktilite		25 min	ASTM D1757-97

4.1.2 Modifiyer malzeme

4.1.2.1 Stiren-bütadien-stiren (SBS)

Yumuşak granüllerde SBS'den (Stiren-Butadien-Stiren) oluşan doğrusal yapıya sahip bir elastomerdur. Ürün, asfalt betonunda asfalt betonda kaplamaların gerçekleştirilmesine yönelik bitümün modifikasyonu için belirli özelliklere ve yüksek mekanik dirençlere sahip kullanılır. Asfalt betonunun fiziksel yapısını ve performansını değiştirir ve iyileştirir. Uygun ve spesifik homojenizasyon tesislerinde bitüm ile karıştırılmalıdır. Çizelge 4.2 SBS'nin fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Stiren bütadien stiren örneği Şekil 4.1 gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. SBS'nin fiziksel özellikleri.

Özellikler	Değerler
Renk	Beyaz / soluk sarı
Erime İndeksi	<1 g / 10 min
Özgül ağırlık	0,93 ÷ 0,95 g / cm ³
Stirene	Ağırlıkça % 30 ÷ 32
Sertlik (Kıyı A)	71 ÷ 81



Şekil 4.1. Stiren bütadien stiren örneği.

4.1.2.2 Superplast

Superplast, bitümlü karışımların modifikasyonu için yarı yumuşak ve esnek granüllerde bulunan seçilmiş polimerlerin plastomer belirli bir bileşigidir. Bileşik, mekanik performansları iyileştirmek için bir karışım modifikasyonunun gerekli olduğu tüm asfalt beton tiplerini üretmek için kullanılır. Asfalt betonunun süperplast ile modifikasyonu, mekanik direncin ve karmaşık modülün artması, yük tekrarı nedeniyle deformasyonların birikmesinin azalması ve yorulma davranışının iyileşmesine neden olur. Superplast, dozajlama tesisi kullanılarak doğrudan tesisin karıştırıcısına eklenmeli ve böylece bitmiş ürünün homojenliği sağlanmalıdır. Karıştırıcı içindeki ürünün salınması, agregaların boşaltılmasından sonra ve bitümden önce gerçekleştirilmelidir. Çizelge 4.3 superplast'ın fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Superplast örneği Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Superplast'ın fiziksel özellikleri.

Özellikler	Değerler
Renk	Gri Tonları
Boyutlar	1,00 ÷ 4,50 mm
Yumuşama Noktası	160 ÷ 180 °C
25 °C'de Zahiri yoğunluk (A.66)	0,40 ÷ 0,60 g / cm ³



Şekil 4.2. Superplast örneği.

SBS ve Superplast malzemelerin normal bitümle karıştırıldıktan sonra aşağıda verilen deneylere tabi tutulmuş ve deney sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Modifiye bitümün özellikleri.

Deney Adı	Birim	Standart	Şartname PG 76-16	
			PG 76-16 KTS2013	ASTM
Normal Bitüm				
Penetrasyon, 250C,100g, 5s	0.1mm	EN 1426, ASTM D5	25-55	
Yumuşama noktası, Halka ve Bilya	°C	EN 1427, ASTM D36	≥65	
Pratik özgül ağırlığı, d _{25/25}				
Dönme viskozitesi (Brookfield) @135		EN 13302 ASTM		
Dönme viskozitesi (Brookfield)@165				
Dönme viskozitesi (Brookfield)@195				

Çizelge 4.4. (devam) Modifiye bitümün özellikleri.

Parlama noktası	°C	EN ISO2592, ASTM D92	≥220	≥230
Elastik geri dönme, 250C		EN 13398, ASTM D6084	≥60	
DSR ()	°C	EN 14770, ASTM D7175	≥76	≥76
(Kısa Süreli Yaşlanma) RTFOT - Dönen İnce Film Etüv Deneyi EN 12607-1 ASTM D2872				
- Kütle Değişimi			≤0,8	≤1
- Yumuşama noktasında değişim	°C	EN 1427, ASTM D36	≤ 8	
- Tutulan Penetrasyon	%	EN 1426, ASTM D5	≥45	
- DSR ()	°C	EN 14770	≥76	≥76
(Uzun Süreli Yaşlanma) RTFOT + PAV Yaşlı @ 1100C EN 12607-1+EN 14769, ASTM D6521				
- DSR()@10 rad/s	°C	EN 14770, ASTM	≤ 34	≤ 34
- BBR()@60s	%	EN 14771, ASTM D6648	≤-6	≤-6

4.1.2.3 Elyaf selüloz

Bitümü güçlendiren ve sertleştiren selüloz, mineral ve / veya sentetik liflerden oluşan peletlerdir. Bu peletler asfalt kaplamaların performansının yükseltmesi için uygundur. Lifler, gözenekli ve yarı gözenekli asfalt betonunda ve bölünmüş mastik asfaltlarda bitümü stabilize etmek için kullanılır. Bitümü güçlendirerek ve sertleştirerek, bu katkı malzemeler asfalt kaplamaların ömrünü uzatır.

Elyaf selülozü örneği Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Elyaf selülozü örneği.

4.1.3 Kaba ve ince agrega

4.1.3.1 Geleneksel asfalt

Geleneksel asfalt şartname limitleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Geleneksel asfaltın özellikleri.

Elek boyutu	Elek No.	Şartname Limitleri		Şartname Standardı
19	3/4	100	100	ASTM C136-06
12.5	1/2	66	95	
9.5	3/8	54	88	
4.75	No.4	37	70	
2.36	No.8	26	50	
0.3	No.50	8	22	
0.075	No.200	4	10	

4.1.3.2 Taş mastik asfalt (TMA)

Taş mastik asfalt için şartname değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Taş mastik asfaltın özellikleri.

Elek boyutu		TMA Şartname sınırları	
in, No	mm		
3/4"	19,0	100	
1/2"	12,5	90 - 100	
3/8"	9,5	50 - 80	
No.4	4,75	20 - 35	
No.8	2,36	16 - 24	
No.10	2,00	-	
No.40	0,425	-	
No.50	0,300	-	
No.80	0,180	-	
No.200	0,075	8 - 11	

4.2 Dizayn Yöntemi

4.2.1 Marshall dizaynı

Bu çalışma, geliştirilmiş bitümlü malzemelerinin ağır ve zorlu şartlara karşı direnç göstermek için yapılmıştır ve bu bağlayıcıların asfalt karışımlarında kullanılmasına taşmastik asfalt denir. Bu karışımlar üzerinde deneyler yapılmış ve normal asfalt ile karşılaştırılmıştır.

4.2.1.1 Gradasyon

Araştırmamızda, iki çeşit gradyan kullanılmıştır. Biri normal sıcak asfalt karışımları için, bir diğer gradyan ise taş mastik asfalt karışımları için, ancak bu gradyanları belirlemek için Marshall yöntemi kullanılmıştır.

4.2.1.2 Marshall briketlerinin hazırlanması ve parametrelerin hesaplanması

Çalışmamızda, belirlenen iki gradasyon için Marshall biriketlerinin hazırlanışı aynıdır. Her bir gradasyon için 15 biriket hazırlanmıştır. Birikitelere eklenen katkı madde ve bitüm ağırlıkları hariç, hazırlanan karışımların ağırlığı 1200 g'dır.

İki denklem için malzeme ağırlıkları, denkleminin derecesine göre değişmektedir. Denklemlerin bitüm oranları aşağıda verilmiştir:

- Normal asfalt denklemi (BSK) (% 4 için 50 gr, % 4.5 için 56.5 gr, % 5 için 63 gr, % 5.5 için 70 g ve % 6 için 76.5 gr).
- TMA denklemi (% 6 için 69 gr, % 6,5 için 74,8 gr, % 7 için 80,5 gr, % 7,5 için 86,3 gr, % 8 için 92 gr)

Hazırlanan karışım 165 °C ısıyla 2 saat boyunca etüvde bekletildikten sonra üzerine 150 °C'de ısıtılmış bitüm karışımı ilave edilip 3 dakika için iyice karıştırılmıştır. Sonra hazırlanan karışım 150 °C sıcaklıkla Marshall birikit kalıplarına dökülmüştür. Biriketlerin her yüzüne vuruş sayısı iki denklem arasında farklılık vardır. Normal asfalt karışımına gelince, biriketlerin her yüzüne 75 vuruş vurarak hazırlanmış, TMA karışımı için ise biriketlerin her yüzüne sadece 50 vuruş vurarak hazırlanmıştır. biriketler 24 saat oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve metal kalıplardan çıkarıldıktan sonra incelemeye hazırlanmıştır.

Marshall biriketlerinin hazırlanması Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Marshall biriketlerinin hazırlanması.

4.2.3. Tekerlek izi deneyi

Marshall Metodu ile tasarlanan geleneksel sıcak asfalt karışımı (BSK) ve taş mastik asfaltı (TMA) karışımlarının kayma direncini belirlemek için bu iki karışım Hamburg DWT cihazında bir tekerlek izi deneyine tabi tutulmuştur. Hamburg tekerlek izini DWT'deki tekerlek izi deney örneği 150 mm (6") çapında silindirik olup yüksekliği 50 mm'dir. Örneği hazırlamak için kullanılan karışım, BSK ve TMA için en uygun bitüm yüzdesine göre derecelendirilir. Hazırlanan her bir karışım tipi için, DWT Hamburg Tekerlek izi makinesinde deney için iki numune (her bir örnek iki silindirik numuneden oluşur) test edilmiştir. BSK numunesi için karışım, 150 °C dereceye kadar etüva koyulur ve 6" kalıbına yerleştirilir ve Marshall hummer cihazı numunenin her

yüzüne 75 vuruş vurulur, TMA numuneleri için karışımın sıcaklığı 180 °C'ye yükseltilmiştir. Daha sonra kalıbın içine yerleştirilmiş ve her yüzüne 50 vuruş uygulanmıştır. Kalıplar 24 saat boyunca laboratuvar sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

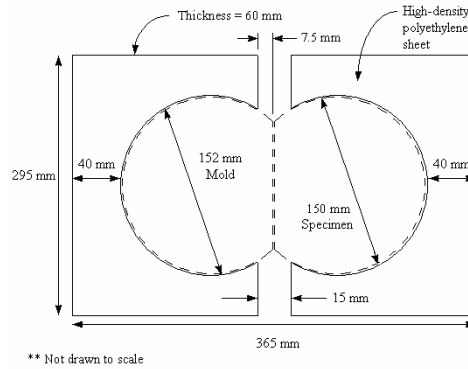
Tekerlek izi için numunelerin hazırlaması Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Hamburg tekerlek izi için numunelerin hazırlaması.

Numuneler hazırlandıktan sonra kalıplardan çıkarılır ve her iki model arasında polietilen kalıplarına yerleştirilmeden önce elektrikli kesici kullanılarak her numunenin bir tarafı kesilir.

Polietilen kalıplarda numunelerin taraflarının kesilmesi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Polietilen kalıplarda numunelerin taraflarının kesilmesi.

AASHTO T324 Hamburg DWT Tipi şartnameuna göre, hazırlanan numuneler yaklaşık 20 mmlik su seviyesine sahip bir su banyosunda 25 ila 70 °C $\pm$ 1.0 °C (60°C tercih edilen ve uygulanan) sıcaklıkta su banyosuna yerleştirilmeli. Deney cihazı istenen sıcaklığına ulaştığında, numunelerin deney başlamadan önce 4 saat boyunca deney sıcaklığında (60 °C) ısıtıldığı, 60 °C olan iki numune sıcaklığının doğrudan izlenmesini sağlar. Numunelerin deney sıcaklığına ulaşması. Ön ısıtma işleminin sonunda, deney başladı ve örneklerdeki lastik tekerlekler 15000 devirle (30.000 geçiş) tamamlandı. Her 5000 geçişte kaydedilen izin derinliği (0, 5000, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000) ancak belirtme göre izlemenin derinliği 10,000 devirde (20,000 geçiş) sabitlenecektir. Numunelerin tekerlek izi derinliğinin (BSK ve TMA) karışımlarının nihai sonucu, her bir karışım için iki numunenin ortalamasından hesaplanır ve 10.000 döngüde (20.000 geçiş) tekerlek izi derinliğinin miktarı olacaktır.

Tekerlek izi ekipmanları Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Hamburg tekerlek izi ekipmanları.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1 Bitümün fiziksel özellikleri

5.1.1 Normal bitümün deney sonuçları

Normal bitümü laboratuvara getirildikten sonra normal bitüm üzerinde aşağıdaki yapılmış ve sonuç ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Normal bitümün özellikleri.

Deney türü	Birim	Şartname sınırı	Sonuçlar
Penetrasyon, 250C, 100g, 5s	C°	40-60	46.4
Düktilite	cm	100min	160
Yumuşama noktası, Halka ve bilya	C°	51-62	53
RTFOT	%		0.4
Penetrasyon	%	55min	66.7
RTFOT'ten sonrası düktilite	cm	25min	83

ASTM standartlarına göre kullanılan normal bitüm, SBS ve Superplast tarafından modifikasyon için kullanım şartlarını sağlamıştır.

5.1.2 Modifiye bitümün deney sonuçları

SBS ve Süperplast modifiye bitümü, 40/50 sınıf bitüm ile %3.5 SBS ve %3 Süperplast ile bitüm ağırlıklarına göre yüksek karıştırıcı mikserinde karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım, karıştırma işlemi sırasında sıcaklığı 175-180 °C arasında tutulmuş ve 3000 rpm hızında 2,5 saat boyunca karıştırılmıştır. Hem SBS hem de Supreplast için modifiye bitüm özellikleri, Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Modifiye bitümün deney sonuçları.

Deney	Staandart	Birim	%3 (Süperplast)	%3.5 (SBS)	Sınırları
Penetrasyon	ASTM D5	mm*10	30.9	38	25 - 55
Yumuşama	ASTM D36	C°	56.9	68	≥65
Parlama deneyi	ASTM D92	C°	302	286	≥230
Düktilite	ASTM D113	cm	40	160	100min
Dönme viskozitesi (Brookfield) @ 135	ASTM D4402	CP	1862	1958	<3000
Dönme viskozitesi (Brookfield) @ 165			373	540	
Dönme viskozitesi (Brookfield) 195 @			158	187.5	
Dinamik Kesme Reometresi -DSR (G * / sinδ> 1kPa)	ASTM D7175	C°	82	82	≥76
Kısa Süreli Yaşlanma (RTFO), ASTM D2872					
Tutulan penetrasyon (RTFO'dan sonra)	ASTM D5	mm*10	51	62	≥45
Elastik geri dönme (RTFO'dan sonra)	ASTM D6084	%	2.5	77	≥60
Dinamik Kesme Reometresi-DSR (G * / sinδ> 2,2kPa)	ASTM D7175	C°	82	82	≥76
Uzun Süreli Yaşlanma (PAV), ASTM D6521					
Dinamik Kesme reometresi -DSR (G * / sinδ <5000kPa) @ 10 rad / s	ASTM D7175	C°	37	28	≤ 34
BBR - Bükme Kirişli Reometre - (S≤300MPa, m≥0,300) @ 60s	ASTM D6648	C°	-16	-16	≤-6

Yukarıdaki Çizelgedan elde edilen sonuçları şöyle sıralayabilmek mümkündür: SBS içeren bitümün geçirgenliği, superplast içeren bitümün geçirgenliğinden daha büyüktür. Bu da Superplast bitümünün SBS bitümünden daha sert olduğu anlamına gelmektedir.

- SBS bitümünün yumuşama noktası, Superplast bitümünden daha fazladır. Yani SBS bitümünün esnekliği Superplast bitümünden daha yüksektir.

- SBS bitümün düktilitesi (uzaması), Superplast bitümünden daha esnek olmasından dolayı, daha yüksektir.
- Kısa süreli yaşlanma ve uzun süreli yaşlanma sırasında, çekici modifiye edici madde BBR ve DSR deneylerinden 82-16 PG dereceli şartı kontrol etmiştir.
- Elastik geri dönme sonuçları SBS modifiye bitümünü superplast bitümü ile karşılaştırıldığında Superplast modifiye bitümün büyük başarısızlık gösterdiğini göstermektedir. Bu özellik, ağır taşıtları meydana getirdiği bozulmalara karşı yaz aylarında yüksek sıcaklık derecesi için ihtiyacımız olan şeyi göstermektedir.

Yukarıdaki sonuçlara baktığımızda tekerlek izine karşı direnci ve elastikiyet açısından SBS ile modifiye edilmiş bitüm, Suprplast ile modifiye edilmiş bitümden daha iyi fiziksel özelliklere sahip olduğu saptanmıştır.

5.2 Agrega Deney Sonuçları

Her iki denklem için kullanılan agrega özelliklerine bakıldığında elek analizi deneyin, Filler elek analizinin ve Kaba agrega deney sonuçları ve ince agreganın fiziksel özellikleri, sırası ile Çizelge 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Elek analizi deney sonuçları.

Elek boyutu (inç)	Elek boyutu (mm)	12-18 mm. geçen %	8-12 mm geçen %	0-5 mm geçen %	Filler geçen %
3/4"	25	99,65	100,00	100,0	100,0
1/2"	19	17,70	99,75	100,0	100,0
3/8"	12,5	0,33	53,75	100,0	100,0
No 4	9,5	0,13	0,12	99,3	100,0
No 8	2,36	0,13	0,10	75,0	100,0
No 200	0,075	0,13	0,07	4,9	70,9

Çizelge 5.4. Filler (kalsit) parçacık büyüklüğü dağılımı (elek analizi).

Elek boyutu (inç)	Elek Boyutu (mm)	Geçen yüzdesi (%)
No 40	0,425	100,0
No 80	0,180	91,2
No 200	0,075	70,9

Çizelge 5.5. Kaba agregada deney sonuçları.

Deney Adı	Birim	Standart	Şartname Sınırları	Sonuçlar
Parçalanma direnci (Los Angeles) 500 devir.	%	EN 1097-2	Max. 30	16
Donma Çözülme (MgSO ₄)	%	EN 1367-2	Max. 14 ≤ 20	0
19 mm maksimum agregada için kırılmış parçacıklar	%	ASTM 5821	Bir yüz: 100% İki yüz: % 90	Bir yüz: 98% 2 yüz: % 93
19 mm maksimum agregada için kırılmış parçacıklar	%	ASTM 5821	Bir yüz: 100% İki yüz: % 90	Bir yüz: % 99,5 2 yüz: % 98
19 mm maksimum agregada için yassı Parçacıklar		ASTM 4791	Max. 10	3 to 1: 4,2% 5 to 1: 0%
12 mm maksimum agregada için yassı Parçacıklar		ASTM 4791	Max. 10	3 to 1: 3,2% 5 to 1: 0%
Agregada ile bitüm arasındaki uyum, bitüm kaplama derecesi	%	EN 12697-11	Min. 60	65
Kaba agregaların özgül ağırlığı	kg/m ³	EN 1097-6		2,647
Kaba agregaların su emme	%	EN 1097-6	Max. 2,0	0,62
Kil toprakları ve kırılabilir parçacıklar	%	ASTM C 142	Max. 3	0.65

Çizelge 5.6. İnce agregada fiziksel özellikleri.

Deney Adı	Birim	Standart	Şartname sınırları	Sonuçlar
Plastisite indeksi	%	TS 1900-1	N.P.	N.P.
İnce agregaların özgül ağırlığı	kg/m ³	EN 1097-6	-	2,646
İnce agregaların su emme	%	EN 1097-6	Max .2,0	1,05
Dolgunun Parçacık Yoğunluğu	kg/m ³	EN 1097-7	-	2,763

5.3 Geleneksel Asfalt Karışımı (BSK) Deney Sonuçları

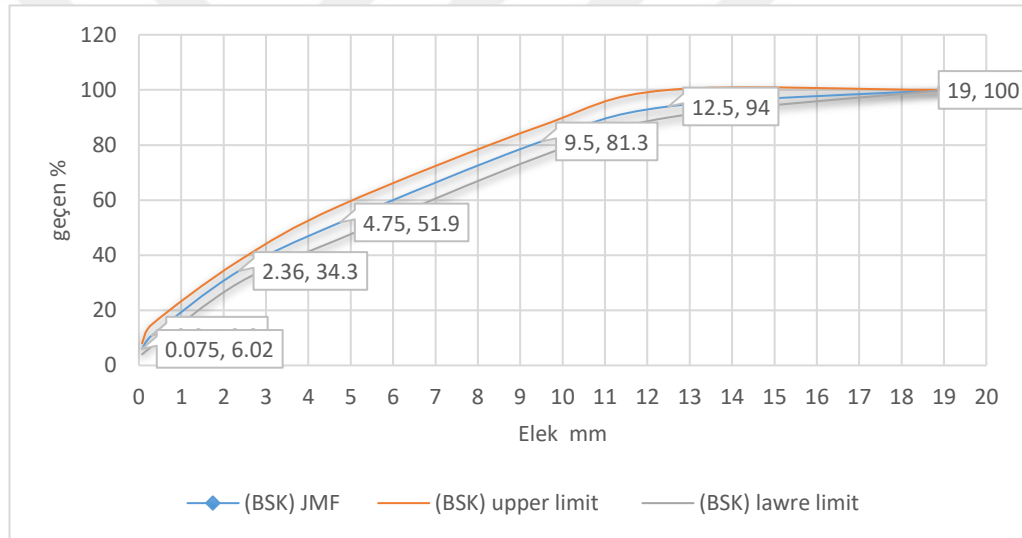
Geleneksel sıcak asfalt karışım malzemesi için agregada gradasyonunun tasarımı, sınıflandırma ve şartname limitleri Çizelge 5.7’de verilmiştir

Çizelge 5.7. BSK JMF'nin deney sonuçları.

Elek boyutu	Elek No.	Şartname sınırları		BSK JMF
19	3/4	100	100	100
12.5	1/2	66	95	94
9.5	3/8	54	88	81.3
4.75	No.4	37	70	51.9
2.36	No.8	26	50	34.3
0.3	No.50	8	22	10.8
0.075	No.200	4	10	6.02

Sıcak asfalt karışımları dizaynı için gradasyon grafiği ve şartname sınırları Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Marshall gradasyon grafiği Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Marshall gradasyon grafik ve BSK şartname sınırları.

Geleneksel sıcak asfalt karışımları için; pratik özgül ağırlık (D_p), hava boşluk yüzdesi (V_a)(V_h), asfalt dolu boşluk yüzdesi (VFA), agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA), stabilitesi ve akma Marshall dizaynı parametreleridir. Karışımların optimum bitüm yüzdesi, şartnamede belirtilen boşluk yüzdesinin (%3-5) ortalaması (%4) esas alınarak belirlenmiş ve sonuçlarının şartnameye uygunluğu kontrol edilmiştir. Sıcak asfalt karışımların Marshall tasarım verileri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Sıcak asfalt karışımların Marshall tasarım verileri.

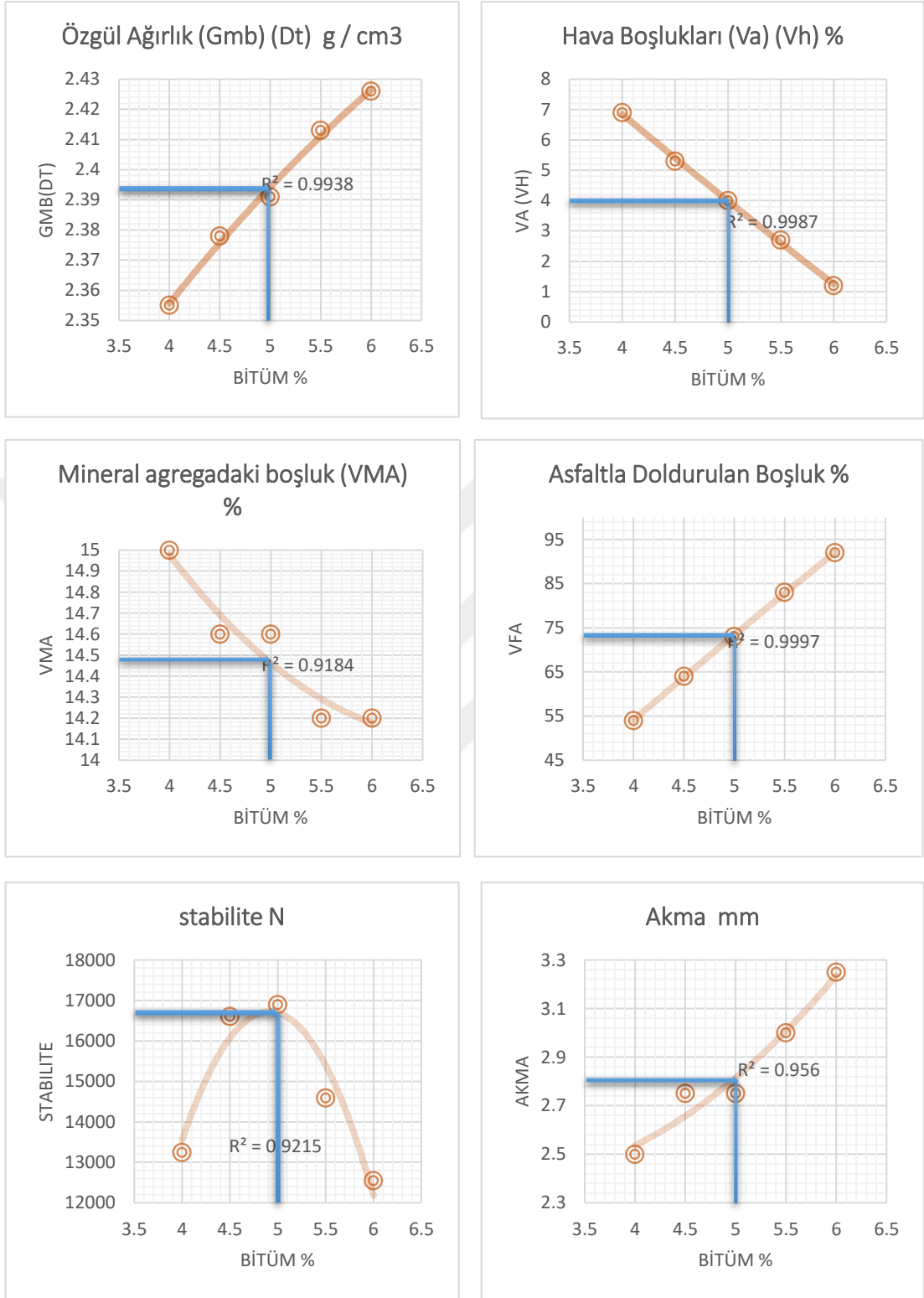
Bitüm Yüzdesi	Gmb (Dp) kg/m ³	Gmm (Dt) kg/m ³	Va (Vh) %	VMA %	VFA %	Stabilite N	Akma mm
4.0	2.355	2.529	6.9	15.0	54	13245	2.5
4.5	2.378	2.51	5.3	14.6	64	16607	2.75
5.0	2.394	2.491	4.0	14.46	73	16750	2.76
5.5	2.413	2.442	2.7	14.2	83	14592	3
6.0	2.426	2.454	1.2	14.2	92	12549	3.25

Marshall dizayninin bitüm yüzdeleri (% 4, % 4.5, % 5, % 5.5, % 6) olmak üzere farklı yüzdelerden oluşmaktadır. Boşluk yüzdesi grafiği bakıldığında, %4 hava boşluğuna karşılık gelen bitüm yüzdesinin optimum bitüm yüzdesi olarak tespit edildiğini göstermektedir. Grafikten elde edilen bitüm yüzdesi diğer parametrelerle şartnameye uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Geleneksel sıcak asfalt karışımların (BSK) marshall tasarımı değerleri Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. BSK Marshall deney sonuçları.

Marshall dizaynının parametreleri (BSK)	Tasarım sonucu	Şartname sınırı
Optimum Bitüm (%)	5	4,0-7,0
Özgül Ağırlık (Dp) - g /cm ³	2.394	-
Stabilite (N)	16750	Min 8000
Akma - mm	2.76	2-4
Boşluk yüzdesi (Va) (Vh) -%	4	3-5
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (%)	73	65-85
Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) %	14.46	Min 13

BSK Marshall tasarım grafikleri aşağıda Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Marshall tasarım grafikleri.

BSK için JMF deney sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. BSK için son JMF deney sonuçları.

Malzemeler		JMF	Özellikler		Standart
Elek No. (mm)	Elek No. (inç)				
19	3/4	100	100		ASTM C136-06
12.5	1/2	94	66	95	
9.5	3/8	81.3	54	88	
4.75	No.4	51.9	37	70	
2.36	No.8	34.3	26	50	
0.3	No.50	10.8	8	22	
0.075	No.200	6.02	4	10	
Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı (Gsb)		2.66			ASTM C127-12 ASTM C128-12
Asfalt Yüzdesi (Ac) (%)		5	4	6	ASTM D2172-05
Satbilite (N)		16750	Min.	8000	AASHTO T245-97
Akma (mm)		2.76	2	4	AASHTO T245-97
Boşluk yüzdesi (Va)%		4	3	5	ASTM D3203-05
Karışım özgül ağırlığı (Gmb)		2.394			ASSHTO T166-05
Teorik Özgül Ağırlık (Gmm)		2.493			ASTM D2041-11
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (VFA)%		73	65	85	Asphalt Institute MS-2 (Calculations)
Agregalar arası boşluk % (VMA)		14.46	Min.	13	
Agreganın bitüm obsarbsiyon yüzdesi (Pba)		0.50			
Efektif Asfalt Yüzdesi (Pbe)		4.45			
Hamburg Tekerlek izi @ 20000 geçişte (mm)		12			AASHTO T324

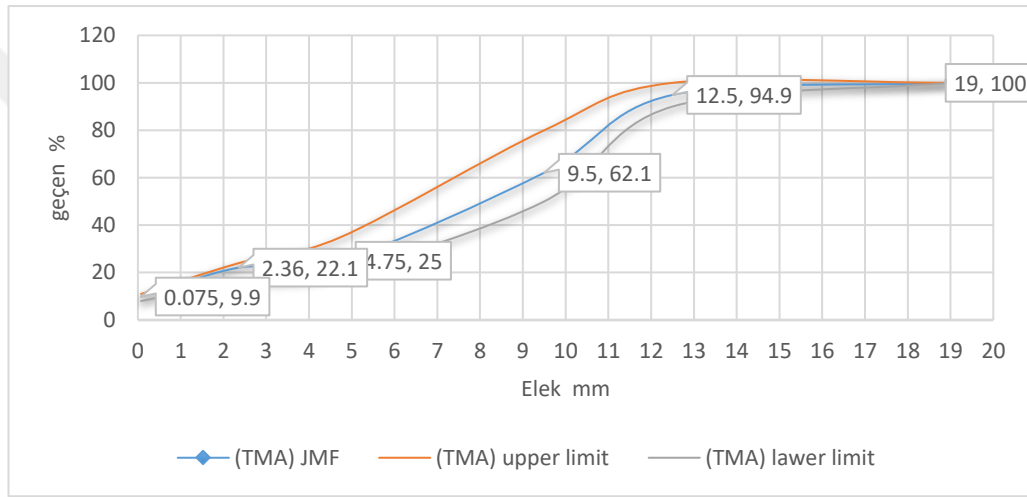
5.3.1 Taş Mastik Asfalt (TMA)

Tal mastic asfalt (TMA) karışım malzemeleri için agregada deney sonuçları ve şartname sınırları Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. TMA JMF'nin gradasyon sonuçları.

Elek boyutu		Şartname limitleri		TMA JMF sonuçları
İnç	mm			
3/4"	19,0	100		100
1/2"	12,5	90	100	94.9
3/8"	9,5	50	80	62.1
No.4	4,75	20	35	25.0
No.8	2,36	16	24	22.1
No.200	0,075	8	11	9.9

TMA karışımının dizayn gradasyon grafiği ve şartname limitleri, Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. TMA grafiği ve şartname limitleri.

Taş mastik asfalt (TMA) karışımının Marshall tasarım parametreleri; pratik özgül ağırlık (D_p), hava boşluğu (V_h), asfalt dolu boşluk yüzdesi (VFA), agregalar arasında boşluk yüzdesi (VMA), stabilite ve akma parametreleridir. Optimum bitüm yüzdesi, uygun değer boşluk yüzdesinin şartname limitlerine göre (% 3-4) göre % 3.5 olarak belirlenmiştir. Daha sonra optimum bitüm yüzdesi, Marshall dizaynı parametrelerinin şartname ile uygunluğu kontrol edilmiştir. TMA için yapılan Marshall tasarım verileri Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. TMA'nın Marshall tasarım verileri.

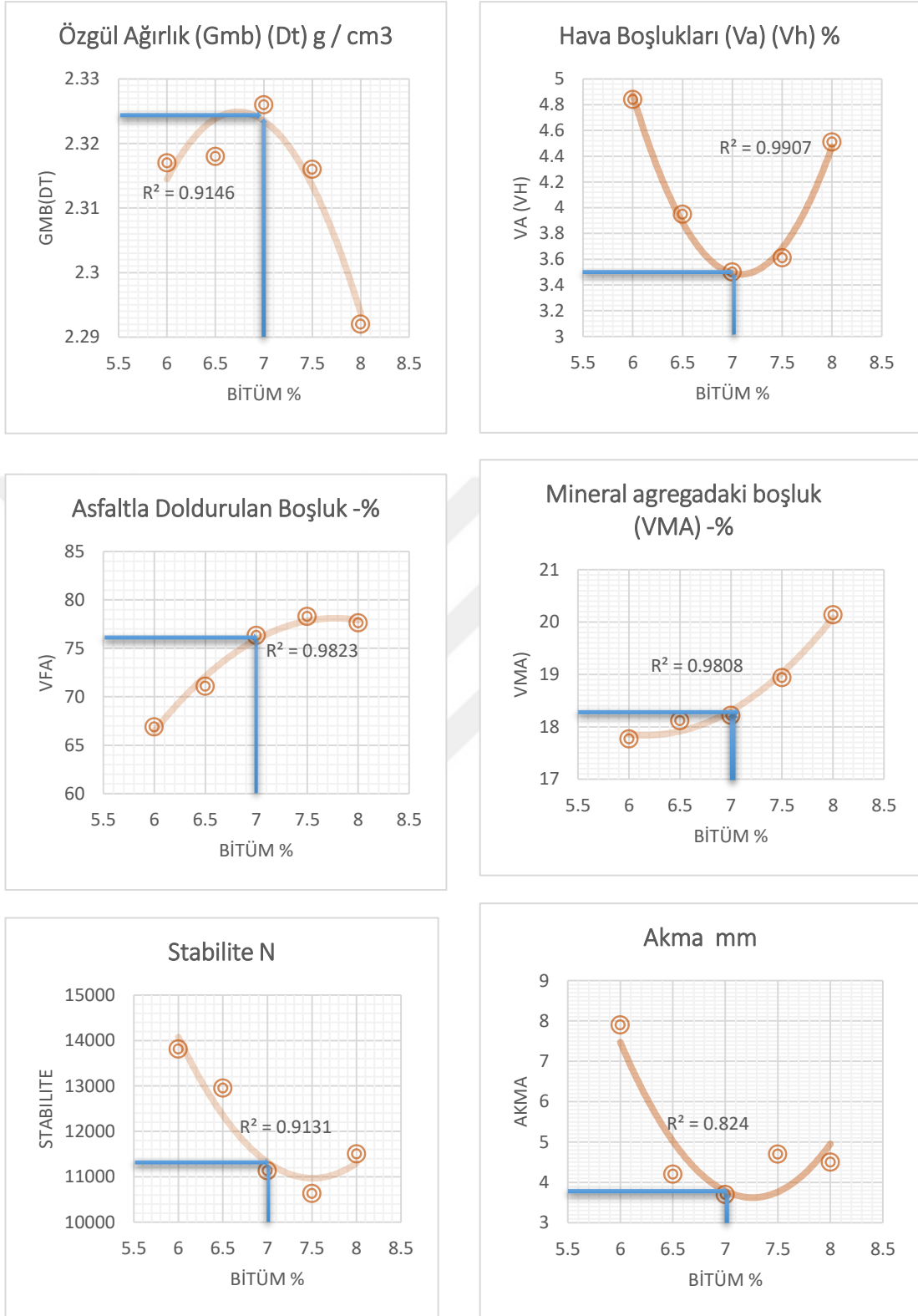
Bitüm (Bitüm)%	Gmb (Dp) kg/m ³	Gmm (Dt) kg/m ³	Va (Vh) %	VMA (%)	VFA (%)	Stabilite (N)	Akma (mm)
6.0	2.317	2.462	4.84	17.77	66.88	13810	7.32
6.5	2.318	2.446	4.01	18.12	71.08	12950	4.64
7.0	2.324	2.430	3.5	18.35	76.33	11250	3.7
7.5	2.316	2.415	3.7	18.94	78.28	10630	4.94
8.0	2.292	2.401	4.51	20.14	77.62	11500	4.78

Farklı bitüm yüzdelerinden (% 6,% 6.5,% 7,% 7.5,% 8) oluşan taş mastik asfaltın Marshall numuneleri Çizelge 5.11'de verilen veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Boşluk yüzdesi grafiğinden elde edilen %3.5 hava boşluğuna karşılık gelen bitüm yüzdesinin optimum bitüm yüzdesi olarak belirlenmiş ve bu bitüm yüzdesi diğer parametreler ile karşılaştırılarak şartnameye uyup uymadığı kontrol edilmiştir. Taş mastik asfaltın (TMA) marshall dizaynı parametreleri Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Taşmastik asfaltın (TMA) tasarım sonuçları.

Marshall tasarım Parametreleri (BSK)	Deney sonuçları	Şartname sınırları
Optimum Bitüm %	7	Min 5.8
Özgül Ağırlık (Gmb) (Dt) - g / cm ³	2.324	-
Stabilite (N)	11250	Min 8000
Akma (mm)	3.7	2-4
Boşluk yüzdesi (Va) (Vh) -%	3.5	3-4
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (%)	76.33	65-85
Agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA)%	18.35	Min 17

Taş mastik asfaltın Marshall grafikleri aşağıda Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Taş mastik asfaltın Marshall grafikleri.

TMA için JMF deney sonuçları Çizelge 5.14'te verilmiştir.

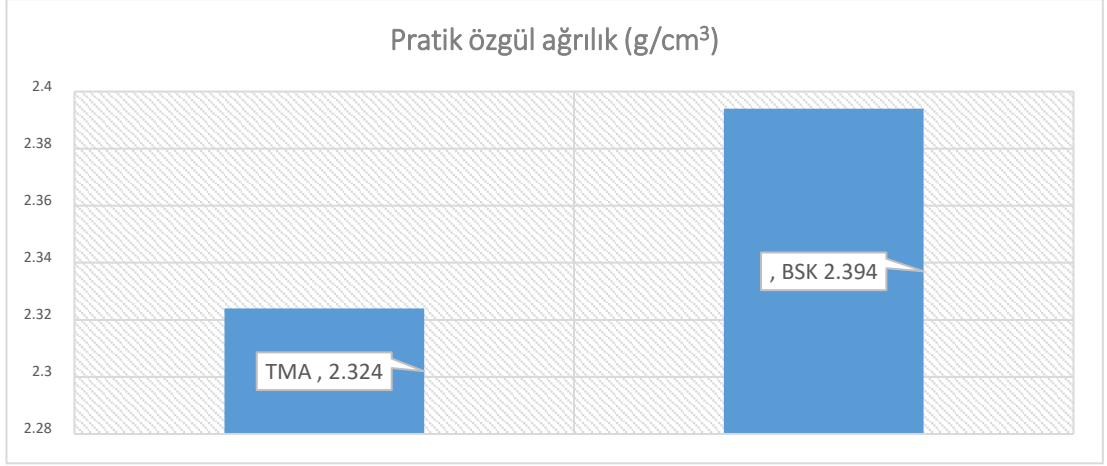
Çizelge 5.14. TMA için son iş karışımı formülü (JMF) deney sonuçları.

Malzemeler		JMF	Özellikler		Standartlar
Sieve No. (mm)	(inch)				
19	3/4	100	100		
12.5	1/2	94	66	95	
9.5	3/8	81.3	54	88	
4.75	No.4	51.9	37	70	
2.36	No.8	34.3	26	50	
0.3	No.50	10.8	8	22	
0.075	No.200	6.02	4	10	
Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı (Gsb)		2.66			ASTM C127-12 ASTM C128-12
Asfalt Yüzdesi (Ac) (%)		7	min	5.8	ASTM D2172-05
Elyaf içeriği%		0.45	0.3	1	
Satbilite (N)		11250	Min.	8000	AASHTO T245-97
Akma (mm)		3.7	2	4	AASHTO T245-97
Boşluk yüzdesi (Va) %		3.5	4	4.5	ASTM D3203-05
Karışım özgül ağırlığı (Gmb)		2.324			ASSHTO T166-05
Maks. Theo. özgül ağırlığı (Gmm)		2.430			ASTM D2041-11
Asfalt dolu boşluk yüzdesi (VFA)%		76.33	65	85	Asfalt Enstitüsü MS-2 (Hesaplamalar)
Agregalar Arası Boşluk yüzdesi (VMA)%		18.35	Min.	17	
Agreganın bitüm obsarbsiyon yüzdesi (Pba)		0.50			
Efektif Asfalt Yüzdesi (Pbe)		4.45			

5.4 Karışımların marshall parametrelerinin karşılaştırılması

Geleneksel sıcak asfalt karışımları (BSK) ve taşmastik asfalt (TMA) parametreleri Marshall dizayn yöntemi ile elde edilmiştir. Bu iki karışımın parametreleri aralarında grafiklerle karşılaştırılmıştır.

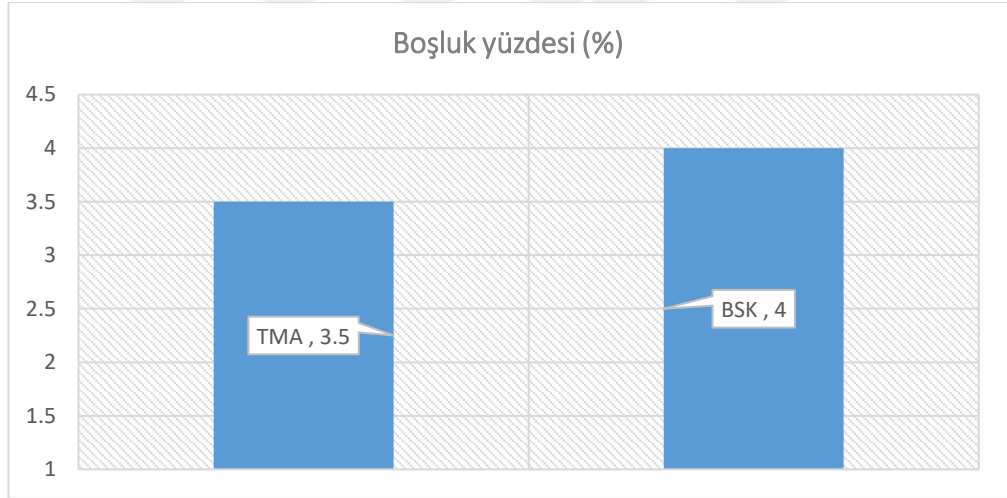
BSK ve TMA için pratik özgül ağırlığı (Gmb) (Dp) Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. BSK ve TMA pratik özgül ağırlıkların karşılaştırılması.

Şekil 5.5'te gösterildiği gibi, sıcak asfalt karışımlarının özgül ağırlığı, taş mastik asfaltın özgül ağırlığından daha yüksektir, çünkü taş mastik asfaltın bitüm yüzdesi sıcak asfalt karışımlardan daha yüksektir.

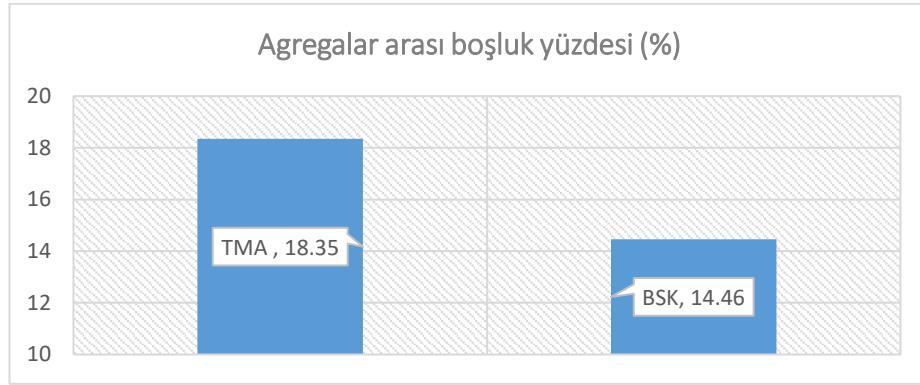
Şekil 5.6'da TMA ve BSK'nın boşluk yüzdeleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.6. TMA ve BSK'nın Boşluk Yüzdelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.6'da gösterildiği gibi, TMA ve BSK karışımlarının boşluk yüzdeleri karışımların optimum bitüm yüzdelere göre belirlenmiştir. TMA'nın boşluk yüzdesinin şartname sınırı % 3-4 olup, optimum bitüm oranı % 7, boşluk yüzdesi ise % 3.5 olarak belirlenmiştir. BSK'nın boşluk yüzdesinin şartname limiti % 3-5 arası olup optimum bitüm oranı % 5, boşluk yüzdesi ise % 4 olarak saptanmıştır. yani her iki karışımda optimum bitüm yüzdesi ile boşluk yüzdesi şartname limitlerini sağlamıştır.

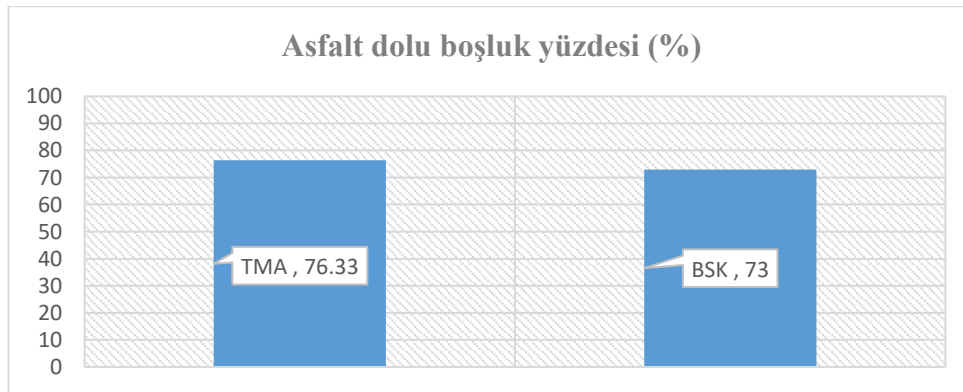
TMA ve BSK'nın agregalar arası boşluk yüzdesi Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. TMA ve BSK'nın Agregalar arası boşluk yüzdesinin karşılaştırılması.

Taş mastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımlarının (BSK) agregalar arası boşluk yüzdesi Marshall yöntemi ile elde edilmiştir. Şekil 5.7'de gösterildiği gibi, taş mastik asfaltın agregalar arası boşluk yüzdesi, sıcak asfalt karışımların agregalar arası boşluk yüzdesinden daha yüksektir. Şartname sınırlarına baktığımızda taş mastik asfaltın (TMA) agregalar arası boşluk yüzdesinin minimum limi % 17, sıcak asfalt karışımlarının (BSK) agregalar arası boşluk yüzdesinin minimum limiti % 13 olup deney sonuçları şartnamenin sınırları içerisinde olduğu görülmektedir. Taş mastik asfalt karışımlardaki 4 – 4.75 mm elek üstü kaba agreganın yüksek içeriğinden dolayı boşluk yüzdesinin yüksek olması beklenmektedir.

Taş mastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımların (BSK) asfalt dolu boşluk yüzdelерinin karşılaştırılması Şekil 5.8'de yapılmıştır.

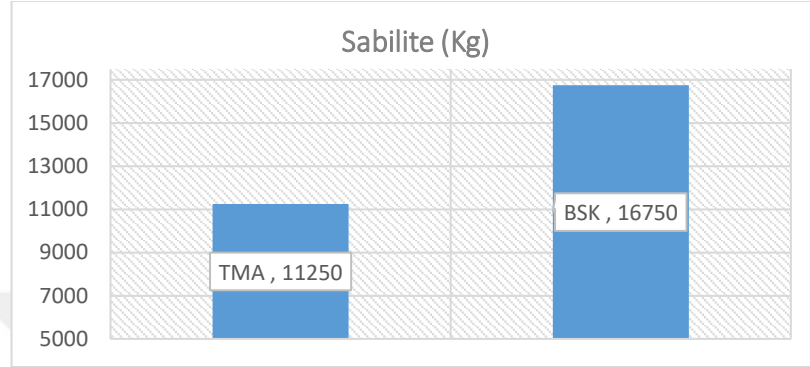


Şekil 5.8. TMA ve BSK'nın asfalt dolu boşluk yüzdelерinin karşılaştırılması.

Şekil 5.8'da gösterildiği gibi, taş mastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımlarının (BSK) asfalt dolu boşluk yüzdeleri karşılaştırıldığında, VFA'nın

şartname sınırı % 65-85'tir. Şekilde de görüldüğü gibi TMA'nın asfalt dolu boşluk yüzdesi BSK'nın asfalt dolu boşluk yüzdesinden daha yüksektir. Taş mastik asfalt karışımlardaki kaba agrega oranının yüksek olması boşluk yüzdesini artıracaktır.

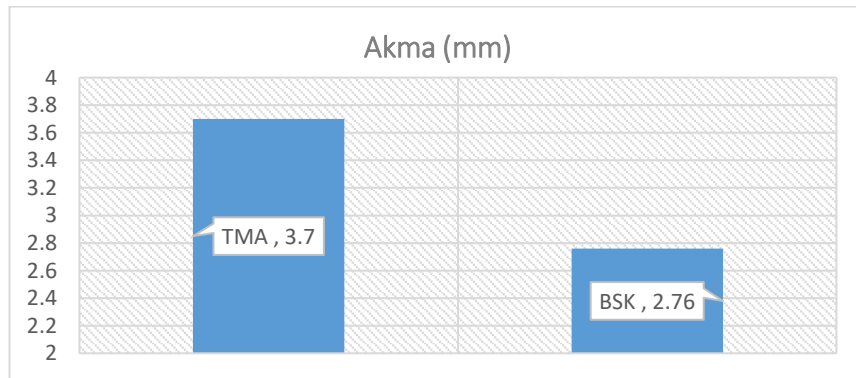
Taş mastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımlarının (BSK) stabilite sonuçları Şekil 5.9'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.9. TMA ve BSK'nın stabilite karşılaştırılması.

Şekil 5.9'da gösterildiği gibi, taş mastik asfaltı (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımların (BSK) Marshall stabilitesi değerleri farklıdır. Karışımların yapışmasında etkili olan 4 nolu elek altı ince malzemeleri daha çok içerdiğinden dolayı sıcak asfalt karışımların stabilitesi, taş mastik asfaltın stabilitesinden daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Taş mastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımlarının (BSK) akma değerleri Şekil 5.10'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.10. TMA ve BSK'nın akma değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.10'de gösterildiği gibi, taş mastik asfaltı (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımların (BSK) akma değerleri farklıdır. Taş mastik asfaltının bitüm oranı, akma değerinin sıcak asfalt karışımlarından daha yüksek olmasını sağlar.

5.5 Tekerlek izi deney sonuçları

Tekerlek izi deneyi, sıcak asfalt karışımlarına özellikle asfalt kaplamaların üst tabakalarına yapılan en önemli deneylerden biridir. Bu deney, yüklü bir tekerleğin sabit bir sıcaklıkta tekrarlanan geçişlerinin oluşturduğu tekerlek izinin derinliğini ölçerek sıcak asfalt karışımlarının yük altında deformasyon olma duyarlılığını belirlemek için kullanılır. Bu deney, DWT Hamburg tipi çift tekerlek izleyiciyi kullanarak EN 12697-22 standardına ve AASHTO T324'e göre yapılır.

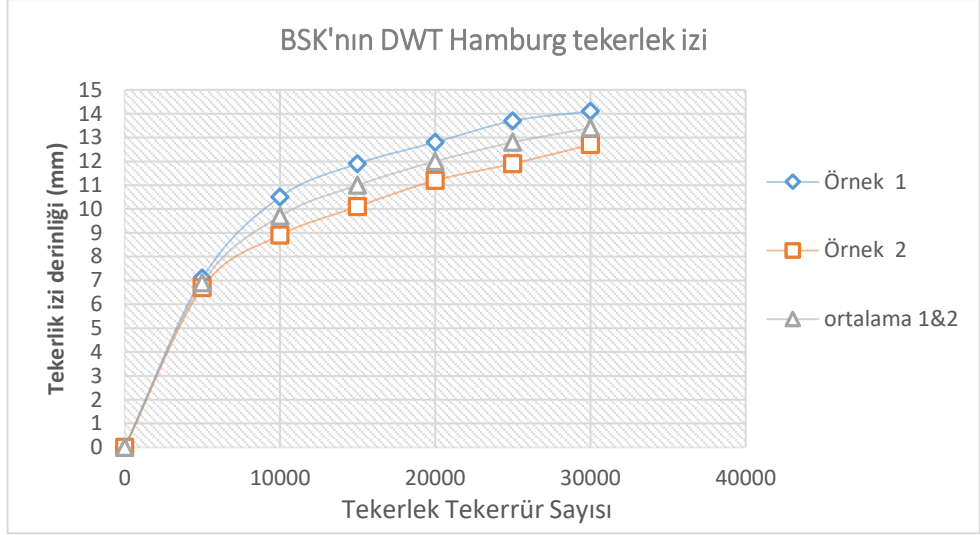
Sıcak asfalt karışımlarının (BSK) Hamburg tekerlek izi deneyinin sonuçları Çizelge 5.15'de verilmiştir.

Çizelge 5.15. BSK için Hamburg tekerlek izi deney sonuçları.

Tekerlek Tekerrür Sayısı	Örnek (1) İz Derinliği (mm)	Örnek (2) İz Derinliği (mm)	Ortalama İz Derinliği (mm)	Şartname Sınırı (mm)
0	0	0	0	BSK
5000	7.1	6.7	6.9	
10000	10.5	8.9	9.7	
15000	11.9	10.1	11	
20000	12.8	11.2	12	≤4.5
25000	13.7	11.9	12.8	
30000	14.1	12.7	13.4	

Yukarıdaki deney sonuçlarda görüldüğü gibi tekerlek izi deneyi cihazı altında geleneksel sıcak asfalt karışımlarının numunelerinin ortalama tekerlek izi derinliği 12mm olarak elde edilmiştir. Ancak şartname limiti ise ≤ 4.5 'tur. Bu numuneler, özellikle ağır taşıtların sıcak iklim şartlarında sıcak asfalt karışımların (BSK) daha fazla esneklik olmaları nedeniyle deney sonuçları şartname limitini sağlamamıştır.

Geleneksel sıcak asfalt karışımlarının (BSK) Hamburg tekerlek izi grafik sonuçları Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. BSK örnekleri için Hamburg tekerlek izi grafiği.

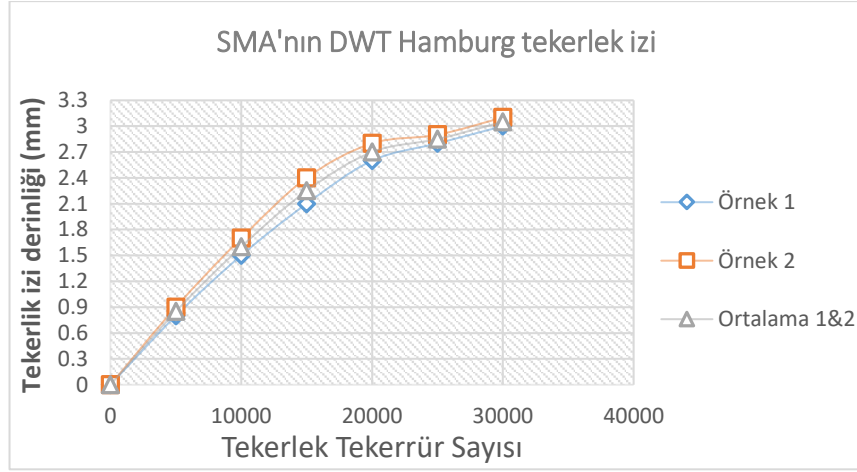
Taş mastik asfaltının (TMA) Hamburg tekerlek izi deney sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. TMA için Hamburg tekerlek izi deney sonuçları.

Tekerlek geçer	Örnek (1) rut Derinlik (mm)	Örnek (2) rut Derinlik (mm)	Ortalama rut Derinlik (mm)	Şartname Sınırı (mm)
0	0	0	0	BSK
5000	0.8	0.9	0.85	
10000	1.5	1.7	1.6	
15000	2.1	2.4	2.25	
20000	2.6	2.8	2.7	
25000	2.8	2.9	2.85	≤3.5
30000	3	3.1	3.05	

Yukarıdaki deney sonuçlara bakıldığında, tekerlek izi deney cihazı altındaki taş mastik asfalt (TMA) numunelerin ortalama tekerlek izi derinliği 2.7mm olarak elde edilmiştir. Tekerlek izi deneyi için şartname sınırı ≤ 3.5 'tur. Ağır yüklerin ve sıcak iklim şartlarına karşı TMA karışımların sertliği nedeniyle deney sonuçları şartname limitini sağlamıştır.

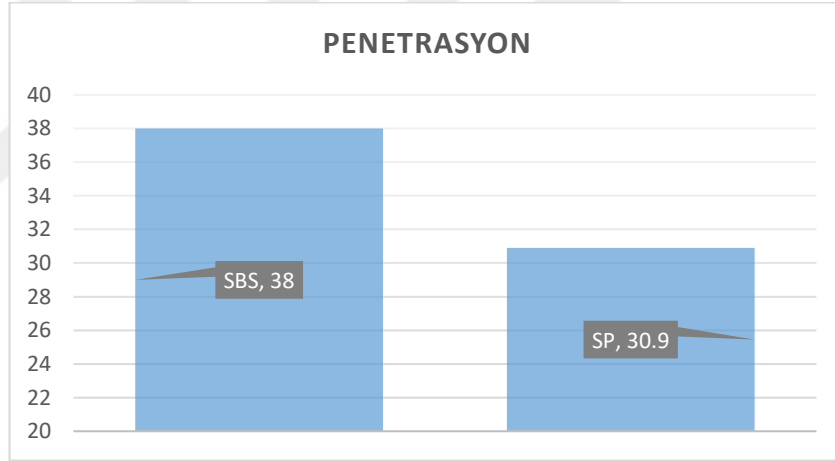
Taş mastik asfalt (TMA) Hamburg tekerlek izi deney sonuçları Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Taş mastik asfaltın (TMA) tekerlek izi grafiği.

5.6 (SBS) ve (SP) modifiye bitüm arasındaki karşılaştırma

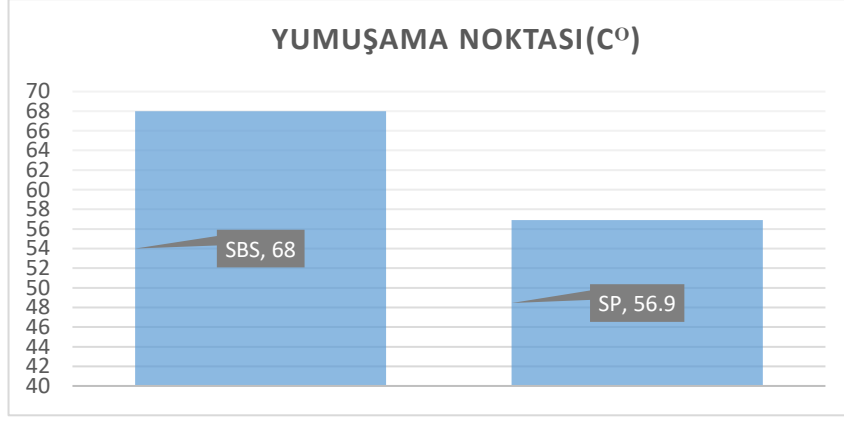
(SBS) ve (SP) modifiye bitüm için penetrasyon deneyi sonuçları Şekil 5.13'te gösterilmektedir.



Şekil 5.13. SBS ve SP bitümün penetrasyonların karşılaştırılması.

ASTM D5 standardına göre, modifiye bitüm için penetrasyon sınırı (25-55) olmalı ve SBS ve SP sonuçlarının sırasıyla 38 ve 30.9 olması ve SBS'nin penetrasyonunu SP penetrasyonundan daha fazla gördüğümüz gibi SBS bitümün sertliği SP bitümünden daha düşüktür. Ancak her iki bitüm tipi de şartname limitini sağlamıştır.

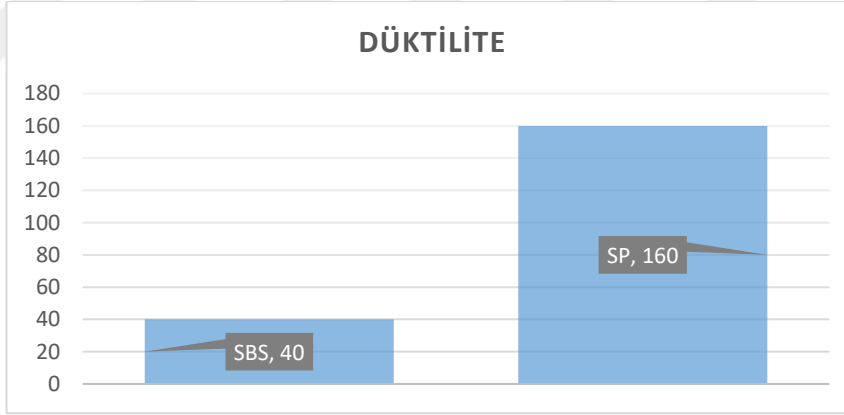
(SBS) ve (SP) modifiye bitüm için yumuşama noktası deney sonuçları Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. SBS ve SP bitümünde yumuşama noktalarının karşılaştırılması.

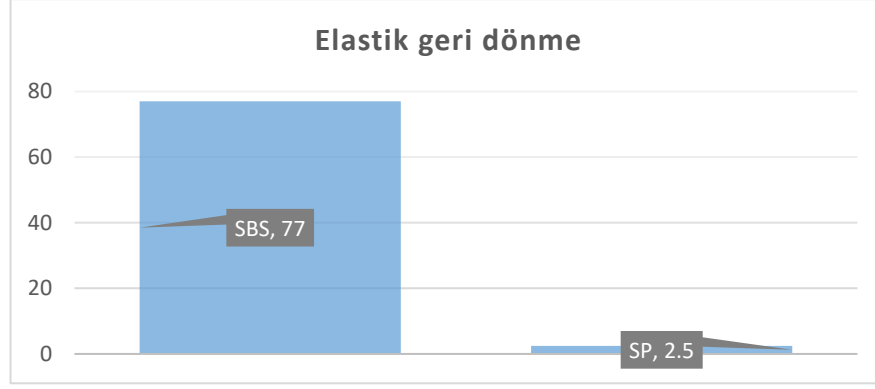
Şartname limitine (ASTM D36) göre modifiye bitüm için yumuşama noktasının sınırı $\geq 65^{\circ}\text{C}$ 'dır. yumuşama noktası, SBS tipinin deney süresindeki etkinin SP tipine kıyasla daha fazla yapışkan ve elastikiyet sağladığını göstermektedir. Deney sonuçlarına bakıldığında SP tipinin yumuşama noktası, şartnamenin sınırını sağlamamıştır. SBS ve SP sonuçları sırasıyla 68 ve 56,9'dur.

SBS ve SP modifiye bitümün düktilite deney sonuçları Şekil 5.15'te gösterilmektedir.



Şekil 5.15. SBS ve SP bitümün düktilite deneylerinin karşılaştırılması.

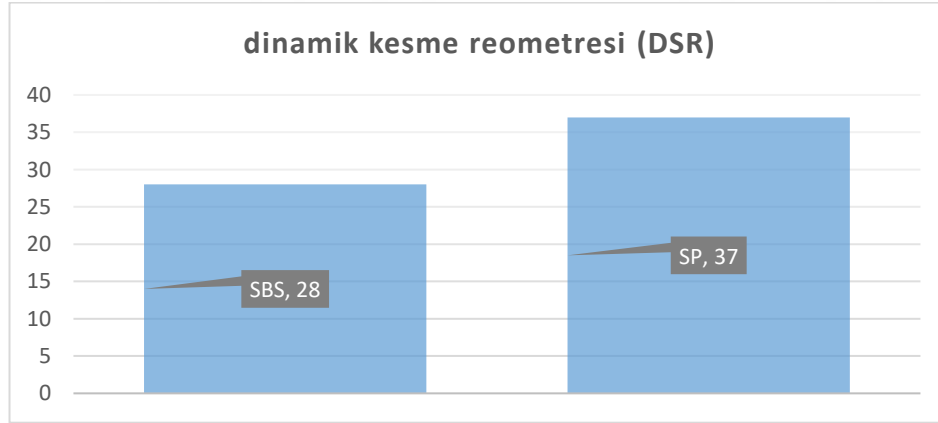
ASTM D 113 standardına göre, SBS ve SP modifiye bitümün düktilite sonuçları sırasıyla 160 cm ve 40 cm'dir ve şartname sınırı ise minimum 100 cm'dir. Yani SP tipi bitümü şartnamenin belirttiği min. 100 cm sınırı sağlamamıştır. Ancak SBS tipi bitümü (SBS) ve (SP) modifiye bitümün elastik geri dönme deneyin sonuçları Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.16. SBS ve SP bitümlerinin elastik geri dönme karşılaştırılması.

Elastik geri dönme deney sonucunun şartname limiti (ASTM D6084) ≥ 60 'tır. SBS ve SP modifiye bitümlerinin deney sonuçları sırasıyla % 77 ve % 2,5 olarak elde edilmiştir. SP tipi bitümün deney sonucu şartname limitinin çok altında olup geri dönme özelliğini taşımadığı göstermektedir. Ancak SBS tipi bitümü şartname limitini sağlayarak ağır yükler altında tekerlek izine karşı dirençli olduğunu ve geri kazanma kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir.

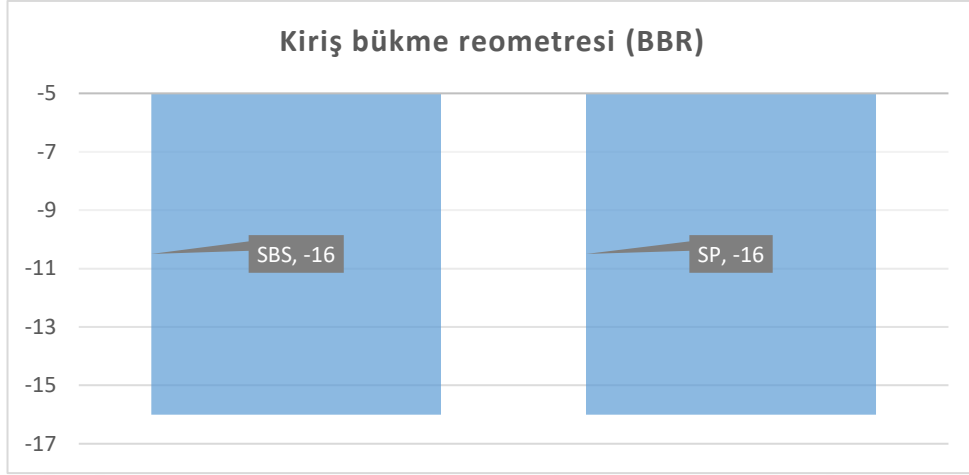
SBS ve SP modifiye bitüm için dinamik kesme reometresi (DSR) deney sonuçları Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. SBS ve SP bitümlerin dinamik kesme reometresinin karşılaştırılması.

Şartname standardı ASTM D7175'e göre dinamik kesme reometresi deneyin limiti $G^*/\sin\delta < 5000$ pa @ 10rad / s'de 34°C'ye ($\leq 43^\circ\text{C}$) eşit veya daha küçük olmalıdır. SBS ve SP sonuçları ise sırasıyla 28 ve 37'dir. SBS tipi deney sonucu şartname limitini sağladığını göstermektedir. Ancak SP tipi şartnamenin limitini sağlamamıştır. Bu da SP tipinin yüksek sıcaklığı dayanamayacağını ve SBS'nin yüksek sıcaklığı taşıyabileceğini göstermektedir.

SBS ve SP modifiye bitümün kiriş bükme reometresi (BBR) deney sonuçları Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. SBS ve SP kiriş bükme reometresinin (BBR) karşılaştırılması.

ASTM D6648 standardına göre, kiriş bükme reometresi deneyin sonuçları (≤ -6) olmalıdır. Her iki polimer türü şartname limitlerini sağlamıştır. bu da kış mevsiminde ve düşük sıcaklıkta donmaya karşı dayanabilir oldukları anlamına gelmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmanın ana kapsamı, özellikle yaz sezonunda ağır iklim koşullarında kamyonların ağır yükünü taşıyan bir karayolunun yüzey tabakasını en iyi nasıl inşa edebiliriz sorusuna cevap aramaktır. İlk olarak normal bitüm kullanılarak elde edilen Marshall briketlerine testler yapılmış daha sonra ise Taş Mastik Asfalt (SMA) için bitüme katkı maddesi olarak Stiren-Bütadien-Stiren (SBS) ve Süper Plast katılarak elde edilen briketlere yapılan deneyler ile geleneksel sıcak asfalt karışımı(HMA) sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan bitümün penetrasyonu (46.4), düktilitesi (160 cm), yumuşama noktası (53°C), yaşlandırmadan sonra penetrasyon (66.7) ve düktilite (83cm) bulunmuştur ve tüm sonuçlar şartnameyi sağlamaktadır.

Normal bitümün çekme tipi değiştirici malzemelerin modifiye edilmesiyle, ilki Stiren-Butadien-Stiren (SBS), yumuşak granüllerden oluşan doğrusal yapıya sahip bir elastomer, ikincisi Süper plast (SP) özel bir plastomerdir. Bitümlü karışımların modifikasyonu için bu katkı maddelerinin (SBS) ve (SP) miktarı, sırasıyla, (% 3.5) ve (%3) normal bitümüne ilave edilir. (175-180) °C sıcaklıkta yüksek kesme karıştırıcı makine kullanarak ve karışım işlemi sırasında 3000 dev / dak hızında bu çekici katkı maddelerinin etkisi sonuçlar üzerinde görülebilir.

Modifiyenin bitümün fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi, modifiye bitüm üzerinde yapılan bazı deneylerle açıklanabilir, modifiye bitümün SBS ve SP için penetrasyonu sırasıyla 38 mm ve 30,9 mm'dir ve ASTM D5 şartname limitine göre her iki tip de Şartname değerlerini sağlamıştır. Ancak SP tipi ile SBS tipi karşılaştırıldığında SP tipi bitümünün daha sert olduğu görünmektedir. Yumuşama noktası deneyin sonucu, SBS ve SP bitümü için sırasıyla 68°C ve 56°C'dir, yumuşama noktası sonuçlarından, SBS tipinin SP tipi ile karşılaştırıldığında SBS tipinin bitüme daha fazla uyum sağladığını görürüz. ASTM D36 şartname limitine bakıldığında yumuşama noktasının şartname sınırı 65°C'den büyük veya eşit olması gerekir. Ancak SP tipinin yumuşama noktasının şartname limitinden daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, düktilite deneyi, SBS tipi ile karşılaştırıldığında, SP tipinin deneyi şartname sınırını sağlamadığı görülmüştür. Düktilite deneyinin ASTM D113 şartname sınırı (en az 100 cm) iken, SBS ve SP bitümünde sırasıyla 160 cm ve 40 cm'dir.

ASTM D2872 standardına göre RTFOT (kısa süreli yaşlanma) sırasında modifiye bitüm, RTFOT etüvda 163°C'de yaklaşık 90 dakikada vurularak yaşlanma bitümünü deneyi uygulanır. Elastik geri kazanım deneyin şartname sınırına göre % 60'a eşit veya daha büyük olmalıdır. Deney sonuçları ise sırasıyla SBS ve SP ile modifiye edilmiş bitüm için % 77 ve % 2,5 olduğundan SP tipinin iyileştirme kabiliyeti olmadığını ve şartname limitini sağlamadığı saptanmıştır. Ancak SBS tipi ise ağır yükler altında yüksek direncine sahip olup geri kazanım kabiliyetine sahiptir.

Bitüm için performans derecesinin son aşaması, ASTM D6521 standart şartnamesine göre (RTFOT + PAV) (uzun süreli yaşlanma) olup, yaşlanmadan sonra elde edilen sonuçlar çekme karakterinin Dinamik Kesme Reometresinde (DSR) açıklanıp sınırlandırılabilir. Değiştirilmiş bitümün iklim ve araç lastiği ile kaplama yüzeyi arasındaki sürtünmeden kaynaklanan yüksek sıcaklığa kabiliyetini ve kış aylarında ortaya çıkan yasa sıcaklığına göre değiştirilmiş bitüm kabiliyetini tanımlamaktan sorumlu olacak olan Bükme Kirişli Reometre (BBR) mevsim ve donma, DSR deneyinin sonuçları sırasıyla SBS ve SP için 28°C ve 37°C'dir, ASTM D7175 şartname limitine göre sonuçlar $G' / \sin \delta < 5000 \text{ pa @ } 10 \text{ rad / s'de } 34^\circ \text{C}$ 'ye eşit veya daha küçük olmalıdır. Şartnamenin gösterdiği deney sonucu, SP tipinin yüksek sıcaklığa dayanma kabiliyetine sahip olmadığını ve SBS'nin yüksek sıcaklığa dayanma kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir, her iki polimer türü için BBR deney sonuçları p Spesifik ASTM D6648 limitine göre deneyte değerlendirildiğinde, sonuçlar ≤ -6 olmalıdır ve kış mevsiminde kan sıcaklığını taşıyabilecek ve kabarma kabiliyetine sahip olmalıdır.

SBS modifiye edici malzeme, iklim ve ağır yükün ağır durumunu taşıyabilecek ve bu sınıra kadar bitümlü karışımları elde etmek için yeterince esnekliğe ve yapışma özelliğine sahiptir ve SP modifiye edilmiş malzemeye kıyasla tüm PG dereceli deneylerden geçmiştir.

Marshall yöntem tasarımını kullanarak iki tip asfalt karışımının tasarlanmıştır. bunlardan biri geleneksel Sıcak asfalt karışımı(BSK), diğeri Taş Mastik Asfalt (TMA) malzemenin tasarlanması Her iki karışım tipi için marshall spacemen bir deney grubu tarafından elde edilen sonuçları ASTM, AASHTO standart şartnamelerine göre elde ettik ve bu sonuçları iki tip ile şartname sınırları arasında karşılaştırdık.

BSK ve TMA için Marshall deneylerinin (Gmb) (Dt) özgül ağırlığı, AASHTO T166-05 şartnameuna göre bulunmaktadır. Sıcak asfalt karışımlarının özgül ağırlığı (2.394), taş mastik asfaltın (2.324) özgül ağırlığından daha yüksektir, çünkü taş mastik asfaltın bitüm yüzdesi (% 7) sıcak asfalt karışımlardan (% 5) daha yüksektir.

BSK ve TMA karışımları için marshall biriketlerin hava boşlukları, ASTM D3203-05 standardına göre elde edilir. TMA ve BSK karışımlarının boşluk yüzdeleri karışımların optimum bitüm yüzdelere göre belirlenmiştir. TMA'nın boşluk yüzdesinin şartname sınırı % 3-4 olup, optimum bitüm oranı % 7, boşluk yüzdesi ise % 3.5 olarak belirlenmiştir. BSK'nın boşluk yüzdesinin şartname limiti % 3-5 arası olup optimum bitüm oranı % 5, boşluk yüzdesi ise % 4 olarak saptanmıştır. yani her iki karışımda optimum bitüm yüzdesi ile boşluk yüzdesi şartname limitlerini sağlamıştır.

MS-2 Asfalt Enstitüleri standardına göre Stone mastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımı(BSK) için elde edilen mineral agregalar arası boşluk yüzdesi, TMA'nın VMA sonuçları (% 18.35), BSK'nın VMA değerinden (% 14.46) daha yüksektir. Şartname limitine göre (TMA %17 min) ve (BSK %13 min), TMA karışımında agregalar arası boşluk oranını artıran TMA karışımında 4 - 4.75 mm elek üzerinde tutulan yüksek miktarda BSK karışımına göre agregalar karşılaştırıldığında, her iki karışım da şartname limitini sağlamaktadır.

Taş mastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımı (BSK) için asfaltlı boşluk yüzdesi, Asfalt Enstitüleri MS-2 standardına göre elde edilir, VFA için şartname sınırı (% 65-85)'tir. Deney sonuçlarına bakıldığında TMA için VFA değeri (% 76.33), BSK'nın VFA değeri ise (% 73) olarak elde edilmiştir. Taşmastik asfalt karışımındaki toplam agregalar arası boşluk yüzdesinin, Bitümlü sıcak karışımlardan daha yüksek olup her ikisi de şartname değerlerini sağlamıştır.

Taş Mastik Asfalt (TMA) ve geleneksel Sıcak asfalt karışımı(BSK) numunesi için tasarlanan karışımın Marshall Stabilitesi, AASHTO T245-97 standardına göre elde edilir. Deney sonuçlarına bakıldığında, BSK numunesinin stabilite değeri (1675 N) TMA karışımın stabilite değerine (1125 N) kıyasla, daha iyi bir yapıştırıcı malzemesi olup her iki karışım tipi de şartname limitini (min 800 N) sağlamaktadır.

Taş mastik asfalt (TMA) ve geleneksel Sıcak asfalt karışımı (BSK) için marshall tasarım örneğinin akma değeri AASHTO T245-97 standart şartnamesine göre elde

edilmiştir. TMA'daki akma değeri (3,7 mm), BSK akma değerinden (2,76 mm) daha büyük olup her iki tipi de şartname sınırı aralığında olduğu saptanmıştır.

Hamburg tekerlek izi deneyi, Taşmastik asfalt (TMA) ve geleneksel sıcak asfalt karışımı (BSK) AASHTO T324 ve EN 12697-22 standartlarına göre uygulanır. Her karışım için iki numunesi deneye tabi tutulur ve sonucun ortalamasını bulmak için iki elde edilen sonuçlar 6 saat (30.000) geçişte tekrarlanan yük altındaki karışımının kuvvetini göstermektedir. TMA karışımı için şartname sınırına göre (20.000) geçişte tekerlek izi derinliğini (3.7 mm) spesifik sınırı (≤ 3.5 mm)'dır. Ağır yüklerin ve sıcak iklim şartlarına karşı TMA karışımların sertliği nedeniyle deney sonuçları şartname limitini sağlamıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi bu araştırmamızın amacı; ağır kamyon yüklerinin ve sert iklim koşullarında taşıma kabiliyetine sahip olan ve kaplama tabakasına dayanıklılık kazandıran bir karışımı elde etmek olduğundan dolayı, TMA karışımı BSK'dan daha iyidir bir karışım olup istenilen amaca ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Partl, M.N., 2012. Advances in interlaboratory deneying and evaluation of bituminous materials: state-of-the-art report of the RILEM technical committee 206-ATB. Springer Science & Business Media.
2. Bayat, R., Talatahari, S., 2016. Influence of polypropylene length on stability and flow of fiber-reinforced asphalt mixtures, Civil Engineering Journal, 2.10, 538-545.
3. Pasetto, M., Baldo, N., 2011. Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag, Construction and Building Materials, 25.8, 3458-3468.
4. URL-1 <<http://southbitumen.ir/wp-content/uploads/2019/03/2-1.jpg>>, Erişim tarihi: 23.05.2019.
5. URL-2 <<https://theconstructor.org/wp-content/uploads/2010/09/fire-point.jpg>>, Erişim tarihi: 21.03.2017.
6. Mckim, T.L., 2017. Display screen with graphical user interface for a viscometer or rheometer, 803, U.S.
7. URL-3<<https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51Nwx2gfTRL.SL100 1.jpg>>, Erişim tarihi: 29.05.2019.
8. Tinavallie, G., 2013. Improving The Ductility And Elastic Recovery Of Bitumen-Natural Rubber Latex Blend, Doktora Tezi, UTAR.
9. Ozgan, E., 2011. Artificial neural network based modelling of the Marshall Stability of asphalt concrete, Expert Systems with Applications, 38.5, 6025-6030.
10. Golalipour, A., 2012. Effect of aggregate gradation on rutting of asphalt pavements, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 53, 440-449.
11. Anwar, S.K., 2016. Experimental Investigations on Marshall and Modified Marshall Specimens by using Neat Bitumen, Technology, 7.5, 409-419.
12. URL-4
<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1Fe11IXXXXbUXpXXq6xXFXXXb/Standard-sieve-gravel-gravel-test-sieve-analysis-laboratory-specializing-in-screening-testing-sieve-sieve-test.jpg_640x640q70.jpg>, Erişim tarihi: 02.06.2019.
13. Nomany, S.O., 2019. Bitümlü Karışımların Geri Kazanım Ve Gençleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

14. URL-5 <[https://alfatest.com.tr/wp-content/uploads/2018/02/alfatestingequipment486 .jpg](https://alfatest.com.tr/wp-content/uploads/2018/02/alfatestingequipment486.jpg)>, Erişim tarihi: 02.06.2019.
15. ASTM C, 2009. Standard deney method for sand equivalent value of soils and fine aggregate.
16. URL-6 <<http://www.matest.com/contents/products/s158-kit-72dpi.jpg>>, Erişim tarihi: 07.06.2019.
17. URL-7
<<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/04150/images/fig207.gif>>, Erişim tarihi: 16.06.2019.
18. Talati, A., Talati, V., 2014. Study of Stone Matrix Asphalt For The Flexible Pavement.
19. URL-8
<<https://www.pavementinteractive.org/wpcontent/uploads/2011/04/Casg.jpg>>
Erişim tarihi: 16.06.2019.
20. URL-9
<https://pavementinteractive.org/wpcontent/uploads/2011/04/Flat_elongated.jpg>
, Erişim tarihi: 26.06.2019.
21. URL-10 <<https://theconstructor.org/wp-content/uploads/2014/04/Stripping-value-test-on-aggregates.jpg>>, Erişim tarihi: 11.07.2019.
22. Tuğlu, H. ve Kazankıran, H., 2004. Ülkemizde Uygulanan Aşınma Tabakası Şartnameleri, Problemler ve İlk Yaygın SMA Uygulaması, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 25-26 Kasım, 49-69, Ankara.
23. URL-11 <<https://i.ytimg.com/vi/E3BmzUoVKNM/maxresdefault.jpg>>, Erişim tarihi: 11.07.2019.
24. Kandhal, P.S. ve Koehler, W.S., 1985. Marshall mix design method: current practices, Association of Asphalt Paving Technologists Proc.
25. URL-12 <https://live.staticflickr.com/7032/13473669913_e43bca7a3b_b.jpg>, Erişim tarihi: 13.07.2019.
26. URL-13
<<http://www.simgemat.com.tr/Public/Upload/b097be31c06c4dab82b0e17e3620f817-Editor.jpg>>, Erişim tarihi: 13.07.2019.
27. Williams, K.R., 2015. Remarks and Instructions.

28. URL-14
<<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/13092/images/image005.jpg>>, Erişim tarihi: 14.07.2019.
29. URL-15
<<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/images/f041.gif>>, Erişim tarihi: 19.07.2019.
30. URL-16
<<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/13092/images/image013.jpg>>, Erişim tarihi: 24.07.2019.
31. URL-17
<https://www.researchgate.net/profile/Hassan_Khawaja2/publication/326056680/figure/fig7/AS:651834771382293@1532420928996/Longitudinal-cracks-in-the-asphalt-pavement.png>, Erişim tarihi: 05.08.2019.
32. URL-18
<http://texturelib.com/Textures/road/damaged/road_damaged_0009_02_preview.jpg>, Erişim tarihi: 09.08.2019.
33. URL-19 <<https://www.kttn.com/wp-content/uploads/2019/02/Pothole.jpg>>, Erişim tarihi: 11.08.2019.
34. URL-20 <<https://pavementinteractive.org/wp-content/uploads/2008/05/Mvc037s.jpg>>, Erişim tarihi: 12.08.2019.
35. URL-21 <<https://everythingroads.com/wp-content/uploads/2018/09/how-to-fix-asphalt-shoving.png>>, Erişim tarihi: 23.08.2019.
36. URL-22 <<https://co.washington.or.us/LUT/News/images/bleeding.jpg>>, Erişim tarihi: 29.08.2019.
37. URL-23 <<https://www.pebblemixconcretedrives.com.au/mixes/7.jpg>>, Erişim tarihi: 04.09.2019.
38. URL-24 <<https://everythingroads.com/wp-content/uploads/2018/07/Raveling-1.jpg>>, Erişim tarihi: 18.09.2019.
39. URL-25
<<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/reports/03031/images/fig45.jpg>>, Erişim tarihi: 26.09.2019.
40. URL-26 <<https://5.imimg.com/data5/DR/DA/MY-10821438/stone-mastic-asphalt-500x500.jpg>>, Erişim tarihi: 19.10.2019.

41. Brown, E.R. ve Bassett, C.E., 1990. Effects of Maximum Aggregate Size on Rutting Potential and Other Properties of Asphalt-Aggregate Mixtures Transportation Research Record, 1259:107-119.
42. Koester, J.P., 1992. The influence of deney procedure on correlation of Atterberg limits with liquefaction in fine-grained soils, Geotechnical Deneying Journal, 15.4, 352-361.
43. ASTM C., 1993. Standard deney method for specific gravity and absorption of coarse aggregate.
44. Hamın, R., ve Diğ, 1995. The importance of stone mastic asphalt in construction, EJGE, 2150, 49-56.
45. Brown, E.R. ve Haddock, J.E., 1997. A Method To Ensure Stone-On-Stone Contact In Stone Matrix Asphalt Paving Mixtures, NCAT Report Number: 97-02.
46. Kandhal, P.S., Parker, F., Mallick, R.B., 1997. Aggregate deney for hot-mix asphalt: state of the practice, Transportation Research Board, National Research Council.
47. Ergün, M., İyınam, Ş. ve İyınam, F., 1998. İnce, Çok İnce ve Super İnce Bitümlü Karışım Uygulamalarının İncelenmesi, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 10-11 Aralık, 198-205, Ankara.
48. Taşdemir, Y., 1998. Stone Mastic Asfalt Karışımların Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
49. Kutluhan, S., 2009. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
50. Kutluhan, S. ve Ağar, E., 2004. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun İncelenmesi, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 25-26 Kasım, 208-218, Ankara.
51. Önal, M.A., Orhan, F.ve Demir, Ş., 2000. SMA Deneme Çalışmaları, 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 16-17 Kasım, 120-125, Ankara.
52. Deniz, M.T., Eren, B.K., Kalkancı, Ç. ve Yıldırım, S.A., 2009. Metrobüs Hattı Üstyapısında Kullanılan Özel Tasarım Asfaltların Analizi, 8.Ulaştırma kongresi, 30 Eylül/1-2 Ekim, İstanbul.
53. Tayfur, S., Eren, K., Özen, H. ve Yıldırım, S.A., 2003.Sıcak Asfalt Karışımı (BSK) Üretimi Açısından İstanbul Taşocaklarının Genel Değerlendirilmesi: Karşılaşılan

- Problemler ve Çözüm Önerileri, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık, 199-204, İstanbul.
54. Akbulut, H. ve Gürer, C., 2006. Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregalar Olarak Değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, 261.
55. Topal, A. ve Şensöz, B., 2000. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan İnce Daneli Agregaların Köşeliliğinin Belirlenmesi ve Kullanılabilirliğinin Saptanması, 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 16-17 Kasım, 184-193, Ankara.
56. Sönmez, İ., Yılmaz, M. ve Tuğrul, A., 2009. Yıkanmış ve Yıkanmamış Agregalardan Üretilen Asfalt Karışımların Özelliklerinin Karşılaştırılması, 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 1-2 Aralık, 309-315, İstanbul.
57. Alataş, T., Ahmedzade, P. ve Doğan, Y., 2006. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregaların Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Der, 1, 81-89, Elazığ.
58. Çetin, A., 2008. Bitümlü Sıcak Karışımların Deformasyon Direncinin Üç eksenli Kayma Mukavemeti Deneyi İle İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
59. Blazejowski, K., 2011. Stone Matrix Asphalt Theory and Practice, 2. basım, Taylor ve Francis Group, Newyork.
60. Mokhtari, A., Nejad, F., 2012. Comparative Study on Performance of Wax-Modified and Typical SMA Mixtures, <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000584>, 29 Ağustos.
61. Hafeez, İ., ve Diğ., 2012. Investigating the Effects of Maximum Size of Aggregate on Rutting Potential of Stone Mastic Asphalt, Pak. J. Engg., 10, 89-96.
62. Hand, A.J., Epps, J.A., Sebaaly, P.E., 2000. Precision of ASTM D 5821 standard deney method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate. Journal of deneying and evaluation, 28.2, 67-76.
63. Schneider, B., 2000. Stone Mastic Asphalt: Pavement Technology for the New Millennium Road Construction Division, Rettenmaier & Sohne.
64. Designing and constructing TMA mixtures-state-of-the-practice, 2002. quality improvement series 122, National Asphalt Pavement Association.
65. Roberts, F.L., Mohammad, L.N., Wang, L.B., 2002. History of hot mix asphalt mixture design in the United States. Journal of Materials in Civil Engineering, 14.4, 279-293.

66. Judycki, J. Jaskula, P., 2003. Deneying of performance properties of asphalt mixes for thin wearing courses, In: Sixth International RILEM Symposium on Performance Deneying and Evaluation of Bituminous Materials, RILEM Publications SARL, 141-147.
67. ASTM C136-06, 2006. Standard deney method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.
68. ASTM D4791-10, 2010. Standard D. Standard deney method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate.
69. Advanced Asphalt Technologies, 2011. LLC. A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary, Transportation Research Board.
70. Bagui, S.K., Ghosh, A., 2012. Economic And Financial Analysis For Polymer Modified Bitumen, Malaysian Journal of Civil Engineering, 24, 1
71. 2013. FHWA, Federal Highway Administration Contractor.
72. Muniandy, R., Aburkaba, E., Taha, R., 2013. Effect of mineral filler type and particle size on the engineering properties of stone mastic asphalt pavements, The Journal of Engineering Research [TJER], 10.2, 13-32.
73. Miller, J. S., ve Diğ., 2014. Distress identification manual for the long-term pavement performance program. United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development.
74. Zhu, J., Birgisson, B., Kringos, N., 2014. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges, European Polymer Journal, 54, 18-38.
75. Nivas, E.R., Netula, O., Mathur, E.D., 2018. Marshall Hammer Kullanarak Bitümlü Betonun Marshall Özelliklerinin İncelenmesi.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nijyar ISMAEL ISMAEL
Adres : Irak, Dohuk, Diyari Cad., Mersin Sokağı, No: 7
E-posta : derkynijyar@gmail.com
Tel Nu : 00964 750 468 8191

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : Erbil Teknik Üniversitesi 2005-2009
Yüksek Lisans : Aksaray üniversite 2014 - 2020

MESLEKİ DENEYİMLERİ

Duhok Karayolları ve Köprü Müdürlüğü/ İnşaat Mühendisi