

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE DİCLE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAŞ MASTİK ASFALT VE BETON YOL KAPLAMA İNŞASINDA BOR ATIKLARININ
KULLANILABİLİRLİĞİ

Hüseyin KARA

OCAK 2021

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAŞ MASTİK ASFALT VE BETON YOL KAPLAMA İNŞASINDA BOR ATIKLARININ
KULLANILABİLİRLİĞİ

Hazırlayan
Hüseyin KARA

Danışman
Dr.Öğr.Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN
Dr.Öğr.Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ
Dr. Öğr. Üyesi

OCAK 2021

ONAY

Hüseyin KARA tarafından hazırlanan “**Taş Mastik Asfalt Ve Beton Yol Kaplama İnşasında Bor Atıklarının Kullanılabilirliği**” isimli tez çalışması .../.../... tarihinde yapılan sınavla aşağıda belirtilen jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Hakan ÇOBAN
(Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi
(Üye)

Bu tez çalışmasının kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../... gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN
Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlanmış olduğum “**Taş Mastik Asfalt Ve Beton Yol Kaplama İnşasında Bor Atıklarının Kullanılabilirliği**” isimli tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tezin hazırlanış aşamalarında bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan bütün verilerin bilimsel etik ilkelerine uygun olarak elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim./...../2020

Hüseyin KARA

ÖZET

TAŞ MASTİK ASFALT VE BETON YOL KAPLAMA İNŞASINDA BOR ATIKLARININ KULLANILABİLİRLİĞİ

Hüseyin KARA

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

Ocak 2021, 95 sayfa

Bu çalışmada, Taş Mastik asfalt ve beton yol kaplama inşasında bor atıklarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, beton deneyleri için Bor agregalı lifsiz referans beton (BRB), Bor agregalı lifli referans beton (BRLB) ,Bor agregalı lifsiz pudra beton (BPB), Bor agregalı lifli pudra beton (BLPB) olmak üzere 4 farklı beton çeşidi üretilmiştir. Kalıplardan çıkarılan numunelere; 28 Gün 20°C Su Kürü, 28 Gün Hava Kürü, 3 Gün Su + 2 Gün 200° C Etüv Kürü (Kombine kür) uygulandı. Kür işlemlerinden sonra beton numunelere basınç deneyi, eğilme deneyi, yarmada çekme deneyi, aşınma deneyi, donma ve çözülme deneyi uygulandı. Bor malzemesinin beton yol kaplamalarında kullanılabilirliği için yapılan deneylerde; Pudra betonları tüm kür koşullarında basınç ve eğilme dayanımı standartlarını karşılamaktadır. Ayrıca lifli veya lifsiz her iki durumda standartları karşıladığı görülmüştür. Taş Mastik Asfalt deneyleri için, agrega numunelerine; Parçalanma Direnci Tayini, İnce Agregada Kil Oranı Tespiti, Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık deneyi, Su Emme deneyi , Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, numunelerin Karayolu Teknik Şartnamesindeki şartname kriterlerinde beyan edilen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamadığı görüldü. Böylece betonun, BSK (Bitümlü Temel, Binder, Aşınma, TMA), temel, alttemel, PMT, PMAT üretiminde kullanılamayacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor, Atık, Taş Mastik Asfalt, Beton yol, Beton Deneyleri

ABSTRACT

USABILITY OF BORON WASTES IN STONE MASTIC ASPHALT AND CONCRETE PAVEMENT CONSTRUCTION

Hüseyin KARA

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute

Department of Civil Engineering

Supervisor: Dr. Lecturer Abdulrezzak BAKIŞ

January 2021, 95 pages

In this study, the usability of boron wastes in Stone Mastic asphalt and concrete road pavement was investigated. In the study, 4 different types of concrete were produced for concrete experiments: Boron aggregate fiberless reference concrete (BRB), Boron aggregate fiber reference concrete (BRLB), Boron aggregate fiberless powder concrete (BPB), Boron aggregate fiber powder concrete (BLPB). Samples removed from the molds; 28 Days 20°C Water Cure, 28 Days Air Cure, 3 Days Water + 2 Days 200°C Oven Cure (Combined cure) was applied. Pressure test, bending test, split tensile test, abrasion test, freeze and thaw test were applied to concrete samples after curing processes. In the experiments for the usability of boron material in concrete road pavements; Powder concretes meet the pressure and bending strength standards in all curing conditions. It has also been found to meet the standards in both cases, with or without fibers. For Stone Mastic Asphalt tests, aggregate samples; Determination of Shatter Resistance, Determination of Clay Ratio in Fine Aggregate, Resistance to Air Effects , Water Absorption Test, Saturated Surface Dry Unit Volume Weight tests were performed. As a result of the experiments, it was observed that the samples did not meet the physical and mechanical properties stated in the specification criteria in the Highway Technical Specifications . Thus, it has been determined that concrete cannot be used in the production of BSK (Bituminous Foundation, Binder, Abrasion, TMA), foundation, subbase, PMT, PMAT.

Keywords: Boron, Waste, Stone Mastic Asphalt, Concrete Road, Concrete Tests

TEŞEKKÜR

Yaptığım tez çalışmasın tüm aşamalarında benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ'a, Adabağ Yapı A.Ő laboratuar çalışanlarına, Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü çalışanı Gürkan Erdal'a, Eti Maden Genel Müdürlüğü'ne, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü çalışanlarına, Besim Gözeten'e, hocalarıma ve aileme desteklerinden dolayı Őükranlarımı sunarım.



ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler, nüfusun artması, yeraltı kaynaklarının mevcut durumu, yapı maliyetlerindeki artış, dışarıya olan bağımlılığın azaltılması gibi nedenlerden dolayı yeraltı kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu anlamda ülkemizde yüksek bir oranda bulunan bor atıklarının bir çok sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe’de kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılması gerekir. Çalışmamızda bor atıklarının, beton yollarda ve taş mastik asfaltlarda kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yürütülmüş ve olumlu katkılar sağlayacak sonuçlar elde edilmiştir.

Beton yol ile ilgili olarak ; Bor içerikli referans ve pudra türü betonlar, lifli ve lifsiz olarak üretilip, farklı kür durumları uygulanan numunelere basınç, eğilme, yarmada çekme, aşınma, donma ve çözülme deneyleri uygulanıp sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Taş mastik asfalt ile ilgili olarak ise agrega numunelerine; Parçalanma Direnci Tayini, İnce Agregada Kil Oranı Tespiti, Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık deneyi, Su Emme deneyi , Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık deneyleri yapıp sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1.Karayolu Yapısına Genel Bakış	2
1.2.Yol Üst Tipleri	3
1.2.1 Esnek Üst yapılar	3
1.2.2. Rijit (beton) üstyapılar	4
1.3. Kaynak Araştırması	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1.Taş Mastik Asfalt	9
2.1.1 Taş Mastik Asfalt Uygulama Alanları	14
2.1.2 Taş Mastik Asfaltın Olumlu ve Olumsuz Tarafları	14
2.1.2.1 Taş Mastik Asfaltın Olumlu Tarafları	14
2.1.2.2 Taş Mastik Asfaltın Olumsuz Tarafları	15
2.2.Beton Yol	16
2.2.1 Beton Yol Elemanları	16
2.2.2 Beton Yol Kullanım Alanları	17
2.3. Bor	17
2.3.1 Türkiye ve Dünya’da Bor Rezervi	18
2.3.2 Yaygın Olarak Bulunan Bor Türleri	19
2.3.2.1 Kolemanit	19
2.3.2.2 Tinkal	19
2.3.2.3 Üleksit	20
2.3.3. Bor Mineralinin Kullanım Alanları	20

2.4. Reaktif Pudra Beton (RPB).....	21
2.4.1. RPB Karışımında Kullanılan Malzemeler.....	21
2.4.3. Lifsiz Pudra Beton Karışım Oranları	22
2.4.4. İdeal lifsiz reaktif pudra beton karışım oranları.....	22
2.4.5. RPB Üretim Yöntemleri.....	23
2.5. Materyal	24
2.5.1. Agregalar	24
2.5.2. Bitüm.....	26
2.5.3 Elyaf	26
2.5.4 Süper Akışkanlatıcı.....	27
2.5.5 Çelik Lif	28
2.5.6. Silis Dumanı.....	29
2.5.7 Çimento	30
2.5.8. Mineral Filler.....	31
2.5.9. Su.....	32
2.6. Beton Tipleri	32
2.6.1. BRB (Bor Agregalı Lifsiz Referans Betonu)	34
2.6.1.1 BRB (Bor Agregalı Lifsiz Referans Betonu) İçindeki Malzemeler	34
2.6.1.2. BRB (Bor Agregalı Lifsiz Referans Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları	34
2.6.2. BRLB (Bor Agregalı Lifli Referans Betonu).....	35
2.6.2.1. BRLB (Bor Agregalı Lifli Referans Betonu) İçindeki Malzemeler	35
2.6.2.2. BRLB (Bor Agregalı Lifli Referans Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları	35
2.6.3. BPB (Bor Agregalı Lifsiz Pudra Betonu)	37
2.6.3.1. BPB (Bor Agregalı Lifsiz Pudra Betonu) İçindeki Malzemeler.....	37
2.6.3.2. BPB (Bor Agregalı Lifsiz Pudra Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları	37
2.6.4. BLPB (Bor Agregalı Lifli Pudra Betonu)	39
2.6.4.1. BLPB (Bor Agregalı Lifli Pudra Betonu) İçindeki Malzemeler	39
2.6.4.2. BLPB (Bor Agregalı Lifli Pudra Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları	39
2.6.5. Kür Çalışmaları	40
2.7. Deneyler.....	41
2.7.1. Taş Mastik Asfalt Kaba Agrega Deneyleri	41
2.7.1.1. Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp (TS EN 1097-2).....	41

2.7.1.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO ₄ ile kayıp), % (TS EN 1367-2)	42
2.7.1.3. İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su emme Deneyleri, (TS EN 1097-6).....	44
2.7.2. Taş Mastik Asfalt ince Agregada Deneyleri.....	46
2.7.2.1. İnce Agreganın Özgül Ağırlık Ve Su Emme Deneyleri, (TS EN 1097-6).....	46
2.7.2.2. Metilen Mavisi Deneyi (TS EN 933-9+A1).....	48
2.7.3. Taş Mastik Asfalt Agregada Elek Analizi Deneyi.....	50
2.7.4. Beton Deneyleri.....	52
2.7.4.1. Slump Deneyi (TS EN 12350-2)	52
2.7.4.2. Basınç Deneyi (TS EN 12390-3).....	54
2.7.4.3. Eğilme Deneyi (TS EN 12390-5)	54
2.7.4.4. Yarmada Çekme Deneyi (TS EN 12390-6).....	56
2.7.4.5. Böhme Aşınma Deneyi.....	57
2.7.4.6. Donma Çözülme Deneyi	59
2.7.4.7. Su Emme Deneyi	60
2.7.5. Taş Mastik Asfalt Bitüm Deneyleri	61
2.7.5.1. Penetrasyon deneyi.....	61
2.7.5.2. Parlama Noktası deneyi.....	62
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	63
3.1. Elek Analizi Sonucu	63
3.2. Slump Deneyi Sonucu	63
3.3. Basınç, Eğilme ve Yarmada Çekme Deney Sonuçları	64
3.3.1. BRB (Bor Referans Betonu) ve BRLB (Bor Referans Lifli Betonu) Basınç ve Eğilme Ortalama Deney Sonuçları	65
3.3.2. BPB (Bor Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Basınç-Eğilme-Yarmada Çekme Ortalama Deney Sonuçları.....	66
3.4. Aşınma ve Donma Çözülme Deney Sonuçları	67
3.4.1. BPB (Bor Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma Çözülme Ortalama Deney Sonuçları.....	67
3.5. Taş Mastik Asfalt Deney Sonuçları	70
3.5.1. Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%)	71
3.5.2. İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavisi Metodu ile) MB (%).....	71
3.5.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO ₄ İle Kayıp).....	72
3.5.4. Su Emme	72
3.5.5. Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi	72
3.6. Bitüm Deney Sonuçları.....	75

3.6.1. Penetrasyon Deney Sonucu	75
3.6.2. Parlama Noktası Deney Sonucu	75
4. SONUÇ	76
4.1. Sonuç Analizi	76
4.2. Öneriler	80
5. KAYNAKLAR	82
6. EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ	95



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. TMA Aşınma Gradasyonu ve Tolerans Sınırları.....	10
2.2. TMA Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları	11
2.3. TMA Kaba Agrega Özellikleri.....	11
2.4.TMA İnce Agrega Özellikleri.....	12
2.5. TMA Mineral Filler Gradasyon Limitleri	12
2.6. TMA İlave Mineral Fillerin Fiziksel Özellikleri	13
2.7. TMA Mineral Elyaf Özellikleri	13
2.8. TMA Selüloz Elyaf Özellikleri	13
2.9. RPB betonların çimentoya göre karışımın oranları Richard and Cheyreyz	22
2.10. İdeal lifsiz RPB 200 karışım oranları	23
2.11. İdeal lifsiz RPB karışım miktarları.....	23
2.12. Granular Kolemanit (Bigadiç Kolemanit) Bileşim Oranları	24
2.13. Bigadiç Kolemanit Bileşim ve İçerik Oranları	25
2.14. Selülozik Elyafın Teknik özellikleri	26
2.15. Süperakışkanlaştırıcının (Master Glenium-128) özellikleri	27
2.16. Çelik Lif Teknik Özellikleri	28
2.17.Silis Dumanı Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri	29
2.18. Silis Dumanı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	29
2.19. CEM I 42,5 R çimento kimyasal özellikleri	30
2.20. CEM I 42,5 R çimento fiziksel ve mekanik özellikleri	31
2.21. BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu) karışımına giren malzeme miktarları.....	34
2.22. BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu) karışımına giren malzeme miktarları	36
2.23. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) karışımına giren malzeme miktarları.....	37
2.24. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) karışımına giren malzeme miktarları	39
2.25. Elek Açıklıkları	56
3.1. Elek analizi sonuçları	63
3.2. Slump Deney Sonuçları	64
3.3. BRB (Bor Referans Lifsiz Betonu) ve BRLB (Bor Referans Lifli Betonu) Basınç-Eğilme-Yarmada Çekme Ortalama Deney Sonuçları.....	66

3.4. BPB (Bor Lifsiz Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Basınç-Eğilme-Yarmada Çekme Deney Ortalama Deney Sonuçları	67
3.5. BPB (Bor Lifsiz Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma-Çözülme Ortalama Deney Sonuçları	69
3.6. BPB (Bor Lifli Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma-Çözülme numuneleri için Su Emme Ortalama Deney Sonuçları	70
3.7.Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%).....	71
3.8.İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavisini Metodu ile) MB (%).....	71
3.9.Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO ₄ İle Kayıp)	72
3.10.Su Emme Deneyi	72
3.11.Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi	73
3.12.Taş Mastik Asfalt Agregada Deney Sonuçları	74
3.13.Penetrasyon Deney Sonucu	75
3.14.Parlama Noktası Deney Sonucu	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>SEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Tipik Karayolu En Kesiti.....	3
1.2. Esnek Kaplama Tabaka Gösterimi	4
1.3. Rijit kaplama tabakaları.....	4
2.1. TMA karışımının bileşenleri	9
2.2 Beton Yol Elemanları	16
2.3. Bor Elementinin Fiziksel ve Atomik Özellikleri	18
2.4. Türkiye’de Bor Elementinin Çıkarıldığı Yerler	18
2.5. Ülkelere Göre Toplam Bor Rezervi Dağılımı	19
2.6. Bor Tüketimin Nihai Kullanım Alanları	20
2.7. Kolemanit (3-25mm)	25
2.8. Kolemanit (0-3 mm)	25
2.9. Hiperzell Selülozik Elyaf	26
2.10. Süperakışkanlaştırıcı Master Glenium-128.....	27
2.11. Çelik Lif.....	28
2.12. Silis Dumanı	30
2.13. Portland Çimentosu (CEM I 42,5 R).....	31
2.14. Kolemanit Mineral Filler	32
2.15. Su.....	32
2.16. Kalıplara konulmuş bor agregalı beton numuneler	33
2.17. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifsiz referans beton numuneleri	35
2.18. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifli pudra beton numuneleri	36
2.19. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifsiz pudra beton basınç numuneleri.....	38
2.20. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifsiz pudra beton eğilme numuneleri	38
2.21. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifli pudra beton numuneleri	40
2.22. Etüv Kürü	40
2.23. Los Angeles Deney Aleti.....	41
2.24. Magnezyum Sülfat Deneyi için Sepet Örneği	43
2.25. Metilen mavisi deney aleti.....	49
2.26. Numune Eleme İşlemleri.....	51
2.27. Slump Ölçümü.....	53

2.28.Orta noktadan yüklemeli deney numunesi yükleme düzeneği	55
2.29. Böhme Aşınma Deney Aleti	58
2.30. Donma çözülme deney aleti	60
3.1. Slump Ölçümü.....	64
3.2. Basınç Deneyi.....	65
3.3. Basınç Deneyi Sonrası Numune Görüntüsü	65
3.4. Aşınma ve Donma çözülme deneyi için hazırlanan numuneler	68



SİMGELER DİZİNİ

A	Numunenin kesit alanı
Al_2O_3	Alüminyumoksit
B_2O_3	Boraksit
B	Bor
d_B	Desibel
F_{ctk}	Beton için eksenel çekme dayanımı
f_{cf}	Eğilme dayanımı
F	En büyük yük
F_{ck}	Beton için karakteristik silindir basınç dayanımı
M_1	İlk ağırlık
M_2	Sabit kuru ağırlık
MPa	Mega Paskal
σ_e	Beton için eğilmede çekme dayanımı
$\sigma_{\check{c}}$	Beton için yarmada çekme dayanımı
ρ_a	Görünür haldeki tane yoğunluğu
ρ_{rd}	Etüvde kurutulmuş haldeki tane yoğunluğu
ρ_{ssd}	Doygun ve yüzeyi kuru haldeki tane yoğunluğu
W/c	Su/çimento oranı
WA_{24}	Su emme oranı
Wa	Ağırlıkça su emme

KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
AC	Asfalt Çimentosu
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BRB	Bor agregalı lifsiz referans betonu
BRLB	Bor agregalı lifli referans betonu
BPB	Bor agregalı lifsiz pudra betonu
BLPB	Bor agregalı lifli pudra betonu
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
BYKTŞ	Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi
ÇYDB	Çok yüksek dayanımlı beton
LA	Los Angeles
MS	Kütlece Yüzde
MB	Metilen mavisi değeri
RPB	Reaktif Pudra Beton
TMA	Taş Mastik Asfalt
UYPB	Ultra yüksek performanslı beton
YDB	Yüksek dayanımlı beton

1. GİRİŞ

Fayda sağlamak amacıyla canlı ve cansız varlıkların güvenli ve hızlı bir şekilde bir yerden başka bir yere taşınmasına ulaşım denir. Ulaşımın güvenli, hızlı ve ekonomik olması önem arz etmektedir [1]. Türkiye’de ve dünyada nüfus, teknoloji ve sanayinin hızla gelişmesiyle birlikte bireylerin ihtiyaçları giderek artmıştır. Artan ihtiyaçların karşılanması için bireyler etkin ulaşım sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Türkiye’de ulaşım büyük bir oranda karayolu ile yapılmaktadır. Karayolunda sorunların oluşmaması için araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları yapılması yolların daha sağlam, uzun ömürlü ve bakım maliyetlerinin azaltılması bakımından yolların bu kriterlere göre tasarlanması önem arz etmektedir [2].

Tüm dünyada, yaşam standartlarının yükseltilmesi ve ekonomik kalkınma ile bağlantılı olarak artan trafik yoğunluğu, buna bağlı olarak yol yapım aşamasında ortaya çıkan üretim kusurları, eksik bakım, coğrafi, iklim ve hava koşullarının etkisi, yol kaplamalarında çökme vb. kusurlara yol açmaktadır. Bu koşullardan dolayı, karayollarının ömrü, kalitesi ve konfor düzeyi düşmekte, beklenen zamandan çok daha önce halihazır yollarda, bakım-onarım çalışmalarının planlanması ve yapılması elzem olmaktadır. Türkiye’de, ulaşımın yaklaşık %95’i gibi büyük bir kısmı karayollarından sağlanmakta ve karayolları hizmet ömrünü tamamlamadan bakım-onarım masrafları, yapım maliyetlerini ciddi oranda aşmaktadır. Bu da ülkemiz için ciddi bir ekonomik kayıp meydana getirmekte, bu kaybın önüne geçilebilmesi için kullanılan yol kaplama malzemelerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi önemlidir [3].

Son zamanlarda dünya genelinde oluşan atıkların değerlendirilmesi ekonomik ve çevresel faktörlerden dolayı büyük bir önem arz etmektedir. Ülkemizde yaklaşık 626 milyon ton bor rezervi ile toplam dünya bor rezervinin %52 sine sahip olup dünyada bor cevheri ve kimyasallarında en üst sıralarda yer almaktadır. Bor ile bor türevi imalatı esnasında oluşan bu atıklar önemli oranda boroksit içerdiğinden bu maddelerin yer altı sularına karışması olasılığı çevre sağlığı açısından ciddi anlamda sorun oluşturmaktadır. Bor atıklarının çevre sağlığı üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerini minimuma indirmek için yapılan bu çalışmaların çok maliyetli ve eksik olması bu atıkların değişik sektörlerde hammadde olarak kullanılması için çalışmaları hızlanmıştır [4].

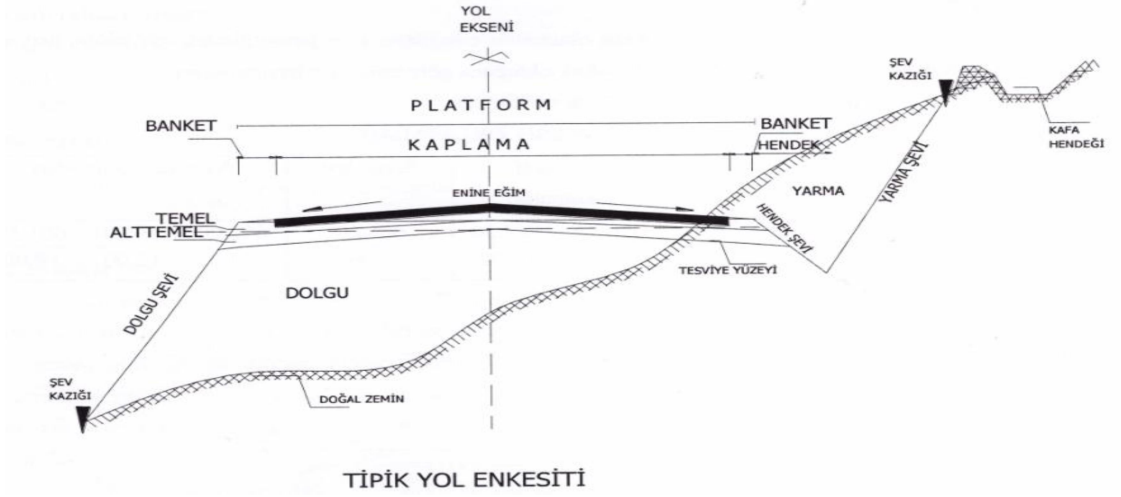
Teknolojik gelişmeler ile sanayileşmeye bağlı bir şekilde yaşanan hızlı şehirleşme ile nüfusun artması, dünyanın her yerinde görüldüğü gibi ülkemiz içinde alt yapı ihtiyacı ve buna bağlı olarak da hammaddeye olan ihtiyaç devamlı artmaktadır. Bundan dolayı elde bulunan

kaynakların etkili olarak kullanılması son zamanlarda üstünde en fazla durulan ve incelenen konular içinde ilk sıralarda yer almaktadır [31].

Asfalt kaplamasında kullanılmakta olan bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerini iyileştirebilmek için karışım gradasyonunu ile birlikte asfalt çimento oranını değiştirmek ve karışım veya bitüme katkı maddeleri eklemek ile olmaktadır. Taş mastik asfalt (TMA) bu temel yolların tümünü kapsamaktadır. Taş mastik asfaltta % 70-80 kaba agrega, % 8-14 filler, % 6-7 modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı, çok az miktarda ince agrega ve fiber malzemeden oluşturulur. Taş mastik asfalt karışımında kullanılan kaba agrega miktarı asfalt betonda kullanılan agregaya göre daha fazla miktarda aynı zamanda daha dayanıklıdır. Ayrıca filler oranı, yüksek asfalt içeriği ve üretim esnasında kullanılan elyaf taş mastik asfaltı, asfalt betonundan ayırmaktadır [42].

1.1.Karayolu Yapısına Genel Bakış

Karayolu yol yapıları altyapı ve üstyapı olmak üzere iki önemli yapıdan meydana gelir. Altyapı; dolgu ile kazı imalatları ve yol güzergâhını doğal zeminden, yolun geometrik yapısına uygun duruma getirme ve yolun uygun yerleri için gerekli sanat yapıları ile bu imalatı güçlendirme, destekleme ve drene edilmesi işlemleridir. Özetle altyapı yolun seçilen kesit tipine uygun hale getirilmesi işlemidir. Üstyapı ise hedeflenen taşıma gücüne ulaşıncaya kadar belli gradasyonlu agregalarla altyapıdan gelen yol yapısını desteklemek ile üstüne kaplam yapısının inşa edilmesi işlemidir. Üstyapı; alttemel, temel ile kaplama kısmından oluşmaktadır. Alttemel; üstündeki temeli taşımak amacıyla bitkisel tabakadan arındırılmış doğal zemin üstüne yerleştirilir. Hazırlanan tabakalar belli bir plastisite ve granülometreye sahip olmalıdır. Temel, alttemel ve kaplama tabakaları arasında bulunan ve belli fiziksel ve mekanik özelliklere göre yapılan tabakalardan oluşur. Temel tabakası üstüne gelen yükleri daha geniş bir yüzeye yayıp gerilmeleri azaltmak, kaplama tabakasını taşımak ve drene işlemini yapmak gibi 3 tane önem arz eden işlevi vardır. Kaplama tabakası en üstte bulunur. Trafik yükleri, yoğunluğu ve iklimsel koşulların sebep olduğu durumlara direkt olarak maruz kalırlar. Beton asfalt, beton veya betonarme yol, taş mastik asfalt, sathi kaplama, vb. şekilde yapılabilirler[5]. Tipik Karayolu En Kesiti Şekil 1.1'de gösterilmiştir [45].



Şekil 1.1. Tipik Karayolu En Kesiti

1.2. Yol Üst Tipleri

1.2.1 Esnek Üst yapılar

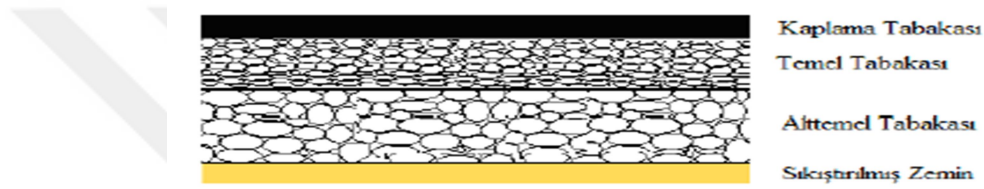
Esnek üstyapılar alt temel, temel ve kaplama tabakasından meydana gelir. Kaplama tabakası yüksek standartlara sahip yollarda binder ve aşınma tabakasından meydana gelen iki tabakalı halde bitümlü karışımlardan, düşük standartlara sahip yollar için ise tek veya çift kat sathi kaplama şeklinde yapılırlar. Esnek üstyapılar; düşük ve yüksek standartlı kaplamalar olmak üzere iki türde yapılmaktadır. Günlük ağır taşıt trafiği 500'den daha az olan yollar için düşük standartlı kaplamalar kullanılır. Yüksek standartlı yollarda BSK kaplama tabakaları ile yapılmaktadır[38].

Esnek üstyapılar rijit üstyapılara göre aşağıdaki gösterilen avantajlara sahiptir;

- Esnek yapılar, rijit yapılara göre inşaat süreleri daha kısadır.
- Bakım-onarım daha hızlı şekilde yapılır
- Bakım-onarımda işlerinde yolun tamamının trafiğe kapatılması sorunu yoktur.
- Beton gibi uzun süre kürde bekletilmez.
- Kademeli bir şekilde inşaat yapılabilir. Böylece trafik hacmi artarsa kaplama kalınlığı yükseltilebilir [38].

Esnek üst yapıların rijit üstyapılara göre dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

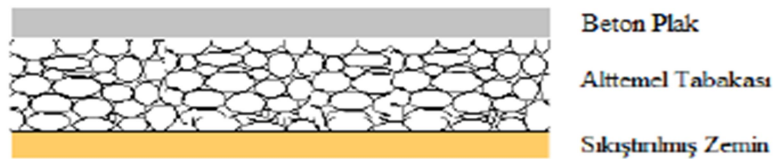
- Bakım masrafları daha yüksektir.
- Kaplama yorulma dayanımları daha düşüktür.
- Asfalt çimentosu petrol bazlı olduğundan dışa bağımlı bir malzemedir.
- Asfalt kaplamalar, beton kaplamalara kıyasla daha kısa bir sürede bozulur.
- Esnek kaplamaların inşaat sezonu mevsimden dolayı beton kaplamalara göre kısadır.
- Asfalt kaplamalarda gece görüşü iyi değildir.
- Aşınma tabakası devamlı bakım ve onarım ister [38]. Esnek kaplama tabaka gösterimi Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Esnek Kaplama Tabaka Gösterimi

1.2.2. Rijit (beton) üstyapılar

Rijit üstyapı; beton plak ile alt temel tabakasından meydana gelen bir üstyapı tipidir. Beton kaplamalar trafik yükleri dolayısıyla meydana gelen gerilmelere karşı koymak ve trafik yüklerini zemine aktarmak için ağır taşıt trafiğinin bulunduğu yerlerde yapılırlar. Beton kaplamalar sürekli donatılı, kısmen donatılı, donatısız ve ön germeli şeklinde yapılabilirler. Beton kaplamalar zeminde don kabarması, büzülme ve şişmelere karşı koymak, kaplama altı drenajı yapmak, taşıma gücünü artırmak, ağır taşıtların ortaya çıkardığı pompaj etkisini engellemek ve beton plak için düzgün bir yüzey oluşturmak amaçlı beton plağın altına alt temel yapılmaktadır[38]. Rijit kaplama tabakaları Şekil 1.3'de görülmektedir [38].



Şekil 1.3. Rijit kaplama tabakaları

1.3. Kaynak Araştırması

Şinoforoğlu (2019) çalışmasında, TMA'nın mühendislik özelliklerini iyileştirebilmek için 50/70 penetrasyonlu bitüm içene; 3 farklı boyutta bor (üleksit) minerallerini (-25µm, -45µm ve -75µm) değişik oranlarda karıştırarak KTŞ sınır değerleri içinde en uygun oranın %7.5 olduğunu belirlemiştir. Marshall stabilite ile süzülme deneyleri sonucunda %7,5 oranına en uygun üleksit bor minerali boyutunun 25µm elek altı (-25µm) olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (2016) çalışmasında, Yeni bir bor içeriğe sahip organik katkı maddesini laboratuvar koşullarında kimyasal olarak sentezleyip asfalt üstündeki performans özelliklerini incelemiştir. Deney sonuçları ile, katkının asfalt kıvamını, yaşlanma direnci ile tekerlek izini , adezyon özelliği ile esnekliği, yükü yayma kabiliyeti ile yorulma zamanını arttırdığı, sıcaklık duyarlılığı ve düşük sıcaklıklarda çatlama miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Deneyler sonucu ulaşılan verilerin analiz sonuçları bu bulguları desteklemektedir. %6 katkı oranının asfaltın performans özelliklerine en iyi etki eden katkı oranı olduğu belirtilmiştir.

Kadioğlu (2020) çalışmasında, Beton yolların asfalt yollara göre dayanım, dayanıklılık ile maliyet yönünden karşılaştırmıştır. Yol kaplamalarından karot numuneleri alınarak, laboratuvar da deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre beton numuneler şartname limitlerini sağlamakta iken, asfalt numuneleri sağlayamamıştır. Asfaltın, betona göre ortalama birim maliyetinin %13,4 daha fazla olduğu görülmüştür. 1 kmyol için, Asfalt ile beton yol tasarımlarına göre, asfalt yolun beton yola kıyasla ilk yapım maliyeti %37,65, 20 yıllık maliyetleri ise %160 oranında daha çok olduğu belirtilmiştir.

Şanlıer ve Pamuk (2017) çalışmasında, 6 farklı TMA karışım dizaynı hazırlanıp bu karışımlara performans deneyleri uygulanmış ve sonuç olarak; ülkemizde yük taşımacılığının yaklaşık % 90'ının karayolu üstünde yapıldığı, ayrıca ağır taşıt trafiğinin çok olduğu ve diğer gelişmiş ülkeler ile karşılaştırılamayacak kadar aşırı yüklemeler sonucunda 'tekerlek izinde oturma' biçiminde bozulma türünün yaygın bir şekilde görüldüğü dikkate alındığında, yollarımızda meydana gelecek tekerlek izinde oturma (TİO) biçimindeki bozulmaları geciktirecek TMA karışımların kullanımı gerekli olduğu belirtilmiştir.

Gür (2016) çalışmasında, Polimer modifikasyonu yerine daha ekonomik olacak öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu ile bir ılık karışım katkısı olan FT-parafinin (Sasobit) bitüm ile taş mastik asfalt karışımının özellikleri üstündeki etkisi araştırmıştır. Sonuç olarak CR ile beraber kullanılan parafinin performansına da katkı sağladığı, mekanik özellikler bakımından CR ile uyumlu olduğu ve sitiren-butadien-stiren modifikasyonuna alternatif olacağı belirtilmiştir.

İzol (2020) çalışmasında, taş mastik asfalt karışımı içine mineral filler olarak ülkemizde atık şeklinde bol miktarda bulunan mermer tozu kullanılmıştır. Bunla beraber karşılaştırma yapmak amacı ile mineral filler olarak bazalt ile kalker agregaları kullanılmıştır. Kaba ile ince agrega olarak bazalt tercih edilmiştir. %5.5-6.5-7-7.5 bitüm içeriğine sahip toplam 45 numune imal edilmiş ve Marshall stabilite deneyi uygulanmıştır. Daha sonra indirekt çekme mukavemeti deneyi yapılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakılınca mermer tozunun taş mastik asfalt içinde alternatif filler malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Altan (2018) çalışmasında, taş mastik asfaltta elektrik ark fırını cürufunun agrega olarak kullanılabilirliği incelemiş ve doğal agrega ile karşılaştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, EAO cürufunun, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde doğal agrega için verilen limit değerlerini karşıladığı görülmüş ve elektrik ark fırını cüruflarının, yapay agrega olarak taş mastik asfalt kaplamasında kullanımının uygun olabileceği belirtilmiştir.

Süme (2016) çalışmasında, kentsel dönüşüm sonucu oluşacak inşaat yığıntılarının geri dönüşümü yapılarak beton yol kaplamasında kullanılabilirliği incelenmiştir. %100 temizlenen geri dönüşüm agrega, %100 normal agrega ile geri dönüşüm agregasının beton karışımlarına ağırlıkça %20, 40, 60, 80 oranında ilave edilerek imal edilen beton kiriş ile küp numuneleri, laboratuarda test edilerek, eğilme çekme ile basınç dayanımları bulunmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Geri dönüşüm agregalarının kullanım oranı artınca beton basınç dayanımının arttığı, eğilme çekme dayanımının ise inişli çıkışlı bir grafik çizdiği, %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası ile imal edilen betonun eğilme çekme ile basınç dayanımı diğer üretilen deney grupları içinde maksimum sonucu verdiği ve beton yol kaplamalarında kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

Bakiş (2015) çalışmasında, Reaktif Pudra Betonun (RPB) rijit üstyapı kaplama inşasında kullanılabilirliğini araştırmıştır. RPB numunelere standart su kürü, etüv kürü, otoklav kürü ve değişik kombine kür tipleri uygulanarak lifli ve lifsiz RPB üretilmiştir. RPB'ların en yüksek basınç dayanımı otoklav kürü sonrası 171 MPa, en yüksek eğilme dayanımı otoklav kürü sonrası 11,34 MPa bulunmuştur. Sanayi atık lifli RPB'un en yüksek basınç dayanımı 125 MPa; en yüksek eğilme dayanımı 15,04 MPa bulunmuştur. Çimento ile ikameli kullanılan ATT ve kireç içerikli RPB'un ise en yüksek basınç dayanımı 124,99 MPa; en yüksek eğilme dayanımı 10,98 MPa bulunmuştur. Sonuçlara göre, RPB üretiminde karışımda kullanılan çelik lif maliyeti %78,16 oranında, çimento maliyeti ise %50 oranında azaltılarak RPB üretim maliyeti düşürülmüştür. İmalat gideri olarak, en ekonomik RPB kaplamalı üstyapı maliyeti, Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamalı esnek üstyapı maliyetinden %42,64; C30/37 sınıfı normal dayanımlı rijit üstyapı maliyetinden ise %38,21 daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Şengül (2011) çalışmasında, Yurt dışında asfalt kaplamalarında yaygın olarak kullanılan SMA (Stone Mastik Asfalt) karışımları incelemiştir. Katkı olarak kullanılan sönmüş kirecin yol kaplamasının performans özelliklerine olan etkisi SBS (Kraton-D) ile Elyaf (Viatop-66) katkı maddeleri ile birlikte incelemiştir. Agrega özellikleri belirtildikten ve sönmüş kireç ile agrega etkileşimleri incelendikten sonra yapılan sönmüş kireç ilavesinde, ulaşılabilir ve ekonomik olması açısından avantajlı olan bu katkı maddesinin SMA karışımlarına yararlar sağlayacağı ifade edilmiştir.

Avcı (2009) çalışmasında, Bitümlü kaplamalarda sıcak iklim koşullarından dolayı kaynaklanan bozulmalar; tekerlek izi, kuma, çatlaklar ve şekil değiştirme biçiminde meydana gelmektedir. Tekrarlı indirekt çekme yükleme deney aleti ile asfalt ve agrega karışımlarının yorulma davranışı ve plastik deformasyonu ile ilgili deneyler yapılmıştır. Yol üstyapı analitik tasarımında görülen iki bozulma türü vardır: Plastik deformasyon ile yorulma. Yorulma bozulması, tekrarlı trafik yükleri altında meydana gelen çekme gerilmelerinin ortaya çıkardığı bir sonuçtur. Plastik deformasyon ise tekrarlı yüklemeler sonucunda meydana gelen kalıcı deformasyonların birikerek toplam plastik deformasyonların belli bir kritik değeri aşmasının sonucudur. Plastik deformasyonun artması ile beraber yolda tekerlek izi meydana geleceği belirtilmiştir.

Selman (2015) çalışmasında, bor atıkları (Tinkal) öğütme ve kurutma işlemine tabi daha sonra 200 nolu eleğin altında kalan miktarın BSK'da filler malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağını araştırmıştır. Ağırlıkça % (4 – 5 – 6 – 8) oranlarında filler kullanılarak BSK numuneleri hazırlanmıştır. Bunun yanında bulunan sonuçları karşılaştırabilmek amacıyla % 6 kireçtaşı ağırlıklı ilave mineral filler ve BSK numuneleri üretilmiştir. Laboratuarda yapılan bir dizi deney sonucunda; bor atığı filler malzemesinin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılıp kullanılmayacağı incelenmiş ve BSK kaplamalarının aşınma tabakasında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Aslan (2018) çalışmasında, taş mastik asfalt (TMA) üretiminde; pomza, Ahlat taşı ve perlitin kullanılabilirliği araştırmıştır. TMA üretimi ön çalışmasında; pomza, Ahlat taşı ile perlitte Los Angeles aşınma testi uygulanmıştır. Aşınma kaybı oranı, pomza için % 73, Ahlat taşı için % 78 ve perlit için % 67 bulunmuş ve pomza, Ahlat taşı ile perlit, TMA imalatında iri agrega olarak kullanılmayacağı belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, TMA imalatında; pomza, Ahlat taşı ile perlitin filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu aşamada 4 farklı tip TMA imalatı yapılmıştır. Bazalt ile TMA üretiminde; karışım içinde iri agrega, ince agrega ile filler olarak bazalt kullanılmıştır. Bazalt ile TMA stabilite değeri 979 kg, akma değeri 2,88 mm bulunmuştur. Pomza ile TMA stabilite değeri 940 kg, akma değeri 3,24 mm bulunmuştur. Ahlat taşı ile TMA

stabilite değeri 965 kg, akma değeri 3,20 mm bulunmuştur. Perlit ile TMA stabilite değeri 937 kg, akma değeri 3,19 mm bulunmuştur. Çalışma sonucunda bu değerler, TMA şartname limitleri için yeterli olduğu belirtilmiştir.

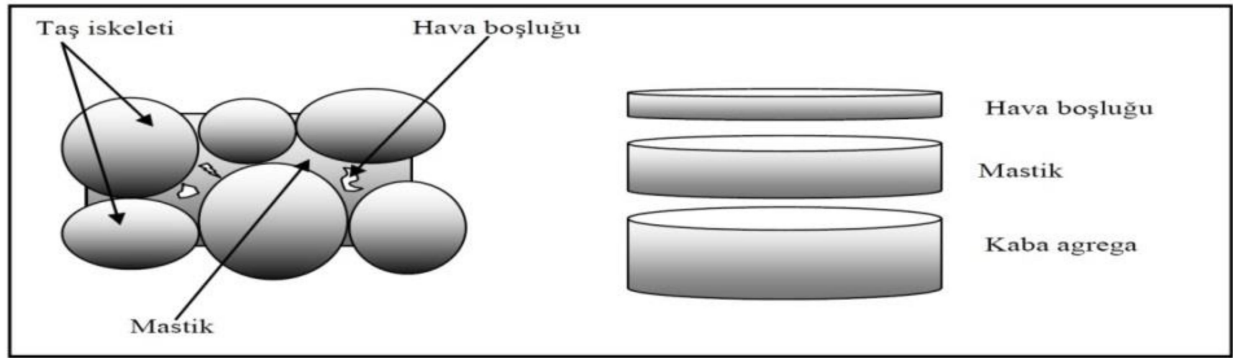
Güner (2019) çalışmasında, kolemanit gibi çok miktarda yer altı kaynağına sahip olduğumuz minerallerin beton imalatında kullanılması ve beton dayanımı ve dayanıklılığı üstündeki etkileri incelenmiş. Kolemanit katkısı ile beraber betonun basınç dayanımında belirli bir orana(%50) kadar iyileşme olduğu belirtilmiştir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Taş Mastik Asfalt

Bitümlü sıcak karışım türlerinden olan TMA, uygun büyüklükteki kaba agregadan oluşan ve yük aktarımını sağlayan iskelet yapı ile taş mastik harç ve hava boşluklarından oluşur. Taş mastik asfalt karışımının ikinci bileşeni ise ince agregaya, stabilizör, filler ve bitümlü bağlayıcıdan meydana gelir. Yeterli miktarda ve özellikle fillerin kullanılması işlenebilirliğin; bağlayıcı madde kullanımı, karışımın dayanımının artmasına sebep olur. İnce agreganın kullanılması ana nedeni, kaba agreganın daneleri arasında bulunan boşlukları doldurmak, diğer bir nedeni olarak kaba agreganın danelerinin arasındaki etkileşime katkı sağlamaktır. Taş mastik asfalt karışımlarında, klasik asfalt karışımlarına göre daha yüksek oranda bitümlü bağlayıcı kullanılması sebebiyle, depolama-nakil-serme-sıkıştırma işlemleri esnasında bitüm malzemesinin süzülmesini önlemek amaçlı stabilizör (polimer, fiber vb.) kullanılır.[6] TMA karışımının bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. TMA karışımının bileşenleri

Taş Mastik Asfaltın genel yapısı;

- Kaba Agregaya %70-80
- İnce Agregaya %20-30
- Bitüm %6-7

- Selülozik elyaf [9]

TMA'da kullanılan agregalar Çizelge 2.1'de belirtilen limitlere uygun olmalıdır. Agregalar sağlam, temiz daneli kırmataş, kırma çakıl veya bu malzemelerin birleşiminden oluşmalıdır. Agregada kil toprakları, organik madde ve karışıma zarar verecek maddeler içermemelidir. Taş mastik asfaltı oluşturacak agregalar, içinde filler'inde bulunduğu en az dört farklı dane grubunun belirli oranlara göre karıştırılması sonucu oluşur. Agregada bitümlü malzeme ile karışınca üniform bir hal alır [7]. TMA Aşınma Gradasyonu ve Tolerans Sınırları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.1. TMA Aşınma Gradasyonu ve Tolerans Sınırları

Elek Boyutu		TMA TİP-1		TMA TİP-2	Tolerans Limitleri
		A	B		
in, No	mm	Geçen %	Geçen %	Geçen %	%
3/4"	19,0	100	100		
1/2"	12,5	90-100	90-100	100	± 4
3/8"	9,5	50-75	50-67	90-100	± 4
No.4	4,75	25-40	25-35	25-45	± 3
No.10	2,00	20-30	20-30	20-30	± 3
No.40	0,425	12-22	12-22	12-22	± 3
No.80	0,180	9-17	9-17	9-17	± 3
No.200	0,075	8-12	8-12	8-12	± 2

TMA Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları Çizelge 2.2’de gösterilmiştir[7].

Çizelge 2.2. TMA Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları

Elek Boyutu		TMA Binder	Tolerans Limitleri
in, No	mm	Geçen %	%
1”	25,0	100	
3/4”	19,0	92 - 100	± 4
1/2”	12,5	73 - 83	± 4
3/8”	9,5	56 - 66	± 4
No.4	4,75	32 - 42	± 3
No.10	2,00	25 - 30	± 3
No.40	0,425	14 - 20	± 3
No.80	0,180	9 - 15	± 3
No.200	0,075	7 - 11	± 2

4 nolu elek üzerinde kalan malzeme kaba agrega olarak tanımlanır. Taş mastik asfalt aşınma tabakası karışımları içindeki kaba agrega sağlam, dayanıklı ve yüksek kaliteli magmatik kayaların kırma işlemi sonucu oluşan agrega olmalıdır. Kaba agregaların tüm yüzeyleri kırılmış olmalıdır . TMA Kaba Agrega Özellikleri Çizelge 2.3’te gösterilmiştir[7].

Çizelge 2.3. TMA Kaba Agrega Özellikleri

Deney	Şartname Limitleri ^c	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 25 (LA ₂₅)	TS EN 1097-2 ^a AASHTO T 96
Aşınma Direnci (Micro-Deval) ^b , % Kayıp	≤ 20 (M _{DE} 20)	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp), %	≤ 14 (MS ₁₄)	TS EN 1367-2
Yassılık İndeksi, %	≤ 25	BS 812
	≤ 20 (FI ₂₀)	TS EN 933-3 ^a
Cilalanma Değeri, %	≥ 50 (PSV ₅₀) ≥ 40 (PSV ₄₀) binder için	TS EN 1097-8
Kırılmışlık, ağırlıkça, % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak)	≥ 100 - ≤ 0 (C ₁₀₀₀)	TS EN 933-5
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), % (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	TS EN 12697-11 (Kısım403 EK-A)
Su Emme, %	≤ 2,0 (WA ₂₄)	TS EN 1097-6
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, %	Bulunmayacak	ASTM C 142 AASHTO T 112
^a Referans metot.		
^b Gerek görüldüğünde yapılacaktır.		
^c Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043 ‘deki sınıfını gösterir.		

4 nolu elek üzerinden geçen malzeme İnce agregaya olarak tanımlanır. Taş Mastik Asfalt içindeki ince agregaya sağlam, dayanıklı kırma çakıl, kırmataş veya bu ikisinin karışımından oluşmalıdır. İnce agregaya zararlı madde içermemelidir. İnce agregaya ve kaba agregaya aynı ocaktan temin edilmeli ve Çizelge 2.4' te belirlenen şartlara uygun olmalıdır [7].

TMA İnce Agregaya Özellikleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. TMA İnce Agregaya Özellikleri

Deney		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Plastisite İndeksi		N.P.	TS-1900-1
Organik Madde, %		Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Su Emme, %		$\leq 2,0$ (WA ₂₄)	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi, g/kg	İnce agreganın 0/2 mm kısmına	$\leq 1,5$ (MB _{1,5}) $\leq 3,0$ (MB _{3,0})*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	$\leq 3,0$ (MB _{3,0})*	
* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Karışım gradasyonu için gerekli olursa agregaya içine mineral filler eklenebilir. Eklenen mineral filler olarak sönmüş kireç veya taş tozları kullanılır. Mineral filler malzemesi tamamen kuru olmalı kil, organik madde ,topak ve başka zararlı madde içermemelidir. TMA Mineral Filler Gradasyon Limitleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir[7].

Çizelge 2.5. TMA Mineral Filler Gradasyon Limitleri

Elek Boyu		Geçen %
in, No	mm	
No.40	0,425	100
No.80	0,180	85-100
No.200	0,075	70-100

TMA İlave Mineral Fillerin Fiziksel Özellikleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.6. TMA İlave Mineral Fillerin Fiziksel Özellikleri

Deney	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Plastisite İndeksi	N.P.	TS-1900-1

TMA mineral elyaf ve selüloz elyaf özellikleri Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'da belirtilen şartlara uygun olmalıdır. TMA Mineral Elyaf Özellikleri Çizelge 2.7'de gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.7. TMA Mineral Elyaf Özellikleri

Fiber Uzunluğu (maksimum)	6 mm
No.40 (0,425 mm) elekten geçen	% 95 (min.)
No.200 (0,075 mm) elekten geçen	% 65 (min.)

TMA Selüloz Elyaf Özellikleri Çizelge 2.8'de gösterilmiştir [7].

Çizelge 2.8. TMA Selüloz Elyaf Özellikleri

Kül Muhtevası PH Yağ Absorbsiyonu Nem Absorbsiyonu	% 18 ± % 5 7,5 ± % 1 Elyaf Ağırlığının 5 ± 1 katı Ağırlıkça % 5
---	--

2.1.1 Taş Mastik Asfalt Uygulama Alanları

Taş Mastik Asfalt tüm yüzey tabakalarında uygulanabilir. Ancak anayol projelerinde daha çok uygulanmaktadır. TMA, asfalt betonuna kıyasla daha maliyetli olmasına rağmen, proje ömrü ve maliyeti açısından daha uygundur. TMA yol ve anayol üstyapıları projelerinde daha çok uygulanmakta ve kabul görmektedir. TMA türünü seçerken maksimum dane boyutunu küçük seçmek uygundur. Maksimum dane boyutu aralığı 5-8 mm ile 11 mm seçme nedenleri aşağıda özetlenmiştir [8].

- Birim maliyet kalınlıktan dolayı daha azdır.
- Trafik yükü altında az gürültü gözlenmektedir.
- Kayma direnci diğerlerine göre daha iyidir.
- Dane boyutunun büyük olması nedeniyle daha kalın bir yüzey tabakası ve akabinde daha maliyetli olmaktadır. Dane boyutunun büyük olması ayrıca daha fazla gürültü oluşturmaya neden olmaktadır [8].

Son zamanlarda TMA kaplamaları havaalanlarında kullanımı yaygınlaşmıştır. Örnek verecek olursak, Fraport Havaalanında yılda TMA kaplaması ile 200.000' den fazla uçak başarılı bir şekilde kalkış-iniş gerçekleştirmektedir[8].

Türkiye'de 1999 yılından itibaren TMA kaplamalar kullanılmaktadır. 1999 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü' nün yapmış olduğu ön çalışmalar sonucunda TMA başarılı sonuçlar vermiştir. İlk zamanlarda yüksek maliyet ve ürünün temin edilmesindeki zorluklar birim maliyetlerin yüksek olması gibi sorunlar meydana getirmiş ve yaygın olarak kullanılmasına engel olmuştur [9].

2.1.2 Taş Mastik Asfaltın Olumlu ve Olumsuz Tarafları

2.1.2.1 Taş Mastik Asfaltın Olumlu Tarafları

TMA barındırdığı yüksek dayanımı nedeniyle hizmet ömrü sıcak karışım asfalta göre daha uzundur. TMA'nın üstün taraflarını sıralarsak;

- **Yüksek kayma direnci:** Kaba agreganın yüzey dokusunun boşluklu cilalanma direncinin yüksek olması sonucu yüksek kayma direnci elde edilir. TMA yüzeyleri yüksek sürtünme direncine sahiptir. Asfalta göre daha kalın bağlayıcı filmi oluşturmaktadır. İlk aylarda

kayma direnci daha düşük sonra asfaltın aşınmasıyla üstündeki film tabakası azalmaktadır.

- **Üstyapı Performansı:** TMA taşın taşa temas etmesi ve akabinde bağlayıcı harcının eklenmesi ile dayanımın artması prensibine dayamaktadır. Bu hedefler kesik, parçalı daneli agrega, elyaf ile polimer bazlı yüksek oranlı bağlayıcı karışım ile oluşturulmaktadır. TMA tabakası yapıda aşınma ve kalıcı bozunmalara daha fazla dirençli, dayanımlı, geçirimsiz ve homojen olması sebebiyle daha kaliteli bir aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır. TMA'da kullanılan kırmataş agregası boşluklu yapıya sahip olduğundan diğer karışımlara oranla içsel kilitlenme direnci daha fazla olmakta ve tekerlek izi sonucu oluşan aşınmalara karşı daha sağlam bir yapıda olmaktadır. Klasik aşınma tabakalarına kıyasla içeriğinde fazla oranda asfalt olması sebebiyle daha kalın bir film tabakası oluşmakta ve agrega boşlukları fazla miktarda bağlayıcı madde ile dolmasına bağlı olarak dayanımı artmaktadır.
- **Görünürlük:** TMA yüzeyi daha yoğun dane yapısına sahip olduğundan daha fazla su tutar ve görünürlüğü diğerlerine nazaran daha fazladır.
- **Gürültü düzeyinin düşük olması:** TMA kaplamaları diğer kaplamalara göre yüzey pürüzlülüğü biraz fazla olsa da yapılan ölçümler sonucu gürültü seviyesinin 2 ile 5 dB kadar azaldığı belirlenmiştir
- **Çevresel faydaları:** Uzun hizmet ömrü nedeniyle bakım ihtiyaçlarının azalması, uzun vadede yolun daha az trafiğe kapanmasına bağlı olarak hava kirliliği azalmakta ayrıca gürültü kirliliği azalmaktadır. Sürüş konforu ve güvenliği artmaktadır [10].

2.1.2.2 Taş Mastik Asfaltın Olumsuz Tarafları

Kendine özgü karışım oranları nedeniyle nakliye, üretim, serme vb. konulardan dolayı olumsuz tarafları vardır. Yüksek oranlı bağlayıcı fillerden dolayı maliyeti yüksektir, fazladan eklenen filler sebebiyle de plent verimliliği düşüktür. 40°C'ye kadar soğuma olmadan trafiğe açılmaması gerektiğinden yolun trafiğe açılma süreci uzayacaktır. Üretim, nakliye ve serme işlemlerinde bitümün süzülmesine neden olabilir bu önlemek için elyaf kullanılır ve buna bağlı daha fazla operasyonel sorunlar ortaya çıkabilir. TMA geleneksel karışımlara göre daha sert ve işlenebilirliği daha düşük ayrıca çok sıcak bitümlü karışımdır (karışım sıcaklığı 170-190°C) [10].

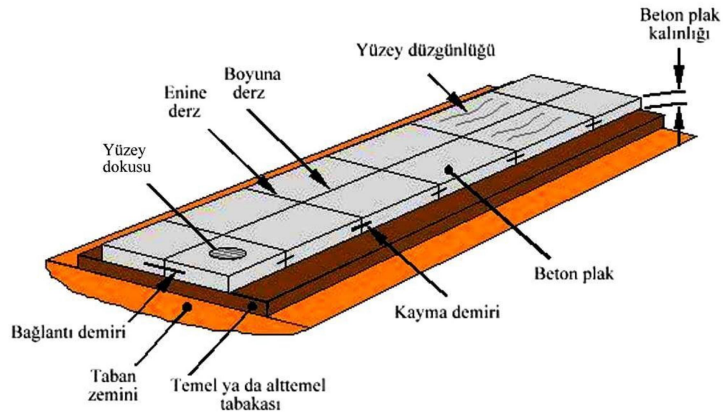
2.2.Beton Yol

Çimento katkılı beton ile oluşturulan rijit üst yapı tabakasına sahip yollara beton yol denir. Bu yolların avantajları, bakım onarım gerektirmeden uzun yıllar kullanılabilmesi ve her türlü iklim koşulları ve mevsimsel şartlarında yapılabilmesidir. Beton yollar esnek üstyapıya nazaran betonun rijit olmasından dolayı yapısal ömrü daha uzundur [11].

En basit haliyle beton kaplama, çimento, agrega, kum ve sudan yapılmış ekstrüde bir beton levhadır. Beton teknolojisi ilerledikçe, beton özelliklerini geliştirmek için harmanlanmış çimentolar veya ikincil çimento esaslı malzemelerin eklenmesi kullanılmıştır. Ağır yüklerin üstesinden gelmek için, hem dayanıklılığı hem de mukavemeti artırmak için - çelik ve plastik elyaflar dahil - takviye malzemeleri kullanılmıştır. Üretim verimliliğini artırabilen ve / veya istenen performans özelliklerini veren kimyasal katkı maddeleri de giderek daha fazla kullanılmaktadır. Agregalar artık sadece kaya değil, doğal taş, insan yapımı malzemeler veya geri dönüştürülmüş beton malzemeler olabilir [12].

2.2.1 Beton Yol Elemanları

Beton yollar birçok aşamadan geçtikten sonra imal edilmektedir. Beton yol yapısı değişik elemanlardan oluşmaktadır. Bu farklı elemanların birleşmesi sonucu beton yol yapısı oluşur. Beton yollar taban zemin tabakası, kaplama altı tabaka, derz ve beton plak olarak sıralanabilir. Beton yol elemanları Şekil 2.2’de gösterilmiştir [13].



Şekil 2.2 Beton Yol Elemanları

2.2.2 Beton Yol Kullanım Alanları

Günümüzde beton yollar, petrol fiyatlarındaki artış nedeniyle diğer asfalt yollar ile mücadele edebilecek seviyeye gelmiştir. Hizmet süresinin asfalt yola kıyasla daha uzun olması ve bakım onarım giderlerinin daha düşük olması beton yolları ekonomik kılmaktadır. Ayrıca beton yolun ülke kaynakları kullanılarak üretilmesi, asfalt yola göre daha fazla trafik yükünü taşıması, açık renkli bir yapıda olması nedeniyle gece görüş mesafesinde artış sağlaması, akşam vakitlerinde yolun aydınlatılması için lazım olan ışığın asfalta göre az olması sebebiyle elektrik kullanımında tasarruf olması, tekerlerin asfalt yollarda olduğu gibi yol içine batmaması nedeniyle yakıt tüketiminin azlığı nedeniyle CO2 salınım miktarını düşürmesi beton yolun daha çevreci ekonomik ve teknik yönden daha uygun bir tercih olduğunu göstermektedir[14].

Avrupa'da beton yol çalışmaları geçtiğimiz yüzyıl başlarından başlayarak, Almanya'da 1930'lardan, Belçika'da 1920' li yıllardan itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Belçika'da şanköy yollarının %60'ı betondur. Fransa'ya bakarsak eski yolların yenilenmesinde beton yollara geçildiği görülmektedir. Avusturya'da köklü bir beton yol yapım geleneğine sahiptir. Genel olarak Avrupada, trafik yükünün fazla olduğu, yollarda çivili lastik veya zincir kullanılması gereken kesimlerde beton yol kullanılmaktadır. ABD'nin değişik eyaletlerinde değişik kullanım oranları görülmekle beraber genelde trafik yoğunluğunun fazla ve ağır trafik yüküne uğrayan yollarda beton yol tercih edilir. Büyük kentlerde çevre yollarının beton kaplama miktarı %90'lara yaklaştığı görülmektedir. Güney Afrika Cumhuriyeti'nde bulunan yolların bir bölümü betondur. Japonya Çin ve Asya ülkelerinde beton yol imalatı yapılmaktadır. Hindistan'da yaklaşık 1300 km kadar beton yol bulunmakla birlikte yapılması planlanan yollarda beton kaplama tercih edilmektedir. Ayrıca son zamanlarda Azerbaycan' da asfalt yol olarak planlanan yolların çoğu beton yola dönüştürülecektir [14].Beton yollar; havaalanları, caddeler ve anayollarda, endüstri içi yollar ve ticari yollarda genellikle kullanılır [12].

2.3. Bor

Bor, yer kabuğunda bol miktarda görülen, periyodik tabloda 3A grubunda bulunan ve B simgesiyle gösterilen atom ağırlığı 10,81, atom numarası 5 olan 51. elementtir. 1808 yılında saf bor elementi ilk kez elde edilmiştir. Yarı metal element olan (ametal) metal ve metal olmayan element özellikleri taşır. Doğada serbest olarak bulunmaz. Bor mineralinin doğada tahmini olarak 230 kadar çeşidinin olduğu bilinmektedir. Özelliklerinin çokluğu nedeniyle yeni kullanım

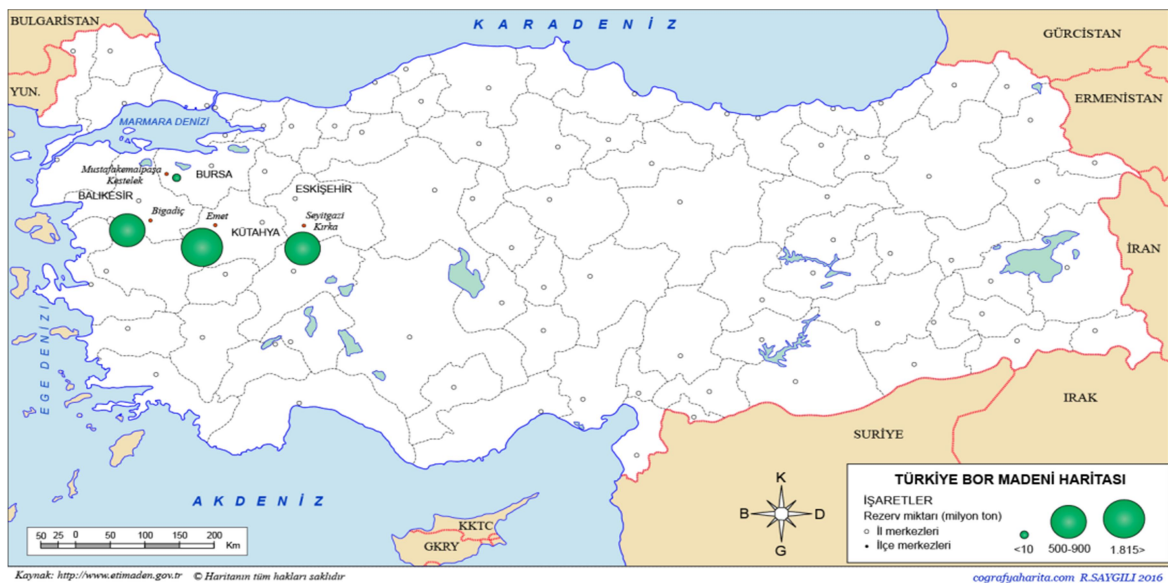
alanları bulunmaya devam etmektedir. Borun son zamanlarda insan ve hayvan sağlığı, tarım ve enerji sektöründe kullanımına yönelik araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir [15,16]. Bor Elementinin Fiziksel ve Atomik Özellikleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir[15].

Borun fiziksel özellikleri		Atomik özellikleri	
Tabiattaki hali	Katı	Kristal yapı	Rombohedral
Yoğunluk (oda sıcaklığında)	2.34 g/cm ³	Oksidasyon şartı	3
Ergime noktasındaki sıvı yoğunluğu	2.08 g/cm ³	Elektronegatiflik	2.04
Ergime noktası	2349 K (2076°C, 3769°F)	İyonizasyon enerjisi	1.: 800.6 kJ/mol 2.: 2427.1 kJ/mol 3.: 3659.7 kJ/mol
Kaynama noktası	4200 K (3927°C, 7101°F)	Atomik radyus	85 pm
Füzyon sıcaklığı	50.2 kJ/mol	Kovalent radyus	82 pm
Buharlaşma sıcaklığı	480 kJ/mol		

Şekil 2.3. Bor Elementinin Fiziksel ve Atomik Özellikleri

2.3.1 Türkiye ve Dünya'da Bor Rezervi

Türkiye bor rezervi ve kalitesi açısından dünyada ilk sırada yer almaktadır. Buna bağlı olarak bor üretimini dünyada en fazla miktarda yapan ülkedir. Fakat iç piyasada bor ürünlerine talep, beklenenin oldukça altındadır. Ülkemizde Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nce bor ve türevleri üretimi yapılmaktadır [15]. Türkiye'de Bor Elementinin Çıkarıldığı Yerler Şekil 2.4'te gösterilmiştir [43].



Şekil 2.4. Türkiye'de Bor Elementinin Çıkarıldığı Yerler

Ülkelere Göre Toplam Bor Rezervi Dağılımı Şekil 2.5'te gösterilmiştir[15].

Ülkeler	Toplam Rezerv (Bin ton B ₂ O ₃)	Dağılım (%)
Türkiye	935.800	72.5
A.B.D	80.000	6.2
Rusya	100.000	7.7
Çin	47.000	3.6
Arjantin	9.000	0.7
Bolivya	19.000	1.5
Şili	41.000	3.2
Peru	22.000	1.7
Kazakistan	15.000	1.2
Sırbistan	22.000	1.7
TOPLAM	1.290.800	100

Şekil 2.5. Ülkelere Göre Toplam Bor Rezervi Dağılımı

2.3.2 Yaygın Olarak Bulunan Bor Türleri

2.3.2.1 Kolemanit

Kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) mono klinik sistemde kristallenir. Özgül ağırlığı 2,42 gr/cm³, Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 4-4,5 ayrıca en çok bulunan bor bileşiğidir. Kil içerisinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller şeklinde bulunurlar. Saf kolemanit HCl' de hızlı, su içinde yavaş çözünür. Türkiye'de Bigadiç, Kestelek, Emet yataklarında bulunur. Dünya' da ise A.B.D' de bulunur[16].

2.3.2.2 Tinkal

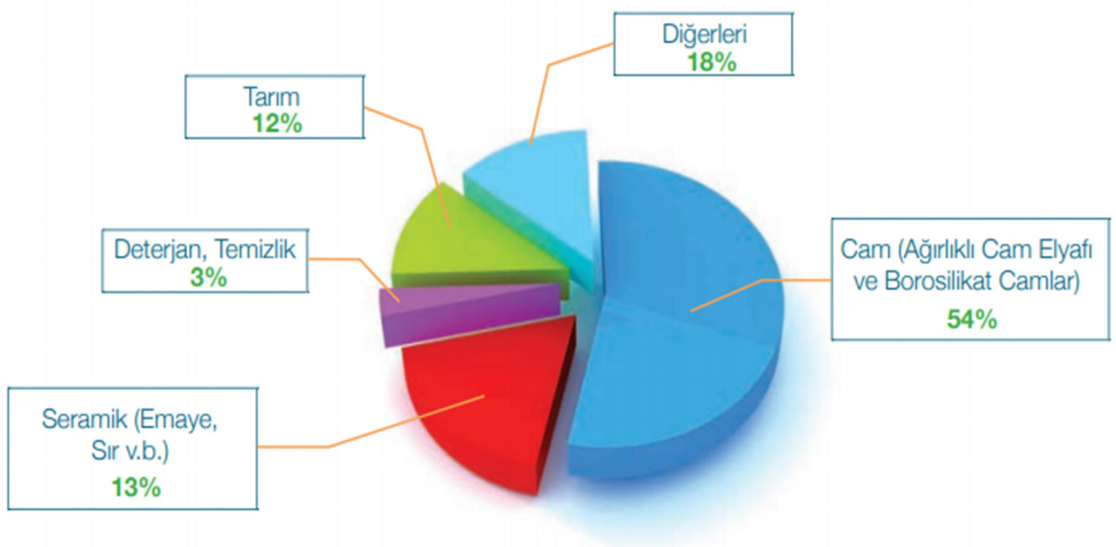
Tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) renksiz aynı zamanda saydam olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar nedeni ile gri, sarımsı, pembe gibi renklerde bulunabilirler. Özgül ağırlığı 1,7 gr/ cm³, Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 2-2.5' tür. Tinkal çabuk bozunması sonucu içindeki suyu kaybederek tinkalkonit' e dönüşebilir. Kille üleksit ve ara katkılı tinkalkonit ile birlikte bulunurlar. Türkiye'de Eskişehir-Kırka bor yatağında bulunur [16].

2.3.2.3 Üleksit

Üleksit; koni, çubuk,masif, rozet ,karnabahar, lifsel ve pamuk yumağı görünümü ile tabiatta yer almaktadır. Özgül ağırlığı 1,95-2 gr/cm³, Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 2,5'dur. Kütahya/ Emet'teki bor yataklarında üç farklı düzeyde karşılaşılan Üleksit, bu yataklarda hidroborasit ve kolemanitle birlikte bulunur. Kırka borat yataklarında kolemanit, boraks ve inyonit ile beraber yer almaktadır. Dünyada Arjantin'de üleksit mineraline rastlanır [16].

2.3.3. Bor Mineralinin Kullanım Alanları

Cam sanayi , seramik sanayi, nükleer sanayi, askeri araçlar,elektronik-elektrik ve bilgisayar sanayinde, iletişim araçlarında, inşaat-çimento sektöründe metalurji ,enerji sektörü,otomobil sanayi, tekstil sektörü,ilaç ve kozmetik sanayi, tıp, kimya sanayi, temizleme ve beyazlatma sanayi, tarım sektörü,kağıt sanayi koruyucu gibi birçok sektör ve sanayi kolunda yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Bor Tüketimin Nihai Kullanım Alanları Şekil 2.6'da gösterilmiştir [15].



Şekil 2.6. Bor Tüketimin Nihai Kullanım Alanları

2.4. Reaktif Pudra Beton (RPB)

Reaktif Pudra Beton (RPB) beton çeşitleri içinde en yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahip olan ince öğütülmüş agrega pudrasıyla, çimento, silis dumanı , çelik lifler ile güçlendirilmiş, çok düşük w/c oranında,süperakışkanlaştırıcı, su ile özel kürler meydana getirilen ultra yüksek performanslı beton olarak tanımlanabilir [38].

Beton, iri ve ince agrega, su, çimento ile katkı maddelerinin karıştırılması ile meydana gelen, priz almadan başlangıçta şekil verilebilen, zamanla sertleşip dayanım kazanan yapı malzemeleridir. Beton ile yapılan çoğu çalışmalarda, çimento katkılı malzemeler ile yüksek mekanik performans kazanmak hedeflenilmiştir. Bunun sonucunda, Yüksek Dayanımlı Betonlar (YDB), Çok Yüksek Dayanımlı Betonlar (ÇYDB), Ultra Yüksek Performanslı Betonlar (UYPB) meydana gelmiştir. Beton karışımına lifler eklenerek ve özel kürlere tabi tutularak RPB elde edilmiştir. Pudra kelimesi, RPB karışımını meydana getiren maddelerin pudra tane boyutlu olması, reaktiflik kelimesi, puzolanik aktivitenin sıcak kür işlemleri sonucu tekrarlaması ve beton kelimesi diğer betonlarda olduğu şekilde çimento matrisli olması dolayısıyla gelmektedir [38].

Reaktif Pudra Beton, Yüksek dayanımlı betonlara kıyasla mukavemet olarak 2 ile 4 kat daha fazla mukavemetli, düşük geçirimsizliğe sahip, sünek, iyileştirilmiş mekanik ve fiziksel özellikli ultra yüksek dayanımlı bir betondur. RPB, inşaat sektöründe çelikle kıyas edilebilecek, Yüksek dayanımlı betonlara alternatif olabilecek potansiyele sahip bir beton türüdür. Yapılan çalışmalar sonucu RPB oluşumunda agrega hacminin genellikle %30 ile %50 arasında olduğu, maksimum tane çaplarının ise genellikle 1 mm'nin altında olduğu yalnız 3 mm'yi aşan çalışmalarında yapıldığı görülmüştür[38].

2.4.1. RPB Karışımında Kullanılan Malzemeler

RPB'de kullanılan malzemeler genelde,Uygun boyutlu ve özellikte agrega, çimento, silis dumanı, Çelik lifler, su ve süperakışkanlaştırıcıdır [38].

2.4.2. RPB karışım oranları

Reaktif Pudra Beton tasarımı için yapılan araştırmalarda sonucu yerli veya yabancı bir standarda rastlanmamıştır [38].

Karışımı meydana getiren taneli malzemelerin sıkı bir yapı meydana getireceği biçimde oranlanması için değişik karışım teorileri kullanılmıştır. Bu teoriler, Mooney'in süspansiyon viskozite modelinden türetilmiştir. Mooney'in modelinden yararlanarak meydana gelen değişik karışım tasarımlarında genel olarak kullanılan karışımlar Çizelge 2.9'da görüldüğü gibidir [24,29,38].

Çizelge 2.9. RPB betonların çimentoya göre karışımın oranları Richard and Cheyrezy

Malzemeler	RPB200				RPB800	
	Lifsiz		Lifli		Silis Agregalar	Çelik Agregalar
PortlandÇimentosu	1	1	1	1	1	1
Silis Dumanı	0,25	0,23	0,25	0,23	0,23	0,23
Kum (150 – 600 µm)	1,1	1,1	1,1	1,1	0,5	-
Kırılmış Kuvars ($d_{50} = 10 \mu\text{m}$)	-	0,39	-	0,39	0,39	0,39
Süperakışkanlaştırıcı	0,016	0,019	0,016	0,019	0,019	0,019
Çelik Tel (L = 12 mm)	-	-	0,175	0,175	-	-
Çelik Tel (L = 3 mm)	-	-	-	-	0,63	0,63
Çelik agregalar (< 800 µm)	-	-	-	-	-	1,49
Su	0,15	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19

2.4.3.Lifsiz Pudra Beton Karışım Oranları

2.4.4. İdeal lifsiz reaktif pudra beton karışım oranları

Mooney modeli için RPB200 karışım oranları , Richard and Cheyrezy (1995)' e göre Çizelge 2.10'da görülmektedir. Karışım içindeki silis dumanı/bağlayıcı oranı ise 0,25' ve su/bağlayıcı oranı 0,12 olarak alınmıştır[24,38]. İdeal lifsiz RPB 200 karışım oranları Çizelge 2.10'da gösterilmiştir [24,38].

Çizelge 2.10. İdeal lifsiz RPB 200 karışım oranları

Malzemeler	Karışım oranı
Kuvars (0.15–0.6 mm)	1,10
Portland çimentosu	1,00
Süper akışkanlaştırıcı	0,016
Su	0,15
Silis dumanı	0,25
Toplam	2,516

RPB Çimento Miktarı (kg) 1 m³ RPB Karışım Ağırlığı (kg)=2,516×1 m³

1 m³ RPB karışım ağırlığı 2400 kg olarak kabul edilirse, karışımın içinde kullanılacak olan çimento 2400/2,516 oranından 954 kg belirlenir. Kullanılacak çimentonun 954 kg olarak belirlenmesi sonrası, RPB200 karışım oranlarına göre karışım içinde kullanılacak kuvars, süper akışkanlaştırıcı, su ve silis dumanı miktarları belirlenir [24,29,38].

İdeal lifsiz Reaktif Pudra Beton numunelerinin silis dumanı/çimento oranı 0,25 ve su/bağlayıcı oranı 0,12 alınır. Çimento ve silis dumanı miktarının toplamı bağlayıcı olarak dikkate alınır [38,24]. İdeal lifsiz RPB karışım miktarları Çizelge 2.11’de gösterilmiştir [38,24].

Çizelge 2.11. İdeal lifsiz RPB karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Kuvars (0,15-0,6 mm)	1049
Portland çimentosu	954
Süper akışkanlaştırıcı	15
Su	143
Silis Dumanı	239
Toplam	2400

2.4.5. RPB Üretim Yöntemleri

- İri agrega kullanımı yerine ince agrega kullanılabilmesi.
- Priz esnasında kalıp içinde sıkıştırma işlemi yaparak daha yüksek basınç ve eğilme dayanımının elde edilebilmesi.
- Priz sonrasında kür (standart kür, kombine kür, kombine kür) uygulanarak mikro yapının daha güçlendirilip betondaki dayanımının artırılması.
- Karışım içinde çelik lifler kullanılarak betonda basınç ve eğilme dayanımlarının artırılması[38].

[38]

2.5. Materyal

2.5.1. Agregalar

Çalışmamızda kullanmış olduğumuz bor, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Temin edilen bortürü Granular Kolemanit (Bigadiç Kolemanit) kimyasal formülü $2CaO.3B_{232}O.5HO$, kimyasal adı Kalsiyum borat, di kalsiyum hekza borat penta hidrat şeklindedir. Çizelge 2.12 ve Çizelge 2.13'de bileşim yüzdeleri ve kimyasal bileşimi gösterilmiştir. Granular Kolemanit (Bigadiç Kolemanit) Bileşim Oranları Çizelge 2.12'de gösterilmiştir [18].

Çizelge 2.12. Granular Kolemanit (Bigadiç Kolemanit) Bileşim Oranları

Madde İsmi	IUPAC İsmi	[0-3 mm] Granular Kolemanit Wt. %	[3-25 mm] Granular Kolemanit Wt. %
Kolemanit	Di kalsiyum Hekza borat Penta hidrat	51,00-55,50	65,00-71,00
Kalsit	Kalsiyum Karbonat	17,00-23,00	12,00-18,00
Dolomit	Kalsiyum Magnezyum Karbonat	6,00-9,00	5,00-8,00
Kil	-	8,00-13,00	5,00-8,00

Kolemanit (3-25mm) Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kolemanit (3-25mm)

Bigadiç Kolemanit Bileşim ve İçerik Oranları Çizelge 2.13’de gösterilmiştir [18].

Çizelge 2.13. Bigadiç Kolemanit Bileşim ve İçerik Oranları

Bileşen	İçerik [0-3 mm]	İçerik [3-25 mm]
B₂O₃	27.00 ±1.00 %	35.00 +1.00/-2.00 %
CaO	26.00±2.00%	27.00±2.00%
SiO₂	13.00 % max.	8.00% max.
SO₄	1.00 % max.	0.70% max.
As	70 ppmmax.	50 ppmmax.
Kütle Yoğunluğu	1.71 ton/m ³ max.	1.52 ton/m ³ max.

Kolemanit (0-3 mm) Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8.Kolemanit (0-3 mm)

2.5.2. Bitüm

Çalışmamızda Bitüm (50/70) kullanılmıştır.Bitüm Adabağ Yapı A.Ş.'den temin edilmiştir.

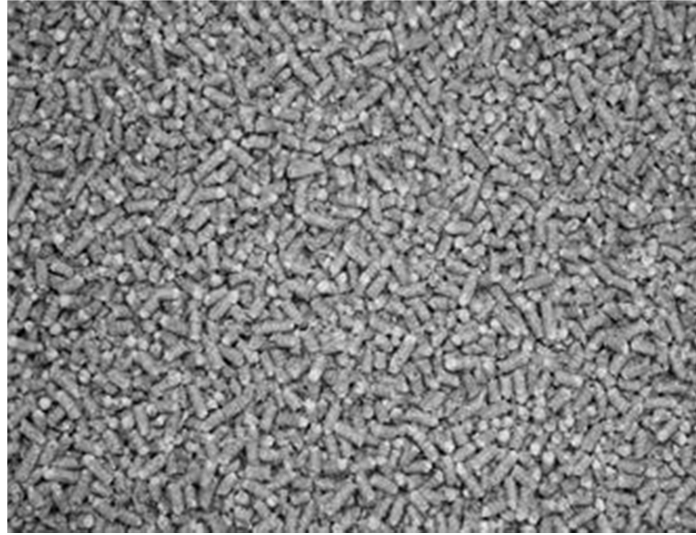
2.5.3 Elyaf

Selülozik elyafın Teknik özellikleri Çizelge 2.14'te gösterilmiştir[30].

Çizelge 2.14 Selülozik elyafın Teknik özellikleri

Bileşimi	Granül olarak sıkıştırılmış selülozik elyaf
Görünümü	Granül elyaf
Renk	Gri
Pelet Çapı	7 mm
Yoğunluk	450 g/l
Ortalama lif uzunluğu	2 mm
Isıl dayanımı	> 250 °C

Çalışmamızda HiperCell selülozik elyaf, İstanbul Teknik İnşaat A.Ş.'den temin edilmiştir. HiperCell Selülozik Elyaf Şekil 2.9 'da gösterilmiştir [30].



Şekil 2.9. HiperCell Selülozik Elyaf

2.5.4 Süper Akışkanlatıcı

Çalışmamızda süperakışkanlaştırıcı Basf Türk Kim. San. ve Tic. Ltd. Şti.' den alınmıştır. süperakışkanlaştırıcı Master Glenium-128 özellikleri Çizelge 2.15'te gösterilmiştir [24,25].

Çizelge 2.15. Süperakışkanlaştırıcının (Master Glenium-128) özellikleri

Özellik	Değer
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Sıvı- Kahverengi
Özgül Ağırlık (20 0C'de)	1,061–1,101 kg/lt
pH Değeri	Yaklaşık 6
Alkali İçeriği (%)	≤ 3.0
Klor İyon İçeriği (%)	≤ 0.1

Süperakışkanlaştırıcı Master Glenium-128 Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Süperakışkanlaştırıcı Master Glenium-128

2.5.5 Çelik Lif

Çalışmamızda kullandığımız çelik lif Atlas Bir Yapı ve Mühendislik Anonim Şirketi'nden alınmıştır. Kullanılan çelik lif 0,75 mm çapında ve 35 mm uzunluğundadır. Çelik Lif Teknik Özellikleri Çizelge 2.16'da gösterilmiştir [28].

Çizelge 2.16. Çelik Lif Teknik Özellikleri

Standart	ASTM A820/A820M-04
Görünüm	Parlak, Çelik Tel
Tip	Soğuk Çekme
Kenar	Kıvrımlı
Açı	45°
Fiber Uzunluk	35 mm
Çap	0,75 mm
Çekme Kuvveti	1400 Mpa
Narinlik Oranı	50

Çelik Lif Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11.Çelik Lif

2.5.6. Silis Dumanı

İksa Beton ve Yapı Kimyasalları Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketin'den tedarik edilen silis dumanı çalışmamızda kullanılmıştır. Silis Dumanı Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri Çizelge 2.17'de gösterilmiştir [23].

Çizelge 2.17. Silis Dumanı Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri

Silis Dumanı Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri			
No	Özellik	Test Metodu	Kabul Kriterleri
1	Yapı	Gözle	Amorf, mikron altı toz
2	Renk	Gözle	Gri – Açık Gri Toz
3	Bağlı Yoğunluk	ASTM C1240-12	2,0 – 2,2
4	Çözünürlük	Gözle	Suda çözünmez
5	Yığın Yoğunluk (Densifiye)	ASTM C1240-19	400-600kg/m ³
6	Yığın Yoğunluk (Densifiye Edilmemiş)	ASTM C1240-19	150-250kg/m ³
Kimyasal Özellikler			
1	Silikon Dioksit (SiO ₂) %	ASTM C1240-10	En az %80
2	Nem İçeriği %	ASTM C1240-11	En fazla %3
3	Kızdırma Kaybı %	ASTM C1240-11	En fazla %5
Fiziksel Özellikler			
1	40µm Elekte Kalan	ASTM C1240-13	En fazla %10
2	Puzolonik Aktivite İndeksi (7 Gün)	ASTM C1240-16	En az %105
3	Özgül Yüzey Alanı	ASTM C1240-14	En az 15m ² /g

Silis Dumanı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri Çizelge 2.18'de gösterilmiştir [23,24].

Çizelge 2.18. Silis Dumanı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Özellik	Değer
SiO ₂	% 94,17
MgO	% 1,23
Al ₂ O ₃	% 0.70
Fe ₂ O ₃	% 0,43
CaO	% 0.67
SO ₃	% 0,57
Kızdırma kaybı	% 0,77
Özgül yüzey, cm ² /g	200000
Özgül ağırlık, g/cm ³	2,250

Silis Dumanı Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Silis Dumanı

2.5.7 Çimento

Çalışmamızda Portland Çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. Kullandığımız çimento Limak Çimento A.Ş’den temin edilmiştir. Çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 2.19.’da gösterilmiştir [46].

Çizelge 2.19. CEM I 42,5 R çimento kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	%
SiO ₂	19,28
Al ₂ O ₃	5,10
Fe ₂ O ₃	2,99
CaO	63,14
MgO	1,96
SO ₃	2,81
Kızdırma Kaybı	3,22
K ₂ O	0,71
Na ₂ O	0,18
Cl	0,01
Çözünmeyen Kalıntı	0,61

Kullanılan portland çimentosunun fiziksel ile mekanik özellikleri Çizelge 2.20’de gösterilmiştir [46].

Çizelge 2.20. CEM I 42,5 R çimento fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ile Mekanik Özellikleri	Değer	Birim
Özgül Ağırlık	3,13	g/cm ³
Özgül Yüze	3067	cm ² /g
Priz Başı	153	dakika
Priz Sonu	206	dakika
Hacim Genleşmesi	0,7	mm
Basınç Dayanımı 2 Gün	25,5	MPa
Basınç Dayanımı 7 Gün	38,9	MPa
Basınç Dayanımı 28 Gün	52,2	MPa

Portland Çimentosu (CEM I 42,5 R) Şekil 2.13’te gösterilmiştir.



Şekil 2.13.Portland Çimentosu (CEM I 42,5 R)

2.5.8. Mineral Filler

Çalışmamızda mineral filler olarak Eti Maden Genel müdürlüğü tarafından Balıkesir ilinin Bigadiç ilçesinde bulunan Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü’nden Kolemanit bor malzemesi temin edilmiş ve kullanılmıştır. Kolemanit Mineral Filler Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. K Colemanit Mineral Filler

2.5.9. Su

Deneylerde içilebilir nitelikte şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan su Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Su

2.6. Beton Tipleri

Tez çalışmamızda bor pudra beton ile ilgili 4 farklı beton çeşidi üretilmiştir. Kullanılan beton tiplerin aşağıda sıralanmıştır.

Bunlar:

- BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu)
- BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu)

- BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu)
- BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu)

Referans betonları olan BRB ile BRLB için normal dayanıma sahip C30/37 sınıfı beton için [0–4] mm, [4–8] mm ile [8–16] mm boyutlu bor atığı ara ürünleri kullanıldı. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) ile BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) imalatında ise [0.1–1,0] mm aralığında pudra şeklinde bor agregası kullanıldı. BPB ile BLPB karışımları içinde agrega olarak iri taneli bor atığı kullanılmamıştır. Basınç deneyi için 4 Farklı beton tipi için 36 adet numune üzerinde deney yapılmış, eğilme deneyi için 4 farklı beton tipi için 36 adet numune, Yarmada çekme deneyi için 4 Farklı beton tipi için 36 adet numune üzerinde deney yapılmış, Aşınma deneyi için 2 tip lifli ve lifsiz bor pudra betonları için 18 adet numune, Donma ve çözülme deneyi için 2 tip lifli ve lifsiz bor pudra betonları için 18 adet numune üretilmiştir. Bu betonların her birinden 3 ‘er numune 3 farklı kür için hazırlanmıştır. Basınç ve yarmada çekme deneyi için 150*150*150 mm boyutlu numuneler, Eğilme deneyi için 100*100*400 mm boyutlu numuneler, Aşınma deneyi için 70*70*70 mm boyutlu numuneler, Donma çözülme deneyi için 50*50*50 mm boyutlu numuneler oluşturulmuştur. Üçer adet numuneler 28 gün 20°c su kürü, 28 gün hava kürü ve 3 gün su + 2 gün 200° c etüv kürüne (kombine kür) alınmıştır. Kür sonrası tüm lifsiz ve lifli beton numunelerin basınç, eğilme ve yarmada çekme, aşınma ve donma çözülme deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışma ile bor atıklarının yol yapımında kullanılabilmesinin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Kalıplara konulmuş bor agregalı beton numuneler Şekil 2.16’da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Kalıplara konulmuş bor agregalı beton numuneler

2.6.1. BRB (Bor Agregalı Lifsiz Referans Betonu)

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) ile karşılaştırma yapmak için, bor agregası kullanarak C30/37 sınıfı normal dayanımlı beton sınıfına giren BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu) üretilmiştir.

2.6.1.1 BRB (Bor Agregalı Lifsiz Referans Betonu) İçindeki Malzemeler

Bor agregalı lifsiz referans beton (BRB) içinde aşağıda belirtilen malzemeler kullanılmaktadır.

- Porlant Çimento
- Bor ; [0-4] mm, [4-8] mm, [8-16] mm
- Su

2.6.1.2. BRB (Bor Agregalı Lifsiz Referans Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları

Bor agregalı lifsiz referans beton (BRB) karışımına giren malzeme miktarları Çizelge 2.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.21. BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu) karışımına giren malzeme miktarları

BRB Lifsiz– Malzeme	Miktarı (kg)
Çimento (Portland)	439
Bor [0-4] mm	810
Bor [4-8] mm	392
Bor [8-16] mm	570
Su	189
Toplam	2400

Kalıp içine konulmuş BRB (bor agregalı lifsiz referans betonu) numuneleri Şekil 2.17'de görülmektedir.



Şekil 2.17. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifsiz referans beton numuneleri

2.6.2. BRLB (Bor Agregalı Lifli Referans Betonu)

Bu çalışmada BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) ile karşılaştırma yapmak için C30/37 sınıfı normal dayanımlı beton BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu) üretimi yapılmıştır. BRLB (Bazalt agregalı lifli referans betonu) karışımı içinde [0–4] mm, [4–8] mm ve [8–16] mm aralığında dane çaplı bor agregaları kullanılmıştır. İmal edilen bu beton içine çelik lif katılmıştır. Literatürde az rastlanan bu beton tipi BRLB olarak isimlendirilmiştir.

2.6.2.1. BRLB (Bor Agregalı Lifli Referans Betonu) İçindeki Malzemeler

BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu) içinde aşağıda belirtilen ürünler kullanıldı.

- Portland Çimento
- Bor ; [0-4] mm, [4-8] mm, [8-16] mm
- Çelik Lif
- Su

2.6.2.2. BRLB (Bor Agregalı Lifli Referans Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları

BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu) karışımına giren malzeme miktarları Çizelge 2.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.22. BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu) karışımına giren malzeme miktarları

BRLB LİFLİ- Malzeme	Miktarı (kg)
Çimento (Portland)	439
Bor [0-4] mm	757
Bor [4-8] mm	354
Bor [8-16] mm	526
Çelik lif	135
Su	189
Toplam	2400

Kalıp içine konulmuş BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu) numunesi Şekil 2.18’de görülmektedir.



Şekil 2.18. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifli referans beton numuneleri

2.6.3. BPB (Bor Agregalı Lifsiz Pudra Betonu)

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) imalatında [0-1,0] mm aralığında pudra şeklinde bor agregası kullanıldı. BPB karışımı içinde iri bor agregaları kullanılmadı.

2.6.3.1. BPB (Bor Agregalı Lifsiz Pudra Betonu) İçindeki Malzemeler

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) içinde aşağıda belirtilen ürünler kullanılmaktadır.

- Portland Çimento
- Silis Dumanı
- Bor ; [0,1-1,0] mm
- Süper Akışkanlaştırıcı
- Su

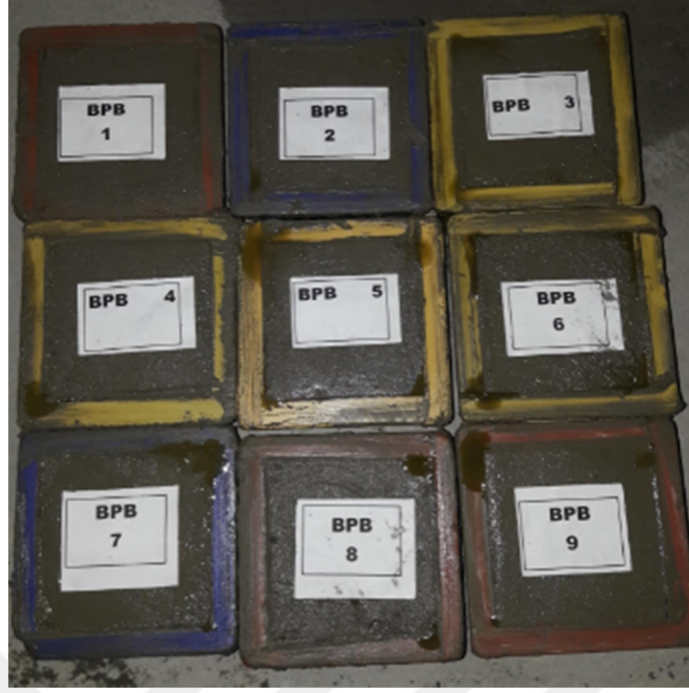
2.6.3.2. BPB (Bor Agregalı Lifsiz Pudra Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları

Bor agregalı lifsiz pudra beton(BPB) karışımına giren malzeme miktarları Çizelge 2.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.23. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) karışımına giren malzeme miktarları

BPB LİFSİZ- Malzeme	Miktarı (kg)
Portland Çimentosu	827
Silis Dumanı	207
Bor [0,1-1,0] mm	908
Süper akışkanlaştırıcı	9
Su	449
Toplam	2400

Kalıplara konulmuş BPB (bor agregalı lifsiz pudra betonu) numuneleri Şekil 2.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.119. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifsiz pudra beton basınç numuneleri

Kalıp içine konulmuş BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) eğilme numuneleri Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifsiz pudra beton eğilme numuneleri

2.6.4. BLPB (Bor Agregalı Lifli Pudra Betonu)

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) imalatında [0-1,0] mm aralığında pudra şeklinde bor agregası kullanıldı. BPB karışımı içinde iri bor agregaları kullanılmadı.

2.6.4.1. BLPB (Bor Agregalı Lifli Pudra Betonu) İçindeki Malzemeler

Bor agregalı lifli pudra referans beton (BLPB) içinde aşağıda belirtilen malzemeler kullanılmaktadır.

- Porlant Çimento
- Silis Dumanı
- Bor ; [0,1-1,0] mm
- Süper Akışkanlaştırıcı
- Çelik Lif
- Su

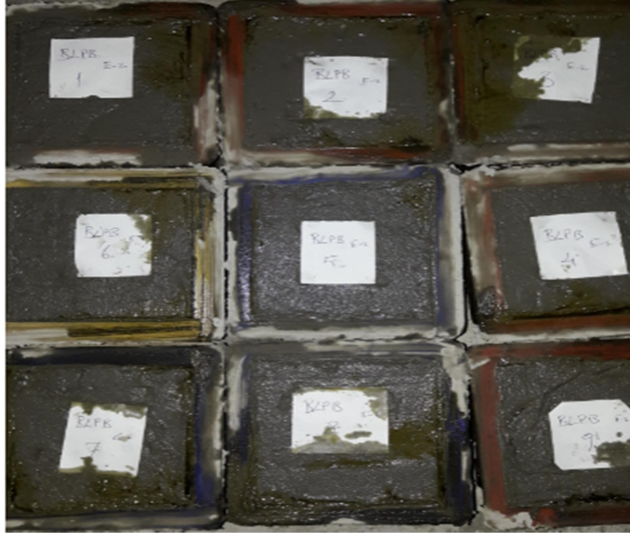
2.6.4.2. BLPB (Bor Agregalı Lifli Pudra Betonu) Karışımına Giren Malzeme Miktarları

Bor agregalı lifli pudra beton (BLPB) karışımına giren malzeme miktarları Çizelge 2.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.24. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) karışımına giren malzeme miktarları

BLPB LİFLİ- Malzeme	Miktarı (kg)
Çimento (Portland)	782
Silis Dumanı	198
Bor [0,1-1,0] mm	854
Süper akışkanlaştırıcı	9
Çelik lif	135
Su	422
toplam	2400

Kalıplara konulmuş bor agregalı lifli pudra beton (BLPB) numuneleri Şekil 2.21'de görülmektedir.



Şekil 2.21. Kalıplara konulmuş bor agregalı lifli pudra beton numuneleri

2.6.5. Kür Çalışmaları

Numunelere 3 çeşit kür uygulanmıştır.

- 28 gün 20°C su kürü
- 3 gün su + 2 gün 200°C etüv kürü
- 28 gün hava kürü

Etüv Kürü Şekil 2.22’de görülmektedir.



Şekil 2.22. Etüv Kürü

2.7. Deneyler

2.7.1. Taş Mastik Asfalt Kaba Agregada Deneyleri

2.7.1.1. Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp (TS EN 1097-2)

Bu standard yapay ve iri agregaların parçalanma direnci tayini işlemlerini kapsar [26].

Kullanılan cihazlar

Elek : TS EN 932-2'ye uygun

Terazi: Deneyde kullanılan toplam kütleyi % 0,1 doğrulukla tartabilen

Etüv: $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ duyarlıklı [26]. Los Angeles Deney Aleti Şekil 2.23'te gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Los Angeles Deney Aleti

Deney tamburunun iki ucuda kapalı konumda olmalıdır. İçinde 11 tane çelik bilya olmalıdır. Bilyaların çaplarının her biri 45 ile 49 mm aralığında olmalı ve Bilyaların hepsi 400 g ile 445 g olmalı ve toplamda bilya yükü 4690 g ile 4860 g aralığında olmalıdır. Tambur 31 ile 33 devir/dakika arasında dönme hızına ulaşabilen motora sahip olmalı, deney sonrası bilya ve malzemeyi toplayabilmek için tepsi gerekir. Gereken devir sayısına ulaşıncaya düzeneği otomatik olarak durduran devir sayacı olmalıdır [26].

İşlem;

Numuneyi koymadan önce tamburun içi temiz olmalıdır. Makinaya ilk önce bilyalar daha sonra deney malzemesi konulur. 31 ile 33 devir/dakika aralığında sabit bir hız ile 500 devir döndürülmelidir. Malzemede kaybı engellemek amacıyla açıklık tepsinin üstüne getirilir ve malzemeler tepsi üstüne dökülür. Tamburun içi temizlenerek içinde malzeme kalmamasına özen gösterilir. Malzeme kaybı önlenerek bilyalar tepsi içinden alınır. Tepsidede bulunan malzeme, 1,6 mm'lik elek ile yıkama ve eleme işlemine tabii tutulur. Elek üstünde kalan kısım, (110±5) °C etüve konarak sabit bir kütleyle ulaşıncaya kadar kurutulmalıdır [26].

Hesaplama ve sonuçların gösterimi;

Los Angeles kat sayısı (LA) aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunur:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

m: elek üstünde (1,6 mm) kalan malzeme, g.'dir.

Bulunan değer tam sayıya yuvarlatılır [26].

2.7.1.2. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO₄ ile kayıp), % (TS EN 1367-2)

Bu standart, tip deneylerinde ve magnezyum sülfata daldırma ve takiben etüvde kurutma yoluyla periyodik işleme maruz bırakılan agregaların davranışlarını değerlendirmede kullanılan bir referans yöntemi kapsar [27].

Boyutu 10-14 mm aralığında değişen agrega numunelerinin doymuş haldeki magnezyum sülfat çözeltisi içine 5 kez daldırılıp ardından (110 ± 5) °C sıcaklığındaki etüv içinde kurutma işlemine tabi tutulur. Zararlı etkilerin neden olduğu boyutu 10 mm'den ufak malzemelerin meydana gelmesine sebep olmuş ufalanma miktarı ölçülür. TS EN 932-1 standartlarına uygun numuneler kullanılmalıdır [26].

Cihazlar

Elek: TS EN 933-2 standartlarına uygun, 10 mm ve 14 mm arasında göz açıklıklı

Terazi: 0,1 gram duyarlıklı ve 2 kg tartabilmeli

Sepet: Çözelti içine numuneleri koymak için

Kaplar: Sepetlerin kolayca içeri yerleştirilmesi ve dışarı alınması için kullanılmak için

Etüv : Sıcaklığı (110 ± 5) °C'de olmalıdır.

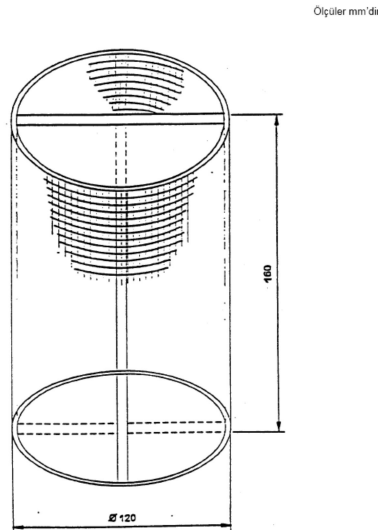
Hidrometre: 20°C'de yoğunluk tayini için kalibre edilmiş olan

Desikatör: Sepetlerin en az ikisini alabilecek kapasite olmalı

Termometre: 1°C duyarlıklı ve 0°C ile 120°C aralığındaki ölçümleri yapabilmelidir.

Kronometre: Kronometre, zaman aralıklarının toplam serisini ± 1 dakika duyarlılıkla ölçebilmelidir [26].

Magnezyum Sülfat Deneyi için Sepet Örneği Şekil 2.24'te gösterilmiştir[26].



Şekil 2.24. Magnezyum Sülfat Deneyi için Sepet Örneği

İşlem;

Tüm sepetlerdeki agregaların (17±0,5) saat boyunca 20 mm'lik çözelti ile kaplanacak şekilde doygun haldeki magnezyum sülfat içine konulur. Deneyin tüm aşamalarında sepetlerin içinde tanelerin kaybolmamasına özenle dikkat edilmelidir. Kirlenme ile buharlaşmadan korunmak için kapak kapalı olmalıdır. Daldırma uygulamasından sonra tüm sepetler çözelti içinden çıkarılarak (2±0,25) saat boyunca suyunun süzülmesi gerekir. Ardından tüm sepetler (110±5) °C'lik etüv içinde (24±1) saat süresince kurutma işlemine tabi tutulur ve (5±0,25) saat süresince belirlenen sıcaklığına ulaşması için soğutma işlemi yapılır. Daha sonra yapılan daldırma işleminde, kabın taban kısmında biriken tuzlar çözülür, sonra çözelti karıştırılıp 30 dakika süresince bekletilir. Daldırma sırasında agregaların etrafa çok sıçraması halinde çözelti yeni bir çözelti ile değiştirilir. Çalışma aralığı (48±2) saat süre ile 5 kez uygulanmalıdır. İşlemlerin 5 kez tekrarı sonucu agrega soğutulur. Tüm sepetler agrega magnezyum sülfattan temizleninceye kadar temiz su ile yıkanır. Tüm deney numuneleri kurutulur. Numuneler 10 mm'lik göz açıklıklı elekten elenir ve elek üstünde kalan agrega kütlesi (M₂) ölçülür [26].

Hesaplama ve sonuçların gösterilmesi

Tüm deney numunelerinin magnezyum sülfat (MS) değeri aşağıda gösterilen şekilde hesaplanıp, değerler 0,1 doğrulukla kaydedilir.

$$MS = \frac{100(M_1 - M_2)}{M_1}$$

Burada ;

M₁ : ±0.1 gram duyarlılık ile ölçümü yapılan numunenin ilk kütlesi

M₂: ±0.1 gram duyarlılık ile ölçümü yapılan numunenin deney sonrası 10 mm'lik elek üstünde kalan agreganın son kütlesi,

Bulunan iki değerlerin ortalaması bulunup, tam sayıya yuvarlatılarak kaydedilir [26].

2.7.1.3. İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su emme Deneyleri, (TS EN 1097-6)

Bu standard, tip deneyi için ve anlaşmazlık durumunda normal ve hafif agregaların tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayininde kullanılan referans yöntemi kapsar [32].

Tel sepet metodunda; göz açıklığı 63 mm elekten geçen fakat göz açıklığı 31,5 mm elekten geçmeyen agregalarda kullanılır. Bunun yanında 4 mm ile 31,5 mm arasındaki aralıktada tel sepet metodu kullanılabilir ancak anlaşmazlık olması durumunda, piknometre metodu tercih edilmelidir [26].

Cihazlar

Etüv: Sıcaklığın $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ 'ta tutan

Terazi: Numune kütlesini % 0,1 hassasiyetle tartabilen.

Su banyosu: Sıcaklığı $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ 'de tutan

Termometre: $0,1^\circ\text{C}$ doğruluğu olan.

Elek: TS EN 933-2 standartlarına uygun

Tepsiler, yıkama donanımı, kronometre, tel sepet, piknometre, numune kabı deney için gereklidir [26].

İşlem;

Deney numunesi tel sepete konulur, suyun seviyesi sepetten 50 mm üstte olmalı ve $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ su bulduran tank içine konulur. Daha sonraki aşamada tel sepet, tankın tabanının 25 mm yukarısına kaldırılıp saniyede bir defa olacak şekilde 25 kez bu seviyeden düşürülüp, hapsolan havanın deney numunesinden uzaklaştırılması sağlanır. Agreg a sepet içinde $(24 \pm 0,5)$ saat süresince $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ su içinde bekletilir. Deney numunesi ile sepet sallanıp sonrasında $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ su içinde tartılıp (M_2) şeklinde kaydedilir. M_2 'nin belirlendiği zamandaki su sıcaklık değeri kaydedilir. Sepet ile agreg a, sudan çıkarılıp suyun uzaklaşması için biraz beklenir. Agreg a, kuru bezin üstüne dikkatli bir şekilde bırakılır. Boş olan sepet tekrardan su içine daldırılıp 25 defa sallanarak su içinde tartılıp (M_3) şeklinde kaydedilir. Agreg aların yüzeyleri itina ile kurutulur sonra agreg a ikinci bir kuru, emici bez üstüne konulur. Agreg a taneleri su kalınlı uzaklaşana kadar direk güneş ışığına maruz kalmamalı veya farklı bir ısı kaynağından korunmalıdır. Agreg alar tartılıp (M_1) tepsiye konulur ve etüvde, $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ 'de sabit kütleye (M_4) ulaşana kadar kurutma işlemine tabi tutulur [26].

Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Hesaplama;

$$\text{Görünür tane yoğunluğu} \quad \rho_a = \rho_w = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu } \rho_{rd} = \rho_w = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Doğun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu } \rho_{ssd} = \rho_w = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

WA₂₄ (Su emme oranı), 24 saat daldırma sonrası kuru kütle yüzdesi olacak şekilde aşağıda gösterilen eşitlikle bulunur.

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

M₁: Yüzeyi Havada kurutulmuş, doymun halde bulunan agrega kütleşi,g

M₂: Sepetin sudaki kütleşi ve doymun haldeki agrega numuneleri,g

M₃: Boş sepetin sudaki kütleşi,g

M₄: Etüv içinde kurutulan numunenin kütleşi,g

ρ_w : M₂ tayin edilince kaydedilmiş olan sıcaklıktaki su yoğunluğu megagram/metreküptür.

Tane yoğunluk değeri, 0,01 Mg/m³, su emme değeri % 0,1 yaklaşım ile ifade edilir [26].

2.7.2. Taş Mastik Asfalt ince Agrega Deneyleri

2.7.2.1. İnce Agreganın Özgül Ağırlık Ve Su Emme Deneyleri, (TS EN 1097-6)

Bu standart, tip deneyi için ve anlaşmazlık durumunda normal ve hafif agregaların tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayininde kullanılan referans yöntemi kapsar [32].

Piknometre metodu: 31,5 mm'lik elekten geçen fakat 0,063 mm'lik elekten geçmeyen agregalarda kullanılır. Ayrıca 4 mm ile 31,5 mm arasındaki tane büyüklüklü agregalarda kullanılır[26].

İşlem;

Numuneler , piknometrede (22±3) °C sıcaklıkta bulunan su içine konular ve içinde hapsolan hava, piknometre eğik durumda iken az bir miktar sallanıp, yuvarlanarak çıkarılır. Piknometre havuz içinde düşey konuma getirilmeli ve numune (22 ±3) °C sıcaklıkta (24±0,5) saat bırakılır. Piknometre daha sonra su havuzundan çıkartılır. Hapsolmuş hava varsa, piknometre az bir miktar sallanıp, yuvarlanarak çıkarılır. Piknometreye su eklenerek tamamen doldurulur ve kabın içinde hava bırakılmadan tepesine kapak konular. Daha sonra, piknometrenin dışı kurutulup tartılmalıdır(M₂). Su sıcaklık değeri not edilir. Agregalar su içinden çıkarılıp bir iki dakika süresince kurumaya bırakılır. Piknometre yeniden su ile doldurulup kapağı kapatılır. Daha sonra piknometrenin dışı kurutulup tartılmalıdır (M₃). Su sıcaklık değeri not edilir. M₂ ile M₃ tartma işlemi sırasında, piknometrede su sıcaklığı arasında 2 °C'yi aşan farklar olmamalıdır. Süzülen numune, kuru bez üstüne alınır ve agregaların yüzeyi kurutulup bez ıslaklığı almayınca, agregalar yeni bir bez üstüne bırakılır ve direk güneş ışığı veya ısı kaynağından korunmalıdır. Sonra doygun halde ve yüzeyi kurumuş numuneler tepsi üstüne aktarılıp tartılmalıdır (M₁). Agregalar etüv içinde (110 ± 5) °C sıcaklıkta sabit kütleye (M₄) gelinceye kadar kurutma işlemine tabi tutulur. Elde edilen değerler numune kütlesinin (M₄) % 0,1'i duyarlılıkla kaydedilmelidir [26].

Hesaplama;

$$\text{Görünür tane yoğunluğu } \rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu } \rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Doygun ve yüzeyi kurutulmuş tane yoğunluğu } \rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

WA₂₄ (Su emme oranı), 24 saat süreyle daldırma sonrası kuru kütle yüzdesi olarak aşağıda gösterilen eşitlikle bulunur.

$$WA_{24} = \frac{100x(M_1 - M_4)}{M_4}$$

Burada;

M₁: Yüzeyi havada kurutulan ve doygun halde bulunan agreganın kütlesi,g

M₂: Doygun halde agrega numunesi içeren piknometre kütlesi,g

M₃: Su ile doldurulan piknometre kütlesi,g

M₄: Etüv içinde kurutulan numunenin kütlesi,g

Tane yoğunluğu 0,01 Mg/m³, su emme oranı % 0,1 duyarlılıkla ifade edilir. Aşağıdaki eşitlikle kontrol yapılabilir [26].

$$P_{ssd} = 1 + \rho_{rd} \frac{\rho_{rd}}{\rho_a}$$

2.7.2.2. Metilen Mavisi Deneyi (TS EN 933-9+A1)

Bu standart, tip deneyi için ve ihtilaf durumunda ince taneli agregalar ve tüvenan agregalar için [0-2] mm tane büyüklüğü aralığında MB(metilen mavisi) değerinin tayininde kullanılan referans yöntemi kapsar [33].

Cihaz ve malzemeler

Elek : 2 mm göz açıklığına sahip

Süzgeç kağıdı: Üstü bölümlenmiş , kül bulundurmeyan

süzme hızı 75 saniye , kalınlık 0,20 mm,gözenek büyüklüğü 8 µm olan kağıt.

Cam çubuk: 300 mm uzunluğunda ve 8 mm çaplı çubuk

Terazi: Kütleyi %0,1 duyarlılıkla tartan.

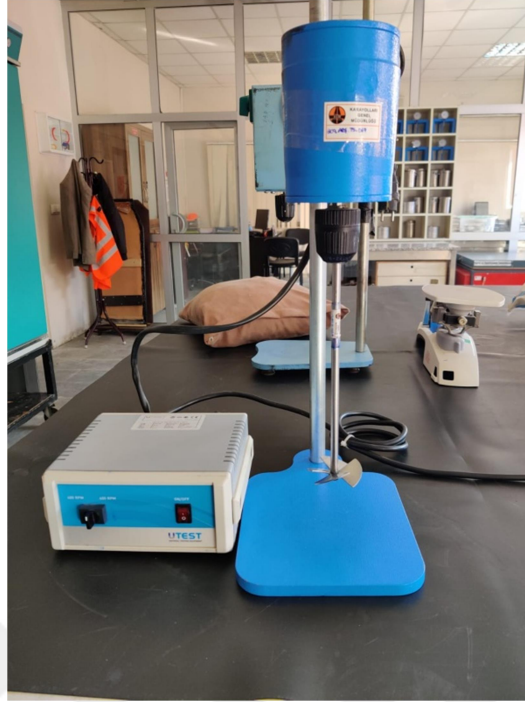
Kronometre:Okumayı 1 saniye yaklaşımla yapabilen.

.Beher : Cam veya plastik malzemedan imal edilmiş ve (1 -2) L kapasiteye sahip

Ölçülü balon : 1 L kapasiteli cam malzemedan imal edilmiş.

Etüv : (110 ±5) °C'de sıcaklığı sabit tutan [26]

Metilen mavisi deney aleti Şekil 2.25'te gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Metilen mavisi deney aleti

İşlem

Leke deneyi, boyanın eklenmesi sonrası, süspansiyon içinden cam bir çubuk kullanarak bir damla alınıp daha sonra alınan damla süzgeç kağıdının üstüne bırakılması işlemidir. Ortaya çıkan leke renksiz olan ıslak bir bölge ile çevrelenmiş ve genelde rengi mavi homojen malzemeden meydana gelir. Islak bölge içinde yaklaşık olarak alınan 1 mm'lik mavi bir halka bulunduran halenin birikinti civarında ortaya çıkması halinde çalışma doğru olarak kabul edilir. Dönüm noktasına yaklaştıkça hale görünür fakat kilin boya adsorpsiyonunu tamamlaması süre alacak olmasından dolayı halenin sonradan kaybolma olasılığı vardır. Bundan dolayı leke deneyi fazla miktarda boya çözeltisi eklenmeden 5 dakikalık süreyle ve 1 dakikalık aralıklar ile tekrar sonucu dönüm noktası tayin edilir [26].

Hesaplama;

MB (Metilen mavisi) değeri, aşağıda verilen eşitlikle bulunur:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10$$

Burada:

M_1 : Numune kütlesi, (g),

V_1 : Çözeltinin toplamdaki hacmi , (mL),

kaolinit eklenerek deney yapılır ise yukarıda gösterilen eşitlik:

$$MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10$$

V' : Kaolinit tarafından adsorplanan boya çözeltisi hacmi, mL [26].

2.7.3. Taş Mastik Asfalt Agregası Eleme Deneyi

Agrega yığınları içindeki tanelerin büyüklük esasına göre dağılımına gradasyon denir. Granülometrik birleşim agregası yığınlarındaki boyutları belli sınırlar içinde bulunan tanelerin hangi miktarlarda bulunduğunu gösterir. Granülometri beton kompozitesine, yoğurma suyu miktarına, dayanım ile dayanıklılığını büyük oranda etkilemektedir.

Eleme deneyinde kullanılan elekler, belirli ölçülerde, dairesel veya kare açıklıklı, genelde pirinçten yapılmış gereçlerdir. Eleklerin diziliş sırası belli bir geometrik seriyi oluşturur. Türkiye'deki elekler 0,25-0,50-1-2-4-8-16-32 mm yani 0,25-32 mm'ye kadar olan seri kullanılır [34,19,20]. Numune Eleme İşlemleri Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Numune Eleme İşlemleri

Elek Açıklıkları Çizelge 2.25’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.25. Elek Açıklıkları

Elek Açıklıkları

mm	İnch
37.5	1 1/2
25.0	1
19.1	3/4
12.7	1/2
9.52	3/8
4.75	No.4
2.00	No.10
0.42	No.40
0.177	No.80
0.075	No.200

Deneyin Yapılışı;

Gerekli malzeme TS.707’ye uygun olarak alınır.105°C±5°C etüvde değişmeyen bir ağırlığa gelinceye kadar kurumaya tabii tutulur (24 saat). Agregalar mutlaka kuru olmalıdır, aksi

takdirde sonuçlar yanlış çıkar. Etüvden çıkarılan malzeme 0,1 gr hassasiyetle terazide tartılır. Elek analizi yapabilmek için standart elekler büyüklüklerine göre sıraya konulmalıdır. En alttaki eleğin altına dökülmeyi engellemek için deliksiz bir kap bırakılır. Elek analizi için malzeme en üst eleğe boşaltılır, elek sarsma makinası 10 dk. Süre ile çalıştırılır, her elek üstünde kalan malzemeler ayrı ayrı tartılıp sonuçlar tabloda yazılır [34,19,20].

2.7.4. Beton Deneyleri

2.7.4.1. Slump Deneyi (TS EN 12350-2)

Taze beton kıvamının, slump (çökme) deneyi ile tayini yöntemini kapsar. slump deneyi, çökme miktarı 10 mm ve 210 mm aralığında olan betonların kıvamında meydana gelen değişikliklere duyarlı haldedir. Çökme değerlerinin bu aralıklar dışında ölçülmesi karışım kıvamının bulunması için uygun olmayabilir [35].

Cihazlar

Kalıp, Aşağıda verilen ölçülere sahip olmalıdır. Tüm ölçüler ± 2 mm hassasiyetindedir.

- Alt Taban : 200 mm çapında
- Üst Tavan : 100 mm çapında
- Yükseklik : 300 mm

Kalıpta alt taban ile üst taban birbirlerine paralel ve açık olmalıdırlar. Kalıbın oynamaması için üst kısma tutma kolları aynı zamanda tabana yakın kısımda ise ayakla basma aparatları olmalıdır.

Şişleme çubuğu, 600 mm uzunluk ile 16 mm çaplı, daire kesitli, ucu yuvarlak ve düz bir çelik malzemedendir yapılmalıdır.

Cetvel, 30 cm uzunluğunda,

Taban plakası, kalıbın üzerine bırakılacağı, esnemeyen ,su emmeyen düz yüzey.

Kürek, kare ağızlı

Kronometre veya saat, süreyi 1 saniye hassasiyetle ölçen[26]

Slump Ölçümü Şekil 2.27’de gösterilmiştir.



Şekil 2.27. Slump Ölçümü

İşlem;

Kalıbın iç yüzeyi ile taban plakası nemlendirilir ve kalıp, düzenek taban plakası üstüne yerleştirilir. Taze beton, kalıp içine eşit kalınlıklar halinde üç tabaka şeklinde doldurulmalıdır. İlk olarak 1/3’i doldurulup 25 kez şişlenir. Sonra 2/3’ü doldurulup 25 kez şişlenir daha sonra 3/3’ü eşit dağılımlı olarak şişlenerek sıkıştırılır. İşlem sırasında tüm tabakalar, şişleme çubuğu yardımı ile 25 defa vurularak sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırma işleminin tamamlanması sonrası kalıbın üstünden taşan fazla beton, sıkıştırma master hareketi şeklinde yapılarak sıyırıp alınmalı ve ardından yüzeyi tesviye edilmelidir. Kalıp, el tutamaklarından tutmak suretiyle, dikey olarak yukarı yönlü çekilip kaldırılır. Çekme işlemi 5– 10 saniyede bitirilmeli, Sabit bir hızla kalıp çekilmelidir, Tüm deney işlemi, 150 saniye içinde bitirilmelidir. Kalıp çekildikten sonra, kalıbın üst noktası ile çökmüş betonun en yüksek noktası arasında çökme yüksekliği ölçülüp kaydedilir [26].

2.7.4.2. Basınç Deneyi (TS EN 12390-3)

Bu standart, sertleşmiş beton deney numunelerinin basınç dayanımının tayini için uygulanacak deney yöntemini kapsar [36].

İşlem;

Numunenin yüzeyindeki fazla su kurulanır. Deney makinasına yerleştirilir ve deney makinasının alt yükleme kısmı üstüne merkezlenecek şekilde olmalıdır. Belirlenmiş boyutlu küp numuneler veya belirlenmiş çaplı silindir numuneler \pm %1'i doğruluk ile merkeze yerleştirilmelidir [26]. Deney başlayıp numunede kırılma gerçekleşince makine otomatik olarak durup sonuç ekrana yansır.

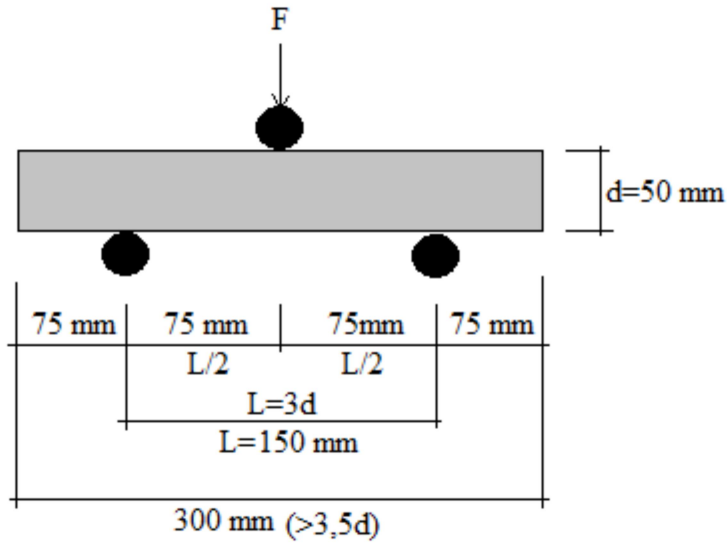
2.7.4.3. Eğilme Deneyi (TS EN 12390-5)

Bu standart, sertleşmiş beton deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini için uygulanacak deney yöntemini kapsar [37].

İşlem;

Su içinde duran numune, su içinden çıkarılır ve yüzeyinde bulunan su kurutulur. Makinanın tüm yükleme yüzeyleri temizlenmelidir. Numune ile arasında temas edeceği yüzeylerde fazlalık malzemeler olmamalıdır. Numune, makinarya tam merkezlenecek şekilde konulmalıdır. Yükleme ile mesnet silindirleri numune yüzeyine temas ettikten sonra yük uygulanır. 0,04 Mpa/s ile 0,06 Mpa/s aralığında sabit gerilme artış hızı sağlayacak biçimde yükleme hızı ayarlanır. Yük için belirlenen hız \pm % 1 sapma yapabilecek şekilde numune kırılıncaya kadar, darbe etkisi yapmadan sabit bir hızla yükseltılarak aralıksız uygulanmalıdır [26].

Orta noktadan yüklemeli deney numunesi yükleme düzeneği Şekil 2.28’de gösterilmiştir [38].



Şekil 2.28. Orta noktadan yüklemeli deney numunesi yükleme düzeneği

Deney cihaz yükleme hızı, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$R = 2.d_1.d_2^2.s / 3.L$$

Burada;

R : Gerekli yükleme hızı (N/s),

s : Gerilme artış hızı (Mpa/sn)

L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm),

d₁ : Numunenin en kesit yatay boyutu (mm),

d₂ : Numunenin en kesit düşey boyutu (mm), [26,38].

Eğilme dayanımı, aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$F_{cf} = 3.F.L / 2.d_1.d_2^2$$

Burada;

f_{cf} : Eğilme dayanımı değeri (Mpa),

F : En büyük yük değeri (N),

L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm),

d_1 : Numune en kesit yatay boyutu (mm),

d_2 : Numune en kesit düşey boyutu (mm), [26,38].

2.7.4.4. Yarmada Çekme Deneyi (TS EN 12390-6)

Bu standart, silindir şekilli sertleşmiş beton deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini yöntemini kapsar [39].

İşlem;

Su içinde bırakılan numune, sudan çıkarılır ve yüzeyindeki su kurutulur. Cihazın tüm aparatları temizlenmeli ve Deney numunesinin, sıkıştırma şeritlerinin temas edeceği yüzeylerindeki fazlalık malzemeler olmamalıdır. Deney numunesi, sabitleme cihazı ile makineye tam merkezlenecek şekilde yerleştirilir. Yükleme sırasında alt ve üst yükleme başlıkları birbirlerine paralel olmalıdır. 0,04 Mpa/s ile 0,06 Mpa/s aralığında sabit gerilme artış hızı sağlayacak biçimde yükleme hızı ayarlanır. Yük için belirlenen hız $\pm\%$ 1 sapma yapabilecek şekilde numune kırılıncaya kadar, darbe etkisi yapmadan sabit bir hızla yükseltılarak aralıksız uygulanmalıdır [26].

Deney makinasında yükleme hızı, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır:

$$R = \frac{s \times \delta}{2 \times L \times d}$$

R: Yükleme hızı, N/s,

L: Numunenin uzunluğu, mm,

D: En kesit boyutları, mm,

s : Gerilmedeki artma hızı, Mpa/s [26]

Yarmada çekme dayanımı, aşağıda verilen formül ile hesaplanır :

$$f_{cf} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

Burada;

f_{cf} : Yarmada çekme dayanımı, Mpa(N/mm²),

F : En büyük yük değeri, N,

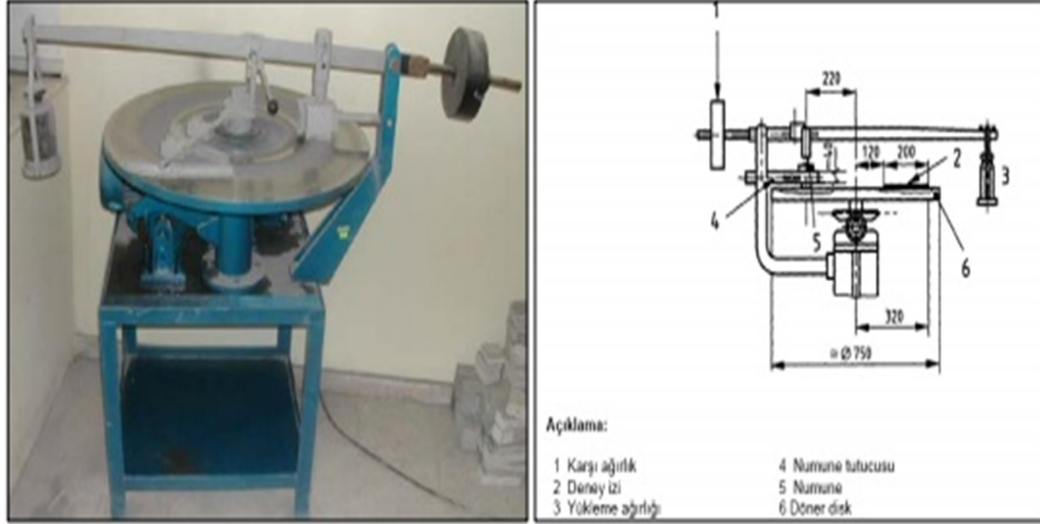
L : Yükleme aparatına numunenin temas ettiği çizgi uzunluğu,mm,

d: Numune en kesit boyutu, mm, [26].

2.7.4.5. Böhme Aşınma Deneyi

Böhme aşınma deneyi, beton yüzeyinin aşındırıcı maddeler ile sürtünmesi sonucu meydana gelen azalma miktarına aşınma denir. Bu olay düşük bir hızda meydana gelen mekanik ve fiziksel bir durumdur. Malzeme yüzeyine çarpma veya sürtünme halinde etki eden kuvvetler yüzeyde aşınma meydana getirir [40,41,26].

Bu işlemde 30 devir/dk hızla dönme yapan 750 mm çaplı düzeneğe yatay bir şekilde yerleştirilen ve aşındırma yapan disk bulunur. Aynı zamanda diskin 22 devir sonunda cihazı otomatik bir şekilde durduran tertibatı ile yapılan devir sayısını gösterebilen numaratörü olmalıdır. Numuneler paralel ve düz bir şekilde yerleştirilmelidir. İşlemde 20 gr zımpara tozu şerit üstüne atılır ve 294 N yük değeri ile yükleme yapılır. 22 devir yaparak otomatik bir şekilde duran diskin üstündeki numune parçaları ve zımpara tozları temizlenir. Yeniden 20 gr zımpara tozu şerit üstüne atılır ve numune düşey ekseninde 90° çevrilir. Tüm numunelere 22 devir yaptırılır ve numunelere 16 sefer uygulanır. Numune üstündeki toz ve parçacıklar temizlenir. Daha sonra numuneler 0.01 mm hassasiyetli kumpasla ölçülür [40,41,26]. Böhme Aşınma Deney Aleti Şekil 2.29'da gösterilmiştir [41].



Şekil 2.29. Böhme Aşınma Deney Aleti

16 çevrim sonucunda aşınma; numune kalınlığındaki azalma miktarı Δl olarak, hacmindeki azalma miktarı ΔV olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklemler ile hesaplanır:

$$\Delta l = l_{0m} - l_{16m}$$

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r}$$

$$\Delta l = \frac{\Delta m}{\rho r \cdot A} = \frac{\Delta V}{A}$$

Burada:

Δl = 16 çevrim sonrası kalınlıktaki azalma (cm),

l_{0m} = Deney öncesi dokuz farklı noktadan yapılan ölçülerin ortalaması (cm),

l_{16m} = Deney sonrası dokuz farklı noktadan yapılan ölçülerin ortalaması (cm),

ΔV = 16 çevrim sonrası hacim kaybı (cm³)

Δm = 16 çevrim sonrası kütle kaybı (gr)

ρr = Aşınmaya maruz tabakanın yoğunluk değeri (gr/cm³)

$A = 50 \text{ cm}^2 (7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm})$ [40,41,26].

2.7.4.6. Donma Çözülme Deneyi

Numune hazırlandıktan sonra % 3'lük NaCl çözeltisiyle yüzeyi kaplanarak 28 gün süre ile, donma ve çözölmeye maruz bırakılır. Donma çözölmeye sonucu oluşan pullanma parçaları numuneden ayrılır bu parçalar toplanıp tartılır. Numune metrekaresi başına kg olarak sonuçlar yazılır [26].

Cihazlar;

Donma kabini, soğutma ve ısıtma sistemi kontrol edilebilen.

Kurutma kabini, (105 ± 5)° C sıcaklıkta çalıştırılabilen

Terazi, ± 0,05 g doğruluklu

kumpas, ± 0,1 mm hassasiyetli

Elmas kesici, beton numuneleri kesmek için.

Isıl çiftler, Kap, Süzgeç kağıdı, Fırça, Su püskürme şişesi ve Isı yalıtımı

Numuneler yatay konumda konular ve tekrarlı donma-çözölmeye maruz bırakılır. Tüm çevrimler 7 ile 9 saat arasında ve sıcaklık değerini 0°C'yi aşmalıdır. Numune donma kabini içine konulduktan (0±30) dakika sonra ilk donma ve çözölmeye döngüsünün süresi başlatılır.

28 çevrim sonucunda tüm numunelere aşağıdaki işlemler uygulanır :

- a) Numunelerin yüzeylerinden çıkan malzeme, su püskürtölerek yıkanır ve fırçalama yaparak malzeme çıkarılır ve çıkan malzemeler kap içinde toplanır.
- b) Kap içinde biriken malzemeler ile sıvı, süzgeç kağıdının üstüne konular. Biriken malzemenin üstündeki NaCl su ile yıkanarak temizlenir. Süzgeç kağıdı ile üstünde biriken malzemeler, 24 saat 105 °C sıcaklıkta kurumaya bırakılır. Kuruyan malzemeler ± 0,2 g hassasiyetle tartılır.

Hesaplanma:

Aşağıdaki formöl yardımıyla kg/m² cinsinden hesaplama yapılır.

$$L = M / A$$

Burada ;

L: Numunelerin birim alana düşen kütle kaybı,

M: 28 gün'lük çevrimler sonucu deney numunelerinden kopan malzemelerin kütlesi, kg,

A: Numunelerin donma-çözülme etkisine maruz bırakılan yüzey alanı, m².

Donma çözülme deney aleti Şekil 2.30'da görülmektedir.



Şekil 2.30. Donma çözülme deney aleti

2.7.4.7. Su Emme Deneyi

Numuneler, (20 ± 5) °C sıcaklıkta olan ortam içinde şartlandırıldıktan sonra, sabit kütleye ulaşına kadar su havuzuna konulur, belirlenen süre bekletildikten sonra çıkarılıp sabit bir kütleye ulaşana kadar kurutulur. Kütledeki kaybı, numunelerin kuru kütlelerine oranlanarak yüzde şeklinde ifade edilir [26].

Cihazlar;

Etüv : Etüv 105 °C sıcaklık değerinde sabitlenmeli.

Terazi : % 0,1 hassasiyetle gram cinsinden okuma yapabilen. Deney numunesindeki toz, gevşek kısım vs. fırça ile temizlenmeli ve numunelerin $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklıkta olması sağlanmalıdır.

Düz tabanlı kap [26].

İşlem;

Numuneler havuz içinde $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki suya konularak burada sabit bir kütleyle (M_1) varıncaya kadar bırakılır. Su içinde numunelerin araları 15 mm olmalı ve üzerleri 20 mm yüksekliğinde su ile kaplı olmalıdır. Numuneleri tartmadan önce bez ile kurutulmalıdır. $105 ^\circ\text{C}$ sıcaklıkta sabit bir kütleyle (M_2) ulaşınca kadar kurutulmalıdır. Kurutma süresi, en az 3 gün olmalıdır. Tartım öncesi numune oda sıcaklığına ulaşana kadar bekletilir [26]. Her numunenin su emme oranı (W_a), aşağıda verilen eşitlik yardımıyla kütlece yüzde cinsinden hesaplanır:

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \%$$

Burada:

M_1 : Numunenin ilk kütle değeri, g,

M_2 : Numunenin son kütle değeri, g, [26].

2.7.5. Taş Mastik Asfalt Bitüm Deneyleri

2.7.5.1. Penetrasyon deneyi

TS EN 1426, ASTM D5 standardına göre, bitümlü bağlayıcıların kıvam ve sertlik dereceleri belirlenir. Standard olan iğne belli bir yük (100g) altında belli bir zaman (5sn) asfalt çimentosuna dikey bir şekilde batma miktarı 0,1mm cinsinden bulunur. Penetrasyon değeri ile kıvamlilik ters orantılıdır. Penetrasyon arttıkça bitüm yumuşar fakat kıvamlilik artınca bitüm sert bir hal alır [21].

2.7.5.2. ParlamaNoktası deneyi

TS EN ISO 2592,TS 1171 standardına göre,parlama noktası, bir maddenin buharının alev ile temas ettiğinde geçici olarak parladığı ancak yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık değeri olarak tanımlanabilir. Parlama noktası, bitümlü bağlayıcıların uygulama esnasında ısıtılırken ortaya çıkabilecek olası bir tutuşma ile alev alma riskini engellemek açısından önemlidir. Parlama noktası, asfalt çimentoları ile SC sıvı petrol asfaltlarında Cleveland Açık Kabı, MC ve RC sıvı petrol asfaltlarında Tagliabue Kapalı Kabı (15-74°C aralığı için) ile belirlenir [21].



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Elek Analizi Sonucu

TS EN 933-1 standardı esas alınarak elek analizi yapılmıştır. Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi (BYKTŞ) 'ne göre 1 mm elekten geçen agrega miktarı \leq %27, 2 mm elekten geçen agrega miktarı \leq %30, maks. Agrega boyutu 8 mm olan agregalarda \leq %30 olarak kabul edilir. Deney sonuçlarında 2 mm elekten geçen agrega miktarı % 26,7 elde edilerek standartları sağladığından beton yol kaplamalarında kullanılabilir. Ayrıca bulunan % 26,7 değeri 1 mm elekten geçen agrega miktarı koşulunda sağladığı görülmektedir. Elek analizi sonuçları Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Elek analizi sonuçları

% Kullanım		Toplu Kalan (Ağırlık)	Toplu Kalan %	Toplu Geçen %	Toplam 100
Elek Açıklığı					
1"	25,4 mm	0,0	0,0	100,0	100,0
¾"	19,1 mm	920,5	10,2	89,8	89,8
½"	12,7 mm	2846,0	31,6	68,4	68,4
3/8"	9,52 mm	3989,5	44,3	55,7	55,7
No.4	4,75 mm	5214,0	57,9	42,1	42,1
No.10	2,00 mm	220,3	15,4	26,7	26,7
No.40	0,42 mm	450,5	31,4	10,7	10,7
No.80	0,177 mm	505,9	35,3	6,8	6,8
No.200	0,075 mm	535,0	37,3	4,8	4,8

3.2. Slump Deneyi Sonucu

TS EN 12350-2 standardına göre çökme miktarı 1-21 cm aralığında olması gerekir. Deney sonucumuzda BRB 13 cm, BRLB 15cm, BPB 16cm, BLPB 17cm olarak bulunup standartlara uygundur. Slump Deneylerinin Sonuçları Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Slump Deney Sonuçları

Beton Türü	Çökme (cm)
BRB	13
BRLB	15
BPB	16
BLPB	17

Slump Ölçümü Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Slump Ölçümü

3.3. Basınç, Eğilme ve Yarmada Çekme Deney Sonuçları

Toplamda 9’ar adet farklı beton numunesi üretilmiştir. Basınç deneyi için 4 farklı beton tipi için 36 adet numune üzerinde deney yapılmış, eğilme deneyi için 4 farklı beton tipi için 36 adet numune üzerinde çalışılmıştır. Yarmada çekme deneyi için 4 farklı beton tipi için 36 adet numune üzerinde çalışılmıştır. Bu betonların her birinden 3 ‘er numune 3 farklı kür için hazırlanmıştır. Deney sonuçları ortalama değer olarak aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir. Basınç ve yarmada çekme deneyi için 150*150*150 mm boyutlu numuneler, eğilme deneyi için 100*100*400 mm boyutlu numuneler oluşturulmuştur. Numuneler kalıplara şişle sıkıştırılarak ve basınç uygulanmadan yerleştirilmiştir. 24 saat sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Üçer

adet numuneler 28 gün 20°C su kürüne, 28 gün hava kürüne ve 3 gün su + 2 gün 200°C kombine kürü alınmıştır. Kür işlemlerinden sonra tüm beton numunelere basınç, eğilme ve yarıda çekme deneyleri uygulanmıştır. Rijit üstyapı beton yol kaplaması şartname limitinde, minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması gerekir [22].

Basınç Deneyi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Basınç Deneyi

3.3.1. BRB (Bor Referans Betonu) ve BRLB (Bor Referans Lifli Betonu) Basınç ve Eğilme Ortalama Deney Sonuçları

Basınç Deneyi Sonrası Numune Görüntüsü Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Basınç Deneyi Sonrası Numune Görüntüsü

BRB (Bor Referans Lifsiz Betonu) ve BRLB (Bor Referans Lifli Betonu) Basınç ve Eğilme Ortalama Deney Sonuçları Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. BRB (Bor Referans Lifsiz Betonu) ve BRLB (Bor Referans Lifli Betonu) Basınç-Eğilme-Yarmada Çekme Ortalama Deney Sonuçları

Kür Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (Mpa)		Ortalama Eğilme Dayanımı (Mpa)		Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı (Mpa)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
28 Gün 20°C Su Kürü	26,52	29,10	2,68	3,42	1,45	1,76
3 Gün Su + 2 Gün 200° C Etüv Kürü	28,27	32,44	3,26	3,89	1,65	1,97
28 Gün Hava Kürü	24,61	28,57	2,47	3,23	1,28	1,64

Rijit üstyapı beton yol kaplaması şartname limitinde, minimum basınç dayanım değeri 28 MPa, minimum eğilme dayanım değeri 4,5 MPa değildir [22]. Deney sonuçlarına göre yüksek oranda basınç dayanımını sağladığı, eğilme dayanımını sağlamadığı görülmektedir.

3.3.2. BPB (Bor Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Basınç-Eğilme-Yarmada Çekme Ortalama Deney Sonuçları

BPB (Bor Lifsiz Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Basınç-Eğilme-Yarmada Çekme Ortalama Deney Sonuçları Çizelge 3.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. BPB (Bor Lifsiz Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Basınç-Eğilme-Yarmada Çekme Ortalama Deney Sonuçları

Kür Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (Mpa)		Ortalama Eğilme Dayanımı (Mpa)		Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı (Mpa)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
28 Gün 20°C Su Kürü	29,20	45,15	6,70	8,00	3,35	3,96
3 Gün Su + 2 Gün 200° C Etüv Kürü	35,50	50	7,20	8,40	3,68	4,16
28 Gün Hava Kürü	28,30	44,17	6,20	7,73	3,17	3,74

Rijit üstyapı beton yol kaplaması şartname limitinde, minimum basınç dayanımının 28 MPa, minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması gerekir [22]. Deney sonuçlarının şartname limitlerini sağladığı görülmektedir.

3.4. Aşınma ve Donma Çözülme Deney Sonuçları

3.4.1. BPB (Bor Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma Çözülme Ortalama Deney Sonuçları

Toplamda 9'ar adet farklı beton numunesi üretilmiştir. Aşınma deneyi için 2 tip lifli ve lifsiz bor pudra betonları için 18 adet numune üretilmiştir. Donma ve çözülme deneyi için 2 tip lifli ve lifsiz bor pudra betonları için 18 adet numune üretilmiştir. Bu betonların her birinden 3'er numune 3 farklı kür için hazırlanmıştır. Deney sonuçları ortalama değer olarak aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir. Aşınma deneyi için 70*70*70 mm boyutlu numuneler, donma çözülme deneyi için 50*50*50 mm boyutlu numuneler oluşturulmuştur. Numuneler kalıplara şişle sıkıştırılarak ve basınç uygulanmadan yerleştirilmiştir. 24 saat sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Üçer adet numuneler 28 gün 20°c su kürü, 28 gün hava kürü ve 3 gün su + 2 gün

200° c etüv kürüne (kombine kür) alınmıştır. Kür sonrası tüm lifsiz ve lifli beton numunelerin aşınma ve donma çözülme deneyleri uygulanmıştır. TS 2824 EN 1338 maksimum aşınma direnci $18 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, maksimum donma çözülme kütle kaybı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'dir [44]. Aşınma ve Donma çözülme deneyi için hazırlanan numuneler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4.Aşınma ve Donma çözülme deneyi için hazırlanan numuneler

BPB (Bor Lifsiz Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma-Çözülme Ortalama Deneysel Sonuçları Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. BPB (Bor Lifsiz Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma- Çözülme Ortalama Deney Sonuçları

Kür Tipi	Aşınma Direnci (Böhme) Deneyi (cm ³ /50cm ²)		Donma ve Çözülme (kg/m ²)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
28 Gün 20 C Su Kürü	9,235	8,817	0,6	0,55
Kombine Kür 3 Gün Su + 2 Gün 200 C Etüv Kürü	9,103	8,741	0,63	0,56
28 Gün Hava Kürü	9,207	8,934	0,65	0,58

TS 2824 EN 1338 maksimum aşınma direnci 18 cm³/50cm², maksimum donma çözülme kütle kaybı 1,0 kg/m²'dir [44]. Deney sonuçlarının standartları karşıladığı görülmektedir.

BPB (Bor Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma-Çözülme numuneleri için Su Emme Ortalama Deney Sonuçları Çizelge 3.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. BPB (Bor Lifli Pudra Betonu) ve BLPB (Bor Lifli Pudra Betonu) Aşınma ve Donma- Çözülme numuneleri için Su Emme Ortalama Deney Sonuçları

Kür Tipi	Su Emme (Aşınma Numuneleri için) (%)		Su Emme (Donma- Çözülme Numuneleri için) (%)	
	Lifsiz	Lifli	Lifsiz	Lifli
28 Gün 20 C Su Kürü	4,4	4,4	4,8	4,9
Kombine Kür 3 Gün Su + 2 Gün 200 C Etüv Kürü	4,4	4,8	4,9	4,8
28 Gün Hava Kürü	4,8	4,9	4,8	4,7

3.5. Taş Mastik Asfalt Deney Sonuçları

Taş Mastik Asfalt deneylerine başlamadan önce agregaya bir kısım deneyler yapılmıştır.

Bunlar ;

- Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%),
- İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavisini Metodu ile) MB (%),
- Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO₄ İle Kayıp),
- Su Emme,
- Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık deneyleri

TMA deneyleri öncesi agrega standartları sağlaması gerekmektedir. Yukarıda verilen deneylerin sonucu standartlara uygunluğu sağlandıktan sonra TMA deneylerine başlanabilir.

3.5.1. Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%)

Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%) deney sonucu Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir. TS EN 1097-2 AASHTO 96 standartlarına göre kaba agrega parçalanma direnci maksimum %30 olması gerekir. Deney sonucumuz %50,2 çıkarak standartları sağlamamıştır. Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%)

Bor Agregasına Uygulanan Deneyler	Deney Sonuçları(%)	Şartname Limiti(KTŞ-BYKTŞ)	Deney Standardı
Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%)	50,2	≤ 30	TS EN 1097-2 AASHTO 96

3.5.2. İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavis Metodu ile) MB (%)

İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavis Metodu ile) MB (%) deney sonucu Çizelge 4.8.'da gösterilmiştir. TS EN 933-9 standartlarına göreince agrega kil oranı maksimum %1,5 olması gerekir. Deney sonucumuz % 8,5 üstü bir değer olup tespit edilemediği için standartları sağlamamıştır. İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavis Metodu ile) Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge3.8. İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavis Metodu ile) MB (%)

Bor Agregasına Uygulanan Deneyler	Deney Sonuçları	Şartname Limiti(KTŞ-BYKTŞ)	Deney Standardı
İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavis Metodu ile) MB (%)	% 8,5 Üstü Tespit Edilemedi	≤ 1,5	TS EN 933-9

3.5.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO₄ İle Kayıp)

TS EN 1367-2 standartlarına göre hava tesirlerine karşı dayanıklılık yüzdesi maksimum %18 olması gerekir. Deney sonucumuz %30,30 bulunarak standartları sağlamamıştır. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO₄ İle Kayıp) Çizelge 3.9.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO₄ İle Kayıp)

Bor Agregasına Uygulanan Deneyler	Deney Sonuçları	Şartname Limiti (KTŞ-BYKTŞ)	Deney Standardı
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO ₄ İle Kayıp)	30,30%	≤ 18	TS EN 1367-2

3.5.4.Su Emme

TS EN 1097-6 standartlarına göre agrega su emme oranı maksimum % 2,5 olması gerekir. Deney sonucumuz % 2,88 bulunarak standartları sağlamamıştır. Su Emme Deneyi Çizelge 3.10.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Su Emme Deneyi

Bor Agregasına Uygulanan Deneyler	Deney Sonuçları	Şartname Limiti (KTŞ-BYKTŞ)	Deney Standardı
Su Emme	2,88%	≤ 2,5	TS EN 1097-6

3.5.5. Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi

TS EN 1097-6 standartlarına göre agrega birim hacim ağırlığı minimum 2,55 g/cm³ olması gerekir. Deney sonucumuz 2,326 g/cm³ bulunarak standartları sağlamamıştır. Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık Deney sonucu Çizelge 3.11.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Bor Agregasına Uygulanan Deneyler	Deney Sonuçları	Şartname Limiti (KTŞ-BYKTŞ)	Deney Standardı
Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık	2,326 g/cm ³	≥ 2,55	TS EN 1097-6



Taş Mastik Asfalt Agrega Deneş Sonuçları izelge 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Taş Mastik Asfalt Agrega Deneş Sonuçları

Bor Agregasına Uygulanan Deneşler	Deneş Sonuçları	şartname (KTş Kısım 408 Tablo 408/3 Kaba Agrega zellikleri)	şartname (KTş Kısım 407 Tablo 407/3 Aşınma Tabakası Kaba Agreganın Fiziksel ve Mekanik zellikleri)	şartname (KTş Kısım 407 Tablo 407/3 Binder Tabakası Kaba Agreganın Fiziksel ve Mekanik zellikleri)	şartname (KTş Kısım 406 Tablo 406/2 Bitümlü Temel Kaba Agreganın Fiziksel ve Mekanik zellikleri)	Kısım 402-1(Tablo 402-1 Kaba Agreganın Fiziksel zellikleri Granüler Temel ve Plentmiks Temel İçin)	Kısım 401 (Tablo 401-2 Alttemel Malzemesinin Fiziksel zellikleri)	şartname (KTş Kısım 308 Tablo 308-10/308-13)	Deneş Standardı
Kaba Agregada Los Angeles Deneş Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%)	50,2%	≤ 25	≤ 27	≤ 30	≤ 30	≤ 35	≤ 45	≤ 35	TS EN 1097-2 AASHTO 96
İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavisi Metodu ile) MB (%)	% 8,5 Üstü Tespit Edilemedi	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ %1,5	TS EN 933-9
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO4 İle Kayıp)	30,30%	≤ 14	≤ 16	≤ 18	≤ 18	≤ 20	≤ 25	≤ 18	TS EN 1367-2
Su Emme	2,88%	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 3,0	≤ 3,5	≤ 3,0	TS EN 1097-6
Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık	2,326 g/cm3	-	-	-	-	-	-	≥ 2,55	TS EN 1097-6

3.6. Bitüm Deney Sonuçları

3.6.1. Penetrasyon Deney Sonucu

Bitüm içinde hava kalmayacak şekilde ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$) etüvde ısıtıldı. Etüvden çıkarıldıktan sonra 1 saat oda sıcaklığında (22°C) bekletildi. Cam kavanoz içinde 25°C suda 40dk. bekletilir. Sonra iğne ucu bitümün üzerinde sıfırlandı. İğne üstüne 100 gr.'lık ağırlık 5 sn. sonra bitüme batırıldı ve 3 kez batma derinliği ölçüldü. Penetrasyon Deney Sonucu Çizelge 3.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13. Penetrasyon Deney Sonucu

Bitümün geldiği yer		Batman Rafineri
Bitümün cinsi		50/70
Okumalar	Sonuç(mm)	Standart(mm)
1.okuma	58,2	50/70
2.okuma	61	50/70
3.okuma	62,5	50/70
Penetrasyon(Kıvamlilik)	60,6	50/70

3.6.2. Parlama Noktası Deney Sonucu

Bitüm küçük bir kabın içine konularak üstüne alev begi yardımıyla sıcaklık uygulandı. Alev begi üzerinde mavi alev görülüp yanma başlayınca sıcaklık değeri okundu. Şartnamede (K.T.Ş.) maksimum 220°C 'dir. Deney sonucumuz 187°C okunmuştur. Parlama Noktası Deney Sonucu Çizelge 3.14.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Parlama Noktası Deney Sonucu

Malzeme Cinsi	Okuma	Şartname (KTŞ)
Bitüm 50/70	187°C	$\leq 220^{\circ}\text{C}$

4. SONUÇ

4.1. Sonuç Analizi

Bu çalışma ile ülkemizde yüksek miktarda bulunan bor madeni atıkları ile Taş mastik asfalt ve beton yol kaplama üretimi amaçlanmış ve üretilen numuneler ilgili beton deneylerine tabi tutularak mevcut standart numunelerle karşılaştırılmıştır, TMA deneyleri öncesi agregalar bir dizi deneye tabi tutulmuş ve Bor atıklarının Taş mastik asfalt ve beton yol kaplama inşasında kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile standart numuneden daha yüksek mukavemette ve daha ekonomik Taş mastik asfalt ve beton yol kaplama üretimi hedeflenmiş ancak elde edilen değerler K.T.Ş. kriterlerine uygun olmadığı saptanmıştır fiziksel ve mekanik kriterleri sağlamadığı görülmüştür.

Bu çalışmada; BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu), BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu), BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) ve BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) olacak şekilde 4 farklı türde beton numunesi imal edilmiştir. BRB ile BRLB referans betonları, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğünden temin edilen, C30/37 sınıfı betona uygun olacak [0–4] mm , [4–8] mm ve [8–16] mm bor atıkları kullanıldı. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) ile BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) imalatında [0,1–1,0] mm aralığında pudra şeklinde bor agregası kullanıldı. BPB ile BLPB karışımları içinde iri taneli bor agregaları kullanılmadı. Tez çalışmasında imal edilen tüm betonlar için su/bağlayıcı 0,43 alındı. Çalışmada imal edilen betonlar için 0,43 olan su/bağlayıcı değeri, şartnameye göre maksimum 0,45 olan su/bağlayıcı değerinin altında seçilmiştir.

Çalışmada aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

Şartnameye göre minimum basınç dayanımının 28 MPa ve minimum eğilme dayanımının 4,5 MPa olması gerekir. Bu verilere göre sonuçlar değerlendirildiğinde;

BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonunu), 28 gün 20°C su kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 26,52 MPa bulundu. BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu), 28 gün 20°C su kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 2,68 MPa bulundu. Şartnameye göre BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında şartname limitlerinde belirtilen

basınç ve eğilme değerlerine ulaşamadı. Bundan dolayı BRB, 28 gün 20°C su kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılmamalıdır.

BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonunu), 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 28,27 MPa bulundu. BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonunu), 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 3,26 MPa bulundu. Şartnameye göre BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu), 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen eğilme dayanımını karşılayamadı. Bundan dolayı BRB, 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılmamalıdır.

BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonunu) 28 gün hava kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 24,61 MPa bulundu. BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonunu) 28 gün hava kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 2,47 MPa bulundu. Şartnameye göre BRB (Bor agregalı lifsiz referans betonu) , 28 gün hava kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen basınç ve eğilme dayanımını karşılayamadı. Bundan dolayı BRB, 28 gün 20°C hava kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılmamalıdır.

BRLB (Bor agregalı lifli referans betonunu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 29,10 MPa bulundu. BRLB (Bor agregalı lifli referans betonunu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 3,42 MPa bulundu. Şartnameye göre BRLB (Bor agregalı lifsiz referans betonu), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen eğilme dayanımını karşılayamadı. Bundan dolayı BRLB, 28 gün 20°C su kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılmamalıdır.

BRLB (Bor agregalı lifli referans betonunu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 32,44 MPa bulundu. BRLB(Bor agregalı lifli referans betonunu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 3,89 MPa bulundu. Şartnameye göre BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu), 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen eğilme dayanımını karşılayamadı. Bundan dolayı BRLB, 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılmamalıdır.

BRLB (Bor agregalı lifli referans betonunu), 28 gün hava kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 28,57MPa bulundu. BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu) 28 gün hava kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 3,23 MPa bulundu. Şartnameye göre BRLB (Bor agregalı lifli referans betonu), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen eğilme dayanımını karşılayamadı. Bundan dolayı BRLB, 28 gün 20°C hava kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılmamalıdır.

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonunu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 29,2 MPa bulundu. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonunu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 6,70 MPa bulundu. Şartnameye göre BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen basınç ve eğilme dayanımını karşıladı. Bundan dolayı BPB, 28 gün 20°C su kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonunu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 35,50 MPa bulundu. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 7,20 MPa bulundu. Şartnameye göre BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu), 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen basınç ve eğilme dayanımını karşıladı. Bundan dolayı BPB, 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 28 gün hava kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 28,30 MPa bulundu. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu), 28 gün hava kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 6,20 MPa bulundu. Şartnameye göre BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen basınç ve eğilme dayanımını karşıladı. Bundan dolayı BPB, 28 gün 20°C hava kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 45,15 MPa bulundu. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 8,0 MPa bulundu. Şartnameye göre BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen basınç ve eğilme dayanımını karşıladı. Bundan dolayı BLPB, 28 gün 20°C su kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 50,0 MPa bulundu. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 8,40 MPa bulundu. Şartnameye göre BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu), 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrası şartname limitlerinde istenen basınç ve eğilme dayanımını karşıladı. Bundan dolayı BLPB, 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün hava kürü sonrasında basınç dayanımı ortalama 44,17 MPa bulundu. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün hava kürü sonrasında eğilme dayanımı ortalama 7,73 MPa bulundu. Şartnameye BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitlerinde belirtilen basınç ve eğilme

dayanımını karşıladı. Bundan dolayı BLPB, 28 gün 20°C hava kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında aşınma direnci ortalama $9,235 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulundu. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında donma çözülme kütle kaybı ortalama $0,6 \text{ kg/m}^2$ bulundu. Şartnameye göre (TS 2824 EN 1338) maksimum aşınma direnci $18 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, maksimum donma çözülme kütle kaybı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'dir. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitlerini karşılamaktadır. Bundan dolayı BPB, 28 gün 20°C su kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında aşınma direnci ortalama $9,103 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulundu. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında donma çözülme kütle kaybı ortalama $0,63 \text{ kg/m}^2$ bulundu. Şartnameye göre (TS 2824 EN 1338) maksimum aşınma direnci $18 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, maksimum donma çözülme kütle kaybı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'dir. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu), 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrası şartname limitlerini karşılamaktadır. Bundan dolayı BPB, 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 28 gün hava kürü sonrasında aşınma direnci ortalama $9,207 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulundu. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu) 28 gün hava kürü sonrasında donma çözülme kütle kaybı ortalama $0,65 \text{ kg/m}^2$ bulundu. Şartnameye göre (TS 2824 EN 1338) maksimum aşınma direnci $18 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, maksimum donma çözülme kütle kaybı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'dir. BPB (Bor agregalı lifsiz pudra betonu), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitlerini karşılamaktadır. Bundan dolayı BPB, 28 gün 20°C hava kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında aşınma direnci ortalama $8,817 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulundu. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün 20°C su kürü sonrasında donma çözülme kütle kaybı ortalama $0,55 \text{ kg/m}^2$ bulundu. Şartnameye göre (TS 2824 EN 1338) maksimum aşınma direnci $18 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, maksimum donma çözülme kütle kaybı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'dir. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu), 28 gün 20°C su kürü sonrası şartname limitlerini karşılamaktadır. Bundan dolayı BLPB, 28 gün 20°C su kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında aşınma direnci ortalama $8,741 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulundu. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında donma çözülme kütle kaybı ortalama $0,56 \text{ kg/m}^2$ bulundu. Şartnameye göre (TS 2824 EN 1338) maksimum aşınma direnci $18 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, maksimum

donma çözülme kütle kaybı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'dir. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) , 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrası şartname limitlerini karşılamaktadır. Bundan dolayı BLPB, 3 gün su +2 gün 200°C etüv kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün hava kürü sonrasında aşınma direnci ortalama $8,934 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulundu. BLPB (Bor agregalı lifli pudra betonu) 28 gün hava kürü sonrasında donma çözülme kütle kaybı ortalama $0,58 \text{ kg/m}^2$ bulundu. Şartnameye göre (TS 2824 EN 1338) maksimum aşınma direnci $18 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, maksimum donma çözülme kütle kaybı $1,0 \text{ kg/m}^2$ 'dir. BLPB(Bor agregalı lifli pudra betonu), 28 gün hava kürü sonrası şartname limitlerini karşılamaktadır. Bundan dolayı BLPB, 28 gün 20°C hava kürü sonrasında yol kaplamalarında kullanılması uygundur.

Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%) deneyi TS EN 1097-2 AASHTO 96 standartlarına göre kaba agrega parçalanma direnci maksimum %30 olması gerekir. Deney sonucumuz %50,2 çıkarak standartları sağlamamıştır.

İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavisi Metodu ile) MB (%) deneyi TS EN 933-9 standartlarına göre ince agrega kil oranı maksimum %1,5 olması gerekir. Deney sonucumuz %8,5 bulunarak standartları sağlamamıştır.

Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO_4 İle Kayıp) deneyi TS EN 1367-2 standartlarına göre hava tesirlerine karşı dayanıklılık yüzdesi maksimum %18 olması gerekir. Deney sonucumuz %30,30 bulunarak standartları sağlamamıştır.

Su emme deneyi TS EN 1097-6 standartlarına göre agrega su emme oranı maksimum %2,5 olması gerekir. Deney sonucumuz %2,88 bulunarak standartları sağlamamıştır.

Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık deneyi TS EN 1097-6 standartlarına göre agrega birim hacim ağırlığı minimum $2,55 \text{ g/cm}^3$ olması gerekir. Deney sonucumuz $2,326 \text{ g/cm}^3$ bulunarak standartları sağlamamıştır.

4.2. Öneriler

Bor malzemesinin beton yol kaplamaları kullanılabilirliği için yapılan deneylerde; Basınç dayanımı için referans betonlarda sadece lifli olarak üretilenlerin standartları sağladığı, lifsiz olanların ise kombine kür işlemine tabi tutulanların standartları sağladığı görülmüştür. Bu anlamda lif kullanımı veya lifsiz olanlar için kombine kür işlemi yapılması gerekir. Referans betonlarda eğilme dayanımının lifli veya lifsiz her iki durumda'da standartları sağlamadığı görülmüştür. Pudra betonlarda basınç ve eğilme dayanımı tüm kür koşullarında ayrıca lifli veya

lifsiz her iki durumda'da standartları sağladığı görülmüştür. Bu anlamda yüksek dayanım elde etmek için karışımda lif kullanımını ve betonun kombine kür işlemine tabi tutulması gerekir.

Taş Mastik Asphalt deneyleri için; agrega numunelerine yapılan Kaba Agregada Los Angeles Deney Yöntemi ile Parçalanma Direnci Tayini (%),İnce Agregada Kil Oranı Tespiti (Metilen Mavisi Metodu ile) MB (%),Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık (MgSO₄ İle Kayıp), Su Emme, Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık deneyleri sonucunda Beton, BSK (Bitümlü Temel, Binder, Aşınma, TMA), temel, alttemel, PMT, PMAT üretimde kullanılabilirliği tespiti için yapılan deney sonucunda K.T.Ş kısımlarındaki şartname kriterlerinde beyan edilen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamadığı görülmüş ve Beton, BSK (Bitümlü Temel, Binder, Aşınma, TMA), temel, alttemel, PMT, PMAT kullanılmayacağı tespit edilmiştir. Bu anlamda Taş Mastik Asphalt deneyleri için farklı tür bor malzemeleri ile veya farklı malzeme oranları kullanılarak çalışmalara devam edilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Bek A, 2007. 2004 Yılında İstanbul-Ankara Devlet Yolunda Meydana Gelen Ölümlü, Yaralanmalı Trafik Kazalarının Hava Durumu, Yol Satış Durumu Ve Yoldaki Yön Durumuna Bağlı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] Şinforoğlu F, 2019. Bor Mineralinin Bitüm Katkı Malzemesi Olarak Kullanılmasının Taş Mastik Asfaltların Mühendislik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- [3] Yılmaz B, 2016. Bor İçerikli Organik Katkıyla Modifiye Edilen Asfaltın Performans Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [4] Olgun A, Erdoğan Y, 2001. Etibor Bandırma Borik Asit İşletmesi Atıklarının Seramik Endüstrisinde Kullanımı. Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, DergiPark , 002, 58-61
- [5] Kadioğlu T, 2020. Beton Ve Asfalt Yolların Dayanım, Dayanıklılık (Durabilite) Ve Maliyet Değişimlerinin Karşılaştırılması : Trabzon Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [6] Şanlıer İ, Pamuk İ, 2017. Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt (TMA) Uygulamaları ve Performanslarının Karşılaştırılması. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Academic Platform Sempozyumu, 199-209
- [7] Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No: 276, Ankara.
- [8] Gür A, 2016. Öğütülmüş Araç Lastiği Ve Sasobit Modifiyeli Bitüm Ve Bitümlü Sıcak Karışım Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [9] İzol E, 2020. Taş Mastik Asfalt Yapımında Mineral Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanılması.Yüksek Lisan Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [10] Altan F, 2018. Taş Mastik Asfaltta Elektrik Ark Fırını Cürufunun Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması Ve Doğal Agregası İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Süme E, 2016. Geri Dönüşüm Agregasının Beton Yol Kaplamasında Kullanılabilirliği. Yüksek Lisan Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [12] <http://www.acpa.org/concretepavements/technologies/> (Erişim Tarihi: 18.11.2020)
- [13] Boztepe M, 2011. Beton Yollardaki Farklı Yüzey Tiplerinin Gürültü Düzeyi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.,
- [14] <http://betonyol.org.tr/icerik.php> (Erişim Tarihi : 19.11.2020)
- [15] BOREN, 2013. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 2013-2017 Stratejik Plan Raporu.
- [16] <http://www.etimaden.gov.tr/bor-elementi> (Erişim Tarihi : 19.11.2020)
- [17] <https://www.bilgiustam.com/bor-madeni-nedir-onemi-ve-kullanim-alanlari-nelerdir> (Erişim Tarihi : 19.11.2020)
- [18] Eti Maden Genel Müdürlüğü EYS TBL ETİ 01/24.08.2015/00 REV.:2021/00, Ankara.
- [19] Erdoğan TY,2015. Beton. ODTÜ Yayıncılık. Ankara.
- [20] Güner MS, 2015. Malzeme Bilimi-Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi. Aktif Yayınevi. İstanbul.

- [21] Orhan F, 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [22] Tunç, A., 2007, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, 53–77.
- [23] [http://www.iksa.com.tr/urun.html/İksafume Kabul Kriterleri](http://www.iksa.com.tr/urun.html/İksafume%20Kabul%20Kriterleri) (Erişim Tarihi:27.11.2020)
- [24] Kınay F,2020. Beton Yol Kaplama İnşasında Bazaltın Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [25] <http://www.basf.com.tr/> (Erişim Tarihi :27.11.2020)
- [26] Ünsal A, Şen H, 2008. Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Laboratuvarı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [27] TS EN 1367-2, 2010. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, TSE, Ankara.
- [28] <http://www.atlas1.com.tr/celik-tel> (Erişim Tarihi :27.11.2020)
- [29] Richard, P.,Cheyrezy, M., 1995. Composition of Reactive Powder Concretes. Cement and Concrete Research, 25, 1501-1511.
- [30] <https://www.istanbulteknik.com/asfalt-urunleri/hipercell-selulozik-elyaf> (Erişim Tarihi : 19.11.2020)
- [31] Selman GŞ, 2015.Bor Atıklarının Asfalt Kaplamalarda Mineral Filler Olarak Kullanılabilirliği.Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Afyon.
- [32] TS EN 1097-6, 2015. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.

- [33] TS EN 933-3+A1, 2015. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 9: İnce tanelerin tayini, Metilen mavisi deneyi, TSE, Ankara.
- [34] İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı Deney Föyü 2017. Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [35] TS EN 12350-2, 2019. Beton- Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TSE, Ankara.
- [36] TS EN 12390-3, 2019. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- [37] TS EN 12390-5, 2019. Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- [38] Bakış A, 2015. Rijit Yol Üstyapı İnşasında Reaktif Pudra Betonun (RPB) Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [39] TS EN 12390-6, 2010. Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- [40] Tekmen T, 2006. Kireçtaşlarından Üretilen Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [41] Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Laboratuvarı (2014-2015 Bahar Dönemi) Böhme Aşınma Deneyi
- [42] Aslan M, 2018. Mastik Asfalt Üretiminde Pomza, Perlit Ve Ahlat Taşı Agregasının Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi ve Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- [43] <http://www.cografyaharita.com/> (Erişim Tarihi: 01.12.2020)

[44] TS 2824 EN 1338 , 2005.Zemin döşemesi için beton kaplama blokları-Gerekli şartlar ve deney metodları. TSE, Ankara.

[45] Akpolat M, 2014. Ilık Karışım Katkısının Bitüm ve Taş Mastik Asfalt Kaplamaya Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[46] <http://www.limak.com.tr> (Erişim Tarihi: 27.11.2020)



6. EKLER

STANDARD
STANDARD KALİBRASYON
İnciönar Mah. Halli Sitesi Cad. 13/Şişli Plaza Kat: 8 No: 804
Şişli/Beşiktaş/İSTANBUL
Tel: (0342) 225 07 40 Fax: (0342) 225 07 40

STANDARD
8221
02.3030

Kalibrasyon Sertifikası
Calibration Certificate

Çiğdem Sokak Adresi : ADABAĞ YAPISAN. A. 3.
Customer / Address : FATİH MAH.BİTLİS YOLU CAD. NO:201
TATVAN-BİTLİS
İstek Numarası : 19120-65
Order No
Makine / Cihaz : ETEV
Instrument Device
İmalatçı : BESMAK
Manufacturer
Tip : MT
Type
Seri Numarası : LABORATUVAR
Serial Number
Kalibrasyon Tarihi : 28.02.2020
Date of Calibration
Sertifika Sayfa Sayısı : 3
Number of Pages of the Certificate


Bu kalibrasyon sertifikası, ölçüler arası ölçmelerde (SI) temel birimlere referans edilen ulusal ölçüm standartlarına (denebilirliği) temeldir.
This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI).
Ölçüler amaçları, gereklilikleri (ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikaya temelsiz olarak eklenmiş ve aşağıdaki şekilde belirtilmiştir).
The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.

Mühür : Tarih : Kalibrasyonu Yapan : Onaylayan :
Seal : Date : Calibration by : Approval :
28.02.2020 : LEVENT TANRIÖVER : MUSTAFA TANRIÖVER

Bu sertifika laboratuvarımız için bir alındıkta geçerlidir ve başka amaçlarla kullanılmamalıdır.
This certificate shall not be reproduced other than for the use of the laboratory.
Calibration certificate without signature and stamp is not valid.

Tel : + 90 342 225 07 40 Fax : + 90 342 225 07 40 E-mail : standard@standardlab.com.tr

Şekil Ek 1.1. Etöv Kalibrasyon Belgesi

**Karayolları 9.Bölge Müdürlüğü**
Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliği
Büyükalp Cad. 21100 Yenişehir / DIYARBAKIR

Deney Raporu
Test Report

B09.ARŞ-BÇ
BÇ-BT-
BK/2020
25.11.2020

SONUÇLAR:

1.) Ar-Ge Başmühendisliği Laboratuvarına getirilen bor ara ürünü agrega numunelerine Beton,BSK(bitümlü temel,binder,aşınma,tma),Temel, Alttemel, PMT, PMAT üretiminde kullanılabilirliğinin tespiti amacıyla yapılan deneyler nihayetinde agrega gruplarının yukarıda belirtilen K.T.Ş Kısımlarındaki şartname kriterlerinde beyan edilen fiziksel ve mekanik özelliklere ait **kriterleri sağlamadığı** görülmüş ve Beton,BSK(bitümlü temel,binder,aşınma,tma),Temel, Alttemel, PMT, PMAT üretiminde kullanılmayacağı tespit edilmiştir.

RAPORU YAZAN

Sahin BULUTOĞLU

Yol ve Yapı Matz. Tek. Elm.



ONAYLAYAN

Alaaddin ÖZTÜRK

Arazi Mühendisi



Şekil Ek 1.2. Karayolları Deney Raporu Sonuç Değerlendirmesi



Şekil Ek 1.3. Mikserde Numune üretimi için hazırlanan karışım



Şekil Ek 1.4. Eğilme Deneyi İçin 100*100*400 Mm Boyutlu Numune Tartımı



Şekil Ek 1.5. Kalıplara Yerleştirilen Eğilme numuneleri



Şekil Ek 1.6. Çelif Eklenmiş Malzeme Karışımı



Şekil Ek 1.7. Donma Çözülme İle Aşınma Direnci İçin Üretilen Numuneler



Şekil Ek 1.8. Basınç Dayanımı ile Yarmada Çekme Dayanımı İçin Üretilen Numuneler



Şekil Ek 1.9. Basınç Dayanımı Deneyi Sonrası Numune Gösterimi



Şekil Ek 1.10. Basınç Dayanımı Deneyi için 150*150*150 Mm Boyutlu Numune Tartımı



Şekil Ek 1.11. Mikserde Hazırlanan Karışımın Kalıplara Götürülmesi



Şekil Ek 1.12. Karışımın Hazırlanırken Kullanılan Hassas Terazi



Şekil Ek 1.13. Aşınma Direnci Deneyi İçin 70*70*70 mm boyutlu numuneler Numune Tartımı



Şekil Ek 1.14. Donma Çözülme Deneyi İçin 50*50*50 Mm Boyutlu Numune Tartımı



Şekil Ek 1.15.Etüve Konulmuş Deney Numuneleri



Şekil Ek 1.16.Su Kürü Havuzu

ÖZGEÇMİŞ

1981 Tatvan doğumluyum. İlk ve Orta öğrenimimi Tatvan İmam Hatip Lisesi'nde bitirdim. Daha sonra 2001 yılında kazandığım. Selçuk Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldum. 2013 Yılında kazandığım Ahmet Yesevi Üniversitesi Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Yüksek Lisans bölümünden 2015 yılında mezun oldum.2015 yılında kazandığım Bitlis Eren Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2018 yılında bölüm birinci olarak bitirdim. Yabancı dilim Arapça ve İngilizcedir.

Hüseyin KARA

