

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**POROZ ASFALT KAPLAMALI ÜSTYAPI DİZAYNI İLE İLGİLİ DENEYSEL
ÇALIŞMALAR**

MURAT YEŞİLBAŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**POROZ ASFALT KAPLAMALI ÜSTYAPI DİZAYNI İLE İLGİLİ DENEYSEL
ÇALIŞMALAR**

MURAT YEŞİLBAŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POROZ ASFALT KAPLAMALI ÜST YAPIDIZAYNI İLE İLGİLİ DENEYSEL
ÇALIŞMALAR**

Murat YEŞİLBAŞ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 09/ 10/ 2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

.....


Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR

.....


Prof. Dr. Nihat DİPOVA

.....


ÖZET

POROZ ASFALT KAPLAMALI ÜSTYAPI DİZAYNI İLE İLGİLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Murat YEŞİLBAŞ

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Ekim 2019; 66 sayfa

Ulaşım sektörü günümüz dünyasında önemli bir yer tutmaktadır. Teknolojik ve ekonomik gelişmelere bağlı olarak artan yaşam standartları ulaşım sektörüne de etki etmektedir. Bu durum ülkemizde özellikle karayollarındaki araç sayısının artışında önemli bir rol oynamaktadır. Araç sayısındaki artış karayollarında yol üst yapısında uygulanan kaplamaların önemini artırmaktadır. Ülkemizde karayollarında genellikle bitümlü sıcak karışım ile sathi kaplamalar tercih edilmektedir. Ancak bu kaplamaların uygulaması bazı bölgelerde birtakım sorunlara neden olmaktadır. Özellikle şehir içinde ve park alanlarında uygulanan bitümlü sıcak karışımlarda; yağmur sonrası drenaj sistemlerinin yetersiz kalması, yüzeyde su birikintilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Yol yüzeyindeki bu su birikintileri trafikte araçların ve yayaların hareketini güçleştirmektedir. Aynı zamanda aşırı yağışlar sonrasında yol yüzeyinde akış halinde bulunan su, yüzeyin kaymaya karşı direncini düşürmekte ve araçların kaza yapma riskini artırmaktadır. Buna ek olarak; ülkemizde şehir içinde kullanılan mevcut kaplamalar, araç trafiğinden kaynaklanan gürültülerin de temel sebebini oluşturmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında; yol kaplamasından kaynaklanan bu tür problemlerin çözümü konusunda bir alternatif oluşturabilecek, poroz asfalt dizaynı üzerine çalışılmıştır. Poroz asfalt yaklaşık % 20-28 boşluk oranına sahip, geçirimli bir yapıya sahip asfalt kaplama çeşididir. Poroz asfaltın geçirimli yapısı sayesinde yağmur sonrası yol yüzeyinde oluşan su birikintileri doğrudan alt tabakalara iletilmektedir. Aynı zamanda poroz asfalt kaplamanın boşluk oranının yüksek olması nedeniyle, şehir içinde araçlardan kaynaklı gürültü de minimize edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında; laboratuvar ortamında poroz asfaltın alt temel, temel ve aşınma tabakalarının ayrı ayrı dizaynları yapılmıştır.

Poroz asfalt dizaynında kalker (kireç taşı) kullanılmıştır. Bunun sebebi uygulamada Kütahya'dan bazalt agrega getirilmesinin maliyetinin yüksek olmasıdır. Agregaların performansı (Los Angeles, özgül ağırlık, su absorpsiyonu, yassılık indeksi, metilen mavisi, hava tesirlerine karşı direnç) deneyleri ile test edilmiştir. Alt temel tabakası Karayolları Teknik Şartnamesindeki bitümlü sıcak karışım için belirtilen alt temel standartlarına uygun olarak dizayn edilmiştir. Temel tabakası tek tip gradasyonda ve geçirimli bir yapıda olup, çimento bağlayıcılı poroz betonu olarak tertip edilmiştir. Aşınma tabakası Karayolları Teknik Şartnamesindeki standartlara göre dizayn edilmiştir. Aşınma tabakasının dizaynında 50\70 penetrasyonlu bitüm kullanılmış ve oluşturulan dizayndan elde edilen sonuçların laboratuvar deneyleri (Cantabro, bitüm süzülme, marshall stabilite, yumuşama noktası vb.) yapılarak elde edilen sonuçların Karayolları Teknik Şartnamesi ve literatürdeki standartlara uygunluğu kontrol edilmiştir. Ayrıca; temel tabakası ve aşınma tabakasının, geçirimliliği ve boşluklu yapısı laboratuvarında incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Poroz asfalt, geçirimli asfalt, Cantabro, modifiye proktor, poroz beton, permeabilite

JÜRİ: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR

Prof. Dr. Nihat DİPOVA

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY ON POROUS ASPHALT DESIGN

Murat YEŞİLBAŞ

MSC in Civil Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

October 2019; 66 pages

Transportation sector has an important role in the recent developments. Increasing living standards due to technological and economic developments also affect the transportation sector. This situation plays an important role especially in the increase of vehicles' number in our country. The increase in the number of vehicles increases the value of pavement in the highway construction sector. Generally, the construction of hot mix asphalt and chip seal pavements are more applied in our country. However, the application of these pavements may cause different problems in some area. Bituminous hot mix asphalt, especially in the city and parking areas, causes the accumulation of water on the pavement surface after raining due to the insufficient drainage systems. These accumulated water on the road surface make the movement of vehicles and pedestrians difficult. At the same time, existing of water on the road surface decreases the skid resistance of the pavement surface and it may increase the risk of accidents.

In this experimental study, porous asphalt designed as an alternative pavement to solve the problems caused by various traffic volumes. Porous asphalt is a type of permeable pavement structure which designed with 20-28% air voids content. Porous asphalt pavements prevent the flow water on the road surface due to its permeability property. At the same time, the noises caused by the different type of vehicles in the city may be minimized due to the more air voids content of porous asphalt. In this thesis, sub-base, base and wearing course of porous asphalt designed separately in the laboratory temperature.

The performance of limestone used in the designing of porous asphalt was determined by the conducting of Los Angeles, specific gravity, water absorption, flakiness index, resistance to air effects and Methylene blue tests. Sub-base layer was designed as the same method which is used in the sub-base of hot mix asphalts according to the Turkish Highway Construction Standard, while base layer consists of a porous concrete layer designed with cement and uniform aggregate gradation in order to have a permeable structure. Finally, Wearing course was designed according to the Turkish Highway Construction Standard. In addition, 50/70 penetration bitumen was used in the wearing course design. Various experimental tests such as Marshall stability, Cantabro, softening point and bitumen infiltration tests were conducted and obtained results compared with the Turkish Highway Construction Standard and

literatures limits. Moreover, Permeability and air voids content of base and course layers of porous asphalt were also evaluated in the laboratory.

KEYWORDS: Porous asphalt, permeable asphalt, asphalt designs, Cantabro, porous concrete, permeability

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Mesut TIĞDEMİR

Prof. Dr. Nihat DİPOVA

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Ana Bilim Dalı Laboratuvarında yapılmıştır.

Ülkemizde, karayolu taşımacılığı en çok tercih edilen taşımacılık türüdür. Sürekli bir gelişim içinde olan karayollarında üst yapı kaplamaları önemli bir yer tutmaktadır. Karayolları ulaşımında üst yapı kaplamalarında genellikle BSK ve sathi kaplamalar tercih edilmektedir. Ancak bu kaplamaların tercihi; bazı bölgelerde (özellikle şehir içi yollarda ve açık otopark alanlarında) aşırı yağış sonrası oluşacak drenaj problemlerini de beraberinde getirmektedir. Tez çalışması kapsamında, bu drenaj problemlerinin önüne geçebilmek için, bir takım araştırmalar yapılmış ve poroz asfalt kaplamaların drenaj problemlerinin çözümü konusunda önemli bir alternatif teşkil edebileceği fikrine varılmıştır. Ayrıca; ülkemizde poroz(geçirimli) asfalt kaplama dizaynı üzerine deneysel çalışmaların az bulunması, bu tez çalışmasının yapılmasında belirleyici bir sebep olmuştur.

Bu tez çalışmamda desteklerini benden esirgemeyen başta ailem ve danışman hocam Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ olmak üzere yüksek lisans arkadaşlarım Dürdane YILMAZ, Ahmad Khaled MASBAH, Mansor NAZARY, Azad DİNLER, Allahverdi GULLUYEV, Barış BULUT ve Onur Burak MİLLİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Poroz Asfaltın Tanımı	3
2.2. Poroz Asfaltın Avantajları.....	4
2.3. Poroz Asfaltın Dezavantajları ve Bakımı	4
2.4. Poroz Asfaltın Tarihi	5
2.5. Poroz Asfalt Dizaynında Etkili Olan Faktörler	5
2.6. Poroz Asfalt Uygulama Alanları	7
2.7. Literatür Özeti	7
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1. Alttemel Dizayn Kriterleri.....	10
3.1.1. Alttemel gradasyonunun belirlenmesi	10
3.1.2. Alttemel tabakasına uygulanan deneyler	11
3.1.2.1. Kaba ve ince agregalarda özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deneyleri (TS EN 1097-6).....	11
3.1.2.2. Los Angeles aşınma deneyi (TS EN 1097-2)	14
3.1.2.3. Yassılık indeksi deneyi (BS 812).....	16
3.1.2.4. Metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9).....	18
3.1.2.5. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi (magnezyum sülfat deneyi) (TS EN 1367-2).....	19
3.1.2.6. Modifiye proktor deneyi (TS 1900-1).....	21
3.1.2.7. Yaş CBR (Kaliforniya taşıma oranı) deneyi (TS 1900-2)	22
3.2. Temel Tabakası Poroz Betonunun Dizayn Kriterleri	23
3.2.1. Poroz betonun karışım oranlarının ve gradasyonunun belirlenmesi.....	24

3.2.1.1.Poroz betonunun karışım oranlarının belirlenmesi	24
3.2.1.2.Poroz betonun agrega gradasyonunun belirlenmesi	24
3.2.2. Tek eksenli basınç deneyi (TS EN 12390-3).....	25
3.3. Poroz Asfaltın Dizayn Kriterleri	27
3.3.1. Agrega özellikleri	27
3.3.2. Poroz Asfalt Agregasının Gradasyon Limitleri	28
3.3.3. Bitüm Özellikleri	29
3.3.3.1 Bitüm özgül ağırlık deneyi (TS EN 15326 + A1).....	29
3.3.3.2. Bitüm penetrasyon deneyi (TS EN 1426).....	30
3.3.4. Polimer Modifiye Katkı Malzemesinin Özellikleri	31
3.3.5. Poroz asfalt karışımında kullanılacak optimum bitüm oranının hesaplanması.....	31
3.3.6. Marshall karışım dizaynı yöntemi (TS 3720).....	32
3.3.7. Poroz asfalt karışımların boşluk oranının hesaplanması	33
3.3.8. Parça kaybı (Cantabro) deneyi (TS EN 12697-17)	34
3.3.9. Marshall stabilite deneyi (TS EN 12697-34).....	34
3.3.10. Permeabilite Deneyi (TS EN 12697-19).....	35
3.3.11. İndirekt çekme mukavemeti deneyi (TS EN 12697-12).....	40
3.3.12. Tel Sepet yöntemi bitüm süzülme deneyi (AASTHO T 305.....	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Alttemel Tabakasına Uygulanan Deneylerin Sonuçları	45
4.1.1. Kaba ve ince agrega özgül ağırlık ve su asbsorbsiyonu deney sonuçları ...	45
4.1.2. Los Angeles aşınma deneyi sonuçları	46
4.1.3. Yassılık indeksi deney sonuçları	47
4.1.4. Metilen mavisi deney sonuçları	47
4.1.5. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (MgSO4) deneyi sonuçları	47
4.1.6. Modifiye Proktor Deney Sonuçları.....	48
4.1.7. Yaş CBR deney sonuçları	48
4.2. Temel Tabakası Poroz Betonunun Karışım Oranı Ve Gradasyon Sonuçları	49
4.2.1. Poroz betonunun karışım oranı sonuçları	49
4.2.2. Poroz betonu gradasyon sonuçları	51
4.2.3. Poroz betonu tek eksenli basınç deneyi sonuçları	53

4.3. Poroz Asfalt Tabakası Deney Sonuçları.....	54
4.3.1. Bitüm özgül ağırlık deneyi sonucu	54
4.3.2. Bitüm penetrasyon deneyi sonucu	54
4.3.3. Poroz asfalt karışımında kullanılacak optimum bitüm oranı sonuçları	55
4.3.4. Poroz Asfalt Karışımların Boşluk Oranının Sonuçları	55
4.3.5. Parça kaybı (Cantabro) deney sonuçları	56
4.3.6. Marshall stabilite deney sonuçları	58
4.3.7. Permeabilite deney sonuçları	58
4.3.8. İndirekt çekme mukavemeti deney sonuçları	60
4.3.6. Tel sepet yöntemi bitüm süzülme deneyi sonuçları.....	60
5. SONUÇLAR	62
6. KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Poroz Asfalt Kaplamalı Üstyapı Dizaynı İle İlgili Deneysel Çalışmalar” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

09.10.2019

Murat YEŞİLBAŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

π : Pi Sayısı

α : Alfa

γ : Gama

\pm : Eksik Veya Fazla Olabilir

Σ : Epsilon İşareti

% : Yüzde

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece

M : Metre

Mm : Milimetre

Cm : Santimetre

Dm : Desimetre

Gr : Gram

Kg : Kilogram

Lt : Litre

ml : Mililitre

Cm^2 : Santimetrekare

Cm^3 : Santimetreküp

Bu tez çalışmasında sayıların ondalık kısmı (,) ile ayrılmıştır.

Kısaltmalar

KTŞ : Karayolları Teknik Şartnamesi

BSK : Bitümlü Sıcak Karışım

TS : Türk Standartları

ASTM : American Society for Testing and Materials

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials

TMA : Taş Mastik Asfalt

İÇM : İndirekt Çekme Mukavemeti

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Aşırı yağış sonrası yollardaki drenaj problemleri.....	1
Şekil 1.2. Poroz asfalt kademeleri.....	2
Şekil 2.1. Poroz asfalt en kesiti.....	2
Şekil 2.2. Poroz asfalt ve diğer asfalt karışımların gradasyonlarının karşılaştırılması (Özay 2011).....	3
Şekil 3. 1. Sudan çıkarılan agreganın havlu ile kurutulması.....	11
Şekil 3. 2. a) Agreganın abraham hunisi ile doygun kuru yüzey halinin belirlenmesi; b) Piknometre ve agreganın tartılması	13
Şekil 3. 3. Hazırlanan piknometre + su + numune.....	14
Şekil 3. 4. a) Los Angeles deney cihazı; b) Los Angeles cihazının içindeki agrega ve metal bilyelerin görünümü.....	16
Şekil 3. 5. Yassılık indeksi deney şablonu.....	17
Şekil 3. 6. Metilen mavisi deney düzeneği	19
Şekil 3. 7. Magnezyum sülfat deney cihazı	20
Şekil 3. 8. a) Magnezyum sülfat kabini; b) Tel sepetin MgSO ₄ çözeltisine konulması	20
Şekil 3. 9. a) Proktor numunesine su eklenerek karıştırılması; b) Proktor kalıbına numunenin yerleştirilerek tartım için kenarlarının temizlenmesi	22
Şekil 3. 10. a) Deney numunesinin küre bırakılması; b) Kaliforniya taşıma oranı(CBR) deney aleti	23
Şekil 3. 11. a) Beton kalıbı; b) Beton mikseri; c) Kalıba dökülen beton numunesi.....	24
Şekil 3. 12. a) Poroz betonun kalıptaki görünümü; b) Kalıptan çıkarılan poroz betonun su geçirimsizliğinin incelenmesi	25
Şekil 3. 13. Poroz betonun basınç dayanımı deney cihazında maksimum taşıma basıncının bulunması.....	26
Şekil 3. 14. Penetrasyon deney cihazı.....	30
Şekil 3. 15. Polimer modifiye katkı maddesi.....	31

Şekil 3. 16. Modifiye bitümün hazırlanması.....	32
Şekil 3. 17. Poroz Asfalt Marshall Numunesi	33
Şekil 3. 18. Marshall stabilite deney cihazına numunenin yerleştirilmesi.....	35
Şekil 3. 19. a) Membranın takılması; b) Numunenin permeabilite deney aletine yerleştirilmesi	37
Şekil 3. 20. a) Su sütununun hazneye yerleştirilmesi; b) Pompa yardımıyla haznenin 0.5 bar basıncına ayarlanarak deney düzeneğinin hazırlanması	37
Şekil 3. 21. a) Deneyin yapıldığı anın önden görünümü; b) Deney düzeneğinin üstten görünümü	38
Şekil 3. 22. a) Deneyde kullanılacak parafinin ocakta eritilmesi; b) Numunenin alt tabakasının parafin ile kaplanması.....	39
Şekil 3. 23. a) Deney düzeneğine numunenin ve su sütununun yerleştirilmesi; b) Deney düzeneğinin hazır hale getirilmesi	40
Şekil 3. 24. a) Numunelerin donma-çözünme kabineye yerleştirilmesi; b) Numunelerin donmuş haldeki görünümü	41
Şekil 3. 25. Numunelerin indirekt çekme mukavemeti deney cihazı	42
Şekil 3. 26. Bitüm süzülme deneyinde kullanılan tel sepetin boyutları.....	43
Şekil 3. 27. a) Karışımın tel sepete aktarılması; b) Tel sepetin altına süzgeç kağıdı koyularak tepsiye yerleştirilmesi; c) Tel sepet ile numunenin tartılması.....	44
Şekil 4.1. Metilen mavisi deneyinde kullanılan süzgeç kağıdı	47
Şekil 4.2. Modifiye proktor deneyi kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası grafiği.....	48
Şekil 4.3. 1. Denemede elde edilen poroz beton numunesi	49
Şekil 4.4. 2. Denemede elde edilen poroz beton numunesi	50
Şekil 4.5. 3. Denemede elde edilen poroz beton numunesi	51
Şekil 4.6. Poroz betonun kalıptan çıkarılması	52
Şekil 4.7. 9.5 mm-12.5 mm dane çapı aralığında agrega ile hazırlanan poroz betonunun kalıptaki görünümü	52
Şekil 4.8. Su altında agrega- çimento ayrışmasının incelenmesi.....	53

Şekil 4.9. Tip 2 Dizaynı parça kaybı (Cantabro) deneyi öncesi ve sonrası görünümü	57
Şekil 4.10. Tip 4 dizaynı parça kaybı (Cantabro) deneyi öncesi ve sonrası görünümü	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Antalya bölgesi aylık toplam yağış miktarlarının yıllara göre dağılımı (mm = kg/m ²) (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kasım 2018).....	6
Çizelge 3.1. Alt temel gradasyon limitleri (KGM 2013).....	10
Çizelge 3.2. Dane büyüklüğü-agrega miktarı ve devir sayısı (Demirel vd. 2012)	15
Çizelge 3.3. Aşınma sınıfına bağlı kullanılan bilye sayısı (Demirel vd. 2012).....	15
Çizelge 3.4. Yassılık indeksi deneyinde kullanılan malzeme miktarları (Demirel vd. 2012).....	17
Çizelge 3.5. Poroz asfaltta kullanılacak kaba agrega özellikleri (KTŞ 2013)	27
Çizelge 3.6. Poroz asfaltta kullanılacak ince agrega özellikleri (KTŞ 2013)	28
Çizelge 3.7. Poroz Asfalt Gradasyon ve Tolerans Sınırları (KTŞ 2013).....	29
Çizelge 3.8. Bitüm özgül ağırlığının hesaplanması	30
Çizelge 3.9. Donma-çözünme kabini sıcaklık döngüsü.....	41
Çizelge 4.1. Kaba agrega zahiri özgül ağırlığı ve su absorpsiyonu yüzdeleri.....	45
Çizelge 4.2. İnce agrega zahiri özgül ağırlık ve su absorpsiyonu yüzdeleri.....	45
Çizelge 4.3. Filler agreganın zahiri özgül ağırlığı	46
Çizelge 4.4. 1. Deneme karışım verileri	49
Çizelge 4.5. İkinci Deneme Karışım Verileri	50
Çizelge 4.6. Poroz betonu karışımında kullanılacak karışım oranları	51
Çizelge 4.7. Poroz betonu tek eksenli basınç deneyi sonuçları.....	53
Çizelge 4.8. Bitüm özgül ağırlık deney sonucu	54
Çizelge 4.9. Bitüm penetrasyon deneyi sonucu	54
Çizelge 4.10. Tip 2 dizaynı parça kaybı (Cantabro) deney sonuçları.....	56
Çizelge 4.11. Tip 4 dizaynı parça kaybı (Cantabro) deney sonuçları	56
Çizelge 4.12. Marshall stabilite deney sonuçları.....	58

Çizelge 4.13. Permeabilite deney sonuçları.....	59
Çizelge 4.14. İndirekt çekme mukavemeti deney sonuçları.....	60
Çizelge 4.15. Bitüm süzülme deneyi sonuçları.....	61
Çizelge 4.16. Deney sonuçları ve KTŞ 2013 dizayn limitleri.....	61

1. GİRİŞ

Ülkemizde karayollarındaki yol kaplamalarında çoğunlukla klasik bitümlü sıcak karışım (BSK) kullanılmakta olup, bazı bölgelerde BSK'nın özel uygulamaları olan taşmastic asfalt ve sathi kaplama uygulamaları da görülmektedir. Bu tez çalışmasında uygulanan mevcut kaplamalara alternatif teşkil edebilecek poroz asfalt kaplamanın, laboratuvar ortamında dizaynı yapılarak uygulanabilirliği test edilmiştir. Poroz asfalt, boşluk oranı yüksek ve geçirimli bir yapıya sahip yol kaplama çeşididir. Diğer kaplama çeşitlerine göre dayanımı düşüktür ancak özellikle trafik yükünün az olduğu yerlerde (şehir içi yollar, park alanları, pazar yerleri vb.) uygulamasının yapılması büyük avantajlar sağlamaktadır. Mevcut kaplamalarda; yağmurlu havalarda, drenajın sıkıntılı olduğu bölümlerde, yol yüzeyinde su birikintileri ve su akışları görülmektedir. Yol yüzeyinde oluşan bu su kitleleri, trafik güvenliğini tehdit eden bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yağmur suyu birikintilerinin yol yüzeyinde yarattığı başlıca problemler şunlardır:

- i. Yol yüzeyinde yağmurlu havalarda oluşan su tabakası, yol ile araç tekerleği arasındaki sürtünme kuvvetini düşürür ve yol yüzeyi kaygan hale gelir. Bu durumda kızıllama riski artar ve trafik kazaları meydana gelebilir (Şekil 1.1).
- ii. Yağmurlu havalarda yol yüzeyinde oluşan su kitleleri araçların rahat hareket etmesini engeller. Bu durum trafik yoğunluğunu artırır ve kazalara sebebiyet verebilir.
- iii. Akşam saatlerinde trafik aydınlatmalarının yetersiz olduğu yerlerde, su birikintilerinin sürücüler tarafından fark edilmemesi kaza riskini artırır. Aynı zamanda araç farlarından çıkan ışık, su birikintisinden yansıma yaparak karşı yöndeki sürücünün görüşünü engelleyebilir.
- iv. Trafikteki yayaların yağmurlu havalarda hareket etmesi zorlaşır. Araçların yol yüzeyinde biriken suları etrafa sıçratması yayaların rahatsız olmasına neden olur.
- v. Yol yüzeyinde toplanan su birikintileri, kaplama tabakasının yapısını bozarak yol yüzeyinde kalıcı deformasyonlara sebep olabilir (Şekil 1.1).

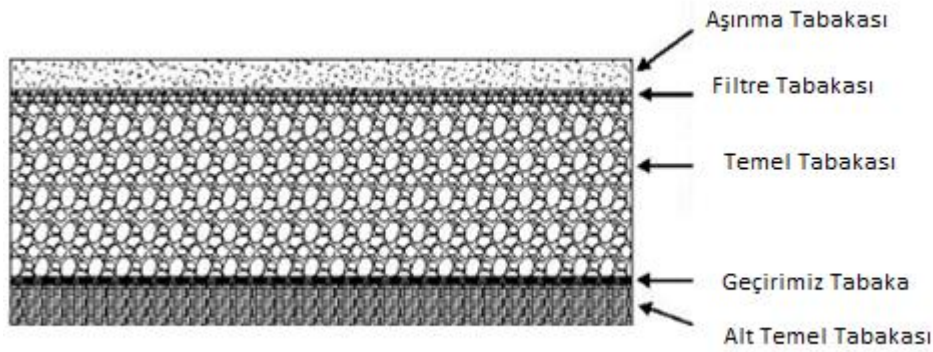


Şekil 1. 1. Aşırı yağış sonrası yollardaki drenaj problemleri

Sıralanan bu problemler ışığında yapılan tez çalışmasında, sorunların çözüm açısından poroz asfaltın önemli bir yöntem olacağı düşünülmüştür. Poroz asfaltın geçirimli yapısı sayesinde, yağmur sularının yolun alt kademelerine iletilmesinin ve yol yüzeyindeki su kitlelerinin oluşumunun engelleneceği düşünülmektedir. Bu sayede poroz asfalt kaplamalarda drenaj probleminin diğer kaplamalara göre daha az yaşanacağı düşünülmektedir.

Poroz asfalt yaklaşık % 20-28 boşluk oranına sahip bir kaplama çeşididir. Boşluk oranının yüksek olmasının yaratacağı drenaj avantajlarının yanı sıra poroz asfalt kaplamaların, özellikle şehir içindeki araç trafiğinden kaynaklı gürültüleri önemli ölçüde azaltacağı da araştırmalar sonucunda görülmüştür.

Yapılan laboratuvar çalışmalarında poroz asfalt kademeleri (alt temel, temel ve aşınma) ayrı ayrı dizayn edilmiştir. Tüm tabakalarda agrega olarak kalker kullanılmıştır. Alt temel tabakası Karayolları Teknik Şartnamesindeki standartlara uygun yapılmıştır. İlk olarak gradasyon limitleri belirlenerek elde edilen sonuçlar agrega deneylerindeki standart değerleri ile karşılaştırılmıştır. Alt temel tabakası sürekli gradasyonlu ve geçirimsiz bir yapıda dizayn edilmiştir. Temel tabakası ise tek tip agrega boyutunda, uniform derecelenmiş gradasyonlu, geçirimli bir yapıya sahip, çimento bağlayıcılı olarak imal edilmiştir. Aşınma tabakasında 50/70 penetrasyona sahip bitüm kullanılmıştır. Aşınma tabakası, Karayolları Teknik Şartnamesindeki standartlara göre dizayn edilmiştir. Şartname limitleri dikkate alınarak gerekli laboratuvar deneyleri (Cantabro, boşluk oranı, bitüm deneyleri, agrega deneyleri) yapılarak elde edilen değerler şartname limitleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda tüm tabakaların dizaynı yapılarak tez çalışması tamamlanmıştır. Şekil 1.2'de poroz asfalt kademeleri görülmektedir.



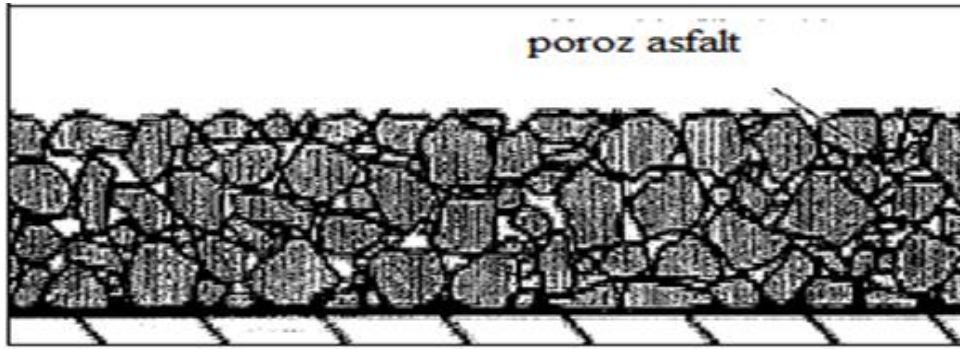
Şekil 1. 2. Poroz asfalt kademeleri

(<http://www.construction.basf.us/features/view/pervious-pavements>)

2. KAYNAK TARAMASI

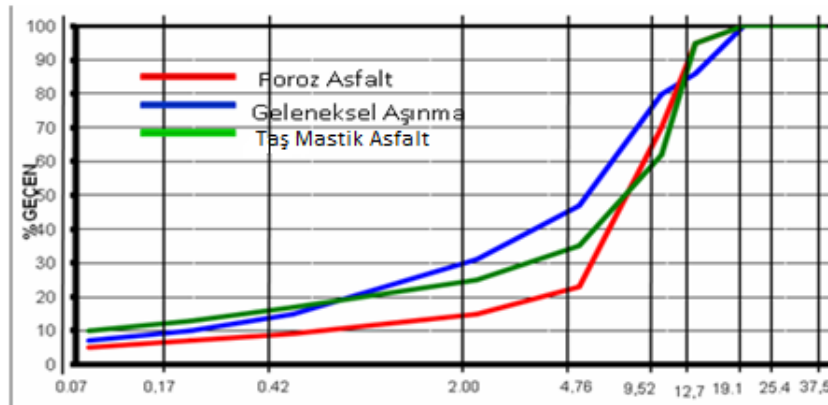
2.1. Poroz Asfaltın Tanımı

Poroz asfalt, yüksek boşluk oranı sayesinde geçirimli bir yapıya sahip, açık gradasyonlu asfalt kaplama türüdür. Poroz Asfalt kaplamalarının kullanıldığı yol dizaynlarında, sahip oldukları yüksek boşluk oranı ile yol yüzeyine gelen suyu asfalt kaplama içerisine alır, yol yüzeyine verilen enine/boyuna eğimler ile suyun kaplama içerisinden uzaklaştırılmasını sağlar. Bununla birlikte, sahip olduğu yüksek boşluk oranı ile tekerlek ve yol yüzeyi arasında oluşan sürtünme kaynaklı gürültünün büyük kısmının yol yüzeyi tarafından emilmesini sağlayarak, gürültü probleminin azaltılmasına da yardımcı olur (Özay 2011). Şekil 2.1’de poroz asfalt en kesiti görülmektedir.



Şekil 2.3. Poroz asfalt en kesiti (Wu 2011)

Poroz asfalt, sahip olduğu açık gradasyon sayesinde yağmur suyunun yol yüzeyinde birikmesini engeller ve yol yüzeyinde mevcut kaplamalarda yağmur sonrası oluşan kaygan yapı poroz asfalt tabakasında görülmez.



Şekil 2.4. Poroz asfalt ve diğer asfalt karışımların gradasyonlarının karşılaştırılması (Özay 2011)

Poroz asfalt kaplamalarda suyun asfalt kaplama içerisinden geçebilmesi için karışım içindeki ince agrega oranı düşürülmüştür (Öztürk 2011). Şekil 2.2’de gösterilen granülometri eğrileri verilen elek aralıklarından geçen malzeme yüzdesini göstermektedir. Farklı asfalt kaplama türlerinde verilen granülometri eğrilerine bakıldığında, poroz asfaltın ince agrega oranının diğer asfalt türlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

2.2. Poroz Asfaltın Avantajları

Yol yapısında su yalıtımı ve drenajı en önemli konuların başında gelmektedir. Yol yapımında drenaj sistemlerinin imalatı büyük bir gereklilik arz etmektedir. Ancak bu drenaj sistemleri özellikle yağışların ekstrem olduğu durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bazen ise drenaj sistemlerindeki tıkanıklık sebebiyle suyun uzaklaştırılması sağlanamamaktadır. Bu tür drenaj problemleri yağış sonrası suyun yol yüzeyinde birikmesine ve trafik güvenliğinin bozulmasına sebebiyet vermektedir. Poroz asfalt kaplamaların geçirimli yapısı, herhangi bir drenaj sistemine gerek duyulmadan suyun, gözeneklerinden geçerek yol alt tabakalarına iletilmesini ve enine/boyuna eğimler yardımıyla uzaklaştırılmasını sağlar. Poroz asfalt drenaj konusunda kesin çözüm sağlar ve drenaj problemlerinden kaynaklanan sorunları da önemli ölçüde azaltır.

2.3. Poroz Asfaltın Dezavantajları ve Bakımı

Geçirimli asfalt tabakalarında, boşlukların zaman içinde tıkanması sonucu, kaplama normal üstyapılar gibi davranır. Tıkanan geçirimli tabaka, basınçlı su ile gözenekleri açılabilir; fakat katı malzemeler tıkanmaya sebep olursa, boşluklar açılması pek mümkün olmaz ve tek çözümü; tıkanmış tabakanın kaldırılıp yeni tabakanın imal edilmesidir. Bu nedenle, geçirimli asfaltların yaklaşık hizmet süresi 8 yıl, geleneksel asfalt tabakaların ise 20 yıldır (Öztürk 2008).

Poroz asfalt kaplamalar her yıl basınçlı su ile yıkanmalı veya vakumlu makinalar yardımıyla gözeneklerinde biriken malzemeler temizlenmelidir. Ayrıca poroz asfalt kaplamanın tıkanan bölümleri, tabakanın belirli aralıklarda delikler açılarak boşaltılabilir. Böylece tıkanık olan bölümlerde göllenme oluşması önlenmektedir.

Geçirimli asfalt kaplamalarda boşluk oranının yüksek olması nedeniyle, kış mevsiminde yol yüzeyinin sıcaklığının düşük olması beklenir. Don olayı görülen bölgelerde bu kaplama türünün yapılması kış aylarında yol bakım masrafını arttıracığı için uygun görülmez.

2.4. Poroz Asfaltın Tarihi

Poroz asfalt kaplamalarla ilgili ilk çalışmalara 1960'lı yıllarda İngiltere'de rastlanmaktadır. İlk uygulamalar, İngiltere Havayolları İdaresi tarafından havaalanlarında gerçekleştirilmiştir. İngiltere'nin ardından Danimarka, Norveç ve Hollanda'da; otoyollarda, askeri ve sivil havaalanlarında suyun etkisiyle oluşan kızıllanmanın önlenmesi amacıyla bu kaplama türü kullanılmıştır. Fransa'da ise uzun süre poroz asfalt test edildikten sonra gürültüyü azaltmak amacıyla, Paris başta olmak üzere gürültünün yoğun olduğu bölgelerde bu asfalt kaplama türü kullanılmıştır. İspanya, Belçika, İtalya ve Amerika'da trafiğin yoğun olduğu kentlerde Poroz asfalt kaplama uygulaması yapılmaktadır(Yılmaz 2008).

2.5. Poroz Asfalt Dizaynında Etkili Olan Faktörler

Poroz asfalt dizaynı, arazinin yapısına ve meteorolojik şartlara göre değişiklik gösterir. Zeminlerin geçirimsizlik değerleri poroz asfaltın alt tabakalarının dizaynına, meteorolojik şartlar ise üst yapısının dizaynına doğrudan etki etmektedir. Kil ve silt oranı yüksek olan zeminlerin geçirimsizliği düşüktür, bu tür arazilerde poroz asfaltın uygulanması zor olmaktadır. Eğimi % 5'in üzerinde olan arazilerde poroz asfalt uygulamasının tercih edilmemelidir. Bu sebepler neticesinde poroz asfalt uygulaması yapılacak bölgenin arazi yapısı iyi analiz edilmelidir (Öztürk 2008).

Poroz asfaltın aşınma tabakasının geçirimsizlik oranı belirlenirken, bölgenin yağış verileri dikkate alınmalıdır. Özellikle yağış miktarı fazla olan bölgelerde, geçirimsizliği düşük olan bir aşınma tabakasının uygulanması, suyun yeterli ölçüde alt tabakalara geçirilmesini sağlamayacak ve drenaj problemleri ortaya çıkacaktır.

Çizelge 2.1'de Antalya Bölgesi Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan, yıllara göre aylık yağış miktarları gösterilmiştir. Çizelgede verilen verilere bakıldığında, Antalya bölgesinin kış aylarında bol yağış aldığı görülmektedir. Yağış sonrası, özellikle şehir içindeki yolların yüzeyinde, su kitlelerine rastlanmaktadır. Bu şekilde yağış sonrası yol yüzeyinde su kitleleri oluşan bölgelerde poroz asfalt dizaynı uygulamasının yapılması uygun görülmektedir.

Çizelge 2.1. Antalya bölgesi aylık toplam yağış miktarlarının yıllara göre dağılımı (mm = kg/m²) (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Kasım 2018)

Ay/Yıl	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Ocak	353.3	203.4	287.8	85.0	132.8	184.4
Şubat	130.1	34.2	186.3	67.4	4.4	126.2
Mart	17.0	230.5	146.9	54.4	166.9	158.2
Nisan	121.9	31.3	22.2	14.6	54.0	1.2
Mayıs	55.7	88.1	18.8	25.9	42.2	49.5
Haziran	0.0	6.2	17.2	23.4	3.4	25.4
Temmuz	0.0	0.0	0.0	1.1	0.4	0.2
Ağustos	0.0	1.6	0.0	0.0	1.6	0.0
Eylül	29.9	79.4	73.6	32.3	2.2	15.8
Ekim	205.7	95.7	130.8	0.0	70.7	8.8
Kasım	73.5	163.7	128.4	99.2	61.9	-
Aralık	61.8	319.9	15.3	76.3	65.4	-

2.6. Poroz Asfalt Uygulama Alanları

Poroz asfalt kaplama, trafik hacminin düşük ve ağır taşıt trafiğinin olmadığı, yollarda uygulanmalıdır. Poroz asfalt kaplamanın, diğer kaplamalara göre (Klasik BSK ve BSK çeşitleri olan sathi kaplama, taşmastik asfalt kaplamalar) boşluk oranının yüksek olması, taşıma gücünün düşük olmasına neden olmaktadır. Normal kaplamalarda rijitlik 4000-5000 MPa arasında bir değere sahipken, poroz asfalt kaplamalarda bu değer 1600-1800 MPa dolaylarında değişmektedir (Özay 2011).

Poroz asfalt kaplama uygulamasının yapılabileceği yerler:

1. Otopark alanları
2. Basketbol ve tenis gibi sosyal tesisler
3. Hava alanlarının fazla yüke maruz kalmayan bölümleri
4. Yürüyüş ve bisiklet yolları
5. Şehir içinde trafik hacminin düşük olduğu sokaklar

2.7. Literatür Özeti (Yapılan Deneysel Çalışmalar)

Xu, Li, Liu ve Fang (2018), yaptıkları çalışmada poroz asfalt kaplamalarda meydana gelen kırılma, çatlama vb. gibi problemlerin çözümü için dört farklı koruyucu bakım malzemesi (azaltılmış malzeme RJ, polimerleşen GL 1 türü, CEM yapıştırma malzemesi ve emülsiyeye edilmiş asfalt EA) kullanmışlar. Bu malzemeleri inşasından itibaren dokuz yıl geçen poroz asfalt kaplaması üzerinde denemişler ve performansını incelemişlerdir. İncelemelerin ardından CEM malzemesinin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı, GL1 ve RJ malzemelerinin ise çatlama direncini önemli ölçüde artırabildiği sonucuna varmışlardır. Bu sonuca dayanarak poroz asfalt kaplamasında koruyucu malzeme seçerken malzemenin mekanik özelliklerinin dikkate alınmasını tavsiye etmişlerdir.

Hammes, Thives ve Ghisi (2018), çalışmalarında bir otoparkta bulunan poroz asfalt kaplamasında filtrelenmiş yağmur suyu sistemi kullanarak bir binada su tasarrufu potansiyelini değerlendirmişlerdir. Yağmur suyunu içilmeyen amaçlarda (tuvalet, banyo gibi) kullanmak için tasarlamışlardır. Tasarımda yağmur suyu tankı ve kirliliğini azaltmak için su arıtma sistemi kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda 45000 litrelik yağmur suyu tankı kullandıklarında filtreli yağmur suyunun % 53 oranında su tasarrufu sağladığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, poroz asfalttan süzülen yağmur sularının binalarda kullanılmasının, büyük oranda tasarruf sağlayacağını belirtmişlerdir

Ranieri, Kowalski, Berloco, Colonna ve Perrone (2017), şiddetli soğuk iklimde sıcak karışım asfalt teknolojilerinin gözenekli asfaltlara uygulanmasını değerlendiren bir deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada modifiyer katkısı olan ve modifiyer katkısı olmayan seçilmiş poroz asfalt numuneleri üzerinde su geçirgenliği, Cantabro ve dolaylı mukavemet testleri gibi performans testleri yapmışlardır. Testler sırasında karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları değiştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. WMA teknolojisinin, soğuk iklimde poroz asfaltta kullanılabileceği bildirilmiştir.

Özay (2011), Gazi Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans tezinde farklı modifiyerler ile hazırlanan poroz asfalt karışımların performansını incelemiş, karışımların hangi trafik ve iklim koşullarında uygun olarak kullanılabileceğini değerlendirmiştir. Bu çalışmada TPS ve MD243 katkılarını kullanarak iki farklı poroz asfalt karışımı dizayn etmiştir. Çalışmalarının sonucunda TPS katkısının 1700-1800 MPa ve MD243 katkısının 1600 dolaylarında rijitliğe sahip olduklarını görmüştür. Bu değer normal aşınma tabakalarında 4000-5000 MPa olduğunu ve poroz asfaltın rijitliğinin normal değerinden çok düşük olduğunu sonucuna varmıştır.

Aboufoul, Shokri, Saleh, Tuck ve Garcia (2019), yaptıkları çalışmada poroz asfaltın gözenekli yapısı ile buharlaşma dinamikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Birbiriyle aynı özellikte gözenekli asfalt hazırlamışlar ve test etmek için, asfaltın gözeneklerini X ışını bilgisayarlı tomografi (CT) taraması yaparak ölçmüşler ve elde ettikleri görüntüleri reçine bloklarına 3D olarak basmışlardır. Gözenek boşluklarının su tutma üzerindeki etkisini anlamak için 3D baskılı gözenekli asfalt numunelerini laboratuvar koşullarında test etmişlerdir. 3D baskılı poroz asfalt numunelerinin makro boşlukları, gözenek ebadı dağılımları, hava boşlukları, su iletkenliği ve su tutma eğrilerini görüntü analizleri yardımıyla ölçmüşlerdir. Ayrıca poroz asfalt numunelerinin buharlaşma oranlarını geniş bir gözeneklilik aralığında tahmin etmek için deneysel olarak bir model geliştirmiş ve test etmişlerdir. Yüzeyde su buharının meydana geldiği sürenin, poroz asfalt numunelerinin kurutulması sırasında göreceli olarak kısa olduğu, bu durumun kılcal kuvvetleri zayıflatan büyük gözenekler nedeniyle olduğunu belirlemişlerdir. Bu evre-1 denilen buharlaşmanın geçiş periyodunun erken başlamasına etki ettiğini söylemişler ve geçiş periyodu, poroz asfaltın içindeki buhar difüzyonuyla sınırlı olduğu durumda aşama-2 buharlaşması ile takip etmişlerdir. Sonuç olarak, evre-2 buharlaşmasının poroz asfaltın gözeneklerine ve pürüzlülüğüne bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Afonso, Dinis-Almeida, ve Fael (2017), bu çalışmalarında poroz asfalt karışımının içerisinde agrega ile bağlayıcı arasındaki yapışmayı artırmak için selülozik elyaf katkısı kullanmışlardır. Özellikle aşırı yağış alan bölgelerde kullanılan poroz asfalt kaplamalarda su etkisi ile kaybolan bağlayıcı kaybı problemini selülozik elyaf katkısıyla çözebileceklerini düşünmüşlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda selülozik elyaf katkısı ile yapılan poroz asfalt karışımının kalıcı deformasyona karşı

performansının, normal karışımın performansına göre artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Shirini ve İmaninasab (2016), deneysel çalışmalarında kauçuk kırıntılarının, poroz asfaltın tekerlek izine ve yorulmaya karşı dayanımı ile nem duyarlılığına karşı performansının geliştirilmesine karşı etkisini incelemişlerdir. %10, %15, %20 kauçuk kırıntısı içeren poroz asfalt numuneleri ile % 5 SBS katkısı içeren numuneyi karşılaştırmışlardır. Numunelerin rutubet direnci, kaymaya karşı direnci, nem duyarlılıkları ve geçirgenlikleri kıyaslamışlardır. Sonuç olarak kauçuk kırıntılarının ve SBS katkısının geçirgenliği azalttığı, diğer yandan tekerlek izine karşı dayanımı önemli ölçüde iyileştirdiğini saptamışlardır. Ek olarak esnek modüllere, kauçuk eklenmesi ile ilk etapta, kayma direnci ve neme karşı duyarlılığında iyileşmeler görülse de daha fazla kauçuk eklenmesinin, bu özelliklere olumsuz yönde etki ettiğini tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında poroz asfalt dizaynı yapılmıştır. Poroz asfalt tabakaları ayrı ayrı dizayn edilerek laboratuvar ortamında deneylerle test edilmiştir. Çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir;

1. Poroz asfaltın alttemel tabakasının dizaynı
2. Poroz asfaltın çimento bağlayıcılı temel tabakasını oluşturacak poroz betonunun gradasyon ve karışım oranlarının belirlenerek laboratuvar ortamında test edilmesi
3. Poroz asfalt aşınma tabakasının dizaynının yapılarak laboratuvar deneyleriyle test edilmesi

3.1. Alttemel Dizayn Kriterleri

Alttemel tabakası Karayolları Teknik Şartnamesi'nde kısım 401. de belirtilen standartlara uygun olarak dizayn edilmiştir. Alttemel dizaynında agrega olarak dayanımı yüksek kalker kullanılmıştır.

3.1.1. Alttemel gradasyonunun belirlenmesi

Karayolları Teknik Şartnamesinde alttemel gradasyon limitleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Alttemel gradasyon limitleri (KTŞ 2013)

Elek Açıklığı		TİP-A	TİP-B
mm	İnç	% Geçen	% Geçen
75	3	100	
50	2	-	100
37,5	1 ½	85-100	80-100
25	1	-	60-90
19	¾	70-100	48-80
9,5	¾	45-80	30-70
4,75	No.4	30-75	25-55
2	No.10	-	15-40
0,425	No.40	10-25	10-20
0,075	No.200	0-12	0-12

Bu tez çalışmasında alttemel gradasyonu Tip-B olarak seçilmiştir. Alt temelde kullanılan malzeme kırma taş malzemedir. Gradasyon sınıfının Tip-B seçilmesinin nedeni daha homojen bir yapıya sahip olması ve Karayolları Teknik Şartnamesindeki standartlarda, alttemel malzemesinin kum-çakıl veya taş ocaklarından kırılarak hazırlanması durumunda malzemenin gradasyonunun Tip-B gradasyon limitlerine uygun olarak tertip edilmesi gerektiğinin belirtilmesidir (KGM 2013).

3.1.2. Alttemel tabakasına uygulanan deneyler

Alttemel tabakasının; malzemenin fiziksel özelliklerinin ve tabakanın performansının Karayolları Teknik Şartnamesine uygunluğunun belirlenmesi için birtakım agrega deneylerinin (özgül ağırlık ve su emme, parçalanma direnci, hava tesirlerine karşı dayanıklılık, yassılık indeksi, metilen mavisi) yanı sıra modifiye proktor ve yaş CBR deneyleri de yapılmıştır.

3.1.2.1. Kaba ve ince agregalarda özgül ağırlık ve su emme oranının tayini deneyleri (TS EN 1097-6)

Bu deney, agregalarda tane yoğunluğu (birim hacim ağırlığı) ve su emme (absorbsiyon) yüzdesinin tayini için yapılmaktadır. Deneyin yapılışında; 4,75 mm elek açıklığının üzerinde kalan agregalar (kaba agrega) ve altında kalan agregalar (ince agrega) için farklı metotlar uygulanır.

Kaba agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyonu oranının tayini

Elek açıklığı 4,75 mm'nin üzerinde kalan malzeme elek açıklıklarına göre farklı boyutlarda sınıflandırılıp ayrı ayrı belirli miktarlarda (yaklaşık 1000 gr) alınarak 24 saat suda bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkarılan agregalar, bir havlu yardımıyla gözle görülebilecek su filmi kalmayana kadar kurutularak agregaların suya doymun kuru yüzeye sahip olması sağlanmıştır (Şekil 3.1) ve numune tartılmıştır (M1). Tartım işlemi yapıldıktan sonra agregalar eksiksiz bir şekilde tel sepete konularak özgül ağırlık sehpasında tartımı yapılmıştır (M2). Sudan çıkarılan tel sepetteki agregalar yine eksiksiz bir şekilde tepsiye boşaltılarak 110 ± 5 °C'ye ayarlanmış etüve yerleştirilmiş ve 24 saat boyunca etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. 24 saat sonunda etüvden çıkarılan agregalar tekrar tartılarak (M3) deney tamamlanmıştır.



Şekil 3. 1. Sudan çıkarılan agreganın havlu ile kurutulması

Agregaların birim hacim ağırlığı ve su absorpsiyonu oranı eşitlik (3.1), (3.2) ve (3.3) te verilen formüllerle hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar KTŞ 2013' te verilen limit değerlere uygun olmalıdır.

$$\text{Hacim Özgül Ağırlığı} = \frac{M_3}{(M_1 - M_2)} \quad (3.1)$$

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlığı} = \frac{M_3}{(M_3 - M_2)} \quad (3.2)$$

$$\text{Su Absorpsiyonu Yüzdesi (\%)} = \frac{(M_1 - M_3)}{M_3} \times 100 \quad (3.3)$$

M1: Suyu doymuş kuru yüzey numunenin havadaki ağırlığı (gr)

M2: Suyu doymuş kuru yüzey numunenin sudaki ağırlığı (gr)

M3: Kuru numune ağırlığı (gr)

İnce agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyonu oranının tayini

Elek açıklığı 4,75 mm'nin altında kalan malzeme elek açıklıklarına göre farklı boyutlarda sınıflandırılıp ayrı ayrı belirli miktarlarda (yaklaşık 600 gr) alınarak 24 saat suda bekletilmiştir. 24 saat sonra numunenin fazla suyu boşaltılmıştır ve emici olmayan, düz bir yüzeye yayılarak fön makinası yardımıyla kurutulmuştur. Numunenin suya doymuş kuru yüzey haline gelip gelmediğini anlamak için Abraham hunisi kullanılmıştır. Abraham hunisi, düz bir plaka üzerine yerleştirilerek kurutulan numune içine doldurulmuştur. Daha sonra Abraham hunisinin tokmağıyla 0.5 mm yükseklikten serbest düşüş yapacak şekilde 25 düşüş yapılmış ve huni kaldırılmıştır. Şayet numune, huninin şeklini almışsa ve el ile dokunulduğunda dağılıyor ise numune suya doymuş kuru yüzey halindedir denilmektedir. Numune eğer bu özellikte değil ise kurutulma işlemine devam edilir ve doymuş kuru yüzey kuru hale geldiği tespit edilinceye kadar Abraham hunisi metoduna sık aralıklarla devam edilir. Numunenin suya doymuş kuru yüzeyi elde edildikten sonra özgül ağırlık piknometre şişesi ile deneye devam edilmiştir. Öncelikle piknometrenin ağırlığı (A) ve piknometrenin üzerinde bulunan işaret hizasına kadar su ile doldurulmuş ağırlık (B) tartılmış ve kaydedilmiştir. Tartım işlemleri tamamlandıktan sonra piknometredeki su boşaltılıp iyice kurutularak içine yaklaşık 500 gr suya doymuş kuru yüzey agrega eklenerek tartılmıştır (C). Piknometreye üzerindeki işarete kadar su ilave edilmiş ve hava kabarcıklarını gidermek için piknometre çalkalanmıştır. Hava kabarcıkları çıkmayana kadar işleme devam edilmiştir. Daha sonra piknometre ilave su ile işarete kadar doldurulmuştur. İşaret çizgisine kadar su ile doldurulan piknometre 25 °C'ye ayarlı su banyosuna yerleştirilmiştir. Numune sıcaklığı 25 °C 'ye ulaştıktan sonra su banyosundan çıkarılmış ve toplam piknometre, numune ve su ağırlığı tartılmış ağırlığı kaydedilmiştir (D). Piknometre içindeki ince agrega çıkarılarak 110 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numunenin ağırlığı kaydedilmiştir (E). İnce agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyonu oranı değerleri eşitlik (3.4), (3.5) ve (3.6)'da verilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$\text{Agreganın zahiri özgül ağırlığı} = \frac{E}{E-(D-B)} \quad (3.4)$$

$$\text{Agreganın hacimsel özgül ağırlığı} = \frac{C-A}{(C-A)+(B-D)} \quad (3.5)$$

$$\text{Agreganın su absorpsiyonu yüzdesi} = \frac{C-A-E}{E} \quad (3.6)$$

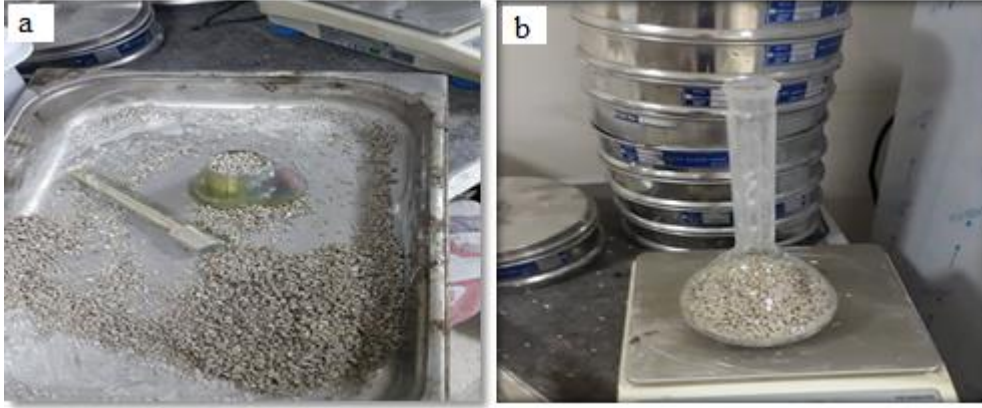
A: Piknometre ağırlığı (gr)

B: Piknometre + Su ağırlığı (gr)

C: Piknometre + Suya doymun kuru yüzey numunenin ağırlığı (gr)

D: Piknometre + Numune + Su ağırlığı (gr)

E: Kuru numunenin ağırlığı (gr)



Şekil 3. 2. a) Agreganın abraham hunisi ile doymun kuru yüzey halinin belirlenmesi; **b)** Piknometre ve agreganın tartılması

Filler agregata özgül ağırlık deneyi

Bu deney elek açıklığı 0.075 mm altında kalan agregaların(Filler agregata) özgül ağırlığının bulunması için yapılmıştır. Özgül ağırlık deneyi piknometre yardımıyla yapılmıştır. Yaklaşık 100 gr filler boyutunda agregata, ağırlığı sabit hale gelinceye kadar 110 °C'lik etüvde kurutulmuştur. Deney oda sıcaklığında yapılmıştır. Öncelikle piknometre ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir (W_1). Daha sonra piknometre etüvde kurutulan numune ile doldurularak ağırlığı kaydedilmiştir (W_2). Numunenin üzeri; piknometrede hava boşluğu kalmayacak şekilde (piknometrenin havası vakum desikatörünün pompası yardımıyla) güzelce alınmıştır, damıtık su ile doldurularak ağırlığı kaydedilmiştir (Şekil 3.3) (W_3). Son olarak piknometre güzelce temizlenerek içi damıtık su ile doldurulmuş ve ağırlığı kaydedilmiştir (W_4). Özgül ağırlık değeri eşitlik (3.7)'de verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Zahiri Özgöl Ağırlık} = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.7)$$

W_1 = Piknometre ağırlığı (gr)

W_2 = Piknometre + Numune ağırlığı (gr)

W_3 = Piknometre + Numune + Su ağırlığı (gr)

W_4 = Piknometre + Su ağırlığı (gr)



Şekil 3. 3. Hazırlanan piknometre + su + numune

3.1.2.2. Los Angeles aşınma deneyi (TS EN 1097-2)

Los Angeles aşınma deneyi, iri agregaların parçalanmaya karşı direncinin tayin edilmesi için yapılan bir deneydir. Bu deney TS EN 1097-2 standardına uygun prosedürler izlenerek yapılmıştır. Deneyin yapılışında, standartta belirtilen belirli bir devirle dönen tambur ve içine sayısı malzemenin dane çapına bağlı olarak değişen metal bilyeler kullanılmıştır. Dane çapına göre agrega miktarı, devir sayısı ve bilye sayısı Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

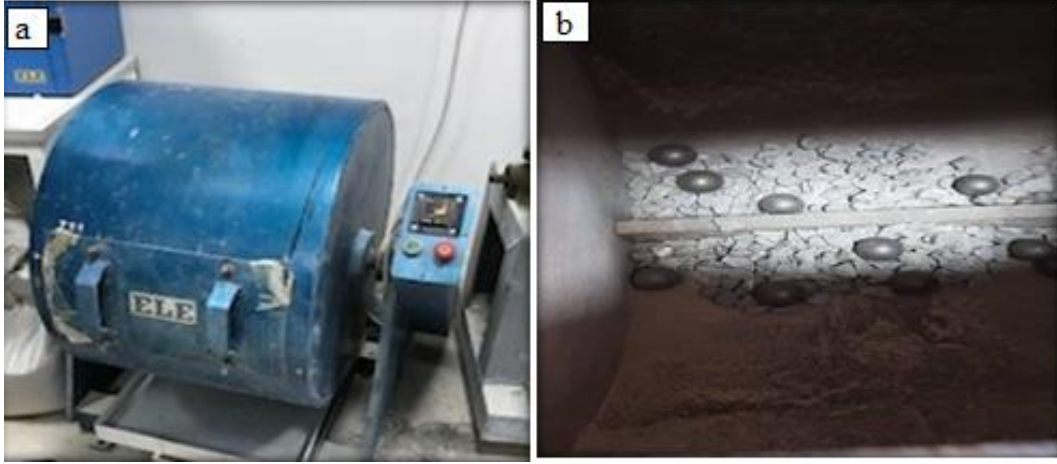
Çizelge 3.2. Dane büyüklüğü-agrega miktarı ve devir sayısı (Demirel vd. 2012)

Elek Açıklığı		Aşınma Sınıfı						
Geçtiği Elek (mm)	Kaldığı Elek (mm)	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37.5					5000	5000	
37.5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000
19	12.5	1250	2500					
12.5	9.5	1250	2500					
9.5	6.3			2500				
6.3	4.75			2500				
4.75	2.36				5000			
Toplam		5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000
Tolerans		±10	±10	±10	±10	±100	±75	±50
Devir sayısı		500	500	500	500	1000	1000	1000

Çizelge 3.3. Aşınma sınıfına bağlı kullanılan bilye sayısı (Demirel vd. 2012)

Sınıfı	Küre Sayısı	Yükleme(G)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

Karayolları Teknik Şartnamesinde alt temel için seçilen Tip-B gradasyonunun dane boyutlarına göre Tablo 3.2'den aşınma sınıfı A olarak seçilmiş ve Tablo 3.3' ten de küre sayısı 12 olarak belirlenmiştir. A sınıfında belirtilen elek aralıklarındaki agregalardan, her dane gurubundan yaklaşık 1300 gr alınarak yıkanmış, 24 saat 110±5 °C'lik etüvde kurutulmuş ve soğutulmuştur. Her bir dane aralığından 1250 gr agrega alınıp toplam 5000 gr numune 12 adet bilye ile Los Angeles makinesinin tamburuna konulmuş ve kapağı sıkıca kapatılmıştır. Makinadaki devir sayısı dakikada 30-33 devir olacak şekilde 500 devire ayarlanmıştır.



Şekil 3. 4. a) Los Angeles deney cihazı; **b)** Los Angeles cihazının içindeki agrega ve metal bilyelerin görünümü

Devir işlemi tamamlandıktan sonra dikkatli bir biçimde tamburdan çıkarılan aşınmış agregalar 1.60 mm elek ile elenmiştir. Elek üstünde kalan kısım yıkanmış ve 110 ± 5 °C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan numune tekrar 1.6 mm elekten elenmiş ve elek üstünde kalan numunenin ağırlığı kaydedilmiştir. Burada; elek üstünde kalan numune ağırlığının ilk ağırlığına oranı, % olarak agregada meydana gelen aşınmayı belirtmektedir. Agreganın Los Angeles aşınma yüzdesi eşitlik (3.8) ile bulunmuş ve KTŞ 2013' teki limit değere uygunluğu kontrol edilmiştir.

$$\text{Los Angeles aşınma yüzdesi (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (3.8)$$

A: Numunenin ilk ağırlığı (gr)

B: Numunenin son ağırlığı (gr)

Bulunan sonuçlara göre alt temel in Los Angeles aşınması % 32, aşınma tabakasının Los Angeles aşınması % 21,2 bulunmuştur.

3.1.2.3. Yassılık indeksi deneyi (BS 812)

Yassılık indeksi deneyi, agregaların yassı dane oranının belirlenmesi için yapılan bir deneydir. Bu deney BS 812 standardına uygun olarak yapılmıştır. Standartta belirtildiği gibi deney sadece 6.3 mm elek açıklığının üzerinde kalan agrega boyutuna uygulanmıştır. Deneyde kullanılan agrega miktarları Çizelge 3.4'de verilmiştir. Deney; üzerinde standart elek açıklıkları bulunan yassılık indeksi şablonu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Agregalar elle tek tek açıklıklardan geçirilmiş, açıklıktan geçmeyen agregalar elenmiş ve açıklıktan geçen agregalar tartılmıştır (M2).



Şekil 3. 5. Yassılık indeksi deney şablonu

Çizelge 3.4. Yassılık indeksi deneyinde kullanılan malzeme miktarları (Demirel vd. 2012)

Elek Açıklığı (mm)	Minimum Malzeme Miktarı (kg)
37.5-25	8
25-19	2.5
19-12.5	1
12.5-9.5	0.5
9.5-6.3	0.25

Yassılık indeksi yüzdesi eşitlik (3.8) te verilen formül ile bulunmaktadır. Elde edilen oran, 0.6'dan küçük bir değer ise malzeme yassı kabul edilmektedir.

$$\text{Yassılık indeksi (\%)} = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.8)$$

M1: Deneyde kullanılan toplam malzeme ağırlığı (gr)

M2: Şablondan geçen toplam malzeme ağırlığı (gr).

Deney sonucunda yassılık indeksi % 15,6 bulunmuştur.

3.1.2.4. Metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9)

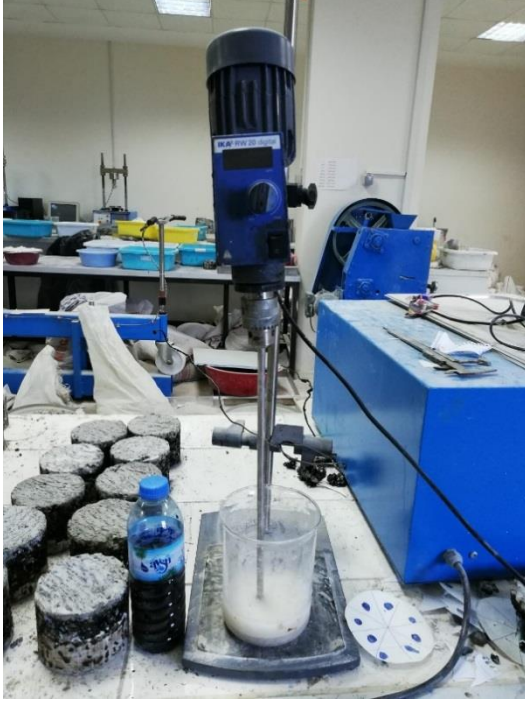
Bu deney, 0-2 mm dane çapına sahip agregalarda kil içeriğinin tespiti için yapılmaktadır. Deney TS EN 933-9 standardının prosedürlerine uygun olarak 2 mm dane çapının altında kalan agregalara uygulanmıştır. Elekte 2 mm altında kalan 200 gr kalker agregası alınmış, etüvde kütlesi sabit oluncaya kadar kurutularak tartılmıştır (M1). Bir behere 500 ml damıtık su konulmuş ve etüvde kurutulan agrega beherdeki suya eklenerek 600 devir/dakika hızla 5 dk boyunca karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma önceden hazırlanmış 5 mm metilen mavisi maddesi ilave edilerek 400 devir/dakika hızla 1 dk karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra karışımdan bir damla alınarak süzgeç kağıdının üzerine damlatılmıştır. Damlanın etrafında en az 1 mm açık mavi hale meydana gelmelidir. Eğer hale oluşmazsa 5 ml daha boya çözeltisi ilave edilip 1 dakika karıştırmaya devam edilir. Hale görülünceye kadar karışıma çözelti ekleme ve süzgeç kağıdına damla bırakma işlemine devam edilir. Eğer hale oluşmuşsa hale ilk 4 dakika sürede kaybolursa, 5 ml daha çözelti eklenir. Hale, beşinci dakikada kaybolursa, 2 ml daha çözelti eklenir. Her iki durumda da hale, 5 dakika süreyle kaybolmayana kadar deneye devam edilir.

Halenin 5 dk boyunca kaybolmadığı an karışıma ilave edilen metilen mavisi çözeltisinin hacmi (V_1) kaydedilmiştir. Metilen mavisi oranı eşitlik (3.9) ile hesaplanmıştır. Deney sonucunda metilen mavisi değeri 0,5 bulunmuştur.

$$\text{Metilen mavisi değeri} = \frac{V_1}{M_1} \times 100 \quad (3.9)$$

M1: Deney numunesinin kütlesi (gr)

V1: İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi (ml)



Şekil 3. 6. Metilen mavisi deney düzeneği

3.1.2.5. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi (magnezyum sülfat deneyi) (TS EN 1367-2)

Bu deney, agreganın hava tesirlerine karşı dayanımının belirlenmesi amacıyla TS EN 1367-2 standardında belirtilen şartlarda, magnezyum sülfat ($MgSO_4$) çözeltisi kullanılarak yapılmıştır. Deney; dane çapları 10 mm ile 14 mm arasında bulunan agregalara uygulanmaktadır. Eleme işlemi ile bu aralıkta bulunan agregalardan bir miktar (yaklaşık 400 gr) alınarak iyice yıkanmış ve 110 ± 5 °C' ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan agrega tekrar 10 mm ile 14 mm arasında elenerek tartılmıştır (A). Daha sonra magnezyum sülfat çözeltisi (1 litre damıtık suya 1500 gr $MgSO_4$ tuzu eklenip, bu tuz tamamen çözününceye kadar karıştırılarak ve yoğunluğu densimetre ile kontrol edilerek hazırlanmıştır.) hazırlanarak, tel sepete konulan agregalar, 20 ± 2 °C'deki çözeltinin içerisine daldırılmış ve 17 saat bekletilmiştir. 17 saat sonunda agregalar çıkarılarak 2 saat süzölmeye bırakılmış ve sonra 110 ± 5 °C etüvde 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra agregalar oda sıcaklığında 5 saat bekletilerek soğuması sağlanmıştır. Daldırma ve kurutma işlemi döngüsü 5 defa tekrarlanmıştır. Beşinci döngüden sonra; agregalar, üzerindeki magnezyum sülfat çözeltisinden arındırılması için iyice yıkanmıştır. Yıkanan agregalar sabit bir kütleye gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Daha sonra agregalar 10 mm'lik elekten elenmiştir ve elek üstünde kalan agregalar tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir

(B). Deney sonucu eşitlik (3.10) ile hesaplanmıştır. Deney sonucunda ortalama $MgSO_4$ ile kayıp % 10,3 bulunmuştur.

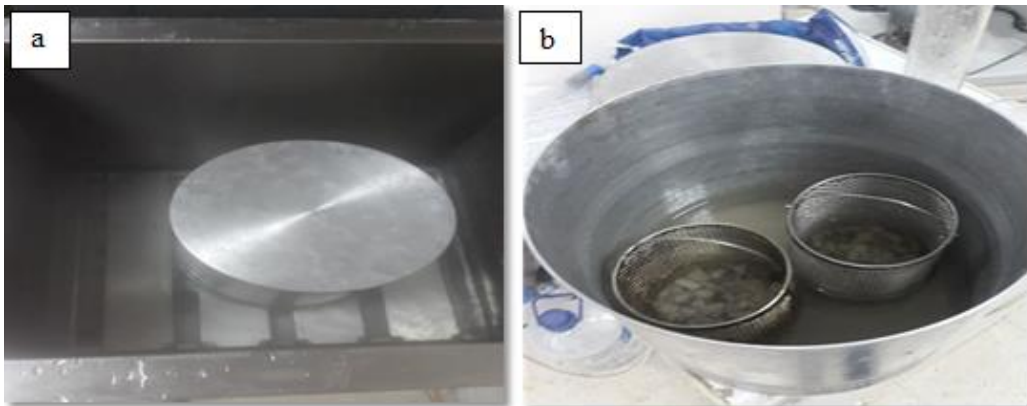
$$MgSO_4 \text{ ile kayıp (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (3.10)$$

A: İlk kuru ağırlık (gr)

B: Son kuru ağırlık (gr)



Şekil 3. 7. Magnezyum sülfat deney cihazı



Şekil 3. 8. a) Magnezyum sülfat kabini; b) Tel sepetin $MgSO_4$ çözeltisine konulması

3.1.2.6. Modifiye proktor deneyi (TS 1900-1)

Modifiye Proktor deneyi, zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevasının bulunması amacıyla yapılmıştır. Deney, TS 1900-1 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney için 6 kg'lık numune hazırlanarak homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Deneye belli bir su içeriği ile başlanmış (numune kumlu ve çakıllı ise %3 ile %5 arasında, kohezyonlu zeminlerde ise plastik limitin %12 ile %16 arasında, değişen su muhtevası ile başlanır.) ve su içeriği artırılarak devam edilmiştir. Numune, 152,4 mm çapındaki kalıpta beş eşit tabaka halinde, her tabakaya 4,5 kg'lık tokmak ile 45 cm yükseklikten 56 darbe uygulanarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra, kalıbın ilave yakası çıkartılıp numunenin üst kısmı düzeltilmiştir. Yaş numuneler, kalıp ile tartılarak toplam ağırlığı belirlenmiştir. Su içeriğinin tespit edilebilmesi için sıkıştırılan her numuneden yaş numune örneği alınıp tartılmıştır. Yaş numuneler 110±5 °C'lik etüvde 24 saat kurutulup ağırlıkları kaydedilmiştir.

Bu şekilde numunelere uygun artırımlarda su katılarak aynı işlemler en az 5 defa tekrarlanmıştır. Numunelerin su içeriği ve kuru birim hacim ağırlık değerleri eşitlikler (3.11), (3.12) ve (3.13) ile hesaplanarak, bulunan değerler ile modifiye proktor eğrisi çizilmiştir. Bu eğrinin tepe noktasına gelen su muhtevası optimum su içeriğini, birim hacim ağırlık ise maximum kuru birim hacim ağırlığını vermektedir. Deney sonucunda optimum su muhtevası % 5,9 ve maksimum kuru birim hacim ağırlık 2,320 gr/cm³ bulunmuştur.

$$m = \frac{\text{su içeriği}}{\text{kuru numune ağırlığı}} \times 100 \quad (3.11)$$

m: % Su içeriği

$$\gamma_w = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.12)$$

γ_w : Yaş birim ağırlık (t/m³)

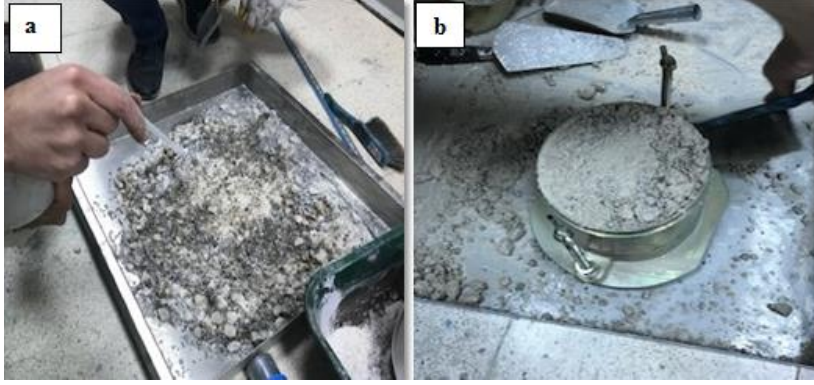
W_2 : Kalıp + Yaş numune ağırlığı (gr)

W_1 : Kalıp ağırlığı (gr)

V: Kalıbın hacmi (cm³)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w \times 100}{100 + m} \quad (3.13)$$

γ_d : Kuru birim ağırlık (t/m³)



Şekil 3. 9. a) Proktor numunesine su eklenerek karıştırılması; **b)** Proktor kalıbına numunenin yerleştirilerek tartım için kenarlarının temizlenmesi

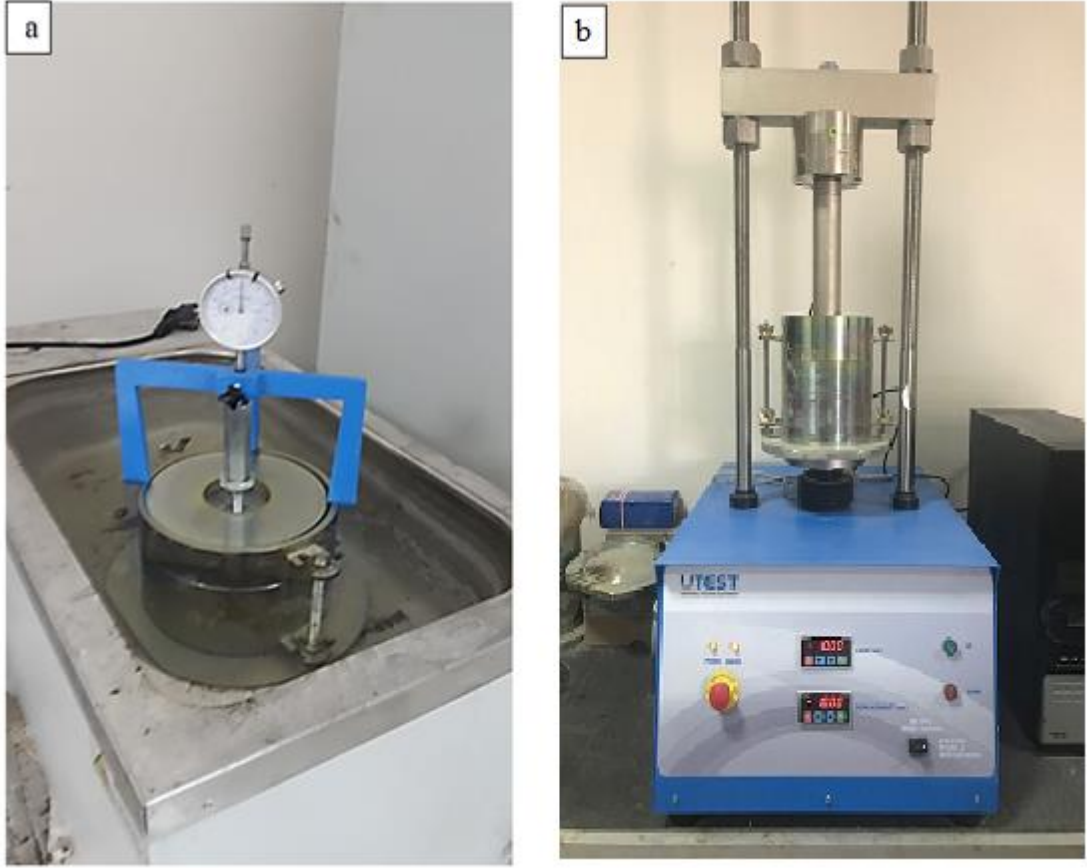
3.1.2.7. Yaş CBR (Kaliforniya taşıma oranı) deneyi (TS 1900-2)

Yaş CBR deneyinin yapılmasındaki amaç, zemin boşluklarının tamamen su ile dolduğu en düşük taşıma gücünü saptayabilmektir. Bu deney TS 1900-2 standardına uygun şartlarda tertip edilmiştir. Deney, 1,27 mm/dk hızla sıkıştırma yapan, 19,35 cm² alana sahip silindirik bir piston ve 15.24 cm çapına sahip CBR kalıbı yardımıyla yapılmıştır. Modifiye proktor deneyi ile bulunan optimum su içeriği kullanılarak 6'şar kg'lık iki adet numune hazırlanmıştır. Numuneler; iyice karıştırılarak tabanına delikli metal disk ve bu diskin üzerine filtre kağıdı konulan CBR kalıbının içerisine, 5 tabaka halinde ve her tabakaya 4,5 kg'lık tokmak ile 45 cm yükseklikten 56 vuruş yapacak şekilde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra numunelerin üzerine, zemine gelebilecek tahmini yük üzerinden ağırlık yerleştirilmiştir. Daha sonra numuneler 4 gün boyunca suda bekletilmiş ve her 24 saatte bir üzerine yerleştirilen gösterge ile kabarma değerleri okunmuştur. Son kabarma okumasından sonra numunenin şişme yüzdesi eşitlik (3.14) ile bulunmuştur.

$$\text{Şişme Yüzdesi (\%)} = \frac{\text{Islatma sonundaki kabarma miktarı (mm)}}{116,4 \text{ (mm)}} \times 100 \quad (3.14)$$

4 gün sonunda, sudan çıkarılan numuneler 15 dk süre ile süzölmeye bırakılmış ve daha sonra CBR test cihazı ile penetrasyon pistonunda yüke tabi tutulmuştur. Her bir numune için 2.5 mm ve 5 mm penetrasyona karşılık gelen yükler sırasıyla 70.31 kg/cm², 105.46 kg/cm²'lik standart basınç değerlerine bölünmüş ve 100 ile çarpılarak taşıma yüzdeleri bulunmuştur (3.15). Malzemenin CBR değeri, bulunan iki değer büyük olanı kabul edilir. Deney sonucunda CBR değeri % 167 bulunmuştur.

$$\text{CBR (\%)} = \frac{\text{Düzeltilmiş basınç}}{\text{Standart basınç}} \times 100 \quad (3.15)$$



Şekil 3. 10. a) Deney numunesinin küre bırakılması; **b)** Kaliforniya taşıma oranı(CBR) deney aleti

3.2. Temel Tabakası Poroz Betonunun Dizayn Kriterleri

Poroz betonu dizaynında, kalker agregası ve bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R çimento sınıfı çimento kullanılmıştır. Beton katışımında herhangi bir katkı maddesi kullanılmamıştır. Temel tabakasının çimento bağlayıcılı olarak dizayn edilmesinin iki temel nedeni vardır. Birincisi yüzeyden gelen suların bu tabakada birikecek olması ve suyun alt temele verilen enine ve boyuna eğimler yardımıyla bu tabakada hareket edecek olmasıdır. Kalker agregası, suyun aşındırma etkisine karşı dayanıksız bir yapıya sahiptir. Dizaynda agrega yüzeyinin aşınmasını engellemek amacıyla, temel tabakasının çimento bağlayıcılı olarak tertip edilmesi uygun görülmüştür. İkinci neden ise temel tabakasının rijit bir yapıda olması, suya karşı ve aşınma tabakasından gelecek yüklere karşı daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlayacağı düşünülmüştür.

3.2.1. Poroz betonun karışım oranlarının ve gradasyonunun belirlenmesi

3.2.1.1. Poroz betonunun karışım oranlarının belirlenmesi

Poroz betonunun karışım oranları temel beton karışım hesaplamalarına göre belirlenmiştir. Bu hesaplamada birim hacim denklemi adı verilen eşitlikten yararlanılmıştır. Bu denkleme göre, $1 m^3$ taze beton içine giren malzemelerin ayrı ayrı hacimlerinin toplamı yine $1 m^3$ 'e eşittir (3.16).

$$1 m^3 = 1000 dm^3 = \text{Çimento hacmi} + \text{Su hacmi} + \text{Hava hacmi} + \text{Agrega hacmi} \quad (3.16)$$

Karışım hesaplamalarında; su birim hacim ağırlığı $1 kg/dm^3$, çimento birim hacim ağırlığı $3,1 kg/dm^3$, agrega birim hacim ağırlığı $2,7 kg/dm^3$ sabit değerleri alınmıştır.

Not: Havanın birim hacim ağırlığı çok düşük olduğu için, karışım ağırlığında dikkate alınmamıştır.

Karışımlar geniş ve derin bir kaptan el ile karıştırılarak küçük bir kalıba dökülmüş ve doğru karışım oranları ve agrega gradasyonu elde edilmeye çalışılmıştır.

3.2.1.2. Poroz betonun agrega gradasyonunun belirlenmesi

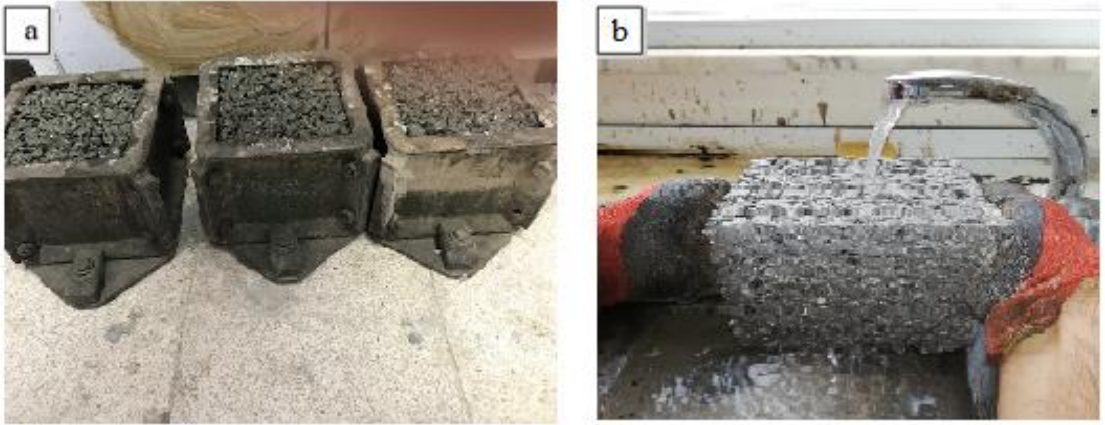
Karışım oranları belirlenen poroz betonunun gradasyon limitlerinin belirlenmesinde deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. Gradasyon için ilk olarak, KTŞ'de belirtilen granüler temel tabakası gradasyon limitleri Tip-C tipindeki gradasyon limitleri denenmiştir ve denemelere devam edilmiştir. Denemeler sonucu bulunan karışım oranları ile numuneler üretilmiştir. Karışımlar beton mikseri yardımıyla karıştırılarak kalıplara dökülmüştür (Şekil 3.10).



Şekil 3. 11. a) Beton kalıbı; b) Beton mikseri; c) Kalıba dökülen beton numunesi

3.2.2. Tek eksenli basınç deneyi (TS EN 12390-3)

Tek eksenli basınç deneyi hazırlanan poroz betonun taşıyabileceği maksimum yükün bulunması amacıyla yapılmıştır. Deney TS EN 12390-3 deney standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bulunan karışım oranları ve gradasyona göre hazırlanan poroz beton, betoniyer yardımıyla karıştırılıp 15 cm'lik standart küp kalıplara dökülmüştür. Toplam 6 adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler 25 °C'lik su banyosunda 3 adeti 3 gün ve 3 adeti de 7 gün olmak üzere kürleme yapılarak basınç dayanımı deney cihazında basınç değerlerine bakılmıştır (Şekil 3.13). Makinanın ekranından maksimum yük değeri okunup gerekli hesaplamalar yapılarak betonun basınç dayanımı hesaplanmıştır. Beton numunelerinin dayanımlarına genel olarak 3,7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmektedir. Bu deneyde numunelerin 3 ve 7 günlük basınç değerlerine bakılmasının nedeni, uygulamada yolun hizmete açma süresinin kısa olması ve trafik akışının bir an önce sağlanması gerektiği içindir.



Şekil 3. 12. a) Poroz betonun kalıptaki görünümü; **b)** Kalıptan çıkarılan poroz betonun su geçirimsizliğinin incelenmesi



Şekil 3. 13. Poroz betonun basınç dayanımı deney cihazında maksimum taşıma basıncının bulunması

Poroz betonun 3 ve 7 günlük basınç dayanımları eşitlik (3.17)'deki formül yardımıyla hesaplanmıştır. Deney sonucunda 3 günlük basınç dayanımı ortalaması 5,6 MPa, 7 günlük basınç dayanımı 7,7 MPa bulunmuştur.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.17)$$

f_c : Basınç dayanımı (MPa, N/mm^2)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm^2)

3.3. Poroz Asfaltın Dizayn Kriterleri

Poroz asfalt dizaynında 50/70 penetrasyon değerine sahip bitüm ile kalker agregası kullanılmıştır.

3.3.1. Agreganın Özellikleri

Agrega, Bölüm 3.1’de alt temel için kullanılan agrega ile aynı özelliklerini sağlamaktadır. Poroz asfalt dizaynında kullanılacak kaba ve ince agreganın KTŞ limit değerleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’ da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Poroz asfaltta kullanılacak kaba agrega özellikleri (KTŞ 2013)

Deney	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 25 (LA ₂₅)	TS EN 1907-2 ^a AASHTO T 96
Aşınma Direnci (Mikro-Deval), % Kayıp	≤ 20 (M _{DE 20})	TS EN 1907-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO ₄ ile kayıp), %	≤ 10 (MS ₁₀)	TS EN 1367-2
Kırılmışlık, ağırlıkça % (Tüm yüzeyi kırılmış-tüm yüzeyi yuvarlak)	$\geq 100 - \leq 0$ (C _{100/0})	TS EN 933-5
Yassılık İndeksi, %	$\leq 20 - \leq 15$ (FI ₁₅)	BS812 – TS EN 933-3
Cilalanma Deneyi, %	≥ 50 (PSV ₅₀)	TS EN 1097-8
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), % (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 80	TS EN 12697-11 (Kısım 403 EK-A)
Su Emme, %	$\leq 2,0$ (WA ₂₄₂)	TS EN 1097-6
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, %	Bulunmayacak	ASTM C 142 AASHTO T 112

Çizelge 3.6. Poroz asfaltta kullanılacak ince agrega özellikleri (KTŞ 2013)

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 _{24,2})	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi, g/kg	İnce agreganın 0/2 mm kısmında	$\leq 1,5$ (MB _{1,5}) $\leq 3,0$ (MB _{3,0})	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmında	$\leq 3,0$ (MB _{3,0})	

3.3.2. Poroz Asfalt Agregasının Gradasyon Limitleri

Poroz asfalt geçirimsiz yapıya sahip, açık gradasyonlu bir kaplama türüdür. Poroz asfaltın bu özelliği onu diğer kaplamalara göre farklı kılmaktadır. Gradasyon ve karışım dizaynı özel şartlar taşımaktadır. Karayolları Teknik Şartnamesinde poroz asfalt gradasyonları Çizelge 3.7’de 4 tip olarak verilmiştir.

Çizelge 3.7. Poroz Asfalt Gradasyon ve Tolerans Sınırları (KTŞ 2013)

Elek Boyutu		Tip-1	Tip-2	Tip-3	Tip-4	Tolerans Limitleri
İn, No	mm	Geçen %	Geçen %	Geçen %	Geçen %	%
3/4''	19.0	100	100	100		
1/2''	12.5	5-15	90-100	85-95	100	±4
3/8''	9,5	-	63-77	5-15	85-95	±4
No.4	4,75	5-12	11-35	5-15	5-12	±3
No.10	2,00	5-10	10-20	5-10	5-10	±3
No.80	0,180	-	5-10	-	-	±3
No.200	0,075	3-5	3-7	3-5	3-5	±2

Yapılan çalışmalarda, KTŞ'de verilen agrega gradasyon limitlerinden Tip 2 ve Tip 4 de verilen sınıflarda poroz asfalt dizaynı çalışması yapılmıştır.

3.3.3. Bitüm Özellikleri

Poroz asfalt dizaynında, TS EN 12591' e uygun bitümden üretilen KTŞ Kısım 412'de belirtilen 'Bitümlü Bağlayıcılar' limitlerine uygun bitüm kullanılmıştır. Bitümün içerisinde polimer modifiye katkı maddesi kullanılmıştır. Bitümün, özgül ağırlık ve penetrasyon değerleri yapılan deneylerle belirlenmiştir.

3.3.3.1 Bitüm özgül ağırlık deneyi (TS EN 15326 + A1)

Bu deneyde, bitümün özgül ağırlığını hesaplanması için piknometre kullanılmıştır. Deney oda sıcaklığında yapılmıştır. İlk olarak deneyde kullanılacak piknometre tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiştir (W_1). Daha sonra piknometre damıtık su ile doldurularak ağırlığı kaydedilmiştir (W_2). Bitüm 100 °C'ye ayarlanmış etüvde sıvılaştırılarak, piknometrenin yarısına kadar doldurulmuştur. Piknometrenin içindeki bitüm yaklaşık 30 dk soğutulmaya bırakılmış ve sonra tartılarak ağırlığı kaydedilmiştir (W_3). Daha sonra piknometrenin boş kısmı da damıtık su ile doldurularak tartılmış ve ağırlığı kaydedilmiştir (W_4). Bitümün özgül ağırlığı Çizelge 3.8'de verilen formülle hesaplanmıştır. Bitüm özgül ağırlığı 1,01 gr/cm³ bulunmuştur.

Çizelge 3.8. Bitüm özgül ağırlığının hesaplanması

Piknometre ağırlığı	W_1
Piknometre + su ağırlığı	W_2
Piknometre + bitüm ağırlığı	W_3
Piknometre + bitüm + su ağırlığı	W_4
Bitüm özgül ağırlığı	$\frac{W_3 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}$

3.3.3.2. Bitüm penetrasyon deneyi (TS EN 1426)

Penetrasyon deneyi, 25 °C'deki bitümün sertlik derecesini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Deney için penetrasyon deney cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.17). 110 °C 'lik etüvde yaklaşık 1 saat süre ile sıvılaştırılan bitüm, bitüm kabına boşaltılmıştır. Hava kabarcıklarının kaybolması için karıştırılmıştır ve oda sıcaklığına gelinceye kadar dışarıda soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra 25 °C'ye ayarlanmış su havuzunda 40-50 dk aralığında bekletilmiştir. Havuzdan çıkarılan bitüm penetrasyon deney cihazına yerleştirilerek penetrasyon iğnesi bitümün yüzeyine sıfır olacak biçimde ayarlanmıştır. Deney cihazının düğmesine basılarak iğnenin serbest düşüş yapması sağlanmıştır. İğnenin 5 sn sürede bitüm içinde batma miktarı (mm) okunmuştur. Bulunan değer 10 ile çarpılarak bitümün penetrasyon değeri belirlenmiştir. Doğru sonuç elde etmek için, deneyde 3 adet numune kullanılmış ve ortalamaları alınmıştır. Bitümün penetrasyon değeri 59 bulunmuştur.

Not: Deney yapılan ortamın sıcaklığının 25 °C olmasına dikkat edilmelidir.

**Şekil 3. 14.** Penetrasyon deney cihazı

3.3.4. Polimer Modifiye Katkı Malzemesinin Özellikleri

Katı halde bulunan polimer modifiye katkısı 120 °C sıcaklıkta bulunan bitüm içerisine dökülür. Bitüm içerisine girdiğinde hemen eriyen polimer modifiye katkısı basit bir karıştırıcı ile bitüme homojen olarak karıştırılır.

Bitüm içine eriyerek karışan polimer modifiye katkısı, bitümün viskozitesini düşürüp, daha akıcı olmasını sağlar. Asfalt serim ve sıkıştırma sonrası, asfalt soğumaya başladığında; polimer modifiye katkısı, bitüm içinde örgü yapısı oluşturarak asfaltın stabilitesini ve direncini ciddi oranda artırır.



Şekil 3. 15. Polimer modifiye katkı maddesi

3.3.5. Poroz asfalt karışımında kullanılacak optimum bitüm oranının hesaplanması

Poroz asfalt karışımında kullanılacak optimum bitüm oranı eşitlik (3.18), (3.19), (3.20), (3.21)'de verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır (Anderton 2000).

$$OPC = 3.25 \cdot \alpha \cdot (\Sigma)^{0.2} \quad (3.18)$$

$$\alpha = 2.65/G_s \quad (3.19)$$

$$G_s = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (3.20)$$

$$\Sigma = 0.21 \times G + 5.4 \times S + 7.2 \times B + 135 \times f \quad (3.21)$$

G_1, G_2, \dots, G_n : Farklı elek aralığındaki agregaların özgül ağırlık değerleri

P_1, P_2, \dots, P_n : Farklı elek çapları üzerinde kalan malzeme yüzdesi

G: 4.75 mm elek üzerinde kalan malzeme yüzdesi

S: 4.75 mm-0.6 mm elek aralığı malzeme yüzdesi

B: 0.6 mm-0.075 mm elek aralığı malzeme yüzdesi

f: 0.075 mm elekten geçen malzeme yüzdesi

3.3.6. Marshall karışım dizaynı yöntemi (TS 3720)

Marshall test metodu ‘ American Society for Testing and Materials’ Amerikan deney ve materyal topluluğu tarafından standartlaştırılmıştır. Marshall test metodu ASTM D 1559’da Marshall aleti kullanılarak bitümlü karışımın plastik akmaya karşı direnci olarak tarif edilmiştir. Marshall test metodu TS 3720’de de mevcut olup, ASTM de belirtilen test metoduyla aynıdır. Marshall yöntemi, yalnızca maksimum boyu 25 mm veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış bitüm kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metod sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar dizaynı için tasarlanmıştır (Yıldız 2003).

Laboratuvar ortamında, Marshall karışım dizaynı yöntemi kullanılarak poroz asfalt karışım numuneleri imal edilmiştir. Karışım; 1150 gr agrega ile ayrı bir kaptaki hazırlanan modifiye bitümün, hesaplanan karışım oranında mikser ile karıştırılmasıyla hazırlanmıştır (Modifiye bitüm, Şekil 3.12’de gösterildiği gibi sıvılaştırılmış bitüm ile polimer modifiye katkı maddesinin ısıtıcı üzerinde mikser yardımıyla karıştırılarak hazırlanmıştır.)



Şekil 3. 16. Modifiye bitümün hazırlanması

Karıştırma işlemi yapıldıktan sonra, Marshall kalıplarına yerleştirilen karışım 25 defa şişlenmiş ve sıkıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Marshall numuneleri; KTŞ kısım 417’de belirtilen standartlarda, 145 °C’de ve Marshall sıkıştırma cihazında numunenin her iki yüzüne de 50 şer darbe vurularak elde edilmiştir (Deney yapımında sıcaklığın korunması önemlidir ve sıcaklık kaybının minimum düzeyde olması için seri hareket edilmelidir. Ayrıca deneyde kullanılacak tüm aletler ısıtılmalıdır). Her bir Marshall dizaynı için 3’er numune hazırlanmıştır. Numuneler 1 gün boyunca kalıpta bekletilmiş ve daha sonra kriko yardımıyla kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 3. 17. Poroz Asphalt Marshall Numunesi

3.3.7. Poroz asphalt karışımların boşluk oranının hesaplanması

Poroz asphaltın boşluk oranının belirlenmesi için Marshall numuneleri kullanılmıştır. Hazırlanan Marshall numunelerinin boyutları ve ağırlıkları ölçülerek karışımların boşluk oranları eşitlikler (3.22), (3.23), (3.24)’te verilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$G_S = \frac{100+OPC+M}{\frac{100}{G_{S(A)}} + \frac{OPC}{G_{S(C)}}} \quad (3.22)$$

OPC: Optimum bitüm oranı

M: Karışımındaki modifiyer oranı

$G_{S(A)}$: Agreganın ortalama özgül ağırlık değeri

$G_{S(C)}$: Bitüm özgül ağırlığı

Not: Karışımında bitüm miktarının % 3’üne kadar polimer modifiye katkı malzemesi kullanılmıştır. Boşluk oranın hesaplanmasında modifiyer miktarının toplam karışım ağırlığına oranı baz alınmıştır.

$$V = \frac{\pi}{4} \times R^2 \times h \quad (3.23)$$

V: Marshall numunesinin hacmi (cm³)

R: Marshall numunesinin taban çapı (cm)

h: Marshall numunesinin yüksekliği (cm)

$$WMA = 100 - 100 \times \frac{m}{V \times G_s} \quad (3.24)$$

WMA: Boşluk oranı (%)

m: Marshall numunesinin ağırlığı (gr)

V: Marshall numunesinin hacmi (cm³)

Tip 2 dizaynı boşluk oranı % 12,18 ve Tip 4 dizaynı boşluk oranı % 21,64 bulunmuştur.

3.3.8. Parça kaybı (Cantabro) deneyi (TS EN 12697-17)

Cantabro deneyi poroz asfalt kaplamaların darbelere karşı parçalanma yüzdesinin bulunması amacıyla yapılmaktadır. Her bir dizayn için 3'er adet Marshall numunesi hazırlanmıştır. Deney öncesi numunelerin ağırlıkları W_1 olarak kaydedilmiştir. Daha sonra tek bir silindirik numune metal toplar olmaksızın Los Angeles deney cihazına yerleştirilerek 300 devir yaptırılmıştır. Devir sayısı tamamlandığında numune cihazdan çıkarılıp W_2 olarak tartılmıştır. Deney kalan her bir numune için aynı şekilde tekrarlanmıştır. Parça kaybı değeri eşitlik (3.25)'deki formül yardımı ile bulunmuştur.

$$PK = 100 \times \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (3.25)$$

PK: Parça kaybı değeri (%)

W_1 : Numunenin deney öncesi ağırlığı (gr)

W_2 : Numunenin deney sonrası ağırlığı (gr)

Çıkan deney sonuçlarına göre tip 2 dizaynının parça kaybı % 18, tip 4 dizaynının parça kaybı % 54 bulunmuştur.

3.3.9. Marshall stabilite deneyi (TS EN 12697-34)

Marshall stabilite deneyi, bitümlü karışımlarda maksimum stabiliteyi veren optimum bağlayıcı miktarının saptanması için yapılan bir deneydir. Deney TS EN 12697-34 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde, Marshall karışım dizaynı

yöntemi kullanılarak hazırlanan 3 adet katkısız ve 3 adet modifiyerli numuneler kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 1 gün sonra kalıptan çıkarılıp 60 °C'lik su banyosunda yaklaşık 40 dakika bekletildikten sonra Marshall stabilite deney cihazına yerleştirilmiştir. Her numunenin kırılmaya başladığı andaki yük ve deformasyon değerleri tespit edilmiştir. Basınç uygulandıkça değer artarak maksimuma ulaşır o anda numune kırılır ve değer okunur. Okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü karışımın stabilitesi saptanmıştır. Katkısız bitüm ile hazırlanan numunelerin ortalama stabilitesi 545 kg, polimer modifiye bitüm ile hazırlanan numunelerin ortalama stabilitesi 642 kg bulunmuştur.



Şekil 3. 18. Marshall stabilite deney cihazına numunenin yerleştirilmesi

3.3.10. Permeabilite Deneyi (TS EN 12697-19)

Permeabilite deneyi, silindirik bitümlü karışım numunelerin düşey ve yatay geçirgenliğini belirlemek için yapılan deneydir. Bu deney yapılırken TS EN 12697-19+A1 şartnamesindeki standartlara uyulmuştur. Bu deneyde çapı 100 mm ve yüksekliği 68 mm olan, polimer modifiye bitümlü silindirik Marshall numuneleri kullanılmıştır. Silindirik numuneye sabit bir su sütunu (300±1 mm) uygulanmıştır ve istenilen parametreye bağlı olarak suyun düşey ya da yatay yönde numunenin içinden kontrollü bir süre boyunca akışına izin verilmiştir. Bu akış sonucunda düşey ve yatay debi (Q_y ve Q_h) değerleri bulunmuş ve bu değerlere bağlı olarak düşey ve yatay permeabilite (K_y ve K_h) değerleri hesaplanmıştır.

Düşey permeabilite deneyi

Deneye taşma haznesinin su ile doldurulması ile başlanmıştır. Plastik tüp ile sıkıştırma halkaları hazırlanıp plastik tüp içine membran yerleştirilmiştir. Membran tüpün alt ve üst kenarlarından katlanarak, katlanan membranların üzerine sıkıştırma halkaları takılmıştır. Membran ile tüp arasında kalan hava vakum pompası ile boşaltılmıştır. Numune, destek levhasının merkezine yerleştirilmiş, destekleme levhasının yüksekliği, vidalar döndürülerek, numunenin üst yüzeyi destek çerçevesinin kenarı ile aynı hizaya gelene kadar ayarlanmıştır. Plastik tüp numunenin üzerine yerleştirilip, tüp ile hava borusunun bağlantısı yapılmıştır. Su sütunu oluşturulması için kullanılan hazne kelepçe ile plastik tüpün içine yerleştirilip, haznenin alt yüzeyi numunenin üst yüzeyine temas edene kadar itilerek kelepçe ile sabitlenmiştir. Destek çerçevesi numune ile cihazın taşma haznesine indirilmiştir. Numunenin yan yüzeyinden su geçişini engellemek için basınç pompası ile en fazla 0,5 bar basınç membrana uygulanmıştır. Su akışı su sütunu üzerinden verilmiş olup, 10 dakika boyunca beklenecek numunenin doymuş hale gelmesi sağlanmıştır. Daha sonra en az 60 saniye boyunca taşma haznesinden akan su m_1 kütleli boş bir kaptaki biriktirilerek içinde taşma haznesinden taşan su bulunan m_2 kütleli kabın ağırlığı ölçülerek deney tamamlanmıştır. Numunenin yatay yöndeki permeabilite değeri eşitlik (3.26) ve (3.27)'deki formüller yardımı ile bulunmuştur. Düşey permeabilite $0,14 \times 10^{-3}$ m/sn bulunmuştur.

$$Q_v = \frac{(m_2 - m_1)}{t} \times 10^{-6} \quad (3.26)$$

Q_v : Suyun düşey akışı (m^3/sn)

m_1 : Boş hazne ağırlığı (gr)

m_2 : t süresi sonunda su ile dolan hazne ağırlığı (gr)

t: Suyun haznede toplanma süresi (sn)

$$K_v = \frac{4 \times Q_v \times l}{h \times \pi \times D^2} \quad (3.27)$$

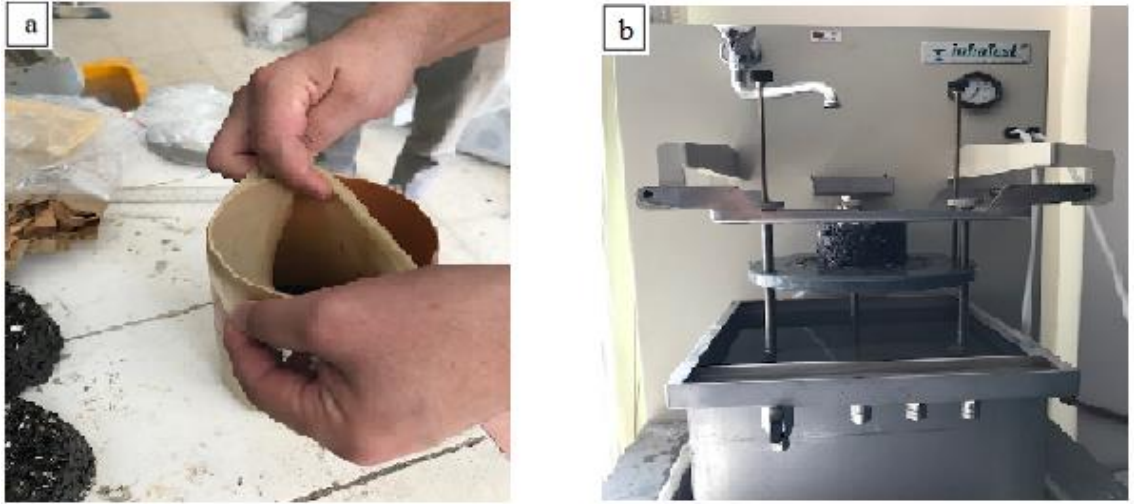
K_v : Düşey permeabilite değeri (m/sn)

Q_v : Suyun düşey akışı (m^3/sn)

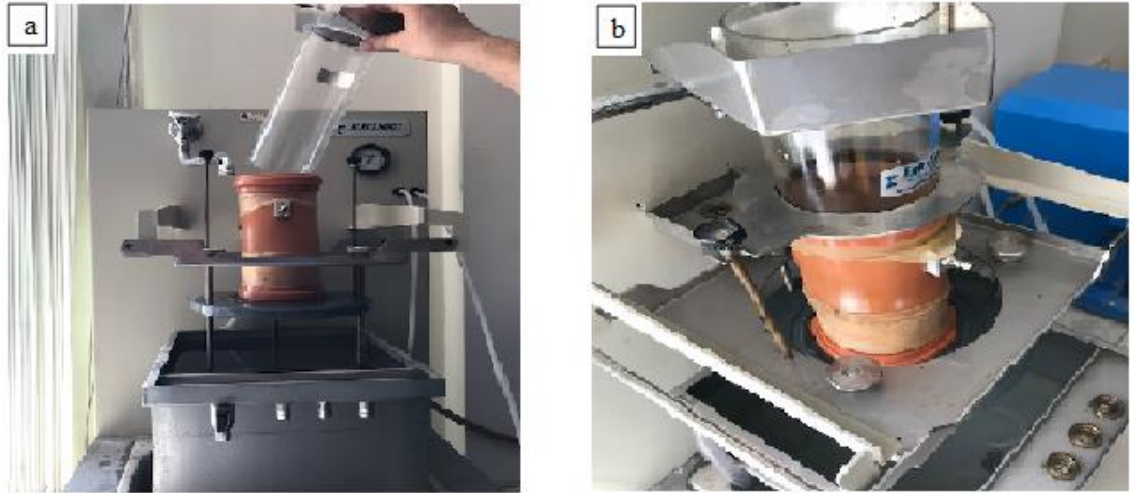
l: Numune yüksekliği (m)

h: Su kolonu yüksekliği (m)

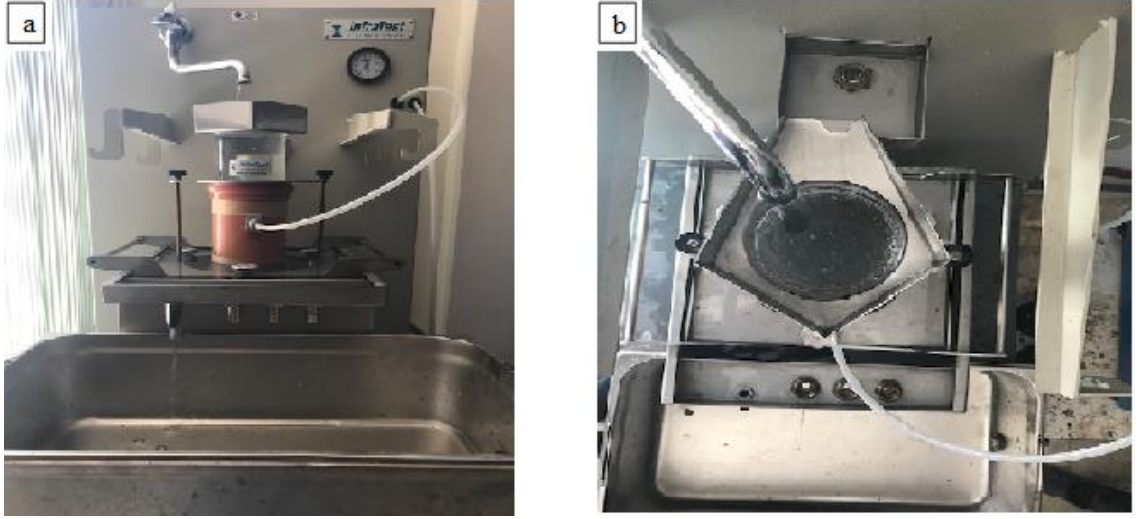
D: Numune çapı (m)



Şekil 3. 19. a) Membranın takılması; b) Numunenin permeabilite deney aletine yerleştirilmesi



Şekil 3. 20. a) Su sütununun hazneye yerleştirilmesi; b) Pompa yardımıyla haznenin 0.5 bar basıncına ayarlanarak deney düzeneğinin hazırlanması



Şekil 3. 21. a) Deneyin yapıldığı anın önden görünümü; **b)** Deney düzeneğinin üstten görünümü

Yatay permeabilite deneyi

Deneye, silindirik numunenin tabanının düşey yönde su akışını önlemek amacıyla parafin ile kaplanarak başlanmıştır. Yüksek viskoziteli silikon kullanılarak numunenin üst çevresine, yaklaşık 100 mm yüksekliğe ve numuneyle aynı çapa sahip alüminyum halka sabitlenmiştir. Numune destekleme levhasının merkezine yerleştirilerek, destekleme levhasının yüksekliği numunenin üst yüzeyi destek çerçevesinin kenarı ile aynı hizaya gelene kadar ayarlanmıştır. Su sütunu haznesi alüminyum halkanın içine yerleştirilmiştir. Destekleme levhası içi su dolu olan taşma haznesine indirilmiştir. Su musluğu ayarlanarak su akışı sağlanmıştır. Su akışı numunenin doygun hale gelmesi için 10 dakika boyunca devam etmiştir. Doygun hale gelen numunenin üzerinden en az 60 saniye boyunca su akışı devam ettirilip, bu sürede akan su boş bir haznede toplanarak, haznenin ağırlığı ölçülmüştür. Numunenin yatay yöndeki permeabilite değeri eşitlik (3.28) ve (3.29)'deki formüller yardımı ile bulunmuştur. Yatay permeabilite değeri $0,45 \times 10^{-3}$ m/sn bulunmuştur.

$$Q_h = \frac{(m_2 - m_1)}{t} \times 10^{-6} \quad (3.28)$$

Q_h : Suyun yatay akışı (m^3/sn)

m_1 : Boş hazne ağırlığı (gr)

m_2 : t süresi sonunda su ile dolan hazne ağırlığı (gr)

t: Suyun haznede toplanma süresi (sn)

$$K_h = \frac{Q_h \times l}{(H+P+0,5) \times (\pi \times D \times l)} \quad (3.29)$$

K_h : Yatay permeabilite değeri (m/sn)

Q_h : Suyun yatay akışı (m^3/sn)

l : Numune yüksekliği (m)

D : Numune çapı (m)

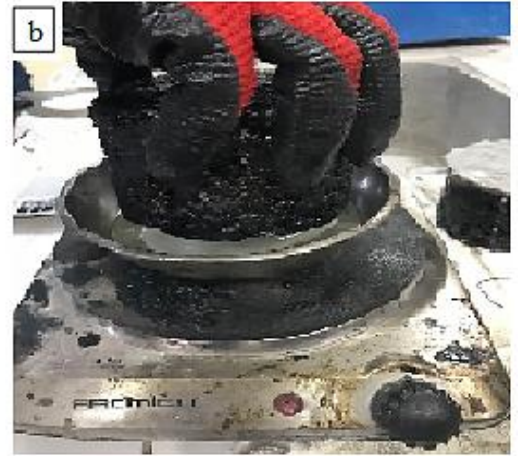
$(H+P+0,5l)$: Su kolonu yüksekliği (m)

H : Üst tüpün alt tüpe uzaklığı (m)

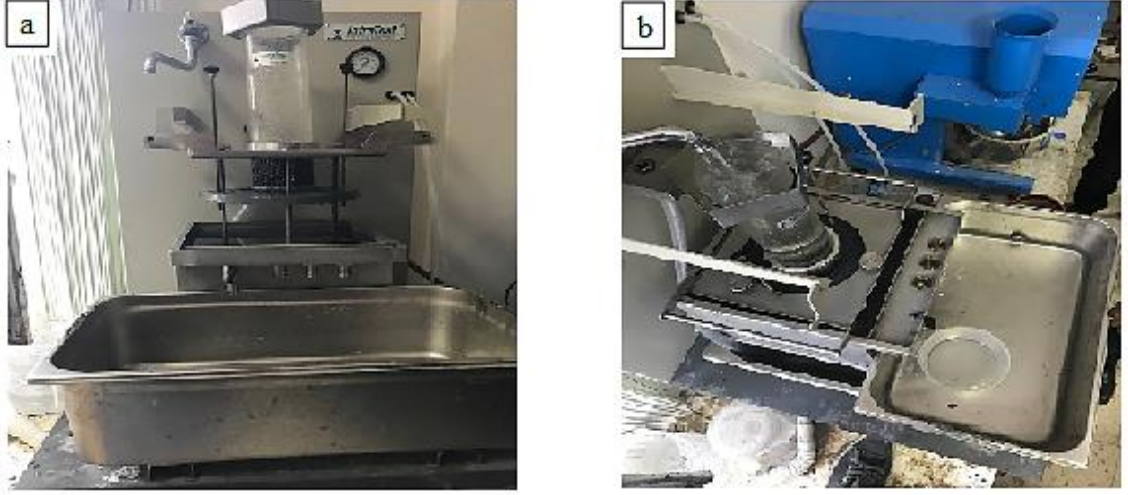
P : Alt tüpün yüksekliği (m)

$(\pi \times D \times l)$: Numunenin düşey alanı (m^2)

D : Numune çapı (m)



Şekil 3. 22. a) Deneyde kullanılacak parafinin ocakta eritilmesi; **b)** Numunenin alt tabakasının parafin ile kaplanması



Şekil 3. 23. a) Deney düzeneğine numunenin ve su sütununun yerleştirilmesi; b) Deney düzeneğinin hazır hale getirilmesi

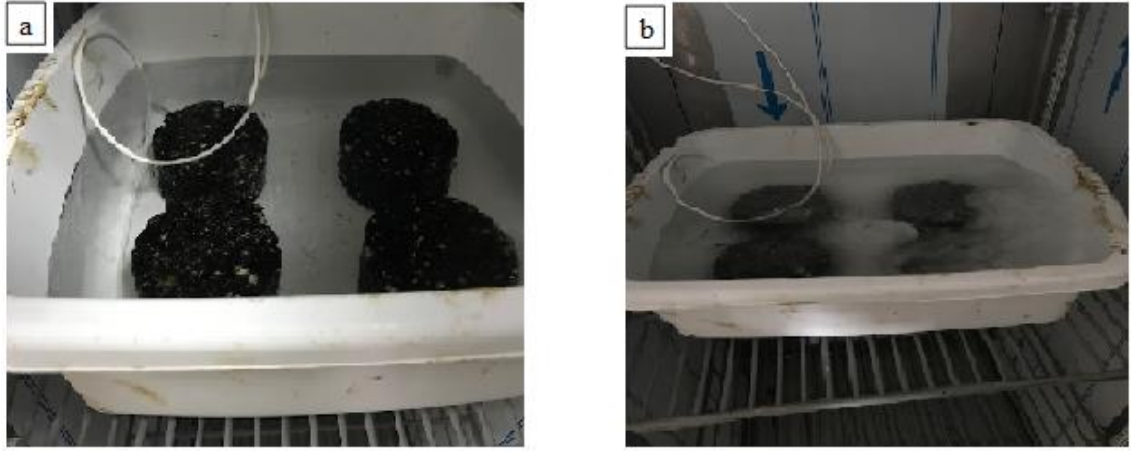
3.3.11. İndirekt çekme mukavemeti deneyi (TS EN 12697-12)

Numunelere sıcaklık değişimine karşı dayanımını belirleyebilmek amacıyla indirekt çekme mukavemeti deneyi uygulanmıştır. Donma-çözünme kabini; Antalya, Isparta ve Burdur illerinin 1929-2017 yılları arasındaki sıcaklık veri ortalamaları göz önünde bulundurularak (Çizelge 3.5) 'de gösterildiği gibi bir döngü oluşturulmuştur. Bu döngü için tam otomatik donma çözünme kabini kullanılmıştır. Donma- çözünme kabini, saatte 5 °C düşüş gösterecek biçimde soğutma ve saatte 10 °C artış yapacak şekilde ısıtma kapasitesine sahiptir. Bu nedenle (Çizelge 3.5)'de belirtilen hedef sıcaklığa ulaşma süresi, bu özellikler göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Marshall dizayn yöntemiyle hazırlanan 3 adet numune bir kaba koyularak üzerine (numunelerin üst yüzeyinden 2 cm yükseklikte olacak şekilde) su eklenmiştir. Su dolu kaptaki numuneler donma-çözünme kabinine yerleştirilerek numunelerin sıcaklık kontrolü yapmak amacıyla, suyun içine kabindeki sıcaklık ölçen kablolar yerleştirilmiştir. Gerekli kontroller yapıldıktan sonra döngü 3 defa tekrar yapacak şekilde ayarlanmıştır.

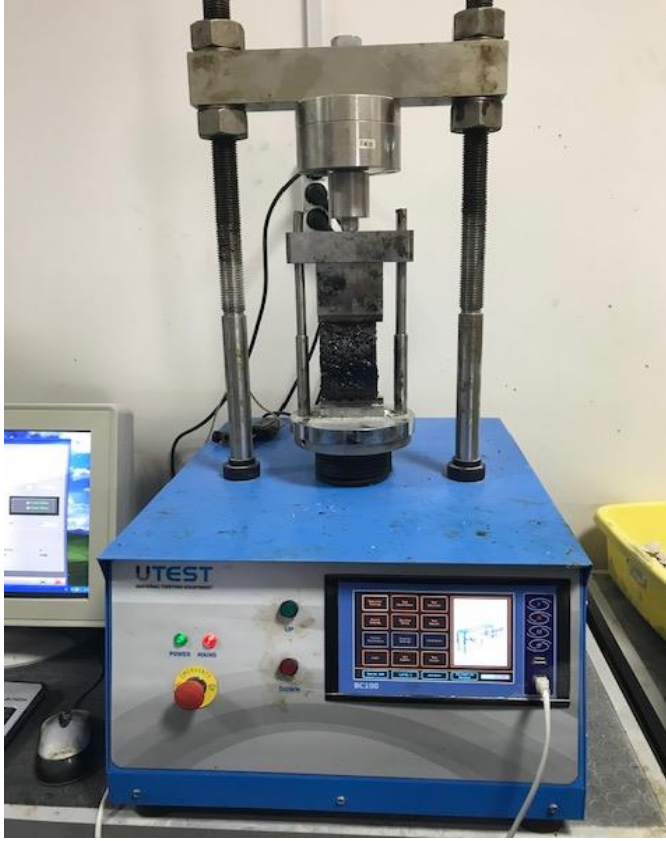
Çizelge 3.9. Donma-çözünme kabini sıcaklık döngüsü

Hedef Sıcaklığa Ulaşma Süresi (dk)	Hedef Sıcaklık (°C)	Hedef Sıcaklıkta Tutma Süresi (dk)
300	-2.4	30
115	-12.0	30
84	+2.0	30
60	+12.0	30
120	-3.0	30
165	-16.7	30
180	-1.7	30
70	+9.7	30
109	+27.8	30

Döngü sonrası numuneler kabinden çıkarılarak 25 °C su banyosunda 2 saat bekletildikten sonra indirekt çekme mukavemeti deney cihazında kırılarak maksimum yük değerleri okunmuştur. Ayrıca 3 adet kontrol numunesi hazırlanarak bu numunelerin indirekt çekme mukavemetiyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. 24. a) Numunelerin donma-çözünme kabinine yerleştirilmesi; **b)** Numunelerin donmuş haldeki görünümü



Şekil 3. 25. Numunelerin indirekt çekme mukavemeti deney cihazı

Numunelerin indirekt çekme mukavemeti oranı eşitlikler (3.30) ve (3.31) yardımıyla bulunmuştur. Deney sonucunda indirekt çekme mukavemeti oranı % 84 bulunmuştur.

$$S_t = \frac{2 \times P}{\pi \times T \times D} \quad (3.30)$$

P: Yük (kg)

T: Numune yüksekliği (cm)

D: Numune çapı (cm)

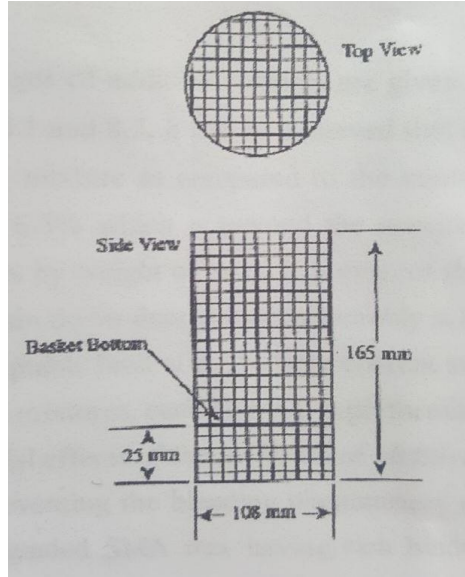
$$\text{İÇM oranı (\%)} = \frac{S_1}{S_2} \times 100 \quad (3.31)$$

S_1 = Donma-çözünme uygulanan numunelerin S_t değeri (kg/cm^2)

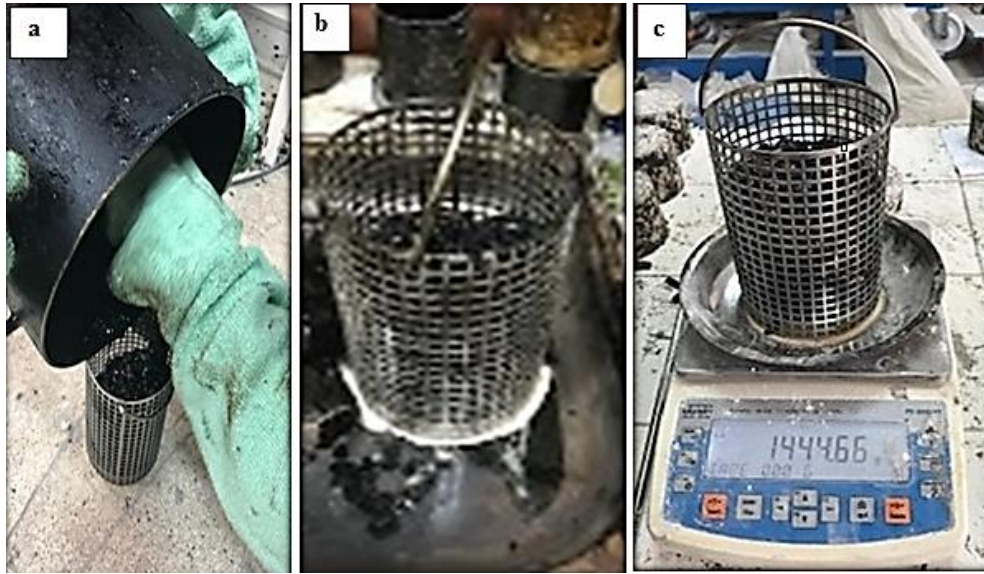
S_2 = Kontrol numunelerine ait S_t değeri (kg/cm^2)

3.3.12. Tel Sepet yöntemi bitüm süzülme deneyi (ASTHO T 305)

Bitüm süzülme deneyi; bitümlü sıcak karışımlarda, karışım içerisindeki bitümün süzülme miktarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Deneyde; 108 mm çapında, 165 mm yüksekliğinde ve 5 mm gözenek aralığına sahip tel sepet kullanılmıştır (Şekil 3.14). Gradasyon limitlerine göre hazırlanan 1000'er gr'lık agregalar, 175 °C'lik etüvde 1 gün bekletilmiştir. Katkısız bitüm ve önceden hazırlanan modifiyerli bitüm ise 120 °C'lik etüvde sıcaklıkları sabitleninceye kadar ısıtılmıştır (Deneyde kullanılacak tel sepetler ve diğer tüm aletler sıcak olmalıdır). Isıtılan agrega ve bitümler, ayrı ayrı mikserde güzelce karıştırılarak tel sepetlere dökülmüş ve tartılmıştır (W_1). Daha sonra; tel sepetler, metal düz bir kabın üzerine yerleştirilmiş ve katkısız bitüm 175 °C'lik etüve, modifiyer katkılı bitüm 185 °C'lik etüve yerleştirilmiştir (Kap ile tel sepetler arasına süzgeç kağıdı yerleştirilmiştir). Numuneler 1 saat etüvde bekletildikten sonra çıkarılarak tartılmıştır (W_2). Karışımları bitüm süzülme değerleri, eşitlik (3.32)'deki formül ile hesaplanmıştır. Deney sonucunda bitüm süzülme değeri % 0,02 bulunmuştur.



Şekil 3. 26. Bitüm süzülme deneyinde kullanılan tel sepetin boyutları



Şekil 3. 27. a) Karışımın tel sepete aktarılması; b) Tel sepetin altına süzgeç kağıdı koyularak tepsiye yerleştirilmesi; c) Tel sepet ile numunenin tartılması

$$SD = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (3.32)$$

SD: Süzülme değeri (%)

W_1 : Tel sepet ve numunenin ilk ağırlığı (gr)

W_2 : Tel sepet ve numunenin son ağırlığı (gr)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Alttemel Tabakasına Uygulanan Deneylein Sonuçları

4.1.1. Kaba ve ince agrega özgül ağırlık ve su asborbsiyonu deney sonuçları

Kaba agrega, ince agrega ve filler agregaların özgül ağırlık ve su asborbsiyonu deney sonuçları izelge 4.1, izelge 4.2 ve izelge 4.3’ de gösterildiği gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Kaba agrega zahiri özgül ağırlığı ve su asborbsiyonu yüzdeleri

Elek boyutu (mm)	Kuru Agrega Ağırlığı (gr)	Suya Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (gr)	Agreganın Sudaki Ağırlığı (gr)	Zahiri zgl ağırlığı (gr/cm ³)	Su Asborbsiyonu Yüzdesi (%)
	W1	W2	W3	$\frac{W1}{W1 - W3}$	$\frac{W2 - W1}{W1} \times 100$
19 - 12.5	1993.2	1998.7	1253.75	2.69	0.28
12.5 – 9.5	997.4	999.4	628.86	2.7	0.2
9.5 – 4.75	697.8	699.9	439.9	2.7	0.3

Çizelge 4.2. İnce agrega zahiri özgül ağırlık ve su asborbsiyonu yüzdeleri

Elek Boyutu (mm)	Pik. Ağırlığı	Pik + Su Ağırlığı	Pik+ SDKY Numune Ağırlığı	Pik + Numune + Su Ağırlığı	Kuru Numune Ağırlığı	Zahiri zgl Ağırlığı	Su Abs. Yüzdesi (%)
4.75-2	198	696	698	1007.7	495.52	2.7	0.9
2-0.18	198	696	698	1010.2	493.3	2.69	1,36
0.18- 0.075	198	696	698	1006	491.4	2.63	1,75

Çizelge 4.3. Filler agreganın zahiri özgül ağırlığı

Piknometre ağırlığı	W1	34 gr
Piknometre+ numune ağırlığı	W2	64 gr
Piknometre + numune + su ağırlığı	W3	102.55 gr
Piknometre + su ağırlığı	W4	83.5 gr
Zahiri özgül ağırlığı	$\frac{W2 - W1}{(W4 - W1) - (W3 - W2)}$	2.74

Deney sonuçları incelendiğinde, agregaların özgül ağırlık ve su absorpsiyonu değerleri KTŞ' de belirtilen limit değerleri karşılamaktadır. KTŞ' de su absorpsiyonu limit değeri alt temel için % 3,5'in, poroz asfalt tabakası için ise % 2'nin üzerinde olmaması gerektiğini belirtmiştir. Tüm agregaya boyutlarında, çıkan sonuçlar bu değer altındadır.

4.1.2. Los Angeles aşınma deneyi sonuçları

Los Angeles aşınma deneyi, alt temel ile poroz asfalt tabakaları agregalarına göre ayrı ayrı yapılmıştır.

Alt Temel Los Angeles Deney Sonucu:

İlk Ağırlık: 5000 gr

Son Ağırlık: 3380.7 gr

$$\text{Los Angeles Aşınması (\%)} = \frac{5000 - 3380,7}{5000} = \% 32$$

Poroz Asfalt Los Angeles Deney Sonucu:

İlk Ağırlık: 5000 gr

Son Ağırlık: 3940 gr

$$\text{Los Angeles Aşınması (\%)} = \frac{5000 - 3940}{5000} = \% 21,2$$

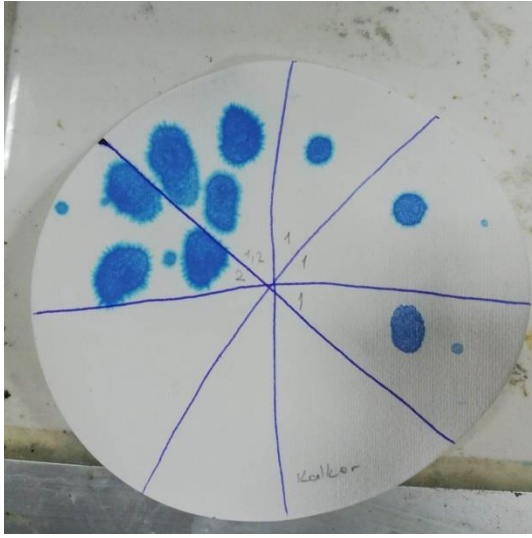
Her iki Los Angeles aşınma sonuçlarına bakıldığında KTŞ limit değerlerini sağladığı görülmektedir. Alt temel tabakası için Los Angeles aşınması KTŞ limit değeri % 45 iken, poroz asfalt karışımında kullanılacak agreganın Los Angeles aşınması KTŞ limit değeri % 25'dir.

4.1.3. Yassılık indeksi deney sonuçları

Yassılık indeksi deney sonuçları incelendiğinde, yassılık indeksi değerinin KTŞ’de belirtilen sınır değerleri sağladığı görülmektedir. KTŞ sınır değerleri; alt temel tabakası için %30, temel tabakası için %25, poroz asfalt tabakası için ise % 20’dir.

4.1.4. Metilen mavisi deney sonuçları

Yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucunda, metilen mavisi değeri 0.5 bulunmuştur. KTŞ’de alt temel tabakası için limit değer 4, poroz asfalt kaplama tabakası için limit değer 1.5 olarak verilmektedir. Çıkan sonuç; limit değerlerinin altında olmakla beraber, yapılan dizaynlarda bu agreganın kullanılmasında, herhangi bir problem olmayacağını göstermektedir.



Şekil 4.1. Metilen mavisi deneyinde kullanılan süzgeç kağıdı

4.1.5. Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (MgSO₄) deneyi sonuçları

Bu deney agreganın, hava tesirlerine karşı (Donma ve çözünmeye karşı) mukavemetinin tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Deney sonucunda, magnezyum sülfat ile agrega ağırlığındaki kayıp yüzdesi 1.03 olarak bulunmuştur. Bulunan değer, KTŞ’deki MgSO₄ ile kayıp yüzdesi limit değerleriyle karşılaştırılmış ve deney sonuçlarının limit değerlerini sağladığı tespit edilmiştir (Limit değerler alt temel için max. %25, poroz asfalt tabakası için max. % 10’ dur).

1. Numune

$$\text{MgSO}_4 \text{ ile kayıp (\%)} = \frac{421-414.5}{421} \times 100 = 1,55$$

2. Numune

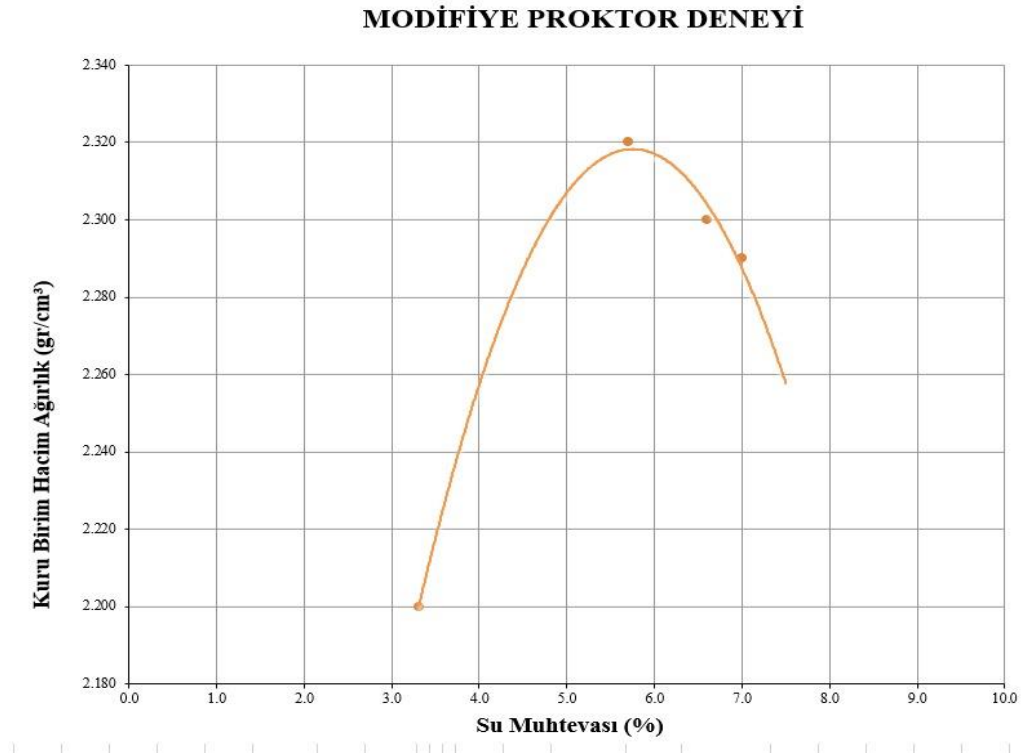
$$\text{MgSO}_4 \text{ ile kayıp (\%)} = \frac{431-428.8}{431} \times 100 = 0,51$$

Numunelerin Ortalama Değeri

$$\text{MgSO}_4 \text{ ile kayıp (\%)} = \frac{\text{MS1} - \text{MS2}}{2} = 1,03$$

4.1.6. Modifiye Proktor Deney Sonuçları

Yapılan deney sonucunda, farklı su içeriklerinde hazırlanan 5 adet numunenin kuru birim hacim ağırlıkları ve su muhtevası Şekil 4.2' deki grafikte işaretlenmiştir. İşaretlenen noktalara göre bir eğri çizilerek tepe noktasına denk gelen su muhtevası değeri belirlenmiş ve buna karşılık gelen kuru birim hacim ağırlığı bulunmuştur.



Şekil 4.2. Modifiye proktor deneyi kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası grafiği

Şekil 4.2' de tepe noktasına denk gelen su muhtevası, optimum su içeriğini ve buna karşılık gelen kuru birim hacim ağırlık değeri de maksimum kuru birim hacim ağırlığını göstermektedir. Belirlenen tepe noktasına göre; optimum su muhtevası % 5,9, maksimum kuru birim hacim ağırlık $2,320 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuştur.

4.1.7. Yaş CBR deney sonuçları

CBR deneyi, modifiye proktor deneyinde bulunan optimum su muhtevası kullanılarak yapılmıştır. CBR kalıbında, gerekli metotlar uygulanarak sıkıştırılan agrega 4 gün su içerisinde bekletildikten sonra CBR değeri ölçülmüş ve % 167 bulunmuştur. KTŞ' de limit değeri % 50' nin üzerindedir yani bulunan değer limit değeri fazlasıyla karşıladığı görülmüştür.

4.2. Temel Tabakası Poroz Betonunun Karışım Oranı Ve Gradasyon Sonuçları

4.2.1. Poroz betonunun karışım oranı sonuçları

1. Deneme Karışımı:

Çizelge 4.5' te verilen karışım verileri kullanılarak oluşturulan poroz beton imalatında beton tabanında ince bir harç tabakası oluşmuş ve bu tabaka suyun geçişini engellemiştir (Şekil 4.3). Bu karışımın su/çimento oranı yaklaşık 1 seviyesindedir. Su/çimento oranı düşürülerek deneme karışımlarına devam edilmiştir.

Çizelge 4.4. 1. Deneme karışım verileri

Karışımında Kullanılan Malzemeler	Karışım Oranı (%)	Karışım Hacmi (dm^3)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm^3)	Karışım Ağırlığı (kg)
Agrega	60	600	2,7	1620
Çimento	5	50	3,1	155
Su	15	150	1	150
Hava	20	200	0	0



Şekil 4.3. 1. Denemede elde edilen poroz beton numunesi

2. Deneme Karışımı:

Su/çimento oranı düşürülmüş ve Çizelge 4.6'da verilen karışım verileri kullanılarak tekrar poroz beton imalatı yapılmıştır. Bu karışımında su/çimento oranının yaklaşık değeri 0.6'dır. Sonuç olarak yine beton numunesinin alt tabanında, bu kez bir önceki poroz beton numunesinin tabanında oluşan tabakadan daha ince bir tabaka oluşmuştur (Şekil 4.4). Aynı şekilde, tabakalaşma suyun geçişine izin vermediği için deneme karışımlarına su/çimento oranı düşürülerek devam edilmiştir.

Çizelge 4.5. 2. Deneme karışım verileri

Karışımında Kullanılan Malzemeler	Karışım Oranı (%)	Karışım Hacmi (dm^3)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm^3)	Karışım Ağırlığı (kg)
Agrega	60	600	2,7	1620
Çimento	7	70	3,1	217
Su	13	130	1	130
Hava	20	200	0	0



Şekil 4.4. 2. Denemede elde edilen poroz beton numunesi

3. Deneme Karışımı:

Su/çimento oranı düşürülerek tekrar poroz beton imalatı yapılmıştır. Bu denemede su/çimento oranı yaklaşık olarak 0.46 olarak alınmıştır. Sonuç olarak; bu deneme dökümünde, önceki iki denemede numunenin alt tabanında oluşan tabakanın oluşmadığı görülmüştür (Şekil 4.5). Temel tabakasında kullanılacak poroz betonunun karışım oranları Çizelge 4.7'de gösterildiği veriler kullanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.6. Poroz betonu karışımında kullanılacak karışım oranları

Karışımında Kullanılan Malzemeler	Karışım Oranı (%)	Karışım Hacmi (dm^3)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm^3)	Karışım Ağırlığı (kg)
Agrega	60	600	2,7	1620
Çimento	7	70	3,1	217
Su	10	100	1	100
Hava	23	230	0	0

**Şekil 4.5.** 3. Denemede elde edilen poroz beton numunesi

4.2.2. Poroz betonu gradasyon sonuçları

İlk denemede; KTŞ’de belirtilen granüler temel tabakası gradasyon limitlerinden Tip-C denenmiş ve hazırlanan karışım sonucunda elde edilen beton numunesinin su geçirgenliği çok düşük seviyede bulunmuştur. Beklenen sonuç elde edilemeyince gradasyon limitleri özel olarak belirlenmiştir.

İkinci olarak; gradasyon limitleri kaba agregadan oluşacak şekilde, maksimum dane çapı 25 mm ve minimum dane çapı 4,75 mm olarak denenmiştir. Bu karışımında; 25 mm-19 mm aralığından %30, 19 mm-12,5 mm aralığından %20, 12,5 mm-9,5 mm aralığından %30, 9,5 mm- 4,75 mm aralığından %20 olacak şekilde poroz betonu numunesi oluşturulmuştur. Yapılan poroz betonu imalatı sonucunda pirizini alan beton numunesi kalıptan çıkarılarak su geçirgenliği incelenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Poroz betonun kalıptan çıkarılması

Elde edilen poroz betonu numunesinin su geçirgenliği iyi derecededir ancak numune uniform bir yapıda olmamakla beraber agregalar ayrışmaya müsait bir özelliktedir. Bu nedenle; tekrar tek tip dane boyutunda ve 9,5 mm-12,5 mm elek aralığına sahip agrega gradasyonunda, poroz betonu imalatı yapılmıştır.

9,5 mm-12,5 mm elek aralığında hazırlanan agregalar, bulunan karışım oranlarında su ve çimento ile mikser yardımıyla karıştırılarak 70 cm uzunluğunda, 60 cm genişliğinde ve 20 cm kalınlığındaki kalıba dökülmüştür (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. 9.5 mm-12.5 mm dane çapı aralığında agrega ile hazırlanan poroz betonunun kalıptaki görünümü

Elde edilen poroz beton numunesi kalıptan çıkarılarak su geçirgenliği incelenmiş ve iyi sonuçlar alınmıştır. Daha önce hazırlanan numunelere oranla bu numunenin daha uniform bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Karışım oranları ve gradasyonu belirlenen poroz beton numunesinin, suya karşı agrega-çimento ayrışmasının test edilmesi amacıyla, Şekil 4.8’de gösterilen düzenek ile numune 1 hafta boyunca fiskiyeden akan suya maruz bırakılmıştır. Bu sürenin bitiminde gözlemlenen poroz betonunun, numunenin bütününe bakıldığında aşınmanın yok denecek kadar az miktarda gerçekleştiği görülmüştür.



Şekil 4.8. Su altında agrega- çimento ayrışmasının incelenmesi

4.2.3. Poroz betonu tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Poroz betonunun 3 günlük ve 7 günlük basınç dayanımlarının sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Poroz betonu tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Numunler	Basınç Dayanımı (3 Günlük) (N/mm ² , MPa)	Basınç Dayanımı (7 Günlük) (N/mm ² , MPa)
1. Numune	5,7	8,2
2. Numune	4,5	7,7
3. Numune	6,7	7,3
Ortalama Değer	5,6	7,7

Deney sonuçları incelendiğinde; numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 3 günlük basınç dayanımından yaklaşık % 40 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuca bakıldığında 7 günlük dayanımın oldukça yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Betonun tam olarak dayanımını kazanma süresi 28 gündür. Ancak yolun

trafiğe açılma süresinin kısa olması nedeniyle 7 günde kazanılan % 40'lık dayanımın yeterli düzeyde olduğu düşünülmektedir.

4.3. Poroz Asfalt Tabakası Deney Sonuçları

4.3.1. Bitüm özgül ağırlık deney sonucu

Bitüm özgül ağırlık deneyi sonucunda; bitümün özgül ağırlığı 1,01 gr/cm³ bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Bitüm özgül ağırlık deney sonucu

Piknometre ağırlığı	W_1	63.7gr
Pik + su ağırlığı	W_2	128.1gr
Pik + bitüm ağırlığı	W_3	98.93gr
Pik + bitüm + su ağırlığı	W_4	128.4gr
Bitüm özgül ağırlığı	$\frac{W_3 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}$	1.01 gr/cm ³

4.3.2. Bitüm penetrasyon deneyi sonucu

Bitüm penetrasyon deneyi, ayrı ayrı 3 numune üzerinde yapılmıştır. Numunelerin penetrasyon değerleri ve ortalama penetrasyon değeri Çizelge 4.9' da verilmiştir. Deney sonucunda, ortalama penetrasyon değeri baz alınarak bitüm sınıfı 50/70 penetrasyonlu bitüm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Bitüm penetrasyon deneyi sonucu

Deney No	Bitümün Penetrasyon Değeri	Bitüm Penetrasyonu Ortalama Değeri
1	60,4	$\frac{60,4 + 57,5 + 59,3}{3} = 59$
2	57,5	
3	59,3	

4.3.3. Poroz asfalt karışımında kullanılacak optimum bitüm oranı sonuçlarıTip 2 Gradasyonu Optimum Bitüm Oranı Hesabı

$$\Sigma = 8,06$$

$$G_S = 2,7$$

$$\alpha = 0,98$$

$$OPC = 4,83$$

Tip 4 Gradasyonu Optimum Bitüm Oranı Hesabı

$$\Sigma = 5,89$$

$$G_S = 2,7$$

$$\alpha = 0,98$$

$$OPC = 4,54$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda; Tip 2 gradasyonu optimum bitüm oranı % 4,83, Tip 4 gradasyonu optimum bitüm oranı % 4,54 bulunmuştur. Optimum bitüm, agrega ağırlığının yüzdesi alınarak karışımlarda kullanılmıştır. Karışımlarda, kullanılan bitüm ağırlığının % 3'ü oranında modifiyer katkısı kullanılmıştır.

4.3.4. Poroz Asfalt Karışımların Boşluk Oranının SonuçlarıTip 2 Gradasyonu Boşluk Oranı Hesabı

$$G_S = 2,51$$

$$V = 518,36$$

$$WMA = \% 12,18$$

Tip 4 Gradasyonu Boşluk Oranı Hesabı

$$G_S = 2,52$$

$$V = 581,2$$

$$WMA = \% 21,64$$

Hesaplamalar sonucunda; Tip 2 gradasyonu ile hazırlanan numunenin boşluk oranı % 12.18, Tip 4 gradasyonu ile hazırlanan numunenin boşluk oranı ise % 21.64 bulunmuştur. Çıkan değerler Tip 2 sınıfının Tip 4'e oranla daha yoğun bir gradasyona sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan incelemelerde Tip 4 gradasyonu ile hazırlanan numunenin boşluk oranının daha yüksek olduğu görülmektedir.

4.3.5. Parça kaybı (Cantabro) deney sonuçları

Parça kaybı (Cantabro) deneyi, Tip 2 ve Tip 4 dizayn sınıflarında ayrı ayrı 3'er Marshall numunesi hazırlanarak yapılmıştır. Çıkan sonuçların ortalama değerleri bulunmuş ve KTŞ limit değeriyle karşılaştırılmıştır. Parça kaybı (Cantabro) deney verileri ile sonuçları Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11' de verilmiştir.

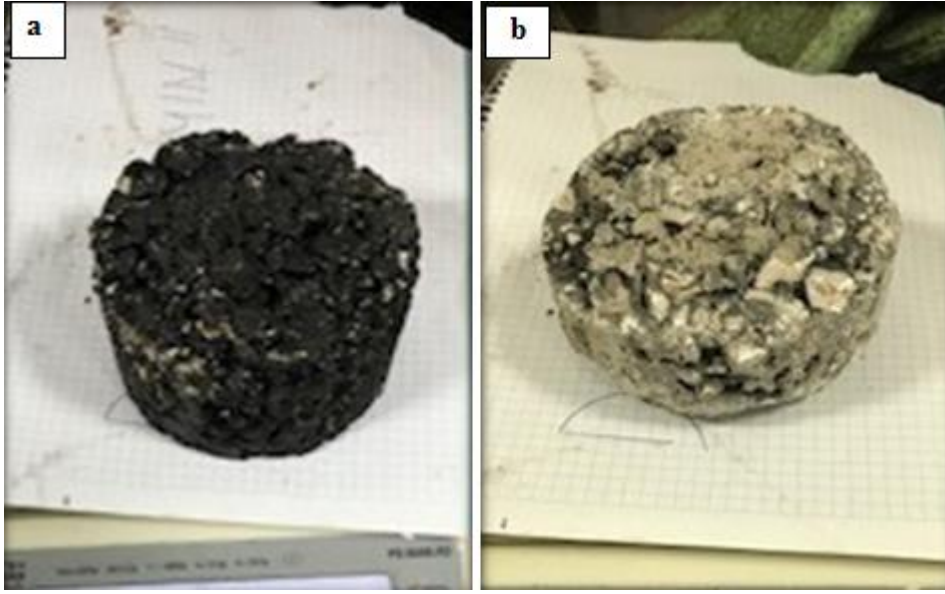
Çizelge 4.10. Tip 2 dizaynı parça kaybı (Cantabro) deney sonuçları

Tip 2 Gradasyonu	Numunenin İlk Ağırlığı (gr)	Numunenin Son Ağırlığı (gr)	Parça Kaybı (Cantabro) (%)	Parça Kaybı (Cantabro) Ortalama Değeri(%)
1. Numune	126,56	895,82	20	18
2. Numune	1140	936,8	17	
3. Numune	1174,46	969,15	17	

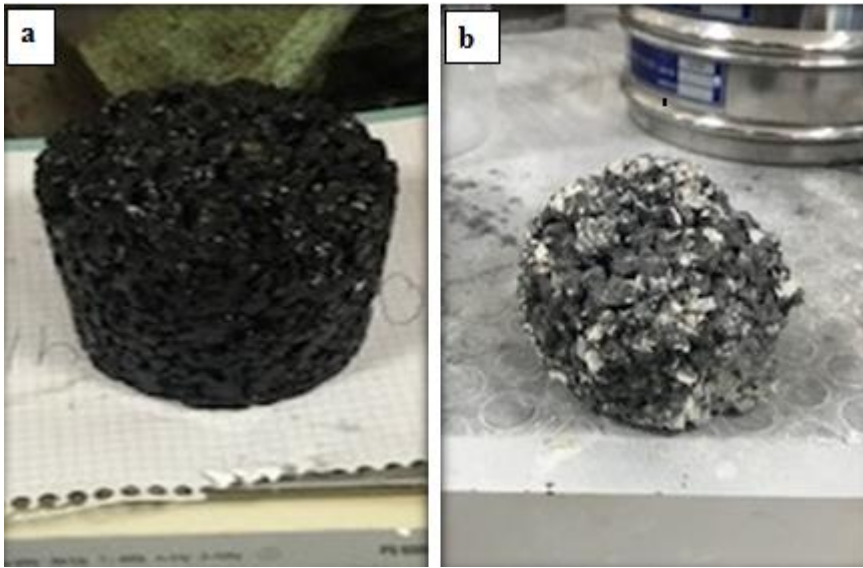
Çizelge 4.11. Tip 4 dizaynı parça kaybı (Cantabro) deney sonuçları

Tip 4 Gradasyonu	Numunenin İlk Ağırlığı (gr)	Numunenin Son Ağırlığı (gr)	Parça Kaybı (Cantabro) (%)	Parça Kaybı (Cantabro) Ortalama Değeri(%)
1. Numune	1146,7	565,84	50	54
2. Numune	1133,92	571,9	49	
3. Numune	1122,6	414,1	63	

Deney sonuçları incelendiğinde, Tip 2 dizaynının parça kaybı (Cantabro) ortalama değeri %18, Tip 4 dizaynının parça kaybı(cantabro) ortalama değerinin % 54 olduğu görülmektedir. KTŞ limit değeri parça kaybı (cantabro) değerine göre %20' nin altında olması gerekmektedir. Bu durumda; Tip 2 dizaynı ortalama değeri şartname limitlerini sağlamaktayken, Tip 4 dizaynı şartname limitlerinin üzerinde bir değerde bulunmuştur. Tip 4 dizaynının parça kaybı (Cantabro) değerinin şartname limitlerinin çok üzerinde çıkması, poroz asfalt kaplamasında Tip 2 dizaynının kullanılmasının daha doğru bir tercih olacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Tip 2 ve Tip 4 dizaynlarının Parça kaybı (Cantabro) deneyi öncesi ve sonrası görünümü Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Tip 2 Dizaynı parça kaybı (Cantabro) deneyi öncesi ve sonrası görünümü



Şekil 4.10. Tip 4 dizaynı parça kaybı (Cantabro) deneyi öncesi ve sonrası görünümü

4.3.6. Marshall stabilite deney sonuçları

Cantabro deneyinin sonuçlarına göre Tip 4 dizaynında hazırlanan numunelerin KTŞ poroz asfalt dizayn limitlerini sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle performansla ilgili yapılan deneysel çalışmaların devamında daha az boşluk oranına sahip olan Tip 2 gradasyonuna göre üretilen numuneler performans deneylerine tabi tutulmuştur. Bu amaçla yapılan Marshall stabilite deneyi için 3 adet katkısız ve 3 adet polimer modifiye katkılı bitüm ile hazırlanmış numuneler laboratuvar koşullarında dizayn edilmiştir. Marshall stabilite deney sonuçları Çizelge 4.12’ de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.12. Marshall stabilite deney sonuçları

Numuneler	Katkısız Numune (kg)	Modifiyeli Numune (kg)
1. Numune	590	762
2. Numune	612	669
3. Numune	435	496
Ortalama Değer	545	642
KTŞ limit değeri	300	300

Deney sonuçları incelendiğinde; katkısız ve polimer modifiye katkısıyla hazırlanan numunelerin her ikisinin de şartname değerini sağladığı görülmektedir. Ayrıca ortalama değerler göz önüne alındığında, polimer modifiye bitüm ile hazırlanan Marshall numunelerinin stabilitesinin katkısız bitümle hazırlanan numunelere göre yaklaşık % 20 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

4.3.7. Permeabilite deney sonuçları

Permeabilite deneyi yatay yönde ve düşey yönde olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Permeabilite deneyi için 3 adet Marshall numunesi hazırlanmış ve numunelerin belli zamanda düşey ve yatay yöndeki suyu geçirme miktarları bulunmuştur. Numunelerin yatay ve düşey permeabiliteleri hesaplanmıştır. Her bir numunenin permeabilite değerleri Çizelge 4.13’de gösterildiği gibidir.

Düşey permeabilite hesabı:

$$Qv = \frac{220,25}{60} * 10^{-6} = 3,67083 * 10^{-6} m/s^3$$

$$Kv = \frac{4 * (3,67083 * 10^{-6}) * (68 * 10^{-3})}{300 * 10^{-3} * \pi * (100 * 10^{-3})^2} = 0,1059 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

Yatay permeabilite hesabı:

$$Qh = \frac{1855}{60} * 10^{-6} = 3,0917 * 10^{-5} \text{ m/s}^3$$

$$Kh = \frac{3,0917 * 10^{-5} * (68 * 10^{-3})}{(300 * 10^{-3}) * (\pi * (100 * 10^{-3}) * (68 * 10^{-3}))} = 0,32804 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

Çizelge 4.13. Permeabilite deney sonuçları

Numune Numarası	Düşey Permeabilite Değeri (m/s)	Yatay Permeabilite Değeri (m/s)
1	$0,106 \times 10^{-3}$	$0,328 \times 10^{-3}$
2	$0,124 \times 10^{-3}$	$0,454 \times 10^{-3}$
3	$0,195 \times 10^{-3}$	$0,572 \times 10^{-3}$
Ortalama Değer	$0,144 \times 10^{-3}$	$0,453 \times 10^{-3}$
KTŞ limit değeri	$0,5 - 3,5 \times 10^{-3}$	$0,5 - 3,5 \times 10^{-3}$

Deney sonuçları incelendiğinde numunelerin yatay ve düşey permeabilite değerlerinin şartname limitlerini sağlamadığı görülmektedir. Bunun en büyük nedeni, numunelerin boşluk oranının düşük olmasıdır.

4.3.8. İndirekt çekme mukavemeti oranı deney sonuçları

İndirekt çekme mukavemeti oranı deneyi, polimer modifiye katkılı bitüm ile hazırlanmış Marshall numunelerine uygulanmıştır. 3 adet donma- çözünme etkisine tabi tutulmuş numuneler ile 3 adet kontrol numuneleri indirekt çekme mukavemeti deney cihazında kırılarak taşıyabileceği maksimum yük, cihazda okunan maksimum mukavemet değerinin 101,97 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan maksimum yük değerleri ile gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra indirekt çekme mukavemeti oranı belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.14’te gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.14. İndirekt çekme mukavemeti deney sonuçları

Parametre		1.Numune	2.Numune	3.Numune
İndirekt Çekme Mukavemeti (kg)	Kontrol Numunesi	859,61	956,48	777,01
	Donma-Çözünmeye Tabi Tutulmuş Numune	777,01	767,84	622,01
İÇM Oranı		90	81	80
Bitümlü Temel Dizayn Kriterli (%) (KTŞ 2013)		80	80	80

Deney sonuçları incelendiğinde bütün numunelerin indirekt çekme mukavemeti oranlarının şartname limit değerlerini sağladığı görülmektedir. Bu sonuçlar, yapılan poroz asfalt dizaynının sıcaklık değişimi etkisine karşı dayanımının yeterli derecede olduğunu göstermektedir.

4.3.6. Tel sepet yöntemi bitüm süzülme deneyi sonuçları

Bitüm süzülme deneyi için 3 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerden biri katkısız bitüm ile, diğeri modifiyer katkılı bitüm ile, bir diğeri ise karışıma katılan fiber katkısı ile aynı şartlar altında hazırlanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.15’ de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Bitüm süzülme deneyi sonuçları

Numune	Numunenin İlk Ağırlığı (gr)	Numunenin Son Ağırlığı (gr)	Bitüm Süzülme Değeri (%)
Katkısız Bitüm	1461,19	1460,95	0,2
Polimer Modifiye Katkılı Bitüm	1444,66	1444,38	0,2
Fiberli Karışım	1464,72	1464,55	0,1

Çıkan sonuçlar incelendiğinde her üç numunenin de bitüm süzülme yüzdelerinin çok düşük seviyede olduğu görülmektedir. KTŞ' de verilen bitüm süzülme oranı limit değeri maksimum % 0,3 olmakla birlikte, tüm numunelerin limit değerini sağladığını ve fiber katkısının süzülmeyle daha çok önlediğini söyleyebiliriz.

Çizelge 4.16'da KTŞ 2013 şartname limitleri ve tüm deneylerden elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 4.16. Deney sonuçları ve KTŞ 2013 dizayn limitleri

Yapılan Deneyler	Deney Sonuçları	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	50	50	TS EN 12697-30
Hava Boşlukları, (%)	Tip-1, Tip-3, Tip-4	-	24 - 28
	Tip-2	12,18	18 - 22
Parça (Cantabro) Kaybı, (%), maks.	18	20	TS EN 12697-17
Stabilite, (kg), min.	642	300	TS EN 12697-34
Permeabilite Değeri, (m/sn), x 10 ⁻³	Düşey	0,14	0,5 - 3,5
	Yatay	0,45	
Elyaf miktarı, %	-	0,3 - 1,0	
Tel Sepet yöntemi bitüm süzülme deneyi, (%), maks.	0,02	0,3	AASTHO T 305
İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Oranı, (%), min.	84	80	TS EN 12697-12 TS EN 12697-23

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, poroz asfalt dizaynı çalışması yapılmıştır. Poroz asfalt açık gradasyonlu bir asfalt kaplama türüdür. Yapılan laboratuvar çalışmalarında poroz asfaltın tüm tabakaları (alt temel, temel, aşınma), deneysel çalışmalarla test edilerek başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

Poroz asfalt dizaynının alt temel tabakası; agregada deneyleri ve seçilen agregada gradasyonuna bağlı olarak oluşturulan zemin numuneleri yardımıyla, modifiye proktor ve CBR performans deneyleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan alınan sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir:

i. Alt temel tabakasının dizaynında kalker agregası kullanılmıştır. Yapılan agregada deneylerinin sonuçları, KTŞ limit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara bakıldığında tüm agregada deneylerinin limit değerlerini karşıladığı görülmüştür.

ii. Alt temel tabakası için yapılan modifiye proktor ve CBR deneylerinin sonuçlarına bakıldığında, modifiye proktor ile bulunan % 5,9 optimum su içeriğine karşılık 2,3 t/m³ kuru birim hacim ağırlığı ve % 167 CBR değerleri, kullanılan agreganın alt temel malzemesi için uygun şartlar taşıdığını göstermektedir.

Poroz asfalt dizaynının temel tabakasında poroz betonu imalatı yapılmıştır. Poroz betonunun karışım oranları ve granülometrisi deneme dökümleri yapılarak bulunmuştur. Bulunan oranlar ile poroz betonu oluşturularak geçirimsizliği ve suya karşı aşınma dayanımı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda olumlu sonuçlar alınmıştır.

Poroz betonu rijit bir yapıdadır ve rijit bir tabakanın üzerine esnek poroz asfalt kaplamasının denenmesi, dizaynı mevcut dizaynlardan farklı kılmaktadır. Temel tabakasında böyle bir dizaynın denenmesi, yol yüzeyinden süzülen suların bu tabakada toplanacak olması neticesinde alınmış bir karardır. Şöyle ki yol yüzeyinden süzülen sular bu tabakada toplanacak ve enine/boyuna eğimler ile uzaklaştırılacaktır. Enine ve boyuna eğimler neticesinde bu tabakada bir su akışı meydana gelecektir. Böyle bir durumda; sadece agregada ile oluşturulacak bir dizaynın, agreganın suya karşı aşınmaya meyilli bir yapıda olması nedeniyle, zamanla yol alt yapısında sorunlar ortaya çıkarabileceği düşünülmüştür. Ortaya çıkabilecek bu olası sorunların önüne geçebilmek adına, agreganın çimento bağlayıcısıyla korunması amacıyla bu tabakanın poroz betonu ile oluşturulması uygun görülmüştür.

Poroz asfalt dizaynının aşınma tabakası, KTŞ' de verilen Tip 2 ve Tip 4 granülometri sınıflarının denenmesiyle oluşturulmuştur. Marshall dizayn yöntemi yardımıyla oluşturulan Tip 2 ve Tip 4 sınıfındaki numuneler, yapılan deney ve hesaplamalar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ve deneysel çalışmaların sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir:

i. İlk olarak bitümün özgül ağırlığı ile bitüm sınıfı belirlenmiş ve agrega özgül ağırlık deneylerinin sonuçları da dikkate alınarak, her iki dizayn tipinin boşluk oranları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda; Tip 2 dizaynının boşluk oranı % 12,18, Tip 4 dizaynının boşluk oranı ise % 21,64 bulunmuştur. Bulunan sonuçlar değerlendirildiğinde, Tip 4 dizayn sınıfının boşluk oranının, Tip 2 sınıfına göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

ii. Tip 2 dizaynı ve Tip 4 dizaynı Marshall numuneleri, parça kaybı (Cantabro) deneyine tabi tutularak darbelere karşı dayanımları karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre Tip 2 dizaynının parça kaybı oranı % 18 bulunurken, Tip 4 dizaynının parça kaybı oranı % 54 bulunmuştur. Sonuçlar KTŞ limitlerine göre değerlendirildiğinde, Tip 2 dizaynının Cantabro değeri, şartname limitini sağlarken, Tip 4 sınıfının Cantabro değerinin, şartname limitinin çok üzerinde bir değer çıktığı görülmüştür. Buna bağlı olarak poroz asfalt dizaynına Tip 2 ile devam edilmiştir.

iii. Marshall stabilitesi deney sonuçlarına göre; polimer modifiye katkılı bitüm ile hazırlanan numunelerin ortalama stabilite değeri, katkısız bitüm ile hazırlanan numunelerin stabilite değerinden % 20 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde; polimer modifiye katkı maddesinin poroz asfaltın stabilitesinin artırılmasında önemli derecede katkı sağladığı görülmüştür.

iv. Permeabilite deneyi sonuçlarına göre; yapılan poroz asfalt Tip 2 karışım dizaynının yatay ve düşey permeabilite değerleri KTŞ limit değerlerini sağlamamaktadır. Bu durumun nedeni olarak Marshall poroz asfalt numunelerinin boşluk oranının düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu dizaynın fazla miktarda yağış alan bölgelerde uygulanmasının doğru olmayacağına karar verilmiştir.

v. İndirekt çekme mukavemeti deneyi sonuçlarına göre; numunelerin boşluklarındaki suyun sıcaklık değişimine verdiği tepki (water susceptibility: suya duyarlılık), indirekt çekme mukavemeti oranı % 84 bulunmuştur. Bu değer KTŞ limit değerini sağlamaktadır. Deney sonucuna göre poroz asfalt Tip 2 karışım dizaynının sıcaklık değişimi karşısında dayanımının iyi derecede olduğu tespit edilmiştir. Alınan sonuçlar neticesinde, Tip 2 dizaynının sıcaklık değişiminin fazla olduğu bölgelerde uygulanmasında herhangi bir sakınca görülmemiştir.

iii. Son olarak karışımda kullanılan bitümün süzülme değerinin belirlenmesi için bitüm süzülme deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyde; katkısız bitüm, polimer modifiye katkılı bitüm ve fiber katkısı ile hazırlanan karışım numunelerinin bitüm süzülmelerine bakılmış ve her üç karışım numunesinin de bitüm süzülmelerinin yok denecek kadar az miktarda olduğu görülmüştür. Ayrıca selüloz fiberle hazırlanan karışımın bitüm süzülmesinin diğerlerine göre % 50 oranında daha az olduğu çıkan sonuçlarda görülmüştür.

Tüm deney sonuçları incelendiğinde, bu tez çalışmasında önerilen poroz asfalt dizaynının uygulanabilir olduğu tespit edilmiştir. Önerilen poroz asfalt dizaynının performansının artırılabilmesi amacıyla, poroz asfaltın, temel ile aşınma tabakası arasında sadece agregadan oluşan filtre tabakasının dizayn edilmesi önerilmektedir. Bu tabakanın rijit yapıdaki temel tabakası ile esnek yapıdaki aşınma tabakası arasında yumuşak bir geçiş sağlayacağı düşünülmektedir.

Ayrıca; Tip 4 dizayn karışımının Cantabro deney sonucunda parça kaybı yüksek bulunmuş ancak boşluk oranının yüksek olması nedeniyle permeabilite değerinin KTŞ standart limitlerini sağlayacağı düşünülmüştür. Buna bağlı olarak, Tip 4 dizaynının da trafik yükü olmayan yerlerde, yaya yollarında uygulamasının yapılması uygun görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Aboufoul, M., Shokri, N., Saleh, E., Tuck, C and Garcia, A. 2019. Dynamics of water evaporation from porous asphalt. *Construction and Building Materials*, 202: 406-414
- Afonso, M. L., Dinis-Almeida, M and Fael, C. S. 2017. Study of the porous asphalt performance with cellulosic fibres. *Construction and Building Materials*, 135: 104-111
- AASHTO T 305 2014. Standart Method of Test for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures, American Association of State Highway, USA
- BS 812-105.2 1990. Elongation Index of Coarse Aggregate, British Standard, England.
- Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Orhan, F. ve Alp, A. 2012. Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı. K.G.M., Ankara.
- Hammes, G., Thives, L. P and Ghisi, E. 2018. Application of stormwater collected from porous asphalt pavements for non-potable uses in buildings. *Journal of Environmental Management*, 222: 338-347.
- Karayolu Teknik Şartnamesi 2013. KGM Yayını, Ankara.
- Özay, O. 2011. Farklı modifiye katkılarla hazırlanan poroz asfalt karışımların performansının incelenmesi. Yüksek lisans lezi. Gazi Üniversitesi, Ankara
- Öztürk, D. 2008. Türkiyede poroz asfaltın uygulanabilirliği. On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun
- Ranieri, V., Kowalski, K. J., Berloco, N., Colonna, P and Perrone, P. 2017. Influence of wax additives on the properties of porous asphalt. *Construction and Building Materials*, 145: 261-271.
- Shirini, B and İmaninasab, R. 2016. Performance evaluation of rubberized and SSB modified porous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 107: 165-171
- TS 1900-1 2006. İnşaat Mühendisliğinde Memin Lâboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1900-2 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Lâboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6 2013. Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğu Ve Su Emme Oranı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9: 2013 +A1 2014. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9: İnce Malzeme Tayini – Metilen Mavisini Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 1367-2 2011. Agregaların Termal Ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1 2013. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Kimyasal Analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 15326+ A1 2010. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yoğunluk Ve Özgül Kütle Tayini-Kapiler Kapaklı Piknometre Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Numuneleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1426 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Batma Derinliği Tayini,Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3720 2010. Bitümlü Karışımlar-Asfalt Betonu- Karışım Tasarımı Karışım Esasları-Marshall Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12697-34 2004. Bitümlü Karışımlar-Deney Metotları-Sıcak Karışimli Asfalt İçin-Bölüm 34: Marshall Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12697-19 2004. Bitümlü Karışımlar-Deney Metotları-Sıcak Karışimli Asfalt İçin-Bölüm 19: Numunenin Geçirgenliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12697-17 2017. Bitümlü Karışımlar-Deney Yöntemleri-Bölüm 17: Gözenekli Asfalt Numunelerde Tanecik Kaybı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Xu, B., Li, M., Liu, S and Fang, J. 2018. Performance analysis of different type preventive maintenance materials for porous asphalt based on high viscosity modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 191: 31-40.

ÖZGEÇMİŞ

Murat YEŞİLBAŞ
muratvesilbas52@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2017-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans	On Dokuz Mayıs Üniversitesi
2011-2015	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun