

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI POROZ ASFALT GRADASYONLARIYLA TASARLANMIŞ YARI ESNEK
KAPLAMALARIN PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Allahverdi GULUYEV

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI POROZ ASFALT GRADASYONLARIYLA TASARLANMIŞ YARI
ESNEK KAPLAMALARIN PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Allahverdi GULUYEV

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI POROZ ASFALT GRADASYONLARIYLA TASARLANMIŞ YARI
ESNEK KAPLAMALARIN PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Allahverdi GULUYEV
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez / / 2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ (Danışman)

Prof. Dr. Aynur KAZAZ

Prof. Dr. Mehmet SALTAN

ÖZET

FARKLI POROZ ASFALT GRADASYONLARIYLA TASARLANMIŞ YARI ESNEK KAPLAMALARIN PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Allahverdi GULUYEV

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Temmuz 2022; 61 sayfa

Dünya nüfusunun artmasıyla yol ağları günden güne büyümekte ve karayollarına talep artmaktadır. Yol üstyapısı olarak genellikle esnek ve rijit kaplamalar inşa edilmektedir. Araştırmacılar bu iki kaplama çeşidinin avantajlarını bir araya getirerek yeni bir dizayn olan yarı esnek kaplamayı üretmişlerdir. Bu kaplama tipi rijit kaplamadan daha kısa sürede trafiğe açılmaktadır. Ayrıca, esnek kaplamadan hem daha dayanıklı hem de uzun ömürlüdür. Yarı esnek kaplama (YEK) genellikle yol kavşakları, hava limanı apronları ve ağır yükleme alanlarında kullanılmaktadır. YEK %25-35 hava boşluğuna sahip poroz asfalt (PA) karışımının içine dökülen akışkan çimento harcıyla inşa edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, 3 farklı gradasyonlu poroz asfalt dizayn hazırlanmış, optimum performans kriterlerini sağlayan dizaynlara akışkan çimento harcı enjekte edildikten sonra en yüksek performansa sahip YEK seçilmiştir. PA için optimum bitüm oranı agregaların fiziksel özelliklerine bağlı olarak bulunmuştur. PA karışımında katkı maddesi olarak fiber kullanılmıştır. PA karışımlarının performansını belirlemek için bitüm süzülme, Marshall stabilite ve nem hasarına karşı direnç deneyi yapılmıştır. Hazırlanan YEK numunelerinin 1,3,7 ve 28 günlük kürlenme süresinde Marshall stabilite, nem hasarına karşı direnç, basınç dayanımı, Cantabro, donma-çözülme, permeabilite ve kayma direnci deneyleri yapılarak numunelerin performansları belirlenmiştir. Buna göre PA-2 karışım dizaynı ile hazırlanmış YEK numunelerinin performansı daha optimal bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Bitüm süzülme, Marshall stabilite, Poroz asfalt, Yarı esnek kaplama

JÜRİ: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Aynur KAZAZ

Prof. Dr. Mehmet SALTAN

ABSTRACT

DETERMINING THE PERFORMANCE OF SEMI-FLEXIBLE PAVEMENTS DESIGNED WITH DIFFERENT POROUS ASPHALT GRADATIONS

Allahverdi GULUYEV

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

July 2022; 61 pages

The road network is developing day after day and the demand for highways is augmenting in consequence of the world population. Flexible and rigid pavements are generally used as road pavement. Semi-flexible pavement has been produced by researchers as a new design which combines the advantages of both rigid and flexible pavements. This type of pavement has been opened to traffic in a shorter time than the rigid pavement. In addition, it is both more durable and long-lasting than the flexible pavement. Semi-flexible pavement (SFP) is generally used at road junctions, airport aprons and heavy loading areas. SFP is formed with flowable cement mortar which is poured into a porous asphalt (PA) mixture with an air void of 25-35%.

In this thesis, a PA design with 3 different gradations has been prepared, and after the fluid cement mortar has been injected into the designs meeting the optimum performance criteria, the SFP with the highest performance has been selected. The optimum bitumen ratio for PA has been specified depending on the physical properties of the aggregates. Fibre has been used as an additive in the PA mixture. In order to determine the performance of PA mixtures, bitumen drain down, Marshall stability and indirect tensile strength ratio tests have been carried out. Marshall stability, indirect tensile strength ratio, compressive strength, Cantabro, freeze-thaw, permeability and skid resistance tests have been performed to determine the prepared SFP samples in the curing periods of 1,3,7 and 28 days. Accordingly, the performance of SFP samples prepared with the PA-2 mixture design has been found as the optimal design.

KEYWORDS: Drain down, Marshall stability, Porous asphalt, Semi-flexible pavement

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Aynur KAZAZ

Prof. Dr. Mehmet SALTAN

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, bana tez süresinde desteğini esirgemeyen, değerli fikirlerini ve deneyimlerini aktaran, çok değerli sayın Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ hocama teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca manevi olarak destek veren Selam dayıma, babam, annem ve eşime teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecinde her zaman yanımda olup destek veren dostum Azad DİNLER'e teşekkür ederim.

Agrega temininde bize yardımcı olan ERKSA MAD. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ. şirketine ve deneysel süreçte ekipman yardımı yapan Karayolları Genel Müdürlüğü 13.Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
3. MATERYAL VE METOT	8
3.1. Materyal	8
3.1.1. Agregat	8
3.1.1.1. Los Angeles parçalanma direnci deneyi	8
3.1.1.2. Yassılık indeks deneyi	9
3.1.1.3. Özgül ağırlık ve su emme deneyi	10
3.1.1.4. Soyulma deneyi (Statik metot)	13
3.1.1.5. Metilen mavisi deneyi	13
3.1.1.6. Organik madde tayini deneyi	14
3.1.1.7. MgSO ₄ ile donma kaybı deneyi	14
3.1.2. Bitüm	15
3.1.2.1. Penetrasyon deneyi	15
3.1.2.2. Parlama noktası deneyi	15
3.1.2.3. Yumuşama noktası deneyi	16
3.1.2.4. Düktilite deneyi	17
3.1.2.5. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi (TFOT)	18
3.1.3. Fiber	19
3.2. Metot	19
3.2.1. Agregat gradasyonunun belirlenmesi	19
3.2.2. Optimum bitüm miktarı (OBC)	21
3.2.3. Poroz asfalt karışımı marshall numunelerinin hazırlanması	22
3.2.4. Poroz asfalt performansı	22
3.2.4.1. Bitüm süzülme deneyi	23

3.2.4.2. Marshall stabilite ve akma deneyi	24
3.2.4.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi (ITSR).....	24
3.2.5. Yarı esnek kaplamanın hazırlanması	25
3.2.6. Yarı esnek kaplama performansı	26
3.2.6.1. Cantabro deneyi	26
3.2.6.2. Basınç dayanımı deneyi	29
3.2.6.3. Marshall stabilite ve akma deneyi	30
3.2.6.4. Nem hasarına karşı direnç deneyi (ITSR).....	30
3.2.6.5. Donma-çözülme deneyi	31
3.2.6.6. Permeabilite deneyi.....	32
3.2.6.7. Kayma direnci (Skid resistance)	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Agregalara Uygulanan Deneylerin Sonuçları	35
4.2. Bitüme Uygulanan Deneylerin Sonuçları.....	35
4.3. Poroz Asfalt Karışımı Agrega Gradasyon Oranları.....	36
4.4. Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi (OBC).....	38
4.5. Marshall Numuneleriyle Poroz Asfalt Karışımının Tasarlanması.....	39
4.6. Poroz Asfalt Performansı.....	40
4.6.1. Bitüm süzülme deneyi	40
4.6.2. Marshall stabilite ve akma deneyi	40
4.6.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi (ITSR).....	42
4.7. Yarı Esnek Kaplama Performansı	42
4.7.1. Cantabro deneyi	42
4.7.2. Marshall stabilite ve akma deneyi	45
4.7.3. Basınç dayanımı deneyi	48
4.7.4. Nem hasarına karşı direnç dayanımı.....	51
4.7.5. Donma-çözülme deneyi	54
4.7.6. Permeabilite deneyi.....	55
4.7.7. Kayma direnci deneyi	55
5. SONUÇLAR.....	56
6. KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Poroz Asfalt Gradasyonlarıyla Tasarlanmış Yarı Esnek Kaplamaların Performanslarının Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C : Derece santigrat

kg : Kilogram

MPa :Megapascal

N : Newton

rpm : Devir/dakika

sn : Saniye

Kısaltmalar

ITS : İndirekt Çekme Mukavemeti

ITSR : İndirekt Çekme Oranı

KTŞ : Karayolları Teknik Şartnamesi

LA : Los Angeles

OBC : Optimum Bitüm Yüzdesi

PA : Poroz Asfalt

PA-1Y: Poroz Asfalt-1 ile Dizayn Edilmiş Yarı Esnek Kaplama

PA-2Y: Poroz Asfalt-2 ile Dizayn Edilmiş Yarı Esnek Kaplama

PA-3Y: Poroz Asfalt-3 ile Dizayn Edilmiş Yarı Esnek Kaplama

YEK : Yarı Esnek Kaplama

* Tezde ondalıktan sonra nokta kullanımı tercih edilmiştir.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. YEK yapım aşaması şeması.....	2
Şekil 2.1. YEK numunesi	4
Şekil 3.1. Los Angeles deneyi	9
Şekil 3.2. Yassılık indeksi deneyi yapılmasında kullanılan şablon	10
Şekil 3.3. Özgül ağırlık deneyi yapım aşamaları	12
Şekil 3.4. Filler özgül ağırlık deneyi.....	12
Şekil 3.5. Soyulma deneyi numunesi.....	13
Şekil 3.6. Metilen mavisi deneyi	14
Şekil 3.7. Penetrasyon deneyi	15
Şekil 3.8. Parlama noktası deneyi.....	16
Şekil 3.9. Yumuşama noktası deneyi.....	17
Şekil 3.10. Düktilite deneyi	17
Şekil 3.11. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi.....	18
Şekil 3.12. Selüloz fiber.....	19
Şekil 3.13. PA Marshall numunelerinin hazırlanması	22
Şekil 3.14. Bitüm süzülme deneyi	23
Şekil 3.15. Marshall stabilite deneyi.....	24
Şekil 3.16. Nem hasarına karşı direnç deneyi.....	25
Şekil 3.17. Poroz asfalt karışımının yapım aşamaları.....	27
Şekil 3.18. Akışkan çimento harcının PA karışımının boşluklarına enjekte edilmesi....	28
Şekil 3.19. YEK kaplamadan karot numunelerin alınması.....	28
Şekil 3.20. Cantabro deneyi	29
Şekil 3.21. Basınç dayanımı deneyi.....	30
Şekil 3.22. Marshall stabilite ve akma deneyi	30
Şekil 3.23. Nem hasarına karşı direnç deneyi.....	31
Şekil 3.24. Donma çözülme deneyi, -18°C'de bekletilen YEK numuneleri	32
Şekil 3.25. Düşey permeabilite deneyi	33
Şekil 3.26. Yatay permeabilite deneyi	34
Şekil 3.27. Kayma direnci deneyi	34
Şekil 4.1. Bitüm süzülme deneyi sonuçları.....	40
Şekil 4.2. PA numunelerinin Marshall stabilite deneyi stabilite değeri sonuçları	41
Şekil 4.3. PA numunelerinin Marshall stabilite deneyi akma değeri sonuçları	41
Şekil 4.4. PA indirekt çekme mukavemeti oranı (ITSR).....	42
Şekil 4.5. YEK'in Cantabro deneyi sonuçları.....	44
Şekil 4.6. YEK numunelerinin Marshall stabilite deneyi stabilite değeri sonuçları.....	47
Şekil 4.7. YEK numunelerinin Marshall stabilite deneyi akma değeri sonuçları.....	48
Şekil 4.8. Basınç dayanım deneyi sonuçları	51
Şekil 4.9. YEK indirekt çekme mukavemeti oranı (ITSR).....	53
Şekil 4.10. Donma-çözülme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Esnek kaplama, Rijit kaplama ve YEK'in özellikleri.....	1
Çizelge 2.1. PA karışımı için sıkıştırma seviyeleri.....	5
Çizelge 2.2. YEK yapılmış ülkeler	6
Çizelge 3.2. “Japan Road Specification”a göre PA karışımı agrega gradasyon limit değerleri	20
Çizelge 3.3. AASHTO’a göre PA karışımı agrega gradasyon limit değerleri.....	20
Çizelge 3.4. “Specification For Semi-Rigid Wearing Course, Malaysia”e göre PA karışımı agrega gradasyon limit değerleri.....	21
Çizelge 3.5. Akışkan çimento harcı içerisinde kullanılan agreganın gradasyonu	26
Çizelge 4.1. Agregalara yapılan deneylerin sonuçları	35
Çizelge 4.2. Bitüme yapılan deneylerin sonuçları	36
Çizelge 4.3. PA-1 karışımı agrega gradasyon oranı	36
Çizelge 4.4. PA-2 karışımı agrega gradasyon oranı	37
Çizelge 4.5. PA-3 karışımı agrega gradasyon oranı	37
Çizelge 4.6. İri agregaların özgül ağırlıkları	38
Çizelge 4.7. PA karışımlarının hava boşlukları	39
Çizelge 4.8. Fiberli ve fibersiz karışımların bitüm süzülme deneyi değerleri	40
Çizelge 4.9. Marshall stabilite ve akma değerleri.....	41
Çizelge 4.10. PA'ya ait ITS ve ITR değerleri	42
Çizelge 4.11. PA-1 Cantabro sonuçları.....	43
Çizelge 4.12. PA-2 Cantabro sonuçları.....	43
Çizelge 4.13. PA-3 Cantabro sonuçları.....	44
Çizelge 4.14. PA-1 karışımının Marshall stabilite deneyi sonuçları	46
Çizelge 4.15. PA-2 karışımının Marshall stabilite deneyi sonuçları	46
Çizelge 4.16. PA-3 karışımının Marshall stabilite deneyi sonuçları	47
Çizelge 4.17. PA-1 karışımının Basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	49
Çizelge 4.18. PA-2 karışımının Basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	50
Çizelge 4.19. PA-3 karışımının Basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	50
Çizelge 4.20. PA-1 karışımı indirekt çekme mukavemeti sonuçları	52
Çizelge 4.21. PA-2 karışımı indirekt çekme mukavemeti sonuçları	52
Çizelge 4.22. PA-3 karışımı indirekt çekme mukavemeti sonuçları	53
Çizelge 4.23. Donma-çözülme deneyi sonuçları	54
Çizelge 4.24. Permeabilite deneyi sonuçları.....	55
Çizelge 4.25. Kayma direnci deneyi sonuçları	55

1. GİRİŞ

Son 75 yılda şehirleşmenin hızla gelişmesiyle, araç sayısı ciddi boyutlara ulaşmış ve trafik yoğunluğu ise oldukça artmıştır. Bu durum yol ağlarının günden güne genişlemesini sağlamıştır. Yol ağlarının genişlemesi, yoğun trafik kapasitelerinin karşılanmasına yönelik ihtiyaçların artması gibi sebepler, araştırmacıların farklı tip yol üstyapıları üzerinde çalışmasını gerektirmiştir. Ayrıca sınırlı kaynakların etkin kullanılması prensibi doğrultusunda günümüz yol üstyapılarının ve kaplama tipinin belirlenmesinde; yol kaplamasının kalitesi, maliyeti ve performansı gibi kriterler önem arz etmektedir. Yol kaplaması olarak genellikle, esnek ve rijit kaplamalar inşa edilmektedir. Esnek kaplamalar yüksek sürtünme direnci, düşük yapım maliyeti, sürüş konforu ve kolay bakımı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılan avantajların yanı sıra hizmet ömrünün kısa olması, yangına karşı dayanaklılığının düşük olması, yağ ve kimyasallara karşı direncinin az olması, sıcaklık değişiminden kaynaklanan çatlaklar ve kalıcı deformasyonlar gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Rijit kaplamalar ise deformasyona ve rutubete karşı direnci, ömrünün uzun olması, eğilme dayanımının yüksek olması, yağ ve kimyasallara karşı dayanımının iyi olması avantajlarına sahiptir; ancak rijit kaplamaların yapım maliyetinin yüksek olması, derzlerden kaynaklanan düşük sürüş konforu ve trafiğe geç açılması dezavantajlarına sahiptir. Araştırmacılar bu iki kaplama tipinin dezavantajlarından kurtulmak ve avantajlarını bir araya getirmek için yeni bir kaplama tipi olan Yarı Esnek Kaplamayı (YEK) önermişlerdir. Çizelge 1.1’de esnek, rijit ve YEK’in özellikleri karşılaştırılmıştır (Wu and Zhang 2011).

Çizelge 1.1. Esnek kaplama, Rijit kaplama ve YEK’in özellikleri

Karşılaştırılmış özellikler	Esnek kaplama	Rijit kaplama	YEK
Deformasyona karşı direnç	Kötü	İyi	İyi
Kayma direnci özellikleri	İyi	Kötü	İyi
Petrol ürünleri, yağ ve kimyasal maddelere karşı direnç	Kötü	İyi	İyi
Rutubete karşı direnç	Kötü	İyi	İyi
Bakım ve onarım	Kolay	Zor	Kolay
Ömrü	Daha düşük	Daha yüksek	Yüksek

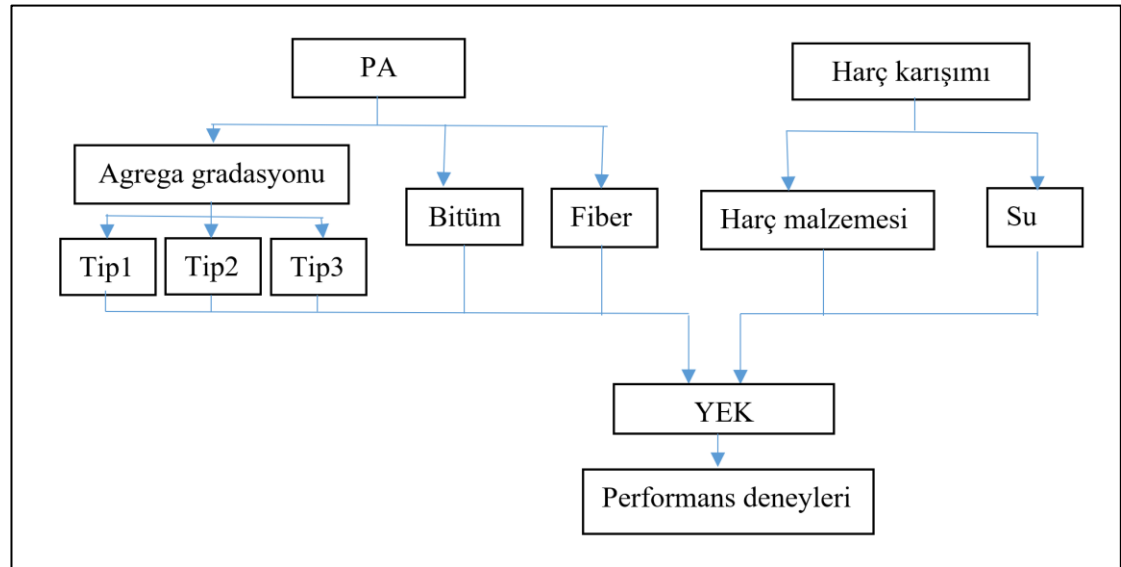
(Devamı Arkada)

Çizelge 1.1'in devamı

Eğilme dayanımı	Düşük	Yüksek	Yüksek
Genleşme derzi	Gerekli değil	Gerekli	Gerekli değil
Kurulum ve trafiğe açılması	Saatler içinde	0,5-3 ay	24 saat içinde
Yapım ve bakım maliyetleri	Düşük yapım Yüksek bakım	Yüksek yapım Düşük bakım	Düşük yapım Düşük bakım

YEK ilk defa olarak 1960'larda, Salviacim adıyla Fransız mühendisleri tarafından dizayn edilmiştir. 1970'lerde YEK Avrupa ve Kuzey Amerika'da hava alanlarında kullanılmaya başlanılmıştır (Li, Xiong et al. 2022). YEK; Almanya, İngiltere, İtalya, Hollanda gibi Avrupa ülkelerinde ve Çin, Malezya, Singapur, Hindistan gibi Asya ülkelerinde otoyollar, tüneller, ağır makine trafiği, hava alanı apronu, ağır yükleme alanlarında kullanılmaktadır (Hassani, Taghipoor et al. 2020).

Esnek ve rijit kaplama tiplerine kıyasla YEK'in yeni bir kaplama tipi olması sebebiyle, bu kaplama tipinin standart yapılma prosedürü henüz bulunmamaktadır. Araştırmacılar her bir bileşen için genellikle ayrı-ayrı çalışma yapmaktadırlar. Bu kaplamaya dayanıklılığı ve sertliği akışkan çimento harcı vermektedir. Bu sebeple, harç karışımları için yeni karışım oranları ve katkı maddeleri denenmektedir. Bu kaplama tipinin üretilmesi 2 aşamadan ibarettir. Birinci aşamada %20-35 hava boşluğuna sahip PA dökülmüştür. İkinci aşamada ise PA'nın hava boşlukları akışkan çimento harcıyla doldurulmuştur (Luo, Yang et al. 2020). Burada önemli konulardan biri akışkan çimento harcının PA'nın boşluklarını tamamen doldurmasıdır. Tez çalışmasında laboratuvar koşullarında oluşturulan YEK'in yapım aşamaları Şekil 1'deki şemada özetlenmiştir.



Şekil 1.1. YEK yapım aşaması şeması

Bu tez çalışmasının amacı Türkiye’de daha önce kullanılmayan YEK için PA karışımının hazırlanmasıdır. Bu amaçla 3 farklı agrega gradasyonunda PA karışımları hazırlanmıştır. Bitümüm süzülmesini engellemek için katkı maddesi olarak fiber kullanılmıştır. Optimum bitüm oranı agreganın fiziksel özelliklerine dayanan denklem kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum PA’nın içine dayanımı yüksek bir harç doldurulmuş ve elde edilen YEK’in performans deneyleri yapılmıştır.

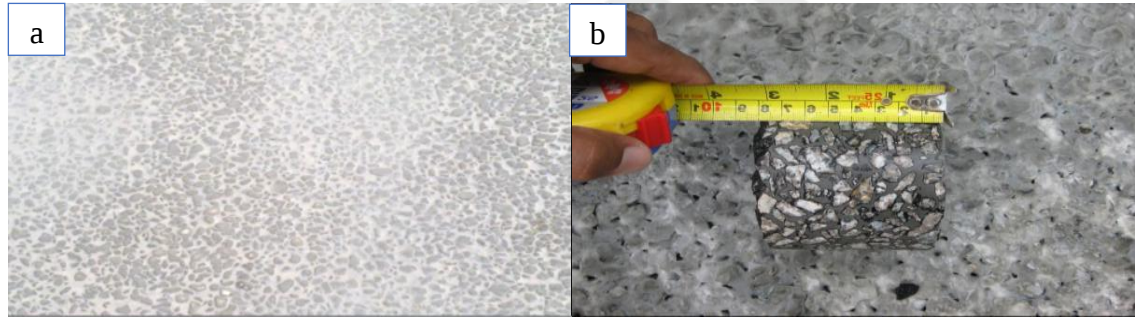
Tez çalışmasının ikinci bölümünde literatür taraması yapılmıştır. Materyal ve metot kısmında çalışmada kullanılan malzemeler ve deneyler irdelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar bulgular ve tartışma bölümünde açıklanmıştır. Son olarak, çalışmadan beklenen yararlar, çalışmanın inşaat sektörüne katkısı ve çözüm önerileri sonuçlar ve öneriler bölümünde sunulmuştur.



2. KAYNAK TARAMASI

YEK yeni bir kaplama tipidir. Bu nedenle YEK dizaynı ile ilgili yeni yöntemler oluşturmaya devam edilmektedir. Dünyanın farklı ülkelerinde farklı araştırmacılar bu kaplama üzerinde çalışmalar yapıp, oluşturdukları dizaynları deneylere tabii tutup ilerleyen çalışmalar için bir kılavuz oluşturmayı amaçlamaktadırlar. Aşağıda sunulan literatür araştırmasında YEK dizaynı ile ilgili kısa bilgi verilmektedir.

Wu ve Zhang (2011), ticari ürün olan ve 2005 yılından Singapur'da yaygın olarak kullanılan Chemilink Technologies Group tarafından üretilen Chemilink SS-141 yüksek performanslı polimer modifiyeli çimento harcının özelliklerini değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, YEK'i oluşturan PA'nın yapımında kullanılan malzemelerin miktarı, kaba agregalar için gereken özellikler ve PA'nın hava boşluklarını doldurmak içine enjekte edilen Chemilink SS-141 yüksek performanslı polimer modifiyeli çimento harcının özellikleri belirtilmiştir. Bu ürünle Singapur'da yapılan YEK'e örnek olarak Changi Uluslararası Havalimanı apronları (2007), Sungei Kadut Caddesi (2010), Güney Buona Vista yolu ve kavşağı ve Changi Havalimanı taksi yollarını gösterilmektedir. Şekil 2.1'de sertleşmeden sonraki YEK yüzeyi (a) ve 75 mm kalınlığında karot örneği (b) görülmektedir.



Şekil 2.1. YEK numunesi **a)** Sertleşmeden sonra YEK yüzeyi; **b)** 75 mm kalınlığında karot örneği

Gong vd. (2022), gradasyon tipi ve sıkıştırma seviyesinin YEK performansına etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, 3 farklı gradasyonlu PA dökülmüş ve 3 farklı sıkıştırma seviyeleri belirlenmiştir. Sıkıştırma yükü 9 kN'dur. Daha büyük gradasyonlu PA numuneleri, daha ince gradasyonlu PA'ya göre daha yüksek hava boşluğuna sahiptir. YEK'in Cantabro kaybı sonuçları araştırılırken sıkıştırma seviyesine bağlı olarak net bir sonuç vermemektedir ve agrega gradasyonuna bağlı olarak bazılarında artarken, bazılarında azalmaktadır. Sonuç olarak YEK'in performansını araştırırken PA numunelerini üretmek için daha yüksek sıkıştırma seviyesi kullanıldığında, YEK bazı özelliklerini iyileştirse de doğru agrega gradasyonu seçiminin daha önemli olduğu bulunmuştur. Çizelge 2.1'de (Gong vd. 2022) bu çalışmada kullanılan PA için sıkıştırma seviyeleri görülmektedir.

Çizelge 2.1. PA karışımı için sıkıştırma seviyeleri

Sıkıştırma seviyesi	Sıkıştırma türleri	
	Marshall numunesi	Kalp numunesi
1 seviye	50 darbe	8 pas
2 seviye	75 darbe	12 pas
3 seviye	100 darbe	16 pas

Taghipoor vd. (2021), yaptıkları çalışmada YEK’de kullanılan PA karışımının tasarımı için bir prosedür sunmuşlardır. Bu çalışmada PA karışımında optimum bitüm oranı Cantabro ve tel sepet yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Ayrıca PA karışımlarının performansını belirlemek için Cantabro, bitüm süzülme, indirekt çekme mukavemeti (ITS) deneyleri yapılmıştır.

Saboo vd. (2019), 2-5% bitüm oranında yedi farklı PA karışımı dizaynının YEK’de uygunluğunu değerlendirmişlerdir. Dizayn olarak BSI (1987), Boundy (1979), Denisphalt type 8, Denisphalt type 12, Setyewan (2003), Anderton (2000) ve Hou (2017)’nin çalışmalarındaki gradasyonlar seçilmiştir. Tüm dizaynlar için agrega olarak kalker, bağlayıcı olarak V630 bitüm emülsiyonu seçilmiş ve bu malzemeler performans deneylerine tabii tutulmuştur. Bitümün akmasını önlemek için stabilize edici katkı maddesi olarak selülöz lifi kullanılmıştır. YEK’de kullanılacak PA karışımı için maksimum Cantabro değeri 50% olarak belirlenmiştir.

Zhao ve Yang (2022), YEK için tasarlanmış beş farklı PA karışımını karşılaştırıp analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada farklı iklimlere uygun PA dizaynı için agrega gradasyonu önerilmiştir. Denenmiş olan tek boyutlu agrega gradasyonlu PA ile tasarlanmış YEK daha iyi sıcaklık ve su stabilitesine sahiptir. Sürekli agrega gradasyonlu PA ile üretilmiş YEK’in ise düşük sıcaklıkta çatlama direnci diğer YEK dizaynlarından daha iyidir. Araştırma sonuçları, sürekli agrega gradasyonunun, önemli sıcaklık farkı olan ancak daha az yağmurlu bölgelerde daha uygun olduğunu göstermiştir. Homojen agrega gradasyonunun ise hafif sıcaklık farkı ve yüksek sıcaklıklı yaz aylarında yağmurlu alan için uygun olup, ancak soğuk bölgelerde uygun olmadığını belirtmişlerdir.

Anderton ve Gary (2000), YEK’nin mühendislik özelliklerini belirlemiş ve rasyonel tasarım prosedürü geliştirmişlerdir. Kritik bozulmaları belirlemek ve sonradan laboratuvar testleri için dört mevcut ve iki yeni YEK karot numuneleri almışlardır. Numunelerin malzeme sertliği, mukavemet, termal özellikleri ve trafikle ilgili özellikleri değerlendirilmiştir. Tasarım prosedüründe WESPAVE bilgisayar programı kullanılarak hava alanı tasarımı yapılmıştır. Çizelge 2.2’de (Anderton ve Gary 2000) raporda belirtilen, farklı ülkelerde yapılmış YEK miktarı görülmektedir.

Çizelge 2.2. YEK yapılmış ülkeler

Ülke	YEK (m ² x 1000)
Fransa	8356
Portekiz	962
Japonya	602
İngiltere	307
Amerika Birleşik Devletleri	288
Almanya	282
Danimarka	230
İsveç	221
Norveç	188
İtalya	183
Finlandiya	148
Belçika	119
İsviçre	117
Suudi Arabistan	100
Hollanda	82
Fas	66
Fildişi Sahili	55
Güney Afrika	34
Bahamalar	29
İspanya	22
Lüksemburg	16
Yeni Kaledonya	15
Avusturya	14
Senegal	6
Tahiti	5
Not: ABD için veri 1996 senesi, diğer ülkeler için ise veriler 1990 senesine aittir.	

Ling vd. (2009), yaptıkları çalışmada YEK karışımının ve AC-16 asfalt karışımının performanslarının karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Her iki karışımın düşük sıcaklık performansını araştırmak için dolaylı çekme deneyi ve düşük sıcaklıkta bükme deneyi yapılmıştır. Sonuçlar, YEK karışımının, AC-16 SBS ile modifiye edilmiş asfalt betonuna kıyasla mükemmel düşük sıcaklık çatlak direncine sahip olduğunu göstermiştir.

Koting vd. (2014), YEK'in akışkan çimento harcının; basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve işlenebilirlik performansını araştırmışlardır. Harç karışımı, yüksek mukavemetli ve sıkıştırılmış PA numunelerinin boşluklarına kolayca sızması için

tasarlanmıştır. Bu çalışmada su/çimento oranı, silis dumanının harç karışımının performansını etkileyip etkilemediği araştırılmıştır. %5 silis dumanının yeterli miktarda süper akışkanlaştırıcı ve su/çimento oranı ile değiştirilmesinin, harç karışımının performansını iyileştirdiği görülmüştür.

Li vd. (2022), yaptıkları deneysel çalışmada YEK'e mukavemet, nem duyarlılığı, yorulma ömrü ve tekerlek izi direnci deneyleri yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, YEK'in ITS deneyleri ile donma çözülme döngülerine duyarlı olmadığı bulunmuştur. Dört noktalı kırış yorulma deneylerinde yorulma ömrü belirlenmiş ve Hamburg tekerlek izi deneyi yapılarak tekerlek izi derinliğinin 2.5 mm'den küçük olduğu bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda YEK ile asfalt karışımı karşılaştırılmış ve YEK'in performanslarının üstün olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasının bu bölümünde YEK'in yapımında kullanılan PA karışımını oluşturan malzemeler tanıtılmış; agrega ve bitüme uygulanan deneyler açıklanmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Agregas

PA yapımında kullanılacak olan agregas cinsi Antalya'da bulunan ocaktan çıkarılmış kalkerdir. Agregalar PA yapımında bitümün agregayı tamamen sarması için temiz ve kuru olmalıdır. Agregaların performansını belirlemek için Los Angeles parçalamas direnci, özgür ağırlık, yassılık indeksi, soyulma, metilen mavisi, organik madde tayini ve $MgSO_4$ ile donma kaybı deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Karayolu Teknik Şartnamesi (KTŞ 2013) 417'nci kısmında bulunan, PA dizaynında kullanılan iri ve ince agregas özelliklerinin belirtildiği şartname limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle kullanılan agregaların PA yapımı için uygunluğu kontrol edilmiştir.

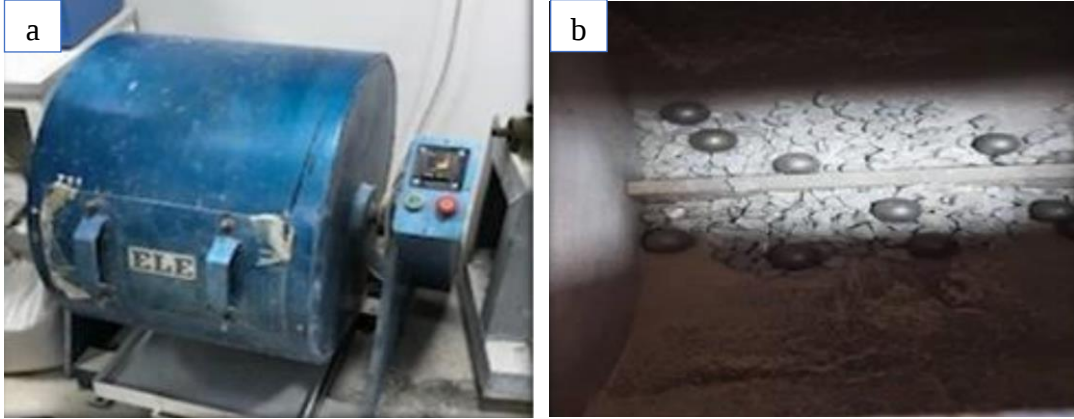
3.1.1.1. Los Angeles parçalanma direnci deneyi

Los Angeles (LA) parçalanma direnci deneyi, agregaların kalitesini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deneyde agregalar LA makinesinde çelik bilyelerin aşındırıcı yüküyle dönen bir çelik tamburda aşınmaya ve darbeye maruz bırakılmaktadır. Bu deneyle standart agregas gradasyonunun parçalanma direnci ölçülmektedir. ASTM C 131'e göre aşındırılacak agregalar 11 adet çelik bilyeler ile birlikte LA makinesine yerleştirilip 30-33 rpm'de 500 devir döndürülmüştür. Daha sonra makineden çıkarılan agregalar 1,6 mm elekten geçirilmiştir. Parçalanma direnci Denklem 3.1 ile hesaplanıp, elekten geçen malzemenin (W_2) cihaza yerleştirilen malzemeye (W_1) yüzdesidir.

$$\text{L.A. parçalanma direnci, \% kayıp} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} 100 \quad (3.1)$$

W_2 = 1,6 mm elekten geçen agregalar miktarı

W_1 = Toplam agregalar miktarı



Şekil 3.1. Los Angeles deneyi; **a)** Los Angeles makinesi; **b)** Bilyelerin agregalarla beraber makineye yerleştirilmesi

3.1.1.2. Yassılık indeks deneyi

Karayolu yapımında özellikle aşınma tabakasında yassı agregaların kullanılması uygun değildir. Bunun sebebi yassı agregaların yük altında parçalanmasıdır. Böyle bir durumda agregaların uygunluğunun belirlemek için yassılık indeksi deneyi yapılmaktadır.

Bu deney, 6.3 mm'den büyük agregalara yapılmaktadır. Agregaların yassılık indeksi değeri, 6.3 mm ile 0.63 mm arasındaki yassılık indeksi eleğinden geçen agregaların ağırlığının toplam agregalar ağırlığına yüzdesidir. Denklem 3.2 ile yassılık indeksi değeri hesaplanmıştır.

$$\text{Yassılık indeksi değeri} = \frac{W_1}{W_2} 100 \quad (3.2)$$

W_1 = 6.3 mm ile 0.63 mm arasındaki yassılık indeksi eleğinden geçen agregaların miktarı

W_2 = Toplam agregalar miktarı



Şekil 3.2. Yassılık indeksi deneyi yapılmasında kullanılan şablon

3.1.1.3. Özgül ağırlık ve su emme deneyi

Özgül ağırlık deneyi ve su emme deneyi iri ve ince agregalar olarak 2 farklı prosedürle yapılmıştır.

İri agregalar için yapılan özgül ağırlık deneyi farklı dizaynlardaki farklı elek aralığında bulunan 4.75 mm elek üzerinde kalan agregalar için yapılmıştır. İlk olarak agregalar yıkanıp temizlenmiştir. Agregalar 24 saat suda bekletilmiştir. 24 saat sonra agregalar sudan çıkarılıp havlu yardımıyla yüzeyi kurutularak suya doymun kuru yüzey haldeki ağırlığı (W_{dky}) tartılmıştır. Daha sonra agregaların Arşimet terazisi ile sudaki ağırlığı (W_{su}) tartılmıştır. Son olarak agregalar etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlığı (W_k) tartılmıştır. Özgül ağırlık, 3.3-3.6 Denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = G_z = \frac{W_k}{W_k - W_{su}} \quad (3.3)$$

$$\text{Kuru Özgül Ağırlık} = G_K = \frac{W_k}{W_{dky} - W_{su}} \quad (3.4)$$

$$\text{Doymun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık} = G_{DKY} = \frac{W_{dky}}{W_{dky} - W_{su}} \quad (3.5)$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{W_{dky} - W_k}{W_k} 100 \quad (3.6)$$

İnce agregalara özgül ağırlık deneyi yapmak için piknometre, Abraham hunisi, kurutma makinesi gereklidir. Bu deney 4.75-0.075 mm elek aralığındaki malzemeler için yapılmaktadır. İlk olarak agregalar, etüvde 110 °C'de kurutulmuş ve oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Agregaların sıcaklığı oda sıcaklığına geldikten sonra, agregalar suyun içerisinde 15-19 saat arası bekletilmiştir. Bundan sonra agregalar metal bir tepsiye yayılmış ve saç kurutma makinesiyle agregaların yüzeyi kurutulmuştur. Kurumanın yeterli olup olmadığını belirlemek için Abraham hunisi yöntemi

kullanılmıştır. Bu yöntemde Abraham hunisinin içerisine agregalar yerleştirilmiş ve numune 25 darbeyle sıkıştırılmıştır. Daha sonra huni agregaların üstünden kaldırılmış ve numunenin şeklini koruyup korumadığı kontrol edilmiştir. Agregalar hafif bir darbede dağılırsa bu, agregaların suya doygun kuru yüzey hale geldiği kabul edilmektedir. Suya doygun kuru yüzey haldeki agregalar tartılarak W_{dky} kaydedilmiştir. İnce agregaların sudaki ağırlığını belirlemek için, oda sıcaklığındaki piknometre kalibrasyon çizgisine kadar suyla doldurulmuş ve ağırlığı belirlenmiştir (W_{p+su}). 500 gram agregalar piknometreye yerleştirilmiştir. Daha sonra agregaların üzeri suyla doldurulmuş ve hava kabarcıkları çıkartılmıştır. Hava kabarcıkları çıkartıldıktan sonra piknometrenin toplam ağırlığı belirlenmiştir (W_{p+su+k}). Son olarak numune etüvde 110 °C’de kurutulmuş ve agregaların sıcaklığı oda sıcaklığına geldikten sonra agregaların ağırlığı tartılmıştır. Aşağıdaki 3.7-3.10 Denklemleri kullanılarak ince agregaların özgül ağırlığı hesaplanmıştır.

$$\text{Zahiri Özgül Ağırlık} = G_G = \frac{W_k}{W_k - W_{p+su+k} - W_{p+su}} \quad (3.7)$$

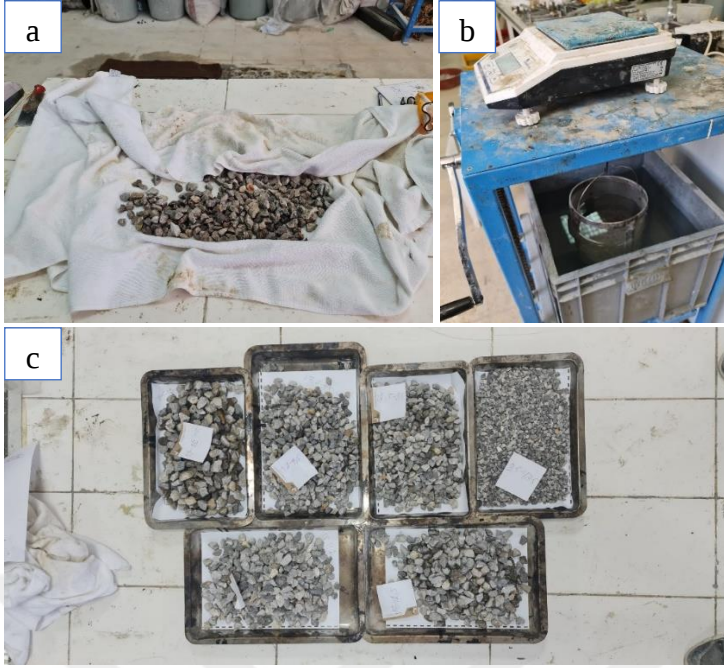
$$\text{Kuru Özgül Ağırlık} = G_K = \frac{W_k}{W_k - W_{p+su+k} - W_{p+su}} \quad (3.8)$$

$$\text{Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık} = G_{DKY} = \frac{W_{dky}}{W_k - W_{p+su+k} - W_{p+su}} \quad (3.9)$$

$$\text{Su emme oranı} = \frac{W_{dky} - W_k}{W_k} 100 \quad (3.10)$$

Filler agregalara özgül ağırlık deneyi BS 812 standardına göre yapılmıştır. Buna göre 100’er gramlık iki adet filler numunesi hazırlanmıştır. Deneyde kullanılan piknometre tartılmıştır (A). Piknometrenin içine saf su konulmuş ve tartılmıştır (B). Kuru piknometrenin %33’ü filler ile doldurulmuş ve tartılmıştır (C). Daha sonra piknometre yarısına kadar su ile doldurulmuş ve vakum pompası kullanılarak karışımın içerisindeki hava kabarcıkları çıkartılmıştır. Piknometre çizgisine kadar su ilave edilmiş ve karışımla birlikte piknometre tartılmıştır (D). Filler agregalarının zahiri özgül ağırlığı Denklem 3.11 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Zahiri özgül ağırlığı} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \times 100 \quad (3.11)$$



Şekil 3.3. Özgöl ağırlık deneyi yapım aşamaları; **a)** Havlu yardımıyla agregalarda doyunu kuru yüzey oluşturulması; **b)** Agregaların sudaki ağırlığının tartılması; **c)** Etüvde kurutulmuş agregalar



Şekil 3.4. Filler özgöl ağırlık deneyi; **a)** Piknometrenin saf su ile doldurulması; **b)** Piknometreye fillerin koyulması; **c)** Piknometreden havanın vakumlanıp çıkarılması; **d)** Piknometreye eksik suyun tamamlanması

3.1.1.4. Soyulma deneyi (Statik metot)

Soyulma deneyi (Peeling Strength Test), agregaların soyulma dayanımının belirlenmesi için yapılmaktadır. Soyulma dayanımı ise agregalar ile bitüm arasındaki yapışmanın ölçüsüdür. Bu deney yapılırken TS EN 12697-11 standardına uyulmuştur. Buna göre 9.5-6.30 mm boyutları arasındaki 200 gram agregalar yıkanmış, 110 °C’de kurutulmuş ve numuneler desikatörde oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Deneyde kullanılan cam baget, bitüm ve agregalar 150 °C’de ısıtılmıştır. Bir beherin içerisinde 100 gram agregalar ve 5 gram bitüm karıştırılmıştır. Oluşturulan karışım petri kabına dökülmüştür. Numunenin sıcaklığı oda sıcaklığına indikten sonra üzerine saf su eklenmiş ve 60 °C’de 24 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Numunenin üzerine tekrar saf su eklenmiş ve soyulmalar gözlenmiştir.



Şekil 3.5. Soyulma deneyi numunesi

3.1.1.5. Metilen mavisi deneyi

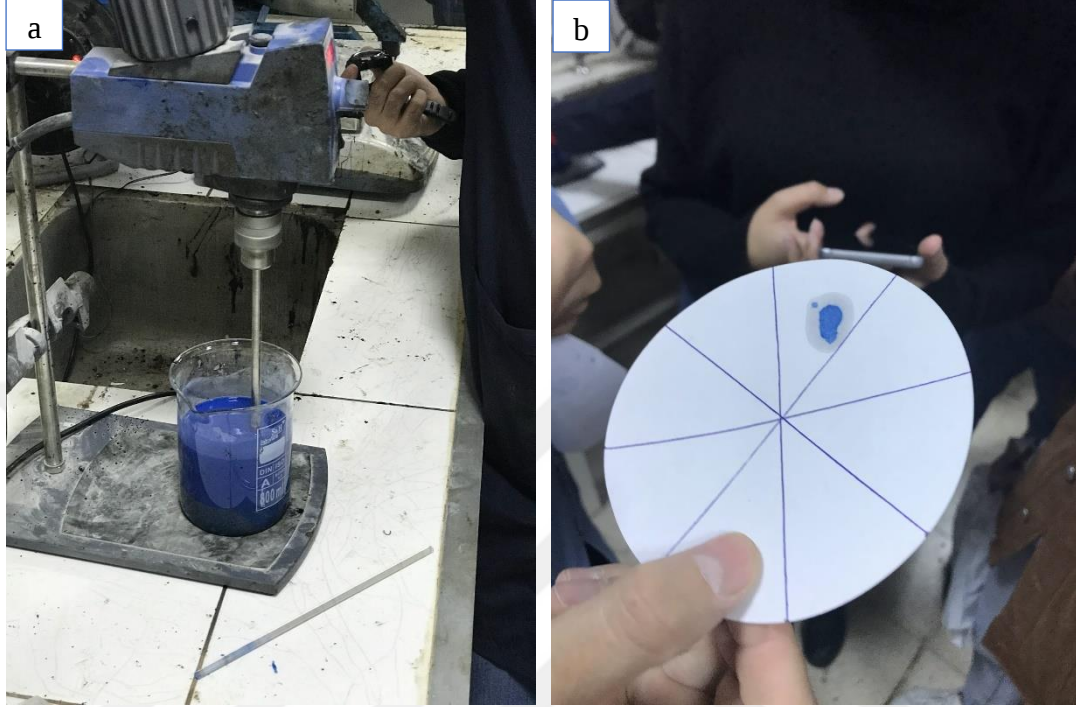
Metilen mavisi deneyi, agregaların içerisinde bulunan kil ve silt miktarını belirlemek için yapılmaktadır. Metilen mavisi deneyi yapılırken TS EN 933-9 standardına uyulmuştur. 100 ml saf su ve 1 gram metilen mavisi tozu 600 döngü/dakika hızla 45 dakika karıştırılarak metilen mavisi çözeltisi hazırlanmıştır. Dane boyutu 2 milimetreden küçük 500 gram agregalar 110 °C de ısıtılmış ve desikatörde bekletilmiştir. 500 gram saf su ve 200 gram agregalar 600 döngü/dakika hızla 5 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışımın içerisine 5 mililitre metilen mavisi çözeltisi eklenmiş ve 400 döngü/dakika hızla bir dakika karıştırılmıştır. Bu karışımdan bir damla süzgeç kağıdına damlatılmış ve damlanın etrafında halenin oluşup oluşmaması kontrol edilmiştir. Hale gözlenene kadar her damlatma işleminden sonra 5 ml çözelti karışıma eklenmiş ve 1 dakika aynı hızda karıştırılmıştır. Damlanın etrafında hale gözüktükten sonra 1 dakika aralıklarla karışımdan damlalar kâğıda damlatılmış ve 5 dakika boyunca halenin silinip silinmediği kontrol edilmiştir. Bu 5 dakikalık süreçte karışıma çözelti eklenmemektedir. Metilen mavisi değeri Denklem 3.12 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Metilen mavisi} = \frac{V}{M} \times 10 \quad (3.12)$$

Burada;

V: Agregaların ağırlığı, gram

M: Metilen mavisi çözeltisinin hacmi, milimetre



Şekil 3.6. Metilen mavisi deneyi; **a)** Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması; **b)** Süzgeç kağıdında halenin oluşması

3.1.1.6. Organik madde tayini deneyi

Organik madde tayini deneyi ile agregalar içerisinde bulunan zararlı organik madde tespit edilmektedir. Bu deney yapılırken TS EN 1744-1 standardına uyulmuştur. 4 mm elekten geçen agregalar %3'lük NaOH çözeltisi ile bir silindirik kaptı çalkalanmıştır. 24 saat sonunda agregalar çökelmiş ve üstte kalan çözeltinin rengi incelenmiştir.

3.1.1.7. $MgSO_4$ ile donma kaybı deneyi

Bu deney ile sürekli olarak donma çözünme etkisinde kalan agregaların davranışı magnezyum sülfat tuzu kullanarak gözlemlenmektedir. Bu deney yapılırken işlem adımları TS EN 1367-2 standardına göre takip edilmiştir. Buna göre 10-14 mm arası agregalardan 1000 gram tartılmış ve iki grup numune hazırlanmıştır (M_1). 1 litre suya 1500 gram $MgSO_4$ tuzu eklenerek $MgSO_4$ çözeltisi hazırlanmıştır. Tel sepetinin içerisindeki agregalar 17 saat boyunca çözeltinin içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra agregalar çözeltinin içerisinde çıkarılmış ve fazla çözeltinin süzülmesi için 2 saat beklenmiştir. Agregalar $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuş ve agregaların sıcaklığı oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Bu işlemler 5 kez tekrarlanmıştır. 5 tekrarın sonunda

agregalar yıkanmış ve kurutulmuştur. Agregalar 10 mm açıklıklı elekte elenmiş ve elekten geçmeyen agregalar tartılmıştır (M_2). $MgSO_4$ değeri Denklem 3.13 ile hesaplanmıştır.

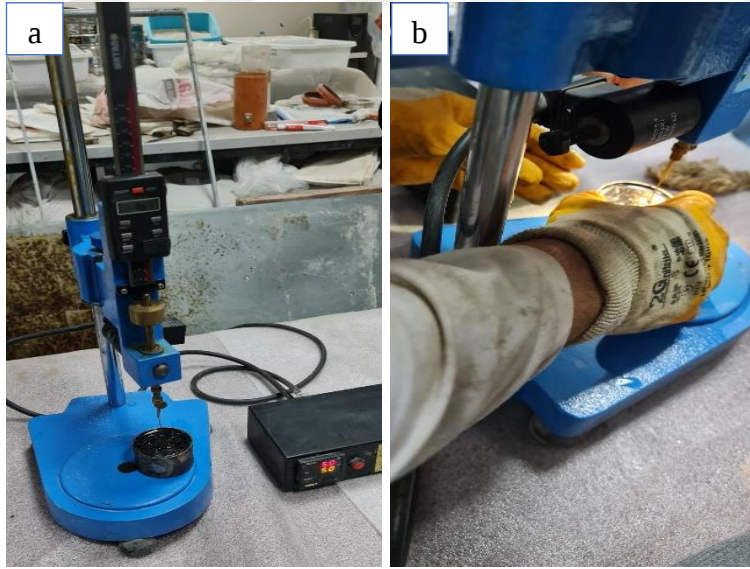
$$MgSO_4 \text{ değeri} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.13)$$

3.1.2. Bitüm

Bitüm, rafine edilen ham petrolden arta kalan kalıntı veya yan üründür (Yüknü vd. 2021). Asfalt kaplamaların yapımında kullanılan bitüm sınıfı bölgelerin hava koşullarına göre değişmektedir. Bu çalışmada B50/70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Bitümün özelliklerini belirlemek için penetrasyon, duktilite, yumuşama noktası ve parlama noktası deneyleri yapılmıştır.

3.1.2.1. Penetrasyon deneyi

Bu deney bitümün kıvamını ve sınıfını belirlemek için yapılır. Penetrasyon deneyinde ilk önce bitüm eritilmiş ve homojen olması için karıştırılmıştır. Bitüm beklenen penetrasyon değerinden en az 10 mm daha derin kaba dökülüp oda sıcaklığında soğutulmuştur. Soğutulmuş numune 1.5 saat boyunca 25 °C sıcaklıktaki su banyosunda bekletildikten sonra deney yapılmıştır. Bitümün penetrasyon değeri penetrometre cihazında 100 g ağırlığındaki iğnenin 5 saniyede battığı derinliğin ölçülmesiyle belirlenmiştir. Deney prosedürü TS EN 1426'ya göre gerçekleştirilmiştir.



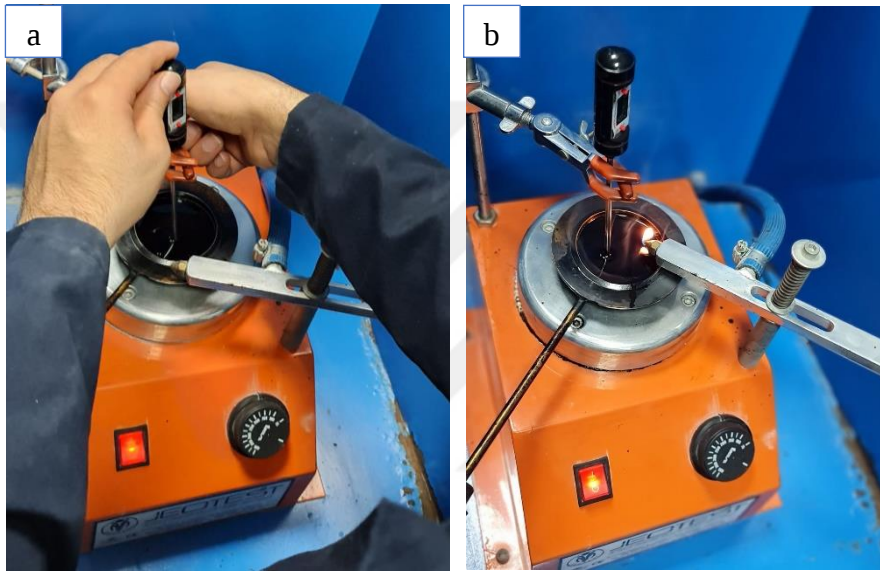
Şekil 3.7. Penetrasyon deneyi; a) Piknometre cihazı; b) Numunenin cihaza yerleştirilmesi

3.1.2.2. Parlama noktası deneyi

Bitüm, bitümlü sıcak karışım üretimi aşamasında ısıtılmaktadır. Bunun için bitümün parlamasına neden ola bilecek en düşük sıcaklık değerini belirlemek önemlidir.

Parlama noktası deneyi ile bitümün alev alma sıcaklığı belirlenmektedir. Yani parlama noktası, bitümün parlamasına neden olan en düşük sıcaklıktır.

Bu çalışmada parlama noktası deneyi TS EN ISO 2592'ye göre yapılmıştır. Deneyde kullanılan bitüm önce sıvı hale getirilene kadar ısıtılmıştır. Temiz ve kuru olan deney kabı bitümle doldurulmuştur. Isıyı ölçmek için deney kabına dikey şekilde termometre yerleştirilmiştir. Ardından bitüm ısıtmaya başlanılmıştır. Numunenin sıcaklık artışı dakikada 5-17°C'dir. Termometrenin sıcaklığı, tahmin edilen parlama noktası değerinin 28°C altına kadar yükseldiğinde, bitümün üzerine alev uygulanmıştır. Numune sıcaklığı her 2 °C arttığında, numunenin üzerinden alev geçirilmiştir. Bitümden çıkan buharın alev aldığı andaki sıcaklık parlama noktası değeri olarak kaydedilmiştir.



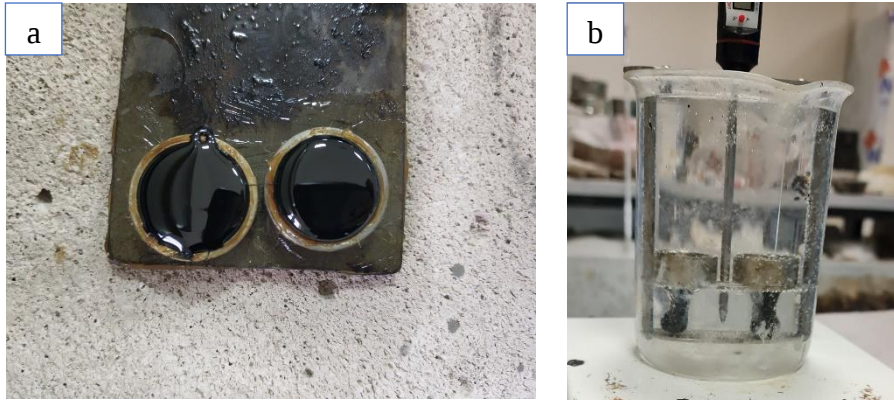
Şekil 3.8. Parlama noktası deneyi; **a)** Numunenin cihaza yerleştirilip cihazın ayarlanması
b) Deney alevinin numunenin üzerinde gezdirilmesi

3.1.2.3. Yumuşama noktası deneyi

Yumuşama noktası katı bir maddenin belirli koşullar altında sıvı hale geçmeye başladığı sıcaklık derecesidir. Yumuşama noktası deneyi ile bitümün belirli bir yumuşama derecesine ulaştığı sıcaklık değeri belirlenmektedir. Bu deney TS EN 1427'ye göre yapılmıştır.

Deneyde kullanılan halkalar yağlandıktan sonra bu halkalar 90 °C'lik etüvde ısıtılmış ve bitüm halkanın içerisine dökülmüştür. Bitümün sıcaklığı oda sıcaklığına gelene kadar, numune 1 saat soğumaya bırakılmıştır. Behere saf su konulmuş ve buz yardımıyla suyun sıcaklığı 5 °C'ye kadar düşürülmüştür. Halkalar cam kabın içindeki desteğe yerleştirilmiştir. Numuneler 15 dakika bekletildikten sonra çelik bilyeler numunelerin üzerine koyulmuştur. Beher 5±0.5 °C/dakika hızda ısıtılmıştır. Suyun eşit şekilde ısınması için sürekli karıştırılmıştır. Halkanın içindeki bitüm yumuşayana ve üzerine konulan çelik bilye kendi ağırlığıyla aşağıya doğru hareket edene kadar ısıtmaya

devam edilmiştir. Çelik bilyelerin alt plakaya değdiği andaki sıcaklığı termometreden okunarak kaydedilmiştir. Kaydedilen değer yumuşama noktası değeridir.

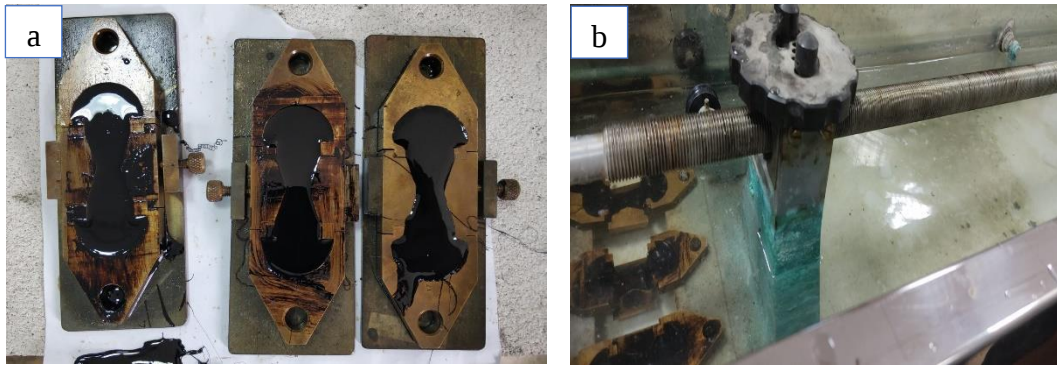


Şekil 3.9. Yumuşama noktası deneyi; **a)** Halkanın içine doldurulmuş bitüm numuneleri; **b)** Numunelerin deney sonundaki görünümü

3.1.2.4. Düktilite deneyi

Düktilite deneyi bitümün elastikiyet özelliklerini belirlemek için yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında düktilite deneyi ASTM D 113'e göre yapılmıştır.

Bitüm 90 °C ısıtılmış ve sıvı hale getirilmiştir. Briket kalıpların kenarları gliserinle yağlandıktan sonra bitüm kalıbın içine dökülmüştür. Numuneler oda sıcaklığında 30-40 dakika soğutulduktan sonra 25 °C'lik su banyosunda 30-40 dakika bekletilmiştir. Su banyosundan çıkartılan numunelerin yüzeyindeki fazla bitüm sıcak düz kenarlı bıçak veya spatula yardımıyla sıyrılıp üst yüzeyi düzeltilmiştir. Daha sonra numuneler tekrar su banyosunda 25 °C'de 85-95 dakika bekletilmiştir. Numuneler su banyosundan çıkartılmış ve numunelerin briket kalıbının bir klipsi düktilite makinasının hareketli kısmına, diğer klipsi ise sabit parçaya takılmıştır. Düktilite makinesinin göstergesi sıfırlandıktan sonra makine 50 mm/dakika hızda çalıştırılmıştır. İki klips numune kopuncaya kadar çekilmiştir. Numunelerin koptuğu andaki klipsler arasındaki mesafe ölçülmüştür. Bu mesafe düktilite değeri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.10. Düktilite deneyi; **a)** Bitüm dökülmüş briket numuneleri; **b)** Numunelere düktilite cihazında deneyin uygulanması

3.1.2.5. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi (TFOT)

Bu deney, bitümün kısa dönem yaşlanmasını laboratuvar ortamında modelleyebilen en çok kabul görmüş yöntemlerden biridir (Yılmaz ve Ahmedzade 2008). İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi ile özellikle asfalt üretim prosesinde bitümün ısıtıldığı anda gerçekleşen yaşlanması modellenmektedir. Bu deneyin yapılışında TS EN 12607-2’de ki prosedürlere uyulmuştur. Bu kapsamda sıvı formda olan bitümden 50’şer gram kaplara dökülmüştür. Kaplara dökülen bitüm 30 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilmiş ve numunelerin ağırlıkları 0.01 gram hassasiyetli tartıda ölçülmüştür. Daha sonra numuneler etüv cihazına yerleştirilmiştir. Numuneler etüvün dönen rafları içerisinde 163 °C’de 5 saat boyunca bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan numuneler 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiş ve ağırlıkları ölçülmüştür. Yaşlanan bitümün performansını ölçmek için ise penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri tekrar yapılmıştır.

Yaşlanan bitümde meydana gelen kütle değişim yüzdesi Denklem 3.14 ile hesaplanmıştır.

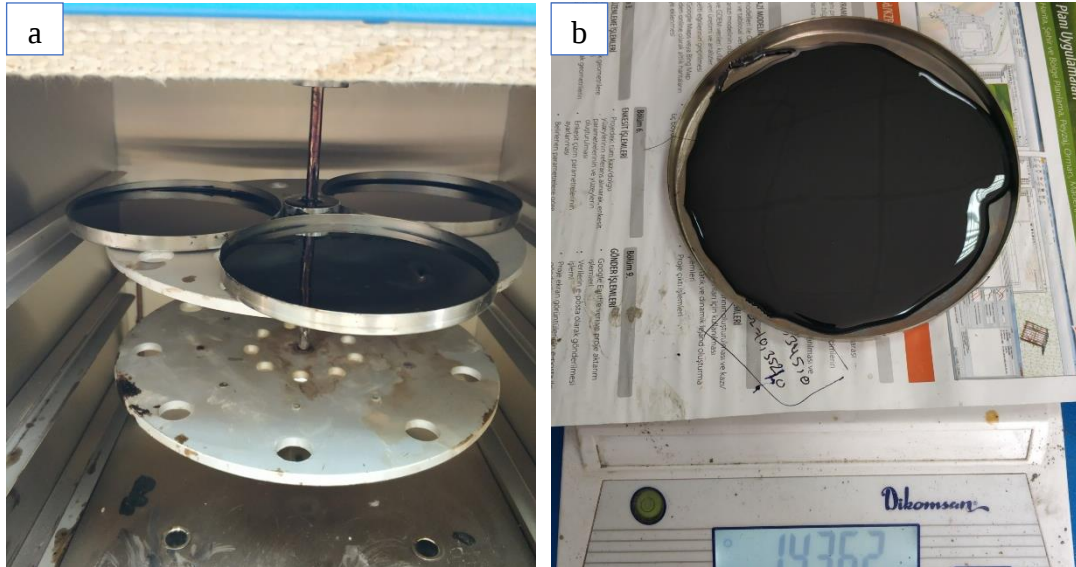
$$\text{Kütle değişimi} = \frac{M_2 - M_1}{M_1 - M_0} \times 100 \quad (3.14)$$

Burada;

M_0 = Boş kabın ağırlığı, gram.

M_1 = Deneyden önce kap ve bitümün ağırlığı, gram.

M_2 = Deneyden sonra kap ve bitümün ağırlığı, gram.



Şekil 3.11. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi; a) Etüve yerleştirilmiş numuneler; b) Numunenin son ağırlığının tartılması

3.1.3. Fiber

Çin’de fiberle karıştırılmış kil toprağı ile inşa edilmiş 4000 yıllık bir kemer ve 2000 yıl önce inşa edilmiş Çin Seddi dikkate alındığında, fiberlerin kullanımının çok eski tarihe dayandığı görülmektedir. Fiberlerin modern zamanda geliştirilmesi ise 1960’lara dayanmaktadır (Abtahi, Sheikhzadeh vd. 2010).

Asfalt karışımlarında fiber olarak selüloz, polipropilen, polyester, asbest, karbon ve benzeri fiberler kullanılmaktadır (Abtahi, Sheikhzadeh vd. 2010). Bu çalışmada selüloz fiber kullanılmıştır. Selüloz fiberin boşluklu asfalt karışımında bitümün süzülmesini engellediği ve hava boşluklarını artırdığı bilinmektedir (Masbah 2019).



Şekil 3.12. Selüloz fiber

3.2. Metot

3.2.1. Agrega gradasyonunun belirlenmesi

YEK’in hazırlanmasında kullanılan PA karışımlarının hazırlanmasında 3 farklı gradasyon kullanılmıştır. PA karışımları Japan Road Specification, AASHTO ve Specification For Semi-Rigid Wearing Course’e göre agrega gradasyonları ile tasarlanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.4-3.6’da sayılan bu üç şartnamelere göre hazırlanmış PA karışımı agrega gradasyonu limit değerleri verilmiştir.

YEK karışımlarında kullanılan PA karışımlarının %20-35 hava boşluğuna sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada hazırlanan PA karışımlarının boşluk değerini %25-30 arası olması amaçlanmıştır.

Çizelge 3.1. “Japan Road Specification”a göre PA karışımı agrega gradasyon limit değerleri

Elek boyutu	Geçen yüzde (%)	
	Tip 1	Tip 2
26.2 mm		100
19.0 mm	100	95-100
13.2 mm	95-100	35-70
4.75 mm	10-35	7-30
2.36 mm	5-22	5-20
0.6	4-15	
0.3	3-12	
0.075	1-6	

Çizelge 3.2. AASHTO’a göre PA karışımı agrega gradasyon limit değerleri

Elek boyutu	Geçen yüzde (%)
25.0	100
19.0	90-100
9.51	20-55
4.75	0-10
2.36	0-5

Çizelge 3.3. “Specification For Semi-Rigid Wearing Course, Malaysia”e göre PA karışımı agregada gradasyon limit değerleri

Elek boyutu	Geçen yüzde (%)	
	Tip 1	Tip 2
25.0 mm	-	100
20.0 mm	100	95-100
14.0 mm	95-100	4-18
8.0 mm	4-20	4-14
4.75 mm	4-12	4-12
2.0 mm	4-10	4-10
0.075 mm	3-5	3-5

3.2.2. Optimum bitüm miktarı (OBC)

Asfalt karışımlarında doğru bitüm miktarının kullanılması çok önemlidir. Bitüm yüzdesinin az olması agregaların birleşmesini kötü etkilediği gibi, fazla olması da sıcak havalarda bitümün süzülmesine neden olmaktadır. YEK tasarımında kullanılan PA karışım dizaynındaki agregada gradasyon yüzdeleri belirlendikten sonra OBC hesaplanmıştır. OBC agregaların zahiri özgür ağırlıkları kullanılarak Denklem 3.15 ile hesaplanmıştır (UFGS-32 12 18).

$$OBC = 8.61(0.21G + 5.4S + 7.2s + 135f)^{0.2} / SG \quad (3.15)$$

Burada

G = 4.75 mm No. 4 elekte kalan agregalar yüzdesi

S = 4.75 mm No. 4'ten elekten geçen ve 0.6 mm No. 30 elekte kalan agregalar yüzdesi

s = 0.6 mm No. 30. elekten geçen ve 0.075 mm No. 200 elekte kalan agregalar yüzdesi

f = 0.075 mm No. 200 elekten geçen agregalar yüzdesi

SG = agregaların toplam zahiri özgür ağırlığı Denklem 3.16 ile hesaplanmıştır.

$$SG = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (3.16)$$

3.2.3. Poroz asfalt karışımı marshall numunelerinin hazırlanması

PA karışımı için agrega gradasyonu ve optimum bitüm miktarı belirlendikten sonra Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Marshall numunelerinin hazırlanması için önce bitüm 125 ± 5 °C'ye ve agregalar 155 ± 5 °C'ye kadar etüvde ısıtılmıştır. Bitüm ve agregalar belirlenen sıcaklığa ulaştıktan sonra mikserde karıştırılmış ve Marshall kalıplarının içerisine dökülmüştür. Kalıptaki karışım 25 defa şişlenmiştir. Karışımın sıcaklığı 95 ± 5 °C düştüğünde numuneler Marshall kompaktöründe sıkıştırılmıştır. Marshall numunelerinin sıkıştırma işlemi, yukarıda bahsedilen şartnamelerde belirtildiği gibi tek yüze 50 vuruş olarak yapılmıştır. Sıkıştırma işleminden sonra numunelerin sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi için, numuneler laboratuvar ortamında 24 saat bekletilmiştir.



Şekil 3.13. PA Marshall numunelerinin hazırlanması; **a)** Isıtılmış malzemelerin karışım kabına ilave edilmesi; **b)** Mikserde malzemelerin karıştırılması; **c)** Karışımın 25 defa şişlenmesi; **d)** Marshall kompaktörde karışımın sıkıştırılması

3.2.4. Poroz asfalt performansı

Marshall tasarım prosedürü ile yapılmış olan PA karışımlarının performansını belirlemek için bitüm süzülme, Marshall stabilite ve nem hasarına karşı direnç deneyi (ITSR) deneyleri yapılmıştır.

3.2.4.1. Bitüm süzülme deneyi

Bitüm süzülme deneyi PA karışımlarında iri agregalar oranı fazla olduğu için yapılmaktadır. Deneyin yapılmasının amacı; karışımın hazırlanması, taşınması ve dökülmesi sırasında bitümün süzülme oranının belirlenmesidir. Bu deney AASHTO T305'e göre yapılmıştır. Şartnamede belirtilmiş olan alt sınır değeri karışımın ağırlıkça %0.3'üdür. Bu deneyle optimum fiber oranı bulunmuştur. Önce deneyde kullanılan tel sepetler ve plakalar etüvde ısıtılmıştır. Tel sepetler ve plakaların boş ağırlıkları tartılıp kaydedilmiştir. Karşılaştırma için fiberli ve fibersiz karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanmış karışımlar tel sepete dökülmüştür. Tel sepetler plakaların üzerine koyulmuş ve etüvde 175°C'de 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra etüvden çıkartılan plakanın ağırlığı tekrar tartılıp kaydedilmiştir. Bitim süzülme değeri aşağıdaki Denklem 3.17 kullanılarak hesaplanmıştır.

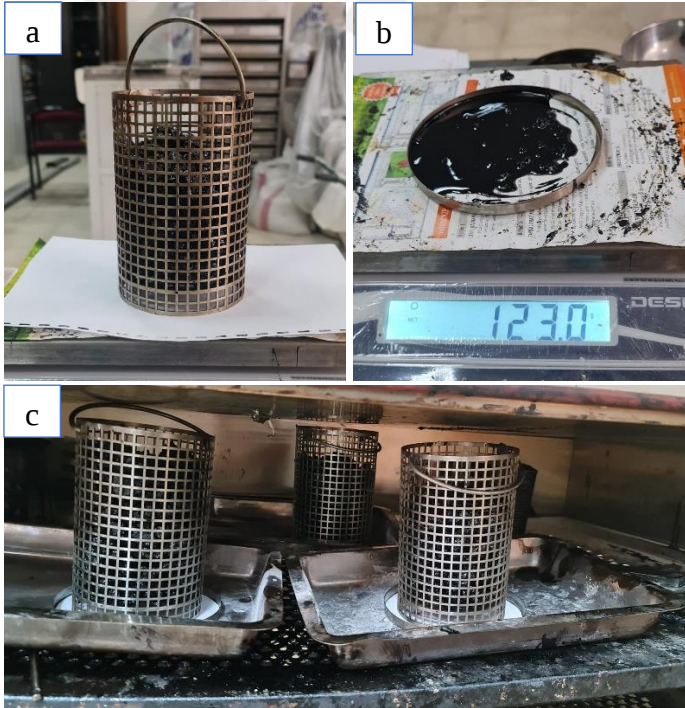
$$\text{Bitüm süzülmesi (\%)} = \left(\frac{C-B}{A} \right) \times 100 \quad (3.17)$$

Burada;

A = Toplam karışım ağırlığı (g)

B = Plakanın ilk ağırlığı (g)

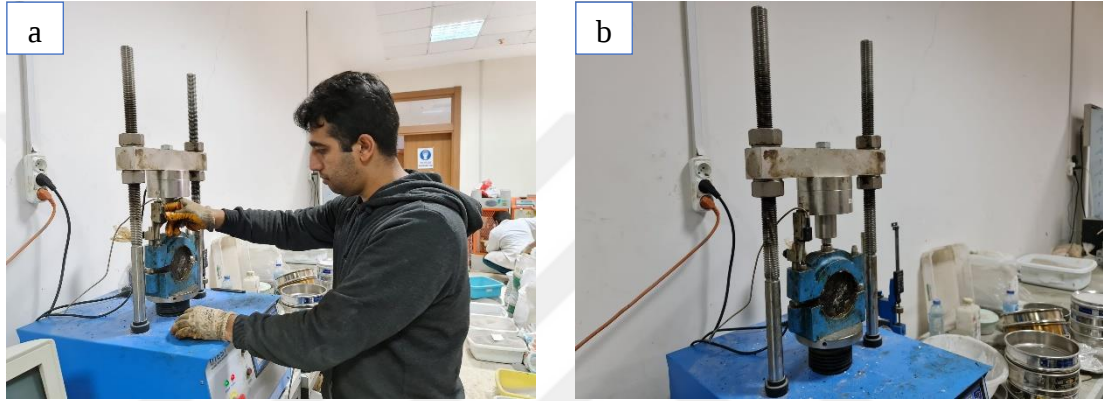
C = Plakanın son ağırlığı



Şekil 3.14. Bitüm süzülme deneyi; **a)** Tel sepete dökülmüş karışım; **b)** Bitüm süzölmüş plaka; **c)** Karışım olan tel sepetlerin fırına yerleştirilmesi

3.2.4.2. Marshall stabilite ve akma deneyi

Marshall stabilite deneyi bitümlü kaplamaların karışım tasarımı prosedürünün bir parçasıdır. Deneyin amacı bitümlü karışım numunelerinin stabilite ve akma değerlerini belirlemektir. Hazırlanmış PA numuneleri 30-40 dakika boyunca 60 °C su banyosunda bekletilmiştir. Su banyosundan çıkarılmış numuneler Marshall stabilite cihazına yerleştirilmiş ve akma ölçer halka direğine bağlanmıştır. Değerler sıfırlandıktan sonra ASTM D6927-06'e göre 50±5 mm/dakika hızda yükleme başlatılmıştır. Makine numuneye sıkıştırma kuvveti uyguladıktan sonra yük ve akma değerleri kaydedilmiştir. Bu deney, numuneler su banyosundan çıkartıldıktan sonra 30 saniye içerisinde tamamlanmalıdır.



Şekil 3.15. Marshall stabilite deneyi; **a)** Marshall numunesinin cihaza yerleştirilmesi; **b)** Marshall stabilite deneyi yapımı

3.2.4.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi (ITSR)

Nem hasarına karşı direnç deneyi, PA numunelerinin nem hasarına karşı direncinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu deney koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelere uygulanmıştır. Numuneleri koşullandırmak için, önce numuneler vakumlu desikatöre yerleştirilmiştir. Vakumlu desikatörde numuneler -700 bar basınçta %70-80 arasında suya doyurulmuştur. Desikatörden çıkarılan numuneler streçle sarılıp poşete koyulmuş ve poşetin içine 10 ml su ilave edilmiştir. Numuneler -18 derecede 16 saat bekletilmiş, daha sonra 60 °C su banyosunda 24 saat bekletilmiştir. Koşullandırılmış numuneler koşullandırılmamış numunelerle beraber 2 saat 25 °C'de bekletildikten sonra deneye tabii tutulmuştur. Deney AASHTO T 283'e göre yapılmıştır. İndirekt çekme mukavemeti Denklem 3.18, indirekt çekme mukavemeti oranı (ITSR) Denklem 3.19 kullanılarak hesaplanmıştır. İndirekt çekme mukavemeti oranı için alt limit değeri KTS 2013'e göre %80'dir.

$$S_T = \frac{2F}{\pi h D} \quad (3.18)$$

Burada;

S_T = indirekt çekme mukavemeti (N/mm^2)

F = uygulanan maksimum yük (N)

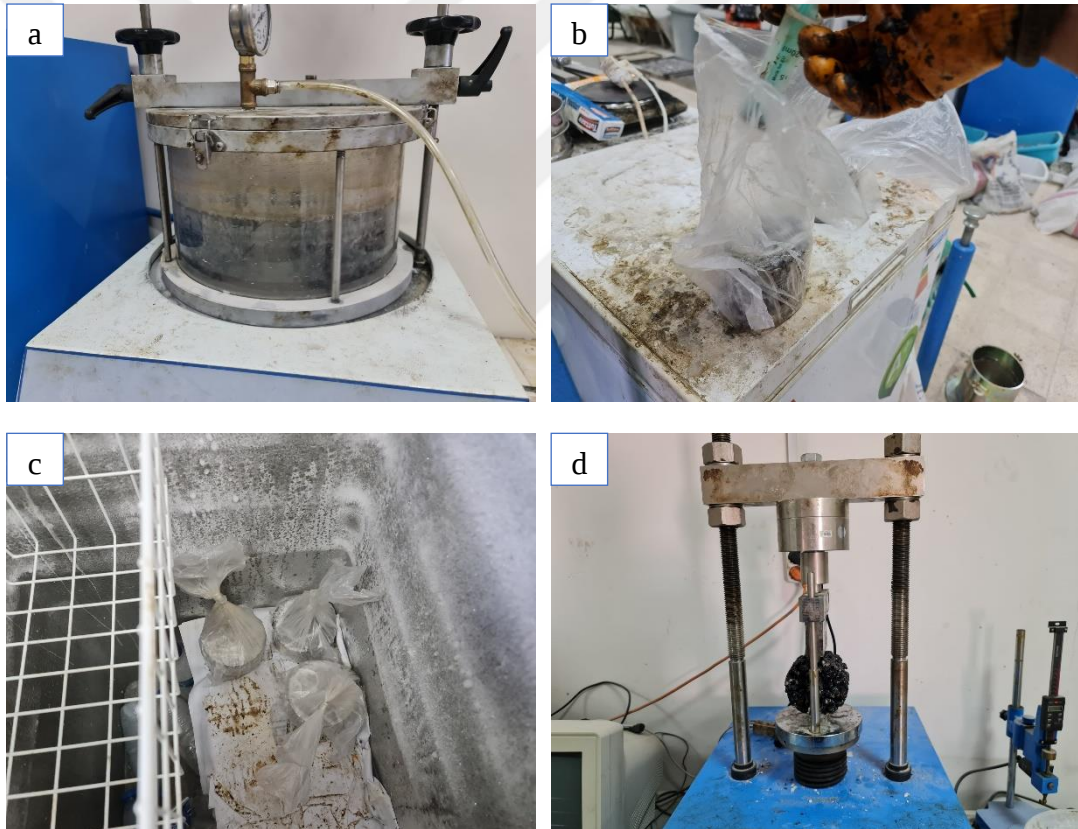
h = numunenin yüksekliği (mm)

$$ITSR = \frac{ITS_{wet}}{ITS_{dry}} \times 100 \quad (3.19)$$

ITSR = İndirekt çekme mukavemeti oranı

ITS_{wet} = koşullandırılmış numunelerin indirekt çekme mukavemeti (kPa)

ITS_{dry} = koşullandırılmamış numunelerin indirekt çekme mukavemeti (kPa)



Şekil 3.16. Nem hasarına karşı direnç deneyi; **a)** PA numunelerinin desikatörde suya doyurulması; **b)** 10 mg suyun ilave edilmesi; **c)** Numunelerin -18'de bekletilmesi; **d)** Numunenin indirekt çekme başlığıyla kırılması

3.2.5. Yarı esnek kaplamanın hazırlanması

YEK hazırlanmasında $200 \times 60 \times 10 \text{ cm}^3$ boyutlarındaki kalıplar kullanılmıştır. İlk olarak PA karışımı hazırlanmıştır. Bunun için 150 kg hacimli mikserin içine ağırlığı daha

önce belirlenen gradasyona göre hesaplanmış agrega koyulup, agregalar 155 ± 5 °C sıcaklık aralığına kadar ısıtılmıştır. Ardından fiber ilave edilip karıştırma işlemine devam edilmiştir. Etüvde 120 ± 5 °C de ısıtılmış bitüm karışıma ilave edilip 2-2.5 dakika karıştırılmış ve elde edilen karışım kalıba dökülmüştür. Tırmık yardımıyla yüzey düzeltilmiş ve 90-100 derece aralığında sıkıştırma işlemi yapılmıştır. PA karışımı, soğuması için 1 gün bekletilmiş ve ardından PA karışımının boşluklarını doldurmak için akışkan çimento harcı dökülmüştür. Kullanılan akışkan çimento harcı Dinler (2022)'in “Yarı rijit kaplama için geliştirilen lateks katkılı çimento harcının erken dayanım özelliklerinin belirlenmesi” isimli tez çalışmasından alınmıştır. Dinler (2022)'nin tez çalışmasından alınan A2 kodlu harç karışımının agrega gradasyonu aşağıdaki Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Akışkan çimento harcının gradasyonu

Elek No	Elekten geçen, %
No. 30	100
No. 50	99.6
No. 100	34.2
No. 200	1.5

Hazırlanan YEK'den farklı kürleme sürelerinde karot numuneler alınıp YEK'in performansının belirlenmesi için bu numuneler performans deneylerine tabii tutulmuştur.

3.2.6. Yarı esnek kaplama performansı

Bu tez çalışmasında YEK performansını belirlemek için 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme sürelerinde Cantabro, Marshall stabilite, basınç dayanımı, indirekt çekme mukavemeti ve nem hasarına karşı direnç deneyleri yapılmıştır.

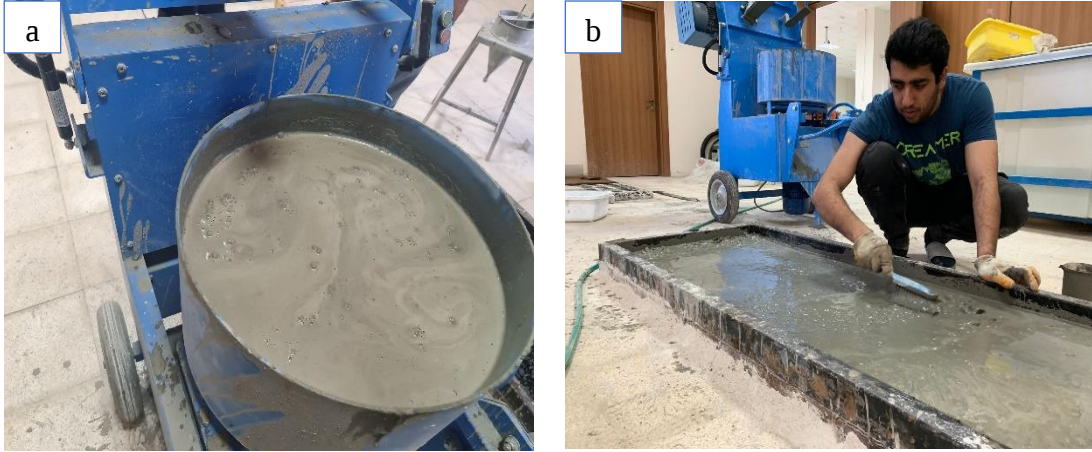
3.2.6.1. Cantabro deneyi

Bu deney, YEK numunelerinin parçalanma direncini belirlemek için ASTM C348-18'e göre yapılmıştır. Cantabro deneyi 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme sürelerine tabii tutulan YEK numuneleri için yapılmıştır. Deneye başlamadan önce YEK numunelerinin başlangıç ağırlıkları tartılmış (W_1) ve kaydedilmiştir. Daha sonra Los Angeles makinesine yerleştirilen numuneler çelik bilyeler olmadan 30-33 rpm hızda 300 devir döndürülmüştür. Aşınmaya maruz kalan numunelerin ağırlığı (W_2) kaydedilmiştir. YEK numunelerinin parçalanma direnci Denklem 3.20 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Parçalanma direnci (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} 100 \quad (3.20)$$



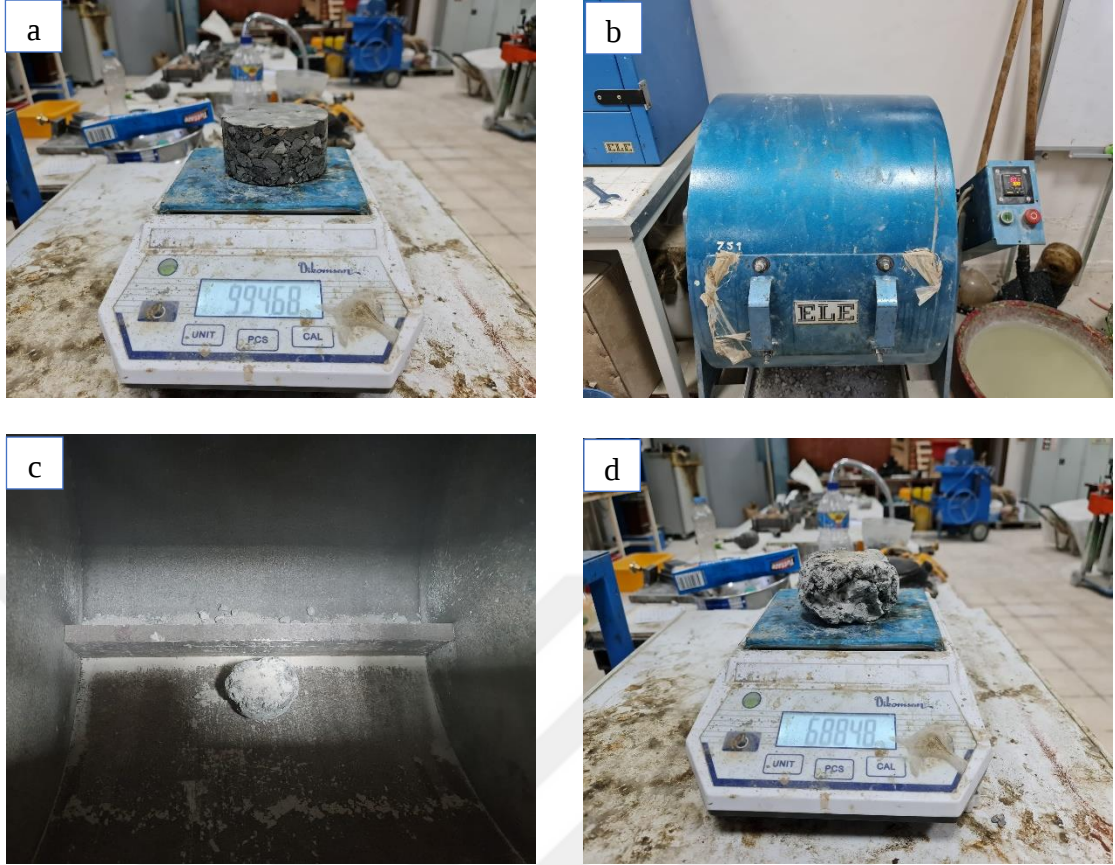
Şekil 3.17. Poroz asfalt karışımının yapım aşamaları; **a)** PA karışımı dökülecek kalıbın kurulup yağlanması; **b)** PA karışımını oluşturan malzemelerin miksere ilave edilmesi; **c)** karıştırma işlemi boyunca sıcaklığın kontrol edilmesi; **d)** Dökme işleminden sonra PA karışımının tırmıkla yayılması; **e)** El silindiri yardımıyla karışımın sıkıştırılması; **f)** PA yüzeyi



Şekil 3.18. Akışkan çimento harcının PA karışımının boşluklarına enjekte edilmesi; **a)** PA karışımının boşluklarına enjekte edilen akışkan çimento harcı; **b)** Akışkan çimento harcını PA yüzeyinde yayılması;



Şekil 3.19. YEK kaplamadan karot numunelerin alınması; **a)** YEK yüzeyi; **b)** Karot numunelerinin alınması



Şekil 3.20. Cantabro deneyi; **a)** Deney yapılacak numunenin başlangıç ağırlığının ölçülmesi; **b)** Los Angeles makinası; **c)** Los Angeles makinasında aşındırılmış numune; **d)** Aşındırılmış numunenin ağırlığının ölçülmesi

3.2.6.2. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi rutin olarak rijit malzemeler için kullanılmaktadır. YEK'in rijit bileşeni olduğundan, bu deney ile harcın kaplamanın dayanaklığını nasıl etkilediği incelenmiştir. Deney oda sıcaklığında 1, 3, 7 ve 28 günlük kürlenme sürelerinde YEK numunelerine ASTM C39/C39M-18'e göre yapılmıştır. Önce YEK numunelerinin üzeri derz dolgu malzemesi ile kaplanmış ve düzgün yüzey oluşturulmuştur. Daha sonra numune pres makinasına yerleştirilip, numuneye 0.25 MPa/sn hızda basınç yükü uygulanmıştır. Basınç dayanımı Denklem 3.21 kullanılarak, deney sırasında oluşan maksimum yükün numunenin kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

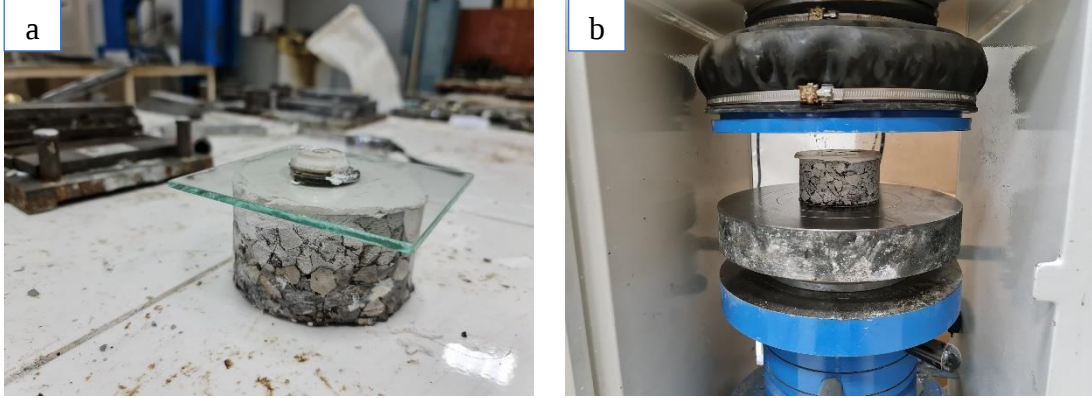
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.21)$$

Burada;

σ = Basınç dayanımı, MPa

P = Numuneyi kıran maksimum yük, kN

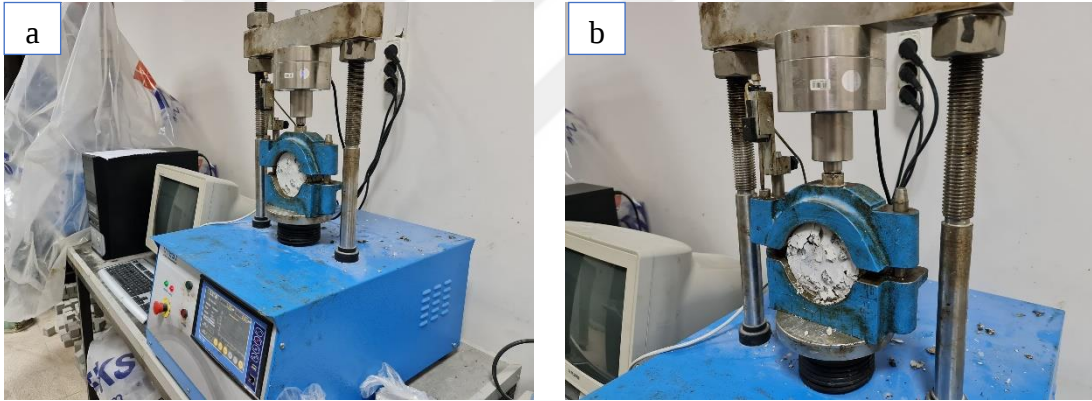
A = Numunenin kesit alanı, mm²



Şekil 3.21. Basınç dayanımı deneyi; **a)** Derz dolgu malzemesiyle yüzeyi düzgün yüzey haline getirilmiş YEK kaplama numunesi; **b)** Pres makinasına yerleştirilmiş YEK numunesi

3.2.6.3. Marshall stabilite ve akma deneyi

YEK, esnek kaplama gibi de çalıştığından, esnek kaplamalar için uygulanan deney bu numunelere de uygulanmıştır. Deney prosedürü bölüm 3.2.4.1.'de gösterildiği gibidir. 1, 3, 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinde alınmış karot numunelerine bu deney yapılmıştır.



Şekil 3.22. Marshall stabilite ve akma deneyi; **a)** Marshall stabilite cihazına yerleştirilmiş YEK numunesi; **b)** Deneyden sonraki YEK numunesi

3.2.6.4. Nem hasarına karşı direnç deneyi (ITSR)

YEK numunelerine, esnek kaplama numuneleri gibi nem hasarına karşı direnç deneyi yapılmıştır. Deney prosedürü bölüm 3.2.4.2.'de gösterildiği gibidir. 1, 3, 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinde alınmış karot numunelerine bu deney yapılmıştır.



Şekil 3.23. Nem hasarına karşı direnç deneyi; **a)** Vakumlu desikatöre yerleştirilmiş YEK numuneleri **b)** -18°C derecede bekletilen YEK numuneleri; **c)** 60°C derecede bekletilen YEK numuneleri; **d)** İndirekt çekme mukavemeti deneyi

3.2.6.5. Donma-çözülme deneyi

Donma-çözülme deneyi YEK numunelerinde farklı hava koşullarından kaynaklı oluşabilecek termal çatlakların, YEK performansını nasıl etkilediğini belirlemek için yapılmıştır. Bu deney YEK numunelerine 3 ve 5 döngü olarak yapılmıştır. 1 döngü 18 saat -18°C'de, 6 saat oda sıcaklığında bekletilerek yapılmıştır. Döngü tamamlandıktan sonra numune 2 saat suda bekletilmiş ve sonra indirekt çekme başlığı kullanılarak kırılmıştır. Bu deney ASTM C666'ya göre 28 günlük kürlenmiş YEK numunelerine yapılmıştır.



Şekil 3.24. Donma çözülme deneyi, -18°C'de bekletilen YEK numuneleri

3.2.6.6. Permeabilite deneyi

Permeabilite deneyi 5 döngü donma-çözülme uygulanmış YEK numunelerine yapılmıştır. Bu deneyle donma-çözülmeden dolayı oluşan termal çatlaklarda, suyun sızma miktarı permeabilite deneyi prosedürü kullanılarak belirlenmiştir. Bu deney TS EN 12697-19'a göre 28 günlük kürlenme süresinde olan YEK numunelerine yapılmıştır. Permeabilite deneyi 15-25°C'de yatay ve düşey olarak yapılmıştır.

Düşey permeabilite deneyi yapılan numune permeabilite cihazına yerleştirilmiştir. Daha sonra plastik tüpün içine membran koyulup vakum uygulanarak membran tüpe yapıştırılmış ve numunenin üzerine yerleştirilmiştir. Membran 50 kPa hava ile şişirilmiştir ve suyun numunenin kenarlarından sızması engellenmiştir. Plastik tüp kelepçe yardımıyla sabitlendikten sonra su açılıp 10 dakika boyunca numunenin içinden su akıtılmıştır. Bununla numunenin suya doymuş hale geldiği kabul edilmiştir. Süre sonunda su sütunu haznesi plastik tüpün içine yerleştirilmiştir. Numuneden 90 saniye boyunca su akıtılmış ve geçen suyun miktarı kaydedilmiştir. Düşey permeabilite hesaplanırken ilk önce Denklem 3.22 kullanılarak debi hesaplanmıştır. Debi bulunduktan sonra denklem 3.23 kullanılarak Düşey permeabilite hesaplanmıştır.

$$Q_v = \frac{m}{t} \times 10^{-6} \quad (3.22)$$

Burada;

Q_v = suyun debisi, m^3/sn

m = hazneye akan suyun ağırlığı, g

t = akıtılan suyun süresi, sn

$$K_v = \frac{4Q_v l}{h\pi D^2} \quad (3.23)$$

Burada;

K_v = Düşey permeabilite, m/sn

l = Numunenin yüksekliği, m

h = Su sütunun yüksekliği, m

D = Numunenin çapı, m

Yatay permeabilite deneyi için düşey permeabilite deneyi yapılan numunenin tabanı parafin yardımıyla kapatılmıştır. Daha sonra silikonla o-ring halkası yüzeye sabitlenmiştir. Numunenin üzerinden 10 dakika boyunca su akıtılmış ve numunenin suya doymun hale geldiği kabul edilmiştir. Süre sonunda su sütünü haznesi o-ringin üzerine yerleştirilmiştir. Numuneden 90 saniye boyunca su akıtılmış ve geçen suyun miktarı kaydedilmiştir. Denklem 3.24 kullanılarak önce debi; daha sonra Denklem 3.25 kullanılarak yatay permeabilite hesaplanmıştır.

$$Q_h = \frac{m}{t} \times 10^{-6} \quad (3.24)$$

$$K_h = \frac{Q_h l}{(H+P+0.5l) \times (\pi D l)} \quad (3.25)$$

Burada;

K_h = Yatay permeabilite, m/sn

H = üst tüpün alt tüpe olan uzaklığı, m

P = alt tüpün yüksekliği, m

$(H+P+0.5l)$ = su sütununun gerçek yüksekliği, m

D = numunenin çapı, m



Şekil 3.25. Düşey permeabilite deneyi; **a)** Membranın hava ile şişirilmesi; **b)** Numunenin üzerinden suyun akıtılması

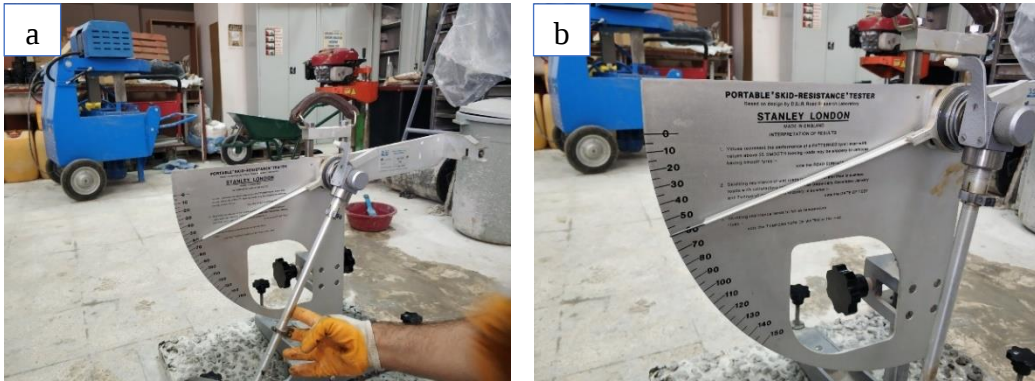


Şekil 3.26. Yatay permeabilite deneyi; a) O-ringin numunenin üzerine monte edilmesi; b) Numunenin üzerinden suyun akıtılması

3.2.6.7. Kayma direnci (Skid resistance)

Esnek kaplamalarının yüzey pürüzlülüğü seviyesinin iyi olmasına rağmen, rijit kaplamalarda ise yeterli pürüzlülük seviyesine ulaştırmak için çeşitli pürüzlendirme işlemleri yapılmaktadır. YEK'e enjekte edilen çimento harcı yol kaplaması yüzeyinde pürüzsüz yüzey oluşturmaktadır. YEK'in yapım aşamasında fırçayla fazla harç uzaklaştırılmaktadır. YEK yüzeyinin pürüzlülük seviyesini ölçmek için kayma direnci deneyi yapılmıştır. Bu deney İngiliz sarkaç cihazıyla ASTM E303-93'e göre yapılmıştır.

Önce İngiliz sarkaç cihazı sıfırlanmıştır. Cihazın sarkaç kolunun gidiş ve dönüş adımları sırasında yüzeye temas ettiği noktalar arası mesafe (126 mm) işaret çubuğunun yardımıyla ayarlanmıştır. Kolun ucuna yol yüzeyleri için kullanılan 96 HRC kauçuk sürgü takılmıştır. Daha sonra kol bırakılmış ve dönüşte yakalanmıştır. Okunan değer kayma direnci değeri olup BPN olarak kaydedilmiştir. 5 tekrar yapıldıktan sonra deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.27. Kayma direnci deneyi; a) Sarkaç cihazının kolunun dönüşte yakalanması; b) Deney sonu okunan kayma direnci değeri (BPN)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Agregalara Uygulanan Deneylerin Sonuçları

Bu çalışmada PA yapımında kullanılan agreg a cinsi kalkerdir. Çizelge 4.1’de yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Deney sonucunda elde edilen değerlerin KTŞ 2013’te belirtilmiş limit değerin arasında yer aldığı görülmüştür.

Çizelge 4.1. Agregalara yapılan deneylerin sonuçları

Deneyin adı	Sonuç	Limit değeri
LA parçalanma direnci, %	25.285	≤ 40
Yassılık indeksi, %	14.5	≤ 20
Soyulma deneyi, %	92.5	≥ 80
Metilen mavisi, g/kg	0.75	≤ 1.5
MgSO ₄ deneyi, %	1.03	≤ 10
Organik madde tayini	Negatif	Negatif
İri agreg a özgöl ağırlık deneyi		
Hacim özgöl ağırlık	2.600	
Doygun kuruz yüzey özgöl ağırlık	2.613	
Zahiri özgöl ağırlık	2.635	
Su emme oranı, %	0.504	≤ 2
İnce agreg a özgöl ağırlık deneyi		
Hacim özgöl ağırlık	2.648	
Doygun kuruz yüzey özgöl ağırlık	2.71	
Zahiri özgöl ağırlık	2.821	
Su emme oranı, %	0.567	≤ 2
Filler özgöl ağırlığı	2.722	

4.2. Bitüme Uygulanan Deneylerin Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan B50/70 bitüme yapılan deneylerin sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bitüme yapılan deneylerin sonuçlarının KTŞ 2013’te belirtilmiş limit değerin arasında olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Bitüme yapılan deneylerin sonuçları

Deneyin adı	Sonuç	Limit değeri
Penetrasyon, 0.1 mm	66.97	50-70
Yumuşama noktası, °C	46.3	46-54
Düktilite, mm	>100	>100
Parlama noktası, °C	257	>230
İnce film halinde ısıtma deneyi (TFOT)		
Kütle değişimi, %	0.43	<0.5
Kalıcı penetrasyon, %	70.26	>50
Yumuşama noktası, °C	48.95	>48
Yumuşama noktası yükselmesi, °C	2.65	<9

4.3. Poroz Asfalt Karışımı Agrega Gradasyon Oranları

YEK yapımında kullanılmış olan 3 farklı dizaynla hazırlanmış PA karışımları agrega gradasyonları 3 şartnameye göre belirlenmiştir. Yapılacak olan PA karışımlarında boşluk oranının %25-30 olması amaçlanmıştır. PA-1 karışımı “Japan Road Specification”, PA-2 karışımı AASHTO, PA-3 karışımı Specification For Semi-Rigid Wearing Course’e göre agrega gradasyon yüzdesi limit değerleri içinde dizayn edilmiştir. Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5’te test kapsamında dizayn edilmiş PA karışımının agrega gradasyonları görülmektedir.

Çizelge 4.3. PA-1 karışımı agrega gradasyon oranı

Elek boyutu	Geçen yüzde
26.2	100
19.0	100
16.0	67.5
13.2	36.0
9.5	7.5
4.75	7.0
2.36	5.0
1.18	4.5
0.6	3.5
0.3	3.0
0.15	2.5
0.075	2.0

Çizelge 4.4. PA-2 karışımı agrega gradasyon oranı

Elek boyutu	Geçen yüzde
25.0	100
19.0	100
16.0	55
12.5	25
9.51	20
4.75	3.5
2.36	3.0
1.18	2.5
0.6	2.0
0.3	1.5
0.15	1.0
0.075	0.5

Çizelge 4.5. PA-3 karışımı agrega gradasyon oranı

Elek boyutu	Geçen yüzde
25.0	100
20.0	100
16	60.0
14.0	14
8.0	4
4.75	4
2.0	4
0.075	4

4.4. Optimum Bitüm Miktarının Belirlenmesi (OBC)

OBC hesaplanmasında ilk olarak karışım özgül ağırlığı belirlenmiştir. Bunun için her bir gradasyon aralığında bulunan agregaların zahiri özgül ağırlıkları kullanılarak karışımın özgül ağırlığı Denklem 3.16 kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra Denklem 3.15 ile OBC hesaplanmıştır. 3 farklı PA dizaynı yapımında kullanılan iri agrega yüzdesi %90'nın üzerinde olduğundan her aralık için ayrı-ayrı özgül ağırlık hesaplanmıştır. Çizelge 4.6'da iri agregaların özgül ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 4.6. İri agregaların özgül ağırlıkları

ELEK	W _k	W _{d_{ky}}	W _{su}	G _z	G _K	G _{D_{KY}}	Su emme oranı %
19-16	1993.46	2004.90	1261.42	2.72	2.68	2.70	0.57
16-13.2	1997.25	2002.65	1257.90	2.70	2.68	2.69	0.27
13.2-9.5	1994.30	2000.24	1233.41	2.62	2.60	2.61	0.30
16-12.5	1937.70	1949.03	1162.10	2.50	2.46	2.48	0.58
9.5-4.75	1993.02	2002.22	1204.75	2.53	2.50	2.51	0.46
12.5-9.5	1995.75	2007.45	1219.59	2.57	2.53	2.55	0.59
16-14	2215.92	2224.75	1401.67	2.72	2.69	2.70	0.40
14-8	2287.90	2298.75	1428.04	2.66	2.63	2.64	0.47

Denklem 3.15 ve Denklem 3.16 kullanılarak aşağıdaki hesaplama adımları takip edilmiş PA-1, PA-2 ve PA-3 dizaynlarının OBC'si hesaplanmıştır.

PA-1 için OBC hesaplama adımları;

$$\Sigma^{0.2} = (0.21 \times 0.93 + 5.4 \times 0.03 + 7.2 \times 0.02 + 135 \times 0.02)^{0.2} = 1.262$$

$$G_s = \frac{100}{\frac{32.5}{2.72} + \frac{31.5}{2.7} + \frac{28.5}{2.62} + \frac{0.5}{2.53} + \frac{5}{2.635} + \frac{2}{2.722}} = 2.68$$

$$OBC = 8.61 \times 1.262 / 2.68 = 4.05$$

PA-2 için OBC hesaplama adımları;

$$\Sigma^{0.2} = (0.21 \times 0.965 + 5.4 \times 0.015 + 7.2 \times 0.0015 + 135 \times 0.0005)^{0.2} = 1.011$$

$$G_s = \frac{100}{\frac{45}{2.72} + \frac{30}{2.5} + \frac{5}{2.57} + \frac{16.5}{2.53} + \frac{3}{2.635} + \frac{0.5}{2.722}} = 2.609$$

$$OBC = 8.61 \times 1.011 / 2.609 = 3.33$$

PA-3 için OBC hesaplama adımları;

$$\Sigma^{0.2} = (0.21 \times 0.96 + 135 \times 0.04)^{0.2} = 1.411$$

$$G_s = \frac{100}{\frac{40}{2.72} + \frac{46}{2.53.01} + \frac{10}{2.66} + \frac{4}{2.722}} = 2.839$$

$$OBC = 8.61 \times 1.411 / 2.839 = 4.27$$

PA-2'nin OBC oranı PA-1 ve PA-3'e göre daha az çıkmıştır. Buna sebep olarak PA-2 karışımındaki agrega gradasyonunda bulunan filler miktarıdır. PA-2'deki filler miktarı az olduğu için, OBC değeri PA-1 ve PA-2'ye kıyasla daha azdır.

4.5. Marshall Numuneleriyle Poroz Asfalt Karışımının Tasarlanması

PA karışımının içerisine çimento harcı döküldüğü için, PA karışımının boşluk oranı önemlidir. PA-1, PA-2 ve PA-3 karışımları sırasıyla Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Agrega gradasyon oranlarına göre OBC belirlenmiş ve Marshall numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanmış karışımlar 1 gün bekletildikten sonra hava boşlukları (VMA) belirlenmiştir. Bunun için PA numunesi Marshall kalıbından çıkarılmadan, numunenin yüzey seviyesine kadar boşlukları suyla doldurulup, giren suyun miktarı belirlenmiştir. PA karışımının hava boşluğu Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Çizelge 4.7'de PA karışımlarının hava boşlukları gösterilmiştir.

$$VMA = \frac{W_{su}}{\pi r^2 h} \times 100 \quad (4.1)$$

Burada;

W_{su} = PA karışımının boşluklarını dolduran suyun ağırlığı

r = Marshall numunesinin yarı çapı

h = Marshall numunesinin yüksekliği

Çizelge 4.7. PA karışımlarının hava boşlukları

Numune	PA-1	PA-2	PA-3
Hava boşluğu (%)	29.02	29.21	28.96

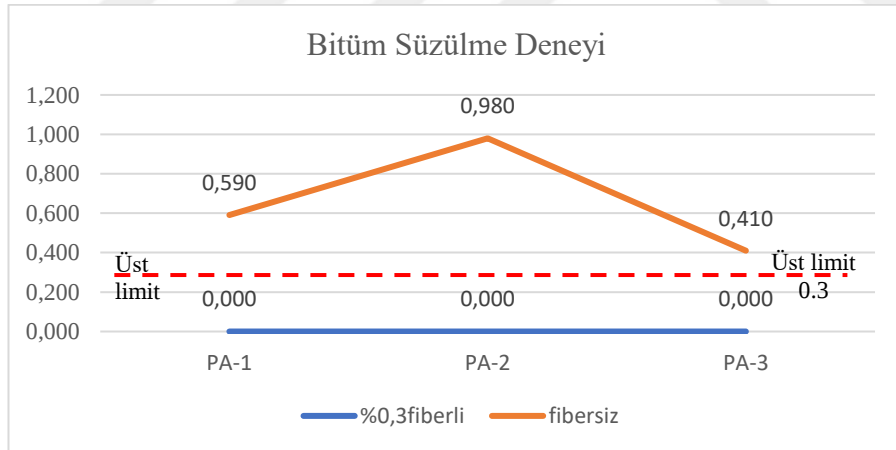
4.6. Poroz Asfalt Performansı

4.6.1. Bitüm süzülme deneyi

Bitüm süzülme deneyi fiberli ve kontrol numunesi (fibersiz) PA numunelerine yapılmıştır. Çizelge 4.8’de fiberli ve fibersiz hazırlanmış PA karışımlarına yapılan bitüm süzülme deneyleri değerleri verilmiştir. Bitüm süzülmesinde limit değer %0.3 olduğundan, fibersiz karışımın süzülme değerinin uygun olmadığı görülmüştür. PA karışımları için kullanılacak fiber miktarı KTŞ 2013’te 417’nci kısımda %0.3-%1,0 aralığında belirtilmiştir. Deneysel çalışmada %0.3 fiberle hazırlanmış PA karışımlarında bitüm süzülmesinin sıfır olduğu görülmüştür. Yani en düşük fiber miktarı ile şartnamede belirtilen minimum süzülme değerinden daha düşük bir değer elde edilmiştir. Şekil 4.1’de fiberli ve fibersiz olarak hazırlanmış PA karışımlarına yapılan bitüm süzülme deneyi sonuçları grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Fiberli ve fibersiz karışımların bitüm süzülme deneyi değerleri

PA KARIŞIMLARI	%0.3 Fiberli	Fibersiz
PA-1	0.000	0.590
PA-2	0.000	0.980
PA-3	0.000	0.410



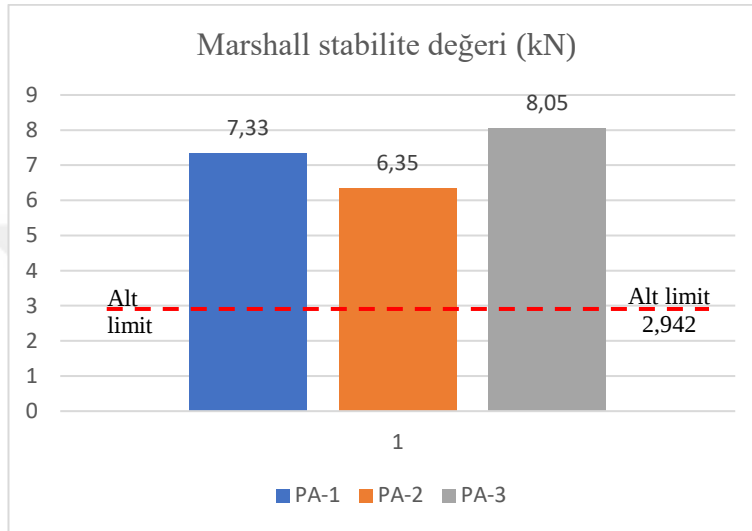
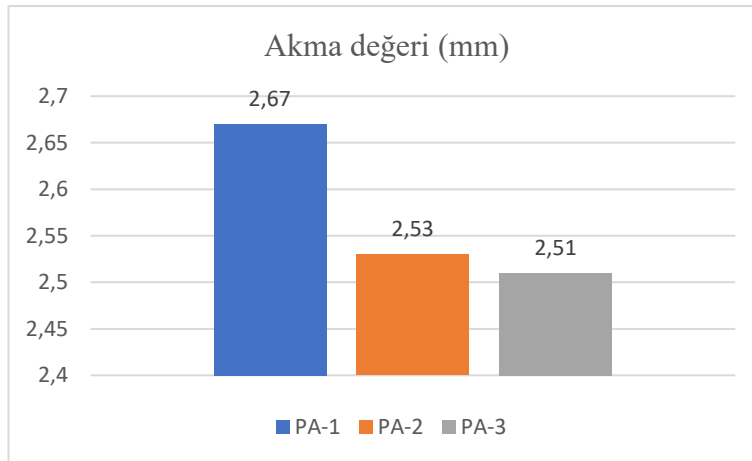
Şekil 4.1. Bitüm süzülme deneyi sonuçları

4.6.2. Marshall stabilite ve akma deneyi

Marshall stabilite ve akma deneyi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. KTŞ 2013’te 417’nci kısımda PA dizayn kriterlerinde stabilitenin minimum değeri 2.942 kN (300 kg) olarak belirtilmiştir. Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere 3 PA karışımının stabilite değerleri limit değerlerin üzerindedir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen akma değerleri incelendiğinde, bu değerlerin KTŞ 2013’te 417’nci kısımda PA karışımı için belirlenen limit değerlerin (2-4 mm) arasında olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.9. Marshall stabilite ve akma değerleri

Marshall Stabilite ve Akma değeri		
Karışımlar	Stabilite (kN)	Akma (mm)
PA-1	7.328	2.669
PA-2	6.351	2.526
PA-3	8.048	2.51

**Şekil 4.2.** PA numunelerinin Marshall stabilite deneyi stabilite değeri sonuçları**Şekil 4.3.** PA numunelerinin Marshall stabilite deneyi akma değeri sonuçları

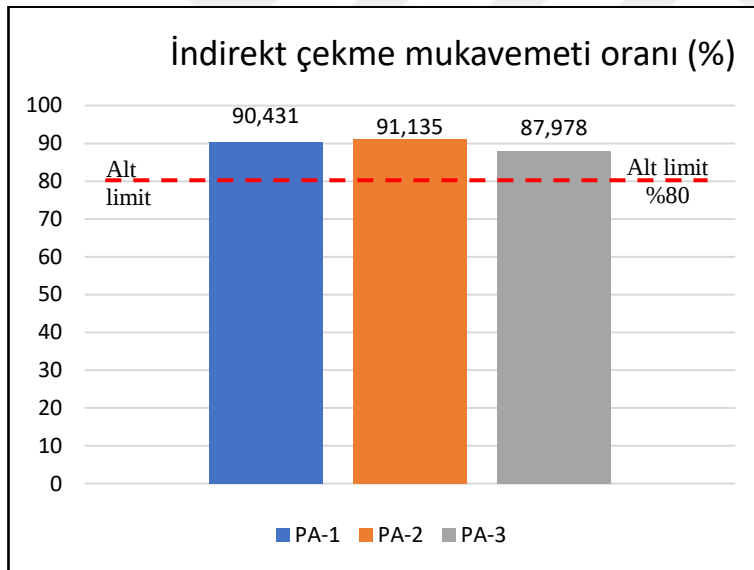
Şekil 4.2’de PA karışımlarının stabilite değerleri sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekilden görüldüğü üzere PA-3 karışımının stabilite değeri PA-1 ve PA-2 ye göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi PA-3 karışımında kullanılan bağlayıcı miktarının daha fazla olmasıdır. Şekil 4.3’te ise akma değeri sonuçları verilmiştir. Şekil 4.3’ten görüldüğü gibi belirlenen akma değerlerinin limit değerler içerisinde kalmıştır.

4.6.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi (ITSR)

PA karışımlarına yapılan nem hasarına karşı direnç deneyi sonucu ITS ve ITSR değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4.10'da koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin ITS değerleri ve bu değerlere göre hesaplanmış ITSR değerleri verilmiştir. Setiawan (2009)'ın yaptığı çalışmaya göre minimum ITS değeri 0.125 MPa olmalıdır. Dizayn edilmiş PA karışımlarının ITS değerlerinin, bu değerin üzerinde olduğu Çizelge 4.10'da görülmektedir. Şekil 4.4'te ITSR değerleri karşılaştırılmıştır. KTŞ 2013'te 417'nci kısma göre PA dizayn kriterinde PA karışımı için ITSR limit değeri %80 olarak belirtilmiştir.

Çizelge 4.10. PA'ya ait ITS ve ITSR değerleri

Karışımlar	ITS (MPa)		ITSR (%)
	Koşullandırılmış	Koşullandırılmamış	
PA-1	0.189	0.209	90.431
PA-2	0.257	0.282	91.135
PA-3	0.242	0.275	87.978



Şekil 4.4. PA indirekt çekme mukavemeti oranı (ITSR)

4.7. Yarı Esnek Kaplama Performansı

4.7.1. Cantabro deneyi

Cantabro deneyi yapılarak YEK numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinde parçalanma dirençleri belirlenmiştir. YEK numunelerinin içerisinde çimento harcı olduğu için 28 günlük sürede dayanımları artmıştır. Çizelge 4.11'de PA-1Y, Çizelge 4.12'de PA-2Y ve Çizelge 4.13'te PA-3Y karışımı ile hazırlanmış YEK 1, 3, 7 ve 28

günlük kütleme sürelerinde yapılan Cantabro deneyi sonuçları verilmiştir. Elde edilen Cantabro deneyinin sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.11. PA-1Y Cantabro sonuçları

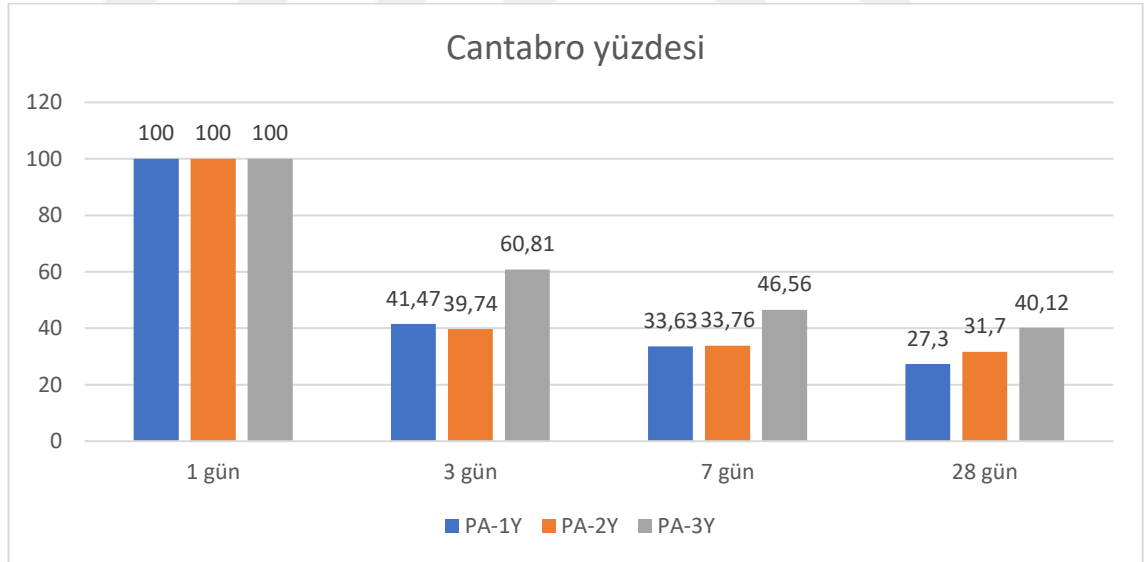
Gün	Numune	W1, gr	W2, gr	Parçalanma direnci
1 gün	1	1000	0	100.00
	2	1000	0	100.00
	Ortalama			100.00
3 gün	1	964.03	484.33	49.76
	2	1035.89	692.16	33.18
	Ortalama			41.47
7 gün	1	1014.93	690.11	32.00
	2	1063.22	821.55	35.25
	Ortalama			33.63
28 gün	1	994.61	658.67	31.06
	2	1074.5	821.55	23.54
	Ortalama			27.30

Çizelge 4.12. PA-2Y Cantabro sonuçları

Gün	Numune	W1, gr	W2, gr	Parçalanma direnci
1 gün	1	953.53	0	100.00
	2	965.07	0	100.00
	Ortalama			100.00
3 gün	1	1044.88	640.6	38.69
	2	1014.24	600.55	40.79
	Ortalama			39.74
7 gün	1	1055.8	694.9	34.18
	2	1000.65	667.13	33.33
	Ortalama			33.76
28 gün	1	962.7	668.34	30.58
	2	1005.5	675.46	32.82
	Ortalama			31.70

Çizelge 4.13. PA-3Y Cantabro sonuçları

Gün	Numune	W1, gr	W2, gr	Parçalanma direnci
1 gün	1	100	0	100.00
	2	100	0	100.00
	Ortalama			100.00
3 gün	1	1049.89	419.49	60.04
	2	1104	424.14	61.58
	Ortalama			60.81
7 gün	1	1034.52	564.34	45.45
	2	1033.98	541.08	47.67
	Ortalama			46.56
28 gün	1	968.25	574.94	40.62
	2	960.86	580.24	39.61
	Ortalama			40.12



Şekil 4.5. YEK'in Cantabro deneyi sonuçları

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi YEK numunelerinin kürlenme süresi uzadıkça Cantabro yüzdeleri azalmıştır yani parçalanma dirençleri artmıştır. 1 günlük kürlenmiş PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y numunelerinde darbelene etkisi sonucu meydana gelen malzeme kaybı %100'dür. Bu durumun sebebi çimento harcının 1 günlük kürlenme süresinde yeterli sertliğe ulaşamamasıdır. PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük

kürleme sürelerinde parçalanma dirençlerine bakıldığı zaman ise, PA1Y ve PA-2Y numunelerinin parçalanma dirençlerinin birbirlerine yakın olduğu halde PA-3Y numunesinin parçalanma direncinin daha düşük çıktığı görülmüştür. Bu durum, PA-3Y karışımında iri agregalar miktarının fazla olması ile açıklanabilir.

PA-1, PA-2 ve PA-3 ile dizayn edilmiş YEK numunelerinin Cantabro değerleri literatüre göre beklenen değerlerin altında çıkmıştır (Gong vd. 2022). Kullanılan agrega cinsinin kalker olması sebebi ile bu sonucun ortaya çıktığı düşünülmektedir.

4.7.2. Marshall stabilite ve akma deneyi

Marshall stabilite deneyi YEK numunelerine 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme sürelerinde yapılmıştır. Çizelge 4.14'te PA-1Y, Çizelge 4.15'te PA-2Y ve Çizelge 4.16'da PA-3Y karışımına 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme sürelerinde yapılmış Marshall stabilite deneyi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi YEK numunelerinin kürleme süreleri yükseldikçe stabilite değerleri de yükselmiştir. PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y YEK numunelerinin stabilite değerlerine bakıldığında temel olarak stabilite değerleri birbirine yakın kabul edilebilir. KTŞ 2013'e göre asfalt karışımları için minimum stabilite değeri 900 kg (8.83 kN) dır. PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y numunelerinin stabilite değerlerini asfalt karışımların stabilite değerleri ile karşılaştırdığımızda 1 günlük stabilite değerlerinin dahi limit değerin üzerinde olduğu görülmüştür. PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y numunelerinin 3,7 ve 28 günlük kürleme sürelerinde stabilite değerlerinin asfalt karışım için kabul edilir değerden 3 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi YEK numunelerinin içerisinde bulunan çimento harcının zaman geçtikçe dayanımının artmasıdır. YEK numunelerine yapılan Marshall stabilite deneyinde akma değeri de belirlenmiştir. Akma değeri YEK numunelerinin esnekliğinin göstergesidir. KTŞ 2013'te asfalt kaplamalarından aşınma tabakasının akma değeri 2-4 mm limit değerler arasındadır. Şekil 4.7'ye bakıldığında YEK numunelerinin akma değeri 3, 7 ve 28 kürleme sürelerinde limit değerler içerisinde yer almaktadır. PA-1Y ve PA-3Y numuneleri 1 günlük kürleme süresindeki akma değeri limit değerler içerisinde olsa da PA-2Y akma değeri limit değerden düşük çıkmıştır.

Çizelge 4.14. PA-1Y karışımının Marshall stabilite deneyi sonuçları

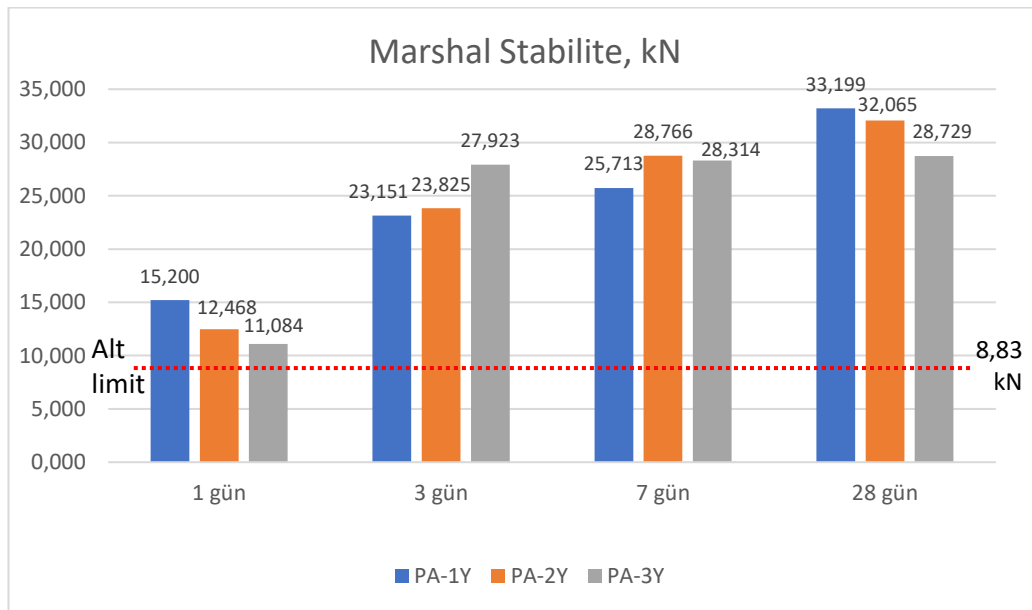
Gün	Numune	Stabilite, kN	Akma, mm
1 gün	1	14.645	2.544
	2	15.756	2.315
	Ortalama	15.201	2.430
3 gün	1	27.144	2.261
	2	19.157	3.294
	Ortalama	23.151	2.778
7 gün	1	27.334	1.520
	2	24.092	2.883
	Ortalama	25.713	2.202
28 gün	1	38.355	3.841
	2	28.042	2.54
	Ortalama	33.199	3.191

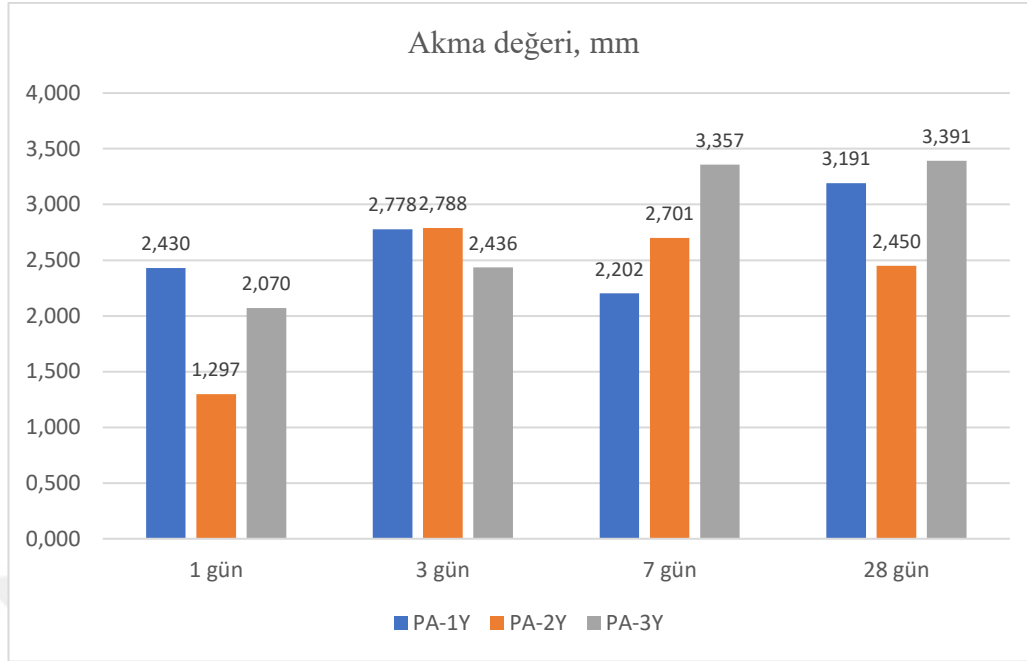
Çizelge 4.15. PA-2Y karışımının Marshall stabilite deneyi sonuçları

Gün	Numune	Stabilite, kN	Akma, mm
1 gün	1	12.775	1.585
	2	12.161	1.008
	Ortalama	12.468	1.297
3 gün	1	25.913	3.053
	2	21.736	2.522
	Ortalama	23.825	2.788
7 gün	1	26.369	2.828
	2	31.163	2.573
	Ortalama	28.766	2.701
28 gün	1	32.325	2.249
	2	31.804	2.642
	Ortalama	32.065	2.45

Çizelge 4.16. PA-3Y karışımının Marshall stabilite deneyi sonuçları

Gün	Numune	Stabilite, kN	Akma, mm
1 gün	1	10.420	2.093
	2	11.747	2.047
	Ortalama	11.084	2.070
3 gün	1	26.595	2.523
	2	29.251	2.348
	Ortalama	27.923	2.436
7 gün	1	28.389	3.720
	2	28.239	2.994
	Ortalama	28.314	3.357
28 gün	1	28.523	2.870
	2	28.935	3.912
	Ortalama	28.729	3.391

**Şekil 4.6.** YEK numunelerinin Marshall stabilite deneyi stabilite değeri sonuçları



Şekil 4.7. YEK numunelerinin Marshall stabilite deneyi akma değeri sonuçları

4.7.3. Basınç dayanımı deneyi

YEK numunelerine yapılan basınç dayanımı deneyi 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme sürelerinde yapılmıştır. Çizelge 4.17’de PA-1Y, Çizelge 4.18’de PA-2Y ve Çizelge 4.19’da PA-3Y karışımının 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme sürelerinde yapılmış basınç dayanımı deneyi sonuçları verilmiştir. PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y YEK numunelerinin basınç dayanımı deneyinden alınmış değerlerden görüldüğü üzere kürleme süreleri yükseldikçe basınç dayanımları da yükselmiştir. Bu çalışmada limit değer, asfalt kaplamanın basınç dayanımı 3.53 MPa olarak kabul edilmiştir (Gaus vd. 2015). Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 1 günlük kürleme süresine sahip YEK numunelerinin basınç değeri limit değere yakın olsa da, PA-2Y numunesi hariç PA-1Y ve PA-3Y numuneleri limit değerinin altında kalmıştır. PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y YEK numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük kürleme sürelerindeki basınç dayanımı değerleri ise asfalt kaplamanın çok üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi, YEK’in boşluklarını dolduran çimento harcının zaman geçtikçe sertliğinin artmasıdır.

Çizelge 4.17. PA-1Y karışımının Basınç dayanımı deneyi sonuçları

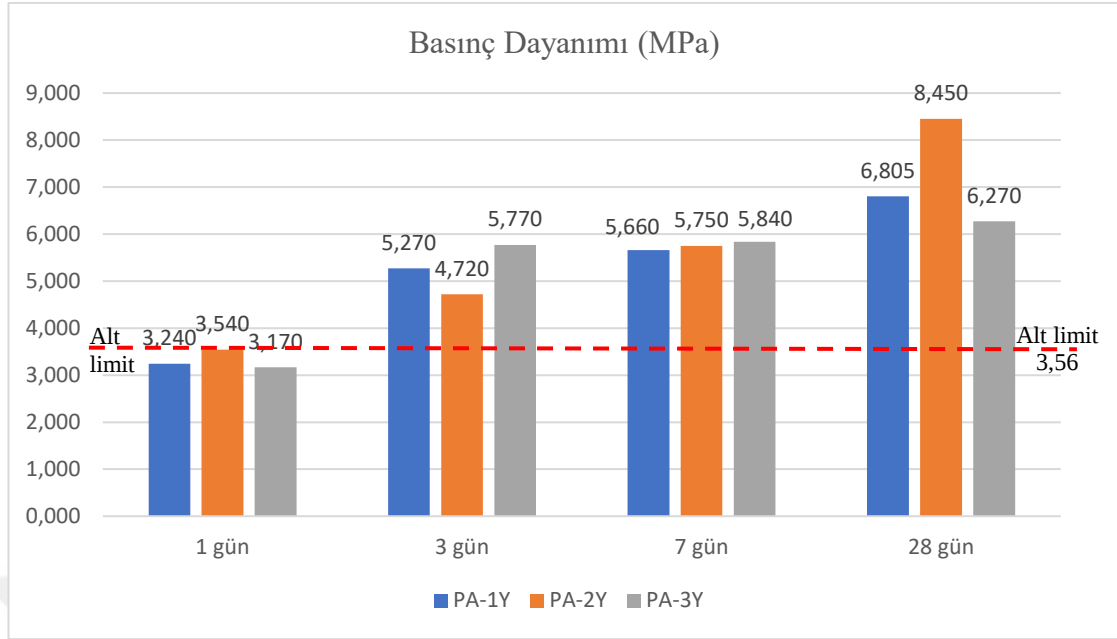
Gün	Numune	kN	MPa
1	1	24.75	3.15
	2	26.06	3.32
	Ortalama	25.405	3.235
3 gün	1	41.17	5.24
	2	41.56	5.29
	Ortalama	41.365	5.265
7 gün	1	44.72	5.69
	2	44.18	5.63
	Ortalama	44.45	5.66
28 gün	1	57.9	7.37
	2	49.04	6.24
	Ortalama	53.47	6.805

Çizelge 4.18. PA-2Y karışımının Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Gün	Numune	kN	MPa
1 gün	1	26.45	3.37
	2	29.07	3.70
	Ortalama	27.76	3.54
3 gün	1	35.85	4.56
	2	38.24	4.87
	Ortalama	37.045	4.72
7 gün	1	46.95	5.98
	2	43.25	5.51
	Ortalama	45.10	5.75
28 gün	1	70.78	9.01
	2	61.99	7.89
	Ortalama	66.39	8.45

Çizelge 4.19. PA-3Y karışımının Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Gün	Numune	kN	MPa
1 gün	1	25.21	3.21
	2	24.6	3.13
	Ortalama	24.91	3.17
3 gün	1	48.03	6.12
	2	42.56	5.42
	Ortalama	45.23	5.77
7 gün	1	46.26	5.89
	2	45.39	5.78
	Ortalama	45.83	5.84
28 gün	1	49.04	6.24
	2	49.42	6.29
	Ortalama	49.23	6.27



Şekil 4.8. Basınç dayanım deneyi sonuçları

4.7.4. Nem hasarına karşı direnç dayanımı

YEK numunelerine yapılan nem hasarına karşı direnç dayanımı 3, 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinde yapılmıştır. Çizelge 4.20’de PA-1Y, Çizelge 4.21’de PA-2Y ve Çizelge 4.22’de PA-3Y karışımları için 3, 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinde yapılmış ITS deneyi sonuçları verilmiştir. YEK’in indirekt çekme mukavemeti görüldüğü üzere zaman geçtikçe artmaktadır. Tez çalışmasında dizayn edilen YEK numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük ITS değerleri literatürde incelenen çalışmalarla karşılaştırıldığında, yeterli ITS değerine sahip olduğu görülmüştür (Zeyne 2017). Nem hasarına karşı direnç için ise KTŞ 2013’te alt limit değer %80 olarak belirtilmiştir. Şekil 4.9’da PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y numuneleri için indirekt çekme mukavemeti oranı (ITSR) değerleri karşılaştırılmıştır. 3 günlük kürlleme süresi sonunda, YEK numunelerinin ITSR değerine bakacak olursak PA-2Y’nin ITSR değeri limit değerinin üzerindedir. PA-1Y ve PA-3Y’nin ITSR değerleri ise limit değerinin altından kalmıştır. 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinde ise, deney yapılmış YEK numunelerinin ITSR değerleri, limit değerinin üzerindedir. PA-2Y numunesinin ITSR değerinin PA-1Y ve PA-3Y’den daha yüksek olduğu Şekil 4.9’dan görülmektedir.

Çizelge 4.20. PA-1Y karışımı indirekt çekme mukavemeti sonuçları

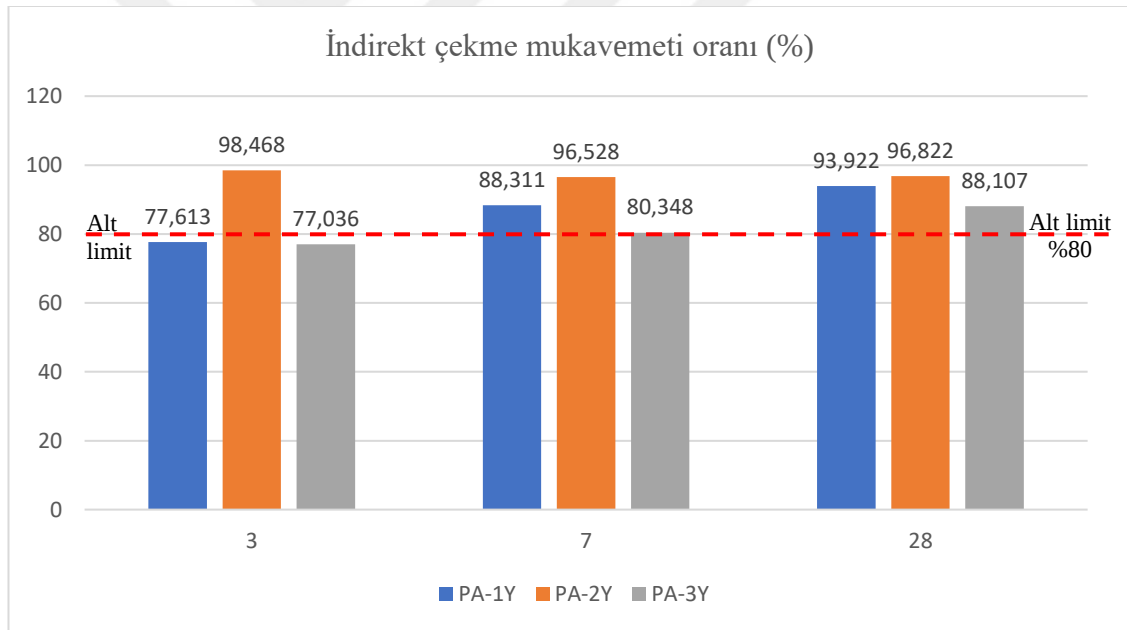
Gün	Numune	Koşullandırılmış MPa	Koşullandırılmamış MPa	ITSR
3 gün	1	0.744	0.972	77.613
	2	0.752	1.115	
	3	0.858	0.946	
	Ortalama	0.785	1.011	
7 gün	1	0.897	1.209	88.311
	2	0.940	1.001	
	3	0.913	0.904	
	Ortalama	0.917	1.038	
28 gün	1	1.144	1.249	93.922
	2	0.904	1.117	
	3	1.222	1.116	
	Ortalama	1.090	1.161	

Çizelge 4.21. PA-2Y karışımı indirekt çekme mukavemeti sonuçları

Gün	Numune	Koşullandırılmış MPa	Koşullandırılmamış MPa	ITSR
3 gün	1	0.677	0.774	98.468
	2	0.755	0.692	
	3	0.861	0.863	
	Ortalama	0.764	0.776	
7 gün	1	0.969	1.152	96.528
	2	0.926	0.863	
	3	0.855	0.833	
	Ortalama	0.917	0.950	
28 gün	1	1.210	1.294	96.822
	2	1.116	1.026	
	3	0.903	1.015	
	Ortalama	1.076	1.112	

Çizelge 4.22. PA-3Y karışımı indirekt çekme mukavemeti sonuçları

Gün	Numune	Koşullandırılmış MPa	Koşullandırılmamış MPa	ITSR
3 gün	1	0.849	1.068	77.036
	2	0.744	0.904	
	3	0.713	1.022	
	Ortalama	0.769	0.998	
7 gün	1	1.006	1.399	80.348
	2	0.897	1.224	
	3	0.882	0.844	
	Ortalama	0.928	1.155	
28 gün	1	1.155	1.364	88.107
	2	1.262	1.383	
	3	1.213	1.373	
	Ortalama	1.210	1.374	

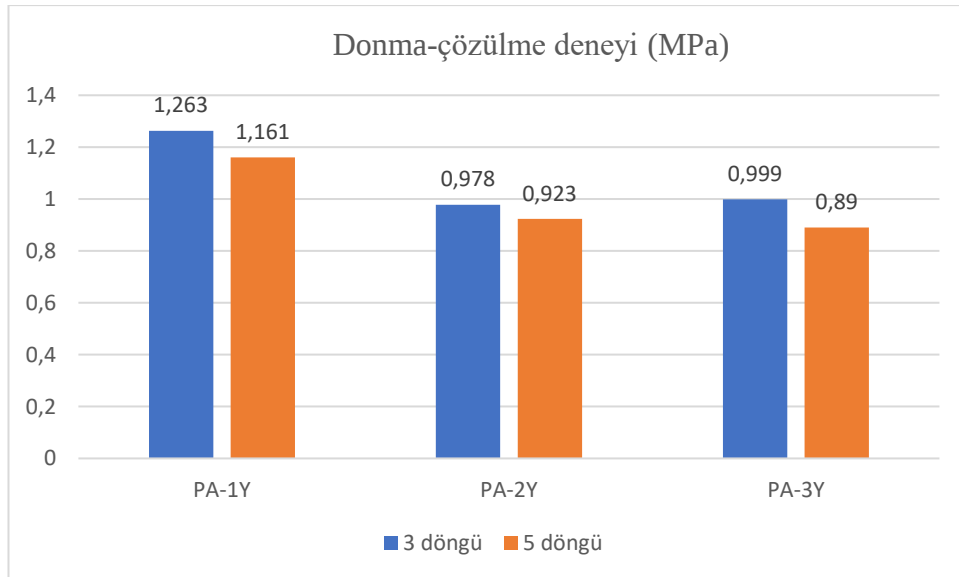
**Şekil 4.9.** YEK indirekt çekme mukavemeti oranı (ITSR)

4.7.5. Donma-çözülme deneyi

Donma-çözülme deneyi sonuçları Çizelge 4.23'te verilmiştir. YEK PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y karışımları için 3 adet ve 5 adet döngü uygulanmıştır. Bu döngüler sonucu belirlenen ITS değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi en az değer değişimi sırasıyla PA-2Y, PA-1Y ve PA-3Y'de olmuştur.

Çizelge 4.23. Donma-çözülme deneyi sonuçları

Gün	Numune	3 gün	5 gün
PA-1Y	1	1.260	1.119
	2	1.265	1.202
	Ortalama	1.263	1.161
PA-2Y	1	1.002	0.924
	2	0.954	0.922
	Ortalama	0.978	0.923
PA-3Y	1	1.129	1.017
	2	0.868	0.764
	Ortalama	0.999	0.890



Şekil 4.10. Donma-çözülme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

4.7.6. Permeabilite deneyi

5 adet donma-çözülme döngüsü tamamlanan YEK numunelerine yapılan Permeabilite deneyinin sonuçları Çizelge 4.24'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, hesaplanan permeabilite değerlerinin çok küçük olduğu görülmektedir. Yani donma çözülme işlemi sonucunda harcın poroz asfalt içerisinde çok fazla büzülmeye uğramadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.24. Permeabilite deneyi sonuçları

YEK	Yatay	Düşey
PA-1Y	5.91E-09	5.91E-07
	1.33E-09	7.72E-07
Ortalama	2.16E-09	6.81E-07
PA-2Y	5.71E-09	1.67E-06
	3.56E-09	1.12E-09
Ortalama	4.63E-09	1.40E-06
PA-3Y	4.53E-09	1.91E-06
	4.22E-09	1.12E-06
Ortalama	4.37E-09	1.52E-06

4.7.7. Kayma direnci deneyi

Kayma direnci deneyi yapılan YEK karışımlarının kayma direnci değerleri (BPN) Çizelge 4.25'te verilmiştir. ASTM E303-93'te kayma direnci değeri minimum 54 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyin sonucunda PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y YEK numunelerinin kayma direnci değerlerinin limit değerin üzerinde olduğu görülmüştür. PA-2Y YEK'in kayma direnci, PA-1Y ve PA-2Y'den yüksek olduğu bulunmuştur. İlave pürüzlendirme çalışması yapılırsa kayma direnci yükseltilebilir. YEK yüzeyinde zamanla taşıtların yüzeyden kopardığı parçacıklarla pürüzlülük seviyesinin yükseldiği literatürden bilinmektedir (Anderton 2000).

Çizelge 4.25. Kayma direnci deneyi sonuçları

YEK	1	2	3	4	5	Ortalama (BPN)
PA-1Y	55	56	55	54	57	55.4
PA-2Y	55	60	56	60	65	59.2
PA-3Y	55	50	60	55	55	55

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında YEK için %25-30 hava boşluğuna sahip 3 farklı agrega gradasyonlu PA numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerin performansını gösteren; bitüm süzülme, Marshall stabilite ve nem hasarına karşı direnç deneyleri yapılmıştır. PA için uygulanan performans deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- PA dizaynında hava boşluğu oranını etkileyen en önemli unsurun agrega gradasyonu olduğu bulunmuştur. Bunun sebebinin iri agrega oranı olduğu düşünülmektedir. Buna göre iri agrega miktarı ne kadar fazla olursa, hava boşluğu oranının da bu doğrultuda yüksek çıkması beklenilebilir.
- Bitüm süzülmesi deneylerinin sonucunda, fiber kullanılmış PA-1, PA-2 ve PA-3 karışımlarında bitüm süzülme değerleri sıfır olarak çıkmıştır. Yani en düşük fiber miktarı ile şartnamede belirtilen minimum süzülme değerinden daha düşük bir değer elde edilmiştir.
- PA-3 karışımının stabilite değerinin PA-1'den %9.82 ve PA-2'den ise %26.72 yüksek olduğu bulunmuştur. Akma değerleri ise 3 karışımında da limit değerler arasında çıkmıştır. PA-3 de OBC daha yüksektir. Bu nedenden dolayı bağlayıcının stabilite değerinin artmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.
- Nem hasarına karşı direnç deneyinin sonucunda PA-2 karışımının ITSr değerinin PA-1 ve PA-3 karışımının ITSr değerlerinden yüksek olduğu bulunmuştur. Ancak 3 karışımın da ITSr değerlerinin şartnamede belirtilen limit değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y ile hazırlanan YEK karışımlarının performansını belirlemek için 1, 3, 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinde Cantabro, Marshall stabilite, basınç dayanımı ve nem hasarına karşı direnç deneyleri yapılmıştır. YEK için uygulanan performans deneylerinden çıkartılan sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- YEK numuneleri için yapılan Cantabro deneyinde, 1 günlük kürlleme süresinde Cantabro değerleri iyi çıkmasa da kürlleme süreleri arttıkça Cantabro değerleri yükselmiştir. YEK numunelerinin sonuçlarını 28 günlük kürlleme süresi baz alınarak karşılaştırıldığında, PA-1Y YEK numunesinin Cantabro değerinin PA-2Y'den %13.88 ve PA-3Y'den %31.95 daha düşük çıktığı görülmüştür. Bunun sebebinin PA-1Y karışımında agrega gradasyonunda agrega boyutlarının dağılımının daha orantılı olmasıdır.
- YEK numunelerinin Marshall stabilite değerleri incelendiğinde, numunelerin kürlleme süreleri uzadıkça dayanım değerlerinin de arttığı görülmüştür. YEK numunelerinin 1 günlük en düşük stabilite değerine sahip PA-3Y numunesinin

stabilite değeri dahi asfalt kaplamaların stabilite değerinden %25.53 daha iyi çıkmıştır. 28 günlük kürlleme sürelerinde YEK numunelerinin stabilite değeri asfalt kaplamalar için belirlenmiş stabilite değerinden 3.76 kat fazla çıkmıştır. PA-2Y poroz asfalt numunesinin Marshall stabilite değeri diğer numunelere kıyasla düşük olsa da boşluk oranının fazla olmasından dolayı numuneye enjekte edilen harç miktarı daha fazladır. Bu sebeple, PA-2Y YEK numunesinin stabilite değeri yüksek çıkmıştır. Ayrıca; PA-1Y ve PA-2Y numunelerinin stabilite değerleri birbirine yakındır. Ancak, PA-3Y YEK numunesinin stabilite değerinin diğer 2 YEK numunelerine kıyasla %15.56 düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun sebebinin PA-3Y karışımında, agrega boyut dağılımındaki süreksizlik olduğu düşünülmektedir. YEK numunelerinin akma değerleri ise limit değerler arasında bulunmuştur.

- YEK numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin kürlleme süresinin uzamasıyla arttığı görülmüştür. PA-1Y, PA-2Y ve PA-3Y ile hazırlanan YEK numunelerinin basınç dayanımı sonuçları 1 günlük kürlleme süresinde asfalt kaplamalar için kabul edilmiş limit değerin altında çıkmış olsa da, bu şekilde tasarlanan bir yolun düşük hızlarda trafiğe açılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca; 3, 7 ve 28 günlük kürlleme sürelerinin sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerleri limit değerin çok üzerinde bulunmuştur. Bu sebeple, bu şekilde tasarlanan bir yolun 3. günden itibaren daha yüksek hızla trafiğe açılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. 28 günlük basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında boşluk oranı fazla olan PA-2Y YEK numunesinin basınç dayanımının PA-1Y YEK numunesinden %19.47, PA-3 numunesinden %25,80 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- YEK numunelerinin 3 günlük kürlleme süresinde ITSR değerleri PA-1Y ve PA-3Y YEK numunelerinde limit değerin altında çıkmıştır. PA-2Y YEK numunesinin ise ITSR değeri yüksek çıkmıştır. 7 ve 28 günlük kürlleme süresinde ITSR değeri 3 YEK dizaynı için de alt limit değerinin üzerinde çıkmıştır. PA-2Y YEK numunesinin ITSR değerleri diğer iki dizayna göre daha iyi çıkmıştır.
- Yapılmış olan donma-çözülme deneyine göre, donma çözülme değerleri yüksekten düşüğe doğru sırasıyla PA-2Y, PA-1Y ve PA-3Y olarak belirlenmiştir. PA-3 karışımının donma-çözülme değerinin diğer 2 karışımdan düşük çıkmasının sebebinin, agrega boyutu dağılımındaki süreksizlik olduğu düşünülmektedir.
- Donma çözülme döngüsünden sonra yapılan permeabilite deneyinin sonucu incelendiğinde, elde edilen sonuçların çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Yani farklı hava koşullarında PA içinde harcın büzülmeğe uğramadığı görülmüştür. Bu durum olumsuz hava koşulları altında bu şekilde dizayn edilen bir yolda, aşınma

tabakasından alt tabakalara su geçişinin hemen hemen olmayacağını göstermektedir.

- PA-2Y YEK numunesi kayma direnci bakımından PA-1Y ve PA-3Y YEK numunelerine kıyasla daha iyi olarak belirlenmiştir. Sürüş güvenliği açısından değerlendirildiğinde YEK numunelerinin standartları karşıladığı görülmekte ve bu şekilde dizayn edilen kaplamaların güvenli bir sürüş imkanı sunduğu ortaya konulmaktadır.

3 farklı gradasyonla dizayn edilen YEK numunelerine yapılan performans deneylerinin sonuçları değerlendirildiğinde, optimum YEK tasarımında kullanılacak olan PA karışım dizaynı için PA-2 gradasyonuna sahip karışımın optimum özellikleri sağladığı belirlenmiştir.



6. KAYNAKLAR

- Abtahi, S. M., Sheikhzadeh, M. and Hejazi, S. M. 2010. Fiber-reinforced asphalt-concrete—a review. *Construction and Building Materials*, 24(6), 871-877.
- Anderton, G. L. 2000. *Engineering properties of resin modified pavement (RMP) for mechanistic design.*” Engineer Research and Development Center Vicksburg MS Geotechnical Lab.
- AASHTO T 283, Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage.
- AASHTO T96, Standard Method of Test for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM 6927, Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.
- ASTM C127, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C128, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C131, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM D 113, Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials.
- ASTM E303-93, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.
- BS 812, Methods for Determination of Particle Size and Shape.
- Dinler, A. 2022. Yarı Rijit Kaplama için Geliştirilen Lateks Katkılı Çimento Harcının Erken Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi (yayınlanmamış), Antalya.
- Gaus, A., Tjaronge, M., Ali, N. and Djamaluddin, R. 2015. Compressive strength of asphalt concrete binder course (AC-BC) mixture using buton granular asphalt (BGA). *Procedia Engineering*, 125, 657-662.
- Gong, M., Xiong, Z., Deng, C., Peng, G., Jiang, L. and Hong, J. 2022. Investigation on the impacts of gradation type and compaction level on the pavement performance of semi-flexible pavement mixture. *Construction and Building Materials*, 324, 126562.
- Hassani, A., Taghipoor, M. and Karimi, M. M. 2020. A state of the art of semi-flexible pavements: Introduction, design, and performance. *Construction and Building Materials*, 253, 119196.
- Karayolu Teknik Şartnamesi. 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara
- Koting, S., Karim, M. R., Mahmud, H., Mashaan, N. S., Ibrahim, M. R., Katman, H. and Husain, N. M. 2014. Effects of using silica fume and polycarboxylate-type

- superplasticizer on physical properties of cementitious grout mixtures for semiflexible pavement surfacing. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Li, G., Xiong, H., Ren, Q., Zheng, X. and Wu, L. 2022. Experimental Study and Performance Characterization of Semi-Flexible Pavements. *Coatings*, 12(2), 241.
- Ling, T.-Q., Zhaoz, Z.-J., Xiong, C.-H., Dong, Y.-Y., Liu, Y.-Y. and Dong, Q. 2009. The Application of Semi-Flexible Pavement on Heavy Traffic Roads. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2(5).
- Luo, S., Yang, X., Zhong, K. and Yin, J. 2020. Open-graded asphalt concrete grouted by latex modified cement mortar. *Road Materials and Pavement Design*, 21(1), 61-77.
- Masbah, A.K. 2019. Karayolları için yarı rijit kaplama tabakası dizaynı ve performansının belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- REAM. 2007. In Specification of Semi-Rigid Wearing Course. Malaysia: Road Engineering Association
- Saboo, N., Ranjeesh, R., Gupta, A. and Suresh, M. 2019. Development of hierarchical ranking strategy for the asphalt skeleton in semi-flexible pavement. *Construction and Building Materials*, 201, 149-158.
- Setiawan, A. 2009. Design and properties of hot mixture porous asphalt for semi-flexible pavement applications. *Media Teknik Sipil*, 5(2), 41-46.
- Taghipoor, M., Hassani, A. and Karimi, M. M. 2021. Development of procedure for design and preparation of open-graded asphalt mixture used in semi-flexible pavement. *Construction and Building Materials*, 306, 124884.
- TS EN 12607-2, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar - Isı ve hava etkisi altında sertleşme direncinin tayini - Bölüm 2: TFOT yöntemi.
- TS EN 12697-11, Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışımli asfalt için - Bölüm 11: Agregası ve bitüm arasındaki bağlanmanın tayini.
- TS EN 12697-19, Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışımli asfalt için - Bölüm 19: Numunenin geçirgenliği.
- TS EN 1367-2, Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi.
- TS EN 1426, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini.
- TS EN 1427, Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi.
- TS EN 1744-1, Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz.
- TS EN 933-9, Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi.
- TS EN ISO 2592, Petrol ürünleri-Parlama ve yanma noktası tayini-Cleveland açık kap metodu.
- Wu, D. Q. and Zhang, Y. 2011. The semi-rigid pavement with higher performances for roads and parking aprons. *Proc. of the CAFEO*, 29, 1-7.

- Yılmaz, M. ve Ahmedzade, P. 2008. Saf ve Sbs Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Kısa Dönem Yaşlanmadan Sonraki Özelliklerinin İki Farklı Yaşlandırma Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3).
- Yüknü, K., Öztürk, T. ve Komut, M. 2020. Bitümlü Bağlayıcılar Laboratuvar El Kitabı, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Zeyne, M. 2017. Laboratory Study on Mixture Design of Grouted Macadam. Master's thesis Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia.
- Zhao, W. and Yang, Q. 2022. Study on the applicability of asphalt concrete skeleton in the semi-flexible pavement. *Construction and Building Materials*, 327, 126923.



ÖZGEÇMİŞ

Allahverdi GULUYEV

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2019-2022	Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2011-2015	Azerbaijan University of Architecture and Construction, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bakü, Azerbaycan

MESLEKİ DENEYİM

Kantar Şefi 2022-Devam ediyor	ERKSA MAD. İNŞ. SAN. TİC. A.Ş.
Kantar Şefi 2018-2022	ÇUBUK MAD. İNŞ. A.Ş.
Şantiye Şefi 2015-2016	EURO TİKİNTİ MMC