

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**KARAYOLLARINDA LABORATUVAR KOŞULLARINDA YARI RİJİT  
KAPLAMA ÜSTYAPI DİZAYNI VE BU DİZAYNIN ARAZİ ÇALIŞMALARI  
İÇİN MODELLENMESİ**

**Osman Kürşat SEFER**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EYLÜL 2022**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KARAYOLLARINDA LABORATUVAR KOŞULLARINDA YARI RİJİT  
KAPLAMA ÜSTYAPI DİZAYNI VE BU DİZAYNIN ARAZİ ÇALIŞMALARI  
İÇİN MODELLENMESİ**

**Osman Kürşat SEFER**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EYLÜL 2022**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLLARINDA LABORATUVAR KOŞULLARINDA YARI RİJİT  
KAPLAMA ÜSTYAPI DİZAYNI VE BU DİZAYNIN ARAZİ ÇALIŞMALARI  
İÇİN MODELLENMESİ**

**Osman Kürşat SEFER  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından  
FYL-2021-5567 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**EYLÜL 2022**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLLARINDA LABORATUVAR KOŞULLARINDA YARI RİJİT  
KAPLAMA ÜSTYAPI DİZAYNI VE BU DİZAYNIN ARAZİ ÇALIŞMALARI  
İÇİN MODELLENMESİ**

**Osman Kürşat SEFER**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez 21/09/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ**

**Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ**

**Doç. Dr. Okan ÖZCAN**

## ÖZET

### KARAYOLLARINDA LABORATUVAR KOŞULLARINDA YARI RİJİT KAPLAMA ÜSTYAPI DİZAYNI VE BU DİZAYNIN ARAZİ ÇALIŞMALARI İÇİN MODELLENMESİ

Osman Kürşat SEFER

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Eylül 2022; 36 sayfa

Karayolu inşaatlarında inşaat ve onarım faaliyetlerinin maliyetleri oldukça yüksektir. Bu çalışmaların işçi kuvveti ve ekipman gerektirmesi, mühendislik ve bilim dünyasını en az maliyetle maksimum verim ve dayanıklı çözümler bulmaya itmektedir. Karayolu inşaatlarında alt yapı, alt temel, temel gibi inşaat çalışmalarına nazaran bitümlü üstyapı kısmının maliyet açısından daha büyük payı kapsaması, üst yapı alanında yeni araştırmalar yapılmasını teşvik etmektedir.

Tez çalışmasında, laboratuvar ortamında ilk olarak, YRK için optimum harç dizaynı araştırılmıştır. Bu amaçla akışkanlık, büzülme, eğilme ve basınç dayanımı deneylerine göre harç performansı belirlenmiştir. Buna göre AT5 harç tasarımı optimum harç olarak elde edilmiştir. İkinci aşamada Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) kısım 417 'de gradasyonu belirtilen TİP 3 poroz asfalt karışımı kullanılarak, yeni bir YRK dizayn prosedürü ile Marshall numuneleri oluşturulmuş, harcın poroz içerisinde yerleşmesine bakılmıştır. Üçüncü aşamada ise gerçek sahayı temsil eden büyük kalıplar ölçeğinde YRK dökümü gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kalıpların boyutları 2000<sup>mm</sup>x500<sup>mm</sup>x100<sup>mm</sup>'dir. Laboratuvar koşullarında elde edilen karışım ve örnekleri, asfaltı ve betonu temsil eden dayanım deneylerine tabi tutulmuştur. Tüm deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre harç tasarımının, porozun ve YRK'nın her aşamasında performansları ölçülmüştür. Dayanım, büzülme, eğilme, akışkanlık ve stabilite göstergeleri elde edilerek saha koşullarına göre modellenen örneklerle karşılaştırılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Akışkan Harç Tasarımı, Marshall stabilite, Poroz Asfalt, Yarı Rijit Kaplama, Saha Modellemesi

**JÜRİ:** Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

Doç. Dr. Okan ÖZCAN

## ABSTRACT

### KARAYOLLARINDA LABORATUVAR KOŞULLARINDA YARI RİJİT KAPLAMA ÜSTYAPI DİZAYNI VE BU DİZAYNIN ARAZİ ÇALIŞMALARI İÇİN MODELLENMESİ

Osman Kürşat SEFER

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prog. Dr. Sevil KÖFTECİ

September 2022; 36 pages.

The costs of construction and repair activities in highway constructions are quite high. The fact that these studies require labor force and equipment pushes the engineering and scientific world to find maximum efficiency and durable solutions with the least cost. The fact that the bituminous superstructure part covers a larger share in terms of cost compared to the construction works such as infrastructure, sub-base and foundation in highway construction encourages new researches in the field of superstructure.

In the thesis study, firstly, the optimum mortar design for YRK was investigated in the laboratory environment. For this purpose, mortar performance was determined according to fluidity, shrinkage, bending and compressive strength tests. Accordingly, the AT5 mortar design was obtained as the optimum mortar. In the second stage, Marshall samples were created with a new YRK design procedure, using the TYPE 3 porous asphalt mixture, the gradation of which is specified in section 417 of the Highways Technical Specification (KTS), and the placement of the mortar in the porous was examined. In the third stage, YRK casting was carried out on the scale of large molds representing the real field. The dimensions of the molds used are 2000<sup>mm</sup>x500<sup>mm</sup>x100<sup>mm</sup>. The mixture and samples obtained under laboratory conditions were subjected to strength tests representing asphalt and concrete.

**KEYWORDS:** Cement Mortar Design, Fluidity, Marshall stability, Porous Asphalt, Road superstructures, Semi-rigid pavement.

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. Niyazi Uğur TERZİ

Assoc. Prof. Dr. Okan ÖZCAN

## ÖNSÖZ

Ülkemizde ağırlıklı olarak esnek kaplama imalatı yapılmakta ancak yarı rijit kaplama uygulaması az bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda yarı rijit kaplamaların özellikle ağır taşıt yükünün yoğun olduğu yollarda, kavşaklar gibi yol üst yapısının zorlandığı kesimlerde, havalimanlarında, ağır taşıt yüklemelerinin yapıldığı alanlarda birçok ülkede yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmanın özgünlüğü bu kaplama tipinin daha önce ülkemizde uygulanmamış olması ve belirli uygulama standartlarının bulunmamasıdır. Gelecekte bu konu üzerine yapılacak deneysel çalışmalar ile, ülkemizde uygulanabilecek bir reçete mahiyetinde standartların belirlenmesi mümkün olabilir. Bu şekilde dizayn edilen daha dayanıklı üst yapıların, her anlamda ülkemize katkı sağlayacağına inanmaktayım.

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinden, çalışma esnasında her türlü destek ve yönlendirmeleri ile çalışmaya ışık tutan, sürekli takip ve çalışma teşviki ile yanımda duran saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ 'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneyleerin uygulanması aşamasında laboratuvar çalışmalarımda bana büyük özveri ile yardımları dokunan arkadaşlarım Elmaddin MAHMUDLU'ya, Azad DİNLER'e, Faysal HAFİZİ'ye, Allahverdi QULUYEV'e ve lisans bitirme çalışması öğrencilerine teşekkür ederim.

İlk kelimemden bugüne kadar sürekli maddi, manevi destek ve motivasyonlarını benden esirgemeyen, en önemlisi bana daima güvenlerini gösteren canım aileme teşekkürlerimi bildiririm.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK TARAMASI.....	3
3. MATERYAL VE METOT.....	6
3.1. Materyal.....	7
3.1.1. Akışkan harç.....	7
3.1.1.1. Çimento.....	7
3.1.1.2. Agregası.....	7
3.1.1.3. Harç için kullanılan su.....	8
3.1.1.4. Kimyasal katkı.....	8
3.1.2. Poroz asfalt.....	9
3.1.2.1. Bitüm.....	10
3.1.2.2. Poroz asfalt agregası.....	10
3.2. Metot.....	11
3.2.1. Akışkan harç tasarımının belirlenmesi.....	11
3.2.2. Akışkanlık deneyi.....	14
3.2.3. Basınç dayanımı deneyi.....	15
3.2.4. Eğilme dayanımı deneyi.....	16
3.2.5. Büzülme deneyi.....	17
3.2.6. Poroz asfalt tasarımının oluşturulması.....	18
3.2.6.1. Marshall tasarımı.....	19
3.2.7. Yarı Rijit Kaplamanın oluşturulması.....	20
3.2.7.1 YRK Marshall stabilite deneyi.....	23
3.2.7.2 YRK Basınç dayanım deneyi.....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26



4.1. Akışkan Harç.....	26
4.1.1 Akışkanlık deneyi.....	26
4.1.2 Basınç dayanımı deneyi.....	27
4.1.3. Eğilme dayanımı deneyi .....	28
4.1.4. Kuruma büzülmesi deneyi .....	29
4.1.5. Optimum harcın belirlenmesi .....	30
4.2. Poroz Asfalt.....	30
4.2.1. YRK Marshall stabilite deneyi .....	30
4.2.2. YRK Basınç dayanımı deneyi .....	32
5. SONUÇLAR .....	33
6. KAYNAKLAR .....	35
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Karayollarında Laboratuvar Koşullarında Yarı Rijit Kaplama Üstyapı Dizaynı ve Bu Dizaynın Arazi Çalışmaları İçin Modellenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

.../.../2022

Osman Kürşat SEFER

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

N	: Newton
KN	: Kilo Newton
KPa	: Kilopascal
MPa	: Megapascal
S	: Saniye
K	: Dakika
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
m <sup>3</sup>	: Metreküp
Gr	: Gram
Kg	: Kilogram
<sup>0</sup> C	: Santigrat derece
D	: Çap
H	: Yükseklik

### Kısaltmalar

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
YRK	: Yarı Rijit Kaplama
S/Ç	: Su / Çimento Oranı
K/Ç	: Katkı / Çimento Oranı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Yarı Rijit Kaplama uygulaması .....	1
Şekil 3.1. Numuneler için kullanılan kalıplar.....	12
Şekil 3.2. Otomatik programlanabilir harç mikseri .....	13
Şekil 3.3. Huninin şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.4. Harcın akışkanlık deney aşamaları.....	14
Şekil 3. 5. Basınç dayanımı deneyi .....	15
Şekil 3.6. Eğilme dayanımı deneyi.....	16
Şekil 3.7. Numunelerin kırım öncesi kürlenmeye tabi tutulması.....	17
Şekil 3.8. Boy değişimi ölçümünde kullanılan cihaz ve uygulama yöntemi.....	18
Şekil 3.9. İri gradasyonlu poroz asfalt .....	18
Şekil 3.10. Marshall numunesi imalatı .....	19
Şekil 3.11. Poroz Marshall numunesi YRK öncesi.....	20
Şekil 3.12. Büyük hacimli poroz asfalt dökümü için mekanik mikser ve kalıp.....	21
Şekil 3.13. Hazırlanan poroz asfaltın dökümü.....	21
Şekil 3.14. Poroz asfalt dökümü sonrası sıkıştırma ve ısı takip işlemleri.....	22
Şekil 3.15. Poroz içine dökülen optimum harcın hazırlanması.....	22
Şekil 3.16. Karot alma uygulaması.....	23
Şekil 3.17. Marshall stabilite ve akma deneyi.....	24
Şekil 3.18. Basınç deneyi için numune yüzey hazırlığı.....	25
Şekil 3.19. Numune basınç deneyi için pres makinasında.....	25
Şekil 4.1. Akışkanlık deneyi sonuç grafiği .....	26
Şekil 4.2. Karışımların basınç dayanımı deneyi grafiği.....	27
Şekil 4.3. Karışımların eğilme dayanımı deneyi grafiği .....	28
Şekil 4.4. Karışımların büzülme deneyi grafiği .....	30

<b>Şekil 4.5.</b> Marshall stabilite deneyi sonuçları grafiği.....	31
<b>Şekil 4.6.</b> YRK Basınç dayanımı deneyi grafiği .....	32

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışma akış şeması .....	6
Çizelge 3.2. Çimento kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	7
Çizelge 3.3. Kullanılan agreganın gradasyonu.....	8
Çizelge 3.4. Kullanılan ince agregaya uygulanan deneyler.....	8
Çizelge 3.5. Kimyasal katkıların teknik özellikleri.....	9
Çizelge 3.6. Bitüme uygulanan deneyler.....	10
Çizelge 3.7. Poroz asfaltın için kullanılan kaba agregaya uygulanan deneyler.....	10
Çizelge 3.8. TİP 3 agregaların gradasyon dağılımı.....	11
Çizelge 3.9. Karışım hacim tablosu .....	12
Çizelge 3.10. YRK numunelerine uygulanan performans deneyleri ve sonuçları.....	23
Çizelge 4.1. Tüm karışımların akışkanlık deney sonuçları.....	26
Çizelge 4.2. Karışımların basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	27
Çizelge 4.3. Karışımların eğilme dayanımı deneyi sonuçları .....	28
Çizelge 4.4. Karışımların kuruma büzülmesi deneyi sonuçları .....	29
Çizelge 4.5. YRK Marshall stabilite deneyi sonuçları.....	31
Çizelge 4.6. YRK Basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	32

## 1.GİRİŞ

Ülkemizde mevcut kullanılan yol kaplamalarının olumlu yönleri olduğu gibi bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Ağır trafik yükünün olduğu yerlerde yol kaplamalarında çok miktarda çukurlaşmalar ve deformasyonlar meydana gelmektedir. Yol üst yapısı kısa sürede bozulmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde, yarı rijit kaplama metodu ile ağır trafik yüküne ve bozulmalara karşı daha dayanıklı bir yol üst yapısı elde edilerek, bu bozulmaların önlenildiği görülmüştür. Yarı Rijit Kaplamalar (YRK), 1960'lı yılların başında Fransa'da geliştirilen ve 1990 yılından sonra dünya genelinde yaygınlaşan bir yol kaplaması dizaynidir. YRK'ler, Marshall karışım dizaynına göre yaklaşık %25-30 hava boşluğu içeren poroz asfalt karışımındaki boşlukların akışkan bir harç doldurulması yöntemiyle inşa edilmektedir. (Setyawan 2013). Kompozit bir yapıya sahip olan yarı rijit kaplamalar, esnek ve rijit kaplamaların avantajlarını içinde barındırmaktadır. Bu sayede yarı rijit kaplamalar ile özellikle trafik yükünün ve sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde daha uzun ömürlü, ekonomik ve bakımı daha kolay bir yol üst yapısı elde edilebilmektedir (YEGINOBALI 2002). (Şekil 1.1.)



**Şekil 1. 1.** Yarı Rijit Kaplama Uygulaması (Randy 2007)

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'de uygulaması bulunmayan ancak bazı ülkelerde yol kaplamalarında kullanılan YRK'lerde, kaplamanın farklı deney ve katkılarla optimum dizaynı ve bu dizaynın saha koşullarında modellenmesi ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışması ile ülkemizde uygulanan bitümlü sıcak karışıma alternatif olabilecek daha dayanıklı bir kaplama tasarımı yapılması hedeflenmiştir. Ayrıca YRK'lerde yerli imalat olan çimento kullanılmaktadır. Türkiye çimento üretimi en fazla olan ülkelerden birisidir. Bu tez çalışmasında oluşturulacak dizayn ile, yüksek maliyetli ithal bir ürün olan bitümün kullanımı azaltılarak, yerli imalat olan çimentonun kullanımının artırılmasının ülke ekonomisi açısından büyük bir avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmanın amacına uygun olarak erişilecek çıktılar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Yerli üretim olan çimentonun yol inşaatlarında daha fazla kullanılması
2. Türkiye için daha dayanıklı bir üst yapı tasarımının yapılması
3. Laboratuvarda sahanın modellenmesi için yeni bir çalışma yönteminin geliştirilmesi

Tez çalışması sürecinde, YRK’de kullanılan akışkan harcın farklı özellikleri incelenmiş ve istenen sonuçlar elde edildikten sonra, bu harç poroz asfalt ile beraber kullanılarak YRK elde edilmiştir. Elde edilen YRK numuneleri asfaltı ve betonu temsil eden dayanım deneylerine tabi tutulmuştur.

Bu amaçla ilk olarak akışkan harç dizayn edilmiştir. Harç dizaynı çalışmalarında CEM 1 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento ağırlığının %0,3, %0,5, %0,6, %0,7 ve %0,8 oranlarında iki farklı süper akışkanlaştırıcı kullanılarak, üç farklı su/çimento oranlarında karışımlar elde edilmiştir. Ayrıca üretilen harcın ana bileşenlerinden olan agregaların maksimum çapı 0,6 mm’dir. Bu agregalar Antalya il sınırları içerisindeki Çubuk Beli’nden temin edilmiştir. 50<sup>mm</sup>x50<sup>mm</sup>x50<sup>mm</sup>’lik küp numuneler ve 40<sup>mm</sup>x40<sup>mm</sup>x160<sup>mm</sup>’lik prizmatik kalıplar kullanılarak harçların performansı ölçülmüştür. Hazırlanan harç numuneleri standart koşullarda kür edilmiş ve bu numuneler 7,28,45 ve 56 günlük büzülme deneyi ile 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanım deneylerine tabi tutulmuştur. Optimum tasarım elde edildikten sonra KTŞ’de belirtilen TİP 3 poroz asfalt gradasyonu kullanılarak, ilk olarak Marshall numuneleri oluşturulmuş, harcın Marshall numunesi içerisindeki yerleşimine bakılmıştır. Daha sonra sahayı temsil eden büyük kalıplara poroz asfalt dökülmüş, oluşturulan optimum harç ile gözenekler doldurulmuştur. Numuneler üzerinde Marshall stabilite, akma ve basınç dayanımı deneyleri yapılarak YRK’nin dayanım performansı incelenmiştir.



## 2.KAYNAK TARAMASI

Tez Çalışması kapsamında geliştirilmesi tasarlanan üstyapıda hem harç dizaynı, hem poroz dizaynı, hem de YRK dizaynı ile ilgili kapsamlı literatür araştırması yapılmıştır.

Jiupeng ZHANG ve arkadaşları, yaptıkları “Yarı Rijit Kaplamalar için Derz Dolgu Maddelerinin Formülasyonu ve Performansının Karşılaştırılması” adlı çalışmayla; Çimento şerbeti ve çimento betonunun, YRK için derz dolgu maddesi olarak kullanılabilirliğini karşılaştırmışlardır. Bileşimin akışkanlık, dayanım ve kuruma büzülmesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çimento hamuru ve harç için en uygun formülasyonlar belirlemiştir. Bu çalışmada, çimento derz dolgu malzemesinin tavsiye edilen akışkanlığı 10 ila 14 s arasındadır ve 7 gün standart kürlenme süresinden sonra eğilme mukavemeti 3.0 MPa'dan daha fazla olarak belirlenmiştir ve basınç mukavemeti 10 ila 30 MPa arasında bulunmuştur. Çimento şerbeti ile karşılaştırıldığında, çimento betonunun genel olarak daha iyi bir performansa sahip olduğu belirtilmiştir. YRK için tavsiye edilen su çimento oranı 0.58'dir. Katkı malzemesi olarak da %10'luk uçucu kül önerilmiştir.

Anagnostopoulos 2014, yaptığı bir deneysel çalışmada yeni nesil polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı ile polinaftalen süper akışkanlaştırıcı katkıları farklı dozajlarda çimento harcında kullanarak, harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılan karışımların daha akışkan olduğunu ancak bu tür katkılı karışımlarda kuma olduğunu tespit etmiştir. Bununla birlikte polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılan karışımların nihai mukavemeti, polinaftalen katkı kullanılan karışımlara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

E. Özgan ve arkadaşları, yaptıkları deneysel çalışma ile agregaların çap değişimleri, sıcak karışım asfalttaki bitüm miktarı, çevre sıcaklığı etkisi ve bu çevre sıcaklığında maruz kalma süresi dahil olmak üzere sıcak karışım parametrelerinin Marshall Stabilitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Düzce ilinin farklı bölümlerinden toplam 60 çekirdek numune alınmıştır. Laboratuvarında Marshall Stabilite testleri yapılmıştır. Ekstraksiyon testleri, asfalt çekirdek numunelerindeki agregaların bitümden ayrıştırılması için 3600 devir/dakika ile trikloroetilen ve ekstraksiyon test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, agregaların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sıcak karışım asfalt parametrelerinin Marshall Stabilitesi üzerindeki etkisinin çok çeşitli araştırılması için istatistiksel analizler yapılmıştır. Sonuç olarak, agregaların uygun tanecik çapının ve korelasyon katsayılı bitüm miktarının Marshall Stabilitesini arttırdığı veya azalttığı gözlemlenmiştir.

N.U. Koçkal 2002, yaptığı tez çalışma ile farklı beton dayanım sınıflarında ve farklı kimyasal katkı oranları ile akıcı ve çok akıcı beton numuneleri hazırlamıştır. Kuruma büzülmesi için 100x100x500 mm boyutlarında numunelerin dökümü yapılmıştır. Numuneler dökümden sonra 23±2 °C sıcaklık ve %60±5 bağıl nemin mevcut olduğu odada dinlendirilmişlerdir. Deneyler 180 gün süre ile sürmüş ve

sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. PK -B 32,5 kodlu numunenin kuruma büzülmesinin diğerlerine nazaran daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Katkısız klasik Portland imentosu P 42,5 çalışmada kullanılan Portland Kompoze PK-A32,5 imentosu arasında farkın çok az olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca alışma ile priz - hızlandırıcı katkı malzemelerinin katıldığı betonlarda kuruma büzülmesinin, priz geciktirici ve hava sürükleyici betonlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek mukavemetli örneklerin, mukavemeti daha düşük rnelere göre daha az bzlmeye maruz kaldığı da tespit edilmiştir.

Jin Wook Bang ve diğerleri 2017, imento harcının akışkanlığının ve basınç dayanımının yarı rijit kaplama üzerindeki etkilerini değerlendirmek için mekanik testler yapılmıştır. %18-22 boşluk oranına ulaşmak için açık gradasyonlu bir asfalt iskeleti tasarlanmıştır. Ayrıca, harcın hızlı priz alması için katkı maddeleri, yani hızlandırıcı ve geciktirici maddeler kullanılarak dört tip imento harcı karışımı üretilmiştir. YRK numuneleri için boşluk oranı, eğilme mukavemeti, Marshall stabilitesi ve tekerlek izi direnci gibi özellikleri ölçmek için mekanik deneyler yapılmıştır. Test sonuçları, imento harcının akış sresinin (akışkanlık), açık gradasyonlu asfalt iskeletinin YRK numunelerinin mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktör olduğunu göstermiştir. Bu alışmada YRK karıştırma oranı için, açık dereceli poroz iskeletinin boşluk oranı ve imento harcının akış sresinin sırasıyla %20 ve 12 saniye içinde olması önerilmiştir.

Plug ve arkadaşları 2006, harçla doldurulmuş bir üstyapı tasarımı için poroz iskeleti ve içine doldurulması için imento harç tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Elde edilen bileşim saha koşullarına uygulanmış ve performansı gözlemlenmiştir. Laboratuvar çalışmalarına ve saha uygulamalarına göre, bu tasarımı boşluklu asfaltın kalitesinin (bileşenlerin mekanik özellikleri, hava boşlukları ve agregaların ayrılmasına karşı direnç gibi) toplam sistemin özelliklerini güçlü bir şekilde etkilediği bulunmuştur. Yapılan numunelerden karot örnekler alınarak Marshall Stabilite, Cantabro, Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı, Donma zlme gibi birçok teste tabi tutularak alınan veriler analiz edilmiştir. Yapılan alışma ile özellikle yüksek sıcaklıklarda aşınmaya karşı daha yüksek stabilite ve direnç, gözenekli asfaltta daha az ayrışma riski, agregata etrafındaki bitümlü tabakanın homojen kalınlığı, artan kimyasal direnç, geliştirilmiş yorgunluk özellikleri, sertlik davranışının optimalleştirilmesi, enjekte olan harcın çatlamasına karşı daha az duyarlılık gibi etkiler tespit edilmiştir.

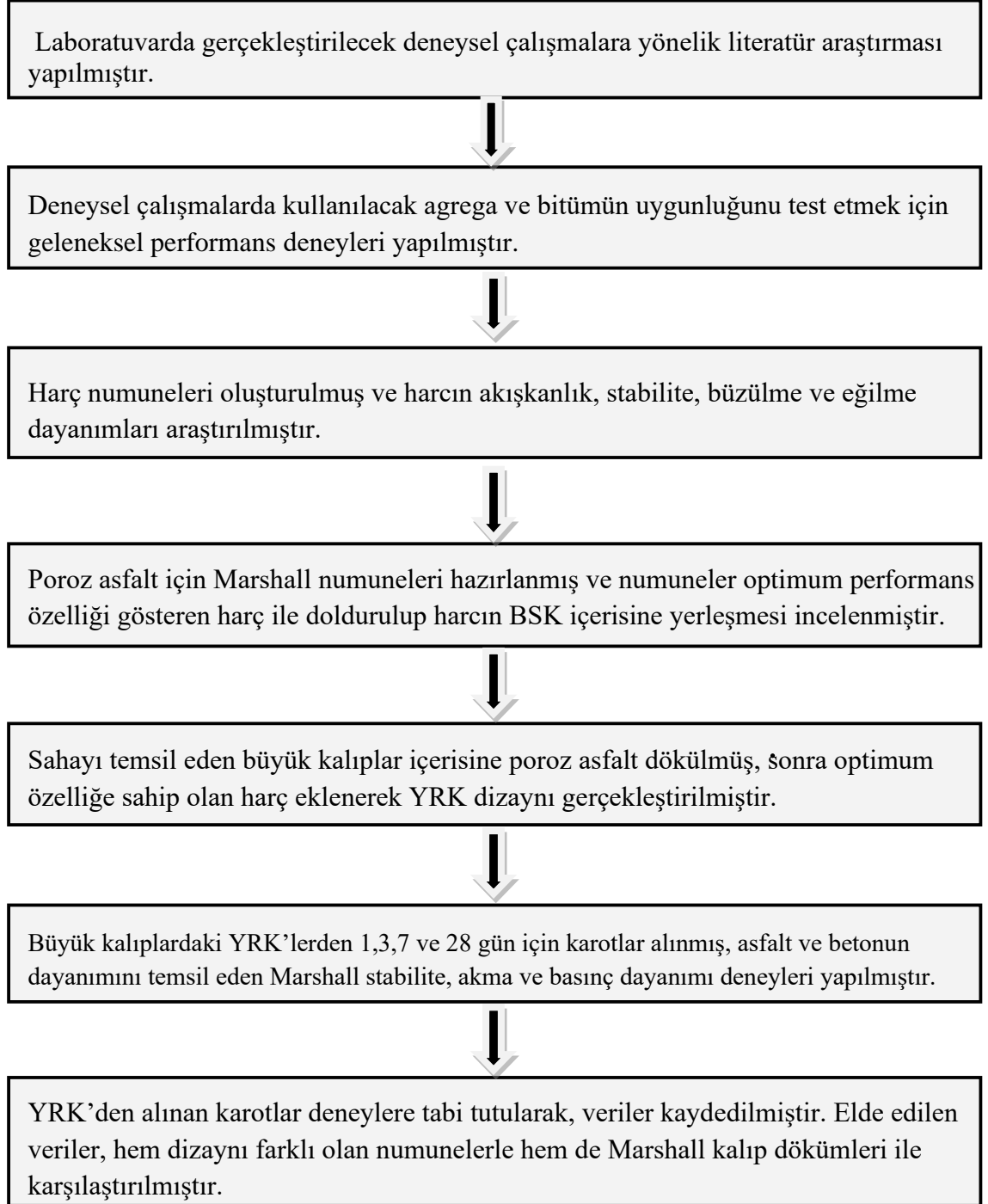
J. Oliveira ve arkadaşlarına göre, karışım tasarımlarıyla elde edilebilecek harç malzemesi poroz asfaltla birleştiğinde sürtünme direnci ve aynı zamanda da esneklik gibi birkaç önemli fayda sağlayabilmektedir. Yapılan çalışmada harç ve poroz asfalt bileşenlerinin birleşmesiyle elde edilmiş numuneler, laboratuvar testlerine tabi tutulmuştur. Laboratuvar koşullarında sertlik, yorgunluk ve düşük sıcaklıkta kırılma ile

ilgili deneyler yapılmıştır. Bağlayıcılık derecesi ve içeriği, agrega boyutu ve dağılımı, harç mukavemeti gibi veriler incelenmiştir. Çalışma ile normal bir asfalttan beklenenden daha fazla yorulma davranışı bulunmuştur. Özellikle değişen bağlayıcılık içeriğinin etkisinin belirgin etken olduğu belirlenmiştir. Optimum karışım tasarımının belirlenmesine olanak sağlanmıştır. Normal asfalta göre YRK'nin daha etkin, dayanıklılık ömrü daha uzun ve uzun vadede daha ekonomik fayda göstereceği kanıtlanmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasının aşamalarının genel olarak yer aldığı çalışma akış şeması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çalışma akış şeması



### 3.1. Materyal

#### 3.1.1. Akışkan harç

##### 3.1.1.1. Çimento

Tez çalışması kapsamında ilk olarak akışkan çimento harcı tasarımı yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan çimento, CEM I 42,5 R tipi çimentodur. Bu çimentonun deneysel çalışmalar boyunca uygun koşullarda muhafaza edilerek özelliklerinin kaybolmamasına özen gösterilmiştir. Üretici tarafından paylaşılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2. 'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Çimento kimyasal ve fiziksel özellikleri

<b>Çimento CEM I 42,5 R</b>			
<b>Kimyasal özellikler</b>		<b>Fiziksel özellikler</b>	
S(SiO <sub>2</sub> ) %	18.85	Yoğunluk(g/cm <sup>3</sup> )	3.08
A(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	9.94	Özgül yüzey(cm <sup>2</sup> /g)	3357
F(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	3.42	Priz başlama süresi(dk)	195
C(CaO) %	62.22	Priz bitiş süresi(dk)	285
MgO %	1.57	<b>Basınç Dayanımı</b>	
SO <sub>3</sub> %	2.90	2. gün (Mpa)	22.2
Na <sub>2</sub> O %	0.18	7. gün (Mpa)	38.4
K <sub>2</sub> O %	0.62	28. gün (Mpa)	54.3
Cl %	0.0135		
Kızdırma kaybı %	4.14		

##### 3.1.1.2. Agregta

Deneysel çalışmalarda agregta seçimi yapılırken, kullanılan agregtanın gradasyonuna uygun olarak performans deneyleri yapılmış, agregta özelliklerinin bu deneylerin limit değerlerine uygun olup olmadığı araştırılmıştır (M. NAZARY 2019). Agregtanın sağlam, köşeli ve temiz daneleri içeren kırma taştan oluşmasına dikkat edilmiştir. Agregtanın organik maddeler, kil toprakları, diğer zararlı maddeler içermemesine özen gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılmış olan kalker agregtalar Antalya il sınırları içerisindeki Çubuk Beli'nden temin edilmiştir.

Harç karışımı için kullanılan agrega Anderton (2000) çalışmasındaki gradasyona uygun olarak Çizelge 3.3'teki elek çaplarına göre belirlenmiştir.

**Çizelge 3.3.** Kullanılan agreganın gradasyonu

<b>Elek çapı (mm)</b>	<b>Elekten geçen (%)</b>
0,6	100
0,425	99,6
0,18	34,2
0,075	1,5

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ince agregalara uygulanan deneyler ve sonuçları Çizelge 3.4'te görülmektedir.

**Çizelge 3. 4.** Kullanılan ince agregaya uygulanan deneyler ve sonuçları (KTŞ, 2013)

<b>Deney</b>	<b>Şartname sınırı</b>	<b>Deney standardı</b>	<b>Deney sonuçları</b>
Plastisite İndeksi	N. P	TS-1900-1	
Organik Madde, %	Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1	Negatif
Su Emme, %	$\leq 2,0$ (WA <sub>242</sub> )	TS EN 1097-6	0,500
Metilen Mavisi, g/kg	$\leq 3$	TS EN 933-9	0,5
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	-	TS EN 1900-1	2,65

### 3.1.1.3. Harç için kullanılan su

Karışımların tasarımında Antalya Büyükşehir Belediyesi şebeke suyu kullanılmıştır.

### 3.1.1.4. Kimyasal katkı

Tasarım çalışmalarında kimyasal katkı olarak 2 tip katkı kullanılmıştır. S1 ve S2 olarak adlandırdığımız iki farklı üreticiye ait bu süper akışkanlaştırıcılar, polikarboksilat eter içeriğine sahiptirler. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı maddeler işlenebilirliğin yeterli düzeye ulaşabilmesi için tercih edilmiştir. (Larson 1963) Kullandığımız kimyasal katkıların üretici tarafından verilen teknik özellikleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Kimyasal katkıların teknik özellikleri

Özellik	Değerler		Standart değerler	İnceleme yöntemi
	S1 adlı S. A	S2 adlı S.A		
Homojenlik	Homojen	Homojen	Homojen	Gözle
Görünüm/Renk	Kahverengi	Kahverengi	Kahverengi	Gözle
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.07	1.1	1.05-1.13	ISO 758
Ph değeri	4.1	4.5	4.0-6.0	ISO4316
Katı madde miktarı (%)	34.54	28.91	442 (27.65-30.36)	EN 480-8
			535 (31.33-34.63)	
Suda çözünabilir Klorür (%)	0.02	0.03	<0.1	EN 480-10
Alkali miktarı (%)	Uygun	Uygun	<5	EN 480-12
FT-IR spectrum/Etkin bileşeni	Uygun	Uygun	Referans IR Spec	EN 480-6

### 3.1.2. Poroz asfalt

Çalışmalar sunucunda optimum değerlere sahip akışkan harç elde ettikten sonra, poroz asfalt dizaynı yapılmıştır. Poroz asfaltın kalınlığı, boşluk oranı, agreg a oranı, bitüm oranı, kullanılacak katkılar, vb. gibi dizayn özelliklerine dikkat edilmiştir. Poroz asfalt karışımında kullanılacak bitüm ve agreg a özellikleri kontrol edilerek, ilgili şartnamelere uygunluk testleri yapılmıştır.

### 3.1.2.1 Bitüm

Bitüme uygulanan deneyler ve sonuçları Çizelge 3.6. de gösterilmektedir.

**Çizelge 3. 6.** Bitüme uygulanan deneyler ve sonuçları

Sıra No	Özellikler	Deney metodu	Şartname limitleri	Sonuçlar
1	Penetrasyon, 25°C, 0,1mm	TS EN 1426	50-70	54
2	Yumuşama Noktası, °C	TS EN 1427	46-54	52
3	TFOT, İnce film halinde ısıtma deneyi (163°C, 5 saat)	TS EN 12607-2		
3.1	Kütle Değişimi, %		0.5 (max)	0.29
3.2	Yumuşama Noktası, °C	TS 120 EN 1427	48 (min.)	50.3
3.3	Kalıcı Penetrasyon, %	TS EN 1426	50 (min.)	60
3.4	Yumuşama.Nok. Artış, °C	TS EN 1427	9 (max)	1.7
4	Parlama Nok, °C	TS ISO 2592	230 (min.)	280

### 3.1.2.2 Poroz asfalt agregası

Poroz asfalt için kullanılan agregalara uygulanan deneyler ve sonuçları Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.7.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3. 7.** Poroz asfaltın içinde kullanılan kaba agregaya uygulanan deneyler ve sonuçları (KTŞ, 2013)

Deney	Şartname sınırı	Deney standardı	Deney sonuçları
Aşınma Direnci (Mikro-Deval), % Kayıp	$\leq 20$ ( $M_{DE} 20$ )	TS EN 1907-1	24,5
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, ( $MgSO_4$ ile kayıp), %	$\leq 16$	TS EN 1367-2	1,03
Yassılık İndeksi, %	$\leq 25$	BS812	13,8
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), % (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	$\geq 60$	TS EN 12697-11 (Kısım 403 EK-A)	80
Su Emme, %	$\leq 2,0$ ( $WA_{242}$ )	TS EN 1097-6	0,505
Özgül Ağırlık ( $gr/cm^3$ )	-	TS EN 1900-1	2,6



Poroz asfalt için kullanılan agregaların KTŞ 2013'te verilen TİP3 için gradasyon dağılımı Çizelge 3.8.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3. 8. TİP 3 agregaların gradasyon dağılımı**

Agrega çapı	Elekten geçen %
19-12,5	10%
12,5-9,5	80%
9,5-4,75	0%
4,75-2	2,50%
2-0,075	3,50%
0,075-filler	4%

### 3.2. Metot

#### 3.2.1. Akışkan harç tasarımının belirlenmesi

Çalışma kapsamında ilk olarak malzeme ve eksik ekipman temin edilmiştir. Daha sonra zamana dayalı bir iş grafiği çalışması yapılarak deneysel çalışmalara başlanmıştır. Literatür taranmasına dayalı olarak plan, yöntem ve usuller belirlenmiştir. Bu plan çerçevesinde uygulama kısmına geçilmiştir. Karışım tasarımında yer alan bileşenlerin oranlarına göre denemeler yapılmıştır. Bu denemelerdeki amaç, akışkanlık süresi sınır şartları içerisinde olan bir harç elde etmektir. Deneme çalışmaları sonunda elde edilen optimum karışım oranları ile devam edilmiştir.

Bu tez çalışmasında CEM 1 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento ağırlığının %0,3, %0,5, %0,6, %0,7 ve %0,8 oranlarında iki farklı S1 ve S2 süper akışkanlaştırıcı kullanılarak, üç farklı su/çimento oranlarında karışımlar elde edilmiştir. 50<sup>mm</sup>x50<sup>mm</sup>x50<sup>mm</sup>'lik küp ve 40<sup>mm</sup>x40<sup>mm</sup>x160<sup>mm</sup>'lik prizmatik kalıplar kullanılarak numuneler hazırlanmış, harçların performansı ölçülmüştür. (Şekil 3.1)



**Şekil 3.1.** Numuneler için kullanılan kalıplar

Hazırlanan harç numuneleri standart koşullarda kür edilmiş ve bu numunelere 7,28,45 ve 56 günlük büzülme deneyi ile 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanım deneyleri uygulanmıştır. Hazırlanan karışım miktarları ve karışım oranları Çizelge 3.9'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.9.** Karışım hacim tablosu

Karışım	Katkı türü	Katkı oranı	W/C	V su	V agregat	V çim	V toplam
<b>AT1</b>	S1	%0,5-7 gr	70%	1050	1500	1500	4057
<b>AT2</b>	S1	%0,5-7 gr	70%	1050	1500	1500	4057
<b>AT3</b>	S1	%0,5-7 gr	60%	900	1500	1500	3907
<b>AT4</b>	S1	%0,3-4.5gr	70%	1050	1500	1500	4054.5
<b>AT5</b>	S1	%0,5-7 gr	55%	825	1500	1500	3832
<b>AT6</b>	S2	%0,6-9 gr	55%	825	1500	1500	3834
<b>AT7</b>	S2	%0,8-12 gr	55%	825	1500	1500	3837
<b>AT8</b>	S2	%0,3-4.5gr	55%	825	1500	1500	3829.5
<b>AT9</b>	S1	%0,3-4.5gr	55%	825	1500	1500	3829.5
<b>AT10</b>	S2	%0,8-12 gr	70%	1050	1500	1500	4062

Karışımların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan deneyler için numuneler üzerinde akışkanlık, büzülme, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Harç karışımı belirlenmesinde uygulanan deneylerin önem sırası şu şekildedir:

- 1) Akışkanlık
- 2) Basınç dayanımı
- 3) Büzülme
- 4) Eğilme dayanımı

Sıralamanın bu şekilde belirlenmesinin amacı, ilk olarak tasarlanan harcın poroz iskeleti içerisinde homojen olarak dağılması beklentisidir. Çünkü harç poroz asfalt içerisine homojen olarak dağılmaz ise, diğer koşullar sağlansa bile YRK'nin görevini yapamayacağı düşünülmektedir. İkinci olarak, porozla birleşecek harcın tekrarlı trafik yükü altında uzun süre dayanımını koruması için yeterli basınç dayanımına sahip olması gerektiği düşünülmektedir. Harcın poroz içerisinde büzülerek hacim daralmasından kaynaklı bozulmalara neden olmaması için büzülme dayanımı üçüncü sıradaki önemli parametre olarak düşünülmüştür. Son olarak YRK içerisinde kullanılan eğilme dayanımının yeterli düzeyde olması gerektiği düşünülmüştür. Tüm bu parametreler önem sırasına göre ele alınarak, optimum harç dizayn edilmiştir.

Otomatik programlanabilir harç mikseri (Şekil 3.2) harcın hazırlanmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Otomatik programlanabilir harç mikseri

### 3.2.2 Akışkanlık deneyi

Ulaşılmak istenen sonuçları elde etmek için en önemli kriterlerden biri de harcın, yapılacak poroz asfaltın gözeneklerine büyük oranda nüfuz edebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Bunun için ise harcın akışkanlık değerlerinin viskozitesi yüksek olması gerekmektedir. Akışkanlık testlerinin yapılabilmesinin birkaç yolu vardır. Bu tez çalışmasında akış hunisi (Hu vd. 2008) yöntemi ile akışkanlık deneyi ASTM C939-10 standardına göre yapılmıştır. Huninin gösterimi Şekil 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Huninin şematik gösterimi

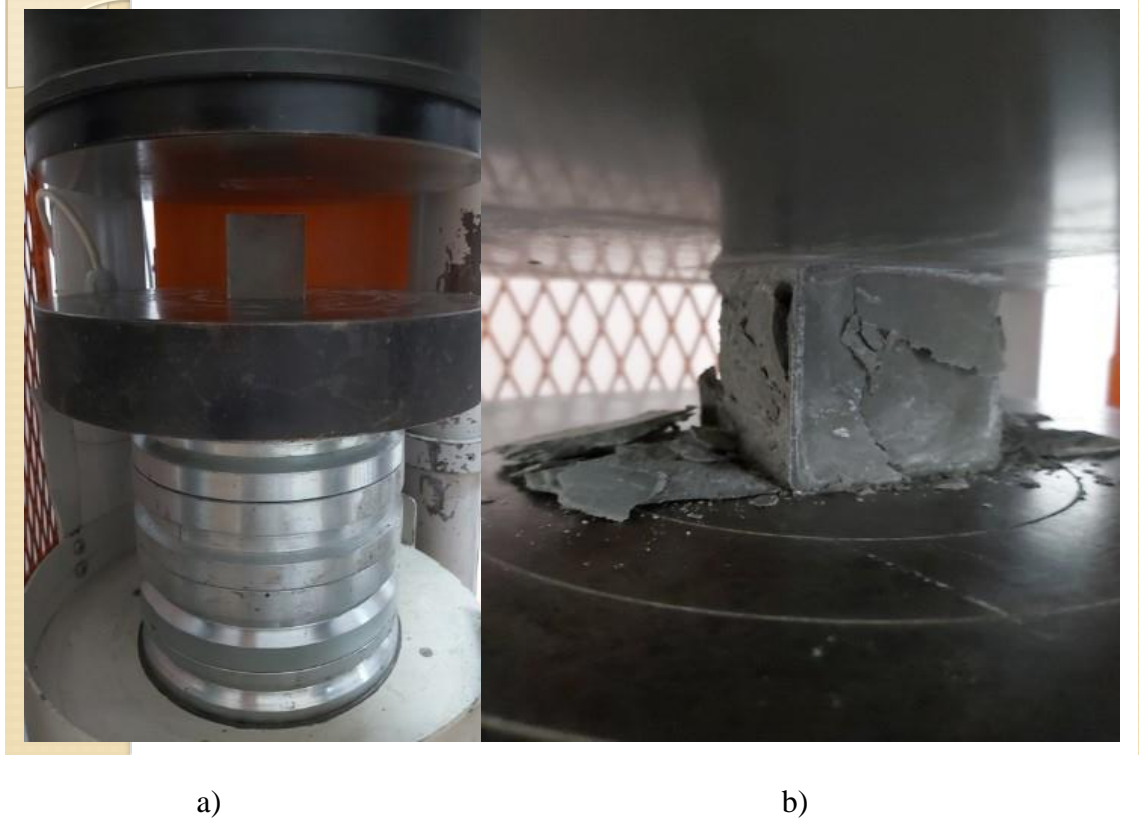
Mikserde harç karıştırıldıktan sonra, 1725 ml harç karışımı ara verilmeden, alt boşaltma ucu parmakla kapanarak huni içine dökülmüştür. Daha sonra parmak huni ucundan çekilmiş, karışım boşalana kadar geçen süre kronometre ile ölçülmüştür. (Şekil 3.4.). Ölçülen süre o karışımın akış süresi olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Harcın akışkanlık deneyi aşamaları

### 3.2.3. Basınç dayanımı deneyi

Oluşturulan harcın basınç dayanımının tespit edilmesinde 200 ton kapasiteli, bilgisayarlı sisteme sahip olan otomatik ve manuel tercihli pres makinesi kullanılmıştır. Karışımların basınç mukavemeti deneyleri için her karışımdan 12 adet 50<sup>mm</sup>x50<sup>mm</sup>x50<sup>mm</sup> ölçülerinde küp numuneler hazırlanmış, bunlardan üçü bir günlük, üçü üç günlük, üçü yedi günlük ve diğer üçü yirmi sekiz günlük ASTM C109 standardına göre dayanım testine tabi tutulmuştur. Şekil 3.5.'de basınç dayanım testi ve kırılmış numuneler gösterilmiştir.



**Şekil 3.5.** Basınç dayanımı deneyi; **a)** Pres makinasında kırma işlemi **b)** Numune kırıldıktan sonra

Basınç dayanımı eşitlik 3.1 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

$\sigma$  : Basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

P : Kırılma yükü (N)

A : Yüklemenin yapıldığı kesit alanı (mm<sup>2</sup>)



### 3.2.4. Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımları ASTM C348-18 standardına uygun olarak eğilme yüklemesi başlığı vasıtasıyla üç eksenli yükleme yöntemi ile yapılmıştır. 40<sup>mm</sup>x40<sup>mm</sup>x160<sup>mm</sup>'lık prizmatik numuneler hazırlanmış ve bu numuneler eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler kırılacağı 1, 3, 7 ve 28. günlerine kadar kürlleme maksadıyla suda bekletilmiştir. Şekil 3.6.'de görüldüğü gibi numuneler açıklığı 100 mm olan iki mesnet üzerine yerleştirilmiş ve açıklığın merkez noktasından saniyede 50 N yük yüklenerek deney gerçekleştirilmiştir.

Eğilme dayanımı eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$R_f = \frac{1.5x F_f \times L}{b^3} \quad (3.2)$$

Formülde;

$R_f$  = Eğilme dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

$b$  = Prizma kare kesitinin kenar uzunluğu (mm)

$F_f$  = Prizmanın kırıldığı anda merkez bölgesine etki eden en büyük yük kuvveti (N)

$L$  = Mesnet arasındaki uzaklık (mm).



a)



b)

**Şekil 3.6.** Eğilme dayanımı deneyi; a) Numune kırılmadan önce; b) Numune kırıldıktan sonra

### 3.2.5. Büzülme deneyi

Zamana bağlı olarak gerçekleşen boy değişimini gösteren kuruma büzülmesi deneyi ASTM C596-09 standardına göre uygulanmıştır. Bu deney için  $40^{\text{mm}} \times 40^{\text{mm}} \times 160^{\text{mm}}$  ölçülerinde prizmatik numuneler oluşturulmuştur. Şekil 3.7.'te gösterildiği gibi Numuneler 48 saat suda bekletilmiştir. Daha sonra ölçümlerine başlanmış ve  $25^{\circ}\text{C}$  oda sıcaklığında 7,28,45 ve 52 gün boyunca muhafaza edilmiştir.



**Şekil 3.7.** Numunelerin kırım öncesi kürelemeye tabi tutulması

Numunelerin periyodik olarak  $0,0001$  mm hassasiyete sahip dijital boy değişimi ölçüm cihazı ile boy değişimleri ölçülmüştür. Her ölçüm öncesi kılavuz görevi gören aparat vasıtası ile cihaz hassas ölçüm yayı sıfırlanmış ve numunelerin ölçümüne başlanmıştır. Her numune çift yönlü ölçülerek verileri kaydedilmiştir. Büzülme değerlerinin belirlenmesinde numunenin kurumadan önceki boyu ve belirli günlerde ölçüm boyu dikkate alınmıştır. (Şekil 3.8.)

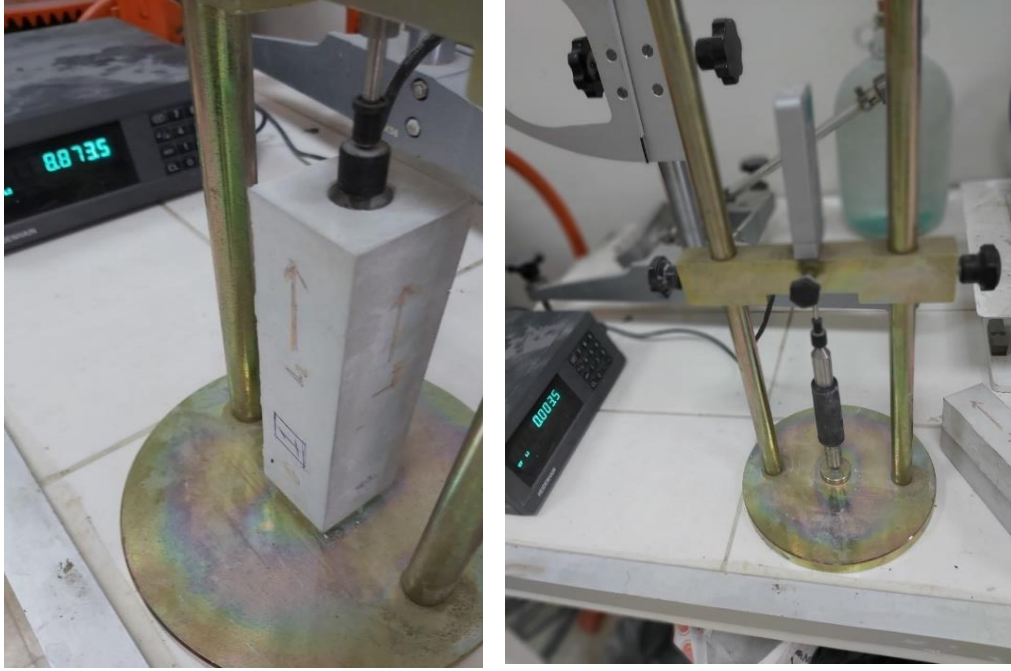
Numunelerin büzülme değerleri eşitlik 3.3 vasıtasıyla hesaplanmıştır:

$$B = \frac{L_0 - L_f}{160} \times 100 \quad (3.3)$$

B = Büzülme (%)

$L_0$  = Kurumadan önceki boyu (mm)

$L_f$  = Kuruma esnasında gösterdiği boy (mm)



Şekil 3.8. Boy değişimi ölçümünde kullanılan cihaz ve uygulama yöntemi

### 3.2.6. Poroz asfalt tasarımının oluşturulması

Tez çalışmasında elde ettiğimiz optimum karışım harcını YRK’de kullanmak için poroz asfalt dizaynı yapılmıştır. Çalışma sürecinde poroz asfaltın kalınlığı, boşluk oranı, agrega oranı, bitüm oranı, kullanılacak katkılar, vb. gibi parametrelere dikkat edilmiştir. Yarı rijit kaplama metodunda poroz asfalt dizaynı yapılırken kaplama tabakasının boşlukları akışkan bir harç ile doldurulacağından, poroz asfalt kaplaması için ayrıca herhangi bir drenaj uygulamasına ihtiyaç duyulmayacaktır (Hao vd 2013). Yani poroz asfalt YRK dizaynında sadece bir iskelet görevi görmektedir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. İri gradasyonlu poroz asfalt (Randy, 2007)



Bu kapsamda dizaynı yapılacak poroz asfaltın yaklaşık %25'ten fazla boşluk oranına sahip, açık gradasyonlu bir asfalt kaplama çeşidi olması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında poroz asfalt tabakasındaki agregaya gradasyonu, Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 417'de belirtilen TİP3'e göre oluşturulmuştur.

KTŞ'de, poroz tasarımının ana bileşenlerinden olan agregaya için limit değerleri ve deney standartları verilmiştir. Poroza için kullanılan iri agregaya deney ve limit değerlerine Çizelge 3.7.'ten ince agregaya özelliklerine ise Çizelge 3.4.'den bakılabilir.

YRK çalışmasından önce Marshall sıkıştırma testi uygulanarak,  $d = 100$  mm çaplı kalıplarla çalışma yapılmıştır. Elde edilen Marshall numunelerine optimum harç yerleştirilerek YRK oluşturulmuştur. Yapılan Marshall poroz numunelerinin boşluklarına harcın işlenebilirliği gözlemlenmiştir. Bu amaçla toplamda 18 adet Marshall numunesi hazırlanmıştır.

### 3.2.6.1. Marshall tasarımı

Şekil 3.10'de gösterildiği gibi deneye başlamadan önce her numune uygulaması için kullanılacak bitüm, agregalar, kullanılacak kalıp ve ekipmanlar bir gün öncesinden başlamak üzere etüvde gerekli ısı altında muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.10. Marshall numunesi imalatı

Öncelikle 150°C sıcaklıktaki etüvde tutulan agregaya, aynı sıcaklıktaki mekanik asfalt mikseri kazanına aktarılmıştır. Daha sonra etüvde 135°C sıcaklıkta bekletilen bitüm mikser kazanına eklenerek, 2 dakika homojen karışım sağlanana kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım önceden yağlanmış Marshall kalıplarına aktarılmıştır.

Agregaya gradasyon dağılımının numune içerisinde homojen olması istendiği için şişleme işlemi yapılmıştır. Marshall sıkıştırma cihazında, her bir yüzey 25'er kez tokmaklanmıştır. Bu işlem bütün numuneler için devam ettirilmiştir.

Farklı sıkıştırma oranları için değişken tokmaktama sayısı kullanılabilir. Örneğin poroz asfalt karışımında, %30 boşluklu Marshall numuneleri kullanılmıştır. %30 boşluğu yakalamak için, numunelerin sadece bir yüzüne 25 darbe uygulanarak hazırlanmıştır (Masbah 2019).

Hazırlanan poroz numuneleri YRK için kullanılmadan önce kuru ve suya doygun haldeki ağırlıkları tartılmış, boşluk oranları belirlenmiş, geçirimsizliği kontrol edilmiştir. (Şekil 3.11.)



**Şekil 3.11.** Poroz Marshall numunesi YRK öncesi

### 3.2.7. Yarı Rijit Kaplamanın oluşturulması

YRK örneklerinin oda sıcaklığı koşullarında hazır olmasından sonra harcın poroz iskelet içerisine yerleşebilme kabiliyeti, sıkışma durumu, bitüm süzülme durumları gözlemlenmiştir. YRK yolların eğer iyi tasarlanmışsa en önemli özelliklerinden biri ertesi gün trafiğe açılabilir olmasıdır. Tez çalışmasında bu amaçla özellikle 1. gün deney sonuçları incelenmiştir.

Marshall numunelerine uygulanan deneyler sonucunda olumlu veriler elde edildikten sonra, saha koşullarını temsil eden büyük kalıplara poroz asfalt yerleştirilmiştir. Bu bağlamda, boyutları  $2000^{\text{mm}} \times 500^{\text{mm}} \times 100^{\text{mm}}$  olan kalıplar hazırlanmıştır. Bu kalıp hacminin, yaklaşık 1/3'lük bölümü  $600^{\text{mm}} \times 620^{\text{mm}} \times 60^{\text{mm}}$  döküm için kullanılmıştır. (Şekil 3.12) 250 dereceye kadar ısıtılabilen ve 150 litre hacimli betoniyerden dönüştürülmüş mikserde önce agregalar atılarak agrega sıcaklığının  $160^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşması için beklenmiştir (Şekil 3.13.). Daha sonra etüvde yine sıcak halde tutulan bitüm ilave edilerek, karışım homojen olana kadar ortalama 2 dakika karıştırılmış ve hazırlanan poroz asfalt karışımının kalıba dökümü gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte mütemadiyen termometre ile karışım ısısı ölçülmüştür.



Şekil 3.12. Büyük hacimli poroz asfalt dökümü için mekanik mikser ve kalıp



Şekil 3.13. Hazırlanan poroz asfaltın dökümü

Dökümü yapılan poroz asfalta, mobil silindir vasıtasıyla şartnamelere uygun olarak kaplama 5 cm olacak şekilde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Bitümlü agregaların silindire yapışmasını önlemek için nemlendirme işlemi uygulanmıştır. Yapılan sıkıştırma çalışması ile ilgili görseller Şekil 3.14'te gösterilmiştir.





**Şekil 3.14.** Poroz asfalt dökümü sonrası sıkıştırma ve ısı takip işlemleri

Gerekli sıkıştırma için uygulanacak silindir pas sayısı, sıkıştırma süresi, sıkıştırma sıcaklığı, döküm çalışmaları esnasında sürekli gözlemlenmiş ve not edilmiştir. İlk denemelerde farklı gradasyon ve farklı bitüm oranı kullanılarak 4 döküm gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön denemeler sonucunda KTŞ 2013 TİP3 gradasyonu ile çalışmaya devam edilmesine karar verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında dökümü yapılan poroz asfalt, dökümden sonra birkaç gün kendi rijitliğini sağlaması için oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra tasarımı yapılan optimum harç yüksek hacimli (Şekil 3.15.) mikser ile homojen hale gelene kadar karıştırılarak poroz üstüne dökümü gerçekleştirilmiştir. Harcın, poroz boşluklarına nüfuz edebilmesi için yayılması sağlanmıştır.



**Şekil 3.15.** Poroz içine dökülen optimum harcın hazırlanması

Dökümü yapılan YRK'nin performansını test edebilmek için, laboratuvar bünyesinde bulunan karot makinesiyle her deney için 3 adet karot numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerin laboratuvar deneyleriyle dayanımı test edilmiştir. Şekil 3.16'de gösterilen uygulamada 100 mm'lik karot pancı kullanılmıştır.



**Şekil.3.16.** Karot alma uygulaması

Alınan YRK karot numuneleri asfalt ve betonu temsil eden dayanım deneylerine (Marshall Stabilite deneyi, Basınç dayanım deneyi) tabi tutulmuş ve elde edilen veriler kaydedilmiştir.

YRK numunelerine uygulanan performans deneyleri Çizelge 3.10.' de verilmiştir

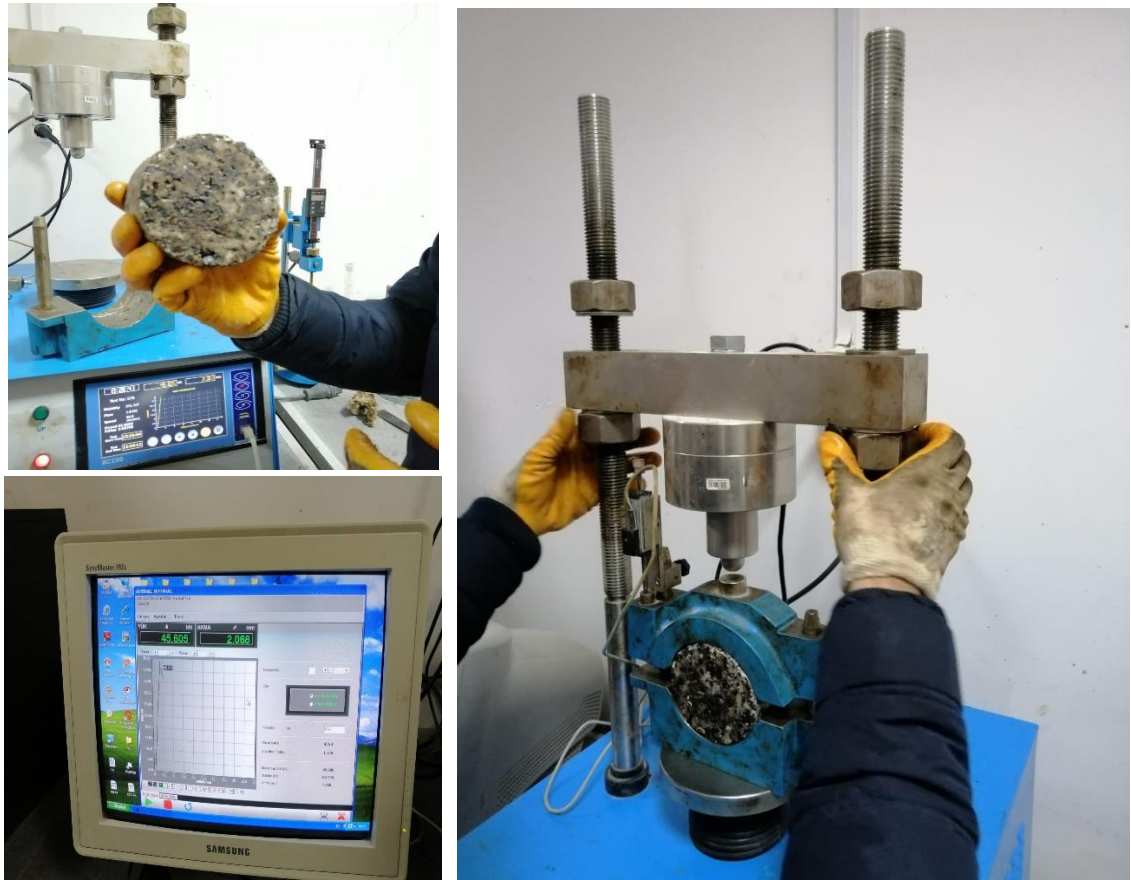
**Çizelge 3. 10.** YRK numunelerine uygulanan performans deneyleri

Karışım Performans Deneyi	Toplam	Kullanılan Harç	Standart
Marshall Stabilite ve Akma Deneyi	12	Optimum Harç	ASTM D6927 -06
Basınç Dayanım Deneyi	12		ASTM C39

### 3.2.7.1. YRK Marshall stabilite deneyi

Marshall stabilitesi ve akma deneyi bitümlü numunelerin dayanımının ve esnekliğinin test edilmesi için yapılan deneydir. Bu çalışmada Marshall stabilite deneyi ASTM D6927-06 standardına göre yapılmıştır. YRK numuneleri bitümün kendi özelliğini yansıtabilmesi için 60°C'de suda 30 dakika muhafaza edilmiştir. Ayrıca YRK'nin içerisinde beton harcı bulunduğu için, karot numuneleri kuru halde ve oda

sıcaklığında da (25°C), deneylere tabi tutulmuşlardır. Yani YRK numunelerinin hem asfalt hem beton özelliği taşıdığı için, asfaltı ve betonu temsil eden ortamlarda dayanım testleri yapılmıştır. Numunelerin kumpas yardımı ile boy ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra numuneler oval başlığı bulunan Marshall stabilite yükleme cihazına yerleştirilmiştir. Akma pimi başlık kısmına sabitlenerek 50 mm/dk'lık sabit yükleme hızı ile kırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı tam otomatik Marshall stabilite cihazı Şekil 3.17.'de gösterilmiştir. Yükleme esnasında bilgisayar ekranında gözükten pik noktası değeri ve akma değeri her numune için not edilerek kaydedilmiştir. 1,3,7, ve 28. günlerde 3'er adet olarak deney sonuçları okunmuş ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. 17. YRK Marshall stabilite ve akma deneyi

### 3.2.7.2. YRK Basınç dayanım deneyi

Basınç dayanımı deneyinin amacı aksel yük altında, numunenin ne kadar zamanda ne kadar yük altında deforme olduğunu test etmektir. Bu tez çalışmasında Basınç dayanımı deneyi ASTM C39 standardına göre yapılmıştır. Alınan karot numunelerinin yüzey kısmı pürüzlü olduğundan, yükleme esnasında yükün numune üstüne homojen etki edebilmesi için numune yüzeyi düzleştirilmiştir. Bu amaçla numunelerin üst yüzeyi gözenek ve pürüzleri örtecek şekilde ince alçı harcı ile



kaplanmıştır. Alçı priz almadan, yani işlenebilir halde iken cam ve su terazisi kullanılarak döz bir yüzey elde edilmeye çalışılmıştır. (şekil 3.18).



**şekil 3.18.** Basınç deneyi için numune yüzey hazırlığı

Numune pres makinasına yerleştirildikten sonra (şekil 3.19.) 0.25 Mpa/s yükleme hızı ile yükleme yapılarak kırım işlemi gerçekteştirilmiştir. Kırılma esnasında cihazın göstergesinden pik değerler okunarak basınç dayanımı değerleri not edilmiştir. Aynı uygulama 1,3,7 ve 28. günlük numuneler için yapılmıştır.



**şekil 3.19.** Numune basınç deneyi için pres makinasında

## 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Akışkan Harç

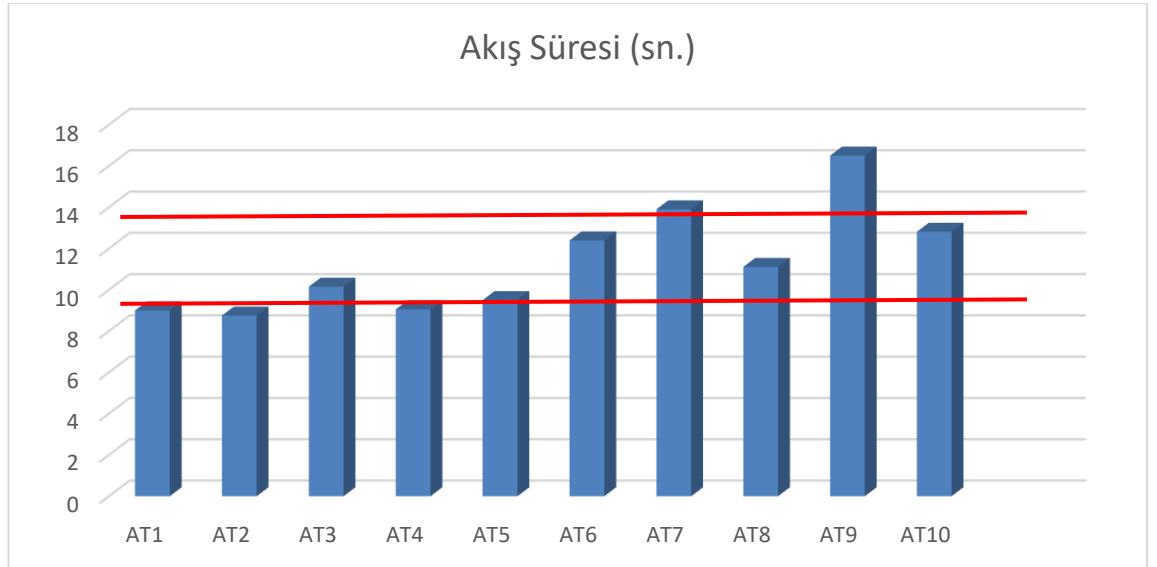
#### 4.1.1. Akışkanlık deneyi

Harç için hazırlanan numunelerin bileşenleri ve kodlamaları Çizelge 3. 9'de verilmiştir.

Harca uygulanan akışkanlık deneyi sonuçları Çizelge 4. 1 ve Şekil 4.1'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 1.** Tüm karışımların akışkanlık deney sonuçları

Karışım kodu	Akış Süresi (sn.)
AT1	9
AT2	8,75
AT3	10,15
AT4	9,05
AT5	9,5
AT6	12,39
AT7	13,9
AT8	11,11
AT9	16,5
AT10	12,81



**Şekil 4.1.** Akışkanlık deneyi sonuç grafiği (sn.)

Akış sürelerinin 9-13 sn aralığında olması poroz içerisine harcın yerleşebilmesi açısından en uygun durumdur (Day ve Shi 1994).



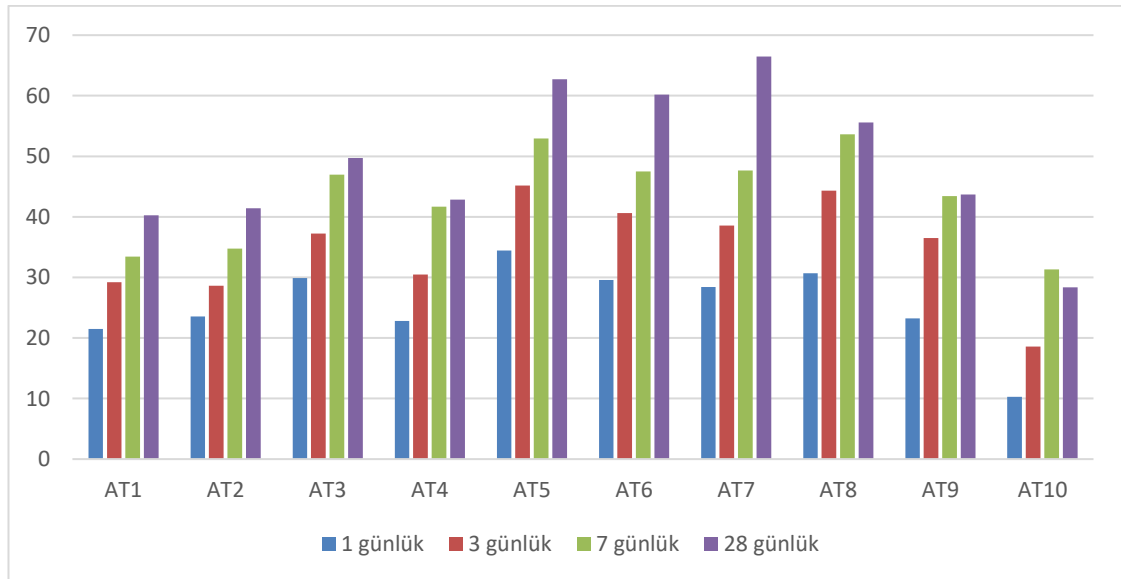
Akışkanlık sürelerinin bu sınır değerler arasında yer almasının yanı sıra diğer performans göstergelerine göre harç tasarımı seçimi tercihi yapılmıştır. Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi hazırlanmış olan on karışımdan üçü belirlenen sınır değerler dışında kalmıştır. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde, süper akışkanlaştırıcı ve su/çimento oranı arttıkça akışkanlık değerinin arttığı görülmektedir. Bunlara ek olarak, S2 katkısının S1'e kıyasla akışkanlığı daha artırdığı gözlemlenmiştir.

#### 4.1.2. Basınç dayanımı deneyi

Harca uygulanan basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4. 2. ve Şekil 4. 2'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2. Karışımların basınç dayanımı deneyi sonuçları

Basınç Dayanımı (MPa)				
	1 günlük	3 günlük	7 günlük	28 günlük
AT1	21,47	29,21	33,45	40,28
AT2	23,54	28,65	34,78	41,44
AT3	29,90667	37,26	46,96	49,73
AT4	22,82667	30,47	41,70	42,83
AT5	34,46667	45,17	52,93	62,73
AT6	29,56	40,65	47,48	60,19
AT7	28,43333	38,55	47,64	66,47
AT8	30,68	44,30	53,65	55,56
AT9	23,24667	36,48	43,41	43,67
AT10	10,28	18,58	31,33	28,37



Şekil 4. 2. Karışımların basınç dayanımı deneyi grafiği (MPa)

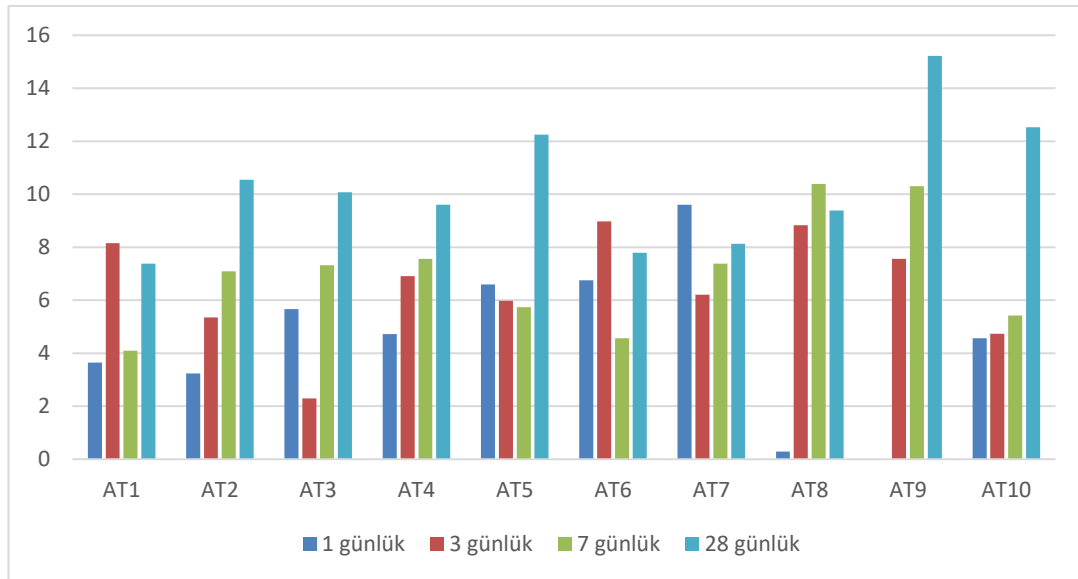
Grafik ve tabloda da görüldüğü üzere gün sayısı arttıkça numunelerin dayanımı da her karışım için artış göstermiştir. Bütün kütleme sürelerinde en yüksek basınç dayanımına S1 akışkanlaştırıcı katkısına sahip AT5 karışımı ulaşmıştır. Elde edilen değerlere incelediğimizde ilk 7 güne kadar olan basınç değerleri yüksek çıktığı görülmektedir. 7 Günden sonra basınç dayanımı artış hızı düşmüştür. Bu nedenle ilk yedi günlük basınç değerleri, optimum harç belirlenmesinde etkin rol almıştır.

#### 4.1.3.Eğilme dayanımı deneyi

Harca uygulanan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4.3. ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Karışımların eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Eğilme Dayanımı (MPa)				
	1 günlük	3 günlük	7 günlük	28 günlük
AT1	3.652	8,16	4,10	7,38
AT2	3.232	5,35	7,09	10,55
AT3	5,664063	2,29	7,32	10,08
AT4	4,726563	6,91	7,56	9,61
AT5	6,601563	5,98	5,74	12,25
AT6	6,757813	8,98	4,57	7,79
AT7	9,609375	6,21	7,38	8,13
AT8	0,292969	8,83	10,39	9,39
AT9	-	7,56	10,31	15,22
AT10	4,570313	4,73	5,42	12,53



Şekil 4. 3. Karışımların eğilme dayanımı deneyi grafiği (MPa)

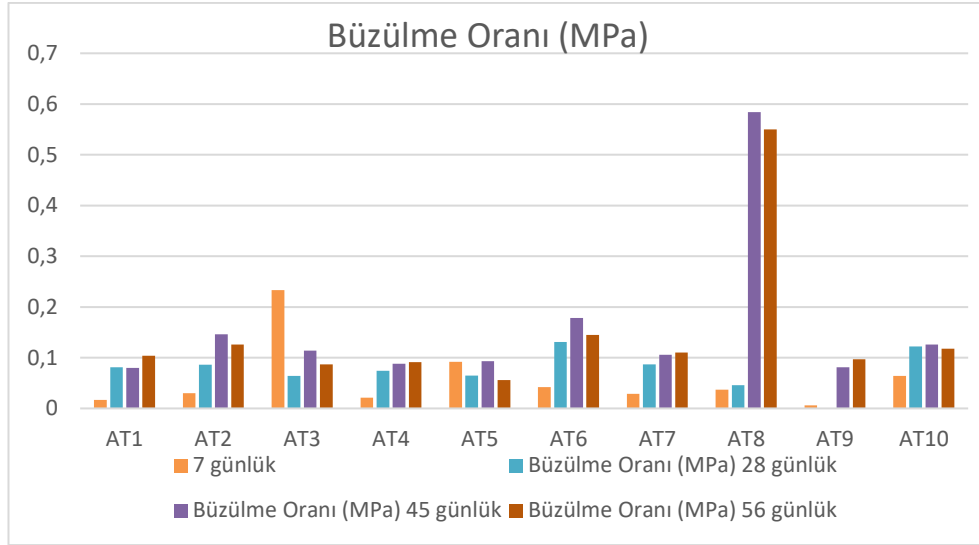
Numunelerin eğilme dayanımı test edilirken, alınan sonuçlarda günlere göre artma eğilimi gösteren bir grafiğin yanı sıra, 1,3 ve 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinin yüksek olması beklenmiştir. AT1 ve AT6 numunelerinde eğilme değerleri incelendiğinde en yüksek değerlere üçüncü gününde erişilmiştir. Beton tam dayanımını almaya başladığında tekrar yükselmeye başlamıştır. Bunun sebebinin su banyosunda bekletilme süresiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. AT2, AT3, AT8, AT9 karışımlarında ise yedinci günden itibaren eğilme değerleri yükselmeye başlamıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, en yüksek eğilme dayanımına, 1.gün AT7, 3.gün AT6, 7. gün AT8 ve 28.gün AT9 ulaşmıştır. AT4, AT5, AT10 numunesinde daha tutarlı bir eğilme dayanımı değişimi gözlemlenmiştir.

#### 4.1.4. Kuruma büzülmesi deneyi

Harca uygulanan kuruma büzülmesi deneyi sonuçları Çizelge 4.4. ve Şekil 4.4'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 4.** Karışımların kuruma büzülmesi deneyi sonuçları

	<b>Büzülme Oranı (MPa)</b>			
	<b>7 günlük</b>	<b>28 günlük</b>	<b>45 günlük</b>	<b>56 günlük</b>
<b>AT1</b>	0,017	0,081	0,080	0,104
<b>AT2</b>	0,030	0,086	0,146	0,126
<b>AT3</b>	0,233	0,064	0,114	0,087
<b>AT4</b>	0,021	0,074	0,088	0,091
<b>AT5</b>	0,092	0,065	0,093	0,056
<b>AT6</b>	0,042	0,131	0,178	0,145
<b>AT7</b>	0,029	0,087	0,106	0,110
<b>AT8</b>	0,037	0,046	0,584	0,550
<b>AT9</b>	0,006	0,000	0,081	0,097
<b>AT10</b>	0,064	0,122	0,126	0,118



**Şekil 4. 4.** Karışımların büzülme deneyi grafiği

Yapılan deneyler sonucunda, numune boylarında değişimin az olması beklenmektedir. Çünkü harcın fazla büzülmesi, YRK numunesi içerisinde harcın hacim kaybına neden olacaktır. Harçta boy değişimi ve hacim kaybı istenmeyen bir durumdur. Bu koşulları sağlamak için su/çimento oranı ve süperakışkanlaştırıcı etkin görev almıştır. AT1, AT4, AT7, AT10 numunelerinde büzülme gün sayısı arttıkça büzülme oranlarının artmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. AT2, AT6, AT5, AT3 numunelerinde ise belirli bir süre büzülme oranları artmış, ancak daha sonra azalma eğilimi görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda süper akışkanlaştırıcı ve su/çimento oranı arttıkça büzülmenin de arttığı tespit edilmiştir.

#### 4.1.5. Optimum harcın belirlenmesi.

Harçlara yapılan performans deneyleri sonucunda, akışkanlık, basınç dayanımı, eğilme ve büzülme testleri ve onların sonuçlarını göz önünde bulundurarak AT5 karışımı optimum karışım olarak belirlenmiştir.

## 4.2. Poroz Asfalt

### 4.2.1. YRK Marshall stabilite deneyi

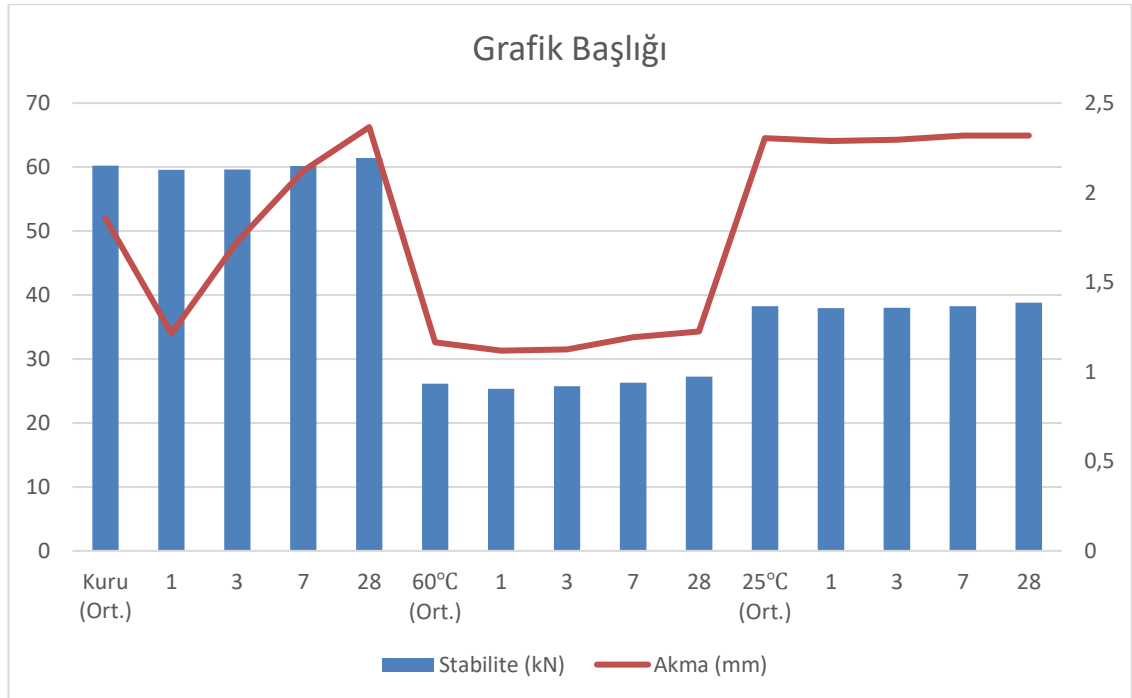
Beton ve BSK bileşimlerinden oluşan YRK'lerin, farklı özellikler gösteren içeriklerini daha iyi analiz edebilmek için alınan numuneler standart 60°C yanında, ortalama oda sıcaklığı (25°C) ve nemlendirilmeden kuru halde de testlere tabi tutulmuştur. Böylece farklı fiziksel ortam ve koşullarda sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

YRK Marshall stabilite deneyi sonuçları Çizelge 4.5. ve Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 5.** YRK Marshall stabilite deneyi sonuçları

	Stabilite (kN)	Akma (mm)
Kuru (Ort.)	60,199	1,858
1	59,568	1,215
3	59,625	1,728
7	60,186	2,122
28	61,42	2,366
60°C (Ort.)	26,155	1,165
1	25,324	1,118
3	25,756	1,125
7	26,305	1,192
28	27,238	1,225
25°C (Ort.)	38,254	2,305
1	37,965	2,288
3	38,002	2,295
7	38,238	2,318
28	38,814	2,318

Kuru halde testi yapılan örneklerin daha rijit halde olmasından kaynaklı, stabilite değerleri yüksek çıkmıştır. Sıcaklık ve nemlendirme arttıkça akma değerlerinin de yükselmesi gözlemlenmiştir.

**Şekil 4. 5.** YRK Marshall stabilite deneyi sonuçları grafiği

YRK'lerin komplike bir yapı olduğunu düşündüğümüz için, farklı sıcaklık ve dizaynlarda numuneler deneylere tabi tutulmuştur.

Poroz içerisindeki betonun davranışını inceleyebilmek için YRK numunelerinin, kuru ve 25°C'de performansları ölçülerek kaydedilmiştir. Sıcaklık değerleri düştükçe numuneler daha rijitleştiği için mukavemet değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

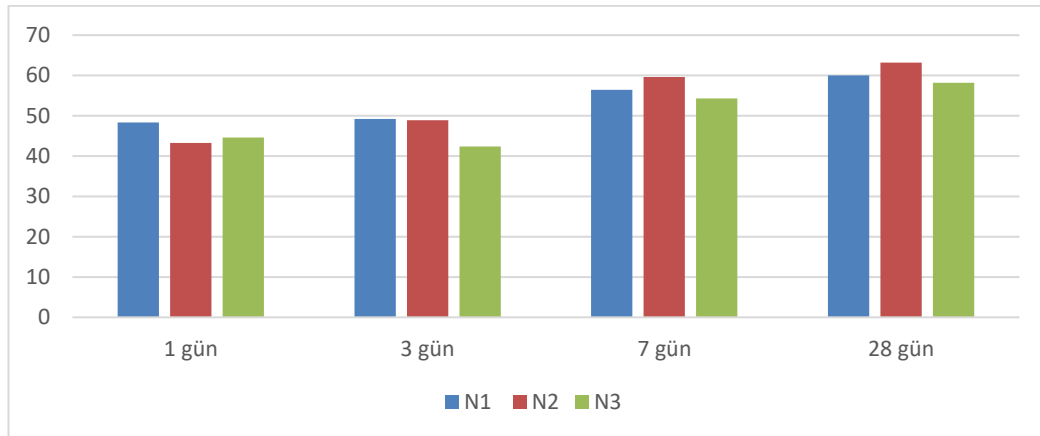
Numunelerin stabilite değerleri yükseldikçe akma değerleri düşmüştür. 25°C'de teste tabi tutulan numuneler, akma değerleri 60°C'de ve kuru halde deney uygulanan numunelere göre da yüksek sonuç vermiştir. Kuru halde test uygulanan numunelerin stabilite değerleri, 25°C ve 60°C'de uygulanan numunelere göre daha yüksek çıktığı görülmüştür.

#### 4.2.2. YRK Basınç dayanımı deneyi

Alınan karot örneklerine basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Çizelge 4.6. ve Şekil 4.6'da görüldüğü üzere gün sayısı arttıkça numunelerin ortalama basınç dayanımı değerleri de yükselmiştir.

**Çizelge 4. 6.** YRK Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Deney no/ (kN)	1 gün	3 gün	7 gün	28 gün
N1	48.35	49.25	56.44	60,05
N2	43.25	48.86	59.60	63,22
N3	44.60	42,38	54,32	58,2



**Şekil 4. 6.** YRK Basınç dayanımı deneyi grafiği

Grafikten de görüldüğü gibi YRK karot numuneleri ilk 7 günde toplam mukavemetinin %70'ine ulaşmışlardır. İlk gün elde edilen basınç dayanımı değerleri 40 Mpa'nın üzerindedir, 28 günde bu değerler 60 Mpa civarına yaklaşmıştır. Basınç dayanımı açısından değerlerin ilk günden bu kadar yüksek olması, inşaa edilecek YRK yolun trafiğe erken açılmasına olanak sağlaması açısından oldukça olumlu bir sonuçtur.

## 5. SONUÇLAR

Tez çalışmasının amacı, laboratuvar koşullarında gerçek sahayı temsil eden YRK dizaynını oluşturmaktır. Bu amaçla tez çalışma konusu belirlendikten sonra literatür taraması yapılmıştır. Laboratuvar ortamında hangi cihaz ve malzemelerle çalışmaya başlanılacağına karar verilmiştir. Deneysel çalışmalarda ilk olarak, agrega ve bitümün uygunluğu geleneksel testlerle araştırılmıştır. Bir sonraki adımda YRK tasarımı için, optimum harç karışımı oranları belirlenmiştir. Bu amaçla harç numunelerinin dökümüne başlanmıştır. Bu numuneler farklı su/çimento oranı, farklı katkı vd. parametreler değiştirilerek, performans deneylerine (Akışkanlık deneyi, Basınç deneyi, Eğilme deneyi, Büzülme deneyi) tabi tutulmuşlardır. Harç tasarımı ile ilgili deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Akışkanlık deneyinde, süper akışkanlaştırıcı ve su/çimento oranı arttıkça akışkanlığın arttığı görülmüştür. Ayrıca S2 katkısının S1'e kıyasla akışkanlığa daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Deneye tabi tutulan 10 adet harç tasarımı göz önüne alındığında, AT2, AT7, AT9 karışımları akışkanlık sınır değerleri olarak belirlediğimiz 9-13 sn aralığı dışında kaldığı görülmektedir. Geri kalan karışımlar sınır değerleri aralığında kalmıştır.
- Deneyler süresinde ilk 7 günlük basınç dayanımı değerleri olarak, en yüksek basınç dayanımına S1 akışkanlaştırıcı katkısına sahip AT5 ve S2 katkısına sahip AT6 ve AT7 karışımları ulaşmıştır. Elde edilen değerleri incelediğimizde ilk 7 gün değerlerinin yüksek çıkması, YRK kaplama yolun erken hizmete açılma düşüncesini desteklediği görülmektedir.
- Büzülme deneyi sonuçları incelendiğinde, AT2, AT6, AT5, AT3 numunelerinde belirli bir süre büzülme oranları artmış, ancak daha sonra azalma eğilimi görülmüştür. Büzülme, YRK kaplamalarda istenmeyen bir durum olduğu için belirtilen harç karışımları uygun sonuçlar vermişlerdir. Bu numuneler arasında en düşük büzülme değeri AT5 numunesinde görülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda süper akışkanlaştırıcı ve su/çimento oranı arttıkça büzülmenin de arttığı tespit edilmiştir.
- Eğilme dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde AT2, AT3, AT8, AT9 karışımlarında, yedinci günden itibaren eğilme değerleri yükselmeye başlamıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, en yüksek eğilme dayanımına, 1.gün AT7, 3.gün AT6, 7. gün AT8 ve 28.gün AT9 ulaşmıştır. AT4, AT5, AT10 numunesinde daha tutarlı bir eğilme dayanımı değişimi gözlemlenmiştir.
- Optimum harç belirlenmesinde kriter olarak alınan ve sayfa 13'de belirtilen sıralamaya göre, AT5 tasarımı en uygun harç tasarımı olarak kabul edilmiştir.

Optimum karışım oranı belirlendikten sonra KTŞ'nin TİP3 poroz asfalt gradasyonu kullanılarak poroz asfalt oluşturulmuştur. İlk önce Marshall dizaynı ile numuneler oluşturulmuş ve boşluk oranı kontrol edilmiştir. Daha sonra optimum harç olarak AT5 karışımı eklenerek YRK elde edilmiştir. Harcın YRK içerisine homojen yayılıp yayılmadığı kontrol edilmiştir.

Daha sonra TİP3 gradasyonundan, büyük kalıplarda uygulanmak üzere daha fazla hacimde poroz asfalt oluşturulmuş ve kalıplara dökülmüştür. Bu dökümden karotlar alınmıştır. YRK numuneleri dayanıma dayalı performans deneylerine (Marshall stabilite, Basınç dayanımı) tabi tutulmuştur. Bu deney sonuçları bize, saha koşullarında YRK'ların zamana bağlı fiziksel olarak değişme durumları ve dayanımları hakkında fikir vermektedir.

Büyük kalıplarda YRK tasarımı ile ilgili deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Sıcaklık değerleri düştükçe numuneler daha rijitleştiği için mukavemet değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- YRK, ısıtılma işlemi görmeden, kuru ve 25°C'lerde deneylere tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, kuru haldeki numunelerin ısıtılma işlemi görmüş numunelere nispeten stabilite değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Ancak aynı zamanda bu numunelerin akma değerlerinin karışımın rijitliğinden dolayı düşük çıktığı görülmüştür.
- Çimento harç etkisi ile YRK numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin geçen süreye bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.
- YRK basınç deneyinde ilk 3 güne kadar deneylerde kırım sonuç değerlerinin fazla değişkenlik göstermediği ilerleyen günlerden itibaren mukavemet değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

YRK tasarımından elde edilen dayanım sonuçları oldukça yüksek değerlerdedir. Yani YRK avantajlı bir kaplama türü olarak belirlenmiştir. Tez çalışmasında deneylerin ölçek olarak daha büyük kalıplarda uygulanması, saha koşullarının laboratuvar ortamında test edilmesine olanak sağlamıştır.

Gelecekteki çalışmalarda, saha koşullarını temsil eden YRK numunelerine ileri düzey performans deneyleri (donma-çözünme, permeabilite vb.) uygulanabilir. Ayrıca farklı katkı maddeleri de eklenerek, daha üstün özelliklere sahip tasarımlar elde edilebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- A. K. MASHAB 2019, Karayolları İçin Yarı Rijit Kaplama Tabakası Dizaynı ve Performansının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi. Antalya.
- Anagnostopoulos, Effect of different superplasticisers on the physical and mechanical properties of cement grouts. *Construction and Building Materials C.A* 2014, 50: 162-168.
- Anderton, G. L. 2000. Engineering properties of resin modified pavement (RMP) for mechanistic design. Engineer Research and Development Center Vicksburg Ms Geotechnical Lab.
- ASTM C109 / C109M - 16a, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] *Cube Specimens*).
- ASTM C348 – 18, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars.
- ASTM C39 / C39M – 18, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C596 – 09, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement.
- ASTM C666 / C666M – 15, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.
- ASTM C939 – 10, Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method).
- ASTM D6927 – 06, Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures.
- ASTM D6931 – 12, Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures.
- C.P. Plug 2006, dr.ir. A.H. de Bondt ing. B.J. van der Woerd, ing. G. Steensma Improved Performance Grouted Macadams- High Performance Of Grouted acadam Applications. published in Dutch at. *Wegbouwkundige Werkdagen. Doorwerth*, Netherlands. June 2006.
- Doç. Dr. E. AĞAR, *Beton yol teknolojisinde gelişmeler ve karayollarımız*. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi ulaştırma anabilim dalı.İstanbul.
- E. Özgan<sup>1</sup>, S. Serin<sup>2</sup>, T. Kap<sup>3</sup>. Sıcak Karışım Parametrelerinin Marshall Stabilitesine Etkisinin Çok Yönlü İncelenmesi.
- Hu, S. Huang, S. Ding, Q. and Zhang, R. 2008. Study on the cementitious mortar for semi-flexible pavement. *In International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites*, pp. 1237-1246
- J. Oliveira, Fracture and Fatigue Strength of Grouted Macadams (Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal)
- J. W., Lee Bang 2017. J. And Kim, Y.Y. Development of a semirigid pavement

- incorporating ultrarapid hardening cement and chemical admixtures for cement grouts. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017:3-9.
- Jiupeng Zhang a, Jun Cai a, Jianzhong Pei a, Rui Li a, Xiangfeng Chen, Formulation and performance comparison of grouting materials for semi-flexible pavement.
- M. NAZARY 2019, Yol Üst Yapılarında Yarı Rijit Kaplama Dizaynında Kullanılacak Harç Tipinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi. Antalya.
- N.U. KOÇKAL 2002, Akıcı ve çok akıcı betonlarda kuruma büzülmesine çimento ve katkı maddesi türünün etkisi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Prof. A. YEGINOBALI 2002, *Türkiye'nin ilk Beton Karayolları TÇMB / AR-GE / Y 09.2002.*
- Randy 2007, L. Battery, P. E. Jordan, S. and Whittington, E. I. 2007. Construction, testing and performance report: state study no. 137: *resin modified pavement demonstration project. National Transportation Library*
- DAY, R.L and SHI, C. 1994 Effect of Initial Water Curing on the Hydration of Cements Containing Natural Pozzolan. *Cement and Concrete Research*, 24(3):463-472
- Setyawan, A. 2013. Assessing the Compressive Strength Properties of Semi-Flexible Pavements. *Procedia Engineering*, 54: 863-874.
- Hao, P., Chen, L. and Li, L. 2013. Pavement performance of bituminous mixture for semi-flexible pavement. *J. Chang'an Univ. (Natural Science Edition)*, 23 (2):1-6.
- LARSON, TD 1963 Portland Cement and asphalt Concretes Chapter 5 Special Concretes and Concrete Admixtures. Norton Publication 122 pp, New York USA.

## ÖZGEÇMİŞ

**Osman Kürşat SEFER**

### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018-2022	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği A.B.D. Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2011-2016	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

İnşaat Mühendisi	Akdeniz Üniversitesi
2016	Antalya