

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YARI RİJİT KAPLAMA İÇİN GELİŞTİRİLEN LATEKS KATKILI ÇİMENTO
HARCININ ERKEN DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Azad DİNLER

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**YARI RİJİT KAPLAMA İÇİN GELİŞTİRİLEN LATEKS KATKILI ÇİMENTO
HARCININ ERKEN DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Azad DİNLER

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2022

ANTALYA

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

**YARI RİJİT KAPLAMA İÇİN GELİŞTİRİLEN LATEKS KATKILI ÇİMENTO
HARCININ ERKEN DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Azad DİNLER
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez T.C. Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP)
Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2022-5986 nolu proje ile desteklenmiştir.**

EYLÜL 2022

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YARI RİJİT KAPLAMA İÇİN GELİŞTİRİLEN LATEKS KATKILI ÇİMENTO
HARCININ ERKEN DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Azad DİNLER
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ (Danışman)
Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Selim DÜNDAR

ÖZET

YARI RİJİT KAPLAMA İÇİN GELİŞTİRİLEN LATEKS KATKILI ÇİMENTO HARCININ ERKEN DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Azad DİNLER

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Eylül 2022; 104 sayfa

Yarı rijit kaplama, ülkemizde yaygın olarak kullanılan esnek kaplama ve ülkemizde henüz deneme aşamasında olan ancak dünya genelinde daha yaygın olarak kullanılan rijit kaplamanın üstün özelliklerini bütünleştiren kompozit bir üstyapı kaplama tipidir. Yarı rijit kaplama, boşluklu yapısı olan poroz asfaltın içerisindeki hava boşluklarının çimento harcı ile doldurulmasıyla meydana gelmektedir.

Bu yüksek lisans tezi çalışmasının ilk aşamasında yarı rijit kaplamanın akışkan çimento harcına ait performansı iyileştirilerek erken dayanım özelliklerinin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Akışkan çimento harcın erken dayanım performansı yarı rijit kaplamanın trafiğe açılma süresinin belirlenmesinde önemli bir unsurdur. Bu doğrultuda akışkan çimento harcın içerisinde süper akışkanlaştırıcı, lateks (aderans arttırıcı), priz hızlandırıcı ve priz geciktirici kimyasal katkıları farklı oranlarda kullanılarak harç formülasyonları oluşturulmuştur. Bu kimyasal katkıların harcın erken dayanım performansına olan etkisi incelenmiştir. Akışkan harcın performansının ölçülmesi için akışkanlık testi, kanama testi, basınç dayanımı testi, eğilme dayanımı testi ve büzülme testleri uygulanmıştır. Bu testlerin sonucunda en iyi performansa sahip harç dizaynını bulmak için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan VIKOR yöntemi kullanılmıştır. Buna göre akışkan çimento harcının optimum formülasyonu; %52.5 su-çimento, %0.6 süper akışkanlaştırıcı, 60'ta 1 lateks katkı ve %3.5 priz hızlandırıcı olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında ise optimum çimento harcı ile kontrol çimento harcı, büyük dikdörtgen kalıplarda poroz asfalt içine dökülerek yarı rijit kaplamaya ait erken dayanım performansının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yarı rijit kaplamaya ait performansın test edilmesinde; Marshall stabilite ve akma, nem hasarına karşı direnç, basınç dayanımı, permeabilite, donma-çözülme, yüzey pürüzlülüğü ve cantabro deneyleri uygulanmıştır. Akışkan çimento harcı içerisinde lateks ve priz hızlandırıcı kimyasal katkıların kullanılması ile yarı rijit kaplamanın erken dayanım performanslarında bariz iyileşmeler görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEER: Akışkan çimento harcı, Lateks katkı, Priz hızlandırıcı katkı, Yarı esnek kaplama, Yarı rijit kaplama

JÜRİ: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Selim DÜNDAR

ABSTRACT

DETERMINATION OF EARLY STRENGTH CHARACTERISTICS OF LATEX ADDITIVE CEMENT MORTAR DEVELOPED FOR SEMI-RIGID PAVEMENT

Azad DİNLER

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

September 2022; 104 pages

Semi-rigid pavement is a composite pavement type that combines the superior features of the flexible pavement, which is widely used in our country, and the rigid pavement, which is still in the trial phase in our country but is more widely used around the world. Semi-rigid pavement is formed by filling the air voids in the porous asphalt with cement mortar.

In the first stage of this master's thesis, it is targeted to analyse the early strength performance of the semi-rigid pavement by improving the performance of the semi-rigid pavement of the fluid cement mortar. Early strength performance of fluid cement mortar is a significant factor in terms of determining the traffic opening time of the semi-rigid pavement. Accordingly, mortar formulations have been constituted by using super plasticizer, latex (adherence enhancer), set accelerator and set retarder chemical admixtures at varied rates in the fluid cement mortar. The effect of these chemical additives on the early strength performance of the mortar has been examined. In order to measure the performance of the fluid cement mortar, fluidity test, bleeding test, compression strength test, bending strength test and shrinkage tests have been applied. As a result of these tests, to find the mortar design with the optimum performance VIKOR method, which is one of the multi-criteria decision-making methods has been used. Accordingly, the optimum formulation of the fluid cement mortar, %52.5 water-cement rate, %0.6 super plasticizer, 1 in 60 latex additive and %3.5 set accelerator have been determined.

In the second stage of this study, it has been aimed to determine the early strength performance of the semi-rigid pavement by pouring the optimum cement mortar and the control cement mortar into porous asphalt in the large rectangular moulds. Marshall stability, Indirect tensile strength, compressive strength, permeability, freeze-thaw, skid resistance and cantabro tests have been applied to test the performance of the semi-rigid pavement. Significant improvements were observed in the early strength performances of the semi-rigid pavement with the use of latex and set accelerator chemical additives in the fluid cement mortar.

KEYWORDS: Fluid cement grout, Hardening accelerator, Latex modifier, Semi-flexible pavement, Semi-rigid pavement

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Asst. Prof. Selim DÜNDAR

ÖNSÖZ

Bu tezin oluşmasında ve deneysel çalışmaların tamamlanmasında emeği ve katkısı bulunan herkese minnettarım.

Yüksek lisans eğitimimin ilk gününden son gününe kadar olan süreçte, tecrübesi ve engin bilgileriyle beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ'ye sabrı ve ilgisi için teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım boyunca yardıma ihtiyaç duyduğum her an da bana destek olan; Allahverdi GULUYEV, Hasib Faisal HAFIZI, Elmaddin MAHMUDLU ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yanımda olan değerli dostum Rıdvan ŞİMŞEK'e teşekkürler.

Yüksek lisans eğitimimin süresinin uzamasına sebep olan pandemi dönemiyle birlikte bu stresli süreçte moral ve motivasyon kaynağı olan sevgili kardeşlerime ve hayatım boyunca destekleriyle yanımda olan anneme ve babama ne kadar teşekkür etsem azdır.

Yüksek lisans eğitimimin 24 aylık süresince, beni maddi olarak destekleyen ve 2210-A Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı'na kabul eden Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamı maddi olarak destekleyen Akdeniz Üniversitesi BAP Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması boyunca agrega temininde sağladığı kolaylıklar için ERKSA Madencilğe ve deneysel çalışmalar için ekipman desteğinde bulunan KGM 13. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
AKADEMİK BEYAN.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Yarı Rijit Kaplamanın İmalatı.....	5
2.2. Türkiye’de Yarı Rijit Kaplama ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	6
2.3. Lateks Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	7
2.4. Yarı Rijit Kaplama ile İlgili Genel Çalışmalar.....	8
3. MATERYAL VE METOT.....	12
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Çimento.....	13
3.1.2. Süper akışkanlaştırıcı.....	14
3.1.3. Lateks.....	14
3.1.4. Priz hızlandırıcı.....	15
3.1.5. Priz geciktirici.....	15
3.1.6. Agregası.....	16
3.1.7. Bitüm.....	17
3.1.8. Fiber.....	18
3.2. Metot.....	19
3.2.1. Agregalara uygulanan deneyler.....	19
3.2.1.1. Kaba agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi.....	19
3.2.1.2. İnce agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi.....	20
3.2.1.3. Filler özgül ağırlık deneyi.....	21
3.2.1.4. Aşınma deneyi.....	23
3.2.1.5. Yassılık indeksi deneyi.....	24
3.2.1.6. Soyulma deneyi.....	26

3.2.1.7. Metilen mavisi deneyi.....	27
3.2.1.8. MgSO ₄ ile donma kaybı deneyi	28
3.2.1.9. Organik madde tayini.....	30
3.2.2. Bitüme uygulanan deneyler	30
3.2.2.1. Penetrasyon deneyi	30
3.2.2.2. Yumuşama noktası deneyi	30
3.2.2.3. Düktilite deneyi.....	31
3.2.2.4. Parlama noktası deneyi	32
3.2.2.5. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi.....	33
3.2.3. Akışkan çimento harcının formülasyonları ve hazırlanması	34
3.2.4. Akışkan çimento harcına uygulanan deneyler.....	37
3.2.4.1. Akışkanlık deneyi	37
3.2.4.2. Basınç dayanımı deneyi	38
3.2.4.3. Eğilme dayanımı deneyi	39
3.2.4.4. Kuruma büzülmesi deneyi	41
3.2.4.5. Terleme deneyi.....	42
3.2.5. VIKOR yöntemi.....	43
3.2.6. Poroz asfalt	45
3.2.7. Yarı rijit kaplamanın hazırlanması	46
3.2.8. Yarı rijit kaplamaya uygulanan deneyler.....	49
3.2.8.1. Marshall stabilitesi ve akma tayini deneyi.....	49
3.2.8.2. Basınç dayanımı deneyi	49
3.2.8.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi	50
3.2.8.4. Cantabro deneyi	52
3.2.8.5. Donma-çözülme deneyi	53
3.2.8.6. Permeabilite deneyi.....	53
3.2.8.7. Yüzey pürüzlülüğü deneyi	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
4.1. Agregalara Uygulanan Deneylerinin Sonuçları	58
4.2. Bitüme Uygulanan Deneylerin Sonuçları.....	59
4.3. Akışkan Çimento Harcının Performansı	59
4.3.1. Kontrol AÇH numuneleri	61

4.3.2. Lateks katkılı AÇH numuneleri.....	64
4.3.3. Priz hızlandırıcı katkılı AÇH numuneleri.....	70
4.3.4. Priz geciktirici katkılı AÇH numuneleri.....	74
4.4. Yarı Rijit Kaplamının Performansı.....	79
4.4.1. Marshall stabilite ve akma tayini deneyi	79
4.4.2. Basınç dayanımı deneyi.....	80
4.4.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi.....	81
4.4.4. Cantabro deneyi	83
4.4.5. Donma-çözülme deneyi.....	84
4.4.6. Permeabilite deneyi	84
4.4.7. Yüzey pürüzlülüğü deneyi.....	85
5. SONUÇLAR	86
6. KAYNAKLAR	88
7. EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yarı Rijit Kaplama İçin Geliştirilen Lateks Katkılı Çimento Harcının Erken Dayanım Özelliklerinin 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

Cl	: Klor
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetreküp
cP	: Santipoise
g	: Gram
kg	: Kilogram
kPa	: Kilopascal
l	: Litre
MgSO ₄	: Magnezyum Sülfat
N	: Newton
m	: Metre
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
MPa	: Megapascal
NaOH	: Sodyum Hidroksit
rpm	: Devir/dakika
sn	: Saniye
SO	: Kükürt Oksit
%	: Yüzde
°C	: Derece Santigrat

Kısaltmalar

AÇH : Akışkan Çimento Harcı

BSK : Bitümlü Sıcak Kaplama

BPN : British Pendulum Number

İÇM : İndirekt Çekme Mukavemeti

İÇO : İndirekt Çekme Oranı

KTŞ : Karayolları Teknik Şartnamesi

OBI : Optimum Bitüm İçeriği

PA : Poroz Asfalt

SDKY : Suya Doygun Kuru Yüzey

TFOT : Thin Film Oven Test

YRK : Yarı Rijit Kaplama

* Tezde ondalıktan sonra nokta kullanımı tercih edilmiştir.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yarı rijit kaplama imalatının aşamaları	2
Şekil 2.1. PA imalat adımları	5
Şekil 2.2. YRK imalat adımları	6
Şekil 3.1. Akış diyagramı	12
Şekil 3.2. Gradasyonlarına göre ayrılmış agregalar	16
Şekil 3.3. Karışıma eklenmeye hazır hale getirilmiş fiber	18
Şekil 3.4. Kaba agreganın SDKY hale getirilmesi	19
Şekil 3.5. İnce agreganın SDKY hale getirilmesi	20
Şekil 3.6. Filler özgül ağırlığı deneyinin adımları	22
Şekil 3.7. Agregaların 12 No'lu elekte elenmesi	24
Şekil 3.8. Yassılık indeksi şablonu ve deneyin yapılışı	25
Şekil 3.9. Numunelerin petri kabında görüntüsü	26
Şekil 3.10. Soyulma deneyinin sonucu için referans skala	27
Şekil 3.11. Metilen mavisi deneyi adımları	28
Şekil 3.12. Agregaların magnezyum sülfat çözeltisinin içerisinde bekletilmesi	29
Şekil 3.13. Penetrasyon deneyi	30
Şekil 3.14. Yumuşama noktası deneyi	31
Şekil 3.15. Düktilite kalıbına yerleştirilmiş bitüm	32
Şekil 3.16. Parlama noktasının kontrol edilmesi	32
Şekil 3.17. TFOT cihazına yerleştirilmiş numuneler	33
Şekil 3.18. AÇH imalat adımları	37
Şekil 3.19. Akışkanlık deneyinin yapılışı	38
Şekil 3.20. Basınç dayanımı deneyi	38
Şekil 3.21. Eğilme dayanımı deneyi	39
Şekil 3.22. Basınç ve eğilme dayanımı deneyleri sonucu kırılan numuneler	40
Şekil 3.23. Kuruma büzülmesi deneyi	41
Şekil 3.24. Terleme deneyi	42
Şekil 3.25. YRK imalatı-1	47
Şekil 3.26. YRK imalatı-2	47
Şekil 3.27. YRK yüzeyinden karot alınması	48
Şekil 3.28. Islak jüt beziyle YRK'lerin kürlenmesi	48
Şekil 3.29. Marshall stabilite ve akma tayini deneyi düzeneği	49
Şekil 3.30. YRK basınç deneyi	50
Şekil 3.31. Nem hasarına karşı direnç deneyi-1	51
Şekil 3.32. Nem hasarına karşı direnç deneyi-2	51
Şekil 3.33. YRK numunesinin Cantabro deneyinden sonraki görüntüsü	52
Şekil 3.34. Donma-çözülme deneyi	53
Şekil 3.35. Düşey permeabilite deneyinin şematik gösterimi	54
Şekil 3.36. Düşey permeabilite deneyi	54
Şekil 3.37. Yatay permeabilite deneyi	56

Şekil 3.38. Yüzey pürüzlülüğü deneyi.....	57
Şekil 3.39. YRK karot numuneleri	57
Şekil 4.1. F kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri.....	60
Şekil 4.2. F kodlu AÇH numunelerinin mukavemet değerleri	60
Şekil 4.3. F4 kodlu AÇH numunesinde yaşanan kusma olayı.....	61
Şekil 4.4. A kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri	61
Şekil 4.5. A kodlu AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri	62
Şekil 4.6. A kodlu AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri.....	62
Şekil 4.7. A kodlu AÇH numunelerinin kuruma büzülmesi deneyinin değerleri.....	63
Şekil 4.8. A kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları	63
Şekil 4.9. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin akış süreleri	65
Şekil 4.10. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin akış süreleri	65
Şekil 4.11. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri	66
Şekil 4.12. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri	66
Şekil 4.13. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri.....	67
Şekil 4.14. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri.....	67
Şekil 4.15. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin büzülme değerleri.....	68
Şekil 4.16. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin büzülme değerleri.....	68
Şekil 4.17. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin terleme yüzdeleri.....	69
Şekil 4.18. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin terleme yüzdeleri.....	69
Şekil 4.19. H kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri	71
Şekil 4.20. H kodlu AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri	71
Şekil 4.21. H kodlu AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri.....	72
Şekil 4.22. H kodlu AÇH numunelerinin büzülme değerleri.....	73
Şekil 4.23. H kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları	73
Şekil 4.24. H kodlu AÇH numunelerinin 2 saatlik akış süreleri.....	74
Şekil 4.25. G kodlu AÇH numunelerinin 2 saatlik akış süreleri.....	75
Şekil 4.26. G kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri	75
Şekil 4.27. G kodlu AÇH numunelerinin basınç dayanımları	76
Şekil 4.28. G kodlu AÇH numunelerinin eğilme dayanımları.....	76
Şekil 4.29. G kodlu AÇH numunelerinin büzülme yüzdeleri.....	77
Şekil 4.30. G kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları	77
Şekil 4.31. YRK numunelerinin Marshall stabilite ve akma değerleri	80
Şekil 4.32. YRK numunelerinin basınç dayanımı değerleri	80
Şekil 4.33. YRK numunelerinin indirekt çekme oranları	82
Şekil 4.34. YRK numunelerinin Cantabro testinin sonuçları	83
Şekil 4.35. Donma-çözülme deneyinin sonuçları.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

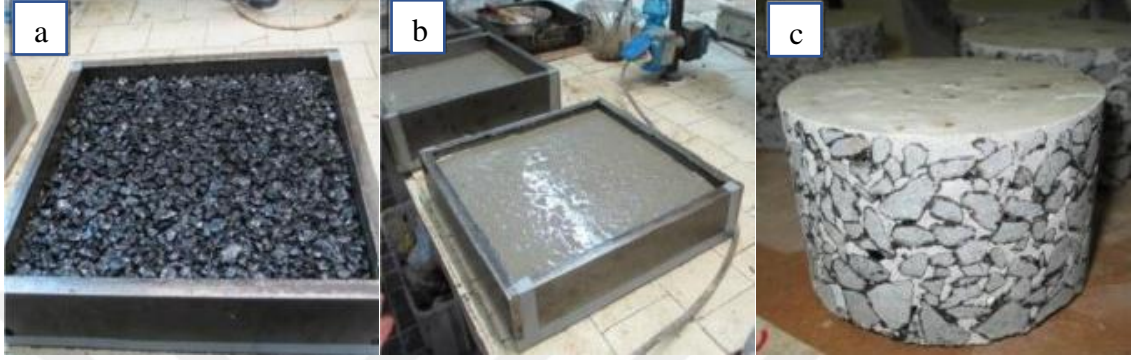
Çizelge 2.1. YRK özelliklerinin diğer üstyapı tipleriyle karşılaştırılması.....	4
Çizelge 2.2. Poroz asfalt karışımları için sıkıştırma seviyeleri.....	10
Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri.....	13
Çizelge 3.2. Çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri.....	13
Çizelge 3.3. Süper akışkanlaştırıcının özellikleri	14
Çizelge 3.4. Lateksin özellikleri	14
Çizelge 3.5. Priz hızlandırıcının özellikleri	15
Çizelge 3.6. Priz geciktiricinin özellikleri	16
Çizelge 3.7. Agregaya uygulanan deneylerin amaç ve standartları.....	17
Çizelge 3.8. Fiberin teknik özellikleri.....	18
Çizelge 3.9. Aşınma sınıfları	23
Çizelge 3.10. Yassılık indeksi deneyinde kullanılan elek açıklıkları ve agrega miktarları	25
Çizelge 3.11. AÇH numunelerinin kodları ve karışım oranları.....	35
Çizelge 3.12. AÇH içerisinde kullanılan agreganın gradasyonu	36
Çizelge 3.13. Poroz asfaltın gradasyonu.....	45
Çizelge 3.14. Poroz asfaltın özellikleri	46
Çizelge 4.1. Agregalara uygulanan deneylerin sonuçları	58
Çizelge 4.2. Bitüme uygulanan deneylerin sonuçları	59
Çizelge 4.3. A kodlu AÇH numunelerinin VIKOR yöntemine göre sıralaması.....	64
Çizelge 4.4. L kodlu AÇH numunelerin VIKOR yöntemiyle sıralaması	69
Çizelge 4.5. H kodlu AÇH numunelerinin 12 saatlik basınç ve eğilme değerleri.....	70
Çizelge 4.6. H kodlu AÇH numunelerin VIKOR yöntemiyle sıralaması.....	74
Çizelge 4.7. AÇH numunelerin VIKOR yöntemiyle sıralaması.....	78
Çizelge 4.8. YRK numunelerinin Marshall stabilite ve akma değerleri.....	79
Çizelge 4.9. YRK numunelerinin basınç dayanımı değerleri	81
Çizelge 4.10. YRK numunelerinin indirekt çekme mukavemeti ve oranları.....	82
Çizelge 4.11. YRK numunelerinin düşey ve yatay permeabilite değerleri.....	84
Çizelge 4.12. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin sonuçları	85

1. GİRİŞ

Türkiye’de karayollarında mevcut yol üstyapılarında ve yeni yapılan imalatlarda genellikle bitümlü sıcak karışım (BSK) kullanılmaktadır. BSK yapım süresinin kısalığı, imalat kolaylığı ve sürüş konforu yönleriyle tercih edilmektedir (Setyawan 2013) ancak uzun süreli kullanımda sıklıkla tadilat yapılması ve/veya yeniden inşa edilmesi gereklidir. Özellikle sıcaklık ve tekrarlı trafik yükü (Wang ve Zhong 2019) sebebiyle oluşan bu durum yolun işletme maliyetini arttırmakla birlikte sürücülerin zaman kaybına da neden olmaktadır (Hernando ve del Val 2016). BSK, içeriğindeki bitüm nedeniyle viskoelastik bir malzeme olduğu için mekanik özellikleri sıcaklığa göre değişmektedir. Yüksek sıcaklıklarda daha çok viskoz bir akışkan gibi, düşük sıcaklıklarda ise elastik bir katı olarak davranır (Diefenderfer 2002). Özellikle sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu bölgelerde, BSK’nin dayanımı belli bir oranın üzerine çıkamamaktadır. Bu durum, yol üstyapısının deforme olmasına sebebiyet vermekle birlikte yolun emniyetini azaltmakta ve kazaların yaşanma riskini arttırmaktadır. BSK’nin bir diğer dezavantajı ise siyah renge sahip olmasıdır. Bu sebeple BSK’nin albedo değeri neredeyse sıfırdır. Bu nedenden dolayı BSK, örneğin hava sıcaklığının 40 °C olduğu bir günde ısıyı fazlaca soğurmakta ve kaplama yüzeyinin sıcaklığı yaklaşık 70~71°C’lere ulaşabilmektedir (Chen vd. 2009). Bu durum sadece kaplamanın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemekle kalmayıp aynı zamanda kentleşmenin en belirgin iklimsel göstergesi olan kentsel ısı adası oluşumunu da etkilemektedir (Satoru ve Masayoshi 2016; Şevik 2016). Kentsel ısı adaları, şehirlerde yaşayan insanların günlük yaşam kalitesini ve şehirlerin sürdürülebilir kalkınmasını ciddi şekilde etkilemektedir (Guo vd. 2020). Günümüzde doğal kaynakların sınırlı olması, hayatımızın her alanında sürdürülebilirliğe yönelimi gerekli kılmaktadır. Ancak BSK’nin kısa sürelerde tekrar imal edilmesi gerekliliği ve yaz aylarında ısıyı soğurarak iklimlendirme için daha fazla enerji ve doğal kaynak ihtiyacı yaratması sürdürülebilirlik ilkelerine ters düşmektedir. Bahsedilen olumsuz sebepler dolayısıyla, BSK yerine farklı bir üstyapı tipinin kullanılmasının hem sürdürülebilirlik hem de işletme maliyetlerinin azaltılması hususlarında stratejik hedefler içerdiği öngörülmektedir.

Dünya genelinde kabul gören üç üstyapı tipi bulunmaktadır. Bunlar esnek, rijit ve yarı rijit kaplamalardır. Ülkemizde ise esnek üstyapı, yaygın üstyapı tipi olarak öne çıkmaktadır. Rijit üstyapı tipine ait deneme yolları uygulanmıştır ancak bu uygulama henüz yaygınlık kazanmamıştır. Yarı rijit kaplama (YRK) imalatı ise ülkemizde bulunmamaktadır. YRK’ler ile esnek ve rijit kaplamaların pozitif yönlerini içinde barındıran kompozit bir yapı elde edilerek sıcaklığa ve deformasyonlara karşı daha dayanıklı bir yol üstyapısı tasarlanabilmektedir. Yarı rijit kaplama literatürde, “yarı esnek kaplama” (Cai vd. 2019), “grouted macadam” (Hou vd. 2016) ve “combi-layer” (van de Ven ve Molenaar 2004) isimleriyle adlandırılmaktadır.

YRK imalatı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, boşluk oranı %20-35 olan poroz asfalt hazırlanmaktadır. İkinci aşamada ise poroz asfaltın boşlukları akışkan bir çimento harcı ya da çimento hamuru ile doldurulmaktadır. Hazırlanan YRK numunesinin uygun şartlar altında kürlenmesiyle imalat tamamlanmaktadır (Hassani vd. 2020). Bu doğrultuda, bahsedilen YRK imalat adımları Şekil 1.1’de gösterilmiştir (Hassani vd. 2020).



Şekil 1.1. Yarı rijit kaplama imalatının aşamaları, **a)** PA'nın yapılması; **b)** Akışkan harcın PA'nın içerisine dökülmesi; **c)** Kürlenme süresi sonrasında karot makinesi ile alınmış YRK numunesi

Yurtdışında kullanımı yaygın olan bu üstyapı kaplama tipinde, poroz asfaltın boşluk oranı artırılarak boşlukların içerisine dayanımı daha yüksek, akışkanlık değeri daha düşük olan çimento harcı doldurulabilmektedir (Ding vd. 2011). Bu husus, YRK'nin rijitlik değerini arttırarak özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu bölgelerdeki tekerlek izi bozulmasına karşı direnci de arttırmaktadır. Akışkan çimento harcının içeriğine eklenen kimyasal katkıları yardımıyla da kaplamaya ait performanslar iyileştirilmektedir.

Bu tezin amacı, YRK'nin bir parçası olan çimento harcının poroz asfalt içine nüfuz edebilecek akışkanlığa, ağır taşıt trafiğine dayanımını sağlayacak mukavemet değerlerine ve özellikle gece ile gündüz arasında oluşan sıcaklık farkı nedeni ile meydana gelen büzülme miktarını sınır şartları içerisinde sağlayan erken dayanım özelliğine sahip harcın tasarımının yapılmasıdır. Bu çalışmada süper akışkanlaştırıcı çimento harcı baz alınarak, bu çimento harcında lateks (aderans arttırıcı), priz hızlandırıcı ve priz geciktirici kimyasal katkılarının farklı oranlarda kullanılması ile çimento harcında meydana gelen performans değişimi incelenmiştir.

Bu tez çalışması ile ülkemizde henüz denenmemiş olan bu üstyapı kaplama tipinde, poroz asfaltın boşluklarını doldurmak için yerel agrega ve çimento ürünleri kullanılarak uygun maliyetli bir harç dizaynının yapılması hedeflenmiştir. Akışkan çimento harcının içerisinde kullanılacak kimyasal katkıları yardımıyla YRK'nin performansının iyileştirilmesi ve harcın erken dayanım değerlerinin arttırılarak YRK'nin trafiğe açılma süresinin kısaltılması hedeflenen bir diğer husustur. Ülkemizde YRK çalışmalarında akışkan çimento harcın içeriğinde sadece süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır, yapılan bu tez çalışmasında ise lateks, priz hızlandırıcı ve priz geciktirici kimyasal katkılarının üstyapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu durum çalışmanın özgün değerini yansıtmaktadır.

Yapılan tez çalışmasının ana hatları şu şekilde belirtilebilir. İkinci bölümde, YRK ile ilgili genel ve kimyasal katkıların, harç ve kaplamaya etkileri üzerine literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, YRK yapımında kullanılan agrega ve bitüm deneyleri anlatılmıştır. Ayrıca çimento ve kimyasal katkıların özellikleri belirtilmiştir. Çimento harcının, poroz asfaltın ve YRK'nin performansının belirlenmesinde kriter olan deneyler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, tez çalışmasında yapılan deneylerin sonucu ve elde edilen bulgular incelenmiştir. Ayrıca elde edilen bulgu ve sonuçlar üzerinde değerlendirmeler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise tez çalışmasında ortaya çıkan sonuç ve önerilerden bahsedilmiştir.



2. KAYNAK TARAMASI

YRK, asfalt kaplamaların esneklik özelliğine ve beton kaplamaların yüksek sertlik mukavemetine sahip bir kaplama teknolojisidir (Hassani vd. 2020). Bu özelliği ile YRK'nin geleneksel asfalt kaplamalara iyi bir alternatif olacağı düşünülmektedir. YRK, daha yüksek mukavemet, dayanıklılık ve kimyasal direnç gerektiren kaplama alanları için bir çözüm sunmaktadır (Koting vd. 2014). YRK, özellikle kavşak dönüş, benzin istasyonu, otopark, otobüs istasyonu, havaalanı pistleri gibi ağır ve yavaş hareket eden yüklere maruz kalan alanlarda kullanım için daha uygundur (Pratelli vd. 2018; Wang vd. 2018). (Wu ve Zhang 2011), yaptıkları çalışmada Singapur'da hem havaalanı park apronları hem de yol kavşakları için yaygın olarak kullanılan YRK tasarlamışlardır. Bu çalışmaya göre esnek kaplama, rijit kaplama ve YRK'nin özellikleri Tablo 1'de karşılaştırılmıştır. YRK'nin özellikleri, Çizelge 2.1'de de görüleceği gibi esnek ve rijit kaplama tiplerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Wu ve Zhang 2011).

Çizelge 2.1. YRK özelliklerinin diğer üstyapı tipleriyle karşılaştırılması

Özellikler	Esnek Kaplama	Rijit Kaplama	Yarı Rijit Kaplama
Tekerlek izi karşısında dayanım	Zayıf	İyi	İyi
Kayma direnci	İyi	Zayıf	İyi
Yağ, benzin gibi kimyasal malzemelere karşı dayanımı	Zayıf	İyi	İyi
Nem hasarına karşı direnci	Zayıf	İyi	İyi
Bakım ve tamir	Kolay	Zor	Kolay
Ömür süresi	Az	Uzun	Uzun
Genleşme derzi	Gerekli değil	Gerekli	Gerekli değil
İnşası ve trafiğe açılması	Saatler içinde	0.5-3 ay	24 saat içinde
İnşaat ve bakım masrafı	İnşaat masrafı: Düşük	İnşaat masrafı: Yüksek	İnşaat masrafı: Düşük
	Bakım masrafı: Yüksek	Bakım masrafı: Düşük	Bakım masrafı: Düşük

2.1. Yarı Rijit Kaplamanın İmalatı

YRK iki aşamada imal edilmektedir. İlk olarak PA serilir ve PA soğuduktan sonra AÇH poroz asfaltın boşluklarına dökülür. PA, literatürde açık gradasyonlu matris asfalt karışımı, Permeable European mix (Geçirgen Avrupa karışımı), Open Graded or Permeable Friction Course mixture (Açık Dereceli veya Geçirgen Sürtünme Kursu karışımı) ve Porous Friction Course (Gözenekli Sürtünme Kursu) olarak da isimlendirilmektedir (Taghipoor vd. 2021). PA'nın genel olarak %20-35 arasında boşluk içeriğine sahip olması gerekmektedir (Cihackova vd. 2015; Oliveira vd. 2009). Bu boşluk oranının elde edilmesindeki en önemli etkenler ise agrega gradasyonu ve optimum bitüm içeriğidir (OBİ). OBİ'nin belirlenmesi için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilkinde OBİ'nin belirlenmesi için agrega özellikleri baz alınırken (Anderton 2000) diğer bir yöntemde ise Cantabro ve bitüm süzülmesi (tel sepeti deneyi) sonuçları baz alınmaktadır (Hassani vd. 2020). Uygun agrega gradasyonu ve OBİ belirlendikten sonra PA plentte hazırlanır, finişerle serilir ve 3 tonluk çelik bandajlı bir silindir ile titreşimsiz bir şekilde sıkıştırılarak imal edilir (Anderton ve Ahlrich 1994). PA imalatının adımları Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Bharath vd. 2020).



Şekil 2.1. PA imalat adımları, **a)** PA'nın finişer ile serilmesi; **b)** PA'nın silindir ile sıkıştırılması

İkinci aşamada ise sıkıştırma işlemi gerçekleştirildikten sonra AÇH'nin dökülmesi için PA'nın yüzey sıcaklığının 50-60 °C'lere düşmesi gerekmektedir (Wu ve Zhang 2011). AÇH, PA yüzeyine dökülmeden önce akışkanlık hunisi ile akış süresinin test edilmesi gerekmektedir.

PA yüzeyine su ile iyice karıştırılmış gerekli miktarda AÇH dökülür ve kaplamanın tüm yüzeyine eşit olarak yayılır. Yüzeyde görülen fazla AÇH sıyırılır ve AÇH ile dolmamış hava boşlukları tekrar AÇH ile doldurulur. AÇH, 1 gün boyunca priz almaya bırakılır ve 1 günden sonra YRK, 3 gün boyunca su serpilerek kürlenir (Bharath vd. 2020). YRK'nin imal edilmesinden sonra kaplama yüzeyinin pürüzlülüğü kontrol edilmelidir. Yeterli kayma direncine sahip olmayan yüzeylerde pürüzlendirme işlemi yapılmalıdır. Pürüzlendirme işlemi için shot-blasting (yüzeyin demir bilyelerle

aşındırılması) vb. yöntemler kullanılmaktadır (Oliveira 2006). YRK imalatının kalan adımları Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Bharath vd. 2020).



Şekil 2.2. a) AÇH'nin PA yüzeyine dökülmesi; b) Tamamlanmış YRK yüzeyi

2.2. Türkiye’de Yarı Rijit Kaplama ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Ülkemiz de YRK ile ilgili çalışmaların oldukça kısıtlı olduğu literatürün incelenmesi ile anlaşılmıştır. İncelenen çalışmalardan birincisi Nazary’nin tez çalışmasıdır. Nazary (2019) yaptığı çalışmada, farklı su/çimento oranlarıyla iki farklı süper akışkanlaştırıcı kullanarak AÇH kombinasyonları oluşturmuştur. AÇH kombinasyonları oluşturulurken buna ilaveten agrega yerine değişik oranlarda uçucu kül, mermer atık tozu ve seramik atık tozu ikame etmiştir. Her bir kombinasyon için işlenebilirlik ve mukavemet testleri gerçekleştirilerek AÇH’lerin özelliklerini belirlemiştir. Bu testlerin sonucunda en uygun kombinasyonu seçerek bu harç ile PA’nın boşluklarını doldurmuş ve YRK numunelerini oluşturmuştur. Yapılan testlere göre süper akışkanlaştırıcı seçiminin YRK’nin uygulanabilmesi ve başarılı olması açısından önemli olduğunu belirtmiştir. Ayrıca AÇH içerisinde uçucu kül kullanılması ile harcın kuruma büzülmesi değerlerinin önemli derecede azaldığı anlaşılmıştır. YRK numunelerine yaptığı deneyler sonucunda ise YRK’nin BSK’ye kıyasla dayanıklılığının ve yük taşıma kapasitesinin daha üstün olduğunu belirtmiştir.

Masbah (2019) yaptığı çalışmada, %30 boşluklu PA karışımı tasarlamıştır. PA’yı hazırlarken bitümün süzülmesini engellemek için fiber ve modifiye katkı maddelerini denemiştir. Fiberle hazırlanan PA’nın boşluğu artmışken, modifiye katkıyla hazırlanan PA’nın boşluğunun azaldığı görülmüştür. YRK’nin özelliklerini belirlemek için YRK numunelerine Marshall stabilite, indirekt çekme dayanımı, basınç dayanımı ve Cantabro deneylerini uygulamıştır. Bu testlerin sonucuna göre YRK’nin stabilitesinin, BSK stabilitesinin 4 katı olduğunu belirtmiştir.

2.3. Lateks Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Luo vd. (2020) yaptıkları çalışmada, lateks modifiyeli harç ile oluşturulan YRK'nin performansını incelemişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucuna göre harca lateks eklemenin 7 günlük eğilme mukavemeti değerini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve harcın akışkanlık süresinde önemli bir değişimin gözlemlenmediğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda lateks katkısı ile oluşturulmuş YRK'nin nem duyarlılığının ve düşük sıcaklık performansının kabul edilebilir seviyede olduğu anlaşılmıştır.

Fang vd. (2016) tarafından hazırlanan “Yarı rijit kaplama için çimento hamuru formülasyonu ve dayanım mekanizması üzerine laboratuvar çalışması” adlı çalışmada optimum su-çimento oranı 0.6, polikarboksil bazlı süper akışkanlaştırıcı katkı çimento ağırlığının %1'i ve stiren bütadien kauçuk lateks katkı maddesini ise çimento ağırlığının %2'si dozajında kullanılmasını önermişlerdir. Kullanılan lateks, çimento hamurunun stabilitesini iyileştirirken aynı zamanda çimento hamurunun esnekliğini de arttırmıştır. Böylece YRK'deki çatlakların azaldığı görülmüştür.

Wang vd. (2018) yaptıkları çalışmada çimento harcına karboksil lateksin eklenmesi ile YRK'nin performansındaki değişimleri incelemişlerdir. Geliştirilen çimento harcına akışkanlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kuruma büzülmesi testleri uygulanmıştır. Buna göre karboksil lateksin eklenmesi ile YRK'nin tekerlek izi derinliğinin %30 veya daha fazla azaldığı, dinamik stabilitenin %40'tan fazla arttığı, gerinim enerjisi yoğunluğunun 1.6 kat arttığı ve donma-çözülme koşullarında yarmada çekme dayanımının da %93'ün üzerinde arttığı görülmüştür.

Zhong vd. (2020) yaptıkları çalışmada üç farklı oranda lateks katkısı kullanarak, lateks katkılı AÇH üretmişlerdir. Bu çimento harçlarının akışkanlığı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı ölçülerek optimum lateks içerikli çimento harcı belirlenmiştir. Optimum lateks katkısı içerikli çimento harcı ile YRK üretmişlerdir. Lateks katkılı çimento harcı ile üretilen YRK'nin çimento harcı ile poroz asfaltın ara yüzey performansını incelemişlerdir. Yapılan testlerin sonuçlarına göre lateks katkılı çimento harcı ile hazırlanan YRK'nin, katkısız çimento harcı ile hazırlanan YRK'ye göre yapışma mukavemetinin ortalama %34.3 artarken kesme mukavemetinin de %20.6 oranında arttığı görülmüştür.

Zhang vd. (2021) yaptıkları çalışmada PA boşluklarını doldurmak için toz malzemeler, alkali ve aktivatör kombinasyonu ile yeni bir dolgu harcı türü olarak geopolimer dolgu malzemesi tasarlamışlardır. Geopolimer dolgu malzemesi içerisinde polimer lateks, su azaltıcı katkı ve büzülme azaltıcı katkı olmak üzere üç tip katkı maddesi kullanılmıştır. Yanıt yüzey metodu kullanılarak üç bağımsız bileşenin (toz kalite oranı, sodyum oksit içeriği ve su-bağlayıcı oranı) ve bunların dört tepki değişkeni (akışkanlık, 7 gün kuru büzülme oranı, 7 gün basınç dayanımı ve 28 gün basınç dayanımı) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu incelemenin sonucuna göre optimal koşul belirlenmiş ve önerilen sodyum oksit içeriği, toz kalite oranı (kömür külü/mineral cürufu) ve su-bağlayıcı oranı değerleri sırasıyla %5, 0.6 ve 0.45'tir. Katkı maddelerinin optimal karışım oranının bulunması için ise ortogonal test tasarım yöntemi kullanılmış ve elde edilen sonuçlara göre su azaltıcı, büzülme azaltıcı katkı ve polimer lateksinin dozajı sırasıyla %1, %1 ve %1'dir.

Lateks katkısı YRK için yapılan çalışmalarda harç içerisinde kullanılırken, BSK tipi üstyapılarda bitüm katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Buna göre, Abedini vd. (2017) yaptıkları çalışmada, sathi kaplama uygulamasında kullanılan polimer modifiye bitüm emülsiyonunu içerisinde stiren bütadien kauçuk tipi lateks kullanmışlardır. Buna göre lateks kullanımı ile bitümün, penetrasyon indeksinin ve yumuşama noktasının geliştirdiğini göstermişlerdir. Ayrıca, bitüm emülsiyonunda lateks içeriğindeki bir artışın, agrega tutulmasını arttırdığı ve bu etkinin düşük sıcaklıklarda daha belirgin olduğu görülmüştür.

2.4. Yarı Rijit Kaplama ile İlgili Genel Çalışmalar

Bang vd. (2017) yaptıkları çalışmada, ultra hızlı sertleşen çimento ile hazırladıkları çimento hamuru içerisinde priz hızlandırıcı ve priz geciktirici kimyasal katkılarını kullanmışlardır. %18~22 aralığında boşluğa sahip bir PA tasarlamışlardır. Bu PA ve çimento hamurları ile YRK imal etmişlerdir. YRK'nin performansını ölçmek için ise gözeneklilik, eğilme mukavemeti, Marshall stabilitesi ve tekerlek izi direnci gibi özellikleri ölçmüşlerdir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre çimento harcının akış süresinin, poroz asfaltın sabit koşulu altında YRK numunelerinin mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktör olduğu görülmüştür. Ayrıca PA'nın boşluk oranını %20 ve çimento hamurunun akış süresini ise 12 sn. olarak tavsiye etmişlerdir.

Saboo vd. (2019), yaptıkları çalışmada, YRK'nin unsuru olan çimento harç bileşenlerinin optimal oranını elde etmek için matematiksel bir yaklaşım önermişlerdir. Araştırmacılar, çalışmalar süresince üç farklı su-çimento oranı, üç kum boyutu, bir kum-çimento oranı, dört/beş farklı yüzdelerde süper akışkanlaştırıcı ve iki farklı tip süper akışkanlaştırıcı kullanarak çimento harçları hazırlamışlardır. Çimento harçlarını akışkanlık ve dayanım açısından test etmişlerdir. Matematiksel yaklaşımı doğrulamak için laboratuvar deneylerinin sonuçlarını kullanmışlardır. Buna göre matematiksel yaklaşımın optimum harcın belirlenmesinde %95 doğruluk payıyla çalıştığı belirlenmiştir. Ayrıca deney sonuçlarına göre harcın istenen akış süresinin elde edilmesi için, en az %2 naftalin süper akışkanlaştırıcı ve %1 polikarboksilat süper akışkanlaştırıcının gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Buna ilaveten akış süresi ve basınç dayanımının kullanılan süper akışkanlaştırıcı tipi ile ilişkili olduğu da bulunmuştur.

Zhang vd. (2016), yaptıkları çalışmada, YRK için derz dolgu maddesi olarak çimento hamuru ve çimento harcının kullanılmasının etkilerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma kriterleri olarak akışkanlık, eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve kuruma büzülmesi parametreleri kullanılmıştır. Bu analizler doğrultusunda çimento hamuru ve çimento harcı için en uygun formülasyonlar belirlenmiştir. Bu kriterlere etki eden faktörleri ve bu faktörlerin karışımların performanslarının üzerinde oluşturduğu etkilerin sıralaması verilmiştir. Çimento hamuru ile çimento harcı arasındaki akışkanlık, mukavemet ve kuruma büzülmesinin karşılaştırılmasıyla, önerilen karışım oran aralığında hem çimento hamuru hem de çimento harcının teknik gereklilikleri karşılayabileceği sonucuna varılmıştır. Çimento hamurunun akışkanlık ve dayanımda belirgin avantajlara sahip olduğu, çimento harcının da daha düşük kuruma büzülmesi

özelliklerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Çimento harcıyla karşılaştırıldığında, çimento hamuru genel olarak daha iyi bir performansla sahiptir ve bu nedenle YRK için tavsiye edilen çimento hamurunun formülasyonu; su-çimento oranı 0.58, uçucu kül içeriği %10 ve mineral içeriği %10 dur.

Pei vd. (2016) tarafından hazırlanan deneysel çalışmada, YRK için dolgu malzemesi olarak farklı tip ve dozajlarda katkı maddeleri ile hazırlanmış yüksek performanslı çimento hamurunun bileşim tasarımı ve performans doğrulamasını sunmuşlardır. Bu çalışmada polikarboksilat süper akışkanlaştırıcı, genleştirici katkı ve hava sürükleyici katkıları kullanılmıştır. Bu katkıları ile hazırlanan yüksek performanslı çimento hamurunun optimum içeriğini bulabilmek için akışkanlık, mukavemet, kuruma büzülmesi ve enjeksiyon kabiliyeti özellikleri baz alınmıştır. Çalışmada önerilen su-çimento oranı, polikarboksilat süper akışkanlaştırıcı içeriği, hava sürükleyici katkı içeriği ve genişleme katkı içeriği sırasıyla %0.55-0.57, %0.5-1.0, %0.008 ve %10'dur.

Wang vd. (2018) yaptıkları çalışmada, dört farklı hava boşluğuna sahip PA hazırlayarak bu PA'ları farklı dozajlarda çimento harcı ile birleştirmişlerdir. Çimento harcının büzülme şekil değiştirmesini, genişleme şekil değiştirmesini ve PA yapısının dolaylı çekme mukavemetini ölçmüşlerdir. Çıkan sonuçları bir sayısal simülasyon programına girmişlerdir. Simülasyonun sonuçlarına göre, YRK'deki iç gerilmenin genişmeden ziyade esas olarak çimento harcının büzülmesine bağlı olduğu, daha yüksek hava boşluklu PA ve daha az çimento harcı ile oluşturulan YRK'de iç gerilimin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, PA'nın hava boşluğu belirlendikten sonra, çimento harcının hem maksimum büzülmesinin hem de genişleme deformasyonlarının, daha az iç çatılmanın oluşması için gereksinimleri sağlaması gerektiğini belirtmişlerdir.

Spadoni vd. (2022) yaptıkları çalışmanın amacını, sahada ve laboratuvarında üretilen YRK karışımlarının sertlik, yorulma direnci ve çatlak yayılma direncini karşılaştırmak olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre, harcın sertleştirici katkısının özellikle yüksek deformasyon seviyelerinde yorulma ömrünü iyileştirdiği görülmüştür. Ancak bitümün yaşlanmasıyla PA iskeletinin sertleştiği ve dolayısıyla YRK karışımının gevrek bir davranış sergileyebildiği görülmüştür.

Davoodi vd. (2021) yaptıkları çalışmada, çimento harcının gözenekli asfalt betonuna göre sertliğini yaklaşık olarak belirlemek ve ısı çatlama azaltmak amacıyla kauçuk tozu kullanmışlardır. Kauçuk tozunun basınç ve eğilme mukavemeti üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için ise Nano silika kullanılmıştır. Bu katkı maddelerinin harc karışımının davranışı üzerindeki etkilerini anlamak için mekanik testler ve taramalı elektron mikroskobu ile araştırmalar yapılmıştır. Buna göre optimum harc içeriğinin %1 Nano silika ve %5 kauçuk tozu içermesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kullanılan Nano silika sayesinde, kauçuk harcın basınç dayanımında %56.2'lik bir artış görülmüştür. Mikro yapının taramalı elektron mikroskobu görüntüleriyle, Nano silika içeren kauçuk harçların yoğunluğunda bir artış ve mikro çatlaklarda azalma olduğu görülmüştür.

Ding vd. (2011), yapmış oldukları çalışmada, YRK'nin performansını PA karışımının hacim parametreleri açısından analiz etmişlerdir. Buna göre PA karışımının hacim parametresinin, YRK malzemesinin performansında çok önemli bir rol oynadığını belirlemişlerdir. Ayrıca hava boşluğunun artmasıyla hem mekanik performansların hem de üstyapı performansının iyileştiğini görmüşlerdir. YRK tasarlanırken, öncelikle homojen dereceli yüksek hava boşluğunun dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Buna ilaveten YRK'nin yüksek sıcaklık stabilitesinin ve düşük sıcaklık stabilitesinin BSK'den daha iyi olduğunu bulmuşlardır.

Gong vd. (2022), yaptıkları çalışmada, üç farklı agrega gradasyonu ve üç farklı sıkıştırma seviyesi ile üretilen PA numunelerinin hacimsel özelliklerini karakterize etmişlerdir. Yapılan değerlendirmeyle, agrega gradasyonu tipinin, YRK'nin üstyapı performansı üzerinde sıkıştırma seviyesinden daha önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda %19'dan daha düşük hava boşluğuna sahip PA'da, bağlı boşlukların hacmi ile üretilen YRK numunelerinin, her yönden başarılı bir üstyapı performansı sergilediği görülmüştür. Ayrıca çalışmada Marshall vuruşu ile dikdörtgen kalıplarda kullanılan silindir pas sayısı arasındaki ilişki Çizelge 2.2'deki gibi gösterilmiştir (Gong vd. 2022).

Çizelge 2.2. Poroz asfalt karışımları için sıkıştırma seviyeleri

Sıkıştırma seviyesi	Numune türleri	
	Silindirik Numuneler	Dikdörtgen Kalıp Numuneleri
Seviye 1	50 vuruş	8 yuvarlanma döngüsü (pas)
Seviye 2	75 vuruş	12 yuvarlanma döngüsü (pas)
Seviye 3	100 vuruş	16 yuvarlanma döngüsü (pas)

Zhao ve Yang (2022), yaptıkları çalışmada beş farklı gradasyon tipiyle hazırladıkları PA iskeletleri ile YRK'ler oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu YRK'lerin, hacim stabilitesi, mezoyapı özellikleri, yüksek sıcaklık performansı, düşük sıcaklık performansı, su stabilitesi ve mukavemet özellikleri test edilmiştir. Buna göre, düşük hava boşluğu ve dağınık hava boşluğuna sahip sürekli dereceli PA iskeletinin daha iyi hacim stabilitesine ve yüksek sıcaklık performansına sahip olduğu bulunmuştur. Tek parçacık boyutundaki dereceli PA iskeleti tarafından oluşturulan YRK'nin, daha iyi yüksek sıcaklık ve su stabilitesine sahip olduğu anlaşılmıştır. Sürekli derecelendirmeli PA iskeletli YRK'nin düşük sıcaklıktaki çatlak direncinin, diğer PA iskeletleri ile oluşturulan YRK'lerden daha iyi olduğu görülmüştür.

Higashiyama vd. (2016) yaptıkları çalışmada, YRK'nin içinde kullanılan harcı zeolit, uçucu kül, seramik atıklarını kullanarak ayrı ayrı üretmişlerdir. Kaplamının 5 mm derinliğinde gömülü ve 1.5 m yüzeyin üstünde bulunan T-tipi termokupllar ile sıcaklık

ölçümleri yapmışlardır. Bu ölçümler sonucunda içeriğinde zeolit bulunan harç ile imal edilmiş YRK'nin yüzey sıcaklığı, BSK'nin yüzey sıcaklığından 20 °C daha az olarak belirlenmiştir. Bu duruma zeolitin su tutma özelliği ve kremi renginin neden olduğu belirtilmiştir.

Toraldo (2013), yaptığı çalışmada tünellerdeki yol güvenliğini araştırmak için kaplamalar üzerinde meydana gelen sıcaklığa bağlı bozulmaları incelemiştir. Bu kapsamda BSK, rijit kaplama ve YRK üstyapı tiplerinin yangın karşısındaki davranışlarını karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, BSK'nin en kötü performansı gösterdiği ve BSK'nin tünel uygulamaları için uygun olmayan bir üstyapı tipi olduğu anlaşılmıştır. Rijit kaplama, tünel yangın senaryosunda en iyi performansı gösterirken YRK, rijit kaplamaya kıyasla benzer veya daha iyi bir performans göstermiştir. Buna göre YRK'nin tünellerde üstyapı uygulaması için de uygun olduğu belirtilmiştir.

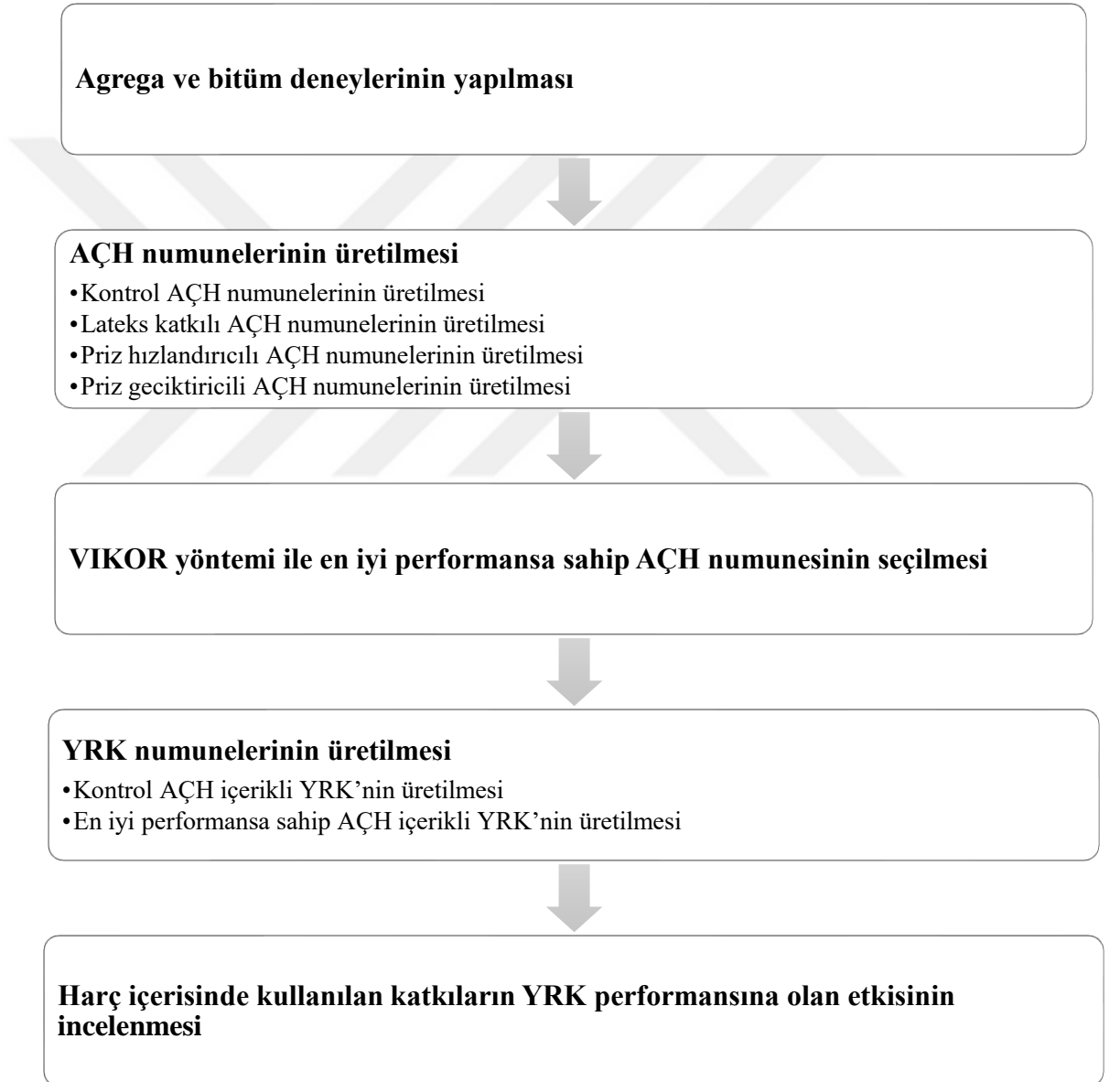
Anderton ve Ahlrich (1994) yaptıkları çalışmada rijit kaplamanın maliyetlerini YRK ile kıyaslamışlardır. Buna göre rijit kaplamaya alternatif olarak YRK'nin üstyapıda kullanılması ile %45 maliyet tasarrufu olduğu belirtilmiştir.

Anderton (2000) yaptığı çalışmada, 50 mm kalınlığındaki bir YRK'nin maliyetini BSK ile kıyaslamıştır. Buna göre YRK'nin yapım maliyetinin BSK'ye göre %50-80 daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Ancak bakım maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda YRK'nin hem BSK'ye hem de rijit kaplamaya göre maliyet tasarrufu sağladığını belirtmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasının bu bölümünde; AÇH, PA ve YRK üretiminde kullanılmış olan malzemeler ve bu malzemelerin özelliklerinden bahsedilerek Materyal bölümü açıklanmıştır. AÇH, PA ve YRK numunelerinin üretimi, karışım oranları ve bu numunelere uygulanan performans deneyleri ise çalışmanın Metot bölümünü oluşturmaktadır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar özet olarak Şekil 3.1'deki akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Akış diyagramı

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Tez çalışmasının tamamında AÇH ve YRK numunelerinin üretilmesi için Isparta ilinde faaliyet gösteren bir çimento fabrikasından temin edilen, TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen CEM I 42.5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimento ürününün bileşeni üretici firma tarafından, %95-%100 portland çimentosu klinkeri ve %0-%5 minör ilave bileşen olarak belirtilmiştir. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de, mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	Sonuçlar	TS EN 197-1'e göre gereklilikler	Analiz Metodu
Çözünmeyen Kalıntı, %	0.50	En çok 5	EN 196-2
Kızdırma Kaybı, %	3.13	En çok 5	EN 196-2
Cl, %	0.004	En çok 0,1	EN 196-2
SO, %	2.75	En çok 4	EN 196-2

Çizelge 3.2. Çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri

Mekanik ve Fiziksel Özellikler	Sonuçlar	TS EN 197-1'e göre gereklilikler	Analiz Metodu
Basınç Dayanımı 2 Günlük, N/mm ²	24.3	En az 20	EN 196-1
Basınç Dayanımı 28 Günlük, N/mm ²	50.1	42.5-62.5	EN 196-1
Priz Başlama Süresi, dakika	156	En az 60	EN 196-3
Genleşme, mm	0.46	En çok 10	EN 196-3

3.1.2. Süper akışkanlaştırıcı

Tez çalışması boyunca, AÇH ve YRK numunelerinin üretilmesinde polikarboksilat içerikli süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. AÇH'nin yeterli dayanım ve akışkanlık süresine sahip olması için harç içerisinde süper akışkanlaştırıcının kullanılması tercih edilmiştir. Kullanılan süper akışkanlaştırıcıya ait teknik özellikler üretici firma tarafından belirtilmiş ve Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Süper akışkanlaştırıcının özellikleri

Özellikler	Sonuçlar	Teknik Değerler	Analiz Metodu
Homojenlik	Homojen	Homojen	Gözle
Görünüm/Renk	Kahverengi	Kahverengi	Gözle
Yoğunluk, g/cm ³	1.1	1.05-1.13	ISO 758
pH değeri	4.5	4.0-6.0	ISO 4316
Katı madde miktarı, %	28.91	27.65-30.36	EN 480-8
Suda çözünebilir klorür, %	0.03	En çok 0.1	EN 480-10
Alkali miktarı, %	Uygun	En çok 5	EN 480-12

3.1.3. Lateks

AÇH ve YRK numunelerinin üretilmesinde Stiren Akrilik Emülsiyon içerikli lateks kullanılmıştır. Mükemmel yapışma, büzülmenin azaltılması, daha fazla elastikiyet ve su geçirimsizlik özellikleri sebebiyle çalışmada kullanılması uygun görülen lateksin AÇH tasarımına olan etkisi irdelenmiştir. Kullanılan latekse ait teknik özellikler üretici firma tarafından belirtilmiş olup, Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Lateksin özellikleri

Özellikler	Sonuçlar
Homojenlik	Homojen
Görünüm/Renk	Beyaz Likit
Yoğunluk, kg/l	1.02±0.01
pH değeri	6

3.1.4. Priz hızlandırıcı

Tez çalışmasında, AÇH ve YRK numunelerinin üretilmesinde organik ve inorganik maddelerin karışımıyla üretilen priz hızlandırıcı kullanılmıştır. Son dayanımı düşürmeden erken dayanımı arttırmak ve numuneleri kalıptan daha erken çıkarmak sebepleriyle kullanılan priz hızlandırıcı katkısıyla YRK'nin trafiğe daha erken açılması amaçlanmıştır. Kullanılan priz hızlandırıcıya ait teknik özellikler üretici firma tarafından belirtilmiş ve Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Priz hızlandırıcının özellikleri

Özellikler	Sonuçlar
Homojenlik	Homojen
Görünüm/Renk	Sarımsı berrak sıvı
Yoğunluk, kg/l	1.17±0.02
pH değeri	7-10
Donma Noktası, °C	-15 °C'de donmadı
Viskozite, cP	5.5
Suda çözünebilir klorür, %	En çok 0.1
Sodyum Oksit Eşdeğeri, %	En çok 12

3.1.5. Priz geciktirici

Deneyisel çalışmalarda, AÇH numunelerinin üretilmesinde modifiye edilmiş fosfat içerikli priz geciktirici kullanılmıştır. AÇH numunelerinin içerisinde priz geciktirici kullanımı ile taze haldeki priz hızlandırıcılı harçta oluşabilecek işlenebilirlik sorununun önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Kullanılan priz geciktiriciye ait teknik özellikler üretici firma tarafından belirtilmiş ve Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Priz geciktiricinin özellikleri

Özellikler	Sonuçlar
Homojenlik	Homojen
Görünüm/Renk	Sarımsı berrak sıvı
Yoğunluk, kg/l	1.19 – 1.22
pH değeri	6-10
Donma Noktası, °C	-3
Klorür iyon içeriği, %	En çok 0.1
Alkali miktarı, Sodyum Oksit Eşdeğeri, %	En çok 8.5

3.1.6. Agregat

Bu tezin deneysel çalışmalar aşamasında kullanılan iri ve ince agregalar, Antalya ili, Döşemealtı ilçesi, Çubuk Beli mevkiinde bulunan kalker ocağından temin edilmiştir. Temin edilen kalker agregasının AÇH ve YRK için kullanımında uygunluğunu belirlemek için özgül ağırlık ve su emme deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi deneyi, organik madde tayini deneyi, hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi, metilen mavisi deneyi ve soyulma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler ile kullanılan agregaların standart limitlerine uygunlukları KTŞ (2013)'e göre belirlenmiştir. Agregaya uygulanan deneylerin amaç ve standartları Çizelge 3.7'de belirtilmiştir.

**Şekil 3.2.** Gradasyonlarına göre ayrılmış agregalar

Çizelge 3.7. Agregaya uygulanan deneylerin amaç ve standartları

Deneyin Adı	Deneyin Amacı	Deneyin Standardı
Kaba agreganın özgül ağırlık ve su emme deneyi	Kaba agreganın birim hacimdeki ağırlığının bulunması	ASTM C127
İnce agreganın özgül ağırlık ve su emme deneyi	İnce agreganın birim hacimdeki ağırlığının bulunması	ASTM C128
Filler özgül ağırlık deneyi	Fillerin birim hacimdeki ağırlığının bulunması	BS 812
Aşınma deneyi	Agregaların aşınmaya karşı direncinin bulunması	ASTM C131
Yassılık indeksi deneyi	Agregaların yassılık endeksinin bulunması	BS 812
Soyulma deneyi	Bitüm ile agreganın yüzeyleri arasındaki bağın bulunması	TS EN 12697-11
Metilen mavisi deneyi	Agrega üzerindeki ince maddelerin miktarını belirlemektir	TS EN 933-9
Organik madde tayini	Agreganın zararlı maddeler içerip içermediğinin tespiti	TS EN 1744-1
Hava tesirlerine karşı dayanıklılık (MgSO ₄ ile kayıp)	Agreganın hava koşullarına karşı dayanıklılığının belirlenmesi	TS EN 1367-2

3.1.7. Bitüm

Bitüm, ham petrolün rafinerilerde damıtılması ile elde edilen, termoplastik yapıdaki bir bağlayıcıdır. Bu tez çalışmasında, B50/70 penetrasyon sınıfındaki bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitüm, Antalya ili, Muratpaşa Belediyesi Asfalt Üretim Tesisinden temin edilmiştir. Temin edilen bitümün özelliklerini ve teknik yeterliliklerini belirleyebilmek için penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, parlama noktası ve ince film halinde ısıtma kaybı deneyleri yapılmıştır.

3.1.8. Fiber

Bu tez çalışmasında, bitümün agregalar arasından süzülmesinin engellenmesi için selüloz tipi fiber kullanılmıştır. Selülozik fiber, bitümün agregaya tutunmasını sağlamaktadır. Kullanılan selülozik fiberin bileşeni üretici firma tarafından, %90 ARBOCEL® ZZ 8/1 ve %10 B50/70 penetrasyon sınıfı bitüm olarak belirtilmiştir. Şekil 3.3'te granül yapıda temin edilen fiberin işleminden geçirilerek PA karışımına eklenmeye hazır hale getirilmiş hali gösterilmiştir. Fiberin teknik özellikleri Çizelge 3.8'de belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Karışıma eklenmeye hazır hale getirilmiş fiber

Çizelge 3.8. Fiberin teknik özellikleri

Özellikler	Sonuçlar
Bileşim	Selülozik elyaf
Görünüm	Granül elyaf
Renk	Kahverengi
Palet çapı, mm	7
Yoğunluk, g/l	450
Ortalama lif uzunluğu, mm	2
Isıl dayanımı, °C	>250

3.2. Metot

3.2.1. Agregalara uygulanan deneyler

3.2.1.1. Kaba agreganın özgül ağırlık ve su emme deneyi

Özgül ağırlık, agreganın kütlesinin, agreganın parçacıklarının hacmine eşit bir su hacminin kütlesine oranıdır. Özgül ağırlık, birçok farklı hesaplamada asfalt ve beton karışımlarının oranlanmasında kullanılan agregaların temel bir özelliğidir. Özgül ağırlığın hesaplanmasında, kabaca suyun yer değiştirmesiyle ortaya çıkan hacim dikkate alınmaktadır. Kaba agreganın özgül ağırlık ve su emme deneyi ASTM C127 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deney kapsamında aşağıdaki adımlar takip edilmiştir;

İlk olarak 25-19 mm ve 19-12.5 mm boyutlarındaki agregalar yıkanmış ve 24 saat su içerisinde bekletilmiştir. Ardından, suda bekletilen agregalar sudan çıkartılmış ve bir havlu yardımıyla suya doygun kuru yüzey (SDKY) hale gelene kadar kurutulmuş (Şekil 3.4) ve ağırlığı ölçülmüştür. SDKY agregalar, tel sepet içine konulmuş ve 25 °C suya daldırılmıştır. Suyun içindeki agregaların ağırlığı ölçülmüştür. Sudan çıkartılan agregalar 110 °C'deki etüve yerleştirilmiş ve kuru hale gelene kadar en az 24 saat etüvde bekletilmiştir. Agregaların sabit ağırlığa geldiğini kontrol etmek için 15 dakika arayla ağırlık ölçümü tekrarlanmıştır. Son olarak, etüvden çıkartılan agregaların oda sıcaklığına gelmesi beklenmiş ve agreganın ağırlığı ölçülmüştür.



Şekil 3.4. Kaba agreganın SDKY hale getirilmesi

Kaba agreganın hacim özgül ağırlıkları ve su emme oranının hesaplanmasında aşağıda belirtilen denklemler kullanılmıştır.

$$\text{Hacim özgül ağırlığı} = \frac{A}{B - C} \quad (3.1)$$

$$\text{Yaş hacim özgül ağırlığı} = \frac{B}{B - C} \quad (3.2)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlığı} = \frac{A}{A - C} \quad (3.3)$$

$$\text{Su emme yüzdesi} = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (3.4)$$

Burada;

A: Kurutulmuş numunenin ağırlığı, g

B: SDKY numunenin ağırlığı, g

C: SDKY numunenin sudaki ağırlığı, g

3.2.1.2. İnce agrega özgül ağırlık ve su emme deneyi

İnce agrega özgül ağırlık deneyi yapılırken ASTM C 218 standartına uyulmuştur. İnce agrega özgül ağırlık deneyi için 4.75-2 mm, 2-0.18 mm ve 0.18-0.075 mm boyutlarındaki agregalar 200 No'lu elek üzerinde yıkanmış ve 24 saat boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Suyu doymun hale gelen agregayı SDKY hale getirmek için suyu süzölen agregalar bir tepsiye yayılmış ve sıcak hava yardımıyla karıştırılarak kurutulmuştur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. İnce agreganın SDKY hale getirilmesi

Agregaların SDKY hale geldiğini anlamak için Abraham konisi yönteminden yararlanılmıştır. Daha sonra deneyde kullanılan piknometrenin boş ağırlığı ölçülmüştür. Boş ağırlığı ölçülen piknometrenin içerisi suyla doldurulmuş ve tekrar ağırlığı ölçülmüştür. Boş piknometrenin içerisine yaklaşık 500 g SDKY haldeki agregadan konulmuş ve ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra agreganın seviyesinin üzerine çıkacak kadar piknometrenin içine su ilave edilmiş ve piknometrenin içerisindeki hava boşlukları çıkana kadar piknometre sallanmıştır. Piknometrenin içerisinde bulunan hava boşlukları çıkarıldıktan sonra piknometre su ile doldurulmuştur. Piknometre içerisindeki agrega 25 °C'ye ulaşana kadar su banyosunda bekletilmiş ve piknometrenin ağırlığı ölçülmüştür. Son aşamada ise piknometrenin içindeki sulu agrega tepsiye dökülmüş ve kuruması için 110 °C'de bulunan etüve konulmuştur. Etüvden çıkartılan agreganın oda sıcaklığına gelmesi için agrega desikatörde bekletilmiş ve soğuduktan sonra ağırlığı ölçülmüştür.

İnce agregaya ait özgül ağırlık ve su emme yüzdelerinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemlerden yararlanılmıştır.

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

$$\text{Yaş hacim özgül ağırlığı} = \frac{C - A}{B + C - A - D} \quad (3.6)$$

$$\text{Zahiri özgül ağırlığı} = \frac{E}{E - (D - B)} \quad (3.7)$$

$$\text{Su emme yüzdesi} = \frac{C - A - E}{A} \times 100 \quad (3.8)$$

Burada;

A: Piknometrenin ağırlığı, g

B: Su dolu piknometrenin ağırlığı, g

C: Piknometre ve SDKY haldeki numunenin ağırlığı, g

D: Agregaya ve su dolu piknometrenin ağırlığı, g

E: Kuru numunenin ağırlığı, g

3.2.1.3. Filler özgül ağırlık deneyi

Filler özgül ağırlık deneyi yapılırken BS 812 standartına uyulmuştur. Filler özgül ağırlık deneyi için ilk olarak 200 gram filler elenmiş, elenen filler etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan fillerin sıcaklığının oda sıcaklığına gelmesi için, malzeme desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra piknometrenin ağırlığı ölçülmüştür. Piknometre saf su ile doldurulmuş ve 25 °C'lik su banyosunda 60 dakika bekletildikten sonra su ile dolu

piknometrenin ağırlığı ölçülmüştür. Daha sonra kuru piknometrenin üçte biri filler ile doldurulmuş ve piknometrenin ağırlığı yeniden ölçülmüştür. İçinde filler olan piknometrenin yarısına kadar su doldurulmuş ve piknometrenin içerisinde bulunan hava kabarcıklarını çıkartmak için vakumlu desikatör kullanılmıştır. Son adımda içinde hava kabarcığı kalmayan piknometre su ile doldurulmuş ve 25 °C'lik su banyosunda 60 dakika bekletildikten sonra filler ve su ile dolu piknometrenin ağırlığı ölçülmüştür. Filler özgül ağırlığı hesabında takip edilen işlem adımları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Fillere ait zahiri özgül ağırlığının hesaplanması için Denklem 3.9 kullanılmıştır.

$$\text{Zahiri özgül ağırlığı} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \quad (3.9)$$

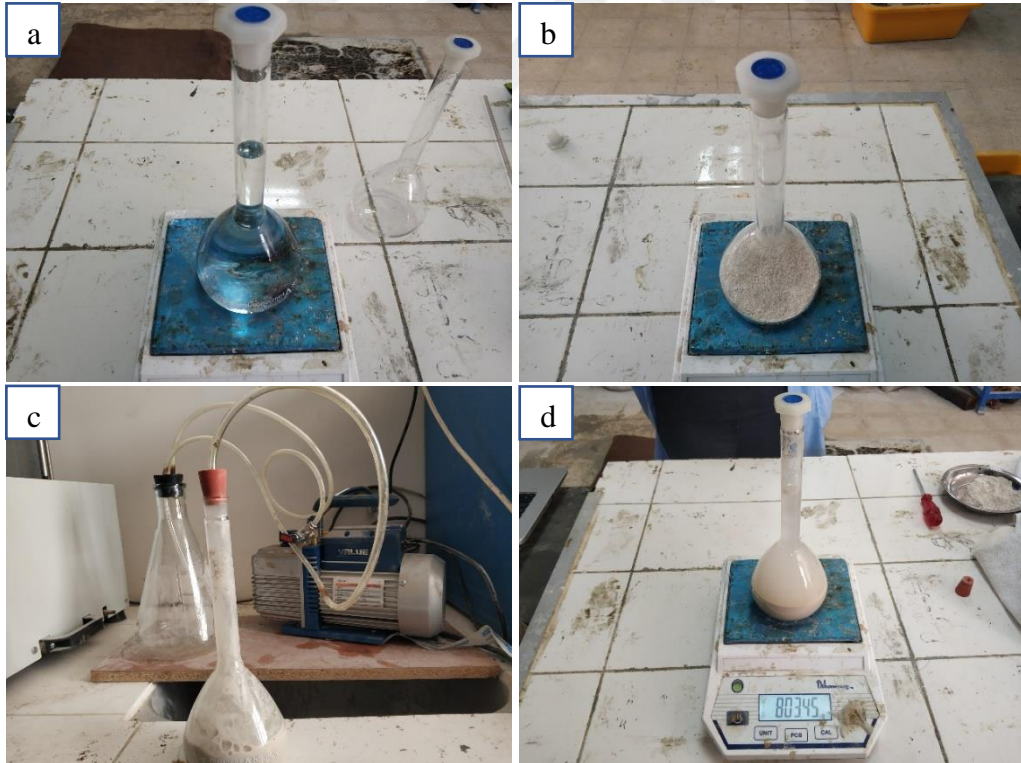
Burada;

A: Piknometrenin ağırlığı, g

B: Su dolu piknometrenin ağırlığı, g

C: Piknometre ve fillerin ağırlığı, g

D: Filler ve su dolu piknometrenin ağırlığı, g



Şekil 3.6. Filler özgül ağırlığı deneyinin adımları, **a)** Su ile dolu piknometre; **b)** Filler eklenmiş piknometre; **c)** Vakumlu desikatör ile havanın çıkartılması; **d)** Filler ve su ile dolu piknometre

3.2.1.4. Aşınma deneyi

Aşınma deneyi, Los Angeles aşınma cihazı kullanılarak ASTM C 131 standartına uygun olarak yapılmıştır. Bu kapsamda Çizelge 3.9 (Demirel vd. 1991) kullanılarak PA agrega gradasyonuna uygun olarak B aşınma sınıfı seçilmiş ve agregalar yıkanmıştır. Yıkanan agregalar etüvde kurutulmuştur. Kurutulmuş agregalar 11 adet metal aşındırıcı bilye ile Los Angeles cihazına yerleştirilmiş ve 30-33 devir/dakika hızla 500 devir çalıştırılmıştır. Devir işlemi tamamlandıktan sonra agregalar 12 No'lu elekte elenmiş (Şekil 3.7) ve elekten geçen agregaların ağırlığı ölçülmüştür.

Çizelge 3.9. Aşınma sınıfları

Elek açıklığı		Aşınma Sınıfı						
Geçtiği elek, mm	Kaldığı elek, mm	A	B	C	D	E	F	G
75	63					2500		
63	50					2500		
50	37.5					5000	5000	
37.5	25	1250					5000	5000
25	19	1250						5000
19	12.5	1250	2500					
12.5	9.5	1250	2500					
9.5	6.3			2500				
6.3	4.75			2500				
4.75	2.36				5000			
Toplam agrega ağırlığı, g		5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000
Tolerans, g		±10	±10	±10	±10	±100	±75	±50
Devir sayısı		500	500	500	500	1000	1000	1000
Bilye sayısı		12	11	8	6	12	12	12

YRK için kullanılan agregalara ait aşınma değerinin bir sınırı Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ) bulunmamaktadır. Literatür incelendiğinde ise YRK üretilmesinde kullanılan kalker agregasına ait aşınma değerinin limiti %40 olduğu anlaşılmıştır (Oliveira, 2006). Denklem 3.10 ile YRK üretilmesinde kullanılan agregaların aşınma değeri bulunmuştur.

$$\text{Aşınma oranı} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (3.10)$$

Burada;

A: Numunenin aşınmadan önceki ağırlığı, g

B: Numunenin aşınmadan sonraki ağırlığı, g



Şekil 3.7. Agregaların 12 No'lu elekte elenmesi

3.2.1.5. Yassılık indeksi deneyi

Yassılık indeksi deneyi BS 812 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre Çizelge 3.10'da (Demirel vd. 1991) belirtilen elek aralıklarına denk gelen en az malzeme miktarında agregalar kullanılarak deney yapılmıştır. Yassılık indeksi deneyi Şekil 3.7'de gösterilen yassılık indeksi şablonuyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan şablona göre, şablondan geçen agregaların kalınlığı, nominal boyutunun %60'ından küçük olduğu için yassı kabul edilmektedir.

Yassılık indeksi deneyinin sonucu Denklem 3.11'e göre hesaplanmıştır.

$$Yassılık\ indeks = \frac{A}{B} \times 100 \quad (3.11)$$

Burada;

A: Şablondan geçen agreganın ağırlığı, g

B: Deneyde kullanılan agreganın ağırlığı, g

Çizelge 3.10. Yassılık indeksi deneyinde kullanılan elek açıklıkları ve agrega miktarları

Elek açıklığı, mm	Minimum malzeme miktarı, kg
37.5-25	8
25-19	2.5
19-12.5	1
12.5-9.5	0.5
9.5-6.3	0.25



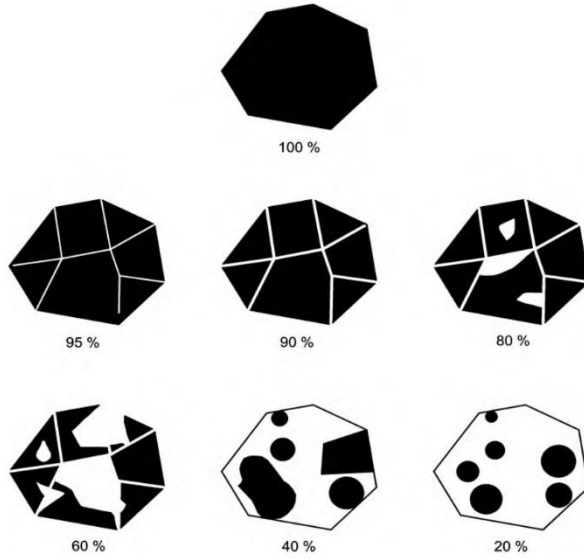
Şekil 3.8. Yassılık indeksi şablonu ve deneyin yapılışı

3.2.1.6. Soyulma deneyi

Soyulma deneyinde agrega ve bitüm arasındaki ara yüzey bağı üzerinde, su ve sıcaklık faktörlerinin etkisi araştırılmaktadır. Soyulma deneyi TS EN 12697-11 standartına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde 9.5-6.30 mm çap aralığındaki 200 gram agrega kullanılmıştır. Agrega saf suyla yıkandıktan sonra 110 °C'lik etüvde bekletilmiş ve etüvden çıkartılan agreganın sıcaklığı oda sıcaklığına gelmesi için, agrega desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra kum banyosu, cam baget, bitüm ve agrega 150 °C'lik etüvde ısıtılmıştır. 100 gram agrega ve 5 gram bitüm cam baget yardımıyla karışım homojen olana kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım petri kabına yerleştirilmiştir (Şekil 3.9). Petri kabı 15 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletildikten sonra petri kabı içi saf suyla dolu olan bir kaba konulmuş ve üzeri kapatılmıştır. Bu şekilde 60 °C'lik etüvde 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda petri kabı etüvden çıkartılmış ve üzerindeki fazla su dökülmüştür. Daha sonra içerisine tekrar saf su eklenmiş ve agrega yüzeylerinde oluşan soyulma gözle belirlenmiştir. Yapılan gözlemlerin yüzdesel karşılığı Şekil 3.10 yardımıyla belirlenmiştir (Gülten vd. 2021).



Şekil 3.9. Numunelerin petri kabında görüntüsü



Şekil 3.10. Soyulma deneyinin sonucu için referans skala

3.2.1.7. Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi deneyi, ince agreganın içinde bulunan kil muhtevasının tespit edilmesi için TS EN 933-9 standartına uygun bir şekilde yapılmıştır. Buna göre; çapı 2 mm'den daha küçük agregadan 500 g hazırlanmıştır. Agregada 110 °C'lik etüvde bekletilmiş ve etüvden çıkartılan agreganın sıcaklığının oda sıcaklığına gelmesi için, agregada desikatörde bekletilmiştir. Daha sonra metilen mavisi çözeltisini hazırlamak için 100 ml saf suya 1 g metilen mavisi eklenmiştir. Bu çözelti karıştırıcıda 600±60 rpm hızla 45 dakika boyunca karıştırılmıştır (Şekil 3.11.a). Çözelti hazırlandıktan sonra 500 ml saf su içerisine desikatörde bekleyen agregadan 200 g ilave edilmiştir. Su ve agregada 600±60 rpm hızla 5 dakika boyunca karıştırılmıştır (Şekil 3.11.b). 5 dakika sonunda bu karışımın içine 5 ml metilen mavisi çözeltisi eklenmiştir ve karıştırma işlemi 400±40 rpm hızla 1 dakika boyunca devam etmiştir (Şekil 3.11.c). 1 dakikanın sonunda cam baget yardımıyla karışımdan bir damla süzgeç kağıdına damlatılmıştır. Bu işlemden sonra süzgeç kağıdında hale oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Hale görünene kadar her incelemeden sonra 5 ml çözelti eklenmiş ve 1 dakika boyunca 400±40 rpm hızla karıştırma işlemi devam etmiştir. Süzgeç kağıdında hale görüldüğü anda 1'er dakika aralıklarla çözelti ilave edilmeksizin 5 dakika boyunca hale kontrolü yapılmış ve halenin kaybolmadığı görülerek deney tamamlanmıştır (Şekil 3.11.d).

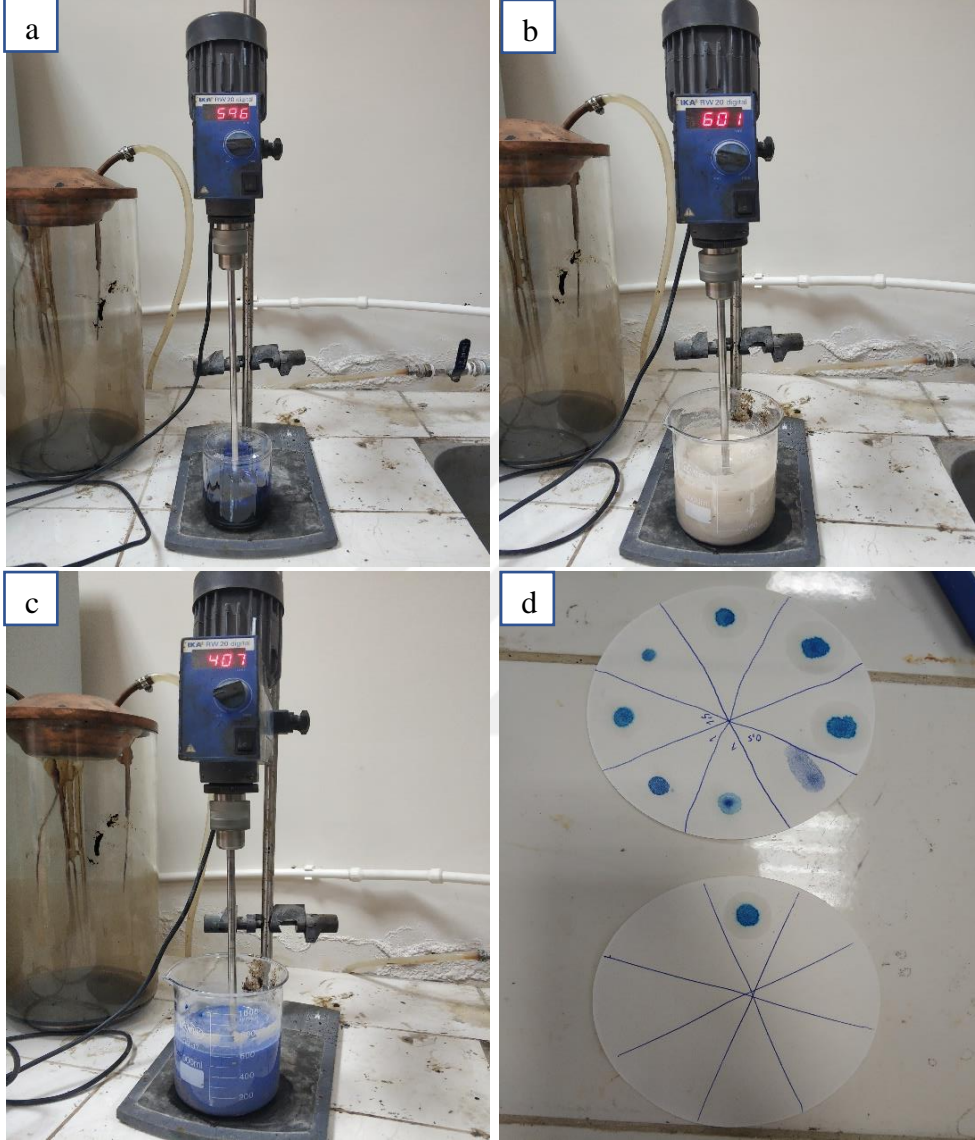
Metilen mavisi deneyinin sonucu Denklem 3.12 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Metilen mavisi değeri} = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad (3.12)$$

Burada;

V_1 : Deneyde kullanılan agreganın ağırlığı, g

M_1 : Deneyde kullanılan metilen mavisi çözeltisinin hacmi, ml



Şekil 3.11. Metilen mavisi deneyi adımları, **a)** Çözeltinin hazırlanması; **b)** Su ile agreganın hazırlanması; **c)** Çözeltinin karışıma eklenmesi; **d)** Hale oluşumunun kontrolü

3.2.1.8. MgSO₄ ile donma kaybı deneyi

Magnezyum sülfat ile donma kaybı deneyi ile agreganın hava koşullarına karşı dayanıklılığı belirlenmektedir. MgSO₄ ile donma kaybı deneyi yapılırken TS EN 1367-2 standartına uyulmuştur. Buna göre; 10-14 mm elek aralıklarında 1000 gram agrega elenmiştir. Agregalar 110±5 °C'lik etüvde 24±1 saat kurutulmuş ve agregaların sıcaklığının oda sıcaklığına gelmesi için, agregalar desikatörde bekletilmiştir. Agregalar saf

suyla yıkanmış ve etüvde kurutulmuştur. 420-430 gram arasında iki agrega numunesi tartılmış ve tel sepetlerine konulmuştur. Tel sepetleri 17 ± 0.5 saat boyunca $MgSO_4$ çözeltisinin içerisinde bekletilmiştir (Şekil3.12). $MgSO_4$ çözeltisi $25-30$ °C’de 1 litre suya 1500 gram $MgSO_4$ tuzunun yavaş yavaş eklenmesi ile hazırlanmıştır. $MgSO_4$ çözeltisinin içerisinde çıkartılan agregalar 2 ± 0.25 saat boyunca süzülmesi için bekletilmiştir. Suyu süzülen agregalar 110 ± 5 °C’lik etüvde 24 ± 1 saat kurutulmuş ve agregaların sıcaklığının oda sıcaklığına gelmesi için, agregalar desikatörde 5 ± 0.25 saat bekletilmiştir. Bu işlemler 5 kere daha yapılmıştır. Son olarak agregalar $MgSO_4$ çözeltisinden arındırılana kadar musluk suyuyla yıkanmıştır. Tel sepetin içinden çıkartılan agregalar kurutulmuştur. Kurutulmuş agregalar 10 mm’lik elekte elenmiş ve eleğin üstünde kalan agregaların ağırlığı ölçülmüştür.



Şekil 3.12. Agregaların magnezyum sülfat çözeltisinin içerisinde bekletilmesi

Deney tamamlandıktan sonra magnezyum sülfat değeri Denklem 3.13 ile hesaplanmıştır.

$$MS = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.13)$$

Burada;

MS: Magnezyum sülfat değeri, %

M_1 : Agregaların ilk ağırlığı, g

M_2 : 10 mm elek üstünde kalan agreganın ağırlığı, g

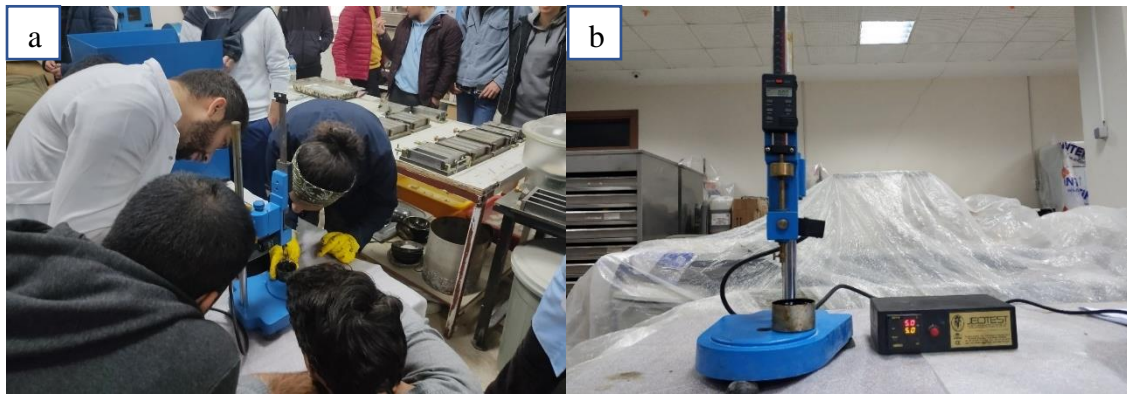
3.2.1.9. Organik madde tayini

Organik madde tayini deneyi agreganın içinde bulunan humus muhtevasının tespit edilmesi için TS EN 1744-1 standartına uygun bir şekilde yapılmıştır. Buna göre; ilk olarak agregalar 55 ± 5 °C etüvde kurutulmuş ve 4 mm'lik elekten elenmiştir. Eleğin üstünde kalan agregalar kırılmış ve tekrar elekten geçirilmiştir. Ölçülü cam silindirin içine 80 mm yüksekliğinde %3'lük NaOH çözeltisi konulmuştur. Bu çözeltinin içerisine çözelti ve agreganın yüksekliği 120 mm oluncaya kadar agrega eklenmiştir. Daha sonra şişe çalkalanmış ve 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda çözeltinin rengi gözlenmiş ve deney tamamlanmıştır.

3.2.2. Bitüme uygulanan deneyler

3.2.2.1. Penetrasyon deneyi

Penetrasyon deneyi, 25 °C'de bitümün sertlik ve kıvam özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Penetrasyon deneyi TS EN 1426 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre; ilk olarak deneyde kullanılacak bitüm yaklaşık 90 °C'de etüvde ısıtılmıştır. Akışkan hale gelen bitüm kaplara dökülmüş ve kapların içindeki hava kabarcıkları çıkana kadar cam baget ile bitüm karıştırılmıştır. Numune kapları, bitümün soğuması için 90 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 25 °C su banyosunda 90 dakika bekletilmiştir. Su banyosundan çıkartılan numuneler penetrasyon cihazına yerleştirilmiştir. Penetrasyon cihazının iğnesi bitümün üstüne neredeyse degecek şekilde ayarlanmış ve 100 gram ağırlığındaki iğneye 5 saniye serbest düşüş yaptırılmıştır (Şekil 3.13.a). İğnenin bitüm içine battığı derinlik değeri cihazdan okunmuştur. Aynı işlem numunelerin farklı noktalarında 2 defa daha tekrarlanmış ve deney tamamlanmıştır. Çalışmada kullanılan penetrasyon deneyinin düzeneği Şekil 3.13.b'de gösterilmiştir.

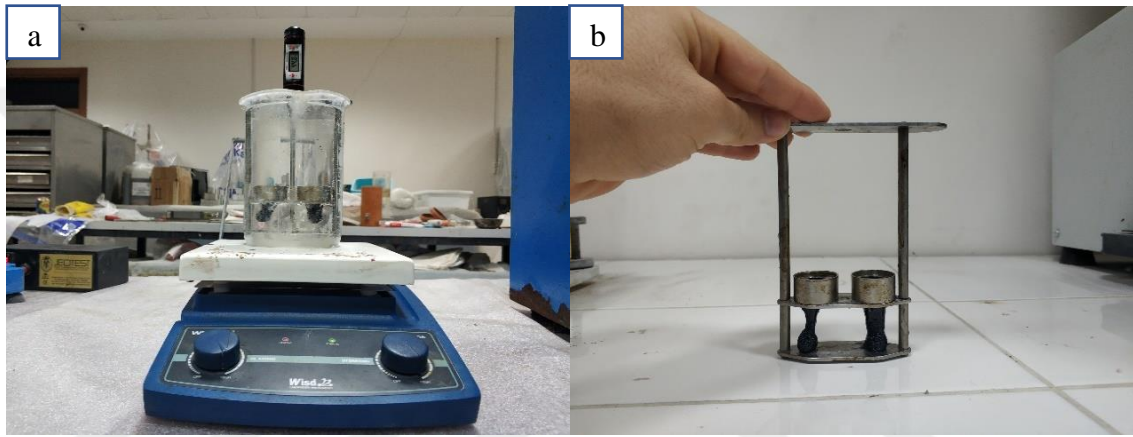


Şekil 3.13. a) Deneyin yapılış anı; b) Penetrasyon deneyi düzeneği

3.2.2.2. Yumuşama noktası deneyi

Yumuşama noktası deneyi, standart yük altında bulunan bitümün katı halden akışkan hale geçtiği sıcaklık değerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu deney, "Ring ve Ball-Halka Bilye Yöntemi" olarak da adlandırılmaktadır. Yumuşama noktası tayini

deneyi TS EN 1427 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre; ilk olarak deneyde kullanılacak bitüm yaklaşık 100 °C'de etüvde ısıtılmıştır. Isınan bitüm, yumuşama noktası halkalarının içine yerleştirilmiş ve oda sıcaklığında 60 dakika bekletilmiştir. Daha sonra bir beherin içine saf su eklenmiş ve bu suyun sıcaklığı buz yardımıyla 5 °C'ye düşürülmüştür. Suyla dolu beherin içerisine halkalar ve termometre asılmıştır. Suyun içindeki yumuşama noktası halkalarının üzerine birer adet bilye yerleştirilmiştir. Beher yumuşama noktası cihazının üzerine yerleştirilmiştir. Bu cihaz ile suyun sıcaklığı dakikada 5 °C yükseltilirken aynı zamanda manyetik karıştırıcısı sayesinde suyun sıcaklığı homojen olarak dağıtılmıştır. Deneyin tamamlanması için bitümün yumuşayarak tabana değdiği andaki sıcaklık değeri termometreden okunmuştur. Çalışmada uygulanan yumuşama noktası deneyi ile ilgili yapılan işlemler Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. a) Yumuşama noktası deneyi düzeneği; b) Tamamlanmış deneyin görünüşü

3.2.2.3. Düktilite deneyi

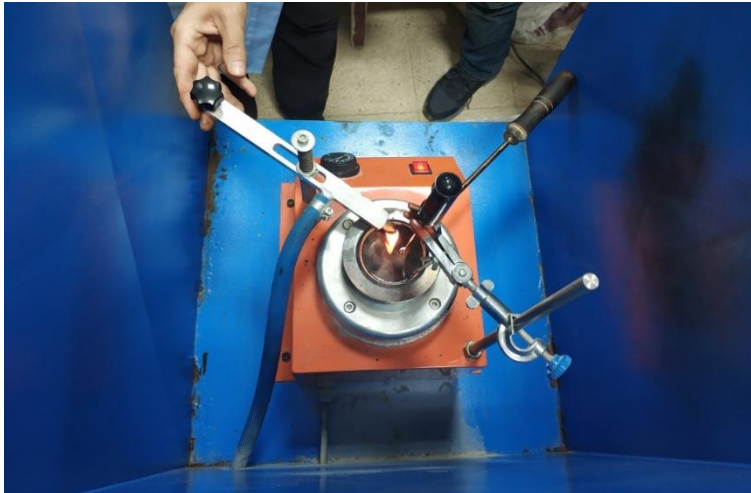
Düktilite deneyi, 25 ± 0.5 °C'deki bitümün çekme özelliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Düktilite deneyi, ASTM D 113 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre; ilk olarak deneyde kullanılan kalıp birleştirilmiş ve pirinç bir plakanın üzerine yerleştirilerek yağlanmıştır. 90 °C'de ısıtılmış bitüm, düktilite numune kalıplarının üzerini biraz geçecek şekilde kalıpların içine doldurulmuştur (Şekil 3.15). Numuneler 35 ± 5 dakika oda sıcaklığında bekletilmiş ve 25 ± 0.5 °C'deki su banyosunun içerisinde 35 ± 5 dakika daha bekletilmiştir. Daha sonra numuneler su banyosundan çıkartılmış ve kalıptaki fazla bitüm ısıtılmış spatula yardımıyla sıyrılmıştır. Numuneler tekrar 90 ± 5 dakika boyunca 25 ± 0.5 °C'deki su banyosunda bekletilmiştir. Su banyosundan çıkartılan numuneler plakanın üstünden alınmış ve yanlardaki kalıplar sökülmüştür. Son olarak numuneler düktilite cihazına yerleştirilmiştir. Deney 5 ± 0.25 cm/dak çekme hızı ile bitüm kopana kadar devam etmiştir. Kopma olayının gerçekleştiği anda uzunluk ölçülmüş ve deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.15. Düktilite kalıbına yerleştirilmiş bitüm

3.2.2.4. Parlama noktası deneyi

Parlama noktası deneyi, bitümün parlama ve yanma noktasının belirlenmesi için yapılmaktadır. Parlama noktası deneyi Cleveland açık kap metodu kullanılarak, TS EN ISO 2592 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre; ilk olarak deneyde kullanılacak bitüm yaklaşık 100 °C’de etüvde ısıtılmıştır. Isınan bitüm, deney kalıbına dökülmüş ve bitümün içindeki hava kabarcıklarının çıkartılması için karıştırılmıştır. Daha sonra kalıp parlama noktası cihazına yerleştirilmiştir. Cihazın ısısı açılmış ve deney başlatılmıştır. Başlangıçta 5-17 °C/dakikalık sıcaklık artışı olacak şekilde ısı arttırılmış ve beklenen parlama noktasına 28 °C yaklaşıldığında sıcaklık artış hızı 5-6 °C/dakikaya düşürülmüştür. Daha sonra her 3 °C’lik sıcaklık artışında numune üzerinden alev geçirilmiştir (Şekil 3.16). Deney numunesinin üstüne çıkan buharın tuttuğu ilk anda termometredeki sıcaklık değeri kaydedilmiştir.



Şekil 3.16. Parlama noktasının kontrol edilmesi

3.2.2.5. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi

İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi ile BSK üretimi esnasında ısıtılan bitümde meydana gelen yaşlanma belirlenmektedir. Thin Film Oven Test (TFOT) metodu olarak da bilinen deneyin yapılışında TS EN 12607-2 standardı esas alınmıştır. Buna göre; ilk olarak deneyde kullanılan metal kapların ağırlıkları ölçülmüştür. Akışkan haldeki bitüm metal kapların içine dökülmüştür. Dökülen bitümün ağırlığını ölçebilmek için kaplar 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra metal kaplar etüvün içerisindeki dairesel raflara yerleştirilmiş (Şekil 3.17) ve dairesel rafların dönmesi için etüv çalıştırılmıştır. Etüvün içi 163 °C'ye sabitlenmiş ve 5 saat boyunca numuneler dönen dairesel raflarda bekletilmiştir. 5 saat sonunda metal kaplar etüvden çıkartılmış ve metal kaplar 30 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Oda sıcaklığında bekletilen metal kapların ağırlıkları ölçülmüş ve deney tamamlanmıştır. Daha sonra yaşlandırılmış bu bitümlere penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır.

Yapılan bu deney prosedürü ile Denklem 3.13 kullanılarak bitümde oluşan kütle değişim yüzdesi hesaplanmıştır. Burada kütle değişiminde %0.5'ten daha az kayıp olması beklenmektedir.

$$\Delta M = \frac{C - B}{B - A} \times 100 \quad (3.13)$$

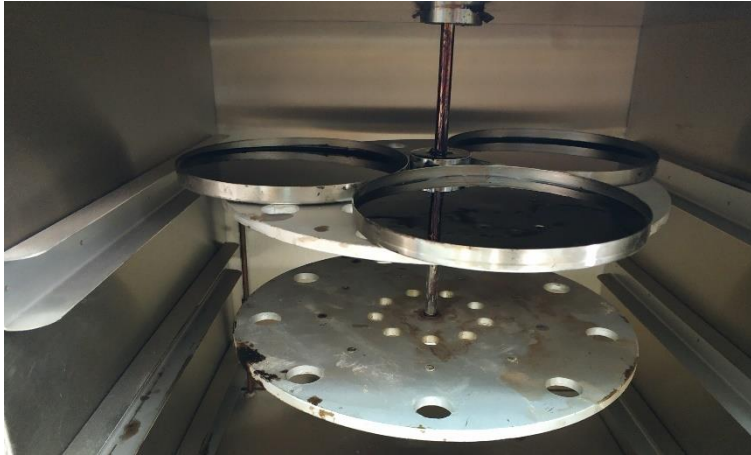
Burada;

ΔM : Kütle değişimi, %

A: Metal kabın boş ağırlığı, g

B: Metal kabın ve bitümün deneyden önceki ağırlığı, g

C: Metal kabın ve bitümün deneyden sonraki ağırlığı, g



Şekil 3.17. TFOT cihazına yerleştirilmiş numuneler

3.2.3. Akışkan çimento harcının formülasyonları ve hazırlanması

AÇH'nin hazırlanması için ilk olarak, su/çimento oranı ve süper akışkanlaştırıcı/çimento oranı belirlenmiştir. Başlangıç oranları sırasıyla %55 ve %0.5'tir. Bu oranlar kullanılarak ilk kontrol numunesi üretilmiş ve bu oranlara yakın farklı değerler seçilerek toplam 5 farklı formülasyonda kontrol AÇH numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu AÇH numunelerine; akışkanlık deneyi, basınç ve eğilme dayanımı deneyi, kuruma büzülmesi deneyi ve terleme deneyleri uygulanmıştır.

L kodlu AÇH numunelerinin üretilmesi için en iyi performansa sahip kontrol numunesinin içerisine su miktarına göre farklı oranlarda lateks katkısı eklenmiştir. L kodlu toplam 10 farklı formülasyonda AÇH numuneleri üretilmiştir. Bu L kodlu AÇH numunelerine; akışkanlık deneyi, basınç ve eğilme dayanımı deneyi, kuruma büzülmesi deneyi ve terleme deneyleri uygulanmıştır. En iyi performansa sahip lateks içerikli AÇH harcının belirlenmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden VIKOR metodu kullanılmıştır.

H kodlu AÇH numunelerinin üretilmesi için en iyi performansa sahip L kodlu AÇH numunesinin içerisine çimento ağırlığına göre farklı oranlarda priz hızlandırıcı katkı eklenmiştir. H kodlu toplam 10 farklı formülasyonda AÇH numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin 12 saatlik basınç dayanımı değerlerine göre 6 farklı H kodlu AÇH numunelerine; akışkanlık deneyi, basınç ve eğilme dayanımı deneyi, kuruma büzülmesi deneyi ve terleme deneyleri uygulanmıştır. En iyi performansa sahip priz hızlandırıcı içerikli AÇH harcının belirlenmesi için VIKOR metodundan yararlanılmıştır.

G kodlu AÇH numunelerinin üretilmesi için en iyi performansa sahip H kodlu AÇH numunelerin içerisine çimento ağırlığına göre farklı oranlarda priz geciktirici katkı eklenmiştir. G kodlu toplam 4 farklı formülasyonda AÇH numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin 2 saatlik akışkanlık süresi değerlerine göre 3 farklı G kodlu AÇH numunelerine; akışkanlık deneyi, basınç ve eğilme dayanımı deneyi, kuruma büzülmesi deneyi ve terleme deneyleri uygulanmıştır. En iyi performansa sahip priz geciktirici içerikli AÇH harcının belirlenmesi için VIKOR metodu kullanılmıştır.

Tez kapsamında toplam 29 farklı formülasyonda AÇH numuneleri üretilmiş ve bunlardan 24 tanesine performans deneylerinin tamamı uygulanmıştır. Çizelge 3.11'de hazırlanan AÇH numunelerinin formülasyonları belirtilmiştir. Burada çizelgede verilen süper akışkanlaştırıcı, priz hızlandırıcı ve priz geciktirici katkıların oranları çimento ağırlığına göre belirtilmişken lateks katkısının oranı su miktarına göre belirtilmiştir.

Çizelge 3.11. AÇH numunelerinin kodları ve karışım oranları

Kod	Su/çimento	Süper akışkanlaştırıcı, %	Lateks	Priz hızlandırıcı, %	Priz geciktirici, %
A1	55	0.5	-	-	-
A2	52.5	0.6	-	-	-
A3	52.5	0.7	-	-	-
A4	55	0.6	-	-	-
A5	57.5	0.6	-	-	-
L1	55	0.6	40'ta 1	-	-
L2	55	0.6	50'de 1	-	-
L3	55	0.6	60'ta 1	-	-
L4	55	0.6	70'te 1	-	-
L5	52.5	0.6	30'da 1	-	-
L6	52.5	0.6	40'ta 1	-	-
L7	52.5	0.6	50'de 1	-	-
L8	52.5	0.6	60'ta 1	-	-
L9	52.5	0.6	70'te 1	-	-
L10	52.5	0.6	80'de 1	-	-
H1	52.5	0.6	60'ta 1	0.5	-
H2	52.5	0.6	60'ta 1	1	-
H3	52.5	0.6	60'ta 1	1.5	-
H4	52.5	0.6	60'ta 1	2	-
H5	52.5	0.6	60'ta 1	2.5	-
H6	52.5	0.6	60'ta 1	3	-
H7	52.5	0.6	60'ta 1	3.5	-
H8	52.5	0.6	60'ta 1	4	-
H9	52.5	0.6	60'ta 1	4.5	-
H10	52.5	0.6	60'ta 1	5	-

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.11'in devamı

Kod	Su/çimento	Süper akışkanlaştırıcı, %	Lateks	Priz hızlandırıcı, %	Priz geciktirici, %
G1	52.5	0.6	60'ta 1	3.5	0.25
G2	52.5	0.6	60'ta 1	3.5	0.5
G3	52.5	0.6	60'ta 1	3.5	0.75
G4	52.5	0.6	60'ta 1	3.5	1

AÇH numunelerinin tamamında çimento/agrega oranı 1'dir (Şekil 3.17.a). AÇH içerisinde 0.6 mm'den küçük çaplı ince agregalar kullanılmıştır. Çizelge 3.12'de harç içerisinde kullanılan ince agreganın gradasyonu gösterilmiştir (Nazary 2019).

Çizelge 3.12. AÇH içerisinde kullanılan agreganın gradasyonu

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

AÇH numuneleri 5 litre kapasiteli laboratuvar mikserinde hazırlanmıştır. Karışımın hazırlanma adımları aşağıda belirtilmiştir;

- Agreg ve çimento kuru olarak 1 dakika karıştırılmıştır.
- Lateks ve karışım suyunun %80'i birlikte kuru karışıma eklenmiş ve 2 dakika karıştırılmıştır.
- Süper akışkanlaştırıcı, priz hızlandırıcı ve karışım suyunun %20'si karışıma eklenmiş ve 2 dakika daha karıştırılmıştır (Şekil 3.17.c).
- Karışımın homojen olması için mikser haznesinin tabanı ve kenarları bir spatula yardımıyla sıyrılmıştır.
- Priz geciktiricili AÇH numuneleri hazırlanırken, priz geciktirici bu adımda harca eklenmiştir ve son olarak karışım 7 dakika daha karıştırılmıştır. Bütün karıştırma işlemleri 62.5 rpm hızda gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan karışım, hızlı bir şekilde numune kalıplarına dökülmüştür (Şekil 3.17.d). AÇH numuneleri, priz alması için 24 saat kalıplarda bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler su dolu havuzda kürlenmiştir.



Şekil 3.18. a) Agrega ve çimento; b) Lateks+%80 su ve süper akışkanlaştırıcı+priz hızlandırıcı+%20 su; c) Miksere katkılı suyun eklenmesi; d) AÇH'nin kalıplara dökülmesi

3.2.4. Akışkan çimento harcına uygulanan deneyler

3.2.4.1. Akışkanlık deneyi

Akışkanlık deneyi taze haldeki harca yapılmaktadır. Bu deney, AÇH'nin işlenebilirliği hakkında bilgi vermektedir. Akışkanlık deneyinin sonucu, AÇH'nin PA'nın boşluklarını doldurma kabiliyetiyle doğrudan ilişkilidir. Akışkanlık deneyi ASTM C939-10 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre; en az 2 litrelik AÇH numunesi hazırlanmış ve çıkış ucu kapalı olan akışkanlık hunisinin içerisine 1725±25 ml harç dökülmüştür (Şekil 3.19). Daha sonra akışkanlık hunisinin çıkış ucu açılmış ve harcın huninin içinden tamamen çıkana kadar geçen süre saniye olarak ölçülmüştür. Her bir AÇH numunesi için üç kere bu işlem tekrarlanmıştır.

Ayrıca aynı deney prosedürü, H ve G kodlu AÇH numunelerine 30 dakika aralıklarla toplam 2 saat boyunca uygulanmıştır.



Şekil 3.19. Akışkanlık deneyinin yapılışı

3.2.4.2. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi, 50 mm^3 (Şekil 3.20.a) boyutlarındaki numunelere uygulanmıştır. Numuneler BS EN 196-1 standartına uygun olarak $2400 \pm 200 \text{ N/sn}$ hızda Şekil 3.20.b’de görülen tam otomatik preste kırılmıştır.



Şekil 3.20. a) 50 mm^3 ’lük numuneler; b) Basınç dayanımı deney düzeneği

Bütün AÇH numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme süresinin sonundaki basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca H kodlu AÇH numunelerinin 12 saatlik basınç dayanımları da incelenmiştir. Tez çalışması boyunca toplam 318 adet numunenin basınç dayanımı ölçülmüştür.

Basınç dayanımının sonucu, maksimum kırılma yükünün numunenin yüzey alanına bölünmesi ile bulunmuştur (Denklem 3.14).

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (3.14)$$

Burada;

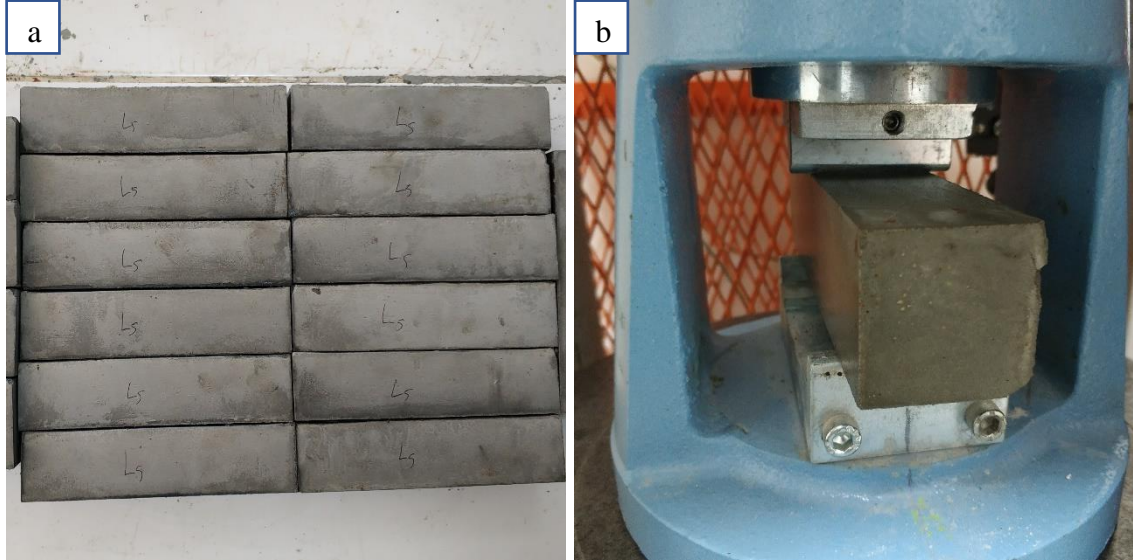
f_m : Basınç dayanımı, MPa

P: Maksimum kırılma yükü, N

A: Numunenin yüzey alanı, mm²

3.2.4.3. Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı deneyi, 40*40*160 mm³ (Şekil 3.21.a) boyutlarındaki numunelere uygulanmıştır. Eğilme dayanımının bulunması için üç nokta eğilme başlığı kullanılmıştır (Şekil 3.21.b). Bu başlık sayesinde harcın çekme dayanımı dolaylı olarak bulunmaktadır. Numuneler BS EN 196-1 standartına uygun olarak 50±10 N/s hızda tam otomatik preste kırılmıştır.



Şekil 3.21. a) Eğilme dayanımı numuneleri **b)** Numunenin eğilme başlığının içindeki görüntüsü

Bütün AÇH numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük kürleme süreleri sonundaki eğilme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca H kodlu AÇH numunelerinin 12 saatlik eğilme dayanımlarına da bakılmıştır. Tez çalışması boyunca toplam 318 adet numunenin eğilme dayanımı ölçülmüştür.

Eğilme dayanımının sonucu Denklem 3.15 yardımıyla bulunmuştur.

$$f = 1.5 \times \frac{PL}{b^3} \quad (3.15)$$

Burada;

f: Eğilme dayanımı, MPa

P: Numunenin kırıldığı andaki maksimum kuvvet, N

L: Eğilme başlığının alttaki mesnetlerinin arasındaki mesafe, mm

b: Numunenin kare kesitinin uzunluğu, mm

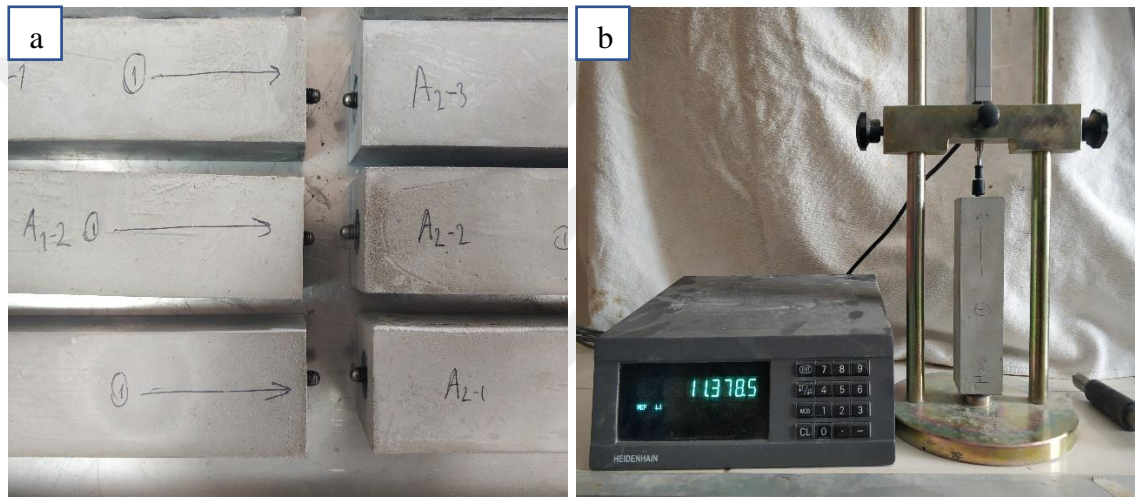
Tez çalışması boyunca basınç ve eğilme dayanımı deneyleri sonucu kırılan numuneler Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Basınç ve eğilme dayanımı deneyleri sonucu kırılan numuneler

3.2.4.4. Kuruma büzülmesi deneyi

Kuruma büzülmesi deneyi ile harç numunelerinde gerçekleşen boy değişimi (genleşme ya da büzülme) tespit edilmektedir. Kuruma büzülmesi deneyi ASTM C596-09 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre; boy değişiminin takip edilebilmesi için her iki ucunda çivi bulunan 40*40*160 mm boyutunda numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.23.a). AÇH 24 saat kalıpta priz alması için bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler 48 saat boyunca suyla dolu kür havuzunda bekletilmiştir. Toplam 72 saatin sonunda numunelerin ilk boyları her iki yüzeyden ölçülmüştür. İlk boy ölçümü yapılan numuneler, 56 gün olan deney süresince laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Birer hafta aralıklarla boy ölçümleri tekrarlanmıştır. Boy ölçümleri 0.0001 mm hassasiyetteki Şekil 3.23.b’de gösterilen boy ölçüm cihazıyla yapılmıştır.



Şekil 3.23. a) Kuruma büzülmesi numuneleri, b) Boy ölçümü yapılan cihaz

AÇH numunelerinin boy değişimleri Denklem 3.16’ya göre hesaplanmıştır.

$$B = \frac{L_0 - L_f}{160} \times 100 \quad (3.16)$$

Burada;

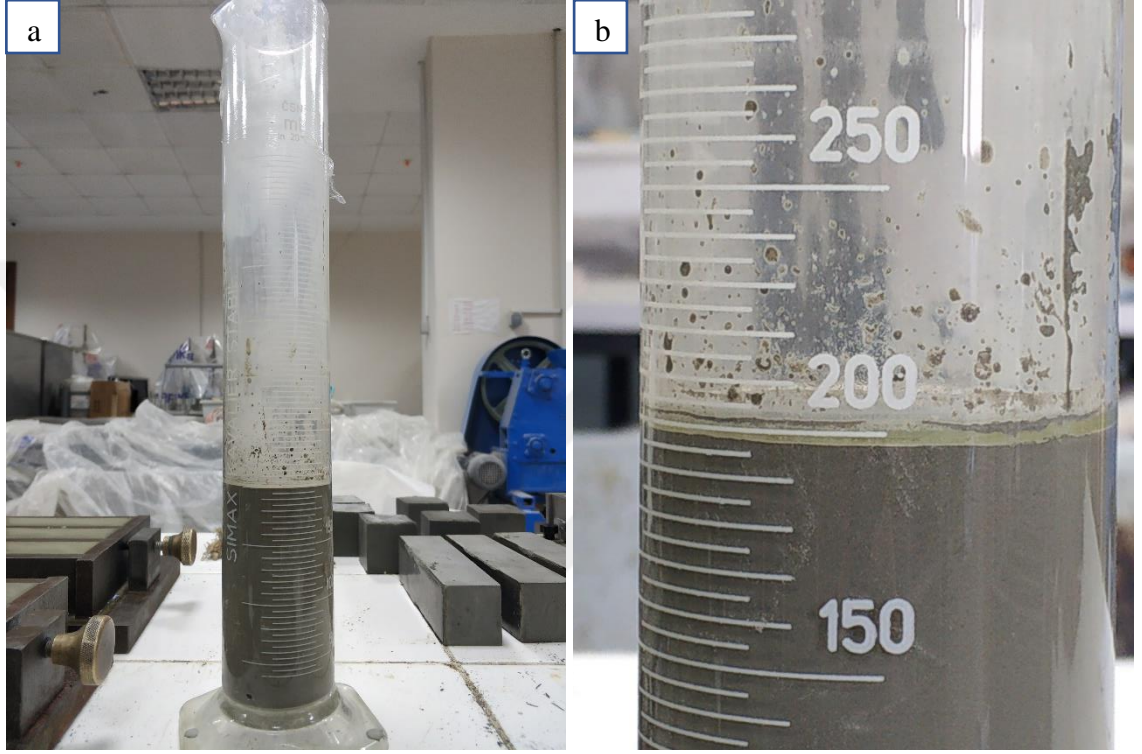
B: Büzülme, %

L_0 : Numunenin ilk boyu, mm

L_f : Numunenin farklı deney günlerindeki boyu, mm

3.2.4.5. Terleme deneyi

Terleme deneyi taze haldeki harca yapılan bir deneydir. Terleme deneyi ASTM C 940 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre 200 ml taze harç numunesi Şekil 3.24.a’da görülen ölçülü cam silindire boşaltılmıştır. Ölçülü cam silindirin üzeri streç film ile kapatılarak 2 saat beklenmiştir. 2 saatin sonunda harç üzerine çıkan suyun hacmi ölçülmüştür (Şekil 3.24.b).



Şekil 3.24. a) Terleme deneyi; b) 2 saat sonra oluşan terleme miktarı

Terleme yüzdesinin bulunması için Denklem 3.17 kullanılmıştır.

$$T = \frac{V_w}{V_1} \times 100 \quad (3.17)$$

Burada;

T: Terleme, %

V_1 : Toplam numune hacmi, ml

V_w : Üstte biriken suyun hacmi, ml

3.2.5. VIKOR yöntemi

VIKOR yöntemi, alternatifler belirlenip değerlendirildikten sonra, alternatifleri sıralamak ve karar verici adına uygun bir çözüm önermek için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir (Opricovic ve Tzeng 2004). VIKOR yönteminde ele alınan problemde elde edilen nihai sıralama, VIKOR yönteminin kendi tutarlılık testleriyle kontrol edilmektedir (Şimşek 2021). VIKOR yöntemi çözüm adımları esasları aşağıda açıklanmıştır (Obricovic ve Tzeng 2004; Şimşek 2021);

İlk olarak AÇH'ye uygulanan deneylerin sonuçlarıyla başlangıç karar matrisi oluşturulmuştur. Bu matrise karekök yöntemi uygulanarak normalize matris elde edilmiştir. Elde edilen bu matriste her kriter için Denklem 3.18 ve Denklem 3.19 yardımıyla maksimum (f_i^*) ve minimum (f_i^-) değerler belirlenmiştir.

$$f_i^* = \max_j f_{ij}, \text{ fayda kriteri} \quad (3.18)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij}, \text{ maliyet kriteri} \quad (3.19)$$

Burada;

i: Kriterleri temsil etmektedir, ($i=1,2,3,\dots,n$)

j: Alternatifleri temsil etmektedir, ($j=1,2,3,\dots,n$)

Her kriter için maksimum ve minimum değerler belirlendikten sonra Denklem 3.20 yardımıyla fayda matrisi (v_{ij}) oluşturulmuştur.

$$v_{ij} = w_i \frac{(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (3.20)$$

Burada;

w_i : Göreceli önemlerini ifade eden kriterlerin ağırlıkları

Fayda matrisi oluşturulduktan sonra, her bir alternatif için ara işlem değerleri olan S_i ve R_i , Denklem 3.21 ve Denklem 3.22 yardımıyla belirlenmiştir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \quad (3.21)$$

$$R_i = \text{Max}_i |w_i \frac{(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)}| \quad (3.22)$$

Ara işlem değerleri olan S_i ve R_i belirlendikten sonra nihai sıralamanın oluşturulması için Q_i değerleri Denklem 3.23 yardımıyla belirlenmiştir.

$$Q_i = \mu \left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1 - \mu) \left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (3.23)$$

Burada;

$$S^* = \min_i S_i,$$

$$S^- = \max_i S_i,$$

$$R^* = \min_i R_i,$$

$$R^- = \max_i R_i,$$

μ : Kriterlerin çoğunluğunun ifade ettiği ağırlık katsayısı, 0.5 olarak alınmıştır.

Q_i değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanması ile nihai sıralama vektörü elde edilmiştir.

Son olarak, nihai sıralama vektörüne tutarlılık testleri uygulanmış ve en iyi alternatif yani en iyi AÇH formülasyonu belirlenmiştir. Bu testlerden ilki C1 (Kabul edilebilir avantaj) testidir ve Denklem 3.24'ü sağlaması gerekmektedir.

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (3.24)$$

$$DQ = \frac{1}{(j-1)} \quad (3.25)$$

Burada;

a'' : En iyi ikinci alternatif,

a' : En iyi alternatif,

j: Alternatif sayısı

İkinci testte ise nihai sıralama vektörüne göre en iyi çıkan alternatif S ve/veya R vektörleri arasında en iyi skorda olmalıdır. C1 ve C2 testleri;

Durum 1: Her iki test de geçerli ise sıralamadan uzlaşık çözümler elde edilmiştir.

Durum 2: Eğer C2 testi sağlanmıyorsa a' ve a'' alternatifleri, eğer C1 sağlanmıyorsa a' ; a'' ; . . . ; $a^{(M)}$ alternatifleri ve değeri maksimum $a^{(M)}$ için $Q(a^{(M)}) - Q(a') < DQ$ belirlenir. Bu durumda en iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden biri olarak değerlendirilmektedir.

3.2.6. Poroz asfalt

Tez çalışmasında kullanılan PA'nın dizaynında Guluyev (2022)'in "Yarı Esnek Kaplama için Değişik Gradasyonlu Poroz Asfalt Dizaynı ve Performansının Belirlenmesi" isimli tez çalışması baz alınmıştır. Buna göre PA'nın agrega gradasyonu ve özellikleri Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14'te verilmiştir (Guluyev 2022).

Çizelge 3.13. Poroz asfaltın gradasyonu

Elek aralıkları, mm	Karışımdaki oran, %
19-16	32.50
16-13.2	31.50
13.2-9.5	28.50
9.5-4.75	0.50
4.75-2.36	2.00
2.36-1.18	0.50
1.18-0.6	0.50
0.6-0.3	1.00
0.3-0.15	0.50
0.15-0.075	0.50
Filler	3.80

Çizelge 3.14. Poroz asfaltın özellikleri

Özellik	Değeri
Bitüm oranı, %	4
Fiber oranı, %	0.3
Boşluk oranı, %	29.02
Bitüm süzülmesi, %	0
Sıkıştırma vuruş sayısı	Tek yüze 50 vuruş

3.2.7. Yarı rijit kaplamanın hazırlanması

YRK numunelerinin üretilmesinde 200*60 cm boyutlarındaki dikdörtgen kalıplar kullanılmıştır. İlk olarak dikdörtgen kalıbın tabanı ve kenarları yağlanmıştır. Daha sonra PA, mobil asfalt plentinde hazırlanmıştır. Poroz asfalt hazırlanırken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir;

- Yıkanmış agregalar plente eklenmiş (Şekil 3.25.a) ve plentin ısıtıcısı açılarak agregaların sıcaklığının 150 ± 5 °C'ye ulaşması beklenmiştir.
- Isınan agregaların içine selülozik fiber eklenmiş ve yaklaşık 20 saniye karıştırılmıştır.
- Plentin içerisine 120 ± 5 °C'deki bitüm eklenmiş ve karışım homojen hale gelene kadar 2-2.5 dakika boyunca karıştırma işlemine devam edilmiştir.
- Homojen hale gelmiş PA karışımı dikdörtgen kalıba dökülmüş ve kalıbın her yerine eşit malzemenin gelmesi için tırmık yardımıyla malzeme dağıtılmıştır.
- Son olarak ise el silindiri kullanılarak, PA karışımı 5 cm kalınlığa ulaşana kadar sıkıştırılmış (Şekil 3.25.b) ve sıkıştırma işlemi sonunda PA'nın oda sıcaklığına kadar soğuması için bekletilmiştir.



Şekil 3.25. a) Agregaların plente eklenmesi; **b)** Poroz asfaltın görünüşü

Oda sıcaklığına gelen PA'nın içerisine AÇH dökülmüştür. AÇH hazırlanırken çift etkili karıştırma donanımına sahip beton mikseri kullanılmış (Şekil 3.26.a) ve Kısım 3.2.1'de belirtilen hususlar uygulanmıştır. AÇH karışımı hazırlandıktan sonra akışkanlık deneyi uygulanmış ve akış süresi test edilmiştir. AÇH, PA'nın yüzeyine döküldükten sonra harcın PA'nın boşluklarının içerisine iyice nüfuz edebilmesi için el fırçası ile harc yüzeyde yayılmıştır (Şekil 3.26.b).



Şekil 3.26. a) Akışkan çimento harcının hazırlanması; **b)** Harcın poroz asfalt yüzeyinde yayılması

AÇH, PA'nın içerisine yerleştirildikten sonra YRK numunesinden ilk karot alınana kadar (12 saat/24 saat) AÇH'nin priz alması beklenmiştir. Şekil 3.27'de gösterilmiş olan karot makinesi ile farklı zamanlarda (12/24 saat, 3 gün, 7 gün, 28 gün) YRK yüzeyinden 100 mm çaplı karot numuneleri alınmıştır.



Şekil 3.27. YRK yüzeyinden karot alınması

Tez çalışması kapsamında biri kontrol numuneli (A kodlu) ve biri de VIKOR yöntemine göre en iyi performansa sahip AÇH'li olmak üzere iki kere 200*60*5 cm boyutlarında YRK numunesi hazırlanmıştır. Bu YRK numunelerinin performansını belirlemek için Marshall stabilite, nem hasarına karşı direnç, basınç dayanımı, permeabilite, donma-çözülme, Cantabro ve yüzey pürüzlülüğü deneyleri yapılmıştır. Bu doğrultuda iki YRK numunesinden toplam 102 adet karot alınmıştır.

YRK numunelerini kürlmek için harç priz aldıktan sonra ıslak jüt beziyle 28 gün boyunca kürlleme yapılmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Islak jüt beziyle YRK'lerin kürlenmesi

3.2.8. Yarı rijit kaplamaya uygulanan deneyler

3.2.8.1. Marshall stabilitesi ve akma tayini deneyi

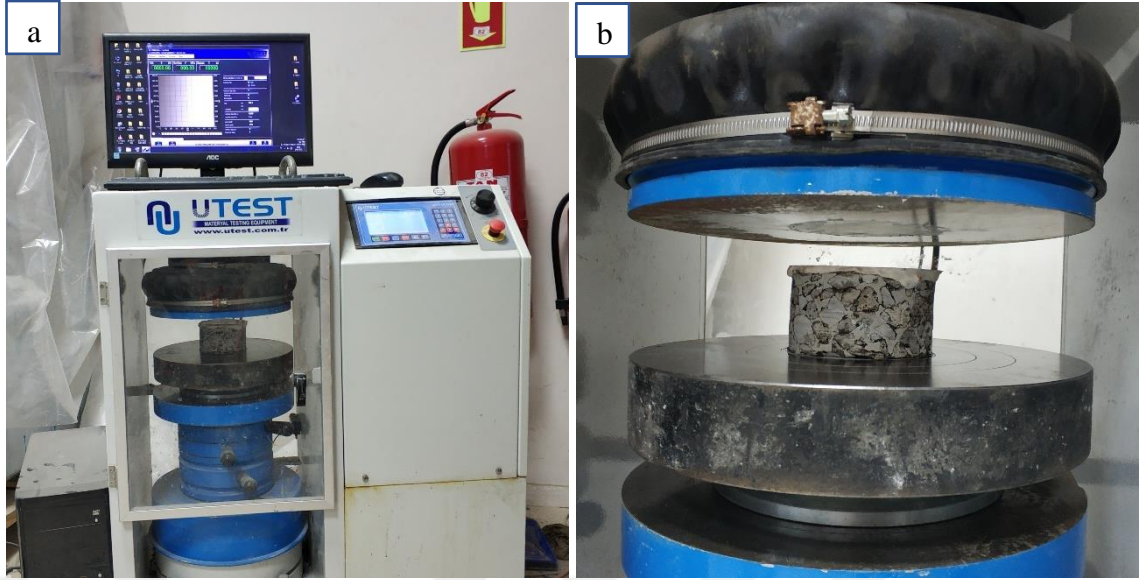
Marshall stabilitesi, sabit bir yükleme hızında elde edilen maksimum direnci ifade etmektedir. Marshall akması ise, stabilite deneyi yapılırken bitüm bağlayıcılı numunenin deformasyonun ölçülmesi ile çıkan sonucu ifade etmektedir. Marshall stabilitesi ve akma tayini deneyi ASTM 6927 standartına uygun olarak yapılmıştır. Buna göre; 12 saat, 24 saat, 3 gün, 7 gün ve 28 günlük kürlenme sürelerinin sonunda YRK karot numuneleri 30-40 dakika boyunca 60 ± 1 °C'lik su banyosunda bekletilmiştir. Alt ve üst başlığı temizlenip yağlanan deney başlığının içine karot numunesi yerleştirilmiştir. Deney başlığına akma ölçerde yerleştirildikten sonra cihaz düşey yönde 50 ± 5 mm/dak hızla çalıştırılmış ve deney tamamlanmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Marshall stabilite ve akma tayini deneyi düzeniği

3.2.8.2. Basınç dayanımı deneyi

Bu deney ile YRK numunelerinin basınç dayanımı bulunmaktadır. Bu deney yapılırken ASTM C39 standartına uyulmuştur. Buna göre; 24 saat, 3 gün, 7 gün ve 28 günlük kürlenme sürelerinin sonunda YRK karot numunelerinin üst yüzeyi üniform olmadığı için YRK numuneleri hızlı sertleşen kartonpiyer alçısıyla başlıklanmıştır. Aydın vd. (2017) yaptıkları çalışmaya göre; kartonpiyer alçısının başlıklama işlemi için kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır. Başlıklama yapılan numunelere 0.25 MPa/sn aksel hızda basınç uygulanarak deney tamamlanmıştır. Deney, Şekil 3.30'da gösterilen tam otomatik hidrolik pres cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.30. a) YRK basınç deneyi düzenegi; b) Başlıklanmış YRK numunesi

Basınç dayanımının bulunması için Denklem 3.26 kullanılmıştır.

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.26)$$

Burada;

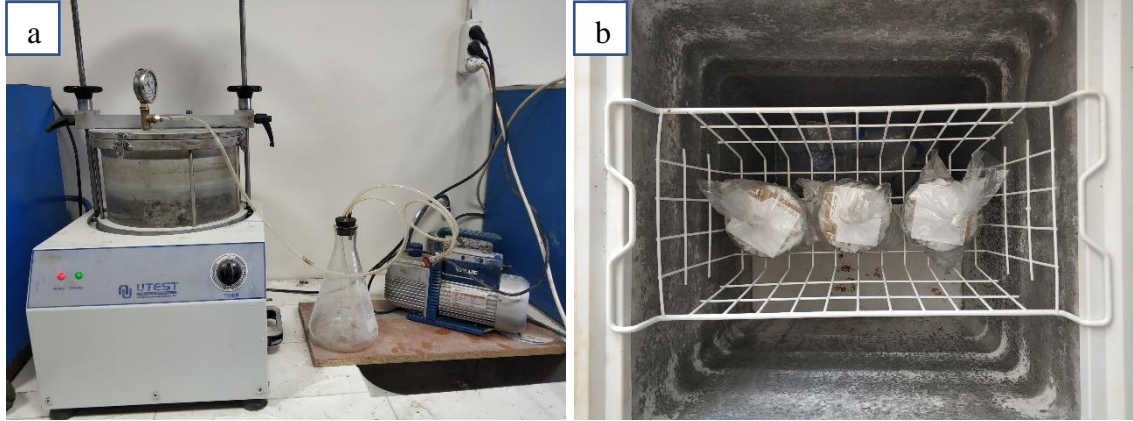
P: Basınç dayanımı, MPa

F: Maksimum kırılma yükü, N

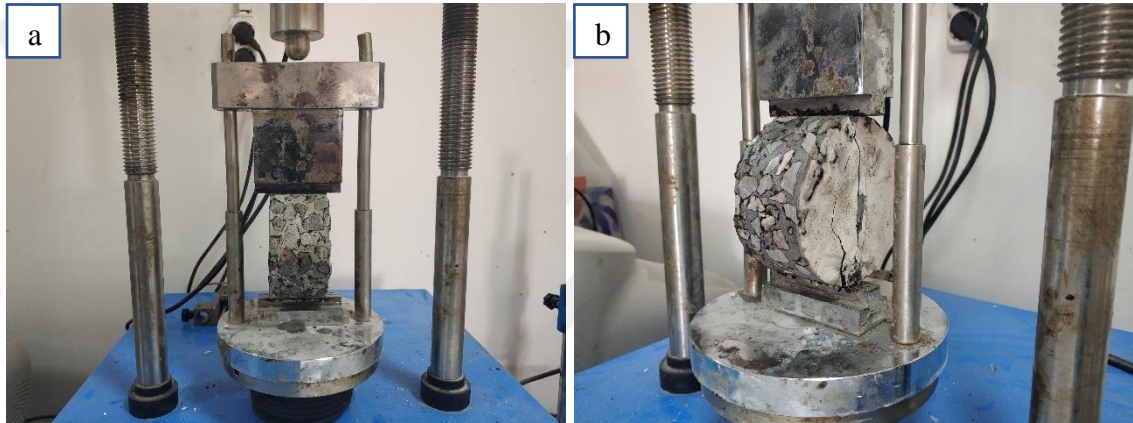
A: Numunenin yüzey alanı, mm²

3.2.8.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi

Bu deney ile YRK numunelerinin nem hasarına karşı duyarlılığının bulunması için yapılmaktadır. Bu deney yapılırken AASHTO T 283 standartına uyulmuştur. Buna göre; deney için koşullu ve koşulsuz olmak üzere iki grup YRK numuneleri kullanılmıştır. Koşullu numuneler, vakumlu desikatörlerde %70-80 arasında suya doyurulmuştur (Şekil 3.31.a). Vakumlu desikatörden çıkartılan numuneler streç film ile sarılmış ve bir poşetin içerisine konulmuştur. Bu poşetin içerisine 10 ml su eklenmiş ve numuneler -18 °C'deki dondurucuda 16 saat bekletilmiştir (Şekil 3.31.b). 16 saat sonunda numuneler 60 °C'deki su banyosuna bırakılmış ve 24 saat bekletilmiştir. Son olarak ise kırılmadan önce koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numuneler 2 saat 25 °C'deki suyun içerisinded bekletilmiştir. Numuneler, 50±5 mm/dakika hızla indirekt çekme başlığında kırılmıştır (Şekil 3.32). Numuneye uygulanan maksimum yük kaydedilmiştir.



Şekil 3.31. a) YRK numunelerinin vakumlu desikatörde doyurulması; **b)** YRK numunelerinin dondurucuda bekletilmesi



Şekil 3.32. a) İndirekt çekme deneyi; **b)** Deney sonucu numunenin görünüşü

İndirekt çekme mukavemetinin sonucu Denklem 3.27 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi t d} \quad (3.27)$$

Burada;

ITS: İndirekt çekme mukavemeti, kpa

P_{max} : Numuneye uygulanan maksimum yük, KN

t: YRK numunesinin yüksekliği, mm

d: YRK numunesinin çapı, mm

Koşullu ve koşulsuz numunelerinin birbirine oranlanması ile indirekt çekme dayanımı oranı bulunmuştur (Denklem 3.28).

$$TSR = \frac{ITS_{koşullu}}{ITS_{koşulsuz}} \quad (3.28)$$

Burada;

TSR: İndirekt çekme dayanımı oranı, %

ITS_{koşullu}: Koşullu numunelerin indirekt çekme dayanımı, kpa

ITS_{koşulsuz}: Koşulsuz numunelerin indirekt çekme dayanımı, kpa

3.2.8.4. Cantabro deneyi

Cantabro deneyi, YRK numunelerinin darbelenmeye karşı dayanımını belirlemek için yapılmaktadır. Bu deney, Los Angeles cihazında, demir bilyesiz, 30-33 rpm hızda 300 devir olacak şekilde yapılmıştır. Los Angeles cihazına yerleştirilmeden önce numunelerin ağırlığı ölçülmüş ve 300 devir tamamlandıktan sonra cihazdan çıkarılan yıpranmış numunenin ağırlığı tekrar ölçülerek deney tamamlanmıştır (Şekil 3.33).

Cantabro deneyinin sonucu Denklem 3.29 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı, \%} = \frac{A - B}{A} \quad (3.29)$$

Burada;

A: Numunenin deneyden önceki ağırlığı, g

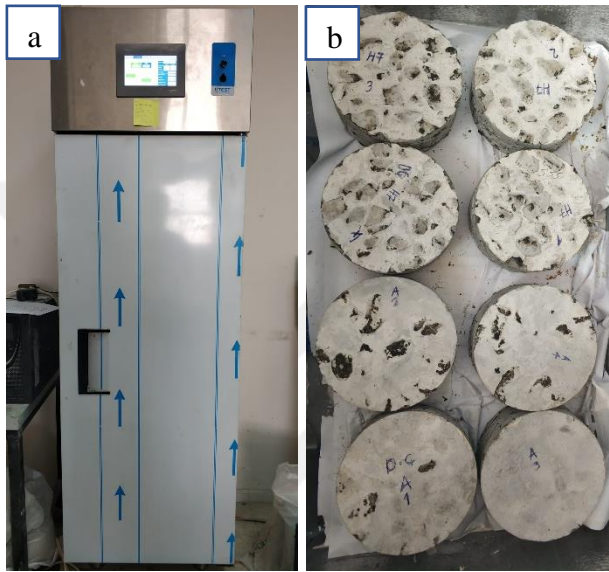
B: Numunenin deneyden sonraki ağırlığı, g



Şekil 3.33. YRK numunesinin Cantabro deneyinden sonraki görüntüsü

3.2.8.5. Donma-çözülme deneyi

Donma-çözülme deneyi, YRK numunelerinde mevsimsel şartların neden olabileceği bozulmaları tahmin etmek için yapılmaktadır. Bu deney kapsamında iki grup YRK numuneleri donma-çözülme döngülerine tabii tutularak indirekt çekme başlığında kırılmıştır. Deney Şekil 3.34.a’da gösterilmiş olan donma-çözülme kabininde yapılmıştır. Deneyde kullanılan donma-çözülme döngüsü; -18 °C’de 900 dakika donma ve 25 °C’de 540 dakika çözülme şeklindedir. YRK gruplarından biri 3 döngüye, diğeri 5 döngüye tabii tutulmuştur. Şekil 3.34.b’de donmuş YRK numuneleri gösterilmiştir.



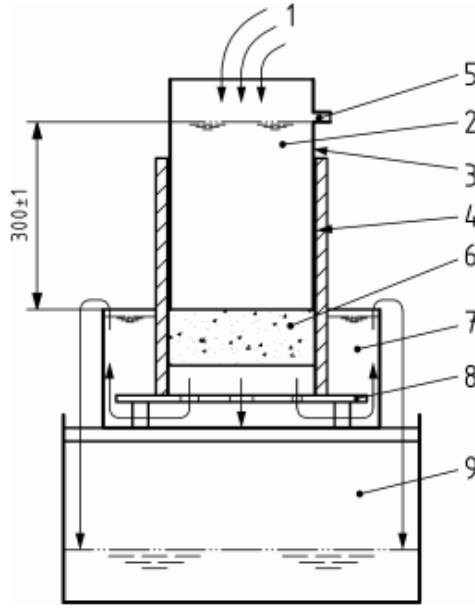
Şekil 3.34. a) Donma-çözülme kabini; b) Donmuş YRK numuneleri

3.2.8.6. Permeabilite deneyi

Permeabilite deneyi, YRK numunelerinin 300 ± 1 sabit su sütunu altında yatay ve düşey yöndeki geçirgenliğinin bulunması için yapılmıştır. Permeabilite deneyi yapılırken TS EN 12697-19 standartına uyulmuştur.

Düşey permeabilite

Düşey permeabilite değeri bulunurken, numune boyunca sadece dikey yönde su akışına izin verilir. Deney yapılırken ilk olarak membran plastik tüpün içerisine yerleştirilmiştir. Membranın tüpe yapışması için aradaki hava vakumlanmıştır. Numune sac süzgecin merkezine yerleştirilmiştir. Membranlı tüp numunenin üstüne yerleştirilmiştir. Plastik tüpün içerisine su sütunu konulmuştur. Düşey permeabilite deneyinin şematik gösterimi Şekil 3. 35’te gösterilmiştir (TS EN 12697-19). Daha sonra numunenin yanlarından su sızmasını engellemek için membran 50 kPa hava ile şişirilmiştir. Su kaynağı açılarak 10 dakika boyunca su akışı sağlanmıştır (Şekil 3.36). Son olarak en az 60 saniye olacak şekilde suyun numuneden bir kaba akması sağlanmış ve kabın ağırlığı ölçülmüştür.



Şekil 3.35. Düşey permeabilite deneyinin şematik gösterimi

Burada; 1: su kaynağı, 2: su sütunu, 3: plastik tüp, 4: membran, 5: su sütununun yüksekliğini korumak için çıkış, 6: numune, 7: su haznesi, 8: sac süzgeç, 9: toplama haznesi



Şekil 3.36. Düşey permeabilite deneyi

Düşey permeabilite hesaplanırken ilk olarak debi hesaplanmış (Denklem 3.30) ve buna bağlı olarak düşey permeabilite hesaplanmıştır (Denklem 3.31).

$$Q_v = \frac{m}{t} \times 10^{-6} \quad (3.230)$$

Burada;

Q_v : Suyun düşey akışı, m^3/sn

m : Hazneye akan suyun ağırlığı, g

t : Hazneye su dolmasına izin verilen süre, sn

$$K_v = \frac{4Q_v l}{h\pi D^2} \quad (3.31)$$

Burada;

K_v : Düşey permeabilite, m/sn

l : Numunenin yüksekliği, m

h : Su sütununun yüksekliği, m

D : Numunenin çapı, m

Yatay permeabilite deneyi

Deneye numunenin alt yüzeyinin balmumu ile kaplanmasıyla başlanmıştır. Numunenin üst yüzeyinin çevresine sıcak silikon kullanılarak alüminyum halka sabitlenmiştir. Alüminyum halkalı numune destek levhasına yerleştirilmiştir. Alüminyum halkanın üzerine su sütunu yerleştirilmiştir. Levha su ile dolu kabın içine indirilmiş ve 10 dakika boyunca su akışına izin verilmiştir (Şekil3. 37). Daha sonra en az 60 saniye olacak şekilde haznedeki taşınan su boş bir kaptaki toplanmış ve kabın ağırlığı ölçülmüştür.

Yatay permeabilite hesaplanırken ilk olarak debi hesaplanmış (Denklem 3.32) ve buna bağlı olarak yatay permeabilite hesaplanmıştır (Denklem 3.33).

$$Q_h = \frac{m}{t} \times 10^{-6} \quad (3.32)$$

Burada;

Q_h : Suyun yatay akışı, m^3/sn

m : Hazneye akan suyun ağırlığı, g

t : Hazneye su dolmasına izin verilen süre, sn

$$K_v = \frac{Q_h l}{(H + P + 0.5l) \times (\pi D l)} \quad (3.33)$$

Burada;

K_v : Yatay permeabilite, m/sn

l : Numunenin yüksekliği, m

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 3.37. Yatay permeabilite deneyi

3.2.8.7. Yüzey pürüzlülüğü deneyi

Yüzey pürüzlülüğü deneyi, British pendulum test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üstyapının sürüş güvenliği açısından önemlidir. Deneyin yapılışında ASTM E303-93 standartına uyulmuştur. Buna göre; ilk olarak deneyin yapılacağı yüzey temizlenmiş ve ıslatılmıştır. Test cihazı yüzeye yerleştirilmiş ve su terazisi yardımıyla dengelenmiştir. Daha sonra sarkacın altında bulunan pabucun yüzeye temas edeceği 12.7 cm mesafe ayarlanmıştır (Şekil 3.38.a). Pabuç ıslatılmış ve sarkaç serbest bırakılmıştır (Şekil 3.38.b). İlk işlemden sonra sarkaç 5 kez daha serbest bırakılmış ve ölçümler kaydedilmiştir.



Şekil 3.38. a) Sarkacın ayarlanması; **b)** Sarkacın serbest bırakılması

Şekil 3.39.a'da karot makinesi ile alınmış YRK numunesi ve Şekil 3.39.b'de tez çalışması boyunca çeşitli performans testlerine tabi tutulmuş YRK numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 3.39. a) YRK karot numunesi; **b)** Performans testlerine tabi tutulmuş YRK numuneleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında uygulanan deneylerin sonuçları agregaya, bitüme, AÇH ve YRK'ye olmak üzere toplam 4 grupta aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

4.1. Agregalara Uygulanan Deneylerinin Sonuçları

Kaba agregaya özgül ağırlıkları ve su emme oranı, ince agregaya özgül ağırlıkları ve su emme oranı, filler özgül ağırlığı, aşınma kaybı değeri, yassılık indeksi değeri, soyulma mukavemeti, metilen mavisi, MgSO₄ ile kayıp ve organik madde tayini deneylerinin sonuçları ve şartname limitleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Agregalara uygulanan deneylerin sonuçları

Deneyin adı		Sonuç	Şartname Limiti	
Kaba agregaya özgül ağırlık deneyi	Hacim ö.a.	2.600		
	Yaş hacim ö.a.	2.613		
	Zahiri ö.a.	2.635		
	Su emme, %	0.504	≤2.0	KTŞ 2013
İnce agregaya özgül ağırlık deneyi	Hacim ö.a.	2.648		
	Yaş hacim ö.a.	2.710		
	Zahiri ö.a.	2.821		
	Su emme, %	0.567	≤2.0	KTŞ 2013
Filler özgül ağırlığı		2.722		
Aşınma kaybı, %		25.285	≤40	(Oliveira 2006)
Yassılık indeksi, %		14.5	≤20	KTŞ 2013
Soyulma deneyi, %		92.5	≥80	KTŞ 2013
Metilen mavisi, g/kg		0.75	≤1.5	KTŞ 2013
MgSO ₄ ile kayıp, %		1.03	≤10	KTŞ 2013
Organik madde tayini		Negatif	Negatif	KTŞ 2013

Kaba ve ince agregaya yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde tüm değerlerin şartname limitleri içinde olduğu görülmüştür.

4.2. Bitüme Uygulanan DeneYlerin Sonuçları

PA yapımında kullanılan B50/70 sınıfı bitüme uygulanan penetrasyon, yumuşama noktası, düktilite, parlama noktası ve TFOT deneylerinin sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Bitüme uygulanan deneylerin sonuçları

DeneYin adı	Sonuç	Şartname Limiti	
Penetrasyon, 0.1mm	66.97	50-70	KTŞ 2013
Yumuşama noktası, °C	46.3	46-54	KTŞ 2013
Düktilite, mm	>100	>100	KTŞ 2013
Parlama noktası, °C	257	>230	KTŞ 2013
İnce film halinde ısıtma deneyi (163°C’de, 5 saat)			
Kütle değişimi, %	0.43	<0.5	KTŞ 2013
Kalıcı penetrasyon, %	70.26	>50	KTŞ 2013
Yumuşama noktası, °C	48.95	>48	KTŞ 2013
Yumuşama noktası yükselmesi, °C	2.65	<9	KTŞ 2013

Bitüme yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde, tez çalışmasında kullanılan bitümün gerekli standart limitlerinin içerisinde olduğu anlaşılmaktadır.

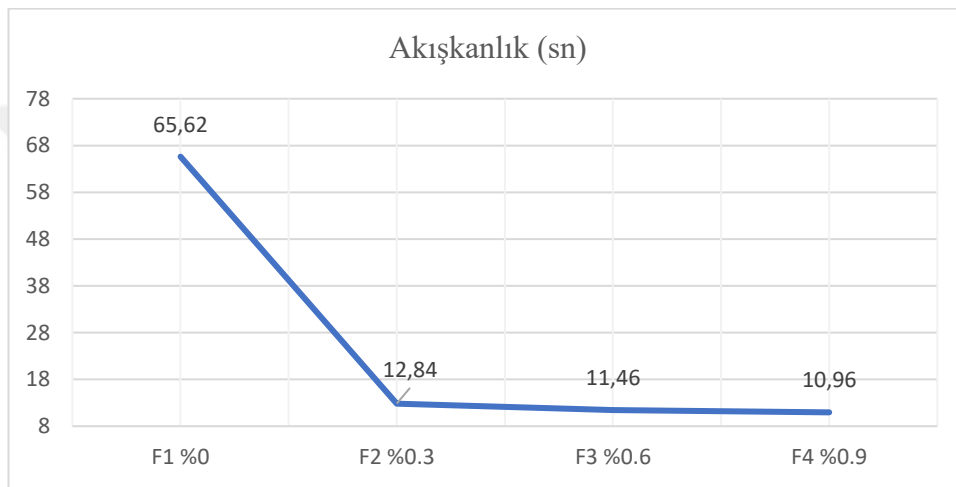
4.3. Akışkan Çimento Harcının Performansı

AÇH numunelerinde kullanılacak süper akışkanlaştırıcı miktarının belirlenmesi için ilk olarak sabit su/çimento (%52.5) ve sabit lateks katkılı, sırasıyla çimento ağırlığına göre %0, %0.3, %0.6 ve %0.9 süper akışkanlaştırıcı içerikli F1, F2, F3 ve F4 kodlu AÇH numuneleri üretilmiştir. Bu AÇH numunelerinin akışkanlık deneyinin sonuçları Şekil 4.1’de ve 7 günlük basınç ve eğilme deneylerinin sonuçları ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

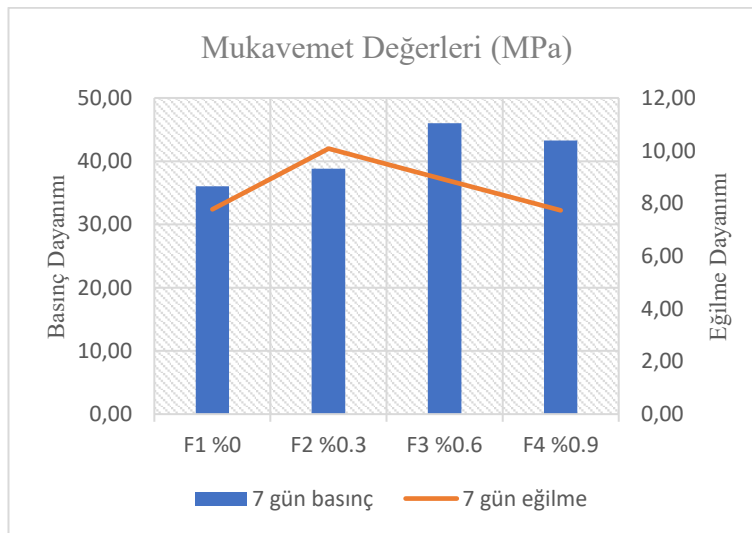
Çalışmada AÇH numunelerinin akış sürelerinin aralığı 10-14 saniye olarak belirlenmiştir. Literatür taraması yapıldığında 1 litre hacimli (Saboo vd. 2019), 1200 ml hacimli (Afonso vd. 2016) ve bu çalışmada da kullanılan 1725 ml hacimli (Davoodi vd. 2021; Fang vd. 2016; Pei vd. 2016; Zhang vd. 2016; Zhong vd. 2020) akışkanlık hunileri ile akışkanlık testlerinin yapıldığı görülmüştür. Farklı hacimli akışkanlık hunileri ile yapılan çalışmalarda tavsiye edilen akışkanlık süresi değişkenlik göstermektedir. Bu

çalışmada ise (Zhang vd. 2016) ve (Zhong vd. 2020) çalışmalarında da tavsiye ettiği 10-14 saniye aralığı baz alınmıştır.

Şekil 4.1'den de anlaşılacağı gibi süper akışkanlaştırıcı kullanımı ile AÇH numunelerinin akış sürelerinde önemli bir düşüş sağlanmıştır. Şekil 4.2 incelendiğinde ise %0.6 süper akışkanlaştırıcı oranına kadar basınç dayanımı değerlerinin arttığı ve %0.6 oranından sonra katkı dozajı arttığında mukavemet değerinin azalmaya başladığı görülmüştür. Ayrıca %0.9 süper akışkanlaştırıcı içerikli F4 kodlu AÇH'de süper akışkanlaştırıcı dozajının yüksek olmasından dolayı hem segregasyon hem de kuma gözlenmiştir. Şekil 4.3'te, meydana gelen kuma olayı gösterilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda optimum süper akışkanlaştırıcı içeriği %0.6 seçilmiştir.



Şekil 4.1. F kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri



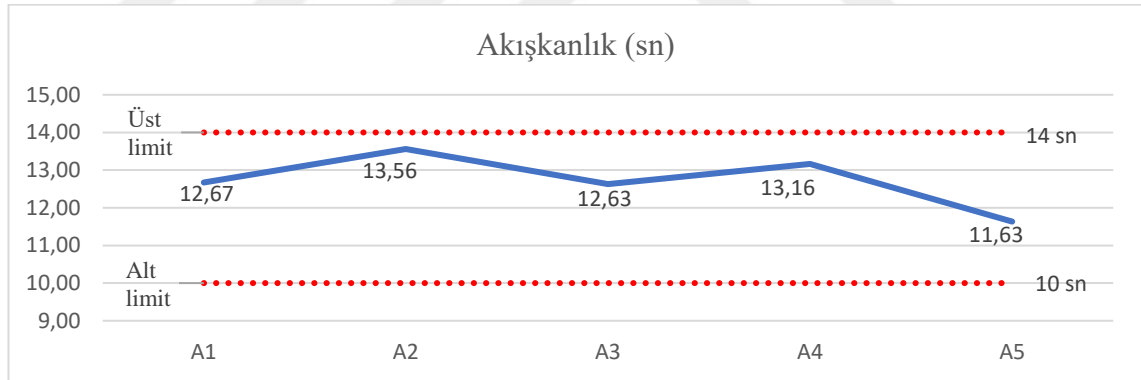
Şekil 4.2. F kodlu AÇH numunelerinin mukavemet değerleri



Şekil 4.3. F4 kodlu AÇH numunesinde yaşanan kuma olayı

4.3.1. Kontrol AÇH numuneleri

AÇH numunelerinde kullanılan katkı malzemelerinin etkisini anlayabilmek için ilk olarak kontrol numuneleri üretilmiştir. Kontrol numunelerinin sonuçları aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.4. A kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri

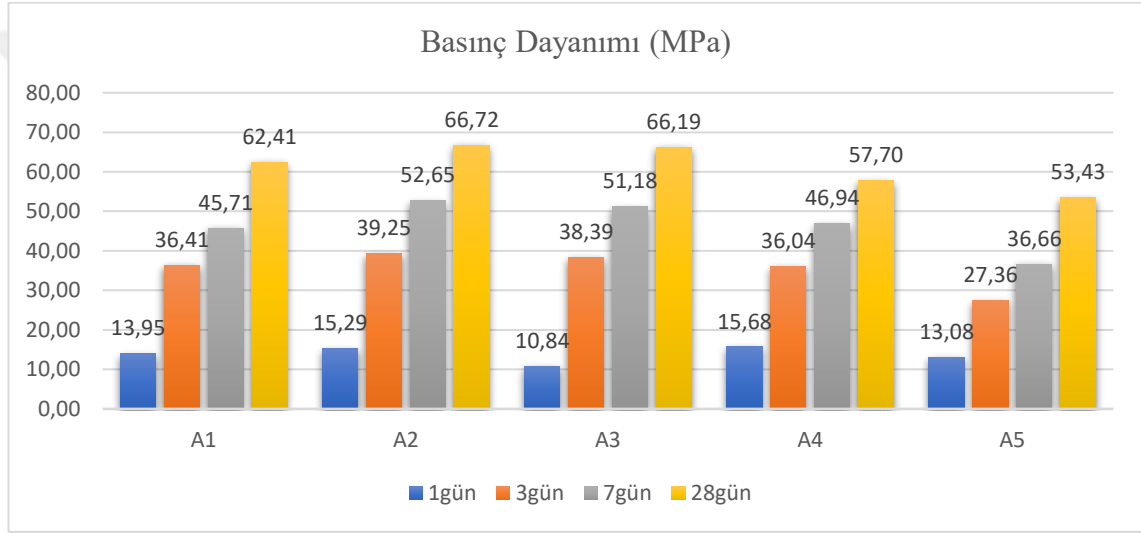
Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kontrol numunelerinin tamamı istenilen aralıkta kalmıştır. Akışkanlık sürelerinin sonuçları incelendiğinde, su/çimento oranının ve süper akışkanlaştırıcı dozajının artması ile akışkanlık sürelerinin azaldığı görülmüştür. Akışkanlık süresinin düşmesi ile AÇH, PA'nın boşluklarına daha iyi bir şekilde nüfuz edebilmektedir.

Şekil 4.5'te kontrol numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları gösterilmiştir. Basınç dayanımlarının sonuçları incelendiğinde, 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin 53.43 MPa ile 66.72 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Bang vd. (2017)'ne göre 28 günlük basınç dayanımı için yaklaşık 50 MPa önerilmiştir. Buna göre

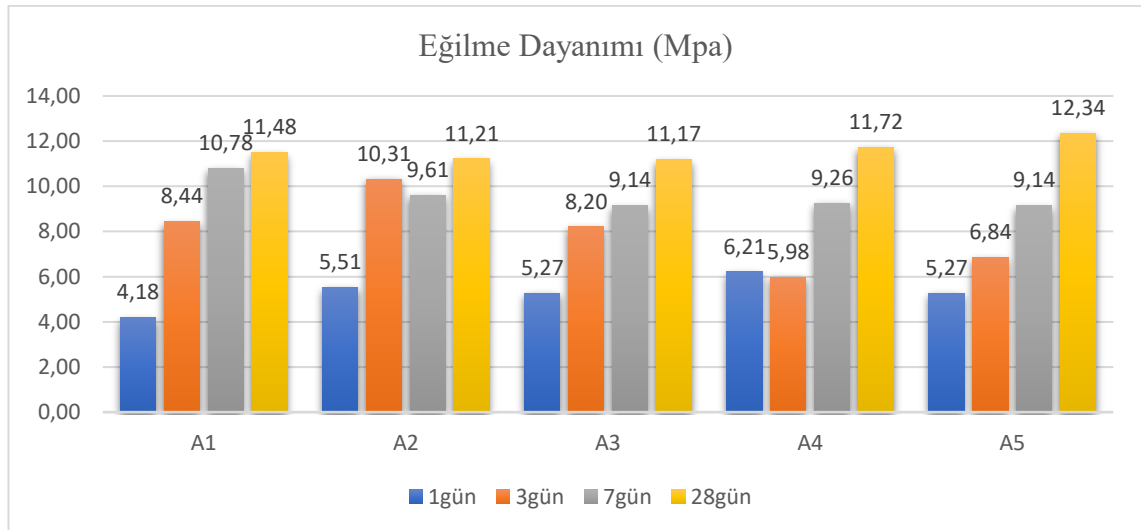
deneysel çalışmalar sonucu elde edilen 28 günlük basınç dayanımı, önerilen basınç dayanımı değerlerini sağlamaktadır.

Basınç dayanımının sonuçları irdelendiğinde, su/çimento oranı azaldığında basınç dayanımı değerlerinin arttığı görülmüştür. Su/çimento oranı azaldığında karışımdaki çimento dozajı arttığı için bu beklenen bir durumdur.

Şekil 4.6'da kontrol numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları gösterilmiştir. Eğilme dayanımlarının sonuçları incelendiğinde 7 günlük eğilme dayanımı değerlerinin 9.14 MPa ile 10.78 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Wang vd. (2018)'ne göre 7 günlük eğilme dayanımı için en az 3 MPa önerilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçların, önerilen eğilme dayanımının üzerinde olduğu görülmüştür.

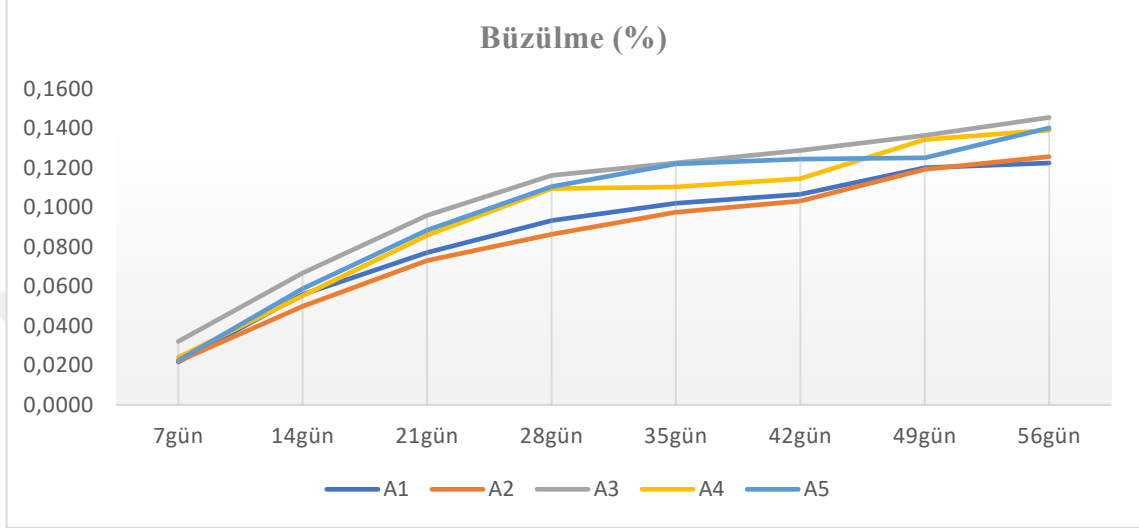


Şekil 4.5. A kodlu AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri



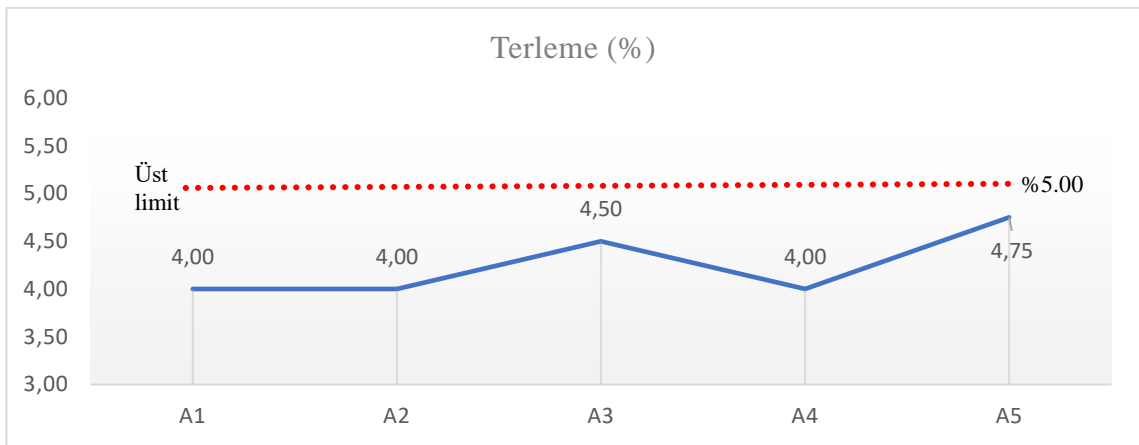
Şekil 4.6. A kodlu AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.7’de kontrol numunelerinin kuruma büzülmesi deneyinin sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre büzülme değerlerinin birbirine paralel şekilde olduğu görülmüştür. Ayrıca büzülme değerlerinin artış hızının 28 gün sonunda azaldığı da grafikteki eğimlerden anlaşılmaktadır. Gong vd. (2022)’ne göre 28 günlük büzülme değerinin %0.3’ten büyük olmaması gerekmektedir. Buna göre bütün numunelerin büzülme değerlerinin üst limit değerinin altında kaldığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.7. A kodlu AÇH numunelerinin kuruma büzülmesi deneyinin değerleri

Şekil 4.8’de kontrol numunelerinin terleme deneyinin sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek terleme değeri, en yüksek su/çimento oranına sahip A5 kodlu AÇH’de %4.75 olarak gözlemlenmiştir. Zeyne (2017)’nin çalışmasına göre terleme deneyinin sonucu %5’i aşmamalıdır. Terleme yüzdesinin yüksek çıkması, harcın ayrışmasına neden olmaktadır. Eğer ayrışma meydana gelirse, harç PA’ya döküldüğünde, PA’nın boşluklarının tıkanmasına neden olabilmektedir (Hu vd. 2008). Deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlerin üst limit olan %5’i aşmadığı Şekil 4.8’den görülmektedir.



Şekil 4.8. A kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları

Çizelge 4.3'te kontrol numunelerinin VIKOR yöntemine göre alternatif sıralaması verilmiştir. Buna göre A2 kodlu AÇH numunesi en iyi performansı göstermiştir. Ayrıca VIKOR yönteminin adımları Ek 1'de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. A kodlu AÇH numunelerinin VIKOR yöntemine göre sıralaması

Kod	S_i	R_i	Q_i	Sıralama
A1	0.29	0.04	0.12	2
A2	0.15	0.05	0.08	1
A3	0.71	0.08	0.75	5
A4	0.50	0.05	0.40	3
A5	0.67	0.08	0.72	4
C1 Kontrolü	Tutarsız		Kabul edilebilir	
C2 Kontrolü	Tutarlı		Kararlılıkta stabil	

4.3.2. Lateks katkıli AÇH numuneleri

Lateks katkıli AÇH numunelerinin üretilmesi için VIKOR yöntemine göre en iyi performansa sahip A2 kodlu AÇH baz alınmıştır. Ancak A2 kodlu AÇH numunesinin akış süresi (13.56 sn) üst sınır olan 14 saniyeye çok yakın olduğu için %55 su/çimento oranına sahip A4 kodlu AÇH numuneleri ile lateks katkıli AÇH'ler üretilmiştir. Lateks katkısının eklenmesi ile akış sürelerinin ortalama 2 saniye azaldığı görülmüştür (Şekil 4.9). Bu sonuca göre tekrar VIKOR yöntemi ile en iyi performansa sahip A2 kodlu AÇH numuneleri ile lateks katkıli AÇH numuneleri üretilmiştir.

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da lateks katkıli AÇH numunelerinin akışkanlık deneyinin sonuçları gösterilmiştir. Lateks katkıli AÇH numunelerinin akış süreleri 11.02 sn ile 12.77 sn aralığında değişkenlik göstermiştir. Buna göre L kodlu AÇH'lerin limit değerler olan 10-14 sn arasında olduğu görülmüştür.

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da da görüleceği üzere lateks katkısı kullanımı sonucunda, AÇH içerisine su ağırlığının 60'ta 1'i lateks eklendiğinde A4 kodlu AÇH'nin akış süresi 13.16 saniyeden 11.23 saniyeye ve A2 kodlu kontrol AÇH'nin akış süresi 13.56 saniyeden 12.25 saniyeye düşmüştür. Ayrıca Şekil 4.10'da görüleceği üzere lateks dozajının artması ile akış süresinin de yükseldiği görülmüştür.

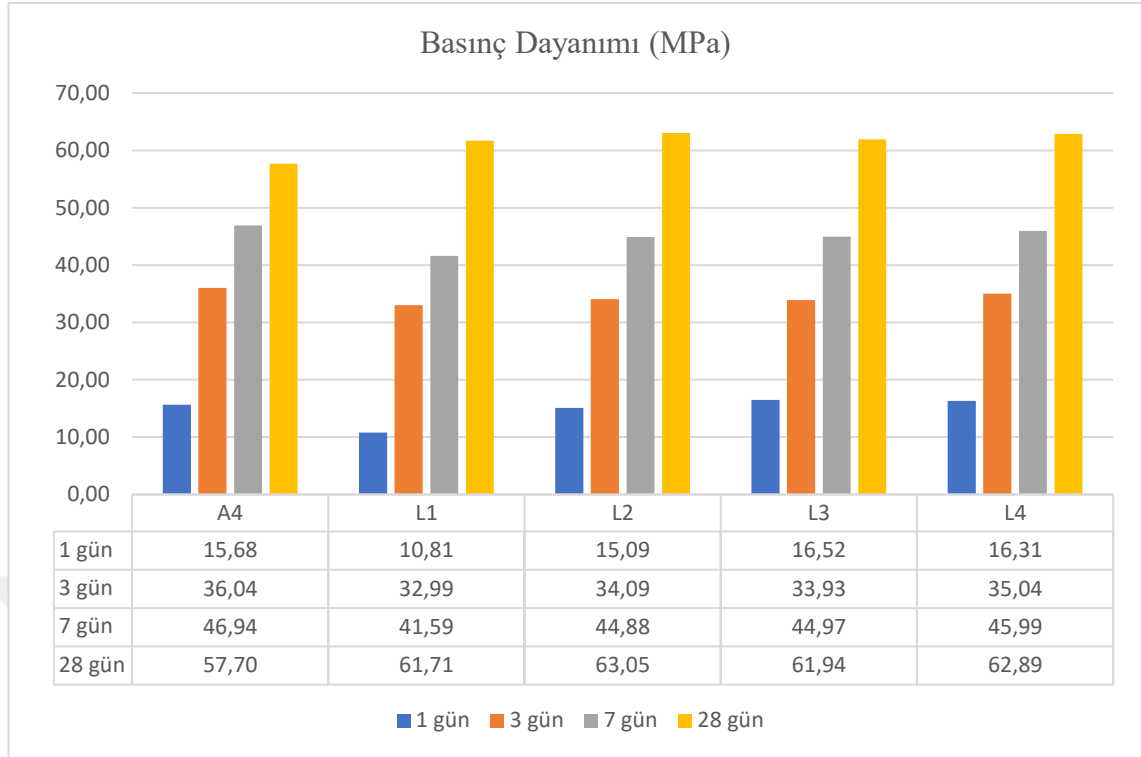


Şekil 4.9. 1. grup lateks katkıli AÇH numunelerinin akış süreleri

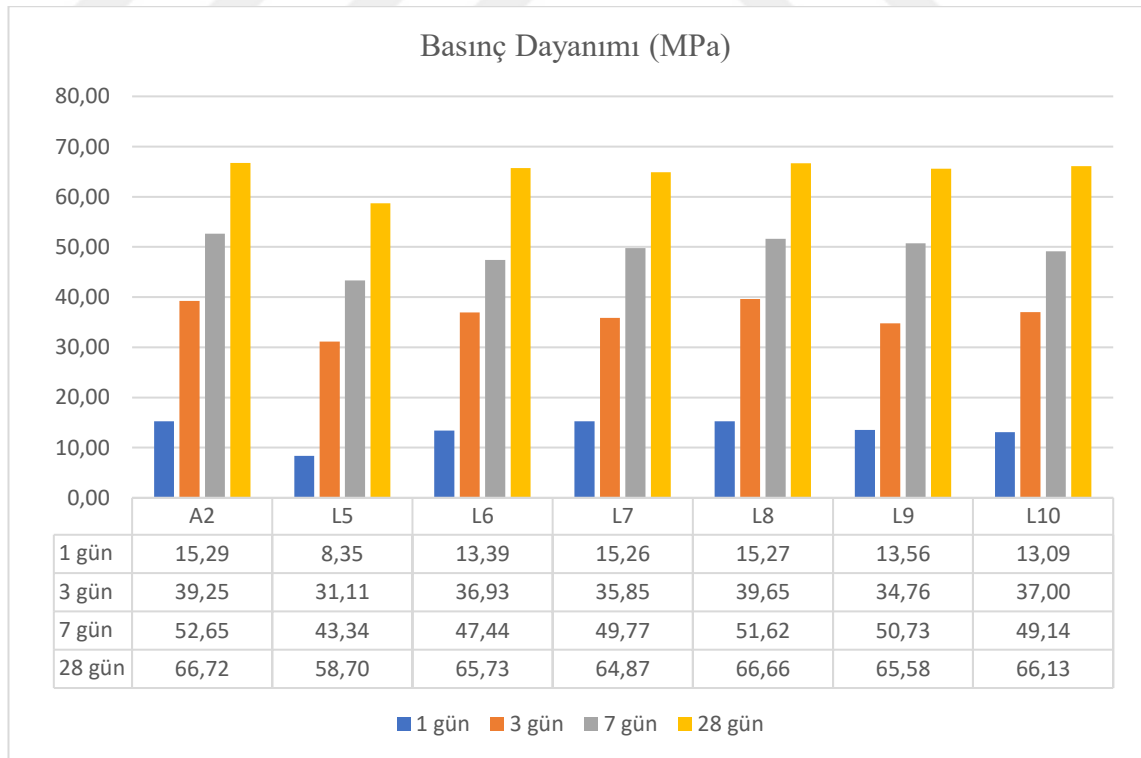


Şekil 4.10. 2. grup lateks katkıli AÇH numunelerinin akış süreleri

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de L kodlu AÇH numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları gösterilmiştir. Buna göre lateks kullanımı ile 1 ve 3 günlük basınç dayanımlarında nispeten bir azalma görülmektedir. Ayrıca lateks kullanımının artması ile L1 ve L5 kodlu numunelerin basınç dayanımının 1 günlük dayanımları kontrol numunelerine göre ortalama %38.22 azalmıştır. Nihai dayanımda ise 1. grupta lateks kullanılması ile 28 günlük basınç dayanımları artmışken, 2. gruptaki lateks katkıli numunelerin basınç dayanımlarında önemli bir artış gözlemlenmemiştir.

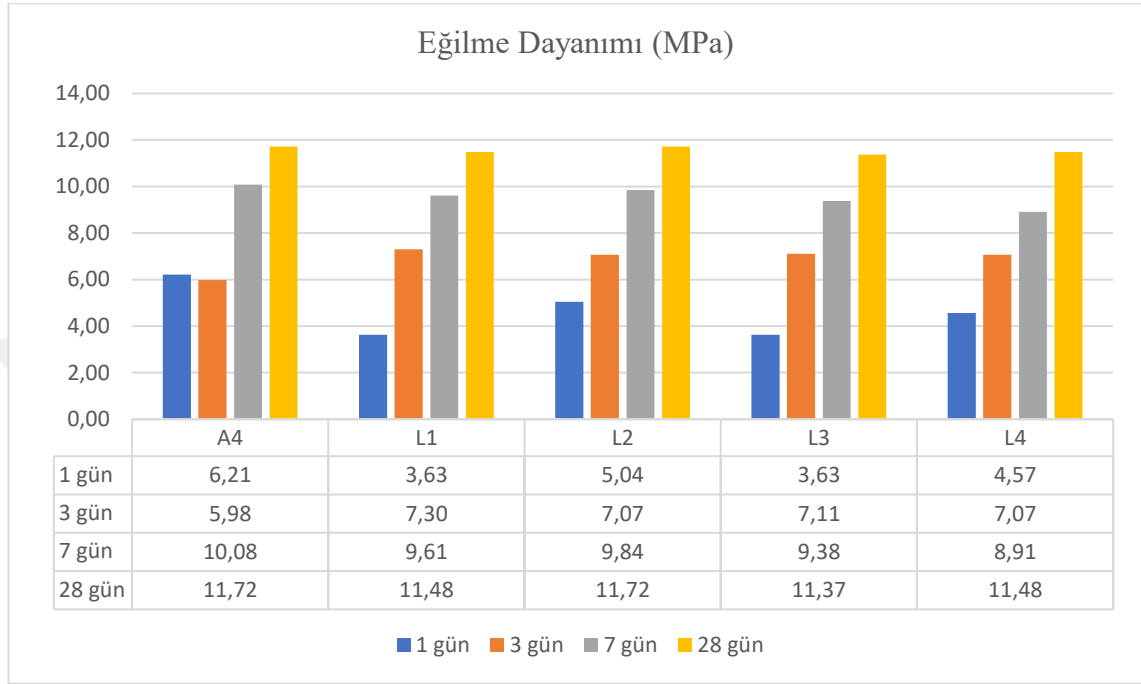


Şekil 4.11. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri

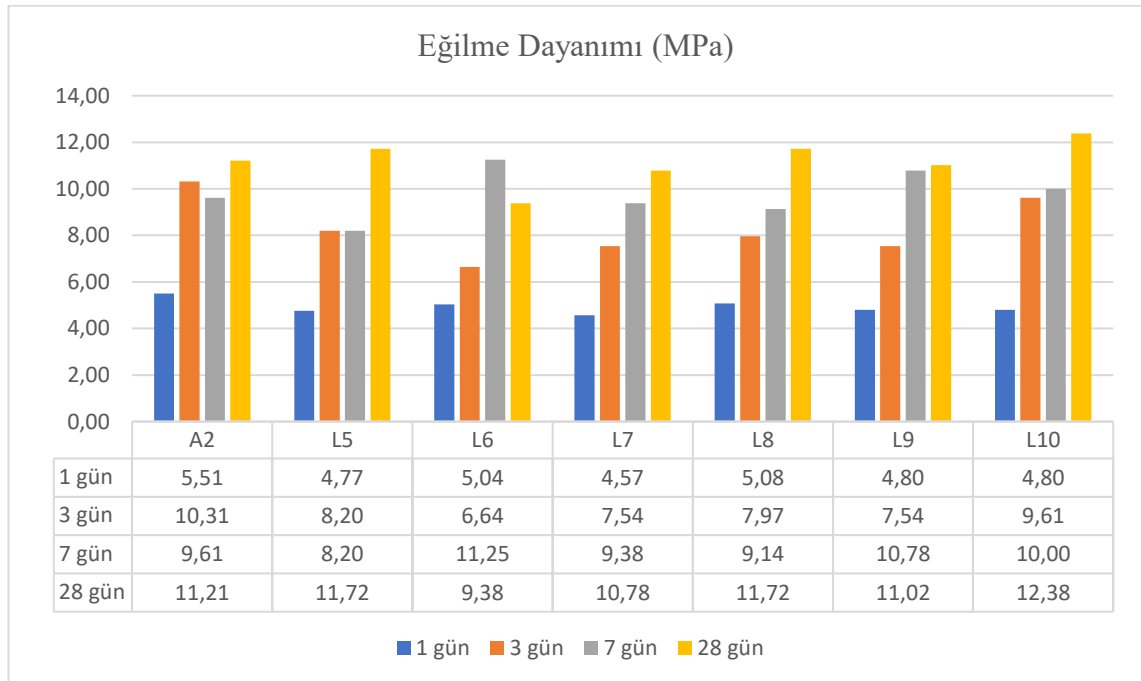


Şekil 4.12. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te L kodlu AÇH numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları gösterilmiştir. Eğilme dayanımının sonuçları da basınç dayanımı sonuçlarına paralellik göstermiştir. 1 günlük erken dayanımda kontrol numunelerine göre düşüş gözlemlenmişken, 28 günlük nihai eğilme dayanımlarının sonuçları kontrol numuneleriyle benzer çıkmıştır.

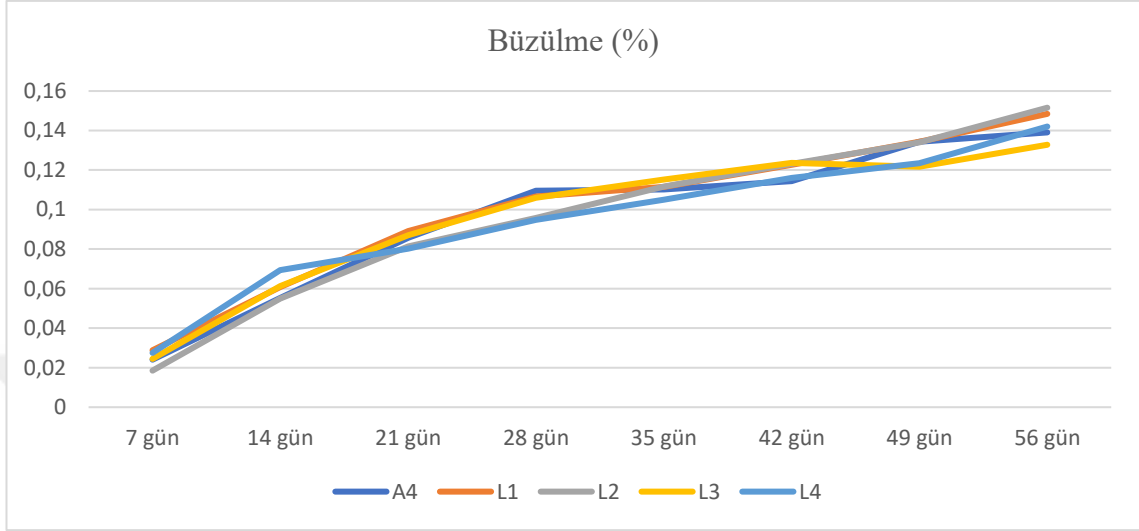


Şekil 4.13. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri

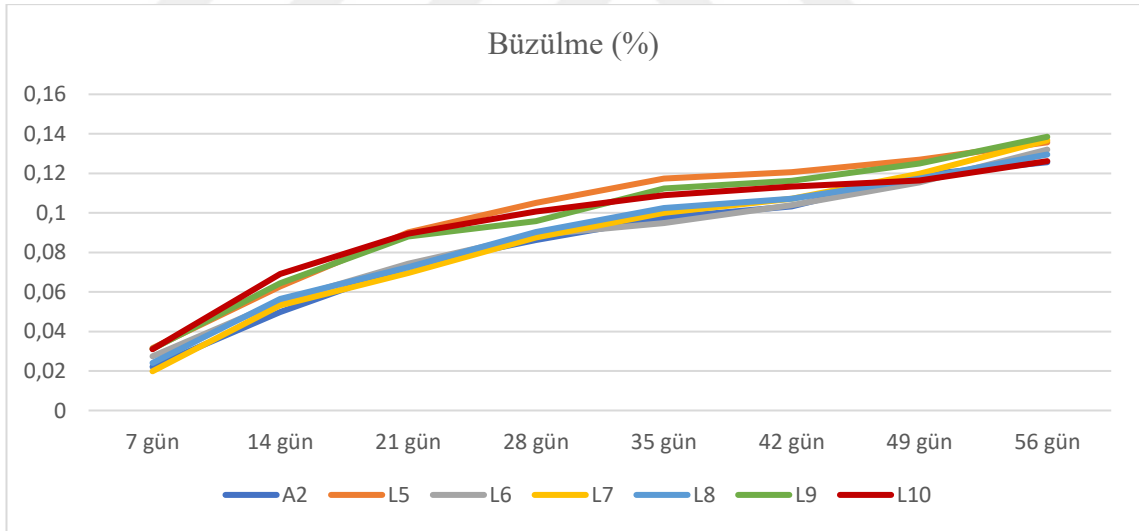


Şekil 4.14. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da lateks katkıli numunelerin 56 günlük büzülme değerleri birer haftalık sürelerle gösterilmiştir. Buna göre lateks katkıli AÇH numunelerinin büzülme değerlerinin kontrol numunelerinin değerlerine yakın olduğu görülmüştür. L kodlu AÇH numunelerinin büzülme değerlerinin tamamı 28 günlük %0.3 büzülme sınır değerinden düşüktür.

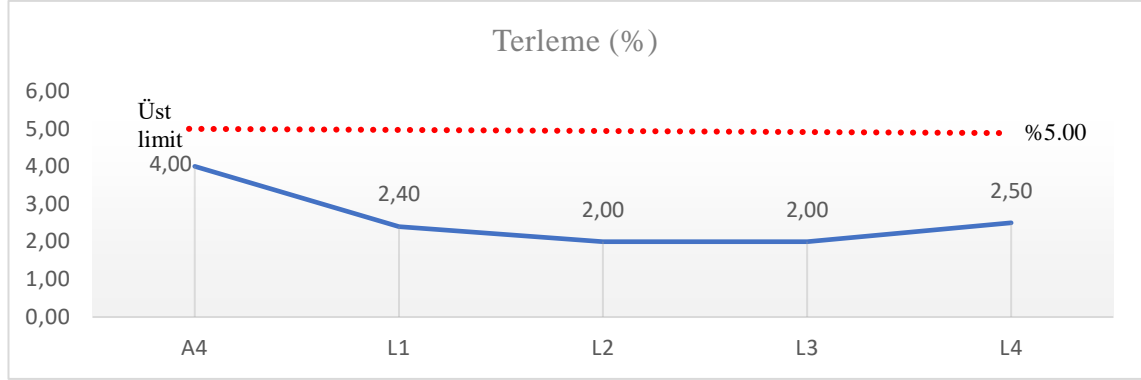


Şekil 4.15. 1. grup lateks katkıli AÇH numunelerinin büzülme değerleri

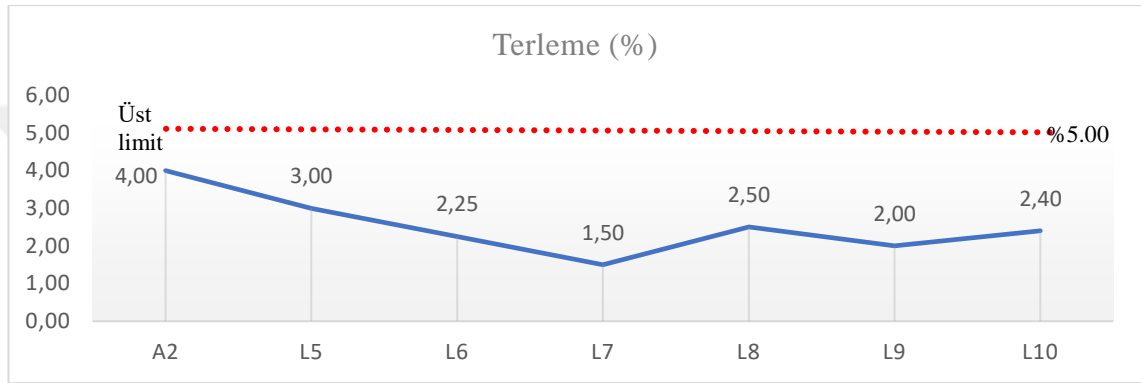


Şekil 4.16. 2. grup lateks katkıli AÇH numunelerinin büzülme değerleri

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de lateks katkıli numunelerin terleme yüzdeleri gösterilmiştir. Buna göre lateks katkısının kullanılması ile kontrol numunelerine göre terleme değerleri önemli bir oranda azalmıştır. L2 ve L9 kodlu AÇH numunelerinin terleme değerleri, kontrol numunelerinin terleme değerlerinden %50 daha az çıkmıştır. Yani lateks katkı AÇH’ye terleme açısından olumlu katkıda bulunmuştur.



Şekil 4.17. 1. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin terleme yüzdeleri



Şekil 4.18. 2. grup lateks katkılı AÇH numunelerinin terleme yüzdeleri

Çizelge 4.4. L kodlu AÇH numunelerin VIKOR yöntemiyle sıralaması

Kod	S_i	R_i	Q_i	Sıralama
L1	0.746	0.080	0.948	9
L2	0.509	0.057	0.482	7
L3	0.576	0.057	0.538	8
L4	0.508	0.057	0.481	6
L5	0.808	0.080	1.000	10
L6	0.307	0.046	0.183	2
L7	0.284	0.050	0.208	3
L8	0.209	0.037	0.000	1
L9	0.492	0.055	0.448	5
L10	0.410	0.056	0.383	4
C1 Kontrolü	Tutarlı		Kabul edilebilir	
C2 Kontrolü	Tutarlı		Kararlılıkta stabil	

Çizelge 4.4'te L kodlu AÇH numunelerinin VIKOR yöntemiyle sıralaması verilmiştir. VIKOR yöntemine göre L8 kodlu AÇH numunesi en iyi alternatif seçilmiştir. C1 ve C2 tutarlılık kontrollerinde de sonuç tutarlı olarak çıkmıştır. Ayrıca VIKOR yönteminin detaylı işlem adımları Ek 2'de verilmiştir.

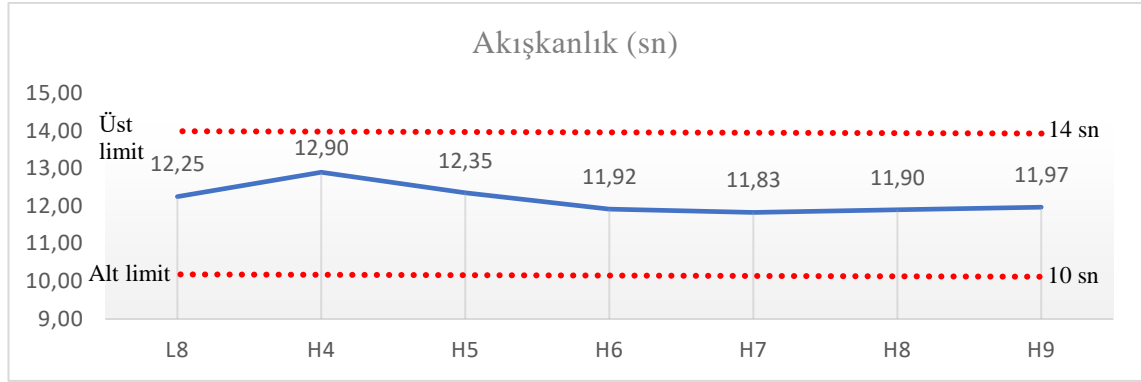
4.3.3. Priz hızlandırıcı katkılı AÇH numuneleri

Priz hızlandırıcılı AÇH numunelerinin hazırlanmasında VIKOR yöntemine göre L kodlu AÇH numunelerinden en iyi alternatif olan L8 kodlu AÇH seçilmiştir. Daha sonra çimento ağırlığına göre %0.5 oranında artışla AÇH'lerin içerisine priz hızlandırıcı katkı eklenmiştir ve Çizelge 4.5'te görülen H kodlu numuneler üretilmiştir. %0.5 ile %5 dozaj aralığında 10 farklı AÇH numunesi hazırlanmıştır. Bu AÇH numuneleri 12 saat sonunda basınç ve eğilme deneylerine tabii tutulmuştur. Çizelge 4.5'te H kodlu AÇH numunelerinin 12 saatlik basınç ve eğilme değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre AÇH içerisinde kullanılacak priz hızlandırıcı dozajları belirlenmiştir. Buna göre H4 (%2 dozajlı) ve H9 (%4.5 dozajlı) numuneler dahil olmak üzere bu aralıktaki toplam 6 adet H kodlu numunelere diğer performans testleri uygulanmıştır.

Çizelge 4.5. H kodlu AÇH numunelerinin 12 saatlik basınç ve eğilme değerleri

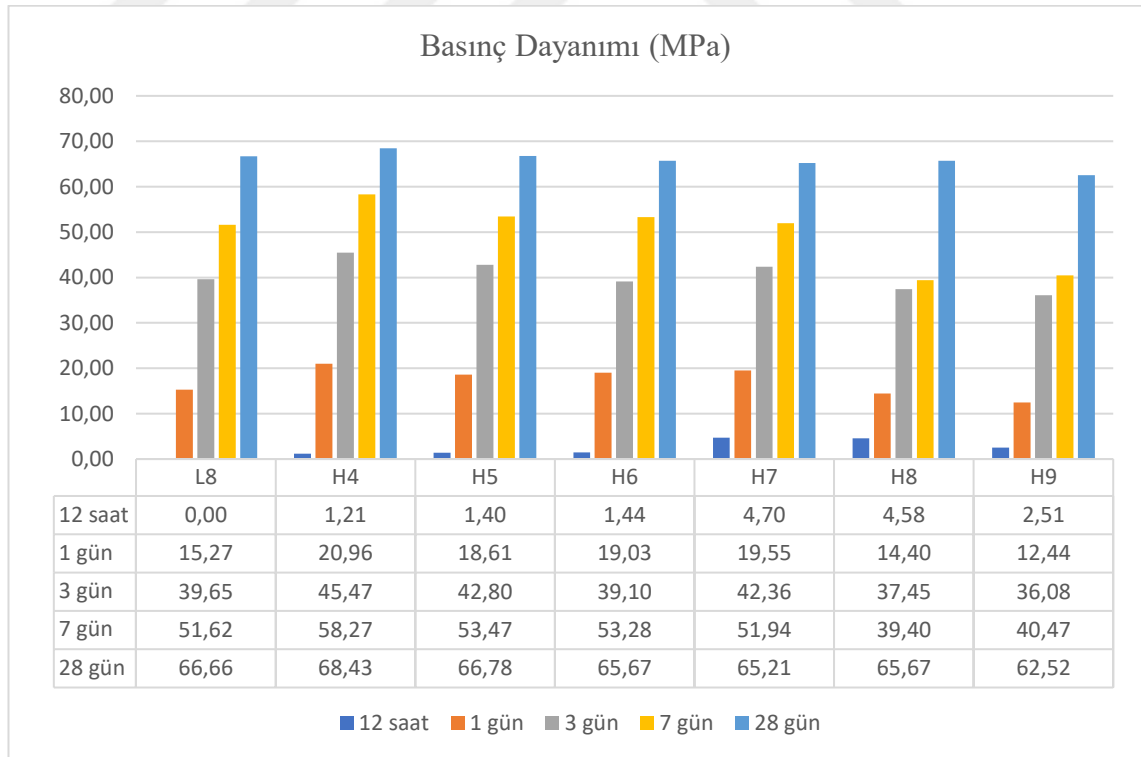
Kod	12 Saatlik Basınç Dayanımı, MPa	12 Saatlik Eğilme Dayanımı, MPa
H1	0.59	0.00
H2	0.94	0.00
H3	1.10	0.47
H4	1.21	0.70
H5	1.40	0.70
H6	1.44	0.70
H7	4.70	1.88
H8	4.58	1.41
H9	2.51	0.94
H10	2.00	0.70

Şekil 4.19'da H kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri gösterilmiştir. Buna göre priz hızlandırıcı dozajının artmasıyla akış sürelerinin azaldığı görülmüştür. Bu durum, karışımdaki toplam sıvı miktarının artmasıyla açıklanabilir.



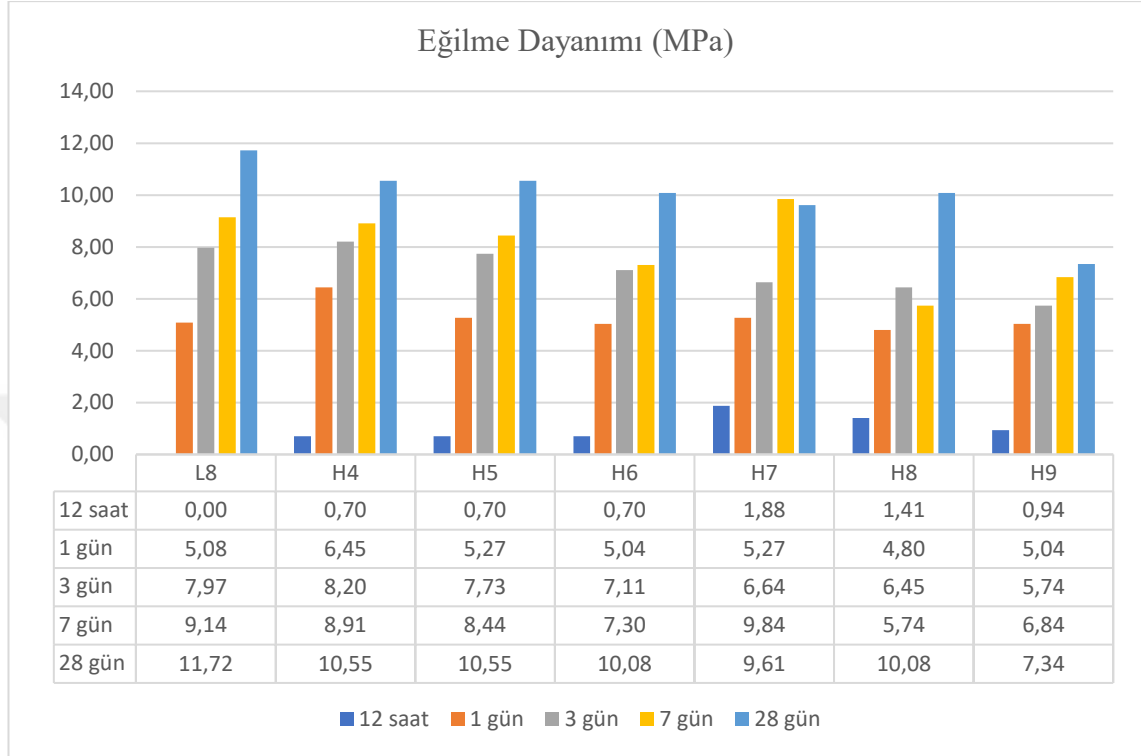
Şekil 4.19. H kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri

Şekil 4.20’de H kodlu AÇH numunelerinin 12 saat, 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları gösterilmiştir. Priz hızlandırıcı katkının kullanılması ile AÇH numuneleri kalıptan 12 saat daha erken çıkarılabiliştir. Basınç dayanımının sonuçlarına göre; priz hızlandırıcı 1 günlük basınç dayanımını L8 kodlu AÇH numunesine kıyasla %37.26’ya kadar arttırabilmiştir. Aynı şekilde 3 gün ve 7 günde %14.68 ve %12.88’e kadar artış görülmüştür. 28 günde ise priz hızlandırıcı katkısının etkisi azalmış ve dayanım değerlerinde artış veya azalmalar meydana gelmiştir. Ancak priz hızlandırıcı dozajı %3.5’ün üzerine çıktığında 1, 3 ve 7 günlük basınç dayanımı değerlerinde önemli bir düşüş yaşanmıştır. Bu noktadan sonrası için priz hızlandırıcının dozajının arttırılmasının olumlu yöndeki etkisi olumsuz yöne dönmüştür.



Şekil 4.20. H kodlu AÇH numunelerinin basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.21’de H kodlu AÇH numunelerinin 12 saat, 1, 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları gösterilmiştir. Grafiğe göre priz hızlandırıcı katkının eğilme dayanımı değerlerinde olumlu yönde önemli bir etkisi olmamıştır. Hatta katkı dozajının artmasıyla eğilme dayanımlarında düşüş eğilimi oluşmuştur.



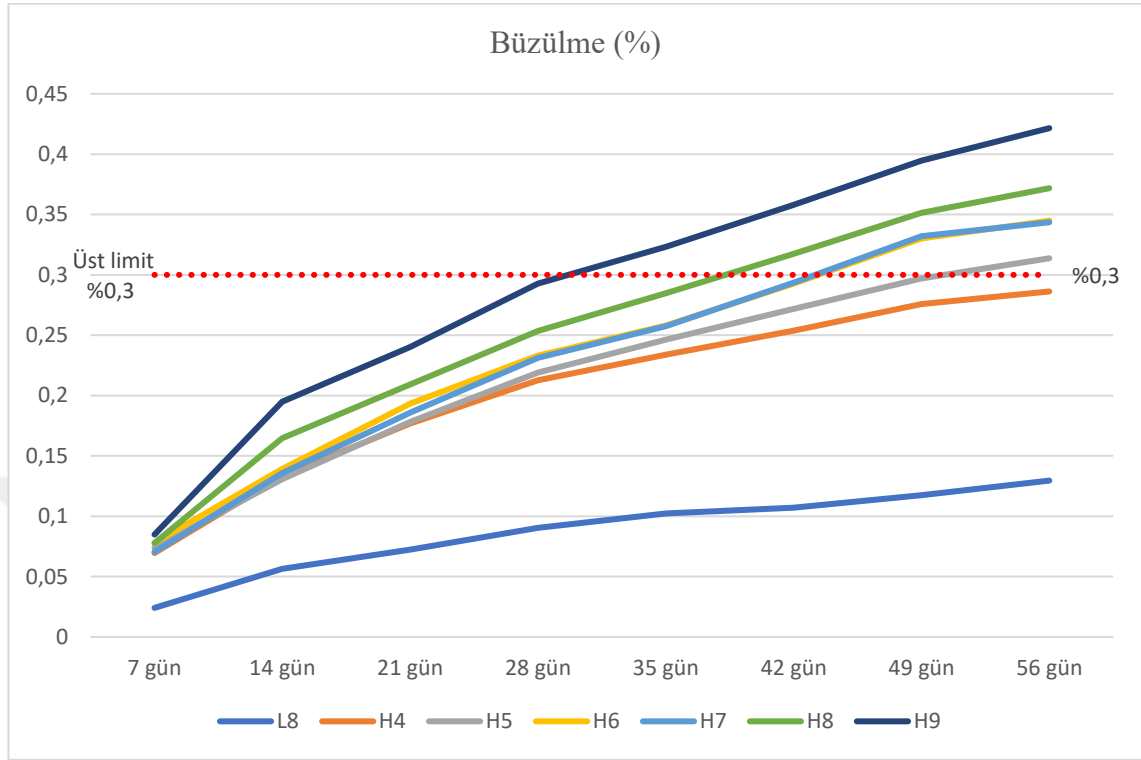
Şekil 4.21. H kodlu AÇH numunelerinin eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.22’de H kodlu AÇH numunelerinin büzülme değerleri gösterilmiştir. Buna göre 56 günün sonunda kuruma büzülmesi yüzdeleri, L8 kodlu AÇH’ye göre %222-330 oranında artmıştır. Aynı zamanda katkı dozajının artmasıyla büzülme değerleri de artmıştır. 28 günlük büzülme değerleri incelendiğinde ise H kodlu AÇH numunelerinin tamamının Bölüm 4.3.1’de belirtilen %0.3’lük sınır şartı sağladığı görülmüştür. Ancak uzun dönem için literatürde bir sınır değer bulunamamıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde priz hızlandırıcı katkının karışım içerisinde çok sınırlı miktarda kullanılmasının AÇH’ye katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

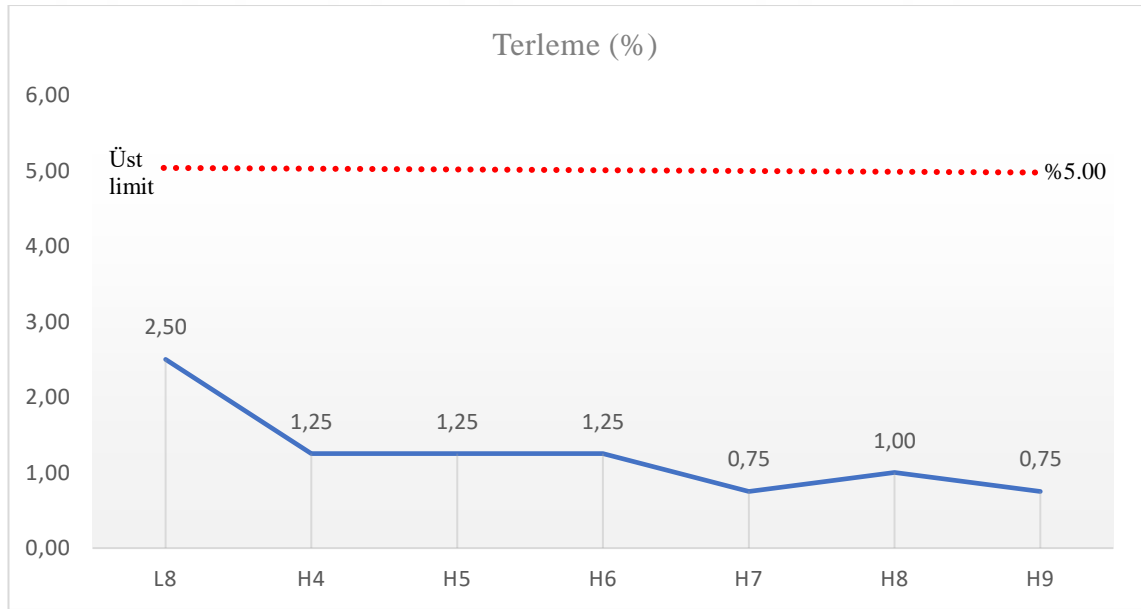
Şekil 4.23’te H kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları gösterilmiştir. Buna göre AÇH içerisinde priz hızlandırıcı katkının kullanılmasıyla terleme yüzdeleri %70’e kadar azalış göstermiştir (H7). Priz hızlandırıcı katkısının dozajının artmasıyla terleme yüzdeleri de azalmıştır.

Şekil 4.24’te H kodlu AÇH numunelerinin 2 saatlik akış süreleri gösterilmiştir. 2 saatlik akış süresinin ölçülmesi, AÇH numunelerinin üretim tesisinden şantiye sahasına nakliyesi sırasında geçen sürede yaşanabilecek işlenebilirlik sorununu anlayabilmek için yapılmıştır. Gong vd. (2022) 2 saat sonunda akış süresinin en çok 18 saniye olması gerektiğini belirtmiştir. Akış sürelerinin sonuçlarına göre priz hızlandırıcı dozajının artması ile 2 saatlik akış süreleri de artmıştır. Şekil 4.23’te görüldüğü gibi H8 ve H9 kodlu

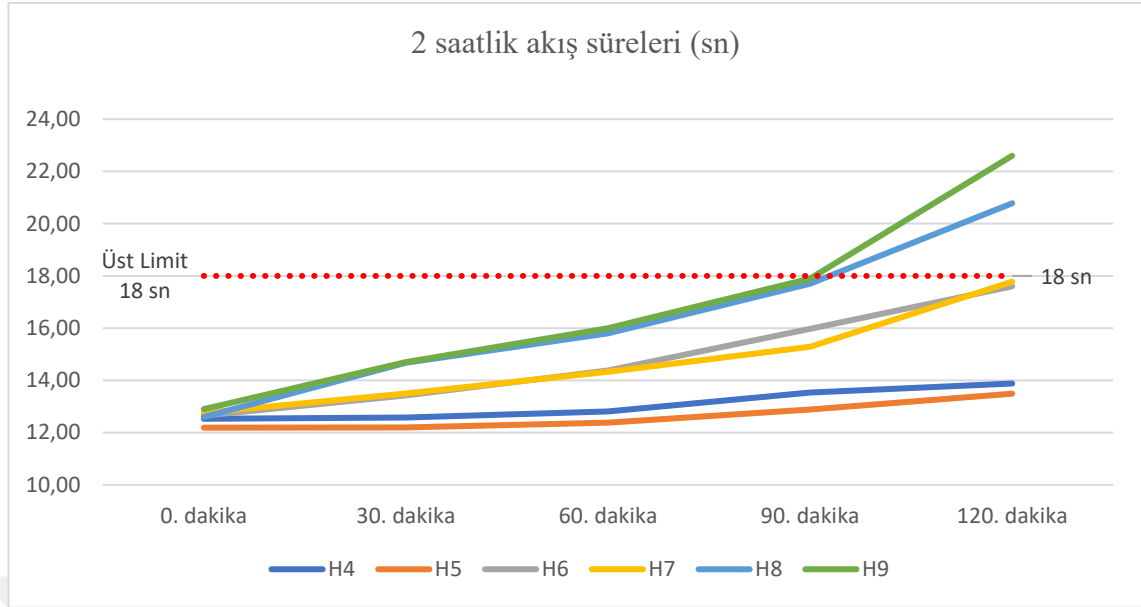
numunelerde sınır değeri aşılmış, H7’de ise 17.78 sn ile sınır değere çok yakın akış değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.22. H kodlu AÇH numunelerinin büzülme değerleri



Şekil 4.23. H kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları



Şekil 4.24. H kodlu AÇH numunelerinin 2 saatlik akış süreleri

Çizelge 4.6’da H kodlu AÇH numunelerinin VIKOR yöntemiyle sıralaması verilmiştir. VIKOR yöntemine göre H7 kodlu AÇH numunesi en iyi dizayn olarak seçilmiştir. C1 ve C2 tutarlılık kontrollerinin sonuçları tutarlı çıkmıştır. Ayrıca VIKOR yönteminin detaylı işlem adımları Ek 3’te verilmiştir.

Çizelge 4.6. H kodlu AÇH numunelerin VIKOR yöntemiyle sıralaması

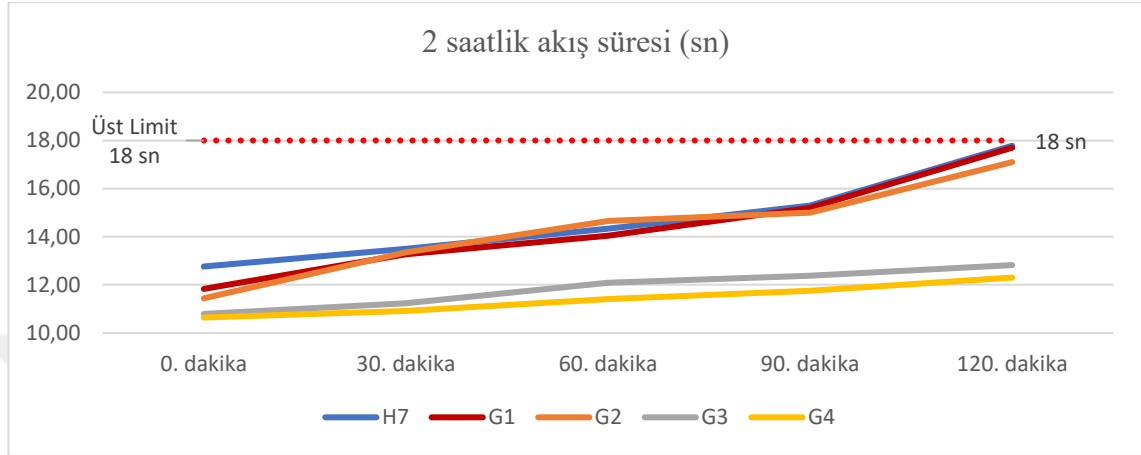
Kod	S_i	R_i	Q_i	Sıralama
H4	0.20	0.07	0.50	2
H5	0.34	0.07	0.54	3
H6	0.46	0.07	0.62	5
H7	0.26	0.04	0.04	1
H8	0.57	0.06	0.62	4
H9	0.88	0.07	1.00	6
C1 Kontrolü		Tutarlı		Kabul edilebilir
C2 Kontrolü		Tutarlı		Kararlılıkta stabil

4.3.4. Priz geciktirici katkılı AÇH numuneleri

H kodlu numunelerden en iyi performansın H7 kodlu AÇH çıkmasından dolayı ve H7 kodlu numunenin 2 saatlik akış süresinin limit değere çok yakın olmasından dolayı, karışımında priz geciktiricisi kullanılmıştır. Böylece sınır değerdeki akış süresinin bir

miktar daha düşürülmesi hedeflenmiştir. Priz geciktiricinin dozaj aralığının belirlenmesi için çimento ağırlığına göre %0.25 artışla AÇH'nin içerisine priz geciktirici eklenmiştir.

Şekil 3.25'te G kodlu AÇH numunelerinin 2 saatlik akış süreleri gösterilmiştir. Buna göre G3 kodlu numune ile limit değer altına inilmiş ve priz geciktirici dozajının üst limiti %0.75 olarak belirlenmiştir.



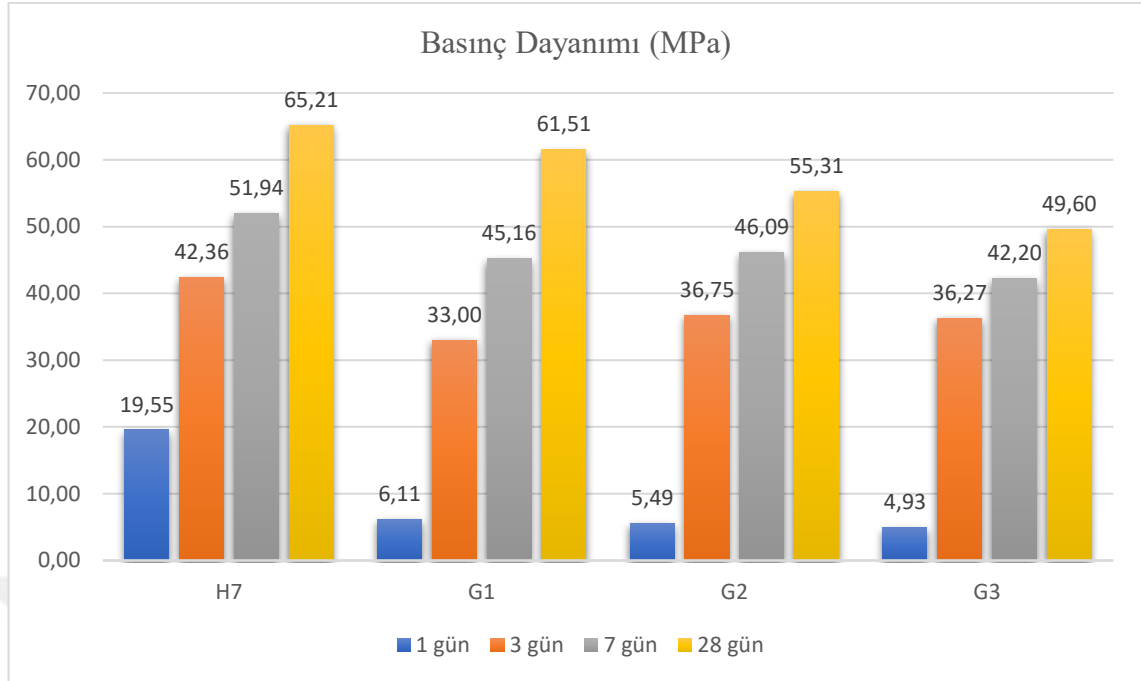
Şekil 4.25. G kodlu AÇH numunelerinin 2 saatlik akış süreleri

Şekil 4.26'da G kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri gösterilmiştir. Buna göre priz geciktirici dozajının artmasıyla akış sürelerinin azaldığı görülmüştür. Bu beklenen bir durumdur.



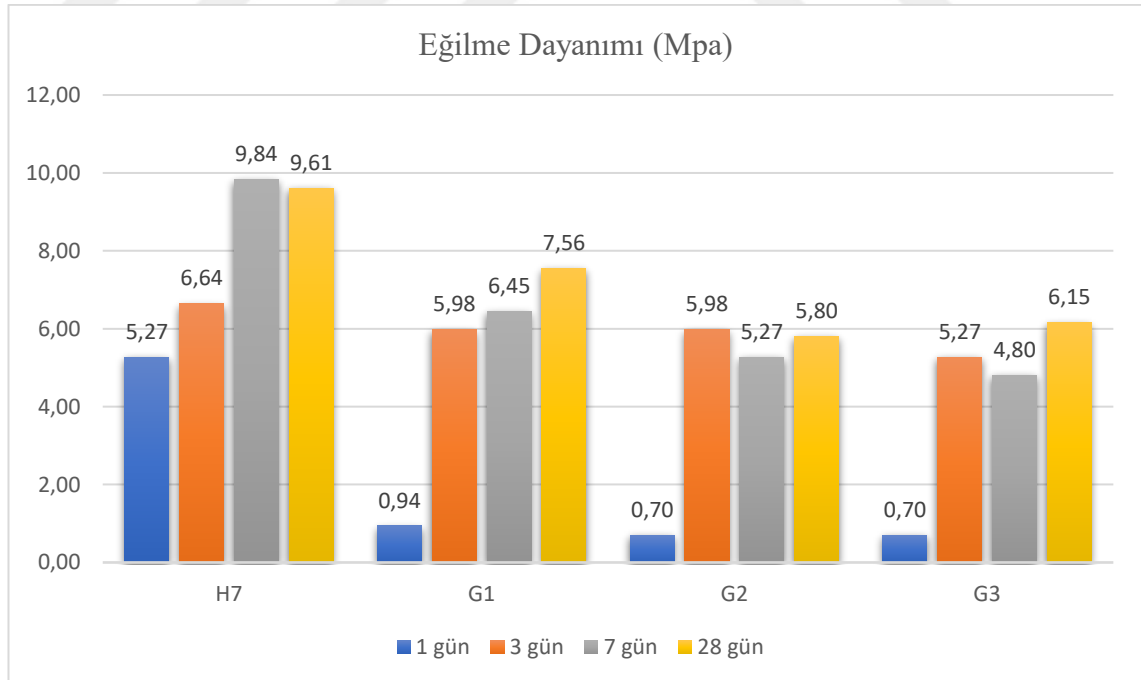
Şekil 4.26. G kodlu AÇH numunelerinin akış süreleri

Şekil 4.27'de G kodlu AÇH numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının değerleri gösterilmiştir. Buna göre priz geciktirici katkının kullanılmasıyla H7 kodlu AÇH'nin 1 günlük basınç dayanımının % 74.78 azalmasıyla basınç dayanımı değeri 4.93 MPa'ya kadar düşmüştür. Aynı şekilde 3, 7 ve 28 günlerde de basınç dayanımlarında yüksek oranda düşüşler meydana gelmiştir.



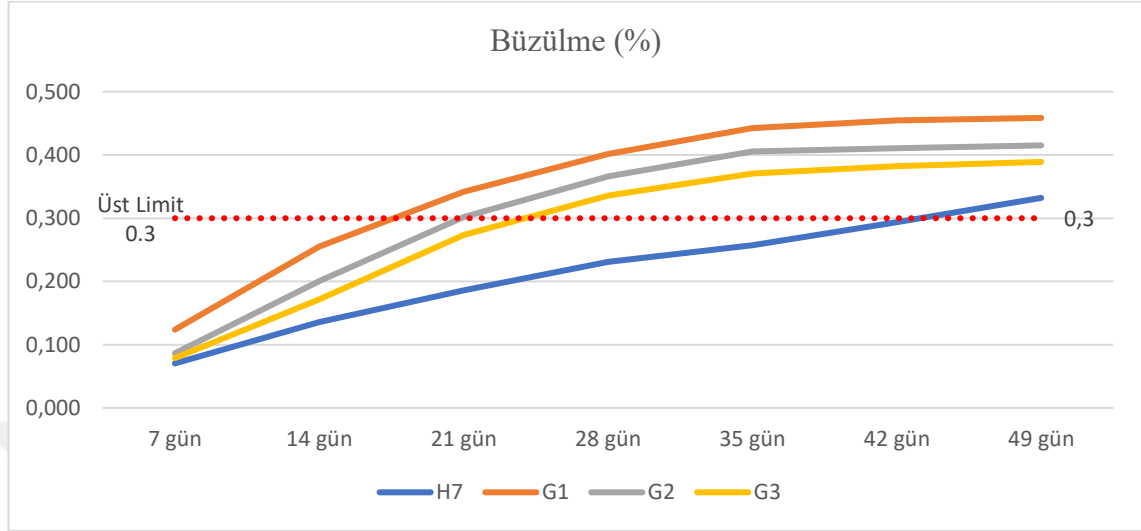
Şekil 4.27. G kodlu AÇH numunelerinin basınç dayanımları

Şekil 4.28’de G kodlu AÇH numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları gösterilmiştir. Buna göre basınç dayanımına paralel olarak priz geciktirici katkılı numunelerin eğilme dayanımı değerleri düşmüştür.



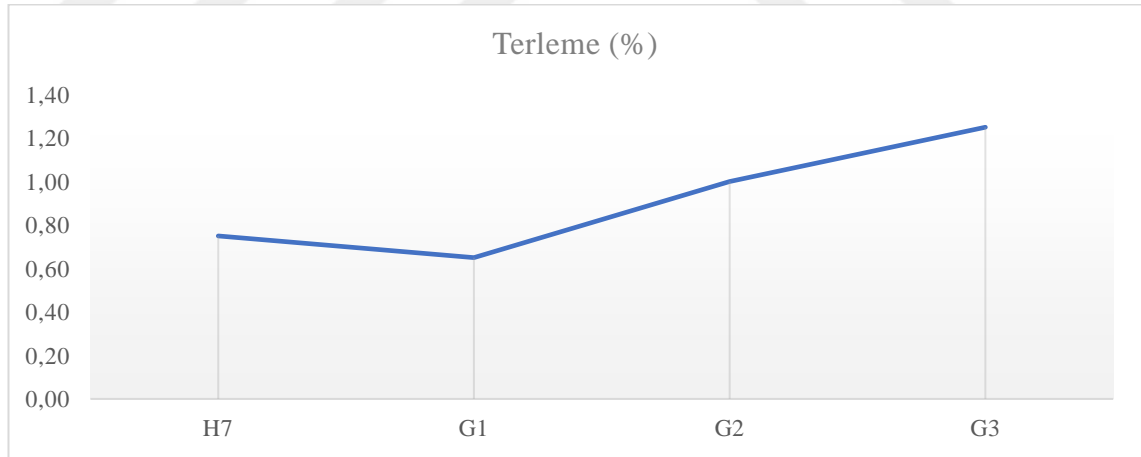
Şekil 4.28. G kodlu AÇH numunelerinin eğilme dayanımları

Şekil 4.29’da G kodlu AÇH numunelerinin büzülme yüzdeleri gösterilmiştir. Buna göre priz geciktirici dozajının artmasıyla büzülme miktarı artmış ve 28 gün için olan %0.3’lük üst limit G kodlu AÇH numunelerinin tamamında aşılmıştır.



Şekil 4.29. G kodlu AÇH numunelerinin büzülme yüzdeleri

Şekil 4.30’da G kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları gösterilmiştir. Buna göre priz geciktirici dozajının artması ile terleme yüzdeleri de artmıştır.



Şekil 4.30. G kodlu AÇH numunelerinin terleme testinin sonuçları

Priz geciktirici katkısının etkileri incelendiğinde sadece akış süresinde olumlu yönde etkisi olduğu görülmüş, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kuruma büzülmesi ve terleme değerlerinde ise olumsuz yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.7’de bütün AÇH numunelerinin VIKOR yöntemiyle sıralaması verilmiştir. VIKOR yöntemine göre H7 kodlu AÇH numunesi en iyi dizayn seçilmiştir.

C1 ve C2 tutarlılık kontrolleri sonuçları tutarlı çıkmıştır. Ayrıca VIKOR yönteminin detaylı işlem adımları Ek 4’te verilmiştir.

Çizelge 4.7. AÇH numunelerin VIKOR yöntemiyle sıralaması

Kod	S_i	R_i	Q_i	Sıralama
A1	0.34	0.07	0.56	15
A2	0.28	0.07	0.51	7
A3	0.35	0.07	0.57	16
A4	0.38	0.07	0.60	18
A5	0.46	0.07	0.67	21
L1	0.38	0.07	0.60	19
L2	0.33	0.07	0.55	12
L3	0.34	0.07	0.56	14
L4	0.33	0.07	0.55	13
L5	0.43	0.07	0.65	20
L6	0.33	0.07	0.55	11
L7	0.31	0.07	0.53	9
L8	0.28	0.07	0.50	6
L9	0.31	0.07	0.54	10
L10	0.29	0.07	0.52	8
H4	0.32	0.05	0.32	3
H5	0.38	0.05	0.34	4
H6	0.43	0.05	0.37	5
H7	0.32	0.03	0.05	1
H8	0.46	0.04	0.27	2
H9	0.59	0.06	0.59	17
G1	0.81	0.07	1.00	24
G2	0.76	0.07	0.96	22
G3	0.77	0.07	0.96	23
C1 Kontrolü		Tutarlı		Kabul edilebilir
C2 Kontrolü		Tutarlı		Kararlılıkta stabil

4.4. Yarı Rijit Kaplamının Performansı

4.4.1. Marshall stabilite ve akma tayini deneyi

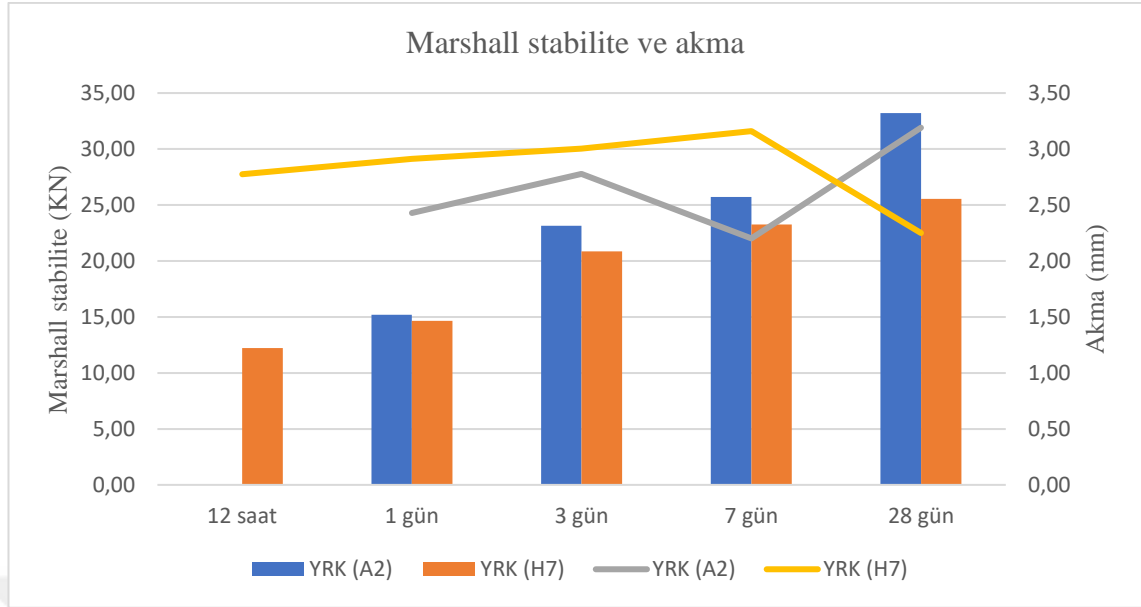
Çizelge 4.8 ve Şekil 4.31’de YRK numunelerinin 12 saat, 1, 3, 7 ve 28 günlük Marshall stabilite ve akma değerleri gösterilmiştir. KTŞ (2013)’e göre BSK üstyapısının aşınma tabakasının Marshall stabilite değerinin 900 kg’dan yüksek ve akma değerinin ise 2-4 mm arasında olması gerekmektedir. Marshall stabilite ve akma değerleri incelendiğinde bütün numunelerin KTŞ (2013)’teki limit değerleri sağladığı görülmektedir. Anderton (2000) yaptığı çalışmasında Virginia Politeknik Enstitüsü’nün Stratejik Otoyol Araştırma Programı kapsamında YRK numunelerinin ortalama stabilite değerini 1937.46 kg olarak belirtmiştir. Zarei vd. (2020) marshall stabilite değerini yaklaşık 3059.15 kg olarak bulmuştur. Al-Humeidawi vd. (2021) ise stabilite değerini yaklaşık 1529.57 kg olarak belirtmiştir.

YRK numunelerinin stabilite değerleri AÇH’nin dayanım kazanmasına paralel olarak 1 günden 3 güne yaklaşık %50 artmıştır.

YRK (A2-Kontrol) ve YRK (H7) numuneleri birbiri ile karşılaştırıldığında 1, 3 ve 7 günlük Marshall stabilite değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır ancak 28 günlük sonuçlar incelendiğinde H7 içerikli YRK numunesinin stabilite değeri A2 içerikli YRK numunesinin stabilite değerinden %23.10 daha az çıkmıştır.

Çizelge 4.8. YRK numunelerinin Marshall stabilite ve akma değerleri

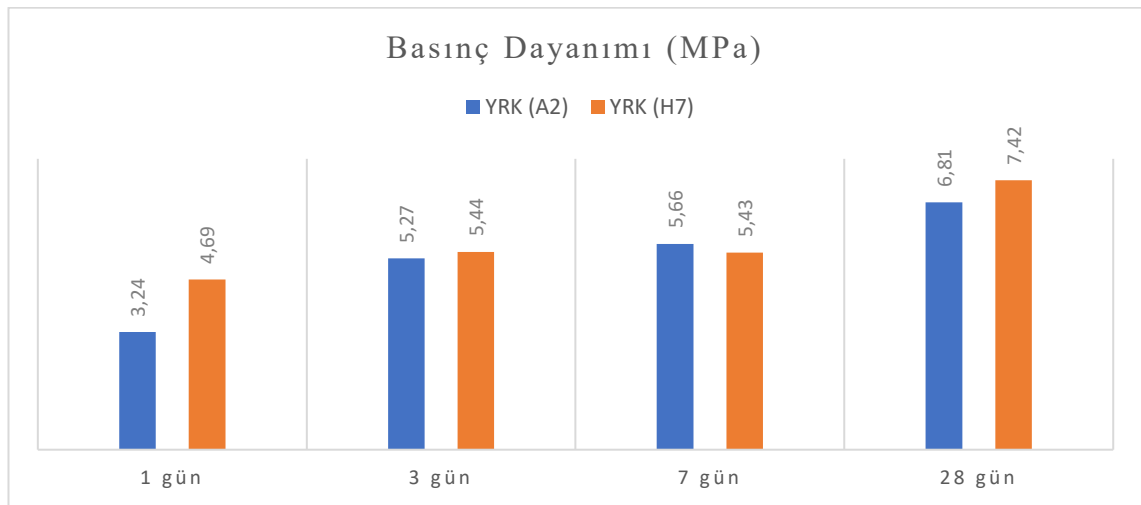
Zaman	Kod	Stabilite, KN	Stabilite, kg	Akma, mm
12 saat	YRK (A2)	0.00	0.00	0.00
	YRK (H7)	12.23	1247.11	2.78
1 gün	YRK (A2)	15.20	1549.97	2.43
	YRK (H7)	14.66	1494.90	2.91
3 gün	YRK (A2)	23.15	2360.64	2.78
	YRK (H7)	20.85	2126.11	3.01
7 gün	YRK (A2)	25.71	2621.69	2.20
	YRK (H7)	23.26	2371.86	3.16
28 gün	YRK (A2)	33.20	3385.46	3.19
	YRK (H7)	25.53	2603.33	2.25



Şekil 4.31. YRK numunelerinin Marshall stabilite ve akma değerleri

4.4.2. Basınç dayanımı deneyi

Çizelge 4.9 ve Şekil 4.32’de YRK numunelerinin 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları gösterilmiştir. Buna göre priz hızlandırıcının etkisi 1 günlük basınç dayanımında görülmüştür. H7 içerikli YRK numunesinin basınç dayanımı değeri A2 içerikli YRK numunesinin basınç dayanımı değerinden % 44.75 daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca AÇH’nin kürlenme süresi boyunca dayanımının artması direk YRK numunelerinin de basınç dayanımını arttırmaktadır. YRK (A2) numunesi incelendiğinde 1 günlük basınç dayanımı değeri 28 günde %110.47 artış göstermiştir. Ayrıca YRK (H7) numunesinin basınç dayanımları YRK (A2) numunesinin basınç dayanımı değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.32. YRK numunelerinin basınç dayanımı değerleri

Anderton (2000) yaptığı çalışmada YRK numunelerinin ortalama basınç dayanımı değerlerini 3.87 MPa olarak bulmuştur. Ayrıca Virginia Politeknik Enstitüsü'nün Stratejik Otoyol Araştırma Programında hazırlanan bir raporda ise bu değer 5.5 MPa olduğu belirtilmiştir (Anderton 2000). Densiphalt® ticari ürününe göre ise YRK numunelerinin basınç dayanımı 28 günde 7.99 MPa'dır (EucoDensit 2019). Road Engineering Association of Malaysia (2007)'ya göre, 28 günlük basınç dayanımının en az 7 MPa olması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre YRK (H7) numunesi Malezya şartnamesi limitini sağlamaktadır.

Çizelge 4.9. YRK numunelerinin basınç dayanımı değerleri

Basınç Dayanımı	1 gün		3 gün		7 gün		28 gün		
	Kn	Mpa	Kn	Mpa	Kn	Mpa	Kn	Mpa	
YRK (A2)	1	24.75	3.15	41.17	5.24	44.72	5.69	57.9	7.37
	2	26.06	3.32	41.56	5.29	44.18	5.63	49.04	6.24
	Ortalama	25.405	3.235	41.365	5.265	44.45	5.66	53.47	6.805
YRK (H7)	1	39.09	4.98	43.79	5.58	42.71	5.44	59.14	7.53
	2	34.46	4.39	41.63	5.3	42.48	5.41	57.36	7.3
	Ortalama	36.775	4.685	42.71	5.44	42.595	5.425	58.25	7.415

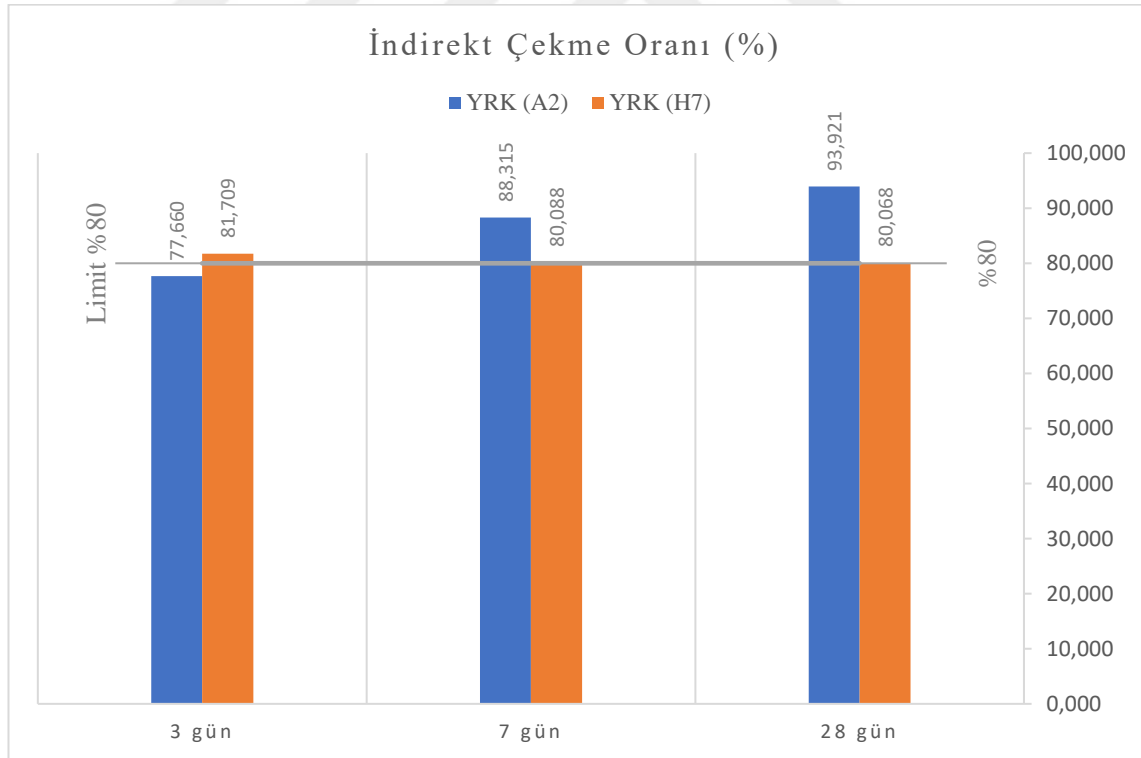
4.4.3. Nem hasarına karşı direnç deneyi

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.33'te YRK numunelerinin 3, 7 ve 28 günlük İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) ve İndirekt Çekme Oranları (İÇO) gösterilmiştir. Anderton (2000) yaptığı çalışmasında Virginia Politeknik Enstitüsü'nün Stratejik Otoyol Araştırma Programı kapsamında YRK numunelerinin ortalama indirekt çekme mukavemetini 0.985 MPa olarak belirtmiştir. Taghipoor vd. (2021) yaptıkları çalışmada indirekt çekme mukavemeti değerleri 0.54-0.75 MPa arasında değişmiştir. Bu çalışma baz alındığında YRK (A2) ve YRK (H7) numunelerinin yeterli indirekt çekme mukavemeti değerine sahip olduğu görülmektedir.

İÇO için limit değer KTŞ (2013)'e göre %80'dir. Koşullu ve koşulsuz indirekt çekme mukavemeti değerlerinin oranı %80'nin altına düşmemelidir. Deney sonuçları incelendiğinde YRK (H7) numunesinin 3, 7 ve 28 günlük oranları %80'nin üstünde çıkmıştır. Bu YRK (H7) numunesinin nem hasarına karşı dirençli olduğu anlamına gelmektedir. Ancak YRK (A2) ile kıyaslandığında nem hasarına direnç konusunda kullanılan katkıların harca çok fazla olumlu yönde etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.10. YRK numunelerinin indirekt çekme mukavemeti ve oranları

İndirekt çekme oranı		YRK (A2)	YRK (H7)
3 gün	Koşullu, MPa	0.79	0.75
	Koşulsuz, MPa	1.01	0.92
	Oran	0.78	0.82
7 gün	Koşullu, MPa	0.92	0.91
	Koşulsuz, MPa	1.04	1.14
	Oran	0.88	0.80
28 gün	Koşullu, MPa	1.09	0.88
	Koşulsuz, MPa	1.16	1.10
	Oran	0.94	0.80

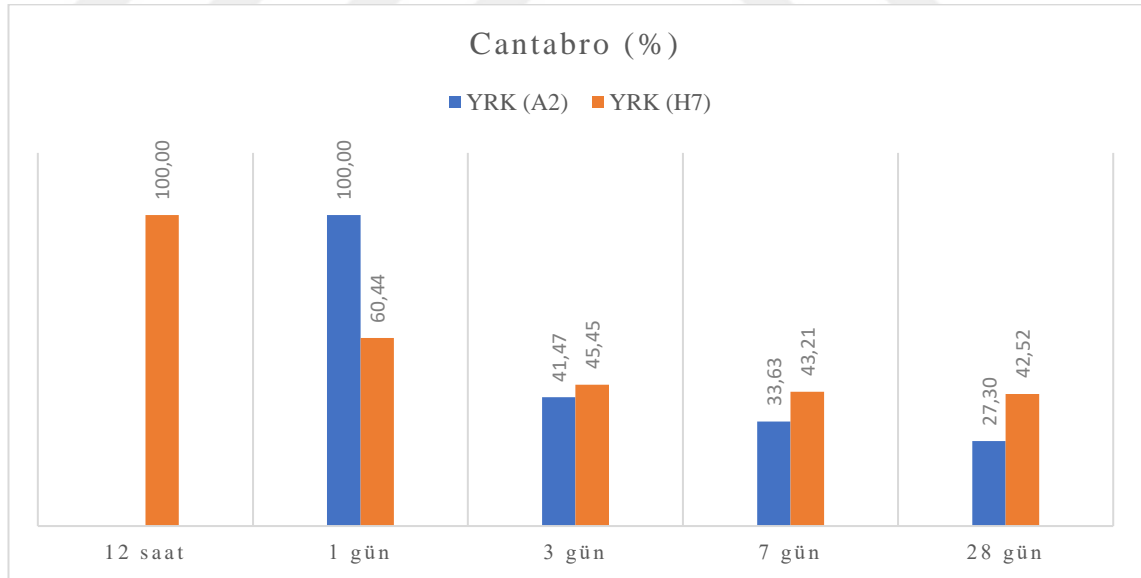


Şekil 4.33. YRK numunelerinin indirekt çekme oranları

4.4.4. Cantabro deneyi

Şekil 4.34'te Cantabro deneyinin 12 saat, 1, 3, 7 ve 28 günlük sonuçları gösterilmiştir. Buna göre YRK (H7) numunesinin 12 saatlik ve YRK (A2) numunesinin 1 günlük Cantabro sonuçları %100 çıkmıştır. YRK (H7) numunesinin Cantabro değeri beklenin aksine çok yüksek çıkmıştır. H7 kodlu AÇH numunesinin içerisindeki lateks katkısının bitüm ile AÇH ara yüzeyleri arasındaki bağı güçlendiremediği buna da priz hızlandırıcı katkısının AÇH numunesinin büzülme değerini artırması olarak açıklanabilir. Cantabro deneylerinin sonuçları, YRK numunelerin kütleme sürelerinin artmasıyla azaldığı görülmüştür.

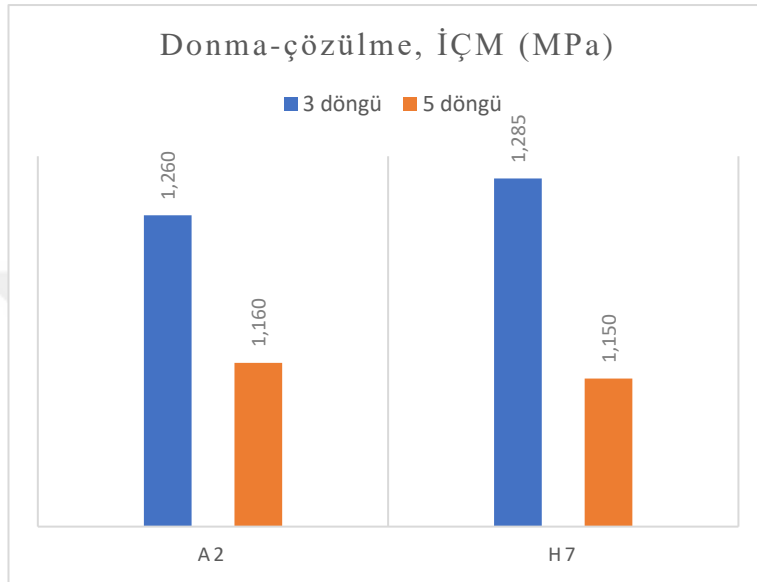
Taghipoor vd. (2021) yaptıkları çalışmada Cantabro deneyinin sonucunu %7-8 olarak belirtmiştir. Gong vd. (2022) yaptıkları çalışmada ise Cantabro deneyinin sonuçlarını %8.39-14.86 arasında bulmuştur. Literatürdeki çalışmalar baz alındığında her iki YRK numunesinin de Cantabro sonuçları yüksek çıkmıştır. Ancak burada göz önünde bulundurulması gereken başlıca faktör PA dizaynında kullanılan agreganın cinsidir. Literatürdeki çalışmalarda PA dizaynında kullanılan agregalar granit ve bazalttır. Tez çalışmasında ise, yol yapım maliyetini düşürmek için Antalya ilinde çok bulunan kalker agregası kullanılmıştır. Kalker diğer agregalara göre dayanıksızdır. Buna göre Cantabro değerlerinin literatüre göre yüksek çıkması beklenen bir durumdur. YRK'nin dayanımı açısından Cantabro, stabilite ve basınç dayanımı kadar belirleyici bir kriter oluşturan deney sınıfında değildir.



Şekil 4.34. YRK numunelerinin Cantabro testinin sonuçları

4.4.5. Donma-çözülme deneyi

Şekil 4.35'te donma-çözülme deneyinin 3 ve 5 döngü sonundaki değerleri gösterilmiştir. Buna göre 5 döngü sonunda YRK (H7) numunesinde %10.50 dayanım kaybı görülmüşken, YRK (A2) numunesinde ise %7.94 dayanım kaybı yaşanmıştır. Buna göre AÇH içerisinde kullanılan harç katkıları soğuk iklim koşullarına karşı dayanımda olumlu yönde bir katkı gösterememiştir.



Şekil 4.35. Donma-çözülme deneyinin sonuçları

4.4.6. Permeabilite deneyi

Çizelge 4.11'de YRK numunelerinin düşey ve yatay permeabilite değerleri gösterilmiştir. Buna göre her iki numunenin de hem düşey hem de yatay permeabilite değerleri çok küçük çıkmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda YRK numunelerinde harçla PA arasında su sızma açısından bir risk olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.11. YRK numunelerinin düşey ve yatay permeabilite değerleri

Permeabilite, m/sn	Düşey Permeabilite	Yatay Permeabilite	
1	0.00000298x10 ⁻³	0.000591 x10 ⁻³	
YRK (A2)	2	0.00000133x10 ⁻³	0.000772 x10 ⁻³
Ortalama	0.00000216x10 ⁻³	0.000681 x10 ⁻³	
1	0.00000283 x10 ⁻³	0.000628 x10 ⁻³	
YRK (H7)	2	0.00000146 x10 ⁻³	0.000474 x10 ⁻³
Ortalama	0.00000215 x10 ⁻³	0.000551 x10 ⁻³	

4.4.7. Yüzey pürüzlülüğü deneyi

Çizelge 4.12’de YRK numunelerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin sonuçları gösterilmiştir. Bharath vd. (2020) yaptıkları çalışmada YRK yüzey pürüzlülüklerini 60-70 BPN olarak belirtmişlerdir. Bu çalışma baz alındığında YRK (H7) numunesinin yeterli yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu anlaşılmıştır. BS 7976-2’de ise yüzey pürüzlülüğü deneyinin sonucu 54 BPN’nin üzerinde olduğu durumda kaplama yüzeyinde araçların kayma potansiyelinin çok düşük olduğu belirtilmiştir. Buna göre YRK (A2) ve YRK (H7) numuneleri yüzey pürüzlülüğü açısından güvenlidir.

Çizelge 4.12. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin sonuçları

Kod	1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm	5. ölçüm	Ortalama
YRK (A2)	55	56	55	54	57	55.4
YRK (H7)	60	65	64	59	61	61.8

5. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tezi iki aşamadan oluşmuştur. İlk aşamada AÇH içerisine lateks, priz hızlandırıcı ve priz geciktirici katkıları ilave edilmiştir. AÇH içerisine ilave edilen bu katkıların etkisini incelemek için taze harca akışkanlık ve terleme deneyleri uygulanmıştır. Sertleşmiş AÇH numunelerine ise basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kuruma büzülmesi deneyleri uygulanmıştır. İkinci aşamada ise, kontrol AÇH içerikli YRK ve VIKOR yöntemine göre en iyi performansa sahip AÇH içerikli YRK numuneleri üretilmiştir. YRK numunelerine Marshall stabilite ve akma, basınç dayanımı, nem hasarına karşı direnç, Cantabro, donma-çözülme, permeabilite ve yüzey pürüzlülüğü deneyleri uygulanmıştır. Bu deneylerin sonuçlarına göre eklenen katkıların YRK'ye olan etkileri belirlenmiştir. Kullanılan katkıların AÇH ve YRK performansına olan etkileri aşağıda özetlenmiştir.

Katkıların AÇH'ye etkileri;

AÇH içerisinde lateks kullanılmasıyla, taze haldeki AÇH'nin akış süresi ve terleme yüzdeleri azalmıştır. Lateks dozajının artmasıyla akış süresinde de artış görülmüştür. Sertleşmiş betona olan etkisi incelendiğinde ise basınç ve eğilme dayanımında erken dayanım süresinde (1 gün) basınç ve eğilme dayanım değerlerinde düşüş görülmüşken nihai dayanımda (28 gün) değerler kontrol numunesine yakın çıkmıştır. Kuruma büzülmesinde ise sonuçlar kontrol numunesine benzer çıkmıştır.

AÇH içerisinde priz hızlandırıcı kullanılmasıyla, priz hızlandırıcı dozajının artırılmasıyla akış süresinin azaldığı görülmüştür. Priz hızlandırıcının kullanılmasıyla terleme yüzdeleri de azalmış yani harca olumlu yönde katkısı olmuştur. Priz hızlandırıcının basınç ve eğilme dayanımına etkisi ise katkının dozajına bağlı olarak erken dayanımda (12 saat, 1 gün ve 3 gün) olumlu yönde olmuştur. Priz hızlandırıcı katkısının dozajı %4 ve üzerine çıkıldığında dayanım değerlerinde önemli düşüşler görülmüştür. AÇH'ye priz hızlandırıcı eklenmesiyle kuruma büzülmesi değerleri artmış ancak limit değerler içerisinde kalmıştır.

AÇH içerisinde priz geciktiricinin kullanılmasıyla, taze haldeki harcın performansı artmışken, sertleşmiş harcın performanslarında büyük kayıplar yaşanmıştır.

AÇH'ye yapılan deneylerin sonuçları VIKOR yöntemiyle analiz edilmiş ve en iyi performansa sahip AÇH'nin lateks ve priz hızlandırıcı katkılı H7 kodlu AÇH numunesinin olduğu bulunmuştur.

Katkıların YRK'ye etkileri;

Marshall stabilite değerleri irdelendiğinde, YRK (A2) ve YRK (H7)'nin 1, 3 ve 7 günde stabilite değerleri birbirine yakın çıkmış ancak 28 günde YRK (H7)'nin sonucu YRK (A2)'ye göre düşük çıkmıştır.

Basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, kullanılan katkılar ile YRK'nin dayanımı ortalama %13.24 arttığı görülmüştür.

Nem hasarına karşı direnç deneyine göre YRK (A2) numunesi İÇM ve İÇO değerleri YRK (H7) numunesinden daha iyi çıkmıştır. Ancak YRK (H7)'nin de limit değerleri sağladığı görülmüştür.

Cantabro ve donma-çözülme deneylerinde de YRK (A2) numunesi daha iyi performans göstermiştir.

Yapılan bu deneylerin sonuçlarına göre; AÇH içerisinde lateks ve priz hızlandırıcı kimyasal katkıların kullanılması ile YRK'nin erken dayanım performanslarında bariz iyileşmeler görülmüştür. Ancak priz hızlandırıcı katkısının harcın kuruma büzülmesi değerini arttırmasından dolayı priz hızlandırıcı dozajının limiti iyi belirlenmelidir.

Buna göre daha sonraki yapılacak çalışmalarda, kullanılan kimyasal katkılara ek olarak, kuruma büzülmesi değerini düşürecek katkıların kullanılması ile YRK'nin performansı araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- AASHTO T 283, Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage.
- Abedini, M., Hassani, A., Kaymanesh, M.R. and Yousefi, A.A. 2017. Low-temperature adhesion performance of polymer-modified Bitumen emulsion in chip seals using different SBR latexes. *Petroleum Science and Technology*, 35(1), 59-65.
- Al-Humeidawi, B.H., Chafat, O.H. and Kadhim, H.A. 2021. Characterizing the properties of sustainable semi-flexible pavement produced with polymer modified bitumen. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(2), 1064-1072.
- Anderton, G.L. 2000. Engineering properties of resin modified pavement (RMP) for mechanistic design. ERDC/GL TR-00-2, U.S. Army Corps of Engineers.
- Anderton, G.L. and Ahlrich, R.C. 1994. Design, Construction and Performance of Resin Modified Pavement at Fort Campbell Army Airfield, Kentucky. ERDC/GL TR-00-2, U.S. Army Corps of Engineers.
- ASTM 6927, Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.
- ASTM C 940, Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory.
- 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 C596-09, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement.
- ASTM C939-10, Standard Test Method For Flow Of Grout For Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method).
- 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.
- Aydın, F., Akça, K.R., Sarıbyık, M. ve İpek, M. 2017. Silindir Beton ve Karot Numunelerde Yeni Bir Başlıklama Malzemesinin Kullanılması. *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, ISITES2017 Baku-Azerbaijan.
- Bang, J.W., Lee, B.J. and Kim, Y.Y. 2017. Development of a semirigid pavement incorporating ultrarapid hardening cement and chemical admixtures for cement grouts. *Advances in Materials Science and Engineering*.

- Bharath, G., Shukla, M., Nagabushana, M., Chandra, S. and Shaw, A. 2020. Laboratory and field evaluation of cement grouted bituminous mixes. *Road Materials and Pavement Design*, 21(6), 1694-1712.
- BS 7976-2, Describes the method of conducting floor pendulum testing
- BS 812, Methods for Determination of Particle Size and Shape.
- BS EN 196-1, Methods of testing cement Determination of strength.
- Cai, X., Zhang, H., Zhang, J. Y., Chen, X. H., Yang, J. and Hong, J. X. 2019. Investigation on reinforcing mechanisms of semi-flexible pavement material through micromechanical model. *Construction and Building Materials*, 198, 732-741.
- Chen, M. Z., Wei, W. and Wu, S. P. 2009. On cold materials of pavement and high-temperature performance of asphalt concrete. *Materials science forum*,
- Cihackova, P., Hyzl, P., Stehlik, D., Dasek, O., Šernas, O. and Vaitkus, A. 2015. Performance characteristics of the open-graded asphalt concrete filled with a special cement grout. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 10(4), 316-324.
- Davoodi, A., Esfahani, M. A., Bayat, M. and Mohammadyan-Yasouj, S. E. 2021. Evaluation of performance parameters of cement mortar in semi-flexible pavement using rubber powder and nano silica additives. *Construction and Building Materials*, 302, 124166.
- Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Orhan, F. and Alp, A. 1991. *Toprak ve stabilizasyon laboratuvarı el kitabı*. Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Başkanlığı.
- Diefenderfer, B. K. 2002. Moisture content determination and temperature profile modeling of flexible pavement structures. Ph.D., Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Ding, Q. J., Sun, Z., Shen, F. and Huang, S. L. 2011. The performance analysis of semi-flexible pavement by the volume parameter of matrix asphalt mixture. *Advanced Materials Research*.
- Eucodensit. 2019. Densiphalt® Handbook.
- Fang, B., Xu, T. and Shi, S. 2016. Laboratory Study on Cement Slurry Formulation and Its Strength Mechanism for Semi-Flexible Pavement. *Journal of Testing and Evaluation*, 44(2), 907-913.
- 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.
- Gültekin, M., Nayır, N., Ziya, U., Çalışkan, K. K., Öztürk, A., Tutan, S. N. ve Komut, M. 2021. *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı*. KGM Araştırma Dairesi Başkanlığı.
- Guluyev, A. 2022. Yarı Esnek Kaplama için Değişik Gradasyonlu Poroz Asfalt Dizaynı ve Performansının Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.

- Guo, A.D., Yang, J., Xiao, X.M., Xia, J.H., Jin, C. and Li, X.M. 2020. Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972.
- 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.
- Hernando, D. and del Val, M. A. 2016. Guidelines for the design of semi-rigid long-life pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(2), 121-127.
- Higashiyama, H., Sano, M., Nakanishi, F., Takahashi, O. and Tsukuma, S. 2016. Field measurements of road surface temperature of several asphalt pavements with temperature rise reducing function. *Case Studies in Construction Materials*, 4, 73-80.
- Hou, S. G., Xu, T. and Huang, K. 2016. Investigation into engineering properties and strength mechanism of grouted macadam composite materials. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(10), 878-886.
- Hu, S., Huang, S., Ding, Q. and Zhang, R. 2008. Study on the cementitious mortar for semi-flexible pavement. International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites.
- Karayolu Teknik Şartnamesi. 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Koting, S., Karim, M. R., Mahmud, H. B. and Hamid, N.A.A. 2014. Mechanical properties of cement-bitumen composites for semi-flexible pavement surfacing. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 9(3), 191-199.
- 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.
- Nazary, M. 2019. Yol üst yapısında yarı rijit kaplama dizaynında kullanılacak harç tipinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Oliveira, J. R. M. D. 2006. Grouted macadam: material characterisation for pavement design. Ph.D., University of Nottingham, Nottingham, UK.
- Oliveira, J., Sangiorgi, C., Fattorini, G. and Zoorob, S. 2009. Investigating the fatigue performance of grouted macadams. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*.
- Opricovic, S. and Tzeng, G.H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.
- Pei, J., Cai, J., Zou, D., Zhang, J., Li, R., Chen, X. and Jin, L. 2016. Design and performance validation of high-performance cement paste as a grouting material for semi-flexible pavement. *Construction and Building Materials*, 126, 206-217.

- Pratelli, C., Betti, G., Giuffrè, T. and Marradi, A. 2018. Preliminary in-situ evaluation of an innovative, semi-flexible pavement wearing course mixture using fast falling weight deflectometer. *Materials*, 11(4), 611.
- REAM. 2007. In Specification of Semi-Rigid Wearing Course. Malaysia: *Road Engineering Association*.
- Saboo, N., Khalpada, V., Sahu, P. K., Radhakrishnan, R. and Gupta, A. 2019. Optimal proportioning of grout constituents using mathematical programming for semi flexible pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 12(3), 297-306.
- Satoru, I. and Masayoshi, Y. 2016. Control of Pavement-Surface Temperature-Rise Using Recycled Materials. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10(1), 37-43.
- Setyawan, A. 2013. Asessing the Compressive Strength Properties of Semi-Flexible Pavements. *2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (Icrmcce)*, 54, 863-874.
- Şevik, S. 2016. Sürdürülebilir Üstyapılar için çok fonksiyonlu güneş-asfalt enerji üretim ve kar-buz önleme sisteminin modellenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 9(1), 1-16.
- Şimşek, R. 2021. İnşaat sektöründe iş kazalarının çok kriterli karar verme yöntemleriyle bütünlük garrett sıralama tekniği ile değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Spadoni, S., Graziani, A. and Canestrari, F. 2022. Laboratory and field investigation of grouted macadam for semi-flexible pavements. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00853.
- 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.
- Toraldo, E. 2013. Comparative laboratory investigation into pavement materials for road tunnels. *Road Materials and Pavement Design*, 14(2), 310-324.
- 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 karışimli asfalt için - Bölüm 11: Agregası ve bitüm arasındaki bağlanmanın tayini.
- TS EN 12697-19, Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışimli 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.
- Van, M. F. and Molenaar, A. A. 2004. Mechanical characterization of combi-layer. *Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions*, Baton Rouge, Louisiana, USA,
- Wang, D., Liang, X., Jiang, C. and Pan, Y. 2018. Impact analysis of Carboxyl Latex on the performance of semi-flexible pavement using warm-mix technology. *Construction and Building Materials*, 179, 566-575.
- Wang, D., Liang, X., Li, D., Liang, H. and Yu, H. 2018. Study on mechanics-based cracking resistance of semiflexible pavement materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018.
- Wang, X. Y. and Zhong, Y. 2019. Reflective crack in semi-rigid base asphalt pavement under temperature-traffic coupled dynamics using XFEM. *Construction and Building Materials*, 214, 280-289.
- 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.
- Zarei, S., Ouyang, J., Yang, W. and Zhao, Y. 2020. Experimental analysis of semi-flexible pavement by using an appropriate cement asphalt emulsion paste. *Construction and Building Materials*, 230, 116994.
- Zeyne, M. 2017. Laboratory Study on Mixture Design of Grouted Macadam. Master's thesis Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia.
- Zhang, J., Cai, J., Pei, J., Li, R. and Chen, X. 2016. Formulation and performance comparison of grouting materials for semi-flexible pavement. *Construction and Building Materials*, 115, 582-592.
- Zhang, Y., Wang, Y., Wu, Z.G., Lu, Y.M., Kang, A.H. and Xiao, P. 2021. Optimal design of geopolymer grouting material for semi-flexible pavement based on response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 306, 124779.
- 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.
- Zhong, K., Sun, M., Zhang, M., Qin, Y. and Li, Y. 2020. Interfacial and mechanical performance of grouted open-graded asphalt concrete with latex modified cement mortar. *Construction and Building Materials*, 234, 117394.

7. EKLER

Ek 1. A kodlu AÇH numunelerinin VIKOR hesap adımları

Kriter Ağırlığı	0.053	0.080	0.080	0.080	0.080	0.040	0.040	0.040	0.040	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.011
Kriter Tipi	Maliyet	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet

Numune no	Başlangıç Karar Matrisi																	Terleme
	Akışkanlık	Basınç				Eğilme				Büzülme								
		1 Gün	3 Gün	7 Gün	28 Gün	1 Gün	3 Gün	7 Gün	28 Gün	7 Gün	14 Gün	21 Gün	28 Gün	35 Gün	42 Gün	49 Gün	56 Gün	
A1	12.67	13.95	36.41	45.71	62.41	4.18	8.44	10.78	11.48	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.12	4.00
A2	13.56	15.29	39.25	52.65	66.72	5.51	10.31	9.61	11.21	0.02	0.05	0.07	0.09	0.10	0.10	0.12	0.13	4.00
A3	12.63	10.84	38.39	51.18	66.19	5.27	8.20	9.14	11.17	0.03	0.07	0.10	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	4.50
A4	13.16	15.68	36.04	46.94	57.70	6.21	5.98	9.26	11.72	0.02	0.06	0.09	0.11	0.11	0.11	0.13	0.14	4.00
A5	11.63	13.08	27.36	36.66	53.43	5.27	6.84	9.14	12.34	0.02	0.06	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	4.75

Kareler toplamı	812.527	962.651	6387.056	11027.322	18912.563	142.000	327.280	461.385	672.084	0.003	0.017	0.036	0.054	0.062	0.067	0.081	0.091	90.813
Karekök	28.505	31.027	79.919	105.011	137.523	11.916	18.091	21.480	25.925	0.055	0.129	0.189	0.232	0.249	0.259	0.284	0.302	9.530

Ek 1'in devamı

Numune no	Normalizasyon Matrisi																	Terleme
	Akışkanlık	Basınç				Eğilme				Büzülme								
		1gün	3gün	7gün	28gün	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün	
A1	0.444	0.450	0.456	0.435	0.454	0.351	0.466	0.502	0.443	0.392	0.434	0.408	0.402	0.410	0.411	0.422	0.406	0.420
A2	0.476	0.493	0.491	0.501	0.485	0.462	0.570	0.447	0.432	0.399	0.387	0.387	0.372	0.392	0.398	0.419	0.417	0.420
A3	0.443	0.349	0.480	0.487	0.481	0.443	0.453	0.426	0.431	0.579	0.518	0.508	0.500	0.492	0.497	0.480	0.482	0.472
A4	0.462	0.505	0.451	0.447	0.420	0.521	0.330	0.431	0.452	0.434	0.429	0.455	0.472	0.443	0.442	0.472	0.461	0.420
A5	0.408	0.422	0.342	0.349	0.389	0.443	0.378	0.426	0.476	0.406	0.457	0.468	0.476	0.490	0.480	0.440	0.465	0.498

Maksimum	0.476	0.505	0.491	0.501	0.485	0.521	0.570	0.502	0.476	0.579	0.518	0.508	0.500	0.492	0.497	0.480	0.482	0.498
Minimum	0.408	0.349	0.342	0.349	0.389	0.351	0.330	0.426	0.431	0.392	0.387	0.387	0.372	0.392	0.398	0.419	0.406	0.420

Numune no	Fayda Matrisi																	Terleme
	Akışkanlık									Büzülme								
		1gün	3gün	7gün	28gün	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün	
A1	0.029	0.029	0.019	0.035	0.026	0.040	0.017	0.000	0.029	0.000	0.020	0.010	0.013	0.010	0.008	0.003	0.000	0.000
A2	0.053	0.006	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.029	0.039	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000
A3	0.027	0.080	0.006	0.007	0.003	0.018	0.019	0.040	0.040	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.007
A4	0.042	0.000	0.022	0.029	0.054	0.000	0.040	0.037	0.021	0.013	0.018	0.032	0.044	0.029	0.025	0.050	0.041	0.000
A5	0.000	0.043	0.080	0.080	0.080	0.018	0.032	0.040	0.000	0.004	0.030	0.038	0.046	0.056	0.047	0.020	0.044	0.011

Ek 1'in devamı

Numune no	Si	Ri	Qi	Sıralama
A1	0.288	0.040	0.124	2
A2	0.151	0.053	0.081	1
A3	0.705	0.080	0.750	5
A4	0.498	0.054	0.402	3
A5	0.670	0.080	0.718	4

Maks	0.705	0.080
Min	0.151	0.040
	Nü	0.5

C1 Kontrolü	Tutarsız	Kabul edilebilir
C2 Kontrolü	Tutarlı	Kararlılıkta stabil

Ek 2. L kodlu AÇH numunelerinin VIKOR hesaplama adımları

Kriter Ağırlığı	0.053	0.080	0.080	0.080	0.080	0.040	0.040	0.040	0.040	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.011
Kriter Tipi	Maliyet	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet

Kod	Başlangıç Karar Matrisi																	Terleme
	Akışkanlık	Basınç				Eğilme				Büzülme								
		1gün	3gün	7gün	28gün	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün	
L1	11.02	10.81	32.99	41.59	61.71	3.63	7.30	9.61	11.48	0.03	0.06	0.09	0.11	0.11	0.12	0.13	0.15	2.40
L2	11.40	15.09	34.09	44.88	63.05	5.04	7.07	9.84	11.72	0.02	0.05	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	2.00
L3	11.23	16.52	33.93	44.97	61.94	3.63	7.11	9.38	11.37	0.02	0.06	0.09	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	2.00
L4	11.46	16.31	35.04	45.99	62.89	4.57	7.07	8.91	11.48	0.03	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.14	2.50
L5	12.77	8.35	31.11	43.34	58.70	4.77	8.20	8.20	11.72	0.03	0.06	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	3.00
L6	12.54	13.39	36.93	47.44	65.73	5.04	6.64	11.25	9.38	0.03	0.06	0.07	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	2.25
L7	12.66	15.26	35.85	49.77	64.87	4.57	7.54	9.38	10.78	0.02	0.05	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	1.50
L8	12.25	15.27	39.65	51.62	66.66	5.08	7.97	9.14	11.72	0.02	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	2.50
L9	11.98	13.56	34.76	50.73	65.58	4.80	7.54	10.78	11.02	0.03	0.06	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	2.00
L10	11.86	13.09	37.00	49.14	66.13	4.80	9.61	10.00	12.38	0.03	0.07	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	2.40
Kareler toplamı	1423.85	1953.90	12395.98	22139.99	40666.38	213.62	584.79	937.98	1283.79	0.01	0.04	0.07	0.09	0.12	0.13	0.15	0.19	52.33
Karekök	37.734	44.203	111.337	148.795	201.659	14.616	24.182	30.626	35.830	0.085	0.193	0.261	0.308	0.342	0.366	0.391	0.435	7.234

Ek 2'nin devamı

Kod	Normalizasyon Matrisi																	Terleme
	Akışkanlık	Basınç				Eğilme				Büzülme								
		1gün	3gün	7gün	28gün	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün	
L1	0.29	0.24	0.30	0.28	0.31	0.25	0.30	0.31	0.32	0.34	0.32	0.34	0.35	0.33	0.34	0.34	0.34	0.33
L2	0.30	0.34	0.31	0.30	0.31	0.34	0.29	0.32	0.33	0.22	0.28	0.31	0.31	0.33	0.34	0.34	0.35	0.28
L3	0.30	0.37	0.30	0.30	0.31	0.25	0.29	0.31	0.32	0.29	0.32	0.33	0.34	0.34	0.34	0.31	0.31	0.28
L4	0.30	0.37	0.31	0.31	0.31	0.31	0.29	0.29	0.32	0.32	0.36	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.35
L5	0.34	0.19	0.28	0.29	0.29	0.33	0.34	0.27	0.33	0.37	0.33	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.41
L6	0.33	0.30	0.33	0.32	0.33	0.34	0.27	0.37	0.26	0.32	0.29	0.28	0.29	0.28	0.28	0.30	0.30	0.31
L7	0.34	0.35	0.32	0.33	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30	0.23	0.28	0.27	0.28	0.29	0.29	0.31	0.31	0.21
L8	0.32	0.35	0.36	0.35	0.33	0.35	0.33	0.30	0.33	0.28	0.29	0.28	0.29	0.30	0.29	0.30	0.30	0.35
L9	0.32	0.31	0.31	0.34	0.33	0.33	0.31	0.35	0.31	0.37	0.33	0.34	0.31	0.33	0.32	0.32	0.32	0.28
L10	0.31	0.30	0.33	0.33	0.33	0.33	0.40	0.33	0.35	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.33

Maks	0.339	0.374	0.356	0.347	0.331	0.347	0.397	0.367	0.346	0.372	0.360	0.345	0.346	0.343	0.338	0.344	0.348	0.415
Min	0.292	0.189	0.279	0.279	0.291	0.249	0.275	0.268	0.262	0.218	0.276	0.267	0.284	0.277	0.284	0.295	0.290	0.207

Kod	Fayda Matrisi																	Terleme
	Akışkanlık	Basınç				Eğilme				Büzülme								
		1gün	3gün	7gün	28gün	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün	
L1	0.00	0.06	0.06	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.05	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.01
L2	0.01	0.01	0.05	0.05	0.04	0.00	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.04	0.06	0.06	0.06	0.00
L3	0.01	0.00	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06	0.02	0.01	0.00
L4	0.01	0.00	0.04	0.04	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0.04	0.06	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.01
L5	0.05	0.08	0.08	0.07	0.08	0.01	0.02	0.04	0.01	0.06	0.03	0.06	0.05	0.06	0.05	0.03	0.02	0.01
L6	0.05	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.04	0.00	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
L7	0.05	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
L8	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
L9	0.03	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.06	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.00
L10	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01

Ek 2'nin devamı

Kod	Si	Ri	Qi	Sıralama
	0.746	0.080	0.948	9
L2	0.509	0.057	0.482	7
L3	0.576	0.057	0.538	8
L4	0.508	0.057	0.481	6
L5	0.808	0.080	1.000	10
L6	0.307	0.046	0.183	2
L7	0.284	0.050	0.208	3
L8	0.209	0.037	0.000	1
L9	0.492	0.055	0.448	5
L10	0.410	0.056	0.383	4

Maks	0.808	0.080
Min	0.209	0.037
Nü	0.5	

C1 Kontrolü	Tutarlı	Kabul edilebilir
C2 Kontrolü	Tutarlı	Kararlılıkta stabil

Ek 3. H kodlu AÇH numunelerinin VIKOR hesaplama adımları

Kriter Ağırlığı	0.048	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.032
Kriter Tipi	Maliyet	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Fayda	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet	Maliyet

Kod	Akış	Başlangıç Karar Matrisi																			Terleme
		Basınç					Eğilme					Büzülme									
		12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün		
H4	12.90	1.21	20.96	45.47	58.27	68.43	0.70	6.45	8.20	8.91	10.55	0.07	0.13	0.18	0.21	0.23	0.25	0.28	0.29	1.25	
H5	12.35	1.40	18.61	42.80	53.47	66.78	0.70	5.27	7.73	8.44	10.55	0.07	0.13	0.18	0.22	0.25	0.27	0.30	0.31	1.25	
H6	11.92	1.44	19.03	39.10	53.28	65.67	0.70	5.04	7.11	7.30	10.08	0.08	0.14	0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.34	1.25	
H7	11.83	4.70	19.55	42.36	51.94	65.21	1.88	5.27	6.64	9.84	9.61	0.07	0.14	0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.34	0.75	
H8	12.32	4.58	14.40	37.45	46.56	65.67	1.41	4.80	6.45	5.74	10.08	0.08	0.16	0.21	0.25	0.28	0.32	0.35	0.37	1.00	
H9	11.97	2.51	12.44	36.08	41.72	62.52	0.94	5.04	5.74	6.84	7.34	0.08	0.19	0.24	0.29	0.32	0.36	0.39	0.42	0.75	

Kareler toplamı	895.87	54.89	1892.47	9927.89	15698.67	25928.90	7.86	171.03	296.27	380.47	571.88	0.03	0.14	0.24	0.35	0.43	0.54	0.66	0.73	6.81
Karekök	29.93	7.41	43.50	99.64	125.29	161.02	2.80	13.08	17.21	19.51	23.91	0.19	0.37	0.49	0.59	0.66	0.73	0.81	0.86	2.61

Kod	Akış	Normalizasyon Matrisi																			Terleme
		Basınç					Eğilme					Büzülme									
		12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün		
H4	0.43	0.16	0.48	0.46	0.47	0.42	0.25	0.49	0.48	0.46	0.44	0.37	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.48	
H5	0.41	0.19	0.43	0.43	0.43	0.41	0.25	0.40	0.45	0.43	0.44	0.40	0.35	0.37	0.37	0.37	0.37	0.36	0.37	0.48	
H6	0.40	0.19	0.44	0.39	0.43	0.41	0.25	0.39	0.41	0.37	0.42	0.42	0.37	0.40	0.39	0.39	0.40	0.41	0.40	0.48	
H7	0.40	0.63	0.45	0.43	0.41	0.40	0.67	0.40	0.39	0.50	0.40	0.38	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41	0.40	0.29	
H8	0.41	0.62	0.33	0.38	0.37	0.41	0.50	0.37	0.37	0.29	0.42	0.42	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.38	
H9	0.40	0.34	0.29	0.36	0.33	0.39	0.33	0.39	0.33	0.35	0.31	0.46	0.53	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.49	0.29	

Maksimum	0.431	0.634	0.482	0.456	0.465	0.425	0.669	0.493	0.477	0.505	0.441	0.456	0.525	0.494	0.494	0.491	0.488	0.485	0.492	0.479
Minimum	0.395	0.164	0.286	0.362	0.333	0.388	0.251	0.367	0.334	0.294	0.307	0.374	0.352	0.364	0.359	0.355	0.346	0.339	0.334	0.287

Ek 3'ün devamı

Kod	Fayda Matrisi																				Terleme
	Akış	Basınç					Eğilme					Büzülme									
		12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün		
H4	0.048	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	
H5	0.024	0.068	0.020	0.020	0.021	0.020	0.036	0.026	0.007	0.012	0.000	0.014	0.000	0.001	0.004	0.007	0.008	0.009	0.010	0.032	
H6	0.004	0.067	0.016	0.049	0.022	0.034	0.036	0.031	0.016	0.022	0.005	0.026	0.006	0.012	0.012	0.013	0.018	0.022	0.021	0.032	
H7	0.000	0.000	0.012	0.024	0.028	0.039	0.000	0.026	0.023	0.000	0.011	0.003	0.004	0.007	0.011	0.012	0.018	0.023	0.020	0.000	
H8	0.022	0.002	0.055	0.061	0.051	0.034	0.014	0.036	0.026	0.036	0.005	0.026	0.025	0.024	0.024	0.027	0.029	0.030	0.030	0.016	
H9	0.006	0.045	0.072	0.072	0.072	0.072	0.029	0.031	0.036	0.026	0.036	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.000	

Kod	Si	Ri	Qi	Sıralama
H4	0.198	0.072	0.500	2
H5	0.337	0.068	0.544	3
H6	0.464	0.067	0.625	5
H7	0.259	0.039	0.045	1
H8	0.575	0.061	0.617	4
H9	0.877	0.072	1.000	6

Maks	0.877	0.072
Min	0.198	0.039
Nü	0.5	

C1 Kontrolü	Tutarlı	Kabul edilebilir
C2 Kontrolü	Tutarlı	Kararlılıkta stabil

Ek 4. AÇH numunelerinin tamamının VIKOR hesaplama adımları

Kod	Akış	Başlangıç Karar Matrisi																	Terleme	
		Basınç					Eğilme					Büzülme								
		12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün		56gün
A1	12.67	0.00	13.95	36.41	45.71	62.41	0.00	4.18	8.44	10.78	11.48	0.02	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.12	4.00
A2	13.56	0.00	15.29	39.25	52.65	66.72	0.00	5.51	10.31	9.61	11.21	0.02	0.05	0.07	0.09	0.10	0.10	0.12	0.13	4.00
A3	12.63	0.00	10.84	38.39	51.18	66.19	0.00	5.27	8.20	9.14	11.17	0.03	0.07	0.10	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	4.50
A4	13.16	0.00	15.68	36.04	46.94	57.70	0.00	6.21	5.98	9.26	11.72	0.02	0.06	0.09	0.11	0.11	0.11	0.13	0.14	4.00
A5	11.63	0.00	13.08	27.36	36.66	53.43	0.00	5.27	6.84	9.14	12.34	0.02	0.06	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	4.75
L1	11.02	0.00	10.81	32.99	41.59	61.71	0.00	3.63	7.30	9.61	11.48	0.03	0.06	0.09	0.11	0.11	0.12	0.13	0.15	2.40
L2	11.40	0.00	15.09	34.09	44.88	63.05	0.00	5.04	7.07	9.84	11.72	0.02	0.05	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	2.00
L3	11.23	0.00	16.52	33.93	44.97	61.94	0.00	3.63	7.11	9.38	11.37	0.02	0.06	0.09	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	2.00
L4	11.46	0.00	16.31	35.04	45.99	62.89	0.00	4.57	7.07	8.91	11.48	0.03	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.14	2.50
L5	12.77	0.00	8.35	31.11	43.34	58.70	0.00	4.77	8.20	8.20	11.72	0.03	0.06	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	3.00
L6	12.54	0.00	13.39	36.93	47.44	65.73	0.00	5.04	6.64	11.25	9.38	0.03	0.06	0.07	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	2.25
L7	12.66	0.00	15.26	35.85	49.77	64.87	0.00	4.57	7.54	9.38	10.78	0.02	0.05	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	1.50
L8	12.25	0.00	15.27	39.65	51.62	66.66	0.00	5.08	7.97	9.14	11.72	0.02	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	2.50
L9	11.98	0.00	13.56	34.76	50.73	65.58	0.00	4.80	7.54	10.78	11.02	0.03	0.06	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	2.00
L10	11.86	0.00	13.09	37.00	49.14	66.13	0.00	4.80	9.61	10.00	12.38	0.03	0.07	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	2.40
H4	12.90	1.21	20.96	45.47	58.27	68.43	0.70	6.45	8.20	8.91	10.55	0.07	0.13	0.18	0.21	0.23	0.25	0.28	0.29	1.25
H5	12.35	1.40	18.61	42.80	53.47	66.78	0.70	5.27	7.73	8.44	10.55	0.07	0.13	0.18	0.22	0.25	0.27	0.30	0.31	1.25
H6	11.92	1.44	19.03	39.10	53.28	65.67	0.70	5.04	7.11	7.30	10.08	0.08	0.14	0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.34	1.25
H7	11.83	4.70	19.55	42.36	51.94	65.21	1.88	5.27	6.64	9.84	9.61	0.07	0.14	0.19	0.23	0.26	0.29	0.33	0.34	0.75
H8	12.32	4.58	14.40	37.45	46.56	65.67	1.41	4.80	6.45	5.74	10.08	0.08	0.16	0.21	0.25	0.28	0.32	0.35	0.37	1.00
H9	11.97	2.51	12.44	36.08	41.72	62.52	0.94	5.04	5.74	6.84	7.34	0.08	0.19	0.24	0.29	0.32	0.36	0.39	0.42	0.75
G1	11.34	0.00	6.11	33.00	45.16	61.51	0.00	0.94	5.98	6.45	7.56	0.12	0.26	0.34	0.40	0.44	0.45	0.46	0.46	0.65
G2	10.76	0.00	5.49	36.75	46.09	55.31	0.00	0.70	5.98	5.27	5.80	0.09	0.20	0.30	0.37	0.41	0.41	0.42	0.42	1.00
G3	10.54	0.00	4.93	36.27	42.20	49.60	0.00	0.70	5.27	4.80	6.15	0.08	0.17	0.27	0.34	0.37	0.38	0.39	0.39	1.25
Kareler toplamı	3487.71	54.89	4900.82	32465.75	54809.92	94810.23	7.86	528.52	1307.58	1872.28	2656.38	0.07	0.33	0.62	0.91	1.11	1.26	1.43	1.56	152.94
Karekök	59.06	7.41	70.01	180.18	234.12	307.91	2.80	22.99	36.16	43.27	51.54	0.27	0.57	0.79	0.95	1.05	1.12	1.20	1.25	12.37

Ek 4'ün devamı

Kod	Akış	Başlangıç Karar Matrisi																		Terleme
		Basınç					Eğilme					Büzülme								
		12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün	
A1	0.215	0.000	0.199	0.202	0.195	0.203	0.000	0.182	0.233	0.249	0.223	0.080	0.098	0.098	0.098	0.097	0.095	0.100	0.098	0.323
A2	0.230	0.000	0.218	0.218	0.225	0.217	0.000	0.240	0.285	0.222	0.218	0.081	0.087	0.092	0.091	0.093	0.092	0.100	0.101	0.323
A3	0.214	0.000	0.155	0.213	0.219	0.215	0.000	0.229	0.227	0.211	0.217	0.118	0.117	0.121	0.122	0.116	0.115	0.114	0.117	0.364
A4	0.223	0.000	0.224	0.200	0.200	0.187	0.000	0.270	0.165	0.214	0.227	0.089	0.097	0.109	0.115	0.105	0.102	0.112	0.111	0.323
A5	0.197	0.000	0.187	0.152	0.157	0.174	0.000	0.229	0.189	0.211	0.239	0.083	0.103	0.112	0.116	0.116	0.111	0.105	0.112	0.384
L1	0.187	0.000	0.154	0.183	0.178	0.200	0.000	0.158	0.202	0.222	0.223	0.106	0.107	0.113	0.112	0.106	0.109	0.112	0.119	0.194
L2	0.193	0.000	0.216	0.189	0.192	0.205	0.000	0.219	0.196	0.227	0.227	0.068	0.096	0.103	0.101	0.106	0.110	0.112	0.121	0.162
L3	0.190	0.000	0.236	0.188	0.192	0.201	0.000	0.158	0.197	0.217	0.221	0.090	0.107	0.110	0.111	0.109	0.110	0.102	0.106	0.162
L4	0.194	0.000	0.233	0.194	0.196	0.204	0.000	0.199	0.196	0.206	0.223	0.101	0.122	0.102	0.099	0.100	0.103	0.103	0.114	0.202
L5	0.216	0.000	0.119	0.173	0.185	0.191	0.000	0.207	0.227	0.190	0.227	0.116	0.110	0.114	0.110	0.111	0.107	0.106	0.109	0.243
L6	0.212	0.000	0.191	0.205	0.203	0.213	0.000	0.219	0.184	0.260	0.182	0.101	0.097	0.094	0.093	0.090	0.092	0.096	0.106	0.182
L7	0.214	0.000	0.218	0.199	0.213	0.211	0.000	0.199	0.208	0.217	0.209	0.073	0.093	0.088	0.092	0.095	0.095	0.100	0.110	0.121
L8	0.207	0.000	0.218	0.220	0.221	0.216	0.000	0.221	0.220	0.211	0.227	0.089	0.099	0.092	0.095	0.097	0.095	0.098	0.104	0.202
L9	0.203	0.000	0.194	0.193	0.217	0.213	0.000	0.209	0.208	0.249	0.214	0.115	0.113	0.111	0.101	0.107	0.103	0.105	0.111	0.162
L10	0.201	0.000	0.187	0.205	0.210	0.215	0.000	0.209	0.266	0.231	0.240	0.114	0.121	0.113	0.106	0.103	0.101	0.097	0.101	0.194
H4	0.218	0.164	0.299	0.252	0.249	0.222	0.251	0.280	0.227	0.206	0.205	0.256	0.233	0.224	0.223	0.222	0.226	0.231	0.229	0.101
H5	0.209	0.189	0.266	0.238	0.228	0.217	0.251	0.229	0.214	0.195	0.205	0.272	0.229	0.226	0.230	0.234	0.242	0.248	0.252	0.101
H6	0.202	0.194	0.272	0.217	0.228	0.213	0.251	0.219	0.197	0.169	0.196	0.287	0.244	0.245	0.245	0.245	0.261	0.276	0.277	0.101
H7	0.200	0.634	0.279	0.235	0.222	0.212	0.669	0.229	0.184	0.227	0.186	0.259	0.238	0.236	0.243	0.244	0.261	0.278	0.275	0.061
H8	0.209	0.618	0.206	0.208	0.199	0.213	0.502	0.209	0.178	0.133	0.196	0.286	0.288	0.265	0.266	0.270	0.283	0.294	0.298	0.081
H9	0.203	0.339	0.178	0.200	0.178	0.203	0.334	0.219	0.159	0.158	0.142	0.312	0.341	0.305	0.307	0.307	0.319	0.330	0.338	0.061
G1	0.192	0.000	0.087	0.183	0.193	0.200	0.000	0.041	0.165	0.149	0.147	0.456	0.447	0.433	0.421	0.420	0.405	0.383	0.369	0.053
G2	0.182	0.000	0.078	0.204	0.197	0.180	0.000	0.031	0.165	0.122	0.113	0.318	0.351	0.382	0.384	0.385	0.366	0.347	0.336	0.081
G3	0.178	0.000	0.070	0.201	0.180	0.161	0.000	0.031	0.146	0.111	0.119	0.290	0.301	0.346	0.353	0.352	0.340	0.325	0.316	0.101
Maks	0.230	0.634	0.299	0.252	0.249	0.222	0.669	0.280	0.285	0.260	0.240	0.456	0.447	0.433	0.421	0.420	0.405	0.383	0.369	0.384
Min	0.178	0.000	0.070	0.152	0.157	0.161	0.000	0.031	0.146	0.111	0.113	0.068	0.087	0.088	0.091	0.090	0.092	0.096	0.098	0.053

Ek 4'ün devamı

Kod	Fayda Matrisi																				Terleme
	Akış	Basınç					Eğilme					Büzülme									
		12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	12 saat	1gün	3gün	7gün	28gün	7gün	14gün	21gün	28gün	35gün	42gün	49gün	56gün		
A1	0.034	0.072	0.031	0.036	0.042	0.023	0.036	0.014	0.013	0.003	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.026	
A2	0.048	0.072	0.025	0.025	0.019	0.007	0.036	0.006	0.000	0.009	0.006	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.026	
A3	0.033	0.072	0.045	0.028	0.024	0.009	0.036	0.007	0.015	0.012	0.007	0.006	0.004	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.030	
A4	0.042	0.072	0.024	0.037	0.038	0.041	0.036	0.001	0.031	0.011	0.004	0.003	0.001	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.026	
A5	0.017	0.072	0.035	0.072	0.072	0.057	0.036	0.007	0.025	0.012	0.000	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.003	0.001	0.002	0.032	
L1	0.008	0.072	0.046	0.050	0.056	0.026	0.036	0.018	0.021	0.009	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.004	0.014	
L2	0.014	0.072	0.026	0.045	0.045	0.021	0.036	0.009	0.023	0.008	0.004	0.000	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004	0.011	
L3	0.011	0.072	0.020	0.046	0.044	0.025	0.036	0.018	0.023	0.010	0.006	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	0.011	
L4	0.015	0.072	0.021	0.041	0.041	0.021	0.036	0.012	0.023	0.013	0.005	0.004	0.005	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.014	
L5	0.035	0.072	0.057	0.057	0.050	0.037	0.036	0.011	0.015	0.017	0.004	0.006	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.018	
L6	0.032	0.072	0.034	0.034	0.036	0.010	0.036	0.009	0.026	0.000	0.016	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.012	
L7	0.034	0.072	0.026	0.038	0.028	0.014	0.036	0.012	0.020	0.010	0.009	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.007	
L8	0.027	0.072	0.026	0.023	0.022	0.007	0.036	0.009	0.017	0.012	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.014	
L9	0.023	0.072	0.033	0.043	0.025	0.011	0.036	0.010	0.020	0.003	0.007	0.006	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.011	
L10	0.021	0.072	0.035	0.034	0.030	0.009	0.036	0.010	0.005	0.007	0.000	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.000	0.001	0.014	
H4	0.037	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.015	0.013	0.010	0.023	0.019	0.019	0.019	0.019	0.020	0.022	0.023	0.005	
H5	0.029	0.051	0.011	0.011	0.016	0.006	0.023	0.007	0.018	0.016	0.010	0.025	0.019	0.019	0.020	0.021	0.023	0.025	0.027	0.005	
H6	0.022	0.050	0.009	0.025	0.017	0.011	0.023	0.009	0.023	0.022	0.013	0.027	0.021	0.022	0.022	0.022	0.026	0.030	0.031	0.005	
H7	0.021	0.000	0.006	0.012	0.021	0.012	0.000	0.007	0.026	0.008	0.015	0.023	0.020	0.020	0.022	0.022	0.026	0.030	0.031	0.001	
H8	0.028	0.002	0.029	0.032	0.039	0.011	0.009	0.010	0.028	0.031	0.013	0.027	0.027	0.024	0.025	0.026	0.029	0.033	0.035	0.003	
H9	0.023	0.033	0.038	0.037	0.055	0.023	0.018	0.009	0.033	0.025	0.028	0.030	0.034	0.030	0.031	0.031	0.034	0.039	0.042	0.001	
G1	0.013	0.072	0.067	0.050	0.044	0.026	0.036	0.035	0.031	0.027	0.026	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.000	
G2	0.003	0.072	0.069	0.035	0.041	0.050	0.036	0.036	0.031	0.033	0.036	0.031	0.035	0.040	0.042	0.042	0.042	0.041	0.042	0.003	
G3	0.000	0.072	0.072	0.037	0.054	0.072	0.036	0.036	0.036	0.036	0.034	0.027	0.028	0.036	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.005	

Ek 4'ün devamı

Kod	Si	Ri	Qi	Sıralama
A1	0.343	0.072	0.563	15
A2	0.283	0.072	0.506	7
A3	0.350	0.072	0.570	16
A4	0.382	0.072	0.600	18
A5	0.459	0.072	0.673	21
L1	0.384	0.072	0.602	19
L2	0.329	0.072	0.550	12
L3	0.340	0.072	0.561	14
L4	0.333	0.072	0.554	13
L5	0.433	0.072	0.648	20
L6	0.326	0.072	0.547	11
L7	0.310	0.072	0.533	9
L8	0.276	0.072	0.500	6
L9	0.315	0.072	0.537	10
L10	0.293	0.072	0.516	8
H4	0.321	0.053	0.315	3
H5	0.380	0.051	0.336	4
H6	0.427	0.050	0.373	5
H7	0.324	0.031	0.046	1
H8	0.459	0.039	0.270	2
H9	0.593	0.055	0.593	17
G1	0.806	0.072	1.000	24
G2	0.761	0.072	0.957	22
G3	0.769	0.072	0.965	23

Maks	0.806	0.072
Min	0.276	0.031
Nü	0.5	

C1 Kontrolü	Tutarlı	Kabul edilebilir
C2 Kontrolü	Tutarlı	Kararlılıkta stabil

ÖZGEÇMİŞ

Azad DİNLER

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2019-2022	Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2015-2019	Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya