

**BETON YOL YÜZEY HASARLARININ HIZLI  
ONARIMINDA SÜLFÜR HARÇ  
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eray GÜL**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MART 2022**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BETON YOL YÜZEY HASARLARININ HIZLI ONARIMINDA  
SÜLFÜR HARÇ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**Eray GÜL**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MART 2022**

**TEZ ONAY SAYFASI**

Eray GÜL tarafından hazırlanan "Beton Yol Yüzey Hasarlarının Hızlı Onarımında Sülfür Harç Kullanımının Araştırılması" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 18 / 03 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

**Başkan** : Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,  
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

**Üye** : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Cahit GÜRER  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi

**İmza**



Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
  - Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
  - Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bir üniversite veya başka bir üniversitede başka bir dönem projesi olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

18/03/2022

  
Eray GÜL

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BETON YOL YÜZEY HASARLARININ HIZLI ONARIMINDA SÜLFÜR HARÇ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Eray GÜL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Karayolu yapımında ve üstyapı yenileme çalışmalarında yolların üstyapı tipinin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Yol kaplamalarında kullanılan betonun görevi, trafikten dolayı gelen yükleri taban zeminine ileterek oluşacak deformasyonları engellemektir. Bunu yapabilmek için beton yolların rijit olmasından faydalanılır. Rijit kaplama sınıfına giren beton yollar çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Beton yollarda diğer yapı elemanlarında olduğu gibi dayanıklılık (durabilite) çok önemlidir. Bazen beton yollarda deformasyon ve çatlaklar olabilmektedir. Bu çatlakların bakım ve onarımını yapabilmek için trafiğin akışından olumsuz yönde etkilenmeden tamamlanması gerekmektedir. Bakım ve onarım için hızlı dayanım kazanan tamir harçlarının yanı sıra çimento harçları da kullanılmaktadır. Bu tamir harçların kullanılması durumunda yolun trafiğe açılma süresi yaklaşık 2 saat sürmektedir. Bu tez çalışmasında, sülfür harç kullanarak hasarlı beton yolların bakım ve onarımını mevcut uygulamaya göre daha kısa sürede yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada, sülfür harçları %0, %50 ve %75 oranlarında kuvars kumu katkılı olarak üretilmiştir. Harçların priz süresi, basınç, eğilme ve noktasal dayanımı, rötre ve sürtünme katsayıları gibi özellikleri belirlenmiştir. Beton yüzeyle olan aderansı ve kayma gerilmesi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sülfür harçların dayanım gibi özellikleri çimentolu harçlara göre biraz daha düşük olsa da yol onarımında kullanılmaları durumunda daha kısa sürede trafiğe açılacaktır. Sülfür harçlar çimentolu harçlara alternatif olarak kullanılabilir.

**2022, xi + 76sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Beton Yolların Tamiri, Beton Yollar, Susuz Harç, Sülfür Harç

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **INVESTIGATION OF THE USING SULFUR MORTAR IN RAPID REPAIR OF CONCRETE ROAD SURFACE DAMAGES**

Eray GÜL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

**Supervisor:** Prof. Tayfun UYGUNOĞLU

Choosing the pavement type of the roads is of great importance in highway construction and pavement renovation works. The task of the concrete used in road pavements is to prevent the deformations that will occur by transmitting the loads coming from the traffic to the base floor. In order to do this, the rigidity of concrete roads is utilized. Concrete roads, which are classified as rigid pavements, are exposed to environmental effects. Durability is very important in concrete roads, as in other construction elements. Sometimes there may be deformation and cracks in concrete roads. In order to be able to maintain and repair these cracks, they must be completed without being adversely affected by the flow of traffic. Cement mortars are also used for maintenance and repair, as well as repair mortars that gain strength quickly. In the case of using these repair mortars, it takes approximately 2 hours for the road to open to traffic. In this thesis, it is aimed to carry out the maintenance and repair of damaged concrete roads using sulfur mortar in a shorter time than the current practice. In the study, sulfur mortars were produced with 0%, 50% and 75% quartz sand additives. Properties such as setting time, pressure, bending and point strength, shrinkage and friction coefficients of the mortars were determined. The adhesion and shear stress with the concrete surface were determined. According to the results obtained, although the properties such as strength of sulfur mortars are slightly lower than cement mortars, they can be opened to traffic in a shorter time if they are used in road repair. Sulfur mortars can be used as an alternative to cementitious mortars.

**2022, xi + 76 pages**

**Keywords:** Repair of Concrete Roads, Concrete Roads, Anhydrous Mortar, Sulfur Mortar

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programında tez olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada rijit üstyapı olan beton yollarda yüzey hasarlarının hızlı onarımında sülfür harç kullanımıını diğer beton tamir harçları ile kıyaslayarak ne kadar kısa sürede trafiğe açılacağı araştırılmıştır.

Tez alıŐması boyunca bana gösterdiği yardımlarından dolayı değerli hocam Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU'na, Hem iş hayatımda hem de okul hayatımda bana destek veren aileme çok teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Eray GÜL

Afyonkarahisar, 2022

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
RESİMLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Beton Yolun Tarihçesi .....	2
1.2 Beton Yol ve Özellikleri .....	3
1.2.1 Beton Yolun Üstün Özellikleri .....	4
1.2.1.1 Beton Yolun Yapısal Ömrü .....	4
1.2.1.2 Beton Yolun Ekonomik Durumu.....	4
1.2.1.3 Beton Yolun Dayanıklılığı.....	5
1.2.1.4 Beton Yolun Durma Mesafesi .....	6
1.2.1.5 Beton Yolun Akaryakıt Tasarruf Durumu.....	7
1.2.1.6 Beton Yolun Gece Görünümü .....	8
1.2.1.7 Beton Yolun Hammaddesi.....	8
1.2.1.8 Beton Yolun Uygulama Koşulları .....	9
1.2.1.9 Beton Yolun Çevresel Etkisi .....	9
1.2.1.10 Beton Yolun Yatırım Maliyeti.....	10
1.2.1.11 Beton Yolun Enerji Tasarrufu .....	11
1.3 Beton Yol Üstyapı Seçimine Etki Eden Faktörler .....	12
1.3.1 Trafik .....	12
1.3.2 Bakım Maliyeti .....	12
1.3.3 Yolu Kullananların Harcamaları .....	13
1.3.4 Finansman Kaynakları .....	13
1.3.5 Güvenlik ve Konfor .....	14



1.4 Beton Yol Hasarları ve Onarımları .....	14
1.4.1 Beton Yolda Oluşacak Hasarlar .....	14
1.4.1.1 Plak Kalınlığının Yetersizliği .....	15
1.4.1.2 Uygun Olmayan Derz Aralıkları .....	15
1.4.1.3 İklim Etkisinin İhmali .....	15
1.4.1.4 Ağır Yükleme .....	16
1.4.2 Beton Bileşim Hesaplarındaki Hatalar .....	16
1.4.3 İnşaat Hataları .....	16
1.4.3.1 Erken veya Geç Perdah .....	16
1.4.3.2 Derz Yapımında İmalat Hataları .....	17
1.4.3.3 Altyapının Sağlam Olmaması .....	17
1.4.4 Beton Yolların Onarımı .....	17
1.4.5 Beton Sökülme İşlemi .....	20
1.4.5.1 Frezeleme .....	20
1.4.5.2 Yüksek Basınç ile Su Püskürtme Yöntemi .....	20
1.4.5.3 Su Katkılı ve Katkısız Çelik Kuşlama Yöntemi .....	21
1.4.5.4 Taraklama Yöntemi .....	21
1.4.5.5 Makine ile Taraklama .....	21
1.4.5.6 Taşlama Yöntemi .....	22
1.4.5.7 Kanal ile Frezeleme Yöntemi .....	22
1.4.6 Şerit Yenileme .....	23
1.4.7 Reaktif Reçine Yardımı ile Yüzey Onarımı .....	24
1.4.8 Yüzeydeki Çatlak Doldurulması .....	26
1.4.9 Enjeksiyon İşlemi .....	26
1.4.10 Drenaj İyileştirme .....	27
1.5 Sülfür ve Özellikleri .....	27
1.5.1 Sülfürün Tanımı .....	27
1.5.2 Sülfürün Kullanıldığı Alanlar .....	29
1.5.3 Sülfürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	29
2. LİTERATÜR .....	31
2.1 Amaç .....	34
3. MATERYAL VE METODLAR .....	36

3.1 Kullanılan Malzemeler.....	36
3.1.1 Beton Tamir Harcı .....	36
3.1.2 Sülfür.....	37
3.1.3 Kuvars Kumu .....	37
3.2 Karışım Oranları ve Numune Üretimi .....	38
3.3 Yapılan Deneyler .....	40
3.3.1 Kıvam ve Priz Süresi Tayini.....	40
3.3.2 Penetrasyon Deneyi .....	41
3.3.3 Rötire (Birim Şekil Değişimi) Deneyi.....	42
3.3.4 Eğilme Deneyi .....	43
3.3.5 Basınç Deneyi.....	45
3.3.6 Kayma Deneyi .....	47
3.3.7 Aderans Deneyi .....	48
3.3.8 Noktasal Yükleme Deneyi.....	49
3.3.9 Sürtünme (Kayma) Direnci Deneyi.....	50
4 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME .....	52
4.1 Priz Süresi Deney Sonuçları .....	52
4.2 Penetrasyon Deney Sonuçları .....	53
4.3 Rötire Deney Sonuçları.....	53
4.4 Eğilme Deney Sonuçları .....	54
4.5 Basınç Deney Sonuçları.....	55
4.6 Kayma Deney Sonuçları .....	55
4.6.1 2 Saatlik Kayma Deney Sonuçları.....	55
4.6.2 4 Saatlik Kayma Deney Sonuçları.....	57
4.6.3 24 Saatlik Kayma Deney Sonuçları.....	58
4.6.4 28 Günlük Kayma Deney Sonuçları.....	59
4.7 Aderans Deney Sonuçları .....	61
4.7.1 Tamir Harcı Aderans Deney Sonuçları .....	61
4.7.2 Sülfür Harcı Aderans Deney Sonuçları .....	61
4.7.2.1 Sülfür Harcı 2 Saatlik Aderans Deney Sonuçları.....	61
4.7.2.2 Sülfür Harcı 4 Saatlik Aderans Deney Sonuçları.....	62
4.7.2.3 Sülfür Harcı 24 Saatlik Aderans Deney Sonuçları.....	63

4.7.2.4 Sülfür Harcı 28 Günlük Aderans Deney Sonuçları .....	64
4.8. Noktasal Yükleme Deney Sonuçları .....	64
4.9. Sürtünme (Kayma) Direnci Deney Sonuçları .....	65
4.10 Tamir Harçlarının Yüzey Değişimi Sonuçları .....	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
6. KAYNAKLAR .....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

---

A	Numunenin kesit alanı
b	Kiriş kesitlerinin eni
c	Tarafsız eksenin yüksekliğinin kirişin orta noktasına uzaklığı
ç	Çimento miktarı
d	Kiriş kesitinin yüksekliği
D	Plastik numune çapı
E	Elastisite modülü
H <sub>2</sub> S	Hidrojen sülfür
I	Atalet moment
I <sub>s</sub>	Noktasal yükleme dayanımı
L	Beton kirişte mesnetler arası mesafe
ΔL	Numunenin boy değişimi
M	Maksimum moment
N	Etki eden maksimum kuvvet
P	Numunenin kırılabilmesi için maksimum yük miktarı
S	Sülfür
s/ç	Su çimento oranı
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
t	Tamir harcı batma süresi
ε	Numunenin birim şekil değişimi
%P	Her bir karışım için eklenen yüzde
γ <sub>c</sub>	Harcın özgül ağırlığı
γ <sub>k</sub>	Kuvars kumunun özgül ağırlığı
σ <sub>b</sub>	Basınç dayanımları
σ <sub>ç</sub>	Betonun çekme dayanımları
σ <sub>e</sub>	Betonun eğilme dayanımları
σ <sub>a</sub>	Aderans dayanımı
σ <sub>k</sub>	Kayma dayanımı

### Kısaltmalar

---

AASHTO	Amerikan devlet otoyollarındaki resmi taşımacılık birlikleri
dk.	Dakika
mm	Milimetre
MPa	Mega pascal

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Beton Kaplamalar Donatılı(a) ve Donatısız(b) Yapım Tipleri (Ağar vd. 1998).....	4
Şekil 1.2 Yol Kaplamalar Yüğü rijit(a) ve Esnek(b) İletim Şekli (De Nicola vd.1994). 6	
Şekil 1.3 Asfalt ve Beton Yolda Çeşitli Hızlarda Sıcaklığa Bağlı Olarak Yakıt Tüketim Değişimi (THBB:2002). ....	11
Şekil 1.4 Yol Yüzeylerine Tekerlekten Etki Eden Kuvvet (Keyu Chen vd.2021).....	12
Şekil 3.1 Kirişin Orta Noktasında Yapılan Eğilme Deneyi.....	43
Şekil 4.1 Tamir Harçlarının Batma (mm)-Zaman (dk.) Grafiğı.....	52
Şekil 4.2 Tamir Harçlarının Penetrasyon Tayini Grafiğı.....	53
Şekil 4.3 Tamir Harçlarının Birim Şekil Değişimi- Zaman Grafiğı .....	54
Şekil 4.4 Tamir Harçlarının Eğilme Dayanım- Zaman Grafiğı.....	54
Şekil 4.5 Tamir Harçlarının Basınç Dayanım - Zaman Grafiğı .....	55
Şekil 4.6 Tamir Harcı 2 Saatlik Kayma Deneyi .....	56
Şekil 4.7 Sülfür Tamir Harçlarının 2 Saatlik Kayma Deneyi.....	56
Şekil 4.8 Tamir Harcı 4 Saatlik Kayma Deneyi .....	57
Şekil 4.9 Sülfür Tamir Harçlarının 4 Saatlik Kayma Deneyi.....	58
Şekil 4.10 Tamir Harcı 24 Saatlik Kayma Deneyi .....	58
Şekil 4.11 Sülfür Tamir Harçlarının 24 Saatlik Kayma Deneyi.....	59
Şekil 4.12 Tamir Harcı 28 Günlük Kayma Deneyi .....	60
Şekil 4.13 Sülfür Tamir Harçlarının 28 Günlük Kayma Deneyi.....	60
Şekil 4.14 Tamir Harcının Aderans Deneyi .....	61
Şekil 4.15 Sülfür Tamir Harçlarının 2 Saatlik Aderans Deneyi.....	62
Şekil 4.16 Sülfür Tamir Harçlarının 4 Saatlik Aderans Deneyi.....	63
Şekil 4.17 Sülfür Tamir Harçlarının 24 Saatlik Aderans Deneyi.....	63
Şekil 4.18 Sülfür Tamir Harçlarının 28 Günlük Aderans Deneyi.....	64
Şekil 4.19 Tamir Harçlarının Noktasal Yükleme Dayanım Deneyi.....	65
Şekil 4.20 Kayma Gerilmesinin Düz Yüzeylerdeki Değişimi .....	66
Şekil 4.21 Kayma Gerilmesinin Düz Yüzeylerdeki Değişimi .....	67
Şekil 4.22 Aderans Gerilmesinin Yüzeylerdeki Değişimi .....	67

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 1.1</b> 1920 (a) ve 1930 (b) Yıllardaki Rijit Üstyapı Çalışmaları (Erdoğan vd.2003).....	2
<b>Resim 1.2</b> Beton Yol Kaplama (a) ve Asfalt Yol Kaplaması (b) Gece Görünümü (THBB:2002).....	8
<b>Resim 1.3</b> Hazır Derz Uygulaması(Garcia V. vd. 2017). ....	19
<b>Resim 1.4</b> Kanallı Frezeleme (Garcia V. vd. 2017). ....	23
<b>Resim 1.5</b> Şerit Yenileme (a) Hazırlık ve (b) Uygulama (Benedetto A. and Pensa S. 2007).....	23
<b>Resim 1.6</b> Makine ile Reaktif Reçine Uygulaması(Benedetto A. and Pensa S. 2007)..	25
<b>Resim 1.7</b> Agrega Uygulaması (Benedetto A. and Pensa S. 2007). ....	25
<b>Resim 1.8</b> Sülfürün Görünümü .....	30
<b>Resim 3.1</b> Priz Süresi İçin Hazırlanan Numuneler (a) Tamir Harcı: (b) Sülfür Harcı... 39	39
<b>Resim 3.2</b> Rötire İçin Hazırlanan Numuneler (a) Tamir Harcı: (b) Sülfür Harcı.....	39
<b>Resim 3.3</b> Eğilme ve Basınç Deneyleri İçin Hazırlanan Numuneler (a) Tamir Harcı: (b) Sülfür Harcı .. . . . . .	39
<b>Resim 3.4</b> Tamir Harçlarının Kayma Deneyleri İçin Hazırlanan Numuneler.....	40
<b>Resim 3.5</b> Tamir Harçlarının Yapışma Deneyleri İçin Hazırlanan Numuneler.....	40
<b>Resim 3.6</b> Tamir Harçlarının Priz Süresi Tayini Deneyi .....	41
<b>Resim 3.7</b> Tamir Harçlarının Penetrasyon Deneyi .....	42
<b>Resim 3.8</b> Tamir Harçlarının Rötire Deneyi .....	42
<b>Resim 3.9</b> Tamir Harçlarının Eğilme Dayanımı Deneyi.....	44
<b>Resim 3.10</b> Tamir Harçları Basınç Dayanımı Deneyi(a) ve Numune Görünümü(b) ....	47
<b>Resim 3.11</b> Tamir Harçları Kayma Gerilmesi Deneyi.....	48
<b>Resim 3.12</b> Tamir Harçları Aderans Gerilmesi Deneyi .....	49
<b>Resim 3.13</b> Tamir Harçlarının Noktasal Yükleme Deneyi .....	50
<b>Resim 3.14</b> Sürtünme (Kayma) Direnci Deneyi.....	51

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1</b> Beton ve Asfalt Kaplamalı Yollarda Ortalama Yakıt Tasarrufu (Baladi A. vd. 2017).....	7
<b>Çizelge 3.1</b> Hızlı Katılaşılan Tamir Harcının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	37
<b>Çizelge 3.2</b> Sülfür Harcı Karışım Oranı .....	38
<b>Çizelge 3.3</b> Kayma direncinin kayma potansiyeline göre yorumlanması (Bowman, 2003; Carpenter vd. 2006).....	51
<b>Çizelge 3.4</b> Kayma potansiyelinin sınıflandırılması .....	51
<b>Çizelge 4.1</b> Kayma Potansiyeli Sonuçları .....	66
<b>Çizelge 4.2</b> Kayma Potansiyelinin Sınıflandırılması Sonuçları .....	66

## 1.GİRİŞ

Ülkemiz, ulaşımda ve taşımacılık yönteminde tercih edilen yol ağı genel olarak karayoludur. Karayollarının yeni yapım aşamasında ve üst yapı yenileme aşamasında yolun üstyapısının seçim faktörü önem arz etmektedir. Seçim yapılırken üst yapıların teknik tip özellik ve ekonomisi açısından ülke koşulları ve bölge özellikleri de göz önünde bulundurularak projelendirilmelidir.

Karayollarında üstlenilecek trafiğin araç tipi, hacim yoğunluğu değerleri gibi unsurlar dikkate alınarak uygun iklim şartlarında ve bölgenin gereklilik durumlarında göz önünde bulundurularak projelendirme çalışmaları yapılır. Trafikte gelen yükleri taban zeminine aktarmak için yapılan tabakalı yapıya üstyapı denilmektedir. Üstyapılar üç şekildedir. Bunlar; rijit üstyapı (beton yol), esnek üstyapı (asfalt yol) ve kompozit üstyapı şeklindedir(Minh vd. 2020).

Rijit kaplamalı yollar en iyi mühendislik hizmeti veren karayolları ağında kullanılan malzemenin cinsi ve yapım aşamasındaki güvenlik etkenleri göz önünde bulundurulursa trafik yoğunluğu fazla olan yollarda en iyi hizmet verecek yol üst yapı cinsidir (Ghafoori ve Sukondor 1995).

Beton yollarda dikkat edilmesi gereken özellik diğer üstyapı kaplamalarına kıyasla yüzey yapısının iyi olmasıdır. Yollar çevre koşullarına maruz kalmaktadır. Bu maruz kalmaları minimize etmek için durabilite yani dayanıklılık son derece önemlidir. Beton yolların tasarımı bu özellikler dikkate alınarak yapılmaktadır. (Karpuz vd. 2008).

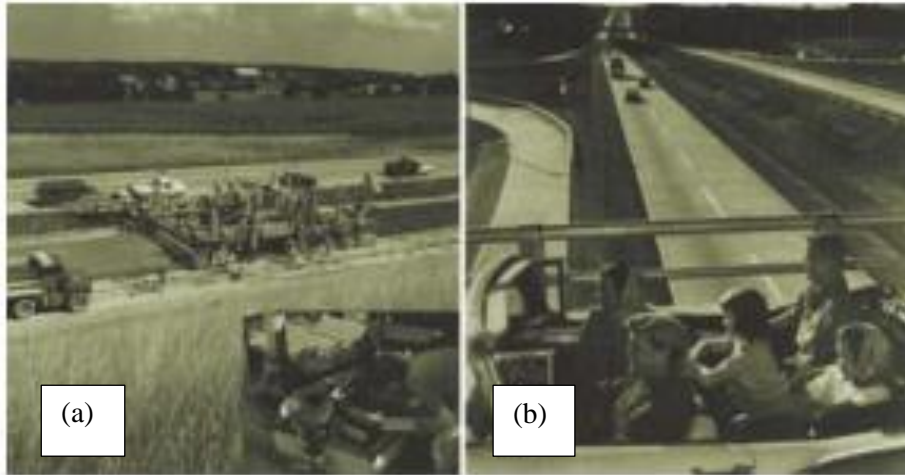
Yol kaplaması sınıfına giren betonun görevi, trafikte maruz kalınan şiddetli olarak yüklere maruz kalarak betonda oluşacak bozulmaları engellemektedir. Bu durum ise betonda rijit olmasından kaynaklanmaktadır. Beton kaplamadaki davranış durumu, dökülen beton tabakalarının özellikleri ile birlikte kaplama altındaki serilen malzemenin cinsine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedene bağlı olarak projelendirilme aşamasında betondaki davranış özelliklerini etkileyen, zemin yüzeyi, temel ve alt temel malzemesinde, betonda oluşturacak agregada, çimento ve betonarme malzemeleri gibi fiziksel özelliklerinden iyi bir şekilde yararlanılması gerekmektedir (Ağar vd. 1998).



Betonu oluşturan bileşenler mineral agrega, çimento, su, beton kıvam arttıran maddeleri ve prizlere etki eden kimyasal katkılarıdır. Bu maddelere ilave olarak betonun bakımı için gereken malzemeler ve derz oluşması için dolgu malzemeleri de eklenebilir. Belirlenen beton bileşenlerinde amaçlanacak özelliklerin elde edilebilmesi için katkısı önem arz etmektedir. Bu yüzden tüm bileşen için karışım yüzdeler göz önünde bulundurulmalı, ilgili kurallar ve sınırlar dahilinde kullanım sırasındaki koşulların belirtilmesi gerekli olmaktadır (Erdoğan vd. 2003).

### 1.1 Beton Yolun Tarihçesi

Romalılar ilk yol yapımına M.Ö. I. yüzyılda puzzolanik bağlayıcılar ile birbirine taşları kilit şeklinde bağlayarak yapmışlardır. Çok eskiye uygulama yöntemi olan beton yollun konusu 19. yüzyılda gelişme göstermektedir. İlk olarak yol betonun ABD’de inşa edilmiştir. Ohio’da 1891 yılında bir sokakta yapılan kaplama en eski beton yol kaplaması olarak bilinmektedir. 1920’li yıllarda çok fazla hesabı yapılmayan bu yollardan sonra tasarım ilkelerine dayanan beton yollar yapılmıştır (Resim 1.1). Daha sonra beton yollarda alt zemin oluşacak problemler baş göstermiş ve beton yollarda alt zeminler inşa edilmiştir(Minh vd. 2020).



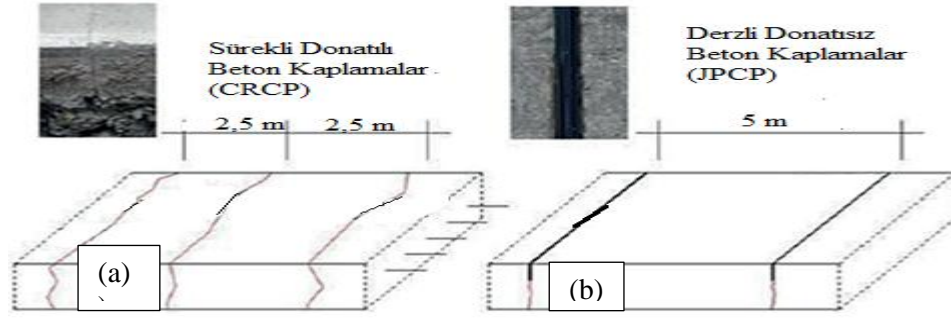
**Resim 1.1** 1920(a) ve 1930(b)‘lu yıllarda rijit üst yapı çalışmaları(Erdoğan vd. 2003).

Beton yollar endüstri dönemine 1933 yılında tam olarak girmiştir. Almanya’da ilk beton yol çalışmaları işsizliği azaltmak için ve askerlerin güvenliği için kullanmak üzere yapılmıştır.

Deformasyona uğramayan kalıp sistemleri ve beton santralleri sayesinde kaliteleri garanti altına alınmaya başlatılmıştır. Beton yolların yapımı önem kazanmıştır. ABD’de 60 yıl önce beton yol çalışmaları yapılmıştır. ABD’de başlayan bu çalışmalar, bütün Avrupa ülkeleri dahil olmak üzere Dünya çapında da gerçekleşmiştir. Beton yol teknolojisinde yaşanan teknolojik gelişmelere paralel olarak uygulanan yöntemler aynı şekilde beton yollarda da uygulanmaktadır. Buda beton yolların asfalt yollara kıyasla daha iyi bir alternatif sunduğu görülmüştür (Hafezzadeh vd. 2021).

## **1.2 Beton Yol ve Özellikleri**

Yüksek eğilme direncin sahip olan beton yolun ve Portland çimentosunun yapılmış beton plak tabakaları yardımıyla yüklerini tabanının yüzeyine ileten üst yapı çeşididir. Rijit üstyapılar oluşmasında taban zeminleri üzerine inşa edilen beton plakalar olarak yapılır. Sürekli donatı elemanının kullanılmadığı beton yollarda yapılarında boyuna ve enine genişleme derzleri bulundurulur (Şekil 1.1). Şişme, büzülme, don, pompaj, etkisini azaltmak için ise beton kaplama ile tesviye zemini arasında kaplama altı tabakası yapılmaktadır. Beton plaktaki elastisite modülü taban zeminindeki elastisite modülünden çok büyüktür. Bu yüzden beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş gibi çalışır. Trafik yüklerini asfalt üstyapıya göre daha geniş yüzeye yayarak taban zeminine yüzeyine iletir. Rijit beton plaklar, taban zemini ile sürekli birlikte hareket ettiği sürece taşıyıcı eleman vazifesi görür. Taban zemini herhangi bir nedenle oturursa, taban zemininin deformasyonuna uyamayan rijit beton plak, kiriş gibi çalışma özelliği gösterir. Betonun düşük olan çekme basıncının aşılması durumunda kaplama kırılır. Tek veya iki tabaka olarak dökülen bir üstyapı tipi meydana gelir. Uygun görülmesi anında kaplama tabakalarında granüler malzemelerde kullanılabilir. Yol kaplaması olan beton yolun görevi, trafikte oluşacak şiddetli oluşacak birim yükleri tabana zeminine yansıtarak ve böylece tabanın deforme olmasını engellemektir. Beton, çekme dayanım kuvveti düşük olan gerilmeler ile deformasyon bağlantıları arasında sabit olmayan bir ilişki vardır. (Ağar vd. 1998).



Şekil 1.1 Beton kaplamalar donatılı(a) ve donatısız(b) yapımları (Ağar vd. 1998).

## 1.2.1 Beton Yolun Üstün Özellikleri

### 1.2.1.1 Beton Yolun Yapısal Ömrü

Beton kaplamalı yollardaki en önemli avantaj uzun ömürlü yapılar olması ve üstün dayanıklı olmalarıdır. Kaplamanın hizmet ömrü mesafesi almış olduğu kalitesinin kıyaslanarak bakımı puanı ile yolların yıllar geçtikçe bozulma hız durumları belirlenmektedir. Buna göre asfalt yol 7 yılda %80 performansa yaklaşırken, beton yol aynı performans seviyesine 13 yıl da gelebilmektedir. Diğer bir sonuç ise, asfalttaki tamir kaplamasındaki bozulma hız durumunun yeni asfaltın da çok yüksek durumda olduğu, tamir kaplamasındaki ömrün 7 yılda %70 seviyesine indiği ve 20 yılda tam olarak son bulduğu görülmüştür. Beton kaplamalardaki aşınma miktarı seviyesi normal dayanımlı betonda kuru şekilde esnek kaplamanın %60'ı, ıslak zeminde ise 1/3 'ü kadar olmuştur. Beton ve aşınma dayanımları ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Her yıl asfalt yollardaki bakım %20 seviyesinde yapılmaktadır (Arıoğlu ve Köylüoğlu 1996).

ABD'deki Washington da yapılan performans otoyol üzerinde değerlendirilmekte, beton kaplamanın servis ömrünün sürdüğü hizmetin kalite standartları kıyaslanarak puanlanmıştır. Buna göre, asfalt yoldaki performans seviyesi %20 seviyesini 7 yıl gibi bir sürede kayıp ederken beton yollarda bu seviye 13 yıl sürmektedir (THBB 2002).

### 1.2.1.2 Beton Yolun Ekonomik Durumu

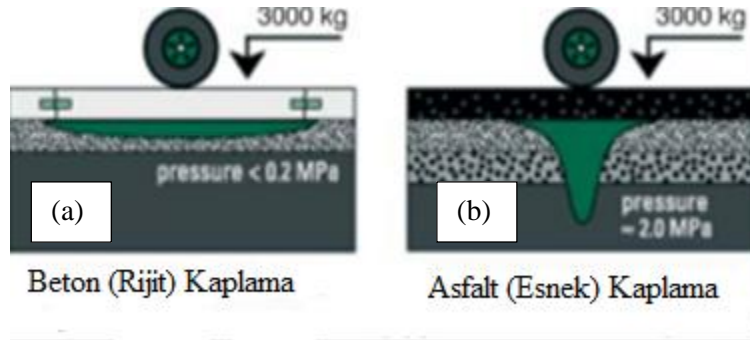
Beton yolların asfalt kaplamalı yol üst yapısı kıyaslayacak olursak yapımları maliyeti,

bilinenin aksine sadece çok sağlam zemin yüzeylerine ve çok az trafik hacim yoğunlukları ile birlikte bulunduğu şartlar altında yüksek seviyelerde olduğu ortaya çıkıyor. Bakım ve onarım için yapılan harcamalar dikkate alındığı zaman ekonomik açıdan beton yolun yapılmak istendiği görülmektedir. Ülkemizde beton yollardaki trafiğin yarısına yakını ağır taşıt trafiğine maruz kaldığı düşünülürse, beton yolun yapımını hem ekonomik açıdan hem de bir yapılması gerekli kılındığından tercih edilir. Son birkaç yılda, bu konu ile ilgili çeşitli Hayat Döngüsü Maliyet Değerlendirmesi (LCCA) çalışmaları sürdürülmektedir. Bu çalışmalarındaki rijit ve esnek kaplamalı yollar kıyaslanarak maliyet farklarını oluşturmaktadır. Örneğin son inşa edilen bir yapıda beton yolların esnek kaplamalı yollara göre, onarım ve yapım çalışmaları göz önünde bulundurularak, %13 seviyesinden %28 seviyesine çıktığı bir maliyetin düştüğü görülmektedir. Sürekli demirli beton ile yapılan yollar asfalt yollara göre aynı fiyatta olmaktadır. Bu çalışmada gerçek ve historik yapım ve onarım verileri kullanılarak yapılmıştır. Bunların yanı sıra bu işin sosyo-ekonomik boyutu da bulunmaktadır.. Beton yol yapım çalışmasında daha fazla kişi olması gerekmektedir. Maliyet hesapları yapılırken bunlar göz önünde bulundurulmasından dolayı rijit yolların daha ekonomik çıktığı görülmektedir. Beton yollarda daha fazla personel çalıştırılarak personel istihdamı sağlanmış olacaktır(Minh vd. 2020).

### **1.2.1.3 Beton Yolun Dayanıklılığı**

Beton yol kaplama rijit özelliktedir. Elastik bir zemin yüzeyinde bulunan beton kiriş gibi çalışmaktadır ve rijit yapı gelen yükü aşağılara ileterek çalışmaktadır. Taban zemini beton yolda taşıma gücüne bağlı değildir. Bu sebeple beton yollar zeminin zayıf tabanlara yükü esnek üstyapılara kıyasla daha iyi taşıma gücü sağlamaktadır. Çek Cumhuriyeti, Avusturya, Hollanda, ABD, İngiltere gibi birçok ülkedeki teorik çalışmalardaki sonuçlar bunları ortaya çıkarmıştır. Dayanma gücüne göre her türlü etkiye karşı koyacak biçimde hazırlanabilir. Asfalt kaplamalar ise, yüzey üzerlerine gelen trafik yüklerini alt tabakaya iletirler (Şekil 1.2). Kaplama yüzeyinden alt yüzeylere iletilen yükler her bir tabaka iletiminde zamanla yayılarak ve daha geniş bir yüzey alanlarına iletilmektedir. Bütün tabakalar kullanılan malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri tabakalarda oluşacak gerilme yükü değerlerine aşağı seviyelere

ileterek paralellik göstermektedir. Taban zemini zayıf olan değişik gerilme kuvvetlerine maruz kalıyorsa, asfalt kaplama da deformasyona uğrayan profili izlemekte ve yolun en üst düzeyindeki seviyesinde çeşitli oturmalar ve ondülasyonlar görülmektedir. Bunun sonucunda ağır trafik yükleri altında bulunan yollarda, beton yol uygulamaları dayanıklılık sebebiyle tercih edilmektedir.



Şekil 1.2 Yol Kaplamalar Yükü rijit(a) ve esnek(b) iletim şekli(De Nicola vd.1994).

Betonun dayanımında ilkbaharın önemi çok fazladır. Basitçe olarak betonun tabakalarının bahar aylarında donmadan ve çözülmeden olumsuz etki yaratmaz. AASHTO araştırmasına bakılarak toplam esnek yolların %61 oranında Kanada ülkesinde bahar aylarında deformasyona maruz kalmaktadır. Bu oran beton yollarda yalnızca %5.5'tir.

#### 1.2.1.4 Beton Yolun Durma Mesafesi

Beton kaplamadaki yüzey pürüzlülüğü, kullanıcılar tarafından sağlıklı sürme olayı göz önüne bulundurulduğunda önem kazanmaktadır. Tekerlek izleri meydana getiren beton kaplamalarda, yağış olduğu zaman oluşan izlerin içerisindeki su birikmesi sonucu su taban yüzey seviyesinde bulunabilir. Soğuk hava koşullarında ise oluşan tekerlek izleri içerisine yerleşen sular donmakta ve yolun güvenli olması azaltmaktadır.

Illinois Üniversitesi tarafından yapılan "Beton yol yüzeylerindeki oyulmalar ve tekerlek izinin sürüş güvenliğindeki etkisi" isimli çalışmada, beton yol yüzeyindeki durma mesafesinin, beton asfalt yüzeyindeki durma mesafesinden daha kısa sürede olduğunu görülmektedir. Taban zeminine su geçmesi göz önüne alındığı zaman beton asfalt yüzeyindeki durma mesafe miktarı daha fazla azalacağı görülmüştür (Ağar vd. 1998).

Beton yol kaplamalarının kayma sürtünme dirençleri yüksektir. Beton yollarda oluşan yol boyunca sürtünme katsayısı 0.70 ve yolun enine sürtünme katsayısı ise 0.65 seviyesindedir. Islak zeminler olduğu zaman sürtünme katsayısındaki azalma miktarı, diğer bağlayıcılar ile inşa edilen kaplamalara göre daha düşük olmaktadır. Beton yol yüzeyleri daha düzgün olduğu zaman yağış suları yol yüzeyinden sabit bir şekilde akar ve yolun yüzeyi çabuk kurumaktadır.

Sürücülerin yoldaki güvenliği düşünülecek olursa, rijit yolun yapısal durumu daha fazla önem kazanmaktadır. Asfalt yüzeylerinde oluşacak tümsek ve çukurlu yüzeyler yağışlı hava koşullarında fazla su bulundurur. Böylece su zemin kayması tehlikesi gibi büyük tehlike potansiyeli oluşturmaktadır. Sonuç olarak, yüzeylerde oluşan sular soğuk hava koşullarında donma sebep olmaktadır (Ağar vd.1998).

#### **1.2.1.5 Beton Yolun Akaryakıt Tasarruf Durumu**

Ağır taşıtlar asfalt yol kaplamalarda beton yol kaplamalarına kıyasla daha çok bozulmaya uğramaktadırlar. Kaplama yüzeylerindeki bu deformasyonlar, taşıtlarda oluşan enerjinin bir miktarını emmektedir. Esnek kaplamalı yollarda yol sürüşü için daha çok enerji miktarına bu sebeple daha çok miktarda yakıt tüketimi miktarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu farklı neden ilk Dr. John P. Zaniwski (1982) tarafından ortaya atılmıştır. 1982 yılında dünyada yapılan yollarda maliyet analizi çalışması araştırılmıştır. Yakıt maliyetleri(Çizelge 1.1) sadece bunlardan bir tanesidir ve bu çalışmalarda rijit kaplamalı yollar esnek kaplamalı yollara kıyasla % 20 daha az yakıttan tasarruf sağlandığı görülmüştür(Yang vd.2000). Başka yapılan bir çalışmada da % 17.5 ve % 11 gibi rakamlar seviyesine çıkmıştır(Baladi vd. 2017).

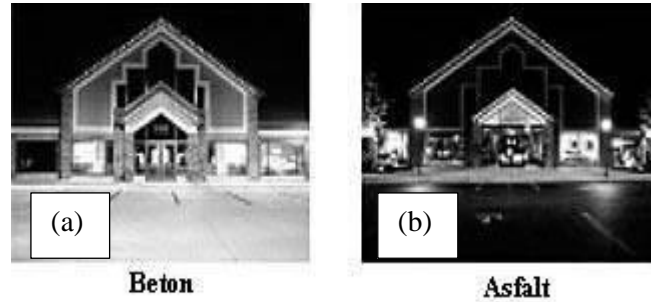
**Çizelge 1.1** Beton ve Asfalt Kaplamalı Yollarda Ortalama Yakıt Tasarrufu(Baladi vd. 2017).

<b>Kaynak</b>	<b>Taşıt tipi</b>	<b>Yakıt Tasarrufu</b>
Detroit Diesel Spec Manager TM Programı	Ağır Taşıt Durumu	%8-17,5
Dr. Zaniwski Çalışması	Ağır Taşıt Durumu	%20'den fazla
NRC	Ağır Taşıt Durumu	Ortalama %11

Beton üstyapılardaki sürtünme katsayıları miktarı dirençleri düşüktür. Araçların yıpranma miktarı azalır, mekanik ömürleri artmaktadır. Motordan tekerlere aktarılan kuvvetler düzenli bir biçimde yağ ve yakıt masrafını da azaltmaktadır. Tekerlek bandajı ve lastik aşınması az olmaktadır.

#### 1.2.1.6 Beton Yolun Gece Görünümü

Beton yapısal olarak açık renkli görünümündedir. Araçların oluşturduğu ve dışarıdan gelen yansıtma ışıklarını asfaltın kaplama yüzeylerine göre az miktarda emmektedir. Böylece gece görüşü miktarı da artmaktadır Zemin nemli olduğu halde bile tehlikeli oluşturacak farların ışık yansımalarına sebep olmamaktadır. Bu olaylar trafiğin güvenlik faktörü açısından son derece önemlidir. Yollarda şerit çizgilerine gerek duyulmaz (Resim 1.2).



**Resim 1.2** Beton yol kaplama (a) ve asfalt yol kaplaması (b) gece görünümü (THBB 2002).

#### 1.2.1.7 Beton Yolun Hammaddesi

Beton yollarda kullanılan çimentolar hammadde olarak tamamen yerlidir. Ayrıca çimento fabrikalarındaki üretimlerde %100'e yakını yerli kaynaklarla gerçekleştirilebilmektedirler. Petrolün olduğu veya petrol ürünlerinin temini durumlarda herhangi bir sorunları olmayan ülkelerde asfalt kaplamalı yollar ekonomik olmaktadır. Çimento üretimi miktarı ileri düzeyde bulunan ülkelerde, beton yol yapımının daha fazla olduğu görülmektedir. Petrol damıtan rafinelerin sayısının az olduğu ülkeler ise asfalt kaplamaların bağlayıcı malzeme olarak asfaltın çeşitli tesis veya santrallere

taşıması veya nakledilmesi, ulaşım maliyetini de yüksek miktarda artırmaktadır. Çimento fabrikası sayısının yüksek ve dağılımının da yaygın olduğu ülkelerde taşıma maliyeti ve ulaşım miktarı büyük oranda azalmaktadır( Zhang and Elaksher 2012).

### **1.2.1.8 Beton Yolun Uygulama Koşulları**

Türkiye'nin her bölgesinde beton dökmek için inşaat mevsimi daha uzun sürmektedir. Asfalta göre daha ıslak zeminde bile döküm yapılabilir. Asfalt kaplamalarda taban zeminindeki nem oranının en çok %2 seviyesinde bulunması gerekir. Bunun üzerindeki bir değer olduğu zaman nem oranına sahip taban zeminlerinde, asfalt uygulaması sakıncalı bir durum olup, üst yapı özelliklerinin de kaplama ömrünü büyük ölçüde azaltmaktadır. Beton yollarda ise böyle bir sorun yoktur ve hatta iyi bir aderans için taban zemininde hafif nemlilik, hatta ıslaklık olmalıdır. Asfalt kaplamalar belirli bir sıcaklıkta (125°C) serilmesi ve silindirle sıkıştırılması gereklidir. Bu sıcaklık değerindeki düşmelerde, sıkıştırma iyi bir randıman vermemekte ve belirli bir sıcaklığın altında asfalt, yumuşaklığını kaybetmekte ve kaplamadaki boşluk yüzdesi artmaktadır. Sonuç olarak da, nitelik yönünden istenen düzeyin altında bir kaplama yapılmasına yol açmaktadır. Beton kaplamalı yollarda ise zemin vibratörlerle sıkıştırılmakta olup sıcaklık kaybı gibi bir sorun söz konusu olmaktadır. Ülkemizde hava şartlarından dolayı olarak asfalt kaplamalarına imkan verilen süre çok kısıtlıdır. Bu durumda uygulama için çok sayıda ekipmana ihtiyaç duyulmakta olmaktadır. Ayrıca istihdam edilmekte olan işgücü de mevsimsel olarak kısıtlanmaktadır (Vittorio vd. 2014).

### **1.2.1.9 Beton Yolun Çevresel Etkisi**

Beton yollardaki akaryakıt tasarrufu asfalt yollara göre %20 'ye varan miktarda sağlanmaktadır. Beton yolların akaryakıtta ki bu tasarrufları petrol ithalatçısı olan Türkiye için bir tasarruf kaynağıdır. Beton yollar daha az bakıma gerek duyacağından bakım nedeninden dolayı oluşacak trafik sıkışıklıklarından doğan akaryakıt sarfiyatını azaltacaktır. Asfalt kaplamalardaki yapım ve uygulama aşamalarında, ısıtma ve kurutma işlemlerinin bulunması sebebiyle çevresel kirliliğine neden olmaktadır. Alt temel, temel ve asfalt kaplamadan oluşan esnek üst yapıdaki toplam kalınlık beton plak ve altında



kum tabakasından oluşan rijit üstyapının toplam kalınlığına göre çok daha fazla olmaktadır. Bütün tabakalarda oluşan ana malzeme agregadır. Sonuç olarak eşdeğer niteliklere sahip olsa bile esnek üst yapı kaplaması için gerekecek agrega miktarı rijit üst yapıya kaplamasına göre çok daha fazla olmaktadır. Agreganın kalitesi yönünden asfalt kaplamalarda kullanılan agreganın çok kaliteli olması zorunludur. Asfalt kaplamalara göre beton yollar daha düşük kalitedeki agregaların kullanımına izin vermektedir. Kullanılan malzeme miktarı çevresel etkiye göre ne kadar fazlaysa verilen zarar o kadar çok olmaktadır. Asfalt yollarda bağlayıcı olarak kullanılan asfalt malzemesi, bünyesinde çeşitli uçucu maddeler içermektedir. Bu uçucu maddelerin zamanla kaybolması durumunda kaplamada yaşlanma adı verilen bir tür gevrekleşme ve eskime olayı görülmektedir. Bu yaşlanma ile birlikte kaplama niteliklerinin ve özelliklerinin büyük bir kısmını kaybeden asfalt kaplamalar ayrıca benzin, motorin, fueloil, yağ, tuz gibi maddelerin yol üzerine dökülmesi ile de kimyasal yapılarında değişimler görülmektedir. Kaplamalardaki olumsuz yönde değişime yol açan bu durum, çok defa yol güvenliği açısından da büyük tehlikelere yol açmaktadır.. Beton kaplamalı yollarda ise kullanılan bağlayıcı madde olan çimento herhangi bir uçucu madde içermemektedir. Bu sebeple sözü edilen yaşlanma olayı beton yol kaplaması için söz konusu olmamaktadır. Ayrıca sözü edilen eritici özelliği bulunan kimyasal maddelerin dökülmesi durumunda ise herhangi bir değişim olmamaktadır. Asfalt kaplamalı yollar sıcak hava koşullarında hem araçlarda hem de çevrede iz bırakmaktadır (Hafezzadeh vd. 2021).

#### **1.2.1.10 Beton Yolun Yatırım Maliyeti**

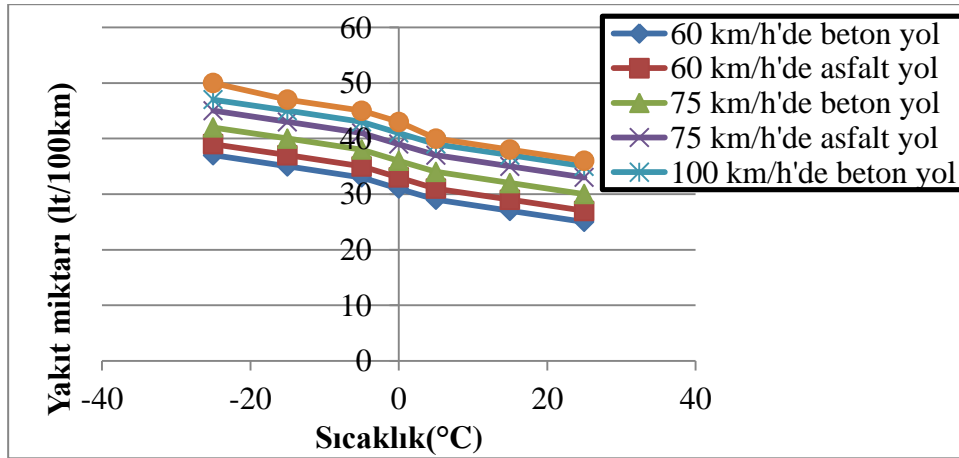
Beton üretimi asfalt üretimine göre daha uygun maliyetlerde plantlerde çıkarılmaktadır. Asfalt kaplamalar enerji harcaması beton yollara göre daha fazladır. Enerji sorununun olduğu durumlarda beton yol uygulanması yapmak daha uygun olmaktadır. Ayrıca yapım aşaması durumundaki ilerleme asfalt kaplamalarda plant kapasitesine, plant ile döküm yeri arasındaki uzaklığa, döküm ve sıkıştırmadaki çabukluğa bağlı olmaktadır. Beton yoldaki durum ise, transmiksörlerin kapasitesine ve sayısına, imalat yeri ile döküm yeri arasındaki uzaklığa, döküm sırasındaki vibrasyon kullanılmasına ve perdahlama işlerinin çabukluğuna bağlı olarak değişmektedir. Burada ilerleme hızı açısından asfalt kaplamalar meydana gelecek ısı kaybının yaratacağı sorunlardan dolayı

daha çabuk uygulanmak zorunluluğu vardır.

Genel olarak beton yol yapımında kullanılan iki yöntem vardır. Sabit kalıp kullanılan yöntem ve kayar kalıp kullanılan yöntem. Sabit kalıpla beton yol inşası ahşap veya çelik kalıpların yol boyunca kurulması ile olur. Makinalar bu kalıplar arasında döküm yapmaktadır.. Bazı makinalar ise kalıplar üstünde ileri geri hareket sağlayarak çalışır. Masterlama genelde el aletleri kullanılarak yapılır. Bu yöntem kayar kalıba göre daha fazla işçi ile yapılmaktadır. Bu yüzden ve verimliliği azalttığı için geniş yol alanlarında tercih edilmez. Kayar kalıp kullanılan yöntemde ise tahta veya çelik kalıba ihtiyaç bulunmamaktadır. Kayar kalıplı döküm makinaları düvelleme ve bitirme işlerini de yapmaktadır (Sehim vd. 2021).

### 1.2.1.11 Beton Yolun Enerji Tasarrufu

Ağır tonajlı taşıtlar, asfalt kaplamalı yollarda beton kaplamalı yollara kıyasla daha fazla deformasyona maruz kalmaktadır. Kaplamada oluşan deformasyon nedeniyle taşıt hareket halinde iken enerjinin bir kısmını kayıp etmektedir. Bundan dolayı, asfalt kaplamalarda taşıtın hareketinin sağlanması için daha fazla enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Beton kaplamalarda, yolda deformasyon olayı olmadığı için enerji kullanımı azalmaktadır. Şekil 1.3.'de asfalt ve beton yolda çeşitli hızlarda sıcaklığa bağlı olarak yakıt tüketimi değişimi verilmiştir.



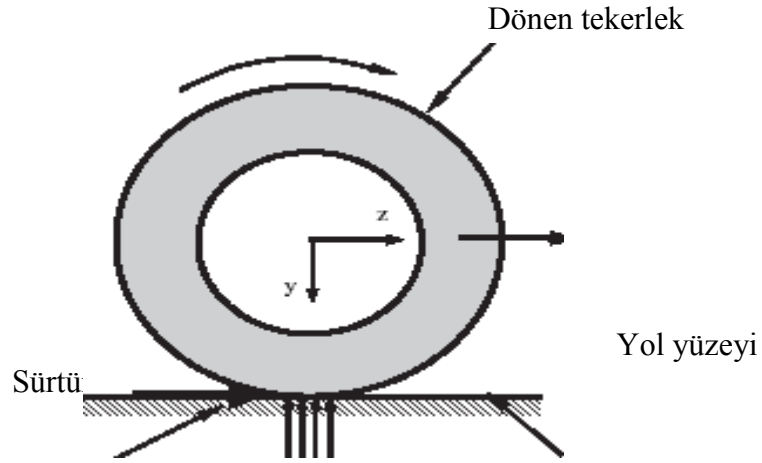
Şekil 1.3 Asfalt ve beton yolda çeşitli hızlarda sıcaklığa bağlı olarak yakıt tüketimi değişimi (THBB 2002).

Beton kaplamaların “Tekerlek Sürtünme Katsayısı”, dolayısıyla tekerleğin dönme hareketine karşı dirençleri azdır. Motordan tekerleklere aktarılan kuvvet düzenli ve az olacağından yağ ve yakıt masrafı miktarını azaltmaktadır. Bandaj ve lastik aşınması da az olmaktadır.

### 1.3 Beton Yol Üstyapısı Seçimine Etki Eden Faktörler

#### 1.3.1 Trafik

Karayolunda taşıtların ağırlıkları ve hareketlerinden kaynaklanan düşey ve yatay kuvvetlerin üzerinde dingil sayılarına göre değişen büyüklüklerde dingil ve tekerlek bandajları yardımıyla üst yapılara iletilmesidir (Şekil 1.4). Üstyapı tabakalarına bağlı olarak gerilme ve deformasyonların şiddeti o yolun üzerinden geçen taşıtın ağırlığına, tekerlek özelliklerine ve hareket ivmesine göre değişmektedir. Beton yolun hizmet ömrü ise yüklerin tekrerrüyle bağlantılıdır (Keyu vd. 2021).



Şekil 1.4 Yol yüzeylerine tekerlekten etki eden kuvvet (Keyu vd. 2021).

#### 1.3.2 Bakım Maliyeti

Trafik ve iklim koşullarına bağlı olarak yolun bozulması iki önemli etkene bağlıdır. Bakım ve onarım esnasında bakımın tipleri önemlidir. Yollardaki bozukluk derecesi ve

çeşitleri, yapılan işlerin kontrolleri, bakım yapılacak yolların hizmet süreleri ve bakım çalışmalarından dolayı ayrılacak süre gibi değişken hususlar önemlidir.

Rijit üstyapıların projelendirilmesi 30–40 yıllık hizmet süreleri olarak belirlenir. Beton yollarda yüzeylerin değişim ve takviye işlerine görülmemektedir. Projelendirme ve yapım işlerinin iyi biçimde olması halinde, beton kaplı yollar tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakıma gerek duymaktadırlar. Esnek üstyapılarda genellikle ilk 5 yıldan sonra küçük onarmalar ve yüzey dolguları gerekmektedir. 10 yıl sonrasına bakılarak yol yüzeyinin yenilenmesi ve pürüzlendirilme işlemi büyük ihtimalle yapılacaktır (Garcia vd. 2017).

### **1.3.3 Yolu Kullananların Harcamaları**

Lastik aşınması, yağ tüketimi gibi işletme masrafları her iki yol tipinde de eşit miktarda bulunmaktadır. Yakıt tüketimi beton yollarda daha görülmektedir. Elastisitesinin fazla olmaması sebebiyle yük altında çok az deformasyondan dolayı tekerlek yüzeyde daha kolay bir şekilde ilerler.

### **1.3.4 Finansman Kaynakları**

Üstyapı tipi seçimi Yapım şeklinin finanse edilme şekline göre değişim göstermektedir. Sadece yapım malzemelerinin finanse edilmesi durumlarda rijit üstyapılar tercih edilmektedir. Bunun tersin olarak artan trafiğe cevap verebilmek için artarda tabakaların yapılması gibi kademeli inşaat stratejisi gerektiren, sınırlı yatırım kaynakları ve yüksek iskonto oranı gibi durumlarda esnek üstyapıları kullanmak daha avantajlı olmaktadır(URL-1).

Beton yol kaplamaları ekonomik durumu az olan ülkeler için, uygunluk bakımından daha fazla tercih edilmektedir. Kendisini makul sürede amorti edebilmek için birim yol boyu başına başlangıç yatırımı diğer tür kaplamalara kıyasla bir miktar daha fazladır. Yapılan araştırmalara göre, uzun ömürlü olabilmesi için usulüne doğru inşa edildiği zaman bitümlü karışım üstyapılara kıyasla 5~7 kat artmaktadır.

Teknik şartlara göre seçim yapılırsa, taşıma gücü zayıf taban zemini, büyük hacimli trafikte yüksek artış oranı, yüksek ağır taşıt miktarı uygun olmaktadır. Sıcaklık artış oranında ise takviye çalışmalarında esnek üstyapılar daha uygun sayılmaktadır. Ekonomik parametrelere göre üstyapımı seçimi yapılırsa, bitümlü malzeme azlığı, yüksek kaliteli agrega eksikliği, hidrolik bağlayıcı bulunması ve enerji azlığı halinde rijit üstyapılar tercih edilmektedir. Ülkedeki iskonto oranının yüksek olması yol yatırım kaynaklarının sınırlı olması halinde rijit üst yapılar tercih edilmektedir.

### **1.3.5 Güvenlik ve Konfor**

Her iki kaplama türünde güvenli ve konforlu bir seyir imkânı sağlamak için gerekli kıstaslar gözetilerek yapılmaktadır. Beton yollar açık renkleri ile sürücüyü yormaz gece kolay görülürler. Ancak güneşli havalarda yansıma yaparak gözlerde kamaşma yapmaktadırlar. Bitümlü kaplamaların ise gece görüş mesafeleri daha azdır. Asfalt kaplamalarda oluşabilen oluklaşma ve yığılma-dalgalanmalardaki su gölleşerek seyir güvenliğini tehlikeye atabilirler. Sıcak havalarda bitümün yol yüzeye seviyesine çıkması da tehlike oluşturmaktadır (Karpuz 2008).

Beton yol yapım şantiyelerinde genellikle standartları eşit olan uygun kaliteli betonların kullanılması ön görülmektedir. Bu sebepten ötürü beton yol inşaatlarında hazır betonun kullanımı zorunlu kılınmıştır. Aynı şekilde şantiyelerin büyük olması, gereksinimlerinin sürekli olması, üretim şartlarındaki farklılıklardan dolayı hazır beton kullanılması uygun görülmektedir. Hazır betonların kullanıldığı zaman betonların kaliteli ve teknik özellikleri açısından süreklilik izlenebilmektedir (THBB 2002).

## **1.4 Beton Yol Hasarları ve Onarımları**

### **1.4.1 Beton Yolda Oluşacak Hasarlar**

Beton yolların esnek kaplamalı yollara göre üstünlükleri kıyaslandığı zaman çok az düzeyde bozulma oluşması, fazla bakıma onarım gerek duyulmaması ve çok uzun ömürlü hizmet süreleri olmasıdır. Betondaki özellikler yan etkiler oluşturarak beton

kaplamalı yollar üzerinde bazı bozulma görülebilmelerine ihtimal vermektedir. Bu oluşan betondaki bozulma, çatlakların oluşum şekli, çukurlar oluşması, plakların oturması, dilatasyon derzindeki bozulma tipleri, alt yapı tesislerinin inşaatı bozulmaları ve yüzeydeki pürüzlüğün bozulması şeklinde meydana gelmektedir. Beton plaklardaki çatlaklar beton yollarda diğer bozulma türlerine kıyasla daha fazla görülmektedir (Akkaya ve Taşdemir 2007).

#### **1.4.1.1 Plak Kalınlığının Yetersizliği**

Projelendirme aşamaları göz önünde tutulan parametrelere bağlı olarak saptanmış olan plak kalınlığı, yolun taşıdığı trafik yüküne karşı yetersiz kalmışsa, öngörülen gerilmelere, bu plağın yeteri miktarda beklenen süreci gösteremeyecektir. Bu da ilk olarak plağın, bütün kalınlık boyunca kırılabileceği çatlaklar şeklinde ortaya çıkmaktadır (Zhang and Elaksher 2012).

#### **1.4.1.2 Uygun Olmayan Derz Aralıkları**

Derz aralıklarının yapılması için tam olarak bir hesap şekli bulunmamaktadır. Derz aralıkları deney yapılarak saptanmaktadır. Yapılan gözlemler neticesinde yarım bırakılan derzler arasının 6 – 9 metre mesafe ve genleşme derzleri arasında ise 25 – 35 metre mesafe bırakılması gerekmektedir. Bu değerden az olmaması gerekir. Bırakılan açıklıklar, konforu ve maliyeti olumsuz yönde etkiler. Açıklıklar fazla ise genleşme gerilmesinin tek bir yerde olmaması sonucunda çatlamların önlenmesine olanak sağlamaktadır (Minh vd. 2020).

#### **1.4.1.3 İklim Etkisinin İhmali**

Çok soğuk veya sıcak havalarda sıcaklığın günlük değişiminden dolayı büyük değişim olaylarının olduğu coğrafyalarda betonun yapım ve özellikler açısından oluşacak birden değişecek gerilmelerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu gerilme değişimi ve oluşan deformasyonlar genel olarak genleşmedeki derzler ile yapılmakta, birde beton plağının altındaki imal edilmekte olan kaplama altı tabakaları da bu konuyu oluşturacaktır.

#### **1.4.1.4 Ağır Yükleme**

Projelerde göz önüne alınacak önem arz eden parametrelerden biri, o yolun üstünde seyir halindeki trafikteki yük etkileridir. Taşıt yüklerindeki gerek tekerrür sayısı, gerekse tonajların düşük alınması veya artmasındaki tahminler hata oluşturacak durumda, hesaplanmış olan geometrik boyutların yetersiz olması söz konusu durumdur. Yapılan tahminlerin üzerindeki yüklemeler ve doğuracağı gerilmeler sonucunda beton plakta çatlamlar meydana gelmektedir.

#### **1.4.2 Beton Bileşim Hesaplarındaki Hatalar**

Bu hesap yöntemi, uygun granülometriye sağlayan belirli miktardaki agregaların, belirli miktarda alınan su ve çimento ile bağlantısı istenilen dirençte, boşluk olmayan veya şartnamedeki sınırları aşmadan boşluklu betonun yapılması ile olmaktadır. Yapılan hesaplar sonunda, fazla boşluk olması, düşük dirençli beton oluşması, tahmin edilen trafik yüklerine dayanabilmesi söz konusu olmamalıdır. Bu dayanıksız yapı ise betondaki çatlama yaparak görülmektedir (Akkaya ve Taşdemir 2007).

#### **1.4.3 İnşaat Hataları**

##### **1.4.3.1 Erken veya Geç Perdah**

Betonun kalıptan çıkarılıp masterlanması ile beton priz alması süresindeki sürede bu plağın, önce plakta kabarma sonra da betonda rötreden dolayı bazı gerilmeler oluşturduğu görülmektedir. Öncelikle rötredeki gerilme prizini alan betonda, gözle görülecek yüzeysel yapısında çatlak oluşturmaktadır. Bu sebeple beton plak yüzeyinde perdahlama yapıldığı zaman çatlaklar da önlenilmekte veya yok olmaktadır. Erken yapılan perdahlama işleminde önleyici olmamakta ve priz ve rötire sırasında yine çatlamlar meydana gelmektedir. Perdahlamanın geç yapılması durumu ise sürekli bir özellik görülen çatlakların ortadan kalkması meydana gelmemektedir. Bu yüzey çatlakları, beton plağın kesimlerindeki oluşan kesit zayıflığına sebep olmakta, sonra da tam kalınlık çatlağına ve sonuç olarak çukurlaşmalar olmaktadır.

### **1.4.3.2 Derz Yapımında İmalat Hatası**

Beton yollardaki bırakılan derzlerin iyi bir tecrübeli personeller aracılığıyla yapılması ve yapının denetlenmesi gerekir. Yarım bırakılan derzlerdeki oyuk açılmaları, iç taraflarına uygun olan malzeme ile kaplanması, genişleme derzlerinde uygun açıklık bırakılabilmesi, kayma demirlerinin istenen nicelik ve nitelikte yerleşmesi ve sonuçta derzlerdeki boşlukların istenildiği gibi doldurulması, belirli bir titizlik, duyarlılık, ustalık ve deneyim istemektedir. Bu sebeple bırakılan derzin yapım ve kontrolündeki bir eksik ilerde büyük boyutta zarar meydana getirmektedir.

### **1.4.3.3 Alt yapının Sağlam Olmaması**

Beton yoldaki plaklar trafik yükünü kendileri taşır, yük ve gerilmeleri alt yapıya çok fazla miktarda iletmemektedir. Bu sebeple altyapının zayıf olması beton plağını çok fazla etkilemediği görülmektedir. Plağı alt taraftan destekleyen taban zeminine sağlam oturması, plak ömründe artma olacaktır. Taban yüzeyinde meydana gelen lokal bir oturma, o noktadaki üzerindeki betonda çekme gerilmesini arttırmakta ve plakta çatlaklar meydana getirmektedir. Ayrıca zeminde yüzeyinde pompaj etkisi olmuş ise plak altının özellikle köşe ve kenarlarında meydana gelen zemin kaybolması ve alt yapı boşlukları, beton plağın mesnetsiz kalabilmesine, yayılı mesnetli durumdan tekil mesnetli durumlara dönüşmesine yol açmıştır. Böylece plak da değişik noktalar üzerinde maruz kaldığı çok farklı nicelikleri ve nitelikli gerilmeleri etkisi ile çatlamlar meydana gelmektedir (Sehim vd. 2021).

### **1.4.4 Beton Yolların Onarımı**

Derz dolgusu için yapılan bakım ve onarım, genellikle el ile ve az bir çabayla gerçekleştirilir. Küçük olan onarım yöntemidir. Sistemi yeniden sızdırmaz hale gelmesi için lokal hasar meydana geldikten kısa bir süre sonra yapılmaya başlanmalıdır.

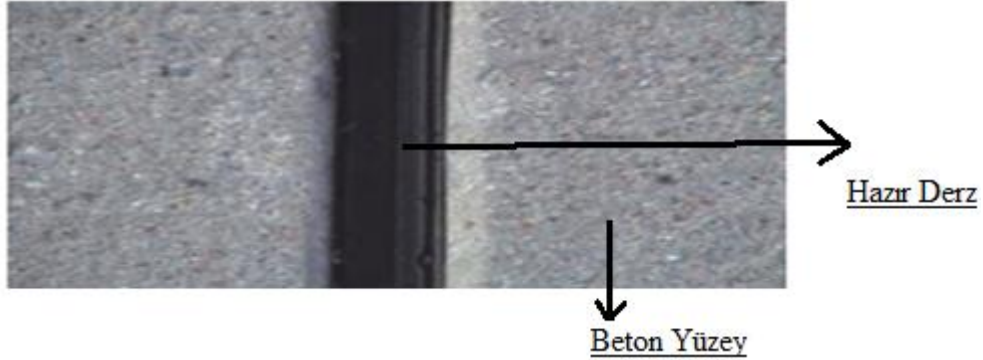
Derz dolgusunun onarımı, derzi doldurmak için kullanılacak özel malzemeler yardımıyla yapılır. Bu kullanılan malzeme ise sıcak veya soğuk derz dolgusu veya hazır



derz dolgusu olarak yapılmaktadır. Yalancı, genleşme veya inşaat derzleri, derz dolgu malzemesi yok olduğu zaman değişmektedir. Beton kaplama her zaman son derece iyi bir şekilde yapılacağı zaman tüm derzlerin ana yolun yol genişliği boyunca art arda takip edecek biçimde yapılabilir. Ekonomik açıdan derz dolgularının hazır derz dolguları ile değiştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Derz bölgelerindeki küçük kenar hasarı maliyet ve etkin olan onarımı, hasar olan alanlarına sıcak derzlerinin dolgusu ile doldurarak gerçekleştirilir. Derz dolgu çalışması sırasında yol trafiğe kapalı olmalıdır. Yeni derz dolgu malzemesi kullanıldığı zaman derzin duvarlara yapışan eski derz dolgularının yapılması çıkarılmalıdır. Yeni bir bağlantıda yüzey temiz derz kenarlarının kesilmemesi gerekip gerekmediği, yeni derz dolguları yapılmadan önce incelenmelidir. Derzi yeniden kesmek, yeni malzemelerin yapışması için mümkün olacak şekilde iyi koşulları sağlanmalıdır. Derz sızdırmazlık malzemesi olarak kullanılan hazır derzler ile yer değiştiğinde hazır derzin uygun olarak yerleştirilmesi için derzde oluşacak kenarlar her zaman yeniden kesilip yapılmalıdır. Eski hazır derz dolgusu yenileri ile değiştirildiğinde, derz boşluklarının paralel hizaları sağlanması için derzlerin doğru olarak oluşturduğu genişliğe sahip olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bu şartın yerine getirilmediği zaman yeniden kesilen ve ek olarak açma bıçağı kullanılmaktadır. Hazır derzlerin yapımından önce büyük beton plaklar dikkatli bir şekilde onarılmaktadır. Mevcut derz dolgusu ise, derz kenarlarının korunmasına da dikkat edilerek, yeni uygulama derinliği olana kadar sökülüp çıkarılmalıdır. Derz boşluğuna sıkı bir şekilde tutulan eski dolgu malzemeleri kalıntıları derz boşluğunun alt kısımlarında kalmaktadır. Kalıntı derz malzemelerinin derz kenarına yapışması için yeni derz malzemeleri ile uyumluluğuna dikkat edip ve bu durum uygun test edilerek bir şekilde gözlenmelidir. Bu şartlar yerine getirilmemiş ise derzler tekrardan sökülmelidir. Hazır derzler dolgusu yeni derz dolgu malzemeleri ile yer değiştirilirken yeniden kesim yapılmasına gerek yoktur. Bu durumda derzler temizlenmeli, derz dolgunun alt kesimlere fazladan olmasını azaltmak için ısıya dayanıklı, köpüklü malzeme veya sünger kauçuk gibi astar ile kaplanıp kapatılmalıdır.

Eski derz dolguları söküldükten sonra derz kenarlarındaki oluşan kir, toz vb. fırçalama makinesi ile mutlaka temizlenmesi gerekmektedir. Sıcak derz dolgu malzemelerinin derz kenarlarına yapışmasını daha iyi duruma getirebilmek için astar kullanılması tavsiye edilmektedir. Derz dolgularının çalışmaları sadece kuru hava olduğunda ve derz

kenarları yüzey sıcaklığı en az 0°C olduğu zaman gerçekleşir. Derz kenarları mutlaka kuru ve tozsuz yüzeylere uygulanmalıdır. Sıcak derz dolgu malzemesi, yol yüzeyinin altında en az 1 mm ve en fazla 6 mm'lik bir girintinin oluşması olacak şekilde uygulanmaktadır. Bu şart, derz dolgu malzemesinin yüksek sıcaklıklarda yukarı doğru çıkıntı yapmasını önleme işlemini azaltmak yapılması gerekir. Aşırı doldurma işleminden kaçınılması gerekir. Pah yapılmayarak enine yalancı derz, yeniden doldurulmadan önce mutlaka suretle pah yapılması gerekir. Derz dolgusu kalınlığı 15 mm kalınlığında ve üzerindeki derzlerde veya hazır olarak uygulanan derzlerin 20 mm ve üzerindeki derzlere yapıldığı zaman pah bırakılabılır. Hazır derzler uygulaması (Resim 1.3), sıcak uygulanan derz malzemelerine göre, uygulama koşulları göz önünde bulundurularak daha avantajlı olduğu görülür. Hazır derzler ıslak hava koşullarında da uygulanmaktadır. Bunun yanında, imalat yapıldığı zaman derz boşluğunda buzlanmalar meydana gelmemektedir. Yapıştırıcı uygulaması yapıldığı zaman ise derz kenarları ve derzin kesişme noktası kuru olması gerekir(Garcia vd. 2017).



**Resim 1.3** Hazır derz uygulaması(Garcia vd. 2017).

Hazır derzler uygulamalarında kullanılacak derzlerin boyutlarının eşit olan kesitlere uygulama olmasına dikkat edilmektedir. Bu koşul sağlanmamış ise derz yeniden kesilmektedir. Mevcut derzin derinliği dikkat edilmelidir. 15 mm'den fazla olan derzlerin kullanılan mevcut hazır derz uygulaması sıcak derz uygulaması malzemedeki alt dolgulardaki malzemeleri (fitiller) olarak kullanılmamaktadır çünkü bu uygulamada yeni derz dolgularının malzemenin ayrılmasına sebep oluşturmaktadır.

### **1.4.5 Beton Sökülme İşlemi**

Beton aşağıdaki durumlarda sökülme işlemi gerçekleşir:

- Düzgün olmayan yüzeyler,
- Lokal kesilen bölgelerdeki yüzey hasarları,
- Yüzey suyunun drenaj edilebilmesi için beton plağın yeteri uygunlukta olmaması,
- Derzler ve çatlak yüzeylerde basamak, kademe olması,
- Kayma dirençlerinin yetersiz durumda olması.

Uygun kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Beton yüzeyinin frezelenmesi,
- Yüksek basınçlı su püskürtmesi,
- Katkılı/katkısız su püskürtme ve çelik ile kumlama işlemi,
- Taraklama işlemi,
- Makinayla taraklama işlemi,
- Taşlama işlemi,
- Kanallı frezeleme işlemi.

#### **1.4.5.1 Frezeleme**

Beton yüzeylerindeki kayma dayanımlarını artırmak sebebiyle eskiden makine ile frezeleme yapılmaktaydı. Bunun yanında ise freze işleminin sert bir yüzey dokusu oluşturmak istediği lastik-kaplama gürültüsünün artış meydana geldiği ve bu nedenler ile frezeleme sadece yüzeylerde oluşan istenmeyen profil hatalarının ve ondülasyon hatalarının (tehlike noktaları) ortadan kalkması amacı ile yapılmaktadır.

#### **1.4.5.2 Yüksek Basınç ile Su Püskürtme Yöntemi**

Yüksek basınç uygulamalı suyun püskürtülme biçimi yüzeyin temizliği için ve mukavemeti düşük olan sahip tabakalarda boyanmış ve aşınan lastik kauçukların sökülmesi için yapılmaktadır. Yüksek basınç uygulamaları su püskürtmesi yöntemi beton kaplamalardaki yoldaki işaretlerin uygulanmadan önce bir hazırlık evresi olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu yöntem için üretilecek atık su trafiğe açık olan

yüzeyle uygun bir biçimde tahliye edilmemektedir.

#### **1.4.5.3 Su Katkılı ve Katkısız Çelik Kuşlama Yöntemi**

Kuşlama yöntemi yüzeydeki pislikleri temizlemek, ince yüzey tabakalarını sökmek ve yüzeydeki pürüzlendirme işlemlerini (mikro yapıdaki pürüzlü yüzeyleri iyileştirmek) yapmak amacıyla kullanılan yöntemdir. Ayrıca, düzgün uygulanmayan yüzey alanları mukavemeti etkilemeden onarılabilmektedir. Çelik kuşlama yöntemi(çelik bilye püskürtmesi işlemi) yüksek performanslı yöntem olarak (günlük kapasitesi 5.000 m<sup>2</sup> kadar); yüzeydeki toz oluşmasını istememek durumunda kum püskürtme işlemi yerine kaymadaki dirençleri iyileştirme işlemi kullanılmaktadır.

#### **1.4.5.4 Taraklama Yöntemi**

Taraklama işlemi küçük alanlarda oluşan büyük beton tabakalarını söküp çıkartılarak yapılır. Örnek olarak kırılmış kenarlar ve köşelere uygulanır. Bu yöntemde kırılan alandaki beton taraklama yöntemi ile zemin gevşetilerek ve kesilerek zayıflama işlemi yapılır. Tabakalardaki kalınlık ve boyutlara göre yüzeydeki onarım işlemleri için kırılan yüzey alanlarına ilaveten iyileştirilmesi yapılması gerekmektedir. Taraklama yapılan hasarlı yüzey alanlarına beton yapısının tamamen zarar görmemesi için dikey bir şekilde ayrılma kesiminde (5 cm derinlik seviyesine kadar) ayırmak gerekmektedir(Shtayat vd. 2020).

#### **1.4.5.5 Makine ile Taraklama**

Makine ile taraklama yönteminde dikey konumda hareket edilen kesici uçları olan taraklama makineleri kullanılmaktadır. Bu yöntem özellikle düşük mukavemeti olan beton tabakalarında sökülme ve küçük alanların düzgün olarak iyileştirilmesi gerektirdiği takdirde kullanışa uygun bir yöntemdir. Bu yöntemde ise hasarlı olan alanlardaki beton yüzeyler makine ile gevşetilip zayıflatılır. Uygulama sonrasında ise çelik bilye kuşlamaya benzer ek işlem gereklidir.

#### **1.4.5.6 Taşlama Yöntemi**

Taşlama yöntemi olarak kullanılan makineler yatay şaft üzerinde bulunan elmaslardaki bıçaklar yardımı ile olmaktadır. Taşlama yöntemi betonda doğru bir biçimde sökülebilmesi kolay olmaktadır. Beton yüzeyin mukavemeti değiştirilmeden kanalları oluşturabilmek için kullanılmaktadır. Taşlama yöntemi yüzeyin düzgün olması, kayma direncinin gelişmesi ve gürültüyü azaltmak için uygun yöntemdir. Taşlama işlemi derinliği genel olarak 10 mm'ye kadar çıkmaktadır. Kayma dirençlerinin artması için 2-3 mm kalınlıkta bulunan tabakanın sökülme işlemi genel olarak yeterli sayılmaktadır. Taşlama uygulaması yapıldığı zaman daha öncede onarımla işlemi yapılan kesimler ve derz kenarları da zarar görmektedir. Taşlama işlemi yapıldıktan sonra meydana gelen çamur vakum ile temizlenmektedir.( Shtayat vd. 2020).

#### **1.4.5.7 Kanal ile Frezeleme Yöntemi**

Kanal ile frezeleme yönteminde yüzeydeki drenaj işleminin uygun olduğu durumlarda su etkisi ile araçlarında oluşacak kayma riski olmaktadır. Bu yöntem kayma direnci iyileştirilmek için gerekli yerlerde kullanılabilir. Kanal ile frezeleme yapılırken lastik-yol temas yüzeyinde gürültünün artmasına sebep olmaktadır.

Uygulama işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken kurallar vardır. Enine kanal olarak için, her bir kanaldaki genişlik ve derinliği 6 mm olmaktadır. Enine yapılan kanalların aralarındaki mesafe miktarı 100 ile 150 mm mesafesinde olmaktadır. Boyuna bırakılan kanal için ise genişlik mm ve derinlik 6 mm olmalıdır. Yapılan kanalların merkezlere olan mesafeleri 25 mm olmaktadır.

Kanal uygulamaları keskin ve kenarlı olmalıdır. Kanalda çapak, kırılmış parça gibi pislikler bulundurulmamalıdır. Kanalın uygulama mesafesine karar verilip ilk yapım aşamasından sonraki mesafe sabit kalmalıdır. Kanalın enine eğimi değiştiği zaman yüzey drenajı oluşturmak için her bir plakta 10 mm genişliğindeki çapraz kesim (Resim 1.4) olarak uygulanmalıdır. Kesme kalıntıları varsa bunlar vakum yardımıyla temizliği yapılmalıdır (Garcia vd. 2017).



**Resim 1.4** Kanallı frezeleme (Garcia vd. 2017).

### 1.4.6 Şerit yenileme

Trafikteki yoğun taşıt miktarındaki öngörülemeyen artış ile özellikle dingil yüklerinde artma olması 22-24 cm kalınlığındaki beton plak sorunlarında ciddi artışa yol açmaktadır. Hasar genellikle ağır taşıt şeritlerinde meydana gelmektedir. Bu durum ise kaplama yüzeyinin tamamında yenilenmesi yapılması yerine sadece bozulan şeridin değiştirilmesi ekonomik açıdan daha iyi bir seçenek olmaktadır. Şerit yenileme(Resim1.5a) işlemi plağın tamamı veya bir kısmının yenilenebilmesi için sürüş kalitesindeki herhangi bir iyileşme sağlamamaktadır. Yenilenen beton plağın gelecekteki hasarının öngörülebilmesi durumunda alternatif olarak kullanılmaktadır. Plak boyut ölçülerinde makinelerin uygun olanının tercih edilmesi(Resim 1.5b) kalitesi yüksek olan kullanılma ömrü uzun şeridin yapılmasını sağlamaktadır. Şeridin yenilenme işleminde kullanılan orijinal plak kalınlığı yardımıyla enine eğim oranı dikkate alınmalıdır (Benedetto and Pensa 2007).



**Resim 1.5** Şerit yenileme (a) hazırlık ve (b) uygulama (Benedetto and Pensa 2007).

#### 1.4.7 Reaktif Reçine Yardımı ile Yüzey Onarımı

Yüzey onarımı işlemi için kullanılmakta olan reaktif reçine ve sertleştirici karışım oranı belirlenmelidir. Reçine işlemi yapılırken karıştırılarak yüzey tabakasına uygulanmalıdır. Yüzey tabakasında ve isteğe bağlı olarak yüzey iyileştirmesinin yapımında makro yapıdaki derinlik ve bağlayıcıların miktarları 700 ile 1,600 g/m<sup>2</sup> olmak üzere değişmektedir.. Kullanılmakta olan bağlayıcıların miktarına göre 1/2, 2/3 ve 3/4 dane boyutlarında kırma taş karışımı uygulaması kullanılmaktadır (Minh vd. 2020).

Reaktif reçine uygulaması ile beton arasındaki yapışmanın uzun ömürlü olabilmesi için uygun reçine karışımı bileşenleri olmalıdır. Kırma taş kullanmasının yanı sıra beton reçinesinin yüksek kalite miktarına sahip olabilmesi gereklidir. Dayanıklı olması için özenli bir şekilde çalışılmalı veya priz süresini dikkate almak için elverişli hava koşullarında seçim yapılarak arttırmak gereklidir. Beton yoldaki iyileştirilecek derzler uygulaması sırasında kapatılmamalıdır. Uygulanan yüzey malzemesinin az miktarda olması nedeniyle derzin fonksiyonunun olumsuz bir biçimde etkileme göstermemektedir.

Yüzeydeki uygulama işleminden önce yüzeyde dikkatli bir şekilde inceleme yapılmalıdır. Eğer olası onarım gerektiren yerler var ise yapılmalıdır. Pürüzsüz olması yüzeyin iyileştirmesi yöntemiyle geliştirilemez. Kullanılmakta olan reaktif reçine taşsız kuru ve tozsuz olmaktadır. Reaktif reçineleri kullanılarak yüzey iyileştirmesinde uzun süreli yapışma testlerindeki en önemli ön koşul, kuru ve dikkatli bir şekilde hazırlanmış olması beton yüzey üzerine uygulama yapılarak görülmektedir. Betonlarda yüzeyde oluşan gerilme miktarı en az 1.5 N/mm<sup>2</sup> olmalıdır. Olmazsa uzun süreli beton yüzeyi kaplaması sağlanamayabilir. Beton yüzeyindeki gerilme miktarı kumlama yöntemiyle iyileştirme yapılmaktadır. Uygulama öncesinde yüzeyinde bulunan yağ, lastik kalıntıları, uygulama işlemi öncesi yapılan işaretleme malzemeleri ile birlikte yabancı maddelerden arındırılma işlemi yapılmalıdır. Beton yüzeye alanına iyi bir şekilde aderansı sağlanamayan ince harç tabakasının beton yüzey alanından uzaklaşma işlemi yapılmalıdır. Beton yüzeyindeki hazırlanma işlemleri olarak temizlik ve sökme beton yüzeyindeki duruma bağlıdır. Bu inceleme ile birlikte betonda yüzeye yakın bölümdeki mukavemetin iyi belirli olması gerekmektedir. Uygulama yapılan reaktif reçine yüzeyi

mevcut sıcaklık durumuna bağlı olarak yoldaki trafik açıldığı zamandan itibaren 24 saat süre ile araç ve yaya trafiğinde herhangi bir hasara meydana gelmemesi şekilde sertleşmiş olmalıdır. Reaktif reçineleri kullanırken sıcaklık + 8°C'den maksimum + 40°C'ye seviyesinde beton yüzeye uygulanır. Yüzeydeki sıcaklık artış hızı durumunda reaktif reçinelerin uygulamaları durdurulmaktadır. Betonun tabakasından çıkan nemli hava, reaktif reçinenin yüzeyindeki kabarcıkları oluşturma nedeni olacaktır. Yüzey ki sıcaklıklar düşerken reçine uygulaması tekrar başlatılabilir. Nemli havada uygulamalar yapılamaz. Reaktif reçinesi genel olarak makine yardımıyla uygulanır(Resim 1.6). Reaktif reçine uygulamasından hemen sonra kırılmış agregalar homojen bir biçimde uygulanır(Resim 1.7). Agregaların uygulama şekli gerekli çekiş güçleri ve uzun ömürlü olmalarını sağlayacak bir şekilde yapılmalıdır. Agreganın en büyük çapının yaklaşık olarak yarısı kadar derinliğe reçine uygulama işlemi yapılarak gömülmelidir (Benedetto and Pensa 2007).



**Resim 1.6** Makine ile reaktif reçine uygulaması(Benedetto and Pensa 2007).



**Resim 1.7** Agrega uygulaması (Benedetto and Pensa 2007).



#### **1.4.8 Yüzeydeki Çatlak Doldurulması**

Beton yolda sudan veya buz çözücü tuz çözeltisinden kaynaklı olarak yüzey çatlaklarında yapısal hasarlar olabilmektedir. Bu oluşan çatlakların derz dolgusu ile doldurma işlemi daha sonra bunların etkili olacak şekilde işletmek oldukça zor bir iştir. Dolgu yapıldığı zaman çatlağın yukarıdan basınç uygulama işlemi yapılmadan serbest bir şekilde dökülerek dolmaktadır. Dolgu malzemesinde ise viskozitesi düşük reçineler kullanılabilir.

Dolgu işlemi yapılacağı zaman zeminin ıslak veya kuru olması önemlidir. Islak hava koşullarında yapılmamalıdır. Onarım yapılacak çatlak işlemleri yapılmadan önce uygun yöntem olan (örnek olarak, endüstriyel elektrik süpürgesi) kurutularak temizlenmelidir. Gerekli doldurma derinliğini sağlamak için ise havadaki sıcaklık miktarına bağlı olarak çatlak için yeteri kadar dolgu malzemesi kullanıldığından emin olunmalıdır. Çatlakların doldurulması esnasında çatlaklardaki durum göz önünde bulundurulmalıdır. Daha geniş çatlaklar olduğu zaman işlem yapılmadan önce hazırlıklar yapılması gerekebilir (örneğin, çatlağın genişletilmesi). Oluşan Çatlak en az 5 mm derinliğe kadar olmalıdır. Oluşan çatlağın genişliğinin ise en fazla 15 katı seviyesine kadar doldurulması gerekmektedir. Epoksi reçinesi uygulaması kullanılarak doldurmak için en düşük uygulamanın sıcaklığı 8°C'dir. Yapılan yüzey işleminin ömrü sona ermeden önce kuvars kumu ile kumlanma işlemi yapılmalıdır (Sehim vd. 2021).

#### **1.4.9 Enjeksiyon İşlemi**

Beton kılıflarının ve beton ankrajının üstündeki bulunan tabakalı beton kaplama uygulaması taze yapılan betona vibrasyon uygulanması çatlakları oluşmasına aynı zamanda betonda küçük gözenek alanlarının oluşmasına sebep olabilir. Bu oluşan çatlaklar, betondaki küçük gözenek alanları uzun dönemlerde oluşan hasarların meydana gelmesine neden olmaktadır. Buna benzer hasarlar çatlaklara düşük basınç (örneğin 1.5 bar olan basınç miktarı) ile birlikte düşük viskozite reçinesi enjekte edilerek önlenmektedir. Enjeksiyon yapılmadan önce çatlağın etrafındaki beton yüzeyler uygun bir şekilde (örneğin, endüstriyel elektrik süpürgesi) kullanımı sayesinde

temizlenmelidir. Ayrıca, aderansı sağlanmış çimento hamuru da uygun ekipman kullanılarak temizlenmelidir. İşlemin yapılacağı betonun yüzeyi kuru ve temiz olması gerekir. Oluşan çatlak ve gözenekler düşük basınçta çalıştırılan otomatik pistonlu enjeksiyon cihazları yardımıyla aralıksız doldurulmalıdır. Böylece 25 cm derinlik oluşana kadar çatlak ve boşluklar doldurulmaktadır. Çatlak ve boşlukların üzerine epoksi reçinesi enjeksiyonu uygulaması işlemi yapılmaktadır. Betonun yüzeyindeki sıcaklık 8°C'nin altına inmemelidir. İşlemden geçirilen yüzeyler yapılan işlem ömrünün sona ermesinden önce kuvars kumu ile kaplanmalıdır (Keyu vd. 2021).

#### **1.4.10 Drenaj İyileştirmesi**

Beton kaplamalarda bakım ve onarım önlemi planlanırken drenajı iyileştirme çalışması için herhangi bir yapılacak önlemin alınıp alınmaması gerektiği kontrol edilmelidir. Beton yolun hizmet ömrünün devam edebilmesi için suyu yol yüzeyinden uzaklaştırma işlemi çok önemlidir. Yoldaki taşıma kapasitesi seviyesini muhafaza etmek için sürekli drenaj yapılması gereklidir. Bu yüzden temeldeki tabakanın suya doymasını önlemek için en etkili yöntem olan drenaj işlemi yapılarak suyu zeminden boşaltılmalıdır. Her zaman suyu zemin yüzeyinden tahliye edebilmek için mevcut koşullara bağlı olarak alınabilecek önlemler alınmaktadır. Drenaj borularında uygulama yapılan yüzeylerde ise drenaj borusunun kesitleri uygun olabilmesine bakılmaktadır.

Yapılan bu bakım ve onarımların haricinde sülfür harçlarının kullanımı da bulunmaktadır. Sülfür harçları saf olarak ya da belli oranlarda agrega ve kuvars kumlarına karıştırılarak daha hızlı bir şekilde bakım ve onarım işlemleri yapılmaktadır.

### **1.5 Sülfür ve Özellikleri**

#### **1.5.1 Sülfürün Tanımı**

Sülfür fazla miktarda yumuşak, açık sarı renkli bir yan metal ya da metal yakın bir elementtir. Ortam sıcaklığı seviyesinde en dengeli biçimde rombik kükürt olarak isimlendirilen yoğunluğu 2.07 (gr/cm<sup>3</sup>) ve erime sıcaklığı 112.8°C olarak verilen sekiz

yüzeyle kristalli (oktaedrik) kükürttür. Bu şekilde erime derecesinin altında olduğu zaman monoklin sülfür olarak bilinen başka bir kristal biçimine (prizmatik) dönüşmektedir. Bu sülfür koku olmayan, tatsız, katı bir biçimdedir. Sülfür suda çözünmemekte ve elektriği iyi iletmemektedir. Sülfür havada güneş ışığında zor görülebilen mavi bir alev ile yanacak biçimde kokusu keskin ve boğucu sülfür dioksit ( $\text{SO}_2$ ) gazını oluşturur. Sülfür elementi oksijen ve çok miktarda başka elementlerle de tepkimeye girerek birleşebilir. Böylece fazla miktarda ısının ortaya çıktığı hızlı tepkime sonucunda birden fazla baz metalli sülfidler meydana gelmektedir. İyi ayrışma gösteren sülfür ve çinko elementleri artan basınç miktarına bağlı olarak patlayıcı özellik göstermektedir.

Günümüzde kullanılan sülfür üretiminde çoğu Frasch yöntemi olarak isimlendirilen yöntemle meydana gelmektedir. Bu yöntemde sülfür yüzeylerine basınçlı su buharı yüksek olan ısıtılmış işlemler yapılır. Sonuç olarak eriyen sülfür dışarı pompalamaktadır. Bu yöntemle yüzlerce metre derinlikten sülfür meydana getirilmektedir. Meksika Körfezi boyundaki tuz sütunlarında bulunan sülfür yatağı Batı Teksas, Polonya, Rusya Federasyonu ve Irak'taki buharlaşan sülfür bu yöntemler ile çıkarılmaktadır. Sülfür doğal gaz ve petrolden Claus yöntemi olarak adlandırılan yolla elde edilmektedir. Doğal gazdaki sülfür çoğu zaman hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) olarak bulunmaktadır. Petrolde de genel olarak organik sülfür bileşenleri büyük oranda içerir. Petrol damıtıldığında bileşenlerinden sülfür, hidrojen sülfür açığa çıkmaktadır. Claus yönteminde uygulanan hidrojen sülfürün 1/3 u yanarak kükürt dioksiti ( $\text{SO}_2$ ) oluşturmaktadır. Daha sonra ise bir katalizör yardımıyla oluşan iki gazın etkileşimi sülfür elementlerini ve suyu oluşturmaktadır. Volkanik gazda ise aynı kimyasal tepkimeler yer aldığından dolayı bu gazların volkanik sülfür yataklarını oluşturmaktadır. Sülfür element halinde elde edilmemektedir. Sülfür dioksit olarak açığa çıkarılır. Sülfür dioksit direkt olarak sülfürik aside dönüştürülerek bir ağıta gönderilmektedir.

Sülfür tüm elementlerde bileşik oluşturmaktadır. En belirgin olanı hidrojen sülfürdür ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Çok zehirli bir elementtir ve kokusu çok ağırdır. Kimyasal reaksiyonda sürekli olarak kullanılmaktadır. Hidrojen elementinden sonra sülfürün en fazla bileşen oluşturduğu element oksijendir. Sülfür oksijen ile 16 farklı asit oluşturmaktadır. Organik sülfür bileşenleri kimyasal bileşenlerin en belirginini oluşturur. Doğada en

yoğun biçimde bulunmaktadır.

### **1.5.2 Sülfürün Kullanıldığı Alanlar**

- Sülfür ilk olarak sülfürik asit olmak üzere endüstri üretimlerinin temel maddesi olarak yer almaktadır.
- Sanayi alanında kullanımı çok fazla olan sülfürik asidin üretimi için milyonlarca ton sülfür kullanılır.
- Ham olarak sülfür elementi, sülfürik asit dışında sülfür dioksit gazı, karbon sülfür ve tiyosülfatın üretilmesinde kullanılır.
- Sülfürün sülfürik asit ve bileşenlerinin kullanıldığı ürün çeşitleri ve sektörler bulunmaktadır. Bu sektörler kimyasal ve tarım endüstrileri, yemlerdeki katkı maddesi, sentetik olarak üretilen reçine, gübre ve gübre katkı maddeleri, hayvansal ilaçlar, pigment, petrolün türevleri, deterjan, sac, patlayıcı, bazı pil modelleri, kâğıt çeşitleri, böcek öldürücü ilaçlar, lastik kauçuk, barut sanayisi, kozmetikte kullanılan ürünler, kumaş parçaları ve yapıştırıcı çeşitleridir.

### **1.5.3 Sülfürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Kimyasal sembolü “S” olan sülfürün element tablosundaki yeri 6-A grubunun atom numarası 16 olan saf kristal formunda ametal bir element sınıfındadır. Erime sıcaklığı 116 derece ve kaynama sıcaklığı 445 derecedir. Soluk limon sarı rengine (Resim 1.8) olup tadı yoktur. Kırılgan yapılı katı bir kimyasal element sınıfındadır. Isıyı ve elektriği iletmesi çok düşüktür. Bu yüzden yalıtıcıdır. Yanıcı ve patlayıcı özelliğe sahiptir. Kolayca alev almakta ve küçük mavi bir alevi bulunmaktadır. Suda çözünme yapmazlar. Standart şartlarda çok az reaksiyona girer. Flor ve cıva maddeleri ile reaksiyona girmektedir. Fosil yakıtlarda ve yakıt kömürlerinde sülfür rastlanabilir. Volkanik yatakları alçı taşı (kalsiyum sülfür) ve kireç taşı katmanlarında doğal olarak bulunmaktadır. Tuz sütunlarının oluşturduğu yüzeylerde sülfür havzalarına rastlanmaktadır. Denizin diplerindeki kalın alçı taşlarının katmanları sülfür yatakları

olarak bulunmaktadır. Sulfürün ısıya iletkenliği az olmaktadır. Sulfür elektrik iletkenliği yoktur. Röntgen ışınlarında geçmemektedir.



**Resim 1.8** Sulfürün görünümü.

## 2. LİTERATÜR

İyınam ve Ağar (2003) tarafından yapılan çalışmada, hazır betonlarla yapılan yolun üstün özellikleri ve ülkemizdeki gerekliliğini meydana getirmek amaçlanmıştır. Çalışma öncelikli olarak beton yolların üstün özellikleri meydana getirilmiş sonrada üretim ve uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir. Sonra ise hazır betonlar ile yapılmış yolların Türkiye'deki karayolları için uygunluk açısından gerekli nedenler belirlenmiştir. Karayolunda hazır beton kullanılmasının Türkiye'deki öneminin ne kadar gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Çetin (2009) çalışmasında geleneksel olarak kaplama türüne göre beton kaplamanın çeşidi olan SSB kaplama yöntemi ortaya konulmuştur. Betonun karışım oranı, serilme şekli ve sıkıştırılma biçimi beton kaplamalar için benzer biçimde teknikler kullanılarak yapılan silindire sıkıştırılmış betonların oluşması, tabakalarının inşası, mekanik özelliklerinin ve yüzey uygulama alanlarının nasıl olduğunu belirtmiştir.

Kotze Br (1988) Ben Schoeman otoyolunda sürekli biçimde donatılı beton kaplaması uygulanmıştır. Oto yolda son 15 yıl boyunca çok iyi bir şekilde performans göstermiştir. Bunun yanında kaplamadaki bırakılan derzlerin su girişi sebebiyle ortaya çıkan hasarların sayısı son birkaç yılda artmaktadır. Bu beton kaplama işlemlerine yapılan bakım ve onarım genel olarak yolların daha trafiğe kapatıldığı gerekli olması sebebiyle trafiğin mevcut durumu daha da kötü hal almıştır. Çalışmada yapılan hasar onarımları zımbalama yapılarak uygulanmıştır.

Stein vd. (2018) son 10 yılda hızla dayanım kazanılacak betonun (HSB) Kaliforniya'da inşaatına önemli bir şekilde hız kazanması otoyolların, şehirlerin sokakları ve hava yolları bakım ve onarım çalışmalarındaki yoğunluk bir şekilde kullanılmaktadır. Gerekli ölçüde dayanımını kazanan HSB'nin amaç olarak kullanılmış olup olmadığı yolun planlanan süre dahilinde trafiğe açılabileceği için gerekli olacak minimum dayanım tanımlanmıştır.

Höller ve Kotze (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarında beton yol ülkelerin uzunluğunun ve sık sık yapılan bakım ve onarımının önlemleri tespit edilmiştir. En çok

beton yol ağı Asya, Avrupa ve Amerika kıtalarında yapılmış olmaktadır. Dünyada 17 ülkenin üstyapı yönetim sistemi (ÜYS) bulunmaktadır. Hepsinde bakım ve onarım önlemleri düzensiz bir biçimde yapıldığını veya hangi aralıklarında yapıldığını belirlemiştir. 16 ülkede ise kaplamalardaki bakım için kılavuz yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler 2 ile 25 yıllık olmaktadır.

Ramadhan ve Abdulwahhab (1997) sıcaklık faktörünün rijit ve esnek üst yapı kaplama performansları etkisindeki önemli etkenler olduğunu düşünülerek analiz ve tasarım işlemleri için geliştirilme çalışmaları yapılması gereklidir. Bütün kaplama türleri için yapılan arazi üzerindeki deneylerin sonucu olarak sıcaklık farklarının oluşturduğu değişimleri modellemiştir.

Hadi ve Arfiadi (2001) optimum seviyede uygulanan rijit yol kaplamasında tasarım problemleri olarak kaplama malzemesinin toplam maliyeti ve tasarımlarının etkileyebilecek kısıtlamaların oluşturduğunu amaçlanan fonksiyonlar tanımlanmalarıyla birlikte formülasyon olarak sunmuşlardır.

Akter vd. (2002) Kansas bölgesinde 1992'den sonra yapılmış olan 21 adet beton yolun kaplaması yüzeyleri incelemiştir. Betonun kopma modüllerinin temel ve zemin malzemesine kaplama yüzeyinin ıslak olan gün sayısına bağlıdır. Başlangıçta sürtünme katsayılarının sonraki sürtünme katsayılarına etkisini çoğunun 3 ile 5 yıl süresinde oluşturduğu eğilme dayanımında ve aşınma dayanımından etkilediği sonuçlarına varılmıştır.

Geiker vd. (2002) taze harçlı betonların reolojik özelliklerinin yük etkisi, şekil değişim faktörü, zaman faktörü altındaki cisimlerin davranışları incelenerek özelliklerinin deney sonucunda belirtilmiştir.

Lee vd. (2004) ince kanallı (tinning yöntemi) ile pürüzlendirilmiş olan beton yollara sürtünme katsayıları kayıpları isimli çalışmada boyuna ve enine doğrultuda kanallı yapılmıştır. Betonun yüzeyindeki ağır trafik taşıtlarının dingil sayılarına bağlı olarak sürtünme katsayısını azaltma etkisi incelenmiştir. Dingil yükü tekerrür sayılarında yapılan ortalama pürüzlülük derinliği ölçümlerinden elde edilen verilerden hareketle

varmışlardır.

Karayollarında bakım ve onarım çalışmaları ülkenin ekonomik olarak göz ardı bırakılamayacak bir şekilde fazla olduğu sanılmaktadır. Bu yüzden sık sık onarım ve bakım çalışmalarından dolayı aksayacak ulaşımdan dolayı akaryakıt giderleri ile işlerin ve enerjilerde oluşacak kayıpların getirdiği yüklerin ve sürücülerin yaşadığı sıkıntıların giderilmesi gerekmektedir. Dayanıklılığı fazla olan ve bakımı az olan ve onarım işlemleri isteyen malzeme kullanılarak kendi ham maddesinden yapılacak beton kaplama olarak yapılan yolların çözümü önemli bir şekil olabilmektedir. Amerika kıtasında 100 yıl ve Avrupa kıtasında ise 75 yıldan beri uygulanmakta beton kaplamalı yolların çalışmaları yapılmaktadır. Çok az sayıda bulunan bazı kent içi ve köy yolları dışında yapılan beton yollar Türkiye’de ise henüz daha iyi bir analiz değerlendirme yapılmamıştır.

Minh vd. (2020) esnek kaplama olan asfaltın üretimi sırasında petrolün ham olarak çok büyük bir miktarı ithal edilmektedir. Beton kaplama da kullanılan çimentoda böyle bir durum söz konusu değildir. Türkiye çimentonun üretim bakımından Dünya’dakinin ve Avrupa’dakinin ileri gelen ülkelerinden olmaktadır. Ülkemizde 5 adet petrol rafineri bulunmakta ve ülkenin bütün bölgesine dağıtılmaktadır. Aynı şekilde uluslararası standartlarda uygun şekilde çok sayıda çimento fabrikaları ve hazır beton üretim tesisleri vardır. Türkiye’de ağırlıklı olarak yoğun taşıt trafiğine ve taban zemini zayıf olmasına karşı beton kaplamalı yolların yapımı bir alternatif değil zorunluluk gerektirmektedir. Ağır taşıtların miktarı ve yıllık trafik artış oranlarının yüksek olduğu ve çok sık bakım ve onarımlarının olduğu sık sık trafik aksaması yaşanan asfalt betonu kaplamalı yolların beton kaplamalı yollara kıyasla bakımları daha sık yapılması uygun görülmektedir. Yapılan yolların uzun yıllar boyunca bakım ve onarım gerektirmeden sürekli hizmet vermesi sağlanmış olmaktadır. Yoğun trafiğe maruz kalabilen kent içi yollarında ve kent çevre yollarında beton kaplaması uygulamalarının son derece verimli olması gerekmektedir.

Nantes LCPC araştırma laboratuvarındaki çalışmaya göre rijit kaplamanın önemini vurgulamış olmaktadır. Rijit üst yapı ömür 30 yıldan fazla beklenmektedir. Trafikte oluşacak mekanik direncin (tekerlek izinin oluşması yoktur ve yollarda yorulmaya karşı



çatlak oluşumu kontrol altında tutulmaktadır) çevre etkisine karşı direnç gösterebilme yetenekleri fazladır.

Almanya 1920 yılından beri rijit üst yapıya çok fazla önem verilmektedir. Otoyollarda, havaalanlarında, birçok örneği inşa edilmiştir. Berlin’de otobüslerin duraklarında rijit üst yapılar örnekleri kullanıldığı gözlemlenmiştir. Oldukça büyük rehabilitasyon altında olmalarına karşı rijit üst yapılar ağır trafiği bugünde taşıyabilmektedirler. 50 yıl süreliğine hiç bakım ve onarım yapılmaması bu rijit üstyapıların kötü koşullarda sürdürülmeye bırakmıştır. Almanya’daki ekonomik durumun hayati önem taşıdığına inandığı karayolları ağını ülkenin her bir yerine bağlantı sağlamak amacıyla inşa etme için büyük gayret içindedirler.

Hollanda’da önceki yıllara kıyasla rijit üstyapıları daha fazla tercih etmiştir. 1950 yılında ortaya atılan ana problem betonda kayma donatısının kullanılmaması nedeniyle derz kırığı olmasıdır. Almanlar kayma donatılı yollar derzli ve donatısız tipteki rijit üstyapıların tasarımı benimseyerek bu problem ortadan kaldırmıştır. Daha düşük bakım ile uzun süreli performans sağlanmıştır. Hollanda’da ise yeni fikirleri denemek için büyük bir gayret göstermektedir.

Hafezzadeh vd. (2021) beton yolların yüzey hasarları onarılması için değişik tiplerde uygulanmıştır. Birçok ülkede elmas taşlama yöntemi ile yüzey dokusunun yenilenmesi yöntemleri uygulanmaktadır. Bu uygulamaları bazı ülkelerde elmas oluk açma işleminin takip edilmesi ve jet kumlama işleminin uygulanması yapılmaktadır. Reaktif reçine harçlı uygulamalarda yalnızca 6 ülkede kullanılmıştır. Bununla birlikte beton derzlerinin ve çatlaklarının sıkı olması ve birleştirilmesi gereklidir. Beton plaklarının sabitlenmesi ve plakların bir kısmının veya tamamının değiştirilmesi gereklidir.

## **2.1 Amaç**

Bu çalışmanın temel amacı, beton yollarda oluşacak her türlü olumsuz etkiye karşı kullanılacak beton tamir harçları ve sülfürün kıyaslanması yapılmaktadır. Sülfürün geleneksel beton tamir harcı ile karşılaştırılması yapılarak incelenecektir. Sülfürün beton yol inşaatında kullanılabilmesi araştırılmıştır. Kolayca yerleşme özelliği

sıkıştırma aracı olarak vibratörün kullanılmaması, ayrışma dirençlerinin yüksek olması ve yüksek durabilite özelliği sahip olmaları nedeniyle yüksek performans göstermektedir. Betonun çevre koşullarına bağlı olarak geçirimli olmaması sayesinde karşı koyabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan betonlara kıyasla daha sıkışmış ve geçirim özelliği az olması sayesinde sülfürün durabilitesi özelliği açısından betonun yollarda kullanılması çok daha avantajlı bir hale gelmektedir.

Beton kaplamalı yollarda dayanıklılık yüksek ve uzun süreli performans ömrü ile doğru orantılıdır. Bunu sağlayabilmek için ise uygun tasarım şartları, niteliksel olarak kaliteli uygulama yöntemleri gereklidir. Bunların bakım ise zorunludur. İnşaat yöntemleri bölgelere göre çok farklı olmaktadır. Bu da bakım ve onarım çalışmalarının önlemleri ile ilgili deneyim elde ederek yapılabilmektedir. Yolların ömrünü ve güvenle taşıyacağı trafik hacimlerini artırabilmek için yolların korunması, yolların yenilenmesi ve yolların iyileştirilmesi faaliyetleri arttırılarak bakım ve onarım faaliyetleri önem arz etmektedir. Bu faaliyetler öncelikli olarak yolun üstyapı durumunun düzenli aralıklar ile belirlenmesi şeklinde başlanmaktadır. Böylece beton yolun üstyapı karakteristik özellikleri belirlenerek resmedilir. Yollardaki hasar ve eksiklikler niceliksel ve niteliksel bakımdan elde edilmektedir. Bular gözlem ve deneysel yöntemler kullanılarak yapılır. Örnek olarak karotların testleri, betonun taşıma kapasite ölçümü ve betondaki boşluklu yapıların belirlenmesine yönelik tespitlerdir (Karpuz 2008).

Kullanılan bazı yöntem şekilleri tüm beton yol üst yapılar tipleri için uygulanmaktadır. Bunlar hasarlı olarak yapılan yollar veya derzlerdeki suların sızmasıdır. Betondaki yenileme çalışması yüzeydeki kaplaması yapılması ile çatlakların doldurulması şerit yenilemenin yapılması işlemleridir. Trafik ve iklim yollardaki bozulmalara sebep olan etkenlerdir. Beton yollardaki bakım ve onarım yapılacağı zaman bakımın tipi, yolun bozukluk tür ve derecesi önem arz etmektedir. Yapılan tez çalışmasında ise beton yollarda bakım ve onarım için yapılan tamir yöntemlerine birde sülfürün kullanılması yapılmıştır. Sülfürün diğer tamir harçlarına göre daha hızlı ve kısa sürede bakım onarımının yapılarak trafikte oluşacak aksaklıkları minimize edebilmektedir(Macit 2003).

### **3. MATERYAL VE METODLAR**

#### **3.1 Kullanılan Malzemeler**

##### **3.1.1 Beton Tamir Harcı**

Çimento ham maddesi olarak kullanılan hızlı priz alma özelliğine sahip yüksek akıcılık, büzülmesi olmayan ve uygun iklim şartlarına dirençli su geçirime özelliği olmayan zemin harçlarıdır. Weber (W) hızlı katılaştırıcı harç beton yüzeyinde kullanılarak daha hızlı katılma sağlamaktadır. Tamir harçları inşaatların montaj işlerinde, bakım/onarım işlerinde, havaalanı ve yolların onarımında, trafiğe maruz beton zeminlerin onarımında, kaldırım ve bordür taşları yapım ve onarım işlerinde kullanılmaktadır.

Tamir harçları zeminlere hızlı priz almaları için uygulanır. Uygulama sıcaklığı +5°C ile +30°C arasında yapılmaktadır. Hava şartlarının kötü olduğu rüzgar veya güneşli zamanlarda uygulamadan kaçınılmalıdır. Hava şartları soğuk olan donmaya maruz bırakılacak zamanlarda yüzeylerde uygulanmamalıdır. Kullanılma süresi 10 dakikadır. Uygulama kalınlığı minimum 10 mm maksimum 40 mm'dir. Servise açılma süresi ise 1 saattir.

Tamir harcı karışım suyu 20-25 °C arasında olmalıdır. Dışarda hava koşulları açık geniş yüzeylerin güneş ışınlarına ve rüzgara 48 saat süre olarak telis bezi ile kaplanarak muhafaza edilmelidir. Zeminin yüzeyi uygulama sırasında temiz olmalıdır. Zemin yüzeylerinin kirli, tozlu ve zayıf olarak bulunan parçacıklardan temizlenmiş olmalıdır. Uygulama yapılacak kalıpların sabitlenmesi gerekir, kalıp sistemleri sızdırmaması gerekir ve çok iyi temiz olması gerekmektedir. Uygulamalar eski yapılan beton yüzeyi üzerine yapılması gerekiyorsa uygulama öncesinde yüzey mutlaka nemli bulundurulmalıdır. Yüzeydeki küçük su toplanmalarından kaçınılması gerekir. Çalışma süresine göre kullanılacak kadar malzeme hazırlığı yapılmalıdır. Tüketimi ise 2,10 kg/m<sup>2</sup> (1 mm uygulama kalınlığı için) olmalıdır.

Hızlı katılaşılan tamir harcının fiziksel özelliği ve kimyasal özelliği Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1** Hızlı katılaşılan tamir harcının fiziksel ve kimyasal özellikleri.

<b>ÜRÜN</b>	<b>TAMİR HARCİ</b>
Ürün yapısı	Toz
Renk	Gri
Harç yoğunluğu	2,25±0,1 g/cm <sup>3</sup>
Karışım oranı	25 : 3,75-4,25
Kullanılabilme süresi	Yaklaşık 10-15 dakika
Uygulama kalınlığı	minimum 10 mm Maksimum 40 mm
Servise açılma süresi	1 saat
Tam kürlenme süresi	28 gün
<b>PERFORMANS</b>	
Basınç dayanımı	≥15 Mpa (1 gün sonra) ≥28 Mpa (24 saat sonra) ≥45 Mpa (7 gün sonra) ≥60 Mpa (28 gün sonra)
Eğilme dayanımı	≥4,5 Mpa (24 saat sonra) ≥7,5 Mpa (28 gün sonra)
Bağ dayanımı	≥2 Mpa
Büzülme genleşme	≥2 Mpa
Çözünebilir klorür muhtevası	≤%0,05

### 3.1.2 Sülfür

Kimyasal formülü S ile gösterilen sülfür 25 kg çuvallarda toz halinde sarı renkte bulunur. Özgül ağırlığı 2.07 (gr/cm<sup>3</sup>) ve erime noktası 140°C de eritilerek kullanılır. Kristalleri sekiz yüzeyle (oktaedrik) kükürttür.

### 3.1.3 Kuvars Kumu

Kuvars kumu(K)'nun yapısı kuvarsça zengin bileşeni olan magmatik ve metamorfik kayalarından ayrışarak 2 mm'den küçük oluşan kuvars (SiO<sub>2</sub>) tanecikleri ile meydana gelmektedir. Kuvars kumunun rengi beyazdır. Eğer kuvars kumu demir oksit içeriyorsa,

rengi pembeden kıvıla veya kahverengiye kadar değişebilmektedir. Silisten (SiO<sub>2</sub>) yapısından oluşturulan kuvars kumunun ise az miktar kil, feldspat, demir oksit ve karbonat bulunabilir. Doğada saf ve saf olmayarak da karışmış olarak bulunabilir. Kuvars kumlarının istenen özelliklere getirilebilmeleri için kullanılma amaçlarına göre gerek fiziksel, gerekse kimyasal açıdan cevher hazırlama işlemlerine tabi tutulurlar. Kuvars kumunun özgül ağırlığı 2.68 (gr/cm<sup>3</sup>) dır.

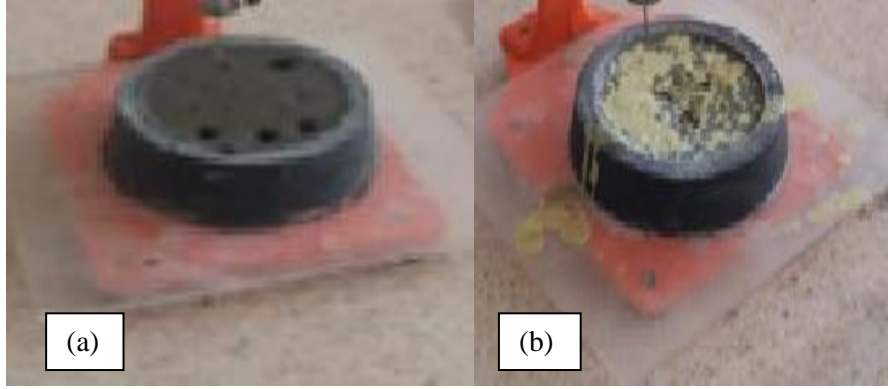
### 3.2 Karışım Oranları ve Numune Üretimi

Referans olarak kullanılan hızlı katılaşan harç, Çizelge3.1’de verilen oranlar dikkate alınarak 25 kg’lık çuval için 3,75-4,25 kg su kullanılarak karışım oranı hazırlandı. Kullanılan su/çimento (s/ç) = 0,16 olarak kabul edildi. Seçilen bu oranlar cam beherlere koyularak hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır. Sülfür harçları ise saf sülfür, %50 S-%50 K ve %25 S-%75 K olmak üzere dökülmüştür. Sülfürün yoğunluğu 2,07 gr/cm<sup>3</sup> ve kuvars kumunun yoğunluğu 2,68 gr/cm<sup>3</sup> alınarak sülfür 140°C de eritilerek sıvı halde cam behere koyularak hassas terazilerde tartılarak hacimsel olarak belirlenen karışım oranlarında dökülmüştür (Çizelge 3.2).

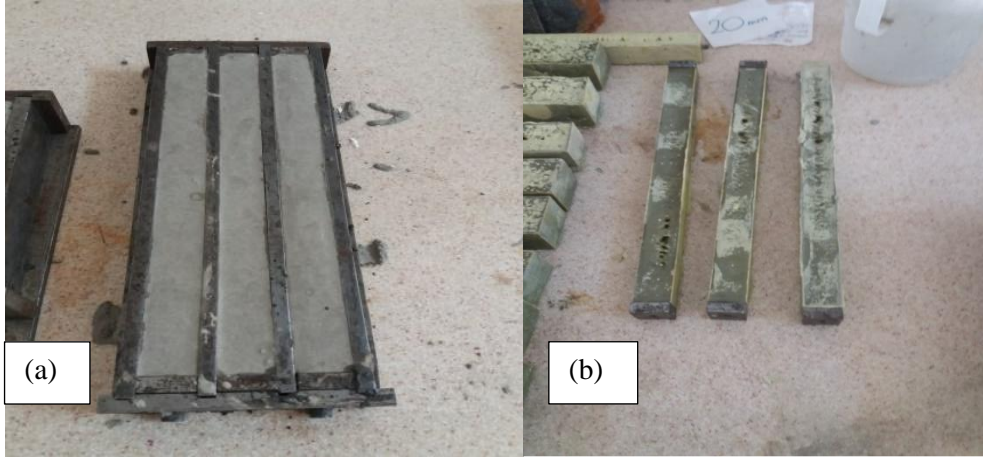
**Çizelge 3.2** Sülfür harcı karışım oranları.

Malzeme	sülfür( gr)	kuvars kumu (gr)
%100 sülfür	207	X
%50 sülfür-%50 kuvars ku	103,5	134
%25 sülfür-%75 kuvars kun	51,75	201

Kıvam ve priz süresi tayini için hazırlanan tamir harcı ve sülfür karışımları vicat kalıbına dökülmüştür (Resim 3.1a ve b). Birim Şekil değiştirme (rötre) deneyleri için ise 25x25x285 mm boyutlarındaki demir kalıplara her iki ucana vida takılarak ve numaralandırılarak numuneler dökülmüştür (Resim 3.2a ve b). Dökülen kalıplara yapışmayı önleyici yağ sürülmüştür. Eğilme ve basınç dayanımı için ise 40x40x160 mm boyutlarındaki demir kalıplar kullanılarak hızlı tamir harcı ve sülfür harçları olarak numuneler dökülmüştür (Resim 3.3a ve b).



**Resim 3.1** Priz süresi için hazırlanan numuneler (a) Tamir harcı; (b) Sülfür harcı.



**Resim 3.2** Rötne için hazırlanan numuneler (a) Tamir harcı; (b) Sülfür harcı.



**Resim 3.3** Eğilme ve basınç deneyleri için hazırlanan numuneler (a) Tamir harcı; (b) Sülfür harcı.

Kayma deneyleri için 70 mm çapında 20 mm yüksekliğinde plastik kalıplar kullanılmıştır. Pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere ayrı ayrı hızlı tamir harcı ve sülfür harçları için numuneler dökülmüştür (Resim 3.4). Aderans deneyleri için 70 mm çapında 20 mm yüksekliğinde plastik kalıplar kullanılmıştır. Pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere ayrı ayrı hızlı tamir harcı ve sülfür harçları için numuneler dökülmüştür (Resim 3.5).



**Resim 3.4** Tamir harçlarının kayma deneyleri için hazırlanan numuneler.



**Resim 3.5** Tamir harçlarının yapışma deneyleri için hazırlanan numuneler.

### 3.3 Yapılan Deneyler

#### 3.3.1 Kıvam ve Priz Süresi Tayini Deneyi

Kıvam deneyleri için kullanılan ekipmanlar sırası ile mekanik vicat aleti, sonda, vicat

kalıbı, vicat iğnesi ve cam plakasından oluşmaktadır (TS EN 196-3+A1, 2010). Sondanın etkili uzunluğu (50±1) mm ve çapı ise (10±0,05) mm olan dik silindir biçiminde korozyonlara karşı dayanıklı olan metalden yapılmaktadır. Hareket halinde olan parçaları toplam kütleleri (300±1) g'dır. Deney yapacağımız tamir harcı koyulan vicat kalıbının sert lastikten yapılması gereklidir. Vicat kalıbının derinliği (40±0,2) mm, üst iç çapı (70±5) mm ve alt iç çapı (80±5) mm olan kesik koni biçimindedir (Resim 3.6). Deney için kullanılacak cam plakanın genişliği vicat kalıbının genişliğinden büyük olma gerekir ve plakanın kalınlığı ise en az 2,5 mm olmalıdır. Priz süresi tamir harcı ile suyun tamamen katılaştığı andır.



**Resim 3.6** Tamir harçlarının priz süresi tayini deneyi.

Vicat kalıbına dökülen tamir harcı döküm saati kayıt edilmiş. Her bir dakikada vicat iğnesindeki batma değerleri mm cinsinden kayıt edilmiştir. Priz süresi değeri bulunmuştur. Sülfürün priz süresi için ise toz halde bulunan sülfür eritme makinesinde 140 °C'de eritilerek sıvı haline getirilmiştir. Sıvı hale getirilen sülfür kıvam ve priz süresi tayini için vicat kalıbına koyulmuştur. Kalıba koyma saati 11.30'dur. Kalıba koyulan sülfür her bir dakikada batma değerleri vicat iğnesi ile ölçülerek mm cinsinden kayıt edilmiştir.

### 3.3.2 Penetrasyon Deneyi

Derinliği (40±0,2) mm, üst iç çapı (70±5) mm ve alt iç çapı (80±5) mm olan kesik koni şeklindeki vicat kalıplarına dökülen hızlı katılaştıran harç ve sülfür harcı için numune döküm zamanından itibaren her bir dakikada penetrasyon deneyi (TS 2987) yapılmıştır.



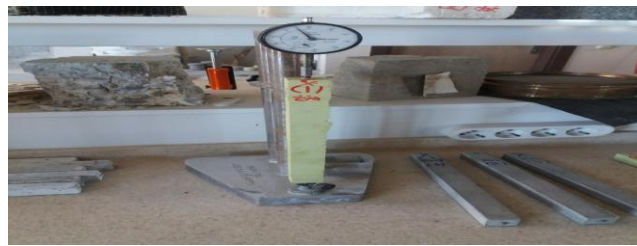
Penetrasyon deneyi tamir harçlarına penetrasyon direncini ölçümünde kullanılmıştır. Yükleme sistemi penetrometrelerin yük okuma sıkalası 0-16 kg/cm<sup>2</sup> aralıkla verilmiştir. Yükleme tamir harçlarının kıvam alınana kadar uygulanıp maksimum yükleme değeri 16 kg/cm<sup>2</sup>'ye kadar devam etmiştir. Yapılan deney Resim 3.7'de gösterilmiştir.



**Resim 3.7** Tamir harçlarının penetrasyon deneyi.

### 3.3.3 Rötire (Birim Şekil Değişimi ) Deneyi

Her elastik altındaki cisimler yükleme altında gerilme oluşturmaktadır. Oluşan bu gerilmelere bağlı olarak birim şekil değiştirmeler oluşur. Bu oluşan birim şekil değiştirmelerden ise cisimlerde yer değiştirmeler oluşmaktadır. Cisimlerde son olarak kırılma oluşarak yükü taşıyamaz duruma gelirler. Birim şekil değişimlerini bulmak için 25x25x285 mm boyutlarındaki kalıplardan hızlı dayanımlı tamir harcı, saf sülfür harcı , %25 S - %75 K harcı ve %50 S - %50 K harcı karışımları numuneleri kalıplardan çıkartılmıştır. Çıkarılan numuneler numaralandırılmıştır. Numune kalıplarının her iki ucundaki genişleme çivileri boy değişim cihazındaki yuvalara oturtularak boy değişimleri zamana bağlı olarak dijital boy ölçer cihazında kayıt altına alınmıştır. Boy değişimleri ölçülürken ön ve üst yüzeylerine işaret konularak hep aynı yüzeyde okuma sağlanmıştır. Numuneler 7. yaşına kadar her gün okuma yapılmıştır. 7. yaşından sonra haftalık okuma yapılarak kayıt edilmiştir (Resim 3.8 ).



**Resim 3.8** Tamir harçlarının rötire deneyi.

Kayıt edilen hızlı dayanımlı tamir harcı, saf sülfür, %25 S- %75 K ve %50 S - %50 K olmak hesaplanan yer değiştirme oranları formül (3.1) kullanılarak zamana bağlı olarak bulunmuştur.

Şekil değiştirme  $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

Yerdeğiştirme yüzdesi

$$\%R = \frac{(L_f - L_o) \times 100}{L_o} = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100 \quad (3.1)$$

Burada ;

$L_o$  = Numunenin ilk boyu,

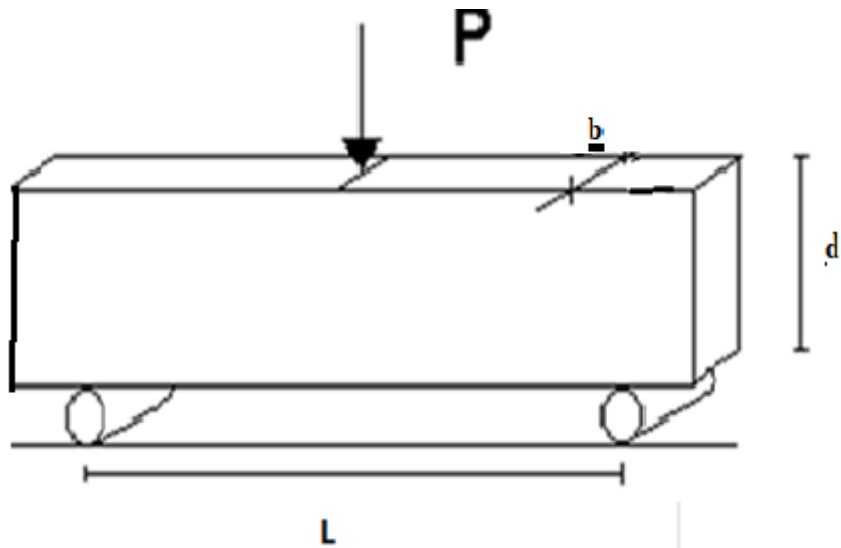
$L_f$  = Numunenin son boyu,

$\Delta L$  = Numunenin boy değişimi,

$\%R$  = Numunenin boy değişimi yüzdesi

### 3.3.4 Eğilme Deneyi

Betonun eğilme dayanımı; hazırlanan beton kiriş numuneler üzerine ya kirişin orta noktasından ya da kirişin uçlarından L/3 uzaklıktaki mesafelerde yükleme yapılarak bulunabilmektedir (TS EN 12390-5, 2000). Şekil 3.1’de uyguladığımız kirişin ortadan yüklenmesi durumundaki eğilme deneyi yöntemi görülmektedir.



Şekil 3.1 Kirişin orta noktasında yapılan eğilme deneyi.

TS EN 12390-5,2000 de beton kirişin oturduğu mesnetlerdeki ara mesafenin orta noktasındaki (L/2 mesafesi uzaklığı) yüklenmesinin deney yöntemi açıklanmaktadır.

Eğilme dayanımı deneyleri dikdörtgen kesitli numunelerde yapılmaktadır. Kalıplardan çıkarılan prizini almış numunelerde eğilme dayanımı yapılır ve deney güne kadar  $23 \pm 1.7$  °C sıcaklıkta küre işlemine tabi tutulurlar. Bu deneyle numune kırılıncaya kadar belirtilen uygulamalardan biri ile eğilme yükü uygulanmaktadır.

Eğilme deneyi için 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelere dökülen hızlı katılaşılan tamir harcı, saf sülfür harcı, %50 S-%50 K karışımı ve %25 S-%75 K karışımlı tamir harçları numuneleri 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük olmak üzere kalıplardan çıkarıldı. Eğilme deneyi zamanı gelene kadar kür işlemine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyi yaptığımız makinede mesnet açıklığını 12 cm alarak kiriş ortasında tekil yükleme uygulanmıştır (Resim 3.9). Uygulanan bu yükleme sonucunda yük miktarları kg olarak kayıt edilmiştir.



**Resim 3.9** Tamir harçlarının Eğilme dayanımı deneyi.

Beton kirişlerde numuneler kırılma işlemi yapılarak yük deney makinesinin göstergesinden okunduktan sonra eğilme dayanımının hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül (3.2) kullanılmaktadır.

$$\sigma_e = \frac{Mc}{I} \quad (3.2)$$

Burada;

$\sigma_e$  = Eğilme dayanım gerilmesi,

M = Eğilmedeki maksimum moment değeri,

c = kiriş yüksekliğinin tarafsız eksene uzaklığı, yani d/2,

d = Kiriş kesiti yüksekliği,

b = Kiriş kesiti eni,

I = Atalet momenti (dikdörtgen kesit için  $I = bd^3/12$ ; kare kesit için  $I = d^4/12$ )

Beton kiriş numunelerinin orta noktadan yüklendiği zaman oluşacak moment değeri ile yükleme farklı noktada olması durumu değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle beton kirişin numuneleri orta noktada veya mesnetlerde L/3 uzaklıkta iki noktadan yüklenebildiği zaman hesaplanan gerilme dayanımı farklı değerlerde çıkmaktadır.

Orta eksende yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ise eğilme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Formül (3.3) kullanılarak kayıt edilen yüklerin eğilme dayanımları MPa olarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd} \quad (3.3)$$

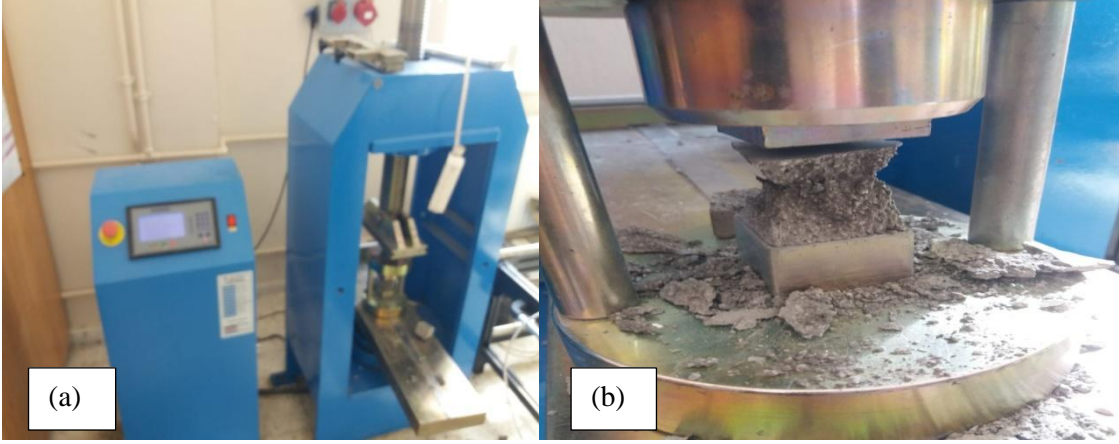
### 3.3.5 Basınç Deneyi

Betonundaki basınç dayanımı aksenal basınç yükünün etkisinde betonu kırılmamak için göstereceği direnç kabiliyeti olmak üzere tanımlanmaktadır. Bu yüzden malzemelerin bir birim alanlarının üzerinde etki yapan yükler, (gerilme)  $\text{kgf/cm}^2$  veya MPa ( $\text{N/mm}^2$ ) gibi birimlerle ifade edilirler.

Mühendislik uygulamalarında betonda en çok kullanılan dayanım değeri basınç dayanımlarıdır. Basınç dayanımlarını bulmak için kullanılan deney yöntemleri diğer dayanım cinslerinin bulunabilmekten çok daha basit yöntemler uygulanmaktadır. Tüm yapılardaki tasarımlarda beton basınç dayanımları değeri dikkate alınmaktadır. Birçok yapı için betonda önemli ölçüde çekme yükü, eğilme yükü, yorulma yükü gibi değişik yüklere maruz kalmayacakları düşünülerek betonun üzerine gelen en önemli yükün basınç dayanım yükü oldukları kabul edilerek hesap edilmektedir. Betonda basınç dayanımı, çekme ve eğilme dayanımı aralarında yaklaşık olarak bir korelasyon vardır. Bu yüzden basınç dayanımları bilindiği zaman, diğer dayanım türleri büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilmektedir(Erdoğan 2003).

Betonun basınç dayanımının elde edilmesi için uygulanan standart deney yöntemi TS EN12390 (2000).Standart deney yönteminin uygulanmasından beton standartlarında bulmak için standart küp ve silindir numuneler kullanılır. Kullanılan bu numuneler betonun taze olduğu zaman küp veya silindir şeklindeki kalıplara, betonun standardının belirttiği şekilde yerleştirilir ve bir gün sonra kalıplardan çıkarılma işlemi yapılır (Erdoğan 2003).

40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara dökülen beton tamir harçları olan hızlı dayanımlı tamir harcı, saf sülfür, %50 S-%50 K ve %25 S-%75 K karışım numuneleri 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük eğilme dayanımları yapılmıştır. Eğilme dayanımlarındaki ortadan yüklenen numuneler alınarak bunların sırası ile 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük basınç dayanımları pres makinesinde yapılmıştır. Yapılan basınç deneylerinde kesit alanları  $A=4 \text{ cm}^2$  olan yüzey alanlarına yük uygulanmıştır. Bulunan bu yükler kN cinsinden okunarak kayıt edilmiştir. Formül (3.4) kullanılarak basınç dayanımları MPa olarak hesaplanmıştır. Yapılan basınç deneyi (Resim 3.10a) ve basınç deneyi sonucu numunenin şekli (Resim 3.10b)'de gösterilmiştir.



(a) Basınç deneyi

(b) Numunenin görünümü

**Resim 3.10** Tamir harçları basınç dayanımı deneyi(a) ve numune görünümü(b).

Basınç dayanımı hesaplanması;

$$\sigma_b = \frac{N}{A} \quad (3.4)$$

Burada,

$\sigma_b$  = Basınç dayanım değerleri (maksimum basınç gerilmesi),

N= Numunelerin kırılması için maksimum yük miktarı,

A = Numunelerin kesit alanıdır.

### 3.3.6 Kayma Deneyi

Beton tamir harçları 70 mm çaplı 20 mm yükseklikli plastik kaplara konularak hızlı priz alan harç, saf sülfür harcı, %50 S-%50 K, %25 S-%75 K olmak üzere hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin deney zamanları gelene kadar kür işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin pürüzlü ve pürüzsüz olmak üzere farklı beton numuneleri yüzeylerine 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük kayma gerilmesi deneyi yapılmıştır. Yapılan kayma gerilme deneyinde yüzey yapısının gerilmeye etkisi bulmak için pürüzlü ve pürüzsüz olmak üzere iki farklı şekilde deney yapılmıştır (Resim 3.11 ).



**Resim 3.11** Tamir harçları kayma gerilmesi deneyi.

Kayma gerilmelerini bulmak için uygulanan yükler kN cinsinden kayıt edilmiştir 70 mm çaplı yüzey alanına uygulanan bu kuvvet formül(3.5) kullanılarak kayma gerilmeleri değerleri hesaplanmıştır.

Kayma gerilmesi dayanımı bu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\sigma_k = \frac{N}{A} \quad (3.5)$$

Burada,

$\sigma_k$  = kayma gerilmesi dayanımları (maksimum kayma gerilmesi),

N= Numunelerin kırılması için maksimum yük miktarı,

A = Numunelerin kesit alanıdır.

### 3.3.7 Aderans Deneyi

Beton tamir harçları 70 mm çaplı 20 mm yükseklikli plastik kaplara konularak hızlı priz alan harç, saf sülfür harcı, %50 S-%50 K, %25 S-%75 K olmak üzere hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin deney zamanları gelene kadar kür işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan bu numuneler pürüzlü ve pürüzsüz olmak üzere tamir harçlarının her iki yüzeyine de yapışacak şekilde yuvarlak beton numuneleri 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28

günlük aderans gerilmesi deneyi yapılmıştır. Yapılan aderans gerilme deneyinde yüzey yapısının gerilmeye etkisi bulmak için pürüzlü ve pürüzsüz olmak üzere iki farklı şekilde deney yapılmıştır (Resim 3.12 ).



**Resim 3.12** Tamir harçları aderans gerilmesi deneyi.

Aderans gerilmelerini bulmak için uygulanan yükler kN cinsinden kayıt edilmiştir 70 mm çaplı yüzey alanına uygulanan bu kuvvet formül (3.6) kullanılarak yapışma gerilmeleri değerleri hesaplanmıştır.

Aderans gerilmesi dayanımı bu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\sigma_a = \frac{N}{A} \quad (3.6)$$

Burada,

$\sigma_a$  = Aderans gerilmesi dayanımları (maksimum aderans gerilmesi),

N= Numunelerin kırılması için maksimum yük miktarı,

A = Numunelerin kesit alanıdır.

### 3.3.8 Noktasal Yükleme Deneyi

70 mm çaplı 20 mm yükseklikleri numunelere dökülen hızlı priz alan harç, saf sülfür



harcı, %50 S-%50 K, %25 S-%75 K tamir harçlarının 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük numunelerinin kayma ve aderans dayanım deneyleri yapılmıştır. Kayma ve aderans deneyleri sonucunda çıkan bu tamir harcı numunelerin sırası ile noktasal yükleme deneyleri yapılmıştır (Resim 3.13).



**Resim 3.13** Tamir harçlarının noktasal yükleme deneyi.

Noktasal yükleme gerilmelerini bulmak için uygulanan yükler kg cinsinden kayıt edilmiştir 70 mm çaplı yüzey alanına uygulanan bu kuvvet formül (3.7) kullanılarak noktasal yükleme gerilmeleri değerleri hesaplanmıştır.

Noktasal yükleme dayanımı hesaplanması;

$$I_s = \frac{N}{D^2} \quad (3.7)$$

Burada,

$I_s$ = Noktasal gerilmesi dayanımları (maksimum noktasal gerilmesi),

$N$ = Numunelerin kırılabilmesi için maksimum yük miktarı,

$D$  = Numunelerin çapıdır.

### 3.3.9 Sürtünme (Kayma) Direnci Deneyi

Beton kaplama tabakalarındaki taşların daha emniyetli kullanılmaları ve iş güvenliği için zemin yüzeyinde oluşabilecek kazaları en aza indirmek amacıyla kayma potansiyelleri belirlenmektedir. Bu kayma(sürtünme) direnci pandül test cihazı kullanılarak yapılmaktadır. TS EN 14231 “Pandül deney donanımıyla kayma direncinin tayini” standardına göre ölçüm yapmaktadır. Pandül test cihazı, kaydırıcı ve deney yüzeyi arasındaki sürtünmeyi ölçmek ve kayma direncine ait standart bir değer tayin etmek üzere tasarlanmış ve ayakkabı altlığını temsilen 4S lastik kauçuk pençe kullanılmaktadır.



**Resim 3.14** Sürtünme (kayma) direnci deneyi.

Pandül değerleri (Resim 3.14) okunan beton tamir harçlarının kayma potansiyeli ve sınıflandırılması Çizelge:3.3 ve Tablo:3.4 kullanılarak yapılmıştır.

**Çizelge 3.3** Kayma direncinin kayma potansiyeline göre yorumlanması (Bowman 2003, Carpenter vd. 2006).

4 S - Pandül Değeri	Kayma Potansiyeli
0-24	Yüksek
25-35	Orta
36-64	Düşük
>65	Çok Düşük

**Çizelge 3.4** Kayma potansiyelinin sınıflandırması (Bowman 2004).

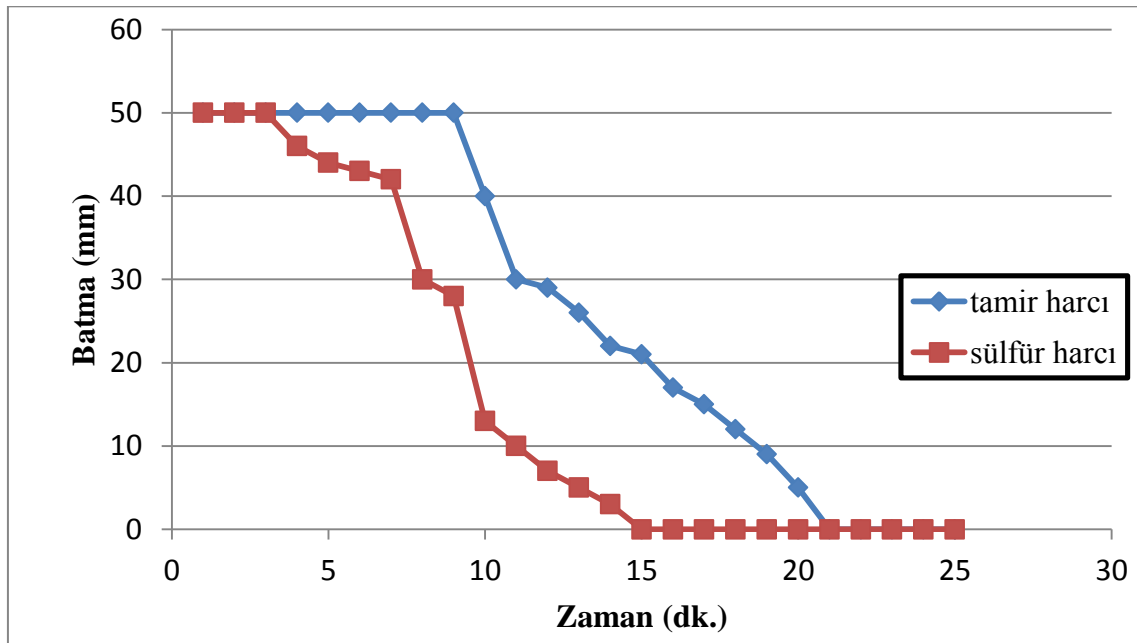
Sınıflama	Pandül Değeri	Kayma Potansiyeli
V	> 54	Çok Düşük
W	45-54	Düşük
X	35-44	Orta
Y	25-34	Yüksek
Z	< 24	Çok Yüksek

#### 4.DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Beton onarım harçlarının fiziksel özellikleri (kıvam ve priz süresi tayini, birim şekil değişimi) ve kimyasal özellikleri (basınç dayanımı, çekme ve eğilme dayanımı, kayma ve aderans testleri, noktasal yükleme dayanımları) deneyleri yapılmış ve deneysel bulgular aşağıda alt başlıklar halinde sunulularak değerlendirilmiştir.

##### 4.1 Priz Süresi Deney Sonuçları

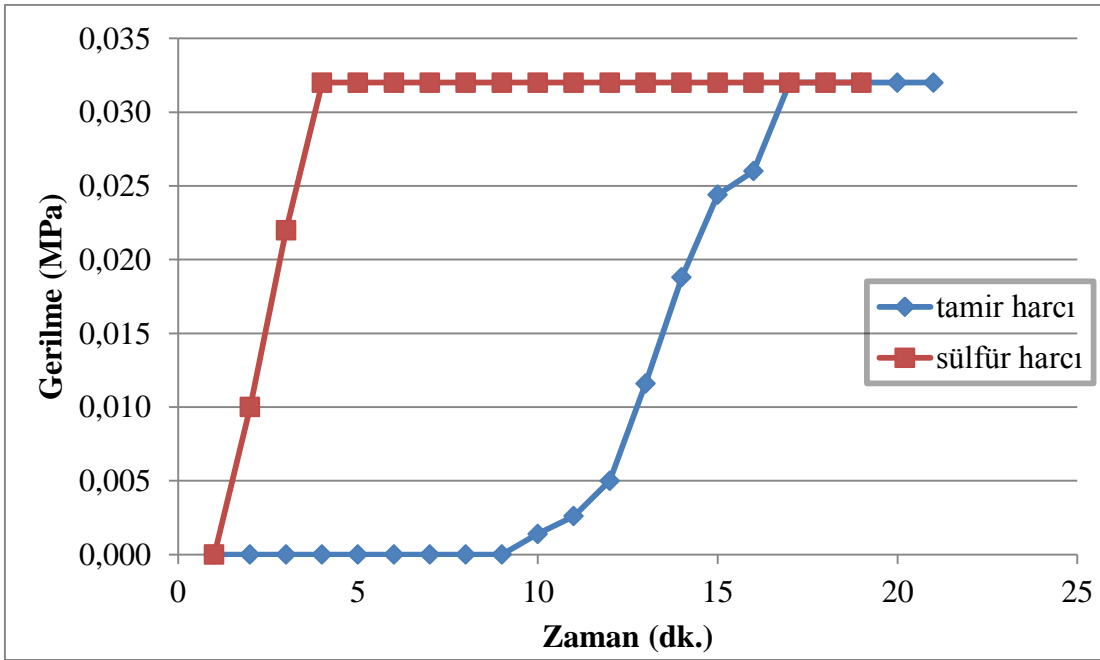
Yapılan bulgular neticesinde tamir harçlarının çok kısa süre içerisinde prizlerini alıp uygun dayanımları sağlayarak kullanıma hazır hale gelmektedirler. Vicat iğnesi kullanılarak yapılan priz süresi tayininde hızlı katılaştıran tamir harcının vicat kalıbına dökümünde vicat iğnesinin batma değeri 50 mm iken, 10. dakikadan itibaren batmamaya başladığı ve bununla birlikte 21. dakikada hiç batmayarak tamamen katılaşmıştır. Sülfür harcının ise 4. dakikadan itibaren priz aldığı 15. dakikada priz alması durmuştur. Vicat iğnesinin batma (mm) değerleri Şekil 4.1’de zamana (dk.) bağlı olarak gösterilmiştir. Sülfür harcı tamir harcına göre 7 dk daha erken katılaşmaya başlamış ve yine 7 dk daha erken tamamen katılaşma gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1 Tamir harçlarının batma (mm)-zaman (dk) grafiği.

## 4.2 Penetrasyon Deneý Sonuçları

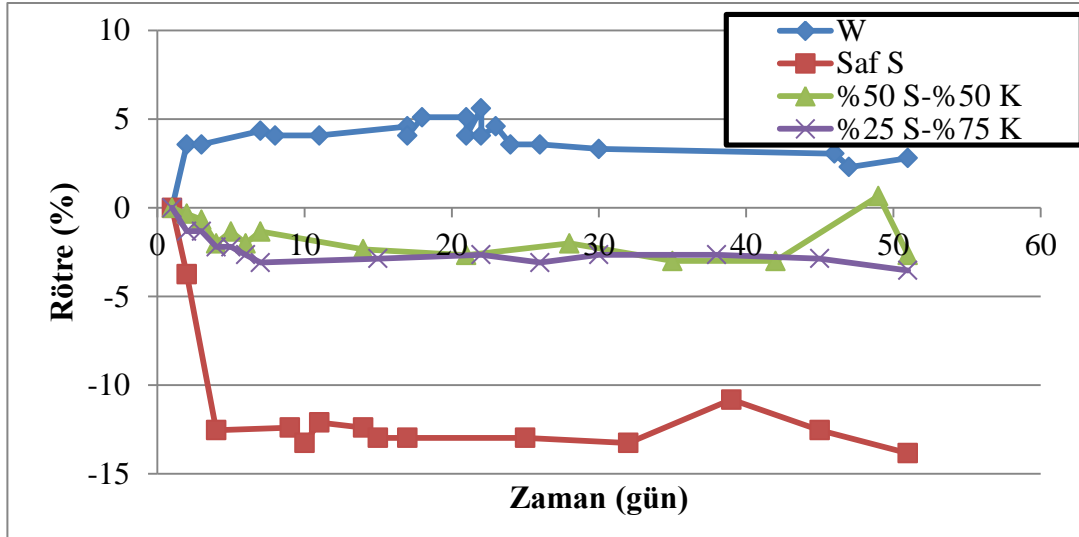
Kıvam ve priz süreleri tayini boyunca vicat kalıplarında bulunan numunelere kuvvet uygulayarak penetrasyon değerleri ölçülmüştür. Tamir harcının 8. dakikadan itibaren penetrometrede okuma yapılmaya başlanmıştır. 17. dakikada ise maksimum değere (0,032 MPa)'a ulaşmıştır. Sülfür harcının ise 1. dakikadan itibaren penetrometrede okuma yapılmaya başlanmıştır. 4. dakikada maksimum değere (0,032 MPa)'a ulaşmıştır. Penetrasyon deneyi için uygulanan gerilmenin (MPa) zamana (dk.) göre değişimi verilmiştir(Şekil 4.2 ).



Şekil 4.2 Tamir harçlarının penetrasyon tayini grafiği.

## 4.3 Rötrey Deneý Sonuçları

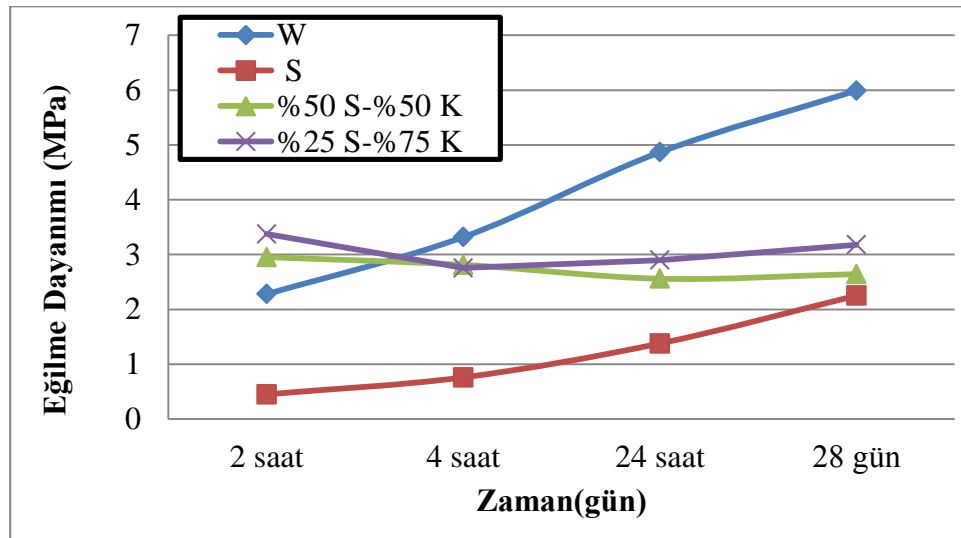
25x25x285 mm boyutlarındaki kalıplarına dökülen tamir harçlarının 51 günlük birim şekil değişimleri incelenmiştir. Tamir harcının 51 günün sonunda %3 gibi uzama miktarı, saf sülfür harcının %12 gibi kısaldığı, %50 S-%50 K karışımının %3 gibi kısaldığı ve %25 S-%75 K karışımının %4 gibi kısaldığı görülmektedir. Zamana bağlı olarak boy değişim yüzdeleri (rötrey) ölçülmüş ve grafikte gösterilmiştir(Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Tamir harçlarının Birim şekil değişimi- Zaman grafiği.

#### 4.4 Eğilme Deney Sonuçları

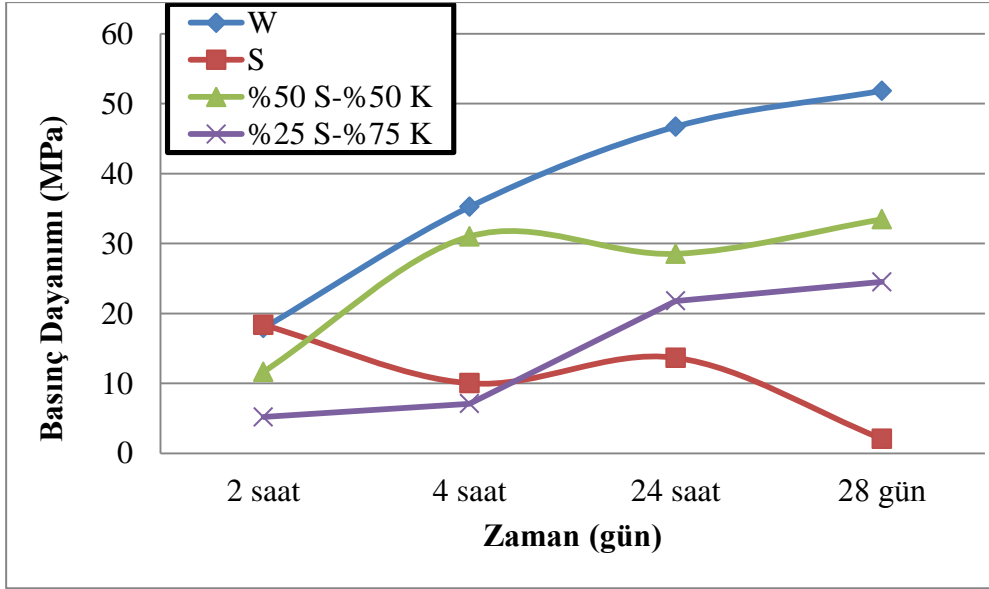
40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara dökülen tamir harçlarının eğilme dayanımları 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük olmak üzere MPa cinsinden hesaplanmıştır. Tamir harcının 2 saatten 28 güne kadar 2,2 MPa'dan 6 MPa'a yükselmiştir. Saf sülfürün ise 0,5 MPa'dan 2 MPa'a çıkmıştır. %50 S-%50 K karşımı ise 3 MPa'dan 2,8 MPa'a ve %25 S-%75 K karşımı ise 3,5 MPa'dan 3,2 MPa'a değişmiştir. Grafikte görüldüğü gibi eklenen kuvars kumunun eğilme dayanımını artırdığı görülmektedir. Eğilme dayanımlarının zamana göre grafiği verilmiştir(Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Tamir harçlarının Eğilme dayanım- Zaman grafiği.

## 4.5 Basınç Deney Sonuçları

40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara dökülen tamir harçlarının eğilme dayanımları yapıldıktan sonra ikiye bölünen parçalarına basınç dayanımları yapılmıştır. Yüzey alanı 4 cm<sup>2</sup>'ye uygulanan basınç kuvvetleri kN'dur. Bulunan basınç dayanımları ise 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük olmak üzere MPa cinsinden hesaplanmıştır. Tamir harcının 2 saatten 28 güne kadar 18 MPa'dan 51 MPa'ya yükselmiştir. Saf sülfürün ise 20 MPa 'dan 4 MPa'ya değişmiştir. %50 S-%50 K karşımı ise 10 MPa'dan 33 MPa'ya ve %25 S-%75 K karşımı ise 5 MPa'dan 25 MPa'ya gelmiştir. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi eklenen kuvars kumunun basınç dayanımını artırdığı görülmektedir. Hızlı dayanım kazanan tamir harcının ise 28 günün sonunda basınç dayanımının en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Tamir harçlarının basınç dayanımlarının zamana bağlı olarak grafiği Şekil 4.5'de görülmektedir.



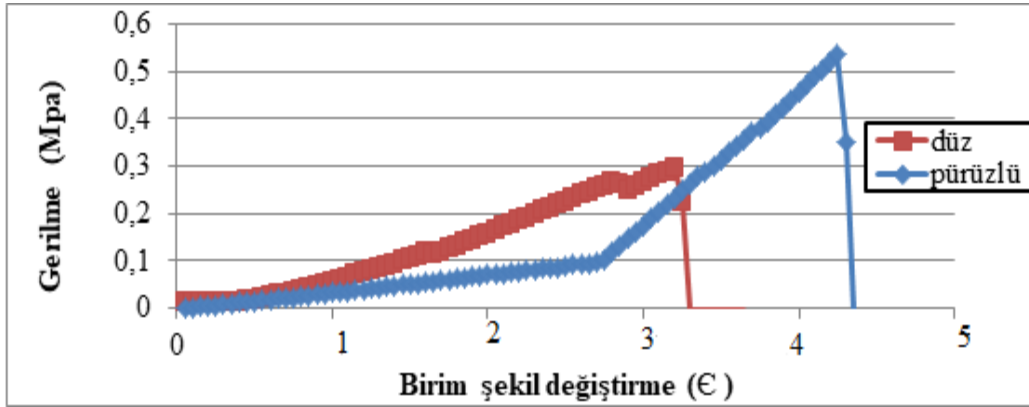
Şekil 4.5 Tamir harçlarının Basınç dayanım - Zaman grafiği.

## 4.6 Kayma Deney Sonuçları

### 4.6.1 2 Saatlik Kayma Deney Sonuçları

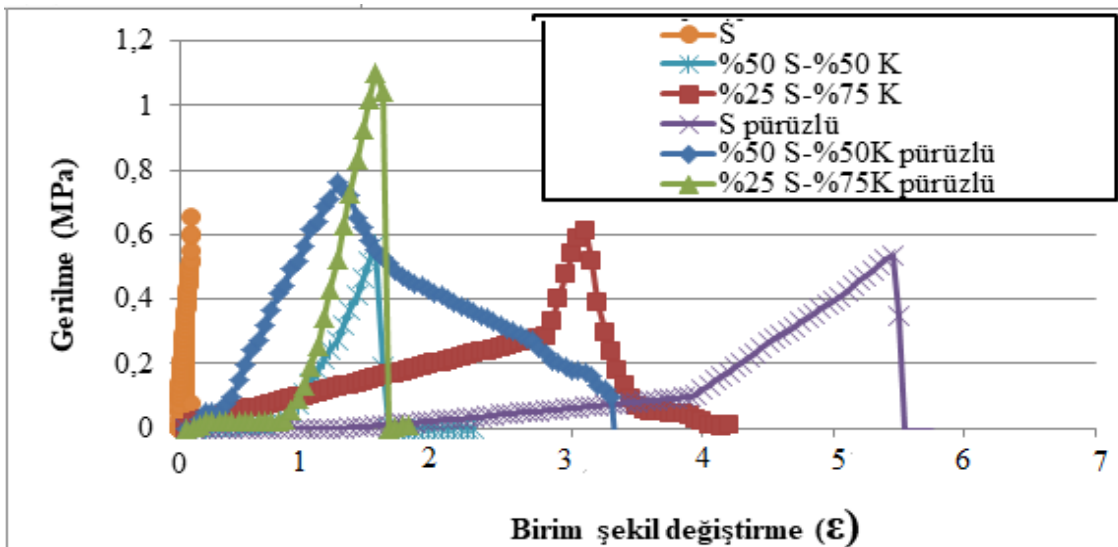
Hızlı katılaştan tamir harcı kayma gerilmesi için 70 mm çaplı 20 mm yüksekliğindeki plastik kaplardaki numuneler 2 saatlik düz yüzeylere temas eden kayma gerilmesi değeri (Şekil 4.6) 0,3 MPa bulundu, pürüzlü yüzeylere temas eden 2 saatlik kayma

gerilmesi ise 0,54 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi ortaya çıkmıştır. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.6 Tamir harcı 2 saatlik kayma deneyi.

Sülfür tamir harçlarının kayma gerilmesi pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere iki farklı şekilde dökülmüştür. Pürüzsüz yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi (Şekil 4.7) 0,64 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,58 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 0,62 MPa olarak bulunmuştur. Pürüzlü yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi 0,58 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,79 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 1,1 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi fark edilmiştir. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.

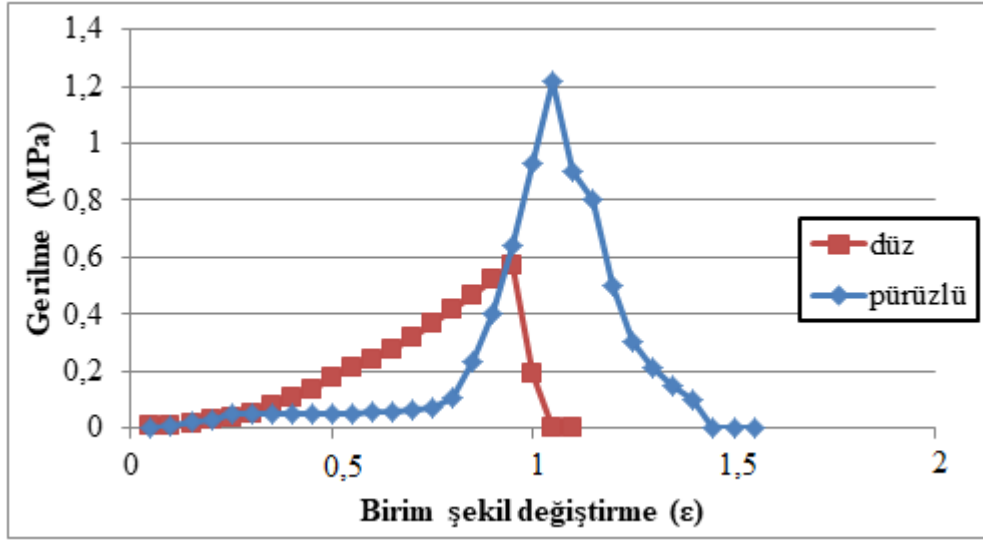


Şekil 4.7 Sülfür tamir harçlarının 2 saatlik kayma deneyi.



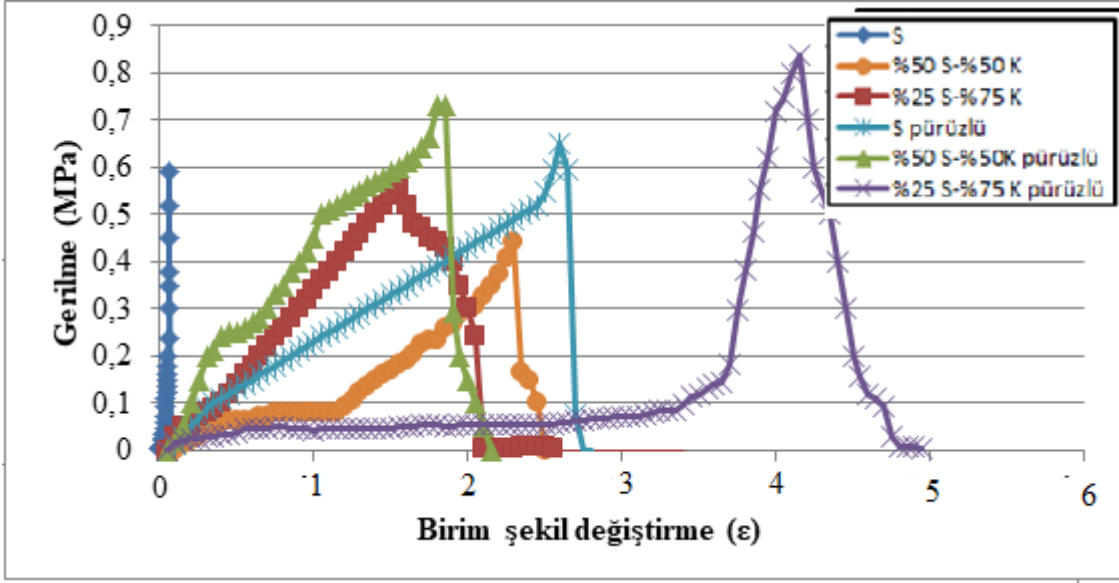
#### 4.6.2 4 Saatlik Kayma Deneý Sonuçları

Hızlı katılaşan tamir harcı kayma gerilmesi için 70 mm çaplı 20 mm ykseklilindeki plastik kaplardaki numuneler 4 saatlik düz yüzeylere temas eden kayma gerilmesi değeri (Şekil 4.8) 0,6 MPa bulundu, przly yüzeylere temas eden 4 saatlik kayma gerilmesi ise 1,2 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi ortaya çıkmıştır. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.8 Tamir harcı 4 saatlik kayma deneyi.

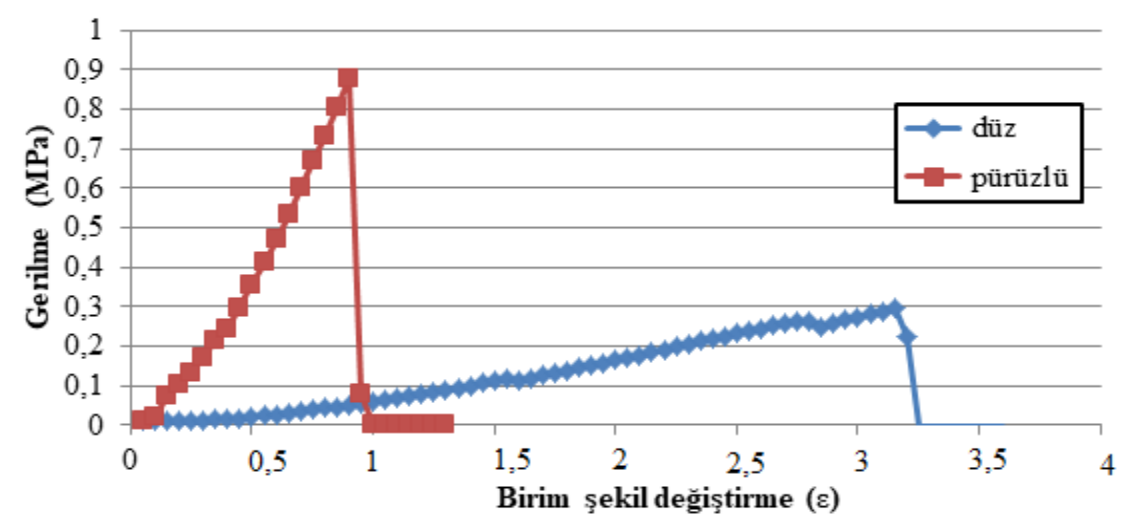
Sülfür tamir harçlarının kayma gerilmesi przly ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere iki farklı Şekilde dökülmüştür. Pürüzsüz yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi (Şekil 4.9) 0,6 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,46 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 0,57 MPa olarak bulunmuştur. Przly yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi 0,66 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,75 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 0,84 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi fark edilmiştir. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.9 Sulfür tamir harçlarının 4 saatlik kayma deneyi.

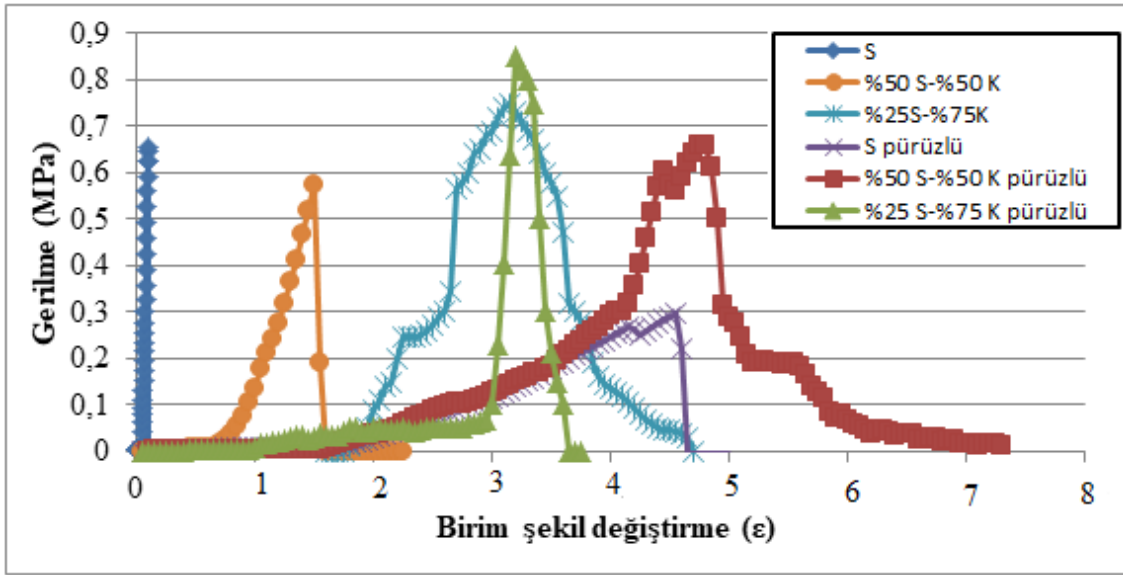
#### 4.6.3 24 Saatlik Kayma Deneyi Sonuçları

Hızlı katılaştıran tamir harcı kayma gerilmesi için 70 mm çaplı 20 mm yüksekliğindeki plastik kaplardaki numuneler 24 saatlik düz yüzeylere temas eden kayma gerilmesi değeri (Şekil 4.10) 0,3 MPa bulundu, pürüzlü yüzeylere temas eden 24 saatlik kayma gerilmesi ise 0,9 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi ortaya çıkmıştır. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.10 Tamir harcı 24 saatlik kayma deneyi.

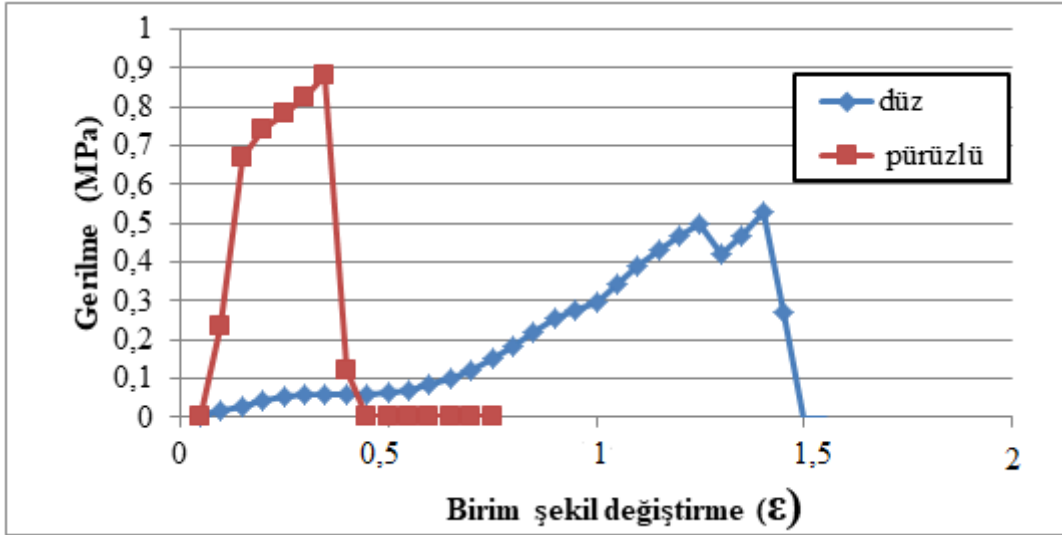
Sülfür tamir harçlarının kayma gerilmesi pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere iki farklı şekilde dökülmüştür. Pürüzsüz yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi (Şekil 4.11) 0,68 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,6 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 0,74 MPa olarak bulunmuştur. Pürüzlü yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi 0,3 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,69 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 0,85 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi fark edilmiştir. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.11 Sülfür tamir harçlarının 24 saatlik kayma deneyi.

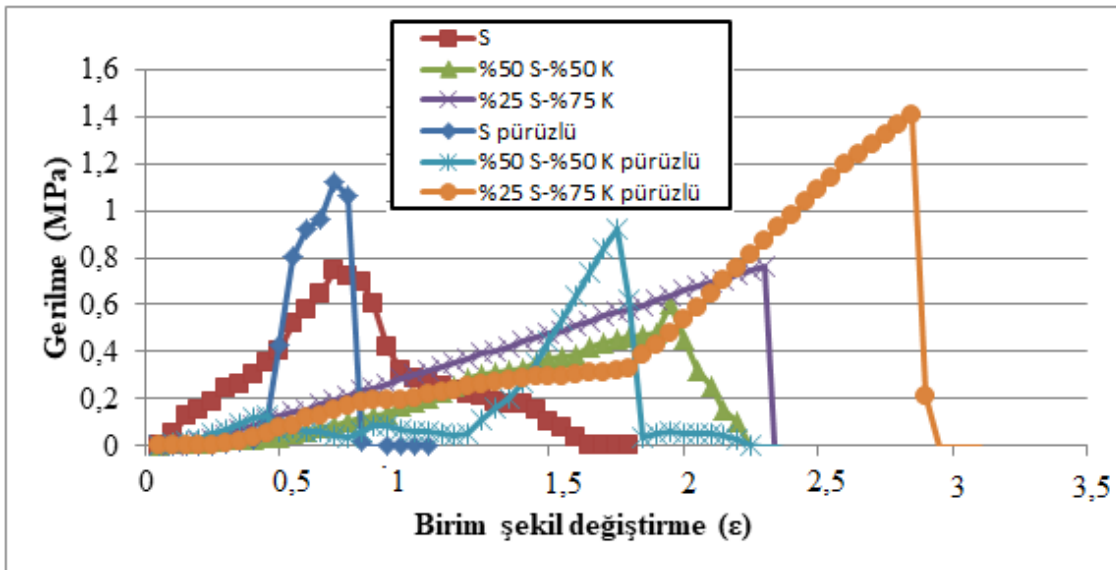
#### 4.6.4 28 Günlük Kayma Deney Sonuçları

Hızlı katılaştıran tamir harcı kayma gerilmesi için 70 mm çaplı 20 mm yüksekliğindeki plastik kaplardaki numuneler 28 günlük düz yüzeylere temas eden kayma gerilmesi değeri (Şekil 4.12) 0,52 MPa bulundu, pürüzlü yüzeylere temas eden 28 günlük kayma gerilmesi ise 0,9 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi ortaya çıkmıştır. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.12 Tamir harcı 28 günlük kayma deneyi.

Sülfür tamir harçlarının kayma gerilmesi pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere iki farklı şekilde dökülmüştür. Pürüzsüz yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi (Şekil 4.13) 0,8 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,6 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 0,78 MPa olarak bulunmuştur. Pürüzlü yüzey için saf sülfürün kayma gerilmesi 1,12 MPa, %50 S-%50 K karışımının 0,98 MPa ve %25 S-%75 K karışımının 1,4 MPa olarak bulunmuştur. Yüzey etkisinin kayma gerilmesindeki önemi fark edilmiştir. Bulunan kayma gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.

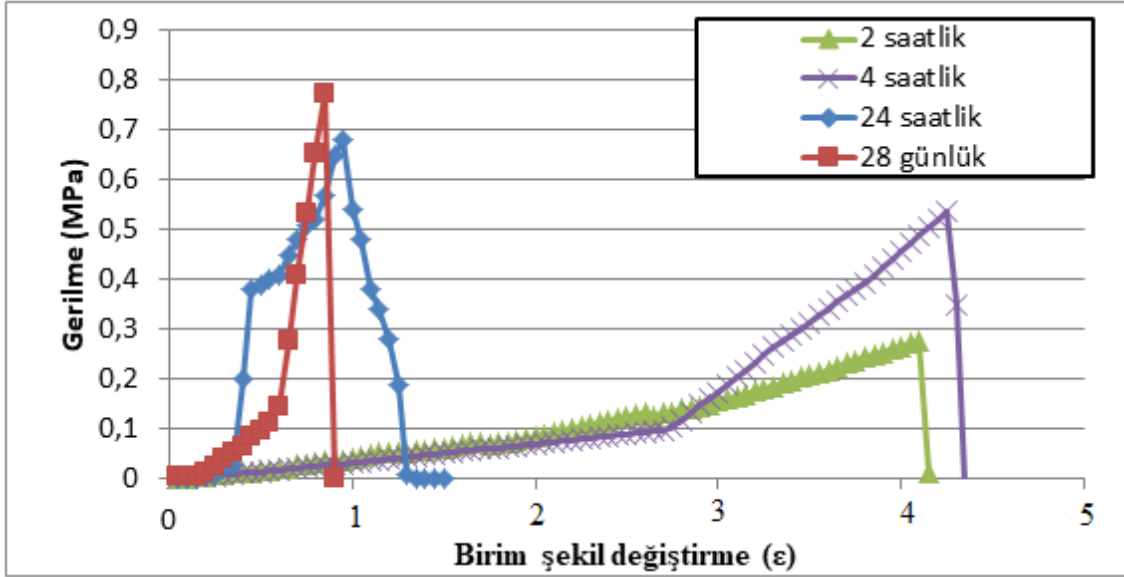


Şekil 4.13 Sülfür tamir harçlarının 28 günlük kayma deneyi.

## 4.7 Aderans Deney Sonuçları

### 4.7.1 Tamir Harcı Aderans Deney Sonuçları

Hızlı katılaştıran tamir harcı numunesi 70 mm çapında 20 mm yüksekliğindeki kalıpların iki yüzeyine de temas eden beton numunelerin aderans dayanımı yapılmıştır. 2 saatlik aderans dayanımı sonucu (Şekil 4.14) 0,3 MPa, 4 saatlik aderans dayanımı sonucu 0,52 MPa, 24 saatlik aderans dayanımı sonucu 0,7 MPa ve 28 günlük aderans dayanımı sonucu 0,8 MPa olarak bulunmuştur. Aderans dayanımının zamana bağlı etkisi görülmektedir. Bulunan aderans gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



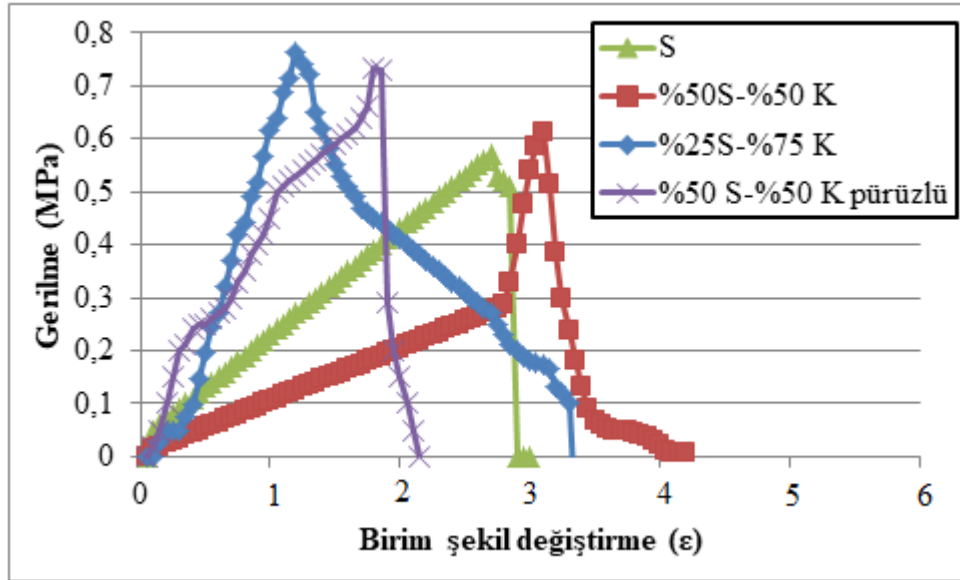
Şekil 4.14 Tamir harcının aderans deneyi.

### 4.7.2 Sülfür Harcı Aderans Deney Sonuçları

#### 4.7.2.1 Sülfür Harcı 2 Saatlik Aderans Deney Sonuçları

Sülfür tamir harçları 70 mm çapındaki 20 mm yüksekliğindeki plastik numunelere iki yüzeyine de temas edecek şekilde beton numuneleri pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere aderans dayanımı deneyleri yapılmıştır. Pürüzsüz yüzeylere dökülen saf sülfürün aderans dayanımı (Şekil 4.15) 0,58 MPa, %50 S-%50 K karışımının aderans

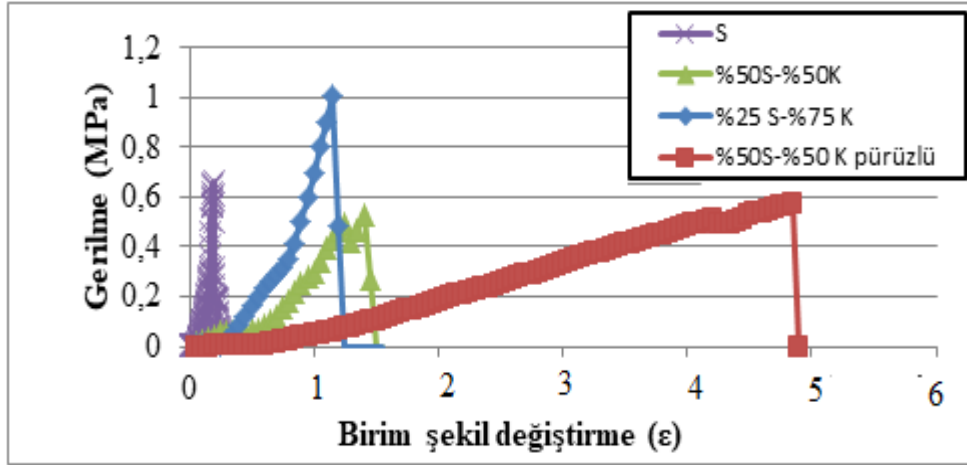
dayanımı 0,62 MPa, %25 S-%75 K karışımının aderans dayanımı 0,76 MPa olarak bulunmuştur. Pürüzlü yüzeye dökülen %50 S-%50 K karışımının aderans dayanımı 0,74 MPa olarak bulunmuştur. Kuvars kumunun oranının ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi görülmektedir. Bulunan aderans gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.15 Sülfür tamir harçlarının 2 saatlik aderans deneyi.

#### 4.7.2.2 Sülfür Harcı 4 Saatlik Aderans Deney Sonuçları

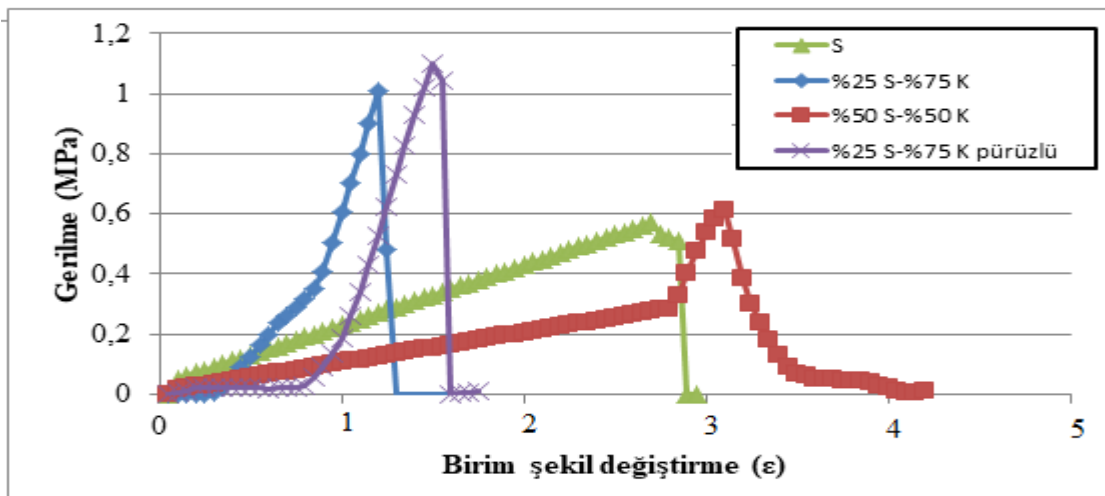
Sülfür tamir harçları 70 mm çapındaki 20 mm yüksekliğindeki plastik numunelere iki yüzeyine de temas edecek şekilde beton numuneleri pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere aderans dayanımı deneyleri yapılmıştır. Pürüzsüz yüzeylere dökülen saf sülfürün aderans dayanımı (Şekil 4.16) 0,65 MPa, %50 S-%50 K karışımının aderans dayanımı 0,58 MPa, %25 S-%75 K karışımının aderans dayanımı 1 MPa olarak bulunmuştur. Pürüzlü yüzeye dökülen %50 S-%50 K karışımının aderans dayanımı 0,6 MPa olarak bulunmuştur. Kuvars kumunun oranının ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi görülmektedir. Bulunan aderans gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.16 Sülfür tamir harçlarının 4 saatlik aderans deneyi.

#### 4.7.2.3 Sülfür Harcı 24 Saatlik Aderans Deney Sonuçları

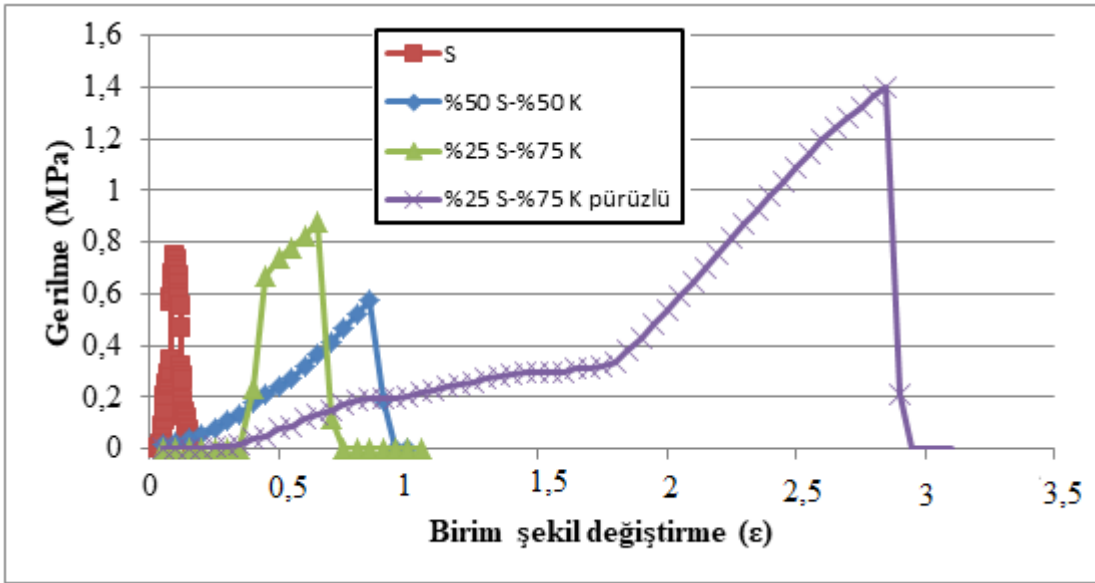
Sülfür tamir harçları 70 mm çapındaki 20 mm yüksekliğindeki plastik numunelere iki yüzeyine de temas edecek şekilde beton numuneleri pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere aderans dayanımı deneyleri yapılmıştır. Pürüzsüz yüzeylere dökülen saf sülfürün aderans dayanımı (Şekil 4.17) 0,58 MPa, %50 S-%50 K karışımının aderans dayanımı 0,62 MPa, %25 S-%75 K karışımının aderans dayanımı 1 MPa olarak bulunmuştur. Pürüzlü yüzeye dökülen %25 S-%75 K karışımının aderans dayanımı 1,4 MPa olarak bulunmuştur. Kuvars kumunun oranının ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi görülmektedir. Bulunan aderans gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.17 Sülfür tamir harçlarının 24 saatlik aderans deneyi.

#### 4.7.2.4 Sulfür Harcı 28 Günlük Aderans Deney Sonuçları

Sulfür tamir harçları 70 mm çapındaki 20 mm yüksekliğindeki plastik numunelere iki yüzeyine de temas edecek şekilde beton numuneleri pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler olmak üzere aderans dayanımı deneyleri yapılmıştır. Pürüzsüz yüzeylere dökülen saf sulfürün aderans dayanımı (Şekil 4.18) 0,8 MPa, %50 S-%50 K karışımının aderans dayanımı 0,6 MPa, %25 S-%75 K karışımının aderans dayanımı 0,9 MPa olarak bulunmuştur. Pürüzlü yüzeye dökülen %25 S-%75 K karışımının aderans dayanımı 1,4 MPa olarak bulunmuştur. Kuvars kumunun oranının ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi görülmektedir. Bulunan aderans gerilmelerinin uzama miktarlarına göre grafiği çizilmiştir.



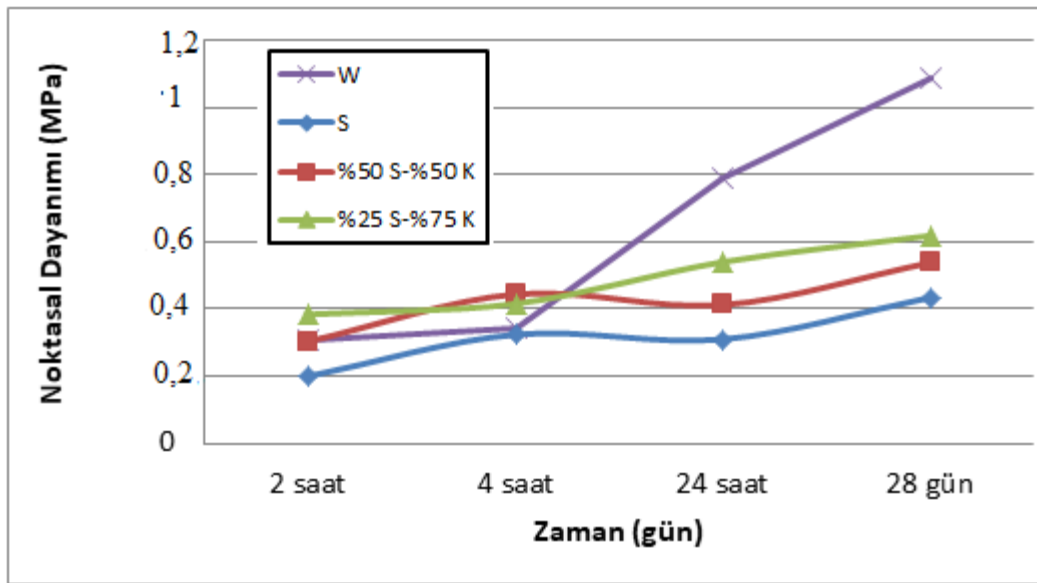
Şekil 4.18 Sulfür tamir harçlarının 28 günlük aderans deneyi.

#### 4.8 Noktasal Yükleme Deney Sonuçları

Kayma ve aderans dayanımları yapılan hızlı katılaşılan tamir harcı ve sulfür tamir harçlarının noktasal yükleme dayanımları yapılmıştır. 2 saatlik W harcının dayanımı (Şekil 4.19) 0,3 MPa, S harcının dayanımı 0,2 MPa, %50 S-%50 K karışımı dayanımı 0,3 MPa ve %25 S-%75 K karışımı dayanımı 0,38 MPa'dır. 4 saatlik W harcının



dayanımı 0,34 MPa, S harcının dayanımı 0,32 MPa, %50 S-%50 K karışımı dayanımı 0,44 MPa ve %25 S-%75 K karışımı dayanımı 0,41 MPa'dır. 24 saatlik W harcının dayanımı 0,79 MPa, S harcının dayanımı 0,31 MPa, %50 S-%50 K karışımı dayanımı 0,41 MPa ve %25 S-%75 K karışımı dayanımı 0,54 MPa'dır. 28 günlük W harcının dayanımı 1,08 MPa, S harcının dayanımı 0,43 MPa, %50 S-%50 K karışımı dayanımı 0,53 MPa ve %25 S-%75 K karışımı dayanımı 0,61 MPa'dır. Noktasal yükleme dayanımının zamana karşı grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.19 Tamir harçlarının Noktasal yükleme dayanım deneyi.

#### 4.9 Sürtünme (Kayma) Direnci Deney Sonuçları

Tamir harçlarının pandül test cihazında değerleri iki salınım arası 12 cm olacak şekilde ölçülmüştür. Tamir harcının pandüldeki değeri 54 derece, saf sülfür harcının değeri 23 derece, %50 kuvars karışım numunesinin 26 derece ve %75 kuvars kumu karışımı numunenin ise 33 derece olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerin kayma potansiyelleri Çizelge 4.1 ve kayma potansiyeli sınıflandırılması ise Çizelge 4.2 de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Kayma potansiyeli sonuçları.

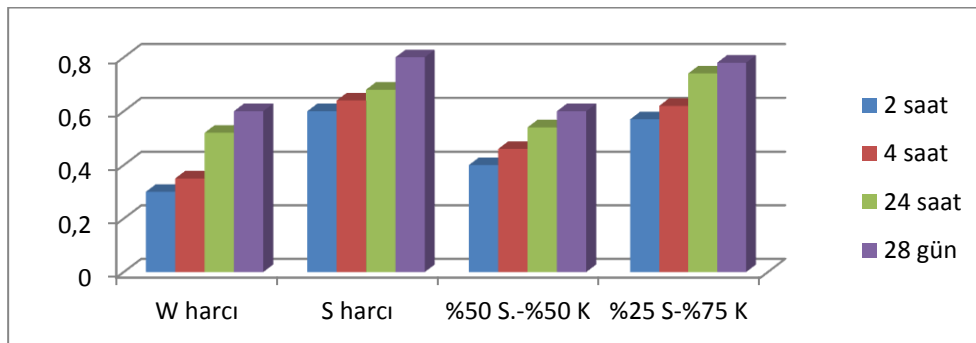
Harç sınıfı	Pandül değeri(derece)	Kayma potansiyeli
Tamir harcı	54	Düşük
Saf sülfür harcı	23	Yüksek
%50sülfür-%50 kuvars	26	Orta
%25sülfür-%75 kuvars	33	Orta

**Çizelge 4.2** Kayma potansiyelinin sınıflandırılması sonuçları.

Harç sınıfı	Pandül değeri(derece)	Sınıflama	Kayma potansiyeli
Tamir harcı	54	W	Düşük
Saf sülfür harcı	23	Z	Çok yüksek
%50sülfür-%50 kuvars	26	Y	Yüksek
%25sülfür-%75 kuvars	33	Y	Yüksek

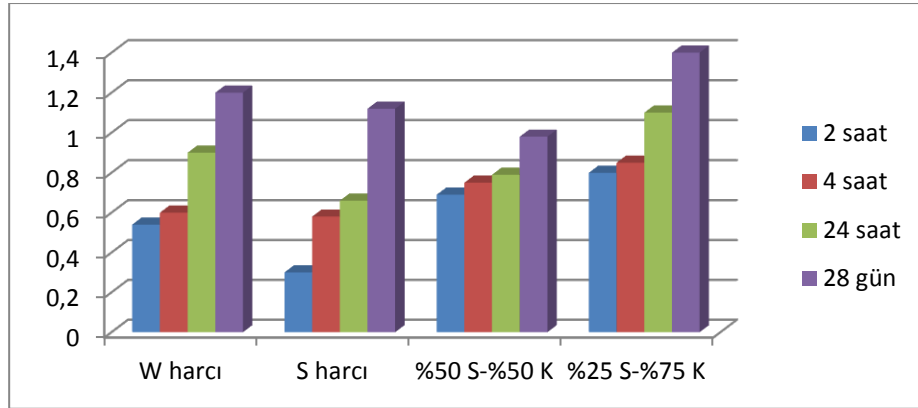
#### 4.10 Tamir Harçlarının Yüzey Değişimi Sonuçları

Tamir harçlarının yüzey değişimi ise hızlı priz alan tamir harcı için kayma gerilmesi zamana göre sürekli artmaktadır. Zaman geçtikçe aderans mukavemeti artmaktadır buda kayma dayanımını artırmaktadır. Saf sülfür harcı için ise priz alma süresinin zamana etkisi azalmaktadır. %50 S-%50 K ve %25 S-%75 K karışımlarının kuvars kumu yüzdesi arttıkça kayma dayanımları artmaktadır. Saf sülfürün göre yüzey etkileri kayma dayanımı için önem arz etmektedir. Şekil 4.20’de düz yüzeyler için kayma gerilmesinin yüzey değişimi gösterilmiştir.



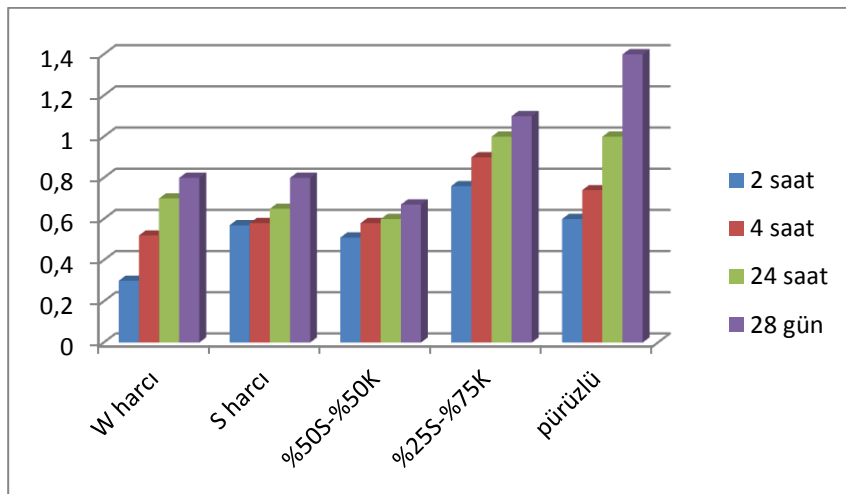
**Şekil 4.20** Kayma gerilmesinin düz yüzeylerdeki değişimi.

Kayma gerilmesinde yüzey değişimi pürüzlü yüzeyler için incelediğimizde hızlı priz alan tamir harcının zamana bağlı olarak arttığı görülmektedir. Saf sülfür harçlarının ise %50 S-%50 K ve %25 S-%75 K karışımlarına göre daha az olduğu görülmektedir. Zamana bağlı olarak yüzey etkisinden dolayı kayma gerilmesi artmaktadır. Şekil 4.21’de kayma gerilmesinin pürüzlü yüzeylerdeki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.21 Kayma gerilmesinin pürüzlü yüzeylerdeki değişimi.

Tamir harçlarının aderans gerilmesinin yüzey etkilerini incelediğimizde hızlı priz alan tamir harçlarının saf sülfüre göre daha iyi dayanım sağladığı fakat sülfür harcına %50 S-%50 K ve %25 S-%75 K karıştırdığımız zaman kuvars kumlarının dayanımı arttırdığı görülmektedir. Aynı numunelerin pürüzlü yüzeylere uyguladığımız zaman aderans dayanımları daha da artmaktadır. Yani yüzey etkisi dayanımı arttırmaktadır. Şekil 4.22’de aderans gerilmesinin yüzeylere etkisi gösterilmektedir.



Şekil 4.22 Aderans gerilmesinin yüzeylerdeki değişimi.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında beton yollarda oluşan bozulmalardaki onarım için kullanılacak susuz harç betonu daha hızlı bakım ve onarımını yapabilmektir. Tamir harcı betonlarının prizi alıp sertleşmesi için uygun hava sıcaklığına ihtiyaçları vardır. Donma sıcaklık değerleri altına inen beton tamir harçları sıcaklıkları sertleşme için birkaç saat kadar sürmektedir. Sıcaklık değerleri 37°C ve üzerinde olduğu zaman tamir harçlarındaki katılaşma süreleri 30 saniyeye kadar düşmektedir. Bu da bakım ve onarım esnasında yollardaki oluşan trafik aksaklıklarını minimize etmektedir. Tez çalışmasında kullanılan hızlı katılaşan tamir harcı ile sülfürün pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler üzerinde fiziksel ve kimyasal özellikleri kıyaslanmıştır. Kıyaslanma sonucunda sülfür tamir harçlarının daha kısa sürede priz aldığı görülmüştür. Priz süresi takibi sırasında kuvvet uygulanmıştır uygulanan kuvvet neticesinde sülfürün daha kısa sürede dayanım kazandığı tespit edilmiştir. Basınç dayanımları, eğilme dayanımları, kayma dayanımları, aderans dayanımları ve noktasal yükleme dayanımları hem tamir harcı hem de sülfür harçlarının saf sülfür karışımı, %50 S-%50 K karışımı ve %25 S - %75 K karışımı olarak pürüzlü ve pürüzsüz yüzey olarak kıyaslandığında sülfürün üstünlükleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda kimyasal özelliklerin yüzey yapısında daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

- Sülfürün kıvam ve priz alma süresi hızlı katılaşan tamir harcına göre daha kısadır. Sülfür 5 dakikadan az sürede kıvam alırken tamir harcı 10 dakikada almaktadır.
- Katılaşmaya başlayan sülfür harcının uygulanan kuvvet (MPa) zamana göre 4 dakikada maksimum seviyeye gelirken hızlı katılaşan tamir harcında bu süre 17 dakika sürmektedir.
- Tamir harçlarının boy değişim yüzdeleri zamana bağlı olarak tamir harcında % 4 gibi uzarken, saf sülfürde % 12 gibi kısalmakta, %50 S-%50 K harcında % 3 kısalmakta ve %25 S-%75 K harcında % 4 gibi kısalma görülmektedir.
- Tamir harçlarının eğilme dayanımları ise 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük zaman dilimlerinde tamir harcının 2,2'den 6 MPa'a çıkmıştır. Saf sülfürün ise 0,5 'den 2,2 MPa'a çıktığı, %50 S-%50 K'nun ise 3'den 2,8 MPa'a geldiği ve

%25 S-%75 K karışımlarının 3,5'ten 3,2 MPa seviyelerinde oldukları görülmüştür. Eklenen kuvars kumlarının sülfür reaksiyonlarında zamana bağlı olarak eğilme dayanımlarını attırdığı görülmektedir.

- Tamir harçlarının basınç dayanımları ise 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük zaman dilimlerinde bakılmıştır. Tamir harcının 18'den 51 MPa'a çıktığı, saf sülfürün ise 20'den 4 MPa'a geldiği, %50 S-%50 K'nun 10'dan 33 MPa'a geldiği ve %25 S-%75 K karışımlarının 5 'den 25 MPa seviyelerinde oldukları görülmüştür. Eklenen kuvars kumlarının sülfür reaksiyonlarında zamana bağlı olarak basınç dayanımlarını attırdığı görülmektedir.
- Beton tamir harçlarının kayma testlerinde ise zamana bağlı olarak kayma dayanımlarının arttığı görülmektedir. Kullanılan bu numunelerin pürüzlü ve pürüzsüz olması bile farklılık yaratmaktadır. Pürüzlü yüzeylerin kayma dayanımları daha yüksek çıkmaktadır. Sülfür harçları için yapılan kayma gerilmesi testlerinde kuvars kumu miktarı arttıkça kayma gerilmesi artmaktadır. Aynı zamanda yüzeyin pürüzlü olması pürüzsüz olmasına göre kayma dayanımını artırmaktadır.
- Beton tamir harçları aderans dayanımı sonucu hızlı katılaştıran tamir harçlarının zamana göre daha iyi aderans dayanımı göstermektedir. Sülfür harçları ise saf ve kuvarslı olmak üzere farklılık göstermektedir. Kuvars ilave miktarları arttıkça aderans dayanımları artmaktadır. Aderans dayanımına diğer etki ise yine yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzeyi pürüzlü olan numuneler pürüzsüzlere kıyasla daha fazla aderans dayanımı göstermektedir.
- Tamir harcı numunelerinin noktasal yükleme dayanımları 2 saat, 4 saat, 24 saat ve 28 günlük ölçülmüştür. Tamir harcı için 0,3'den 1,08 MPa'a, saf sülfür için 0,2'den 0,43 MPa'a, %50 S-%50 K'nun 0,3'ten 0,53 MPa'a ve %25 S-%75 K'ları için ise 0,38'den 0,61 MPa'a çıktıkları görülmektedir. Sonuç olarak eklenen kuvars kumunun saf sülfüre kıyasla noktasal yükleme dayanımını arttırdığı görülmektedir.
- Son olarak tamir harçlarının sürtünme (kayma) direnci potansiyeli deney sonuçlarında tamir harçlarının pandül değerleri saf sülfüre göre daha fazla çıkmaktadır. Saf sülfüre kuvars kumu ilave edildiği zaman pandül değerinin arttığı görülmektedir. Bu da sülfür harçlarının kayma potansiyelinin artırmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında piyasada kullanılan tamir harcı olarak tamir harcının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile kullandığımız sülfür harcının saf ve farklı yüzdelerde ilave edilen kuvars kumu karışım harçları karşılaştırılmıştır. Sülfürün üstünlükleri tespit edilmiştir. Bu üstünlüklere ilaveten kuvars kumu eklenerek de daha iyi priz alması ve dayanım kazanması sağlanmıştır. Beton yollarda kayma potansiyelinin azaltmak için ise sülfür harçlarına kuvars kumu ilave edilerek sağlanmaktadır. Bu çalışmada görüldüğü gibi beton yollar için en önemli sorunlardan biri olan bakım ve onarım süresi sülfür harcı kullanılarak daha da kısaltılmış olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- Abit Ö, 1996, Sessiz Beton, THBB Hazır Beton Dergisi - Beton Yollar Özel Eki.
- Ağar E, Süttaş İ, Öztaş G, 1996. Asfalt Kaplama İle Beton Yol Karşılaştırılması, THBB Hazır Beton Dergisi – Beton Yollar Özel Eki.
- Ağar E, Süttaş İ, Öztaş G, 1998, Beton Yollar 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Ağar E, Taşdemir Y, 2007, Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar, THBB.
- Akakın T, 2007, Almanya'daki Beton Otoyolların Yapım ve Tasarımında Son Gelişmeler, THBB.
- Akkaya Y, Taşdemir M 2007, Beton Yollarda Kullanılan Malzemelerle İlgili Genel Bir Değerlendirme, THBB.
- .Arioğlu E, Köylüoğlu Ö, Yüksek Performanslı Betonların Yol Kaplama Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi, THBB Hazır Beton Dergisi - Beton Yollar Özel Eki, 1996.
- Arioğlu E, Köylüoğlu Ö, 1996, Yüksek Performanslı Betonların Yol Kaplama Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, THBB Hazır Beton Dergisi – Beton Yollar Özel Eki.
- Baladi A, vd., 2017, Pavement Performance Measures and Forecasting and the Effects of Maintenance and Rehabilitation Strategy on Treatment Effectiveness FHWA-HRT-17-095 Michigan State University, East Lansing.
- Benedetto A, Pensa S, 2007, Indirect diagnosis of pavement structural damages using surface GPR reflection techniques.
- Coşkun G, 2015, Determination of Slip Potential of Natural Stone Used Test Equipments. 5 th International Mining Machinery Symposium and Exhibition of Turkey, 1-2 October 2015 Eskişehir.

- Darter M, 1993, Report on The 1992 U.S. Tour of European Concrete Highways, Federal Highway Administration, FHWA-SA-93-012, Washington, DC, January.
- Erdoğan T, 2003, Beton, 1. Baskı, METU Pres, Mayıs.
- Ergün M, Öztaş G, 2004, Beton Yolların Yüzey Özelliği ve Etkileri, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, Haziran, Bildiriler Kitabı, 268-275.
- Friend R, Schiavoni P, 2000, “CoMParitive Study Of Socio Economic Factors Related to Concrete and Asphalt Highway Surfaces” KPMG.
- Garcia V, vd., 2017, Improved Overlay Tester for Fatigue Cracking Resistance of Asphalt Mixtures.
- Ghafoori N, Sukandar B, 1995, Abrasion Resistance of Concrete Block Pavers, ACI Materials Journal, 92, 1.
- Güner M, Süme V, 2001, Yapı Malzemesi ve Beton, 3. Baskı, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- Hafezzadeh R, vd., 2021, Asphalt-based cold patches for repairing road potholes – An overview, South Dakota State University, Civil Engineering, M.Sc. Thesis, 87p, South Dakota.
- Henry J, 2000, Evaluation of Pavement Friction Characteristics. NCHRP Synthesis 291, Transportation Research Board, Washington DC.
- Hu J, vd., 2014, Monitoring of joint cracking development in concrete pavement with concrete embedment strain gages.
- Huidrom L, vd., 2013, Method for automated assessment of potholes, cracks and patches from road surface video clips.
- Juvinal R, 1967. Stres, Strain, and Strengh of Materials, McGraw-Hill Book CoMPany, New York.
- Karpuz O, 2008, Beton Yol Karışımındaki İnce Agreganın Yüzey Pürüzlülüğüne



Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Keyu Chen, vd., 2021, Mechanical and durability properties of metakaolin blended with slag geopolymer mortars used for pavement repair.

Macit S, 2003, Beton Yollar, Mühendislik Bülteni, 61, 21-24.

Macit S, 2009, Beton yol inşaatında kendiliğinden yerleşen betonun kullanılması üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Minh-Tu Cao, vd., 2020, Survey on performance of deep learning models for detecting road damages using multiple dashcam image resources.

OECD, 1972, Winter Damage To Road Pavements, Road Research Group, May, Paris.

Özey İ, 1992, Rijit Üstyapı ile Esnek Üstyapının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztaş G, 2007, Beton Yol Çatlaklarının İncelenmesi, TÇMB

Reza-Kashyzadeh K, vd., 2013, Study effects of vehicle velocity on a road surface roughness simulation.

Sadegzadeh M, Page C, Kettle R, 1987, Surface Microstructure and Abrasion Resistance of Concrete, Cement Concrete Research, 17, 4, 581–590.

Skorseth K, Selim A, 2000, Gravel Roads: Maintenance and Design Manual. Federal Highway Administration, Washington DC.

Sehim S, vd., 2021, Road surface damage detection based on hierarchical architecture using lightweight auto-encoder network.

Shtayat A, vd., 2020, A review of monitoring systems of pavement condition in paved and unpaved roads.

Şimşek O, 2004, Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, TÇMB.

Taşdemir M, Lydon F, Barr B, 1996, The Tensile Strain Capacity of Concrete, Magazine of Concrete Research, 48, 211-218.

THBB Hazır Beton Dergisi, 2002, Bir Seçenek Daha Var Beton Yollar Özel Eki.

Tunç A, 2001, Yol Malzemeleri Ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.

Uçar S, Konrapa U, 2002, Yol Üstyapıları Maliyetleri Araştırması.

.Vittorio A, vd., 2014, Automated sensing system for monitoring of road surface quality by mobile devices. Procedia-Social and Behavioral sciences, 111 (5) (2014), pp. 242-251.

Yang Q, vd., 2000, Properties and applications of magnesia–phosphate cement mortar for rapid repair of concrete, Civil Engineering, M.Sc. Thesis, 66p, Iowa.

Zhang C, Elaksher A, 2012, An unmanned aerial vehicle-based imaging system for 3D measurement of unpaved road surface distresses. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 27,118-129.

### **İnternet kaynakları**

1-<http://www.sarbeton.com.tr/?detay=hazirbetonhakkinda/hazir-beton-hakkinda&icdetay=beton-yollar>, 27.12.2021

2- <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-yollar>,08.11.2021

3-[https://www.turkcimento.org.tr/uploads/pdf/beton\\_yollarin\\_bakimi\\_icin\\_kullanim\\_kilavuzuKADIR.pdf](https://www.turkcimento.org.tr/uploads/pdf/beton_yollarin_bakimi_icin_kullanim_kilavuzuKADIR.pdf),04.11.2021

4- <http://hatay.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/215.pdf>,16.10.2021

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eray GÜL  
Doğum Yeri ve Tarihi : Horasan /1989  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : +90(536) 8550109/eraygul2535@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Erzurum Horasan Anadolu Lisesi (2004-2008)  
Lisans :Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2011-2016)  
Yüksek Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2020-2022)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Erzurum Büyükşehir Belediyesi Altyapı İşleri  
Özdemireller İnşaat (2016 – 2017)  
:Artvin Borçka Belediyesi Altyapı İşleri Saygınlar-  
Özdemireller İş Ortaklığı (2017 – 2019)  
: Afyon-Şuhut Yol Yapım İşi Gül İnşaat (2019  
– 2022)  
: Andırın-Göksun Yol Yapım İşi Gül İnşaat-Özdemireller  
İş Ortaklığı (2022 – Devam Ediyor)