

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TRABZON İLİ KIRSAL KESİMLERİNDE BETON KAPLAMA YAPIMI
TAMAMLANMIŞ YOLLARIN DAYANIM VE ÇATLAK OLUŞUMLARI
AÇISINDAN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

Fatma LERMİOĞLU

ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TRABZON İLİ KIRSAL KESİMLERİNDE BETON KAPLAMA YAPIMI
TAMAMLANMIŞ YOLLARIN DAYANIM VE ÇATLAK OLUŞUMLARI
AÇISINDAN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE STRENGTH AND CRACK FORMATION OF
CONCRETE PAVEMENT ROADS IN RURAL AREAS OF TRABZON
PROVINCE**

YÜKSEK LİSANS

Fatma LERMİOĞLU

**ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TRABZON İLİ KIRSAL KESİMLERİNDE BETON KAPLAMA YAPIMI
TAMAMLANMIŞ YOLLARIN DAYANIM VE ÇATLAK OLUŞUMLARI AÇISINDAN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE STRENGTH AND CRACK FORMATION OF CONCRETE
PAVEMENT ROADS IN RURAL AREAS OF TRABZON PROVINCE**

YÜKSEK LİSANS

Fatma LERMİOĞLU

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tevfik SEFEROĞLU

**ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Trabzon İli Kırsal Kesimlerinde Beton Kaplama Yapımı Tamamlanmış Yolların Dayanım ve Çatlak Oluşumları Açısından Araştırılması**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

03/02/2025

Fatma LERMİOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Trabzon İli Kırsal Kesimlerinde Beton Kaplama Yapımı Tamamlanmış Yolların Dayanım ve Çatlak Oluşumları Açısından Araştırılması" adı altında, gelecekte yapılacak çalışmalara rijit üst yapı kaplamalarında kullanılan betonun daha iyi anlaşılması ve daha erken dönemlerde önlemler alınarak daha uzun yıllar hizmet edebilecek çalışmalar yapılmasına zemin oluşturması açısından hazırlanmış bir durum değerlendirmesidir.

Bu çalışma konusunu bana öneren, fikirler veren ve çalışmalarımda destek olan en başta kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tevfik SEFEROĞLU'na ve laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Yavuz Selim AKSÜT'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Arazi çalışmalarım için gerekli İdari onayları veren kıymetli Müdürlerim ve ilgili kurumların personellerine, gerek arazi çalışmalarım sırasında yağmur çamur demeden, gerekse yazın çalışmalarımda her türlü bilgi ve becerisiyle yanımda olan çalışma arkadaşlarım Harita Mühendisi Derya KALYONCU, İnşaat Mühendisi Pelin YURDAKUL, Mimar Rüya EROĞLU'na ve beni sürekli harekete geçiren değerli abim ve iş arkadaşım Elektrik Yük. Mühendisi Muhammet BAKİ'ye teşekkür ederim.

Fatma LERMİOĞLU
GÜMÜŞHANE –2025

ÖZET

Ülkemizde asfalt yollar gibi ciddi anlamda üretim fırsatı yakalayamamış olan beton yolların yapımı son zamanlarda kırsal kesimlerde bir miktar hız kazanmıştır. Bu gelişme de bizlere beton yolların özellikle zorlu Karadeniz iklimi ve coğrafyasında daha iyi anlaşılması için bir inceleme fırsatı sunmuştur. Beton yolların Karayolu ağına henüz istenilen şekilde katılım fırsatını yakalayamaması, beton yolların hem teknik açıdan, hem de sektörün beton yol kalite kontrol ağına gelişmesinde ve uzmanlaşması açısından geride kalmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, Trabzon İlinde Rijit üst yapısı tamamlanmış ve üzerinden yaklaşık olarak 4-5 yıl geçmiş köy yollarından çalışma bölgeleri belirlenerek, çeşitli deneyler yapmak üzere karot numuneler alınmış, yollarda meydana gelen çatlak ve bozulmalar incelenerek yolların dayanım durumları araştırılmıştır. Yöntem olarak, yollardan 8'er adet karot numune alınmış, beton kaplama yapılan yolların ilk durumları, zamanla oluşan çatlak tipleri belirlenerek numuneler üzerinde yoğunluk tayini yapılmış, kapiler su emme değerlerine bakılmış, basınç dayanım deney sonuçları döküm sırasında alınan taze numune sonuçları ile kıyaslanmış ve yarmada çekme dayanım sonuçları da göz önünde bulundurularak güzergahlar hem kendi içlerinde değerlendirilmiş, hem de birbirleri ile karşılaştırılarak çatlakların durumları dahil edilmiş ve beton kaplamaların güncel durumları yorumlanmıştır.

Bu çalışma, kırsal bölgelerde yapılan beton yol uygulamaların, normal bir beton yol uygulamasında karşılaşılabilecek malzeme, kalite, kontrol, bakım gibi teknik sorunlardan biraz daha farklı olarak çevresel değişkenlerden oldukça fazla etkilendiğini ortaya koymuştur. Özellikle değişken yol genişlikleri, bazı kesimlerde darlıklar, gerekli kesimlerde temel ve alt temel eksikliği, zemin suyu yönünden zengin olan bu coğrafyada drenaj hendeklerinin olmaması veya bakımının yapılmaması, ulaşım açısından alternatif yol olmaması, trafiğe erken maruz kalma riskini ortaya çıkarması gibi sorunların belli başlı sorunlar olduğu görülmüş, bu bölgede beton yolların en fazla kuruma büzülmesine maruz kaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton kaplama, Çatlak, Dayanım, Kalite kontrol, Trabzon.

SUMMARY

The construction of concrete roads, which have not had the opportunity to be produced as seriously as asphalt roads in our country, has recently gained some momentum in rural areas. This development has provided us with an opportunity to better understand concrete roads, especially in the challenging Black Sea climate and geography. The fact that concrete roads have not yet had the opportunity to participate in the highway network in the desired way causes concrete roads to lag behind both technically and in terms of the development and specialization of the sector in the concrete road quality control network. In this study, core samples were taken from the village roads in Trabzon Province, whose rigid superstructure was completed and approximately 4 - 5 years have elapsed since the completion of the pavement, to perform various experiments, and the strength of the roads were investigated by examining the cracks and deterioration that occurred on the roads. As a method, 8 core samples were taken from the roads, the initial conditions of the roads with concrete pavements, the types of cracks formed over time were determined, density determination was made on the samples, capillary water absorption values were examined, compressive strength test results were compared with the fresh sample results taken during casting, and the tensile strength results at splitting were also taken into consideration and the routes were evaluated both within themselves and compared with each other, including the conditions of the cracks and the current conditions of the concrete pavements were interpreted.

This study has revealed that concrete road applications in rural areas are highly affected by environmental variables, which are slightly different from the technical problems such as material, quality, control and maintenance that can be encountered in a normal concrete road application. In particular, variable road widths, narrowness in some sections, lack of foundation and sub-base in necessary sections, lack of drainage ditches or lack of maintenance in this geography rich in ground water, lack of alternative roads in terms of transportation, and the risk of early exposure to traffic were found to be the main problems, and it was determined that concrete roads in this region were most exposed to drying shrinkage.

Keywords: Concrete pavement, Cracks, Strength, Quality control, Trabzon.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	VII
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yol Kaplamaları	5
1.2.1. Esnek (Asfalt) Kaplamalar	6
1.2.2. Rijit (Beton) Kaplamalar	8
1.2.2.1. Derzli Donatısız Kaplamalar	9
1.2.2.2. Derzli Donatılı Kaplamalar	10
1.2.2.3. Sürekli Donatılı Kaplamalar	11
1.3. Beton Yol Kaplama Yapımı.....	12
1.3.1 Malzemeler.....	12
1.3.2. Karışım.....	15
1.3.3 Nakil	17
1.3.4. Taze Beton Deneyleri.....	17
1.3.5. Beton Yerleştirme Öncesi Hazırlık	19
1.3.6. Yerleştirme ve Sıkıştırma.....	21
1.3.7. Yüzey Düzeltme İşlemleri.....	22
1.3.8. Bakım	23
1.3.9. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	24
1.4. Beton Yol Kaplamalarında Kullanılan Betondan Beklenen Özellikler	29
1.4.1. İşlenebilme	30
1.4.2. Dayanım	31
1.4.2.1. Basınç Dayanımı	31
1.4.2.2. Eğilmede ve Yarmada Çekme Dayanımı	32

1.4.2.3. Aşınma, Kayma ve Çarpmaya Karşı Dayanım	32
1.4.2.4. Kuruma ve Büzülme Dayanımı.....	34
1.4.2.5. Geçirimsizlik, Gözeneklilik, Porozite ve Su Emme	35
1.4.2.6. Donma ve Çözülme Etkilerine Karşı Dayanım.....	37
1.4.2.7. Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	38
1.5. Yapım Sonrası Kalite Kontrol ve Çalışmalar.....	39
1.5.1. Çatlaklar	40
1.5.1.1. Erken Yaş Çatlakları	40
1.5.1.2. İleri Yaş Çatlakları	43
1.5.2. Bozulmalar	46
1.5.3. Sorunlarla Mücadele	47
1.6. Literatür Araştırması	50
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	57
2.1. Giriş.....	57
2.2. Arazi Çalışmaları	60
2.2.1. Karot Alımı	60
2.2.2. Çatlakların Tespiti.....	66
2.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	68
3. BULGULAR.....	72
3.1. Basınç Dayanımı	72
3.2. Elastisite Modülü ve Yer Değiştirmeler.....	74
3.3. Yarmada Çekme Dayanımı	82
3.4. Ultrasonik Dalga Geçiş Hızı Deneyi.....	84
3.5. Yoğunluk Tayini Deneyi.....	86
3.6. Kapiler Su Emme Deneyi.....	87
3.7. Aşınma Dayanımı Deneyi	89
3.8. Donma ve Çözünme Deneyi	90
3.9. Çatlaklar	91
3.10. Bulguların İrdelenmesi.....	98
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	104
KAYNAKÇA.....	109
ÖZGEÇMİŞ	114

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Bağ demiri boyutları ve açıklıkları.	14
Tablo 2. Değişik tip yapılarda kullanılacak normal ağırlıklı betonlar için tavsiye edilen çökme değerleri	15
Tablo 3. Su/Çimento oranları ile beton basınç dayanımları arasındaki ilişki	16
Tablo 4. 1 m ³ betondaki iri agrega hacmi	16
Tablo 5. 1 m ³ betondaki ince agrega hacmi	17
Tablo 6. Ultrasonik dalga geçiş hızı deneyi sonuçların yorumu.....	26
Tablo 7. Beton sınıfları ve dayanımları.....	32
Tablo 8. Beton yollarda önerilen Onarım Yöntemleri (ACPA 2002’ dan aktaran Puyan 2003)	49
Tablo 9. Mahallerin koordinatları	58
Tablo 10. Taze beton küp numunelerin ortalama beton basınç dayanım deney sonuçları ve bu çalışma için alınan silindir karot numunelerin basınç dayanım deney sonuçları .	73
Tablo 11. Hesaplamalar sonucu bulunan Elastisite Modülleri.....	78
Tablo 12. Karotlar için yarmada çekme dayanım deneyi sonuçları	83
Tablo 13. Ultrasonik dalga geçiş hızı deneyi sonuçları	85
Tablo 14. Yoğunluk tayini deney sonuçları	86
Tablo 15. Yoğunluk tayini deneyinde yapılan hesaplamalar	86
Tablo 16. Kapiler su emme deneyi sonuçları ve su emme artış yüzdeleri.	88
Tablo 17. Aşınma deneyi sonuçları	90
Tablo 18. Donma çözünme deneyi sonuçları	91
Tablo 19. Mahallerde görülen çatlak tipleri.	93
Tablo 20. Çal Mahallesiinde görülen çatlak tipleri	94
Tablo 21. Gökçeler Mahallesiinde görülen çatlak tipleri	95
Tablo 22. Derecik Mahallesiinde görülen çatlak tipleri	96
Tablo 23. Çiğdemli Mahallesiinde görülen çatlak tipleri.....	97
Tablo 24. Yolgören Mahallesiinde görülen çatlak tipleri	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Bitümün agregaya sarılması (Tutan ve Komut, 2020).....	7
Şekil 2. Tipik esnek yol üst yapı en kesiti (Sağlık ve Güngör, 2008).....	7
Şekil 3. Tipik rijit yol üst yapı en kesiti (Kaşak ve Ark, 2019)	8
Şekil 4. Tipik kilitli parke (rijit) yol üst yapı kaplama kesiti	9
Şekil 5. Tipik derzli donatısız rijit yol üst yapı kaplaması en kesiti	10
Şekil 6. Tipik derzli donatılı rijit yol üst yapı kaplaması en kesiti	10
Şekil 7. Sürekli donatılı beton yol kaplama (Uyar ve ark, 2019).....	11
Şekil 8. Tipik sürekli donatılı rijit yol üst yapı kaplaması en kesiti.....	11
Şekil 9. Beton dökümü öncesi yolun son hali (Uyar ve ark, 2019)	20
Şekil 10. Kayar kalıp ile betonun serilmesi (URL-3)	21
Şekil 11. Kayar kalıp serici makine kısımları (Taylor ve ark, 2006).....	22
Şekil 12. Hidratasyon Süreçleri (Şahin, 2024).....	24
Şekil 13 Kirişlerin bir ve iki noktadan yükleme şekilleri sonucunda kesme kuvveti ve moment diyagramları (Erdoğan, 2010).....	29
Şekil 14 Kuruma ve suyla kürlenme sonrası betonun davranışı (Erdoğan, 2010)..	35
Şekil 15 Çimentolu sistemlerde oluşan gözeneklerin ölçü aralıkları (Tekin ve ark, 2011).	36
Şekil 16 Geçirimli beton kesiti (THBB, 2018).	37
Şekil 17 Plastik rötre çatlağı (Şahin, 2024).....	42
Şekil 18 Termal rötre çatlağı (Ekinci, 2022).....	42
Şekil 19 Kuruma rötresi çatlağı (Şahin, 2024), (Ekinci, 2022).....	43
Şekil 20 Oturma rötresi çatlağı (Yıldırım, 2017).	43
Şekil 21 Karbonatlaşma büzülmesi rötre çatlağı (Ekinci, 2022).....	44
Şekil 22 Donatı korozyonu çatlağı (Ekinci, 2022).....	45
Şekil 23 Donma ve çözünme etkisine maruz kalmış beton (URL-2).....	45
Şekil 24 Alkali silika reaksiyonu ve çatlak oluşumu (Yıldırım, 2017).....	46
Şekil 25 Beton yüzeyinde kabarcık oluşumu (URL-1).. ..	47
Şekil 26 Çal Mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı... ..	59
Şekil 27 Gökçeler Mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı.	59
Şekil 28 Derecik Mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı..	59

Şekil 29 Çiğdemli Mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı.	59
Şekil 30 Yolgören Mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı.....	60
Şekil 31 Çal Mahallesiinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri.	61
Şekil 32 Gökçeler Mahallesiinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri..	62
Şekil 33 Derecik Mahallesiinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri.	63
Şekil 34 Çiğdemli Mahallesiinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri.	64
Şekil 35 Yolgören Mahallesiinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri.	65
Şekil 36 Deney öncesi labaratuvarında karotlar.....	66
Şekil 37 Araştırma alanında tespit edilen çatlak tipleri..	67
Şekil 38 Araştırma alanında görüntülenen 1 nolu çatlak tipi.....	67
Şekil 39 Araştırma alanında görüntülenen 2 ve 3 nolu çatlak tipleri.....	67
Şekil 40 Araştırma alanında görüntülenen 4 ve 5 nolu çatlak tipleri.....	68
Şekil 41 Araştırma alanında görüntülenen 6 nolu çatlak tipi.....	68
Şekil 42 Basınç dayanım deneyine tabi tutulan karot numuneler.....	72
Şekil 43 Basınç dayanım deneyinden görüntüler.....	72
Şekil 44 Taze ve yaşlanmış beton basınç dayanımları.....	74
Şekil 45 Yer değiştirmelerin ölçümünde kullanılan cihaz	75
Şekil 46 Çal mahallesiinden alınan numunelerin yer değiştirme – zaman eğrileri.....	75
Şekil 47 Gökçeler ve Derecik mahallesiinden alınan numunelerin yer değiştirme – zaman eğrileri.....	76
Şekil 48. Çiğdemli ve Yolgören mahallesiinden den alınan numunelerin yer değiştirme – zaman eğrileri.....	77
Şekil 49 Çal mahallesi gerilme-yer değiştirme eğrileri.....	78
Şekil 50 Gökçeler ve Derecik mahallesi gerilme-yer değiştirme eğrileri.....	79
Şekil 51 Çiğdemli ve Yolgören mahallesi gerilme-yer değiştirme eğrileri	80
Şekil 52 Elastisite modülleri, TS 500 ve basınç dayanımlarının bir arada gösterimi	81
Şekil 53 Basınç dayanımı ile Elastisite modülü ilişkisi	81
Şekil 54 Yarmada çekme dayanım deneyine tabi tutulan karot numuneler.....	82

Şekil 55 Yarmada çekme dayanım deneyinden görüntüler.....	82
Şekil 56 Sırasıyla Yolgören ve Derecik mahallelerine ait yarmada çekme dayanım deneyinde kırılmış numuneler	84
Şekil 57 Ultrasonik dalga geçiş hızı deneyinden görüntü.....	84
Şekil 58 Ultrasonik dalga geçiş hızı deney sonuçlarının grafiksel gösterimi	85
Şekil 59 Yoğunluk ve boşluk oranının karşılaştırılması	87
Şekil 60 Kapiler su emme deneyinden görüntü	87
Şekil 61 Mahallerin artan süreye göre Kapiler Su Emme Katsayıları Grafiği.....	89
Şekil 62 Aşınma deneyinden görüntüler	89
Şekil 63 Mahallerin aşınma kayıplarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 64 Donma çözünme deneyi öncesi ve sonrası dayanım kaybı ve ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 65 Çalışma alanından bazı çatlak görüntüleri.....	92
Şekil 66. Çal mahallesi çatlak krokisi	94
Şekil 67 Gökçeler mahallesi çatlak krokisi.....	95
Şekil 68 Derecik mahallesi çatlak krokisi.....	96
Şekil 69 Çiğdemli mahallesi çatlak krokisi.....	97
Şekil 70 Yolgören mahallesi çatlak krokisi	98
Şekil 71 Çatlak tiplerinin mahallerde görülme sıklıkları	100
Şekil 72. Dalga hızı, yoğunluk ve boşluk oranının karşılaştırılması.....	101
Şekil 73 Basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	101

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Ayrıt
A	: Alan
A _c	: Hava muhtevası
A _s	: Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı
A ₁	: Deney uygulanan taze beton numunesinin görünür hava miktarı
AASHTO	: American Association of State Highway And Transportation Officials, Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACI	: American Concrete Institute, Amerikan Beton Enstitüsü
AGR	: Accord Grand Routes Avrupa Uluslararası, Ana Trafik Yolları Anlaşması
ark.	: Arkadaşları
ASTM	: American Society for Testing and Materials, Amerikan Malzeme ve Testler Derneği
BSEC	: Black Sea Economic Cooperation, Karadeniz Ekonomik İşbirliği Teşkilatı Karayolu Ağı
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
d	: Çap
D	: Betonun yoğunluğu
dk	: Dakika
Dr.	: Doktor
E	: Elastisite modülü
EATL	: Euro-Asian Transport Links, Avrasya Karayolu Bağlantıları
ECO	: Economic Cooperation Organization, Ekonomik İşbirliği Teşkilatı
EN	: European norm, Avrupa Normu
ESCAP	: Economic and Social Commission for Asia and The Pacific, Asya ve Pasifik Ekonomik ve Sosyal Komisyonu Karayolu Ağı

F	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
f_c	: Basınç gerilmesi, dayanım
f_{ck}	: Karakteristik basınç gerilmesi, dayanımı
f_{cm}	: Karakteristik yük
FCN	: Fully Convolutional Networks, Tamamen Evrişimli Ağlar
ft.	: Fit, uzunluk ölçü birimi
G	: Agrega düzeltme katsayısı
GAN	: Generative Adversarial Networks, Döngüsel Çekişmeli Üretici Ağları
gr	: Gram
h - h ₄	: Yükseklik
I	: Atalet momenti
ISO	: International Organization for Standardization, Uluslararası Standartlar Teşkilatı
in.	: İnç, uzunluk ölçü birimi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
kN	: Kilonewton
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
L	: Uzunluk, boy
m	: Metre
m ₀ - m ₁	: Kütle, ağırlık
M	: Moment
m ³	: Metreküp
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
MÖ	: Milattan Önce
MPa	: Megapascal
N	: Newton

r	: Bir noktadan cismin kenarına olan mesafesi
s	: Saat
sn	: Saniye
URL	: Uniform Resource Loader, Tekdüzen kaynak bulucu
P	: Kırılma yükü
S	: Dalga hızı ölçülen iki yüzey arası mesafe
t	: Zaman
TEM	: Trans-European North-South Motorway Project, Trans - Avrupa Kuzey - Güney Otoyolu Projesi
TEN-T	: Transport Eurpian Networks-Türkiye, Trans-Avrupa Ulaştırması Karayolu Ağı
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
TRACECA	: Transport Corridor Europe Caucasus Asia, Avrupa, Kafkasya ve Asya Ulaştırma Koridoru
TS	: Türk standardı
V	: Yoğunluk deneyinde kullanılan kabın hacmi
vb.	: Ve benzeri
V_d	: Ultrasonik dalga hızı
ε	: Birim uzama
ε_e	: Eksenel uzama
ε_y	: Yanal uzama
Δf	: Karakteristik basınç dayanımının aşılma ihtimaline göre belirlenen değer
σ	: Gerilme
σ_e	: Eğilme gerilmesi, dayanımı
σ_φ	: Çekme gerilmesi, dayanımı
μ	: Poisson oranı
μs	: Mikrosaniye

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsan var olduğundan beridir sürekli bir ulaşım süreci içerisinde. Beşeri dünyanın merakı, savaşları, ekonomik kazançları, ticari gelişimi, dini gerekleri, sosyal ihtiyaçları, çözümlenmesi gereken en önemli süreçlerden birinin ulaşım süreci olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ulaşım ve ulaşım araçları da ilerleyen zaman içerisinde gelişen dünya düzeni ile birlikte gelişim göstermiş, teknolojik atılımlardan üzerine düşen payı yakalamaya çalışmıştır.

Geçmişten günümüze temel ihtiyaçların artması, bilimin ışığında ortaya çıkan yeni buluşlar, insan hayatında yükselen yaşam konforunun gerekleri ve zaman kaybına yol açan ulaşım problemleri, ulaşımı oluşturan yolların ve araçların teknolojik gelişmelerle birlikte gelişmesini de beraberinde getirmiştir.

İnsanlar ilk ulaşım aracı olan yürüyüşlerinde, ulaşmak istedikleri yere en kolay ve en az yorularak ulaşabilmek için, yakın ve engebesiz güzergahlar seçerek patikaları oluşturmuşlar, hayvanlardan yararlanmışlardır. Dereleri, daha büyük su yollarını geçebilmek için kullanılan kütükler, salları, deniz yoluyla geçebilmek için yapılan ilkel tekneler daha sonraları tekerlekli araçlara, gemilere evrilmişlerdir. İnsanlık tarihinde ulaşım Avusturalya ve Amerika'ya yapılan deniz yolu geçişleriyle başlamış, daha sonra yerleşik hayata geçişin göstergelerinden biri olan çiftçilik ve tarım işlerinin başlamasıyla, tekerlekli ve hayvanlı araçların kullanılması, patikaların bu araçların kullanımına uygun yollara çevrilmesi ile gelişme göstermiştir.

Dünyada ilk ve orta çağlarda ortaya çıkan ticari alışverişler yol ağlarının oluşması ve gelişmesi için en belirgin sebep olarak kendini göstermektedir. En bilinenlerinden; MÖ oluşturulmaya ve kullanılmaya başlanan, kuzey ve güney olmak üzere iki ana güzergâhı bulunan Asya, Avrupa ve Afrika'yı birbirine bağlayan, ticari, kültürel, sosyal iletişimi sağlayan, birçok koluyla adeta dünyayı sarıp sarmalayan 8000 km uzunluğunda ki İpek Yolu (Yılmaz, 2017), yine MÖ kullanılmaya başlanan Hint baharatlarını Asya'dan Avrupa'ya taşıyan, deniz yolunun önemli ölçüde güzergâh oluşturduğu, birçok devletin yolun hâkimiyeti için savaşlara giriştiği ve Süveyş kanalının devreye girmesiyle önemini yitiren Baharat yolu (Türkhan, 2022), 2500 m'lik uzunluğuyla Batı Anadolu ile İran arasında, daha çok idari haberleşme, vergilerin toplanması, haberleşme için kullanılsa da ticari anlamda da önemli bir ulaşım güzergâhı olan Kral Yolu (Kalkan,

2022), Roma, Almanya ve Adriyatik sahilleri arasındaki en önemlilerinden biri olmak üzere, tuz çıkarılan yerlerden önemli yerleşim yerlerine tuz ticareti yapmak için kullanılan tuz yolları, Tibet, Çin, ve Hindistan arasında, oldukça tehlikeli güzergahlardan geçen at ve çay yolu, Sahra çölünde kıymetli madenler ve özellikle köle ticaret yapılan sahra yolu, Yemen civarı ile Kudüs arasında koku ticareti için kullanılan tütsü yolu, Mısır ile İsveç Norveç gibi Baltık ülkeleri arasında kıymetli taşların taşındığı amber yolu gibi kara yolları, Nil, Dinyeper, Ren Nehri, nehir ticaret yolları, Akdeniz, Kızıldeniz, İran, Karadeniz, ve Kuzeydeki deniz yolları (Yıldırım, 2022) olarak öne çıkmaktadır. Dünya, ticaretini insanların toplanma merkezlerine ulaştırarak ihtiyaç duyduğu gereksinimlere sahip olabilmek, savaşlarını kazanabilmek, kaybettiğinde kaçabilmek, kıtlıklardan, afetlerden uzaklaşabilmek, yeni yerler keşfedebilmek adına ulaşım konusunda adını koyamasa da sürekli bir gelişme süreci yaşamıştır.

Ülkemizde Anadolu'da MÖ Babil-Thapsakus Yolu, Hititlerde Hattuşas, Friglerde Gordion, Lidyalılarda Sart, Urartularda Malazgirt çevresi yol ağları, Anadolu Perslere geçtiğinde Kral Yolu, Konya, Antalya, Erzurum, Alanya, Sivas, Aksaray çevresindeki kervan yolları, İran, Türkistan, Trabzon'a kadar uzanan ticaret merkezlerinin bulunduğu yollar öne çıkmaktadır.

Modern çağın ilk beton yolu 1880 yılında Avustralya'nın Sydney şehrinde yapılmıştır. ABD'de ki ilk beton yol ise 1891 yılında Ohio inşa edilmiştir ve günümüzde hala kullanılmaya devam etmektedir (Yeğinobalı, 2010). 1933 yıllarından sonra Almanya'da endüstriyel dönemin başlamasıyla birlikte beton oto yol şantiyeleri kurulmuş, sonrasında Fransa ve Belçika'da beton oto yol yapımına geçmiştir. 1960'lı yıllara girilmesiyle ABD'de yaklaşık olarak 70000 km civarında beton yol hizmete açılmıştır. Çek Cumhuriyeti, ABD, İngiltere, Avusturya, Hollanda gibi ülkelerde beton yolların dayanım açısından esnek yollara göre üstünlüklerini ortaya çıkarıcı çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Dr. John P. Zaniwski, Belçika hükümeti ve Dünya Bankası için beton yol ve esnek üst yapıların maliyet analizi üzerine yaptığı bir çalışmada rijit üst yapılarda esnek üst yapılara göre %20 yakıt tasarrufu sağlandığını tespit etmiştir (THBB, 2003).

Ülkemizde Cumhuriyet ilan edildikten sonra II. Dünya savaşına kadar olan dönemde karayolları incelendiğinde, 13900 km stabilize, 4450 km toprak yol ve 94 Adet köprüden oluşan bir yol ağı olduğu görülmektedir. 1925 yılında çıkarılan Yol Mükellefiyeti Kanunu ile halka yol yapım işlerinde yükümlülük verilmiş daha sonraları bu yetki İl Özel İdarelerine verilmiştir. Bu dönemlerde daha çok demir yolu yapımına ağırlık verilmiştir. II. Dünya savaşı bittiği 1945'li yıllarda ülkemizdeki karayolu uzunluğu

yaklaşık olarak 43511 km idi. 1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğünün kurulmasıyla birlikte ülkenin her köşesine hizmet götürebilmek adına, karayollarına ayrılan ödenek artırılmış ve karayollarına demir yollarından daha fazla ağırlık verilmeye başlanmıştır. 1960 yılından sonra ülkede ulaşımında planlama politikası başlatılarak, yeni stratejiler belirlenmiş ve ülkede gelişen sanayi, tarım ve turizm faaliyetlerinin gereksinim duyduğu ulaşım hatları için çalışmalar başlatılmıştır. Bu itibarla; Boğaziçi köprüsü, Çevre Yolu, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, Gebze, İzmit, Tarsus, Pozantı, Kapıkule, Edirne, gibi önemli otoyol yapımları gerçekleşmiştir. 2000 yılında artık otoyol yapımı, yollarda standartları yükseltme ve metro projelerine ağırlık verilmiş ve Ankara ile İstanbul gibi kalabalık şehirlerde metro çalışmaları başlamıştır. 2000 yılından sonra bölünmüş yol çalışmaları başlamış, sathi kaplama yol uzunluğu artmış, stabilize yol yapım hızında azalma görülmüştür. Karayolları Genel Müdürlüğünün 2016 yılı verilerinde ülkedeki toplam karayolu uzunluğunun 66774 km'ye çıktığı görülmektedir. Bu yıla ait veriler incelendiğinde 20801 km'lik bir uzunluğun toplamda asfalt ve beton yol yapıldığı görülmektedir (Aydın ve Oral, 2018). Karayollarında yaşanan bu gelişmelere karşılık demiryollarında durağan dönemin başlangıcı olmuştur. Yük taşımacılığında karayollarının demir yoluna göre daha hızlı olması da karayollarına ilgiyi artırmıştır. 2009 yılının yük taşımacılık sayısına bakıldığında ülkede yük taşımacılığının %89, yolcu taşımacılığının ise %97 gibi bir yüzdeyle karayollarını kullandığını göstermiştir. Buda hem taşıma aracına hem de yakıta duyulan ihtiyacı artırmış ve ülkenin ithalatının yükselmesine sebep olmuştur (Çetin ve arkadaşları, 2011). Burada karayolu kaplaması olarak beton yol kullanımının yok denecek kadar az olması, asfalt yolda kullanılan bitüm ihtiyacının da ithalatla elde edilmesi sonucu doğurmakla birlikte yine ithalatın yükselmesine katkı sağladığı nihayetinde tespit edilebilmektedir.

2010 yılından sonra finansman sağlamak amacıyla, ulaşım yapıları yatırım politikası değiştirilerek Yap İşlet Devret modeli ile yol ihaleleri gerçekleştirilmeye başlanmış, bu yöntemle Kuzey Marmara, İstanbul/İzmir, Ankara/Niğde, Menemen/Aliağa/Çandarlı, Otoyolları, 2020'li yıllarda Yenikent/Temelli, Zonguldak/Kilimli ve Ereğli yolları, Malkara/Çanakkale Otoyolu, Çanakkale, Kömürhan, Tohma, Hasankeyf, Zarova, Köprüleri, Zigana, Phselis, Pirinkayalar Tünelleri gibi birçok yatırım hayata geçirilerek tamamlanmıştır (KGM, 2023).

Ülkemizde yolların yapım, bakım ve onarım işleri her yolun bağlı olduğu kurum tarafından yapılmaktadır. Bu yollar; Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğunda bulunan Otoyol, devlet ve il yolları, Belediyelerin sorumluluğunda bulunan şehir içi yolları, İl Özel İdareleri sorumluluğunda bulunan Köy yolları, Orman Bakanlığının

sorumluluğunda bulunan Orman yolları, Kültür ve Turizm Bakanlığının sorumluluğunda bulunan Turistik yollardır. 2022 yılı itibariyle karayollarının sorumluluğunda bulunan yol uzunluğu 68689 km'dir (KGM, 2024). İl Özel İdareleri sorumluluğunda bulunan köy yolları ise 80569 km asfalt ve 6959 km beton yol olmak üzere toplamda 192502 km uzunluğundadır (CSB, 2024).

Türkiye coğrafi konumu itibariyle Asya ve Avrupa arasında bir köprü gibi uzanmakta ve birçok uluslararası ulaşım yollarını da içinde barındırmaktadır. Nitekim daha önce anlatılan ve hala geçerliliğini koruyan İpek yolu da tarihte Anadolu' nun uluslararası ulaşımındaki yerinin önemi göstermektedir. 2013 yılı itibariyle ülkemizin de içinde bulunduğu 8 adet uluslararası ulaştırma yol ağı bulunmaktadır.

Avrupa ile Asya'yı Türkiye üzerinden 9353 km uzunluğu ile birbirine bağlayan, E yolları (Ana Trafik güzergâhları için Avrupa Anlaşması (AGR)), Yunanistan girişli E-90, Bulgaristan girişli E-80 ve Samsun limanı girişli E-70 olmak üzere 3 ana giriş hattından oluşmaktadır.

Kapıkule'den başlayarak Avrupa ile Orta Asya'yı Türkiye üzerinden 5268 km uzunluğu ile birbirine bağlayan ve nihayetinde Tokyoya kadar olan bölgeye uzanan Asya ve Pasifik Ekonomik ve Sosyal Komisyonu Karayolu Ağı (ESCAP), 32 üye ülkesiyle birlikte bu ülkeler arasındaki ticaret ve turizmin gelişmesini ve hedef standartlarında güvenilir bir yol ağı üzerinden taşımacılık ve seyahat amacını gütmektedir.

Orta Asyadaki Kafkas ülkelerinin Avrupa karayollarına ulaşımalarının sağlanması için ortaya çıkarılmış Avrasya Karayolu Bağlantıları (EATL) projesi yol ağları, Asya ve E yollarının da bu projeye dahil edilmesiyle Türkiye sınırlarındaki uzunluğu 5663 km'lik bir hattan oluşmaktadır.

Kapıkuleden başlayarak, Sarp, Gürbulak, Cilvegözü ve Habur sınır kapılarına kadar Türkiye üzerinden 6940 km uzunluğu ile ulaşan Trans - Avrupa Kuzey - Güney Otoyolu Projesi (TEM) yol ağı, E yol ağının da bir kısmını oluşturmaktadır.

Kapıkuleden giriş yaparak İpekyolu güzergahından Karadeniz yolunu izleyen ve Sarp sınır kapısına ulaşan, Gürbulak, Türkgözü, Kapıköy, Esendere sınır kapılarına bağlantı sağlayan Türkiye üzerinden 11582 km uzunluğu ile geçen Avrupa, Kafkasya ve Asya Ulaştırma Koridoru (TRACECA), İpekyolunu eski görkemine kavuşturmayı hedeflemekte, ülkelerarası ticaret, ekonomi, sosyal ve kültürel kalkınmayı amaçlamaktadır.

Türkiye, Rusya, Ukrayna, Azerbaycan, Bulgaristan, Yunanistan, Gürcistan, Ermenistan, Arnavutluk, Romanya, Moldova arasında imzalanan deklarasyon sonucu

oluşturulan Karadeniz Ekonomik İşbirliği Teşkilatı Karayolu Ağı (BSEC)'nin Türkiye zerindeki uzunluğu 4472 km²'ye ulaşmaktadır.

Türkiye, İran ve Pakistan ile kurulup daha sonra Türkmenistan, Tacikistan, Kırgızistan, Kazakistan, Azerbaycan, Özbekistan ve Afganistanın da ye olduğu Ekonomik İşbirliği Teşkilatı (ECO) yol ağının 9914 km'lik kısmı Türkiye üzerinde kalmaktadır.

Türkiye ve AB lkeleri arasında ticari mal ve hizmetlerin güvenilir, kolay, hızlı geçiş ve dolaşımını sağlamayı amaçlayan Türkiye Trans-Avrupa Ulaştırması Karayolu Ağı (TEN-T)'nin Türkiye sınırları içerisinde kalan uzunluğu 16799 km'dir (KGM, 2024).

1.2. Yol Kaplamaları

İlk ağlarda insanlar, yürüyerek daha sonra hayvanların evcilleştirilmesiyle hayvanlar aracılığıyla ulaşım ihtiyaçlarını gryorlarken yollar patikalardan oluşuyor, topoğrafik yapının insan eliyle ıslah edilmesi çok g ve zaman istediğinden, minimum düzeyde iyileştirmelerle patikalar geçişe uygun hale getiriliyordu. Bu zamanlarda geçişin imkânsız olduğu dereler veya nehirlerde yapılan köprüler zamanının en önemli yapıları olarak ortaya çıkmaktadır. ağın ilerlemesi, teknolojinin gelişmesi tekerleğin buluşu, at arabalarının kullanılmaya başlanmasıyla birlikte patikaların tekerlek geçişine uygun hale getirilmesi gerekliliği ortaya çıkmış ve yolların tarihteki ilk teknik ıslah çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Yollarda geçişe izin vermeyen balıkların temizlenmesi, yerine kalın ve zeminin oynamasını engelleyen taşların yerleştirilmesi, moloz taşlarla yolların düzeltilmesi gibi çalışmalarla yollar ıslah edilmiştir. Yol altlarında veya kenar kısımlarında drenaj kanalları ile suyun yollardan uzaklaştırılması, yolların moloz, yontu veya kesme taşlarla kaplanması gibi çalışmalar ile yollar kaplanmaya başlanmıştır. Teknolojinin ve mühendisliğin ilerlemesi, yeni malzemelerin veya karışımının bulunması, ihtiyaçların değişmesi gibi sebeplerle yol kaplamaları çeşitlenmekte, kullanım yerleri, malzemeye yakınlık ve ekonomik durum gibi kriterler göz önünde bulundurularak kaplama türü tercihi yapılmaktadır.

Günümüzde yol kaplama türleri genel olarak esnek ve rijit kaplamalar olarak ikiye ayrılmakta, bu iki malzemenin bir arada kullanılmasıyla 3. bir tür olan kompozit kaplamada literatürde göze çarpmaktadır.

Yol kaplama türü ne olursa olsun, ilk olarak yol alt yapısının kaplamaya uygun hale getirilmesi için, gerekli zemin çalışmalarının yapılması, gerekliyse zeminin ıslah edilmesi, yol hendek, drenaj, duvar, menfez, alt temel ve temel çalışmalarının iyi bir

projelendirmeye yapılması ve nihayetinde kaplama tabakasının yapımına geçilmesi gerekmektedir.

Kaplamalar yolun en üst tabakası olduğundan, atmosferik değişimlere, trafik yüklerine ve çevresel etkilere ilk göğüs geren tabakadır. Yol yapılacak yerde yolun bu durumlardan hangi etkilere daha çok maruz kalacağı ve hangi kaplama çeşidinin daha ekonomik olacağı gibi sorular yol kaplama çeşidi seçilirken cevaplanması gereken ilk sorular olarak öne çıkmaktadır. Örneğin kaplama yapımı planlanan yolda; ağır trafik yüklerine mi, sürekli donma ve çözülme etkilerine mi, kimyasal malzemelerle etkileşim riskine mi, çarpma veya aşınma şiddetinin sürekli yaşanacağı durumlarına mı vb. maruz kalınacak, yol kaplama türünde kullanılacak malzemelerin fiyatına, varlığına veya nakliye mesafe durumuna mı bakılacak. Bu konuda düşünürken bazı durumlarda esnek kaplama türü avantajlı iken bazı durumlarda da rijit kaplamanın daha avantajlı olduğunu görmekteyiz.

Rijit kaplamalar; ağır trafik yüklerinde daha ekonomik, bakım maliyetleri daha düşük, ıslak halde kayma direnci daha yüksek, inşaat mevsim hacmi daha geniş, tesis kurulumu daha ucuz, tesiste beton üretimi daha az zaman ve işçilik isteyen, taşıma maliyeti daha az, gece görüşü açık renkli olduğundan daha net, esnek kaplamalar ise; düşük trafik yüklerinde daha ekonomik, ilk yapım masrafları daha düşük, sürüş konforu daha yüksek ve tekerlek gürültüsü daha az, yapımı sırasında yolun trafiğe kapalı kalma süresi çok daha az, yerinde döküm işçiliği daha kolay ve hızlı, kademeli yapıma uygun, koyu renkli olduğundan gündüz görüşü daha iyi parlamazlar. Türkiye açısından bakıldığında ülkemiz çimento yönünden zengin olduğundan rijit kaplamaların maliyet ve nakliyesi, bitümün ithal edilmesinden dolayı esnek kaplamaya göre daha ucuzdur.

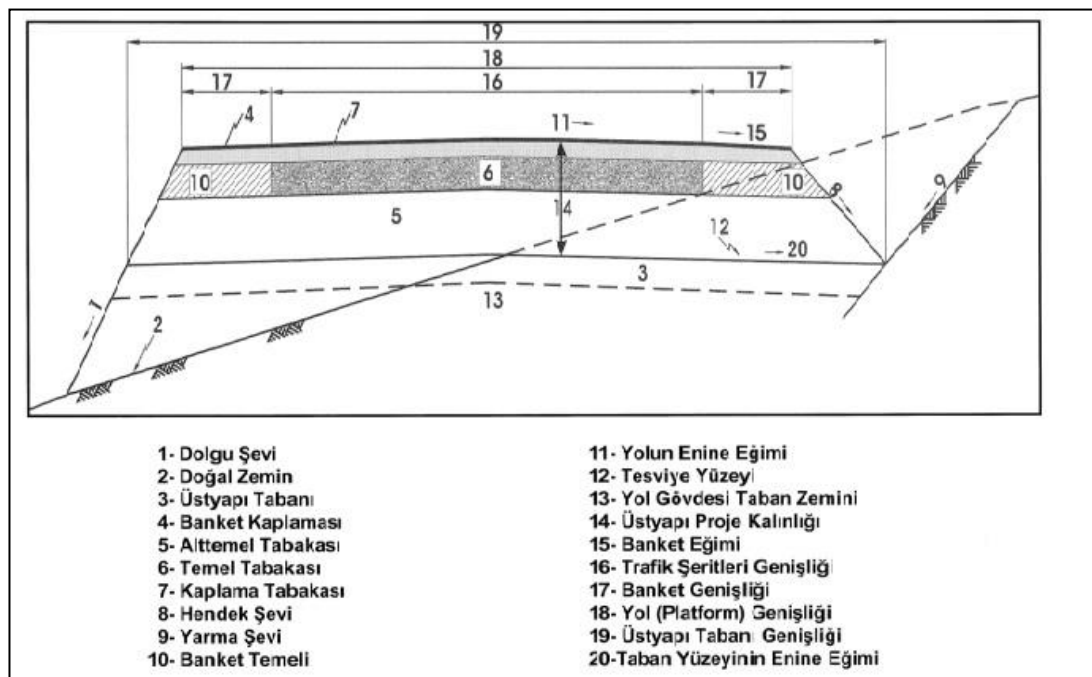
1.2.1. Esnek (Asfalt) Kaplamalar

Esnek kaplamalar; içeriğinde bağlayıcı olarak bitüm bulunan ve bu bitümle birlikte agreganın karıştırılması suretiyle veya ayrı tabakalar halinde serilmesiyle inşa edilen bir tür yol üst yapı kaplamasıdır. Esnek olmakla birlikte üzerine gelen trafik yüklerine, çevresel etkilere ve atmosferik koşullara karşı yeterli dayanımı sağlar.

Esnek kaplamalar genel olarak düşük standartlı ve yüksek standartlı kaplamalar olarak iki tipte tasarlanırlar.

Düşük standartlı esnek kaplamalar; sathi kaplamalar, makadam yollar ve koruyucu sathi tabakaları olarak ayrılrsa da Türkiye’de esnek kaplamalar inşa edilmeye başladığı yıllardan beri düşük standartlı esnek kaplama olarak sathi kaplamalar kullanılmaya devam edilmektedir. Günümüzde esnek kaplama ile kaplanan köy yollarının büyük bir

Yüksek standartlı esnek kaplamalar; bir alt temel ve temel tabakası üzerine bitüm ve agreganın sıcak veya soğuk bir şekilde karıştırıldıktan sonra tabakalar halinde serilmesi ve sıkıştırılması suretiyle inşa edilen yol üst yapı kaplamasıdır (Tutan ve Komut, 2020). Türkiye’de sıcak halde bitümlü karışım hali uygulanmaktadır. Esnek kaplama uygulaması yapılacak bir yolun alt temel ve temel tabakasından don kabarmalarını önlemesi, drenajı sağlaması, kaplama tabakasından gelen trafik yüklerini zemine yayılabilmesi için yük taşıması beklenir. İyi bir bitümlü sıcak karışım esnek yol üst kaplamasından beklenen özellikler; stabilite, rijitlik, dayanıklılık, yorulma mukavemeti, esneklik, geçirimsizlik, kayma mukavemeti, işlenebilirliktir (Tunç, 2001). Şekil 2’de esnek yol üst yapısı tipik en kesiti görülmektedir.

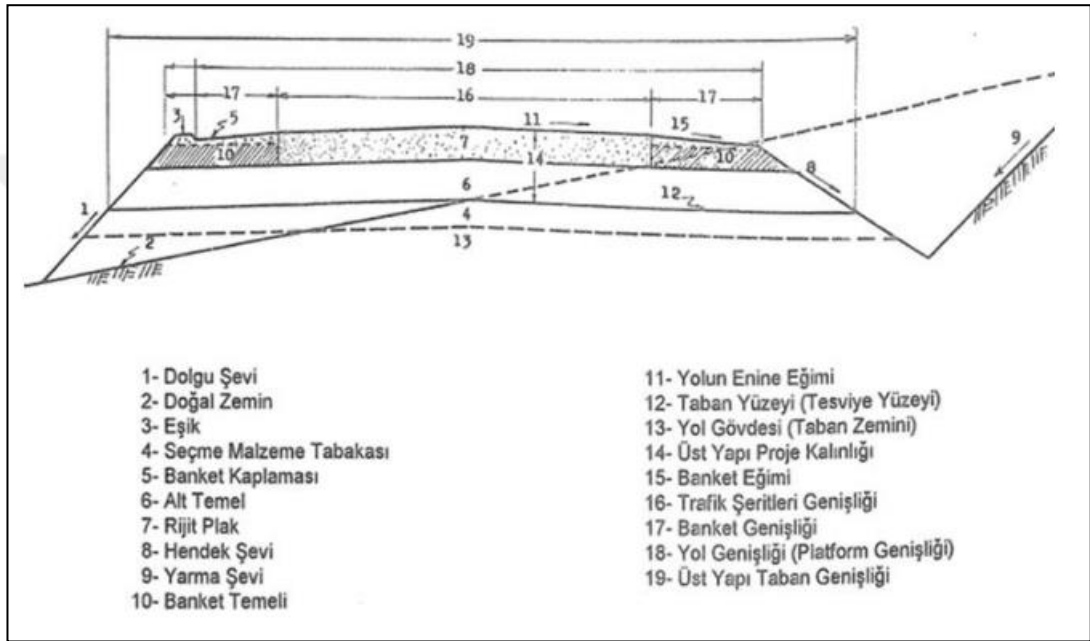


7

1.2.2. Rijit (Beton) Kaplamalar

Rijit kaplamalar; bağlayıcı olarak çimentonun su ile hidratasyonu sonucu oluşan harcın agregayla birleşiminden faydalanılarak hazırlanan beton hamurunun donatılı veya donatısız bir şekilde çeşitli tekniklerle yola dökülmesi sonucu prizini aldıkça rijitleşen yol üst yapılarıdır.

Şekil 3’de rijit yol üst yapısı tipik en kesiti görülmektedir. Buna göre rijit üst yapı kaplamasından önce zemin çalışmaları tamamlanır ve genellikle bir temel veya alt temel tabakası serilir.



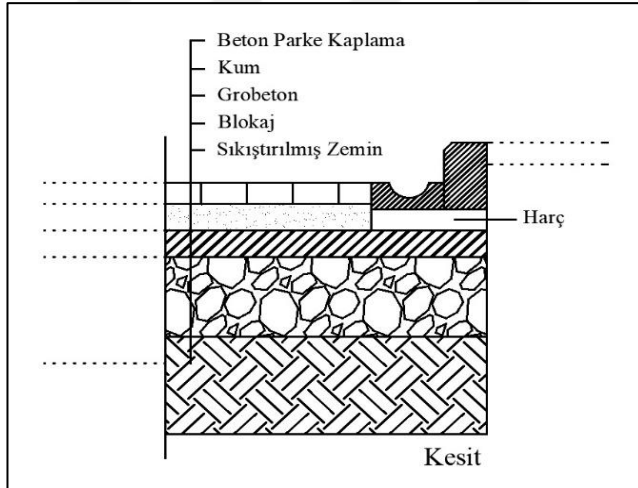
Şekil 3. Tipik rijit yol üst yapısı en kesiti (Kaşak ve Ark, 2019).

Karayolları Genel Müdürlüğü Beton yol kaplamaları teknik şartnamesinde beton bileşen malzemeleri olan çimento, agrega, karma suyu ve gerektiğinde katkı, lif ve kimyasal maddeler için sahip olunması gereken özellikler detaylandırmıştır. Buna göre yol üst yapısında kullanılacak çimento, beton yolun yapılacağı yerdeki çevresel etkiler değerlendirilerek TS EN 197-1 standardı çerçevesine uygun seçilmeli, agrega TS 706 EN 12620+A1 standardına, su TS EN 1008 standardına uygun olmalı, puzolan kullanılacaksa TS EN 206+A2 ve TS 13515/T2 standartlarına uygun dozaj seçimi ve kullanım şartları belirlenmeli, kullanılacak katkılar TS EN 934-1, TS EN 934-2 standartlarına, mineral katkı maddesi kullanılacaksa filler agregaların uygunluğu TS 706 EN 12620+A1 standardına göre belirlenmeli ve yüksek fırın cürufu TS EN 15167-1 ve TS EN 15167-2, uçucu kül TS EN 450-1, silis dumanı TS EN 13263-1+A1 ve TS EN 13263-2+A1 standartlarına, lifler de TS EN 14889-2 standardına uygun olmalıdır (KGM, 2016).

Yol üst yapısında kullanılacak betonun taze halde işlenebilmesi ve prizini alırken kürlenmesi en önemli iki özelliği olarak ortaya çıkmaktadır. Beton kalıbına iyi yerleşecek kadar akıcı ancak ayrışmayacak kadar da katı ve viskositeli olması gerekirken, beton üretiminden itibaren nakli, dökümü ve yüzeyinin düzeltilmesi aşamalarında da mevcut kıvamını en uzun süre koruyabilmelidir. Bilinen temel durumlardan birisi de su/çimento oranının artması işlenebilirliği artırmaktadır, ancak bu oran yükseldikçe betonun dayanım özellikleri de düşmeye başlamaktadır (Tunç, 2001).

Yol yapımlarında betonun işlenebilirliğini kaybetmeden dökülerek yerleştirilmesi ve yüzey işlemlerinin tamamlanabilmesi açısından seri bir şekilde yapılmak zorundadır. Dolayısıyla bu durum betonun bir beton üretim santralinden temin edilmesini zorunlu kılmaktadır. El değmeden makinalar aracılığıyla malzeme seçimi ve karışımı yapılan betonun homojenliği de en üst düzeyde olmaktadır.

Beton kaplamalar yerinde dökme yapılabileceği gibi, prefabrik olarak fabrikada belirli boyutlarda bloklar şeklinde üretilip, hazır halde nakledilip, sıkıştırılmış zemin üzerine bir temel tabakası yapılması, üzerine kum serilmesi ve en üst tabaka olarak parke kaplama örülmesi şeklinde de yapılabilir. Şekil 4'te beton parke kaplama en kesiti görülmektedir.

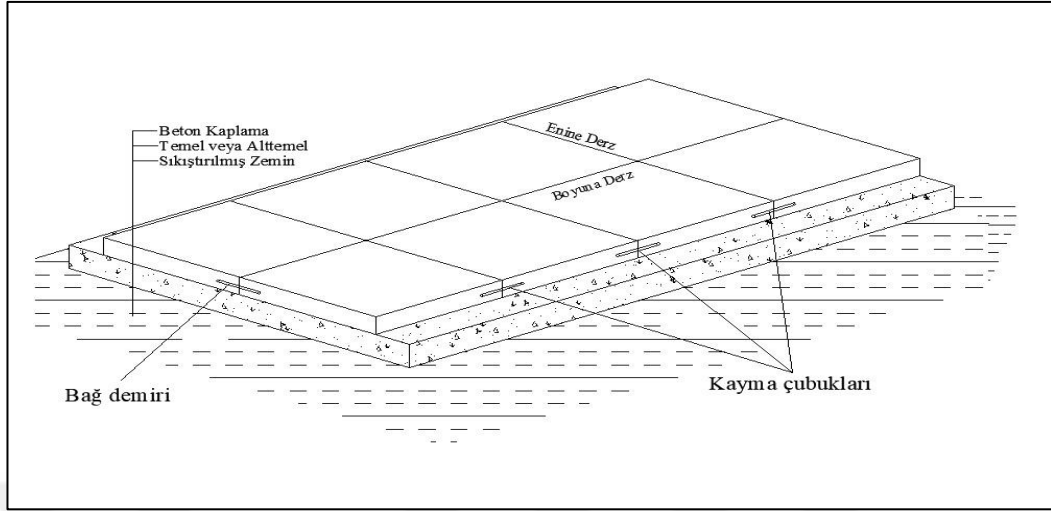


Şekil 4. Tipik kilitli parke (rijit) yol üst yapı kaplama kesiti

1.2.2.1. Derzli Donatısız Kaplamalar

Bu kaplama tipleri donatı kullanılmadan, 5-6 m de bir kayma donatıları kullanmak suretiyle enine derzler kesilerek inşa edilirler. Yol kaplama genişliğinin 4m' yi geçmesi durumunda bağ donatıları kullanmak suretiyle boyuna derzler tesis edilmesi gerekir. Şekil 5'te derzli donatısız kaplama tip en kesiti gösterilmektedir. Burada kayma donatıları bir plaktan diğer plağa trafik yüklerini iletirken, bağ demirleri de agregaların birbirlerine

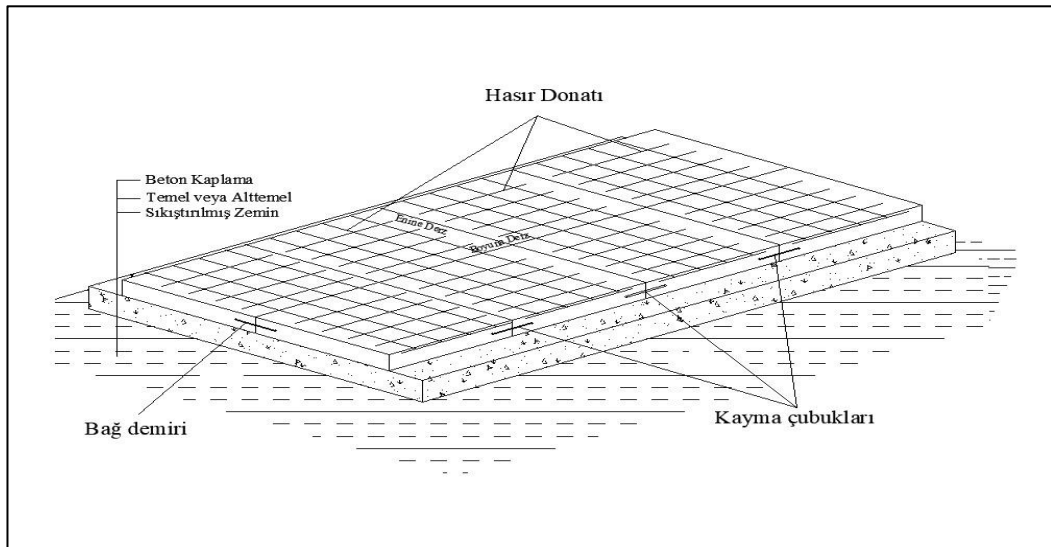
tutunmasını sağlar (Taylor ve ark, 2006). Maliyetinin düşük olması sebebiyle Türkiye’de ki beton yolların büyük bir kısmında derzli donatısız kaplama tipi tercih edilmektedir.



Şekil 5. Tipik derzli donatısız rijit yol üst yapı kaplaması en kesiti

1.2.2.2. Derzli Donatılı Kaplamalar

Bu kaplama tipleri donatı kullanılarak, 9-12 m de bir kayma donatıları kullanmak suretiyle enine derzler, ve kaplama genişliğinin 4 m yi geçmesi halinde boyuna derzler tesis edilerek inşa edilirler. Şekil 6’da derzli donatılı kaplama tip en kesiti gösterilmektedir. Yol boyunca kullanılan donatılar kesit alanının yaklaşık %0,20 civarındadır. Bu donatılar, yolda oluşacak enine çatlakların ayrışmasını engelleyerek, çatlakların derinleşmesini yayılmasını önlerler. Enine derzler kesilirken donatının süreksiz olduğu kısımlar önceden işaretlenmez ve ya aynı boylarda donatı kullanılmaz ise derz kesimlerinde donatı kesilme ihtimali vardır.



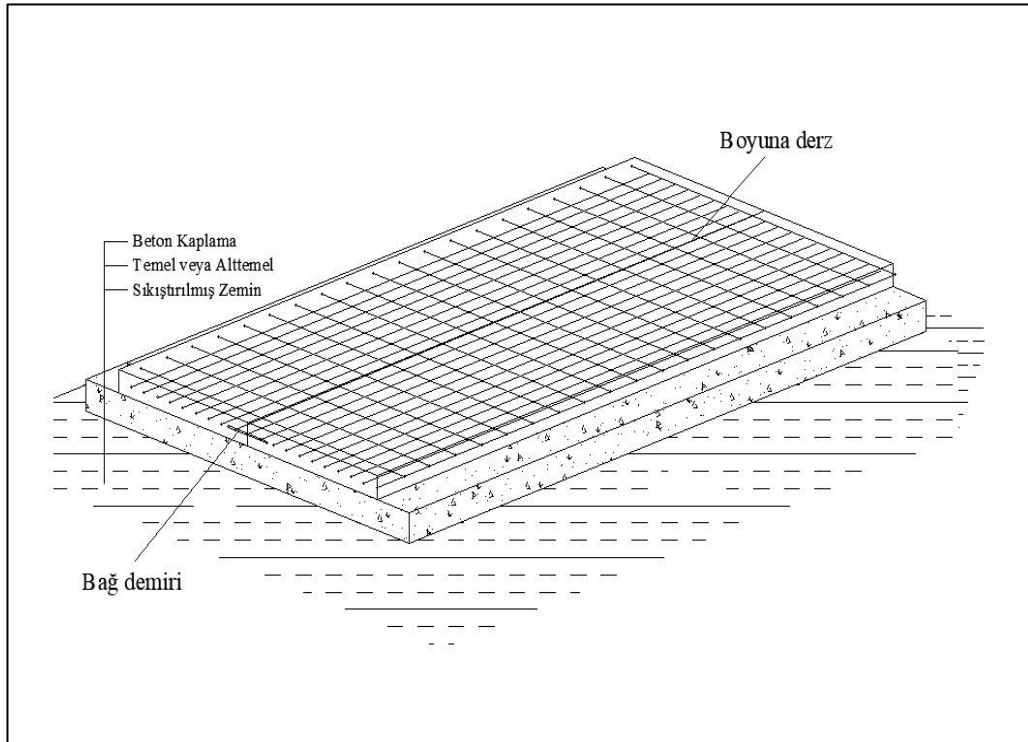
Şekil 6. Tipik derzli donatılı rijit yol üst yapı kaplaması en kesiti

1.2.2.3. Sürekli Donatılı Kaplamalar

Bu kaplama tiplerinde donatılar, ek bölgelerinde belirli bir bindirme boyu ile kenetlenmek suretiyle yol boyunca sürekli olacak şekilde hem boyuna hem enine yönde tesis edilirler. Yol boyunca kullanılan boyuna donatılar kesit alanının yaklaşık %0.70'i civarındadır. Kaplama genişliğinin 4 m yi geçmesi halinde boyuna derzler kesilmesi gerekir. Enine derz kesilmediği için donatıya zarar verilme ihtimali yoktur. Şekil 8’de sürekli donatılı kaplama tip en kesiti ve Şekil 7’de sürekli donatılı beton yol donatılarının görüldüğü bir fotoğraf gösterilmektedir.



Şekil 7. Sürekli donatılı beton yol kaplama (Uyar ve ark, 2019).



Şekil 8. Tipik sürekli donatılı rijit yol üst yapı kaplaması en kesiti

1.3. Beton Yol Kaplama Yapımı

1.3.1. Malzemeler

Beton, üretimi sonrası sertleşmeden kalıba yerleştirilmesi gereken bir malzemedir. Beton yol kaplama yapımında betonun üretimi, yerleştirilmesi, yüzey işlemlerinin tamamlanması; beton işlenebilirliğini kaybetmeden hızla yapılması gereken işler olduğunda tüm bunlar beton üretiminin sürekliliğini mecburi kılmaktadır. Ayrıca beton yolların yapımında beton hacminin fazla olması, geleneksel beton dökümü yapılacaksa beton üretimi için fazla işçilik gerektiğinden, silindirle sıkıştırılmış beton dökümü yapılacaksa makine ekipmana yetiyecek beton miktarının sürekliliğinin sağlanması da gerektiğinden ilkel yollarla beton dökümü yapılması son derece güç bir iş olmakta, istenilen homojenlik sağlanamayan ve bir çok şartı yerine getirilemeden üretilen beton dayanımı ise oldukça düşük çıkmaktadır. Beton yol yapımının önündeki bu büyük engel Çevre, Şehircilik ve İklim değişikliği Bakanlığı'nın 20.04.2004 tarih ve 248 sayılı genelgesi ile hazır beton kullanımı zorunlu hale getirilerek ve daha sonra 2010 yılında Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmeliğe göre G belgesi zorunlu hale getirilerek ortadan kaldırılmıştır (Özkul ve ark, 2011).

Agrega: Betonda kullanılan agregalar doğada doğal halde veya taş ocaklarından çıkarılan taşların kırılması suretiyle elde edilerek, kaba, iri ve ince hallerde ayrılırlar. Her agrega beton karışımında kullanılamaz. Agregada danelerinin, sıkıştırma ve trafik yüklerinden gelen gerilmelere karşı dayanıklı, çimento hamuruyla iyi bir yapışma sağlanabilmesi açısından açısız şekilli, köşeli, kırılmış, yıkanmış, elenmiş, her türlü genişlemeye sebep olabilecek malzemelerden arındırılmış olması gerekir. Alkali silis reaksiyonuna yol açabilecek miktarda silis içermemelidir. Agregaların sahip olduğu tüm özellikler betonun mukavemetinde, durabilitesinde, yoğunluğunda ve çatlak oluşumuna eğiliminde önemli rol oynar. Yol betonunun mukavemetinin yüksek olması için agregaların yoğunluklarının yüksek, porozitesinin az, işlenebilirliğinin iyi olması için cilalı, aşınma, don dayanımlarının ve durabilitesinin yüksek olması için agregalarında aşınma, don direnci ve durabilitesinin yüksek ve yine porozitesinin az vb. olması gerekir. Betonda kullanılacak agregaların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin istenilen limitlere uygunluğunu test edebilmek için yapılması gereken deneyler ve bakılması gereken şartnameler Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Yol Teknik Şartnamesinde verilen Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmektedir. Beton agregaları TS 706 EN 12620'ya göre belirlenmektedir.

Karma Suyu: Betonda kullanılacak su içme suyu olmalıdır. İçme suyu olmaması durumunda renk, yağ, deterjan, koku, asılı madde, ph değeri kontrolleri ve klorür, sülfat, alkali, şeker, nitrat, fosfat, çinko, kurşun içerikleri incelenmeli, uygunluk şartlarına göre değerlendirme yapılmalıdır (KGM, 2016).

Çimento: Beton yolda kullanılacak çimentonun seçimi yapılırken, betonun hangi çevresel ve atmosferik etkilere maruz kalacağı iyi analiz edilmelidir. Betonun içindeki donatının karbonatlaşma veya klorür etkisiyle korozyona uğramasına veya betonun aşınma, donma çözülme ve kimyasal ortama maruz kalmasına göre bu etki sınıflarına özgü çimento seçimi yapılır. Betonda kullanılacak çimentoların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Yol Teknik Şartnamesinde Tablo 2.5'te Çevresel etki sınıflarına maruz betonlar için kullanılması önerilen çimento tipleri gösterilmektedir.

Katkılar: Beton yolun yapılacağı yerin beton santraline uzaklığı, döküm yapılacağı yerdeki değişen atmosfer şartları, betonun yerleşiminde yaşanan problemler, pompa kullanımı halinde ayrışma olmadan pompayla iletimini kolaylaştırmak vb. aniden ortaya çıkabilecek birçok sorunun ortaya çıkaracağı riskte betonun bozulabilecek kimi özelliklerini kaybetmemesini sağlamak veya iyileştirmek için kimyasal katkılar kullanılır. Bu katkılardan beton yolda en çok tercih edilenleri; priz geciktiriciler veya hızlandırıcılar, su azaltıcılar, hava sürükleyiciler, akışkanlaştırıcılar olarak sayılabilir. Kimyasal katkıların yol betonlarında kullanım sebepleri daha çok, işlenebilirliği artırmak, priz geciktirmek, su azaltmak, akışkanlığı artırmak, terlemeyi azaltmak, segragasyonun önüne geçmek, aşınma direncini artırmak, durabilitayı sağlamak, pompalamanın ayrışmaya sebep olmasını önlemek, geçirimsizliği artırmak, rötreyi azaltmak, hidrasyon ısını düşürmektir (Tunç, 2001). Katkı maddelerinin kullanım miktarında kullanılan ürünün tavsiye edilen miktarı dikkate alınmalı, 1kg çimento için 50 gr geçilmemelidir (KGM, 2016).

Kayma donatıları: Bu donatılar enine derzlerle ayrılan beton blokları arasında yük aktarımını sağlamak için yerleştirilirler. Yuvarlak düz demirden üretildiklerinden yük aktarımı sağladıkları beton blokların iklim değişikliklerinin sebep olduğu genleşme ve büzülmelemlerden kaynaklı yatay hareketlerini engellemezler. Çubuk çapları üstyapı kalınlığının 1/8'i kadar önerilmekte olup, 18 cm den daha az kalınlığına sahip yollarda demir çapı en az 3.2 cm'dir. Uzunlukları genelde 45 cm'dir ve beton bloğa yaklaşık olarak 15 cm ankre edilirler. Her tekerlekten gelen yükü bir bloktan diğerine aktarabilmesi için en az 4 kayma donatısı yerleştirilmelidir (Taylor ve ark, 2006).

Karayolları Genel Müdürlüğü beton yol teknik şartnamesinde; kayma demirlerinin TS EN ISO 15630-1 standardına göre; en az 2.5 cm çapında, ağır trafik yüküne maruz yollarda ise en az 3 cm çapında, boyu 50 cm uzunluğunda, yerleştirme sıklığının 25 cm de bir olması gerektiği ifade edilmiştir (KGM, 2016).

Bağ donatıları: Donatılar boyuna derzlere dik açıda yol boyunca yerleştirilirler ve nervürlü olduklarından agregalar arasındaki tutunmayı pekiştirerek, iki şerit blok arasındaki hareketi yani ayrılmayı engellerler. ACI 325.12R'den alınan döşeme kalınlığına göre bağ donatılarının boyutu ve hareket oluşacak en yakın kenar ve ya derze olan mesafeler Tablo 1'de gösterilmektedir (Taylor ve ark, 2006).

Karayolları Genel Müdürlüğü beton yol teknik şartnamesinde; bağ donatılarının B420B veya B500B sınıfında ve TS EN 10080, TS 708 standardına uygun olması, kaplamanın alt kısmından üste doğru 1/3 ölçüsünde mesafeye yerleştirilmesi ve bu mesafenin en az 5 cm üstünde olması gerektiği, ankraj boylarının yeterlilik testi için pull-out deneyinin yapılması, çekme kuvvetinin en az 40 kN olması gerektiği belirtilmiştir (KGM, 2016).

Donatılar: Donatılar ağır trafik yükleri altında beton yolun taşıma gücünü artırır, betonda birçok sebeple çatlak oluşumuna yol açacak gerilmeleri karşılarlar. Derzli tip kaplamalarda ise bu çatlak oluşumlarının önüne geçebilmek için derz kesimleri yapılmaktadır. Beton yolda kullanılan sürekli donatılar hasır donatı veya nervürlü donatı şeklindedirler.

Tablo 1. Bağ demiri boyutları ve açıklıkları (Taylor ve ark, 2006).

Döşeme kalınlığı (≈in.)	Bağ demiri boyutu x, mm (≈in.)	Bağ demir açıklığı, mm (≈in.)			
		Hareketin oluşabileceği en yakın serbest kenara veya derze olan mesafe			
		3.0 m (≈10ft.)	3.7 m (≈12ft.)	4.3 m (≈14ft.)	7.3 m (≈24ft.)
130 (5)	13M x 600 (24)	760 (30)	760 (30)	760 (30)	700 (28)
150 (6)	13M x 600 (24)	760 (30)	760 (30)	760 (30)	580 (23)
180 (7)	13M x 600 (24)	760 (30)	760 (30)	760 (30)	500 (20)
200 (8)	13M x 600 (24)	760 (30)	760 (30)	760 (30)	430 (17)
230 (9)	16M x 760 (30)	900 (35)	900 (35)	900 (35)	600 (24)
250 (10)	16M x 760 (30)	900 (35)	900 (35)	900 (35)	560 (22)
280 (11)	16M x 760 (30)	900 (35)	900 (35)	860 (34)	500 (20)
310 (12)	16M x 760 (30)	900 (35)	900 (35)	780 (31)	460 (18)

1.3.2. Karışım

Beton yolda kullanılacak malzemelerin karışımında kullanılacak oranlarının belirlenmesi için en önemli olan hususlar betonun taze halde işlenebilirliği, sıkıştırılabilirliği yani kıvamı ile sertleşmiş halde dayanımı olmak üzere, en nihayetinde de bu oranların en ekonomik betonu oluşturacak ancak minimum özelliklerinden de taviz vermeyecek miktarlarıdır. Malzeme oranlarının hesap tasarım esasları için TS 802 nolu standarda bakılmaktadır. Hesaplama aşamaları; hedef kıvamın belirlenmesi, maximum agrega çapının seçilmesi, karma suyunun ve hava miktarının belirlenmesi, su/çimento oranının seçimi, çimento miktarının hesaplanması, iri ve ince agrega miktarlarının belirlenmesi şeklinde sıralanabilir. Çökme değeri betonun kullanılacağı beton yapısına göre değişim göstermekte olup, Tablo 2'ye göre yol kaplama betonu için alınacak çökme değeri aralıkları 8-2.5 cm arasında seçilmelidir.

Tablo 2. Değişik tip yapılarda kullanılacak normal ağırlıklı betonlar için tavsiye edilen çökme değerleri (Erdoğan, 2010).

Yapı Elemanları	Max. Çökme Değeri (cm)	Min. Çökme Değeri (cm)
Betonarme temeller	8	2.5
Donatısız beton temeller, alt yapı duvarları	8	2.5
Kirişler, kolonlar, perde duvarları	10	2.5
Yol kaplama betonları, döşemeler	8	2.5
Kütle Betonu	5	2.5

Maximum agrega çapı karışımında kullanılan agreganın hepsinin geçtiği en küçük elek göz açıklığıdır. Betonda kullanılacak agrega gradasyonu sınır değerleri için TS 706 EN 12620+A1'ya bakılması gerekmektedir. 4 mm elek açıklığından geçen agrega ince agregadır, üzerinde kalan ise iri agregadır. Betonda ince agrega miktarı arttıkça yüzey alanı artacağından karma su ihtiyacı artacak ve dayanımın düşürülmemesi adına su/çimento oranının sabit tutulabilmesi için çimento miktarı da artacak bu durumda maliyeti yükseltecektir. Bu yüzden Maximum dane boyutunu yüksek tutmak gerekir ki bu da su ihtiyacını azaltacağından kıvamı da artıracaktır.

Karma suyu ve hava miktarı belirlenirken, istenilen çökme değeri, seçilen max. Agrega çapı ve hava sürüklenme durumuna göre beton karışımları için karışım suyu yaklaşık miktarları TS 802 de verilmektedir. *Su/çimento* oranının artması betonun

dayanımını düşürmektedir. Daha önceden yapılan çalışmalara dayanılarak hazırlanan Tablo 3 incelendiğinde bu oranın nasıl düştüğü görülmektedir.

Tablo 3. Su/Çimento oranları ile beton basınç dayanımları arasındaki ilişki (Erdoğan, 2010).

28. Gündeki basınç dayanımı, MPa	Su/Çimento oranı (ağırlıkça)	
	Hava sürüklenmemiş beton	Hava sürüklenmiş beton
40	0.42	0.34
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Çimento miktarı artık seçilen su/çimento oranında su miktarının yerine konulmasıyla hesaplanabilir. *İri agreg ağırlığı* bulunurken Tablo 4'ten max. agreg a çapı ve ince agreganın incelik modülü kullanılarak agreg hacmi bulunur. Bulunan hacimle iri agreganın özgül ağırlığı ile çarpılarak iri agreg ağırlığı hesaplanır.

Tablo 4. 1 m³ betondaki iri agreg a hacmi (Erdoğan, 2010).

Max. agreg a tane boyutu, mm	İnce agreganın değişik incelik modüllerine göre, kuru-ışışlenmiş iri agreg a hacmi (m ³) (ince agreganın incelik modülleri)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0	0.82	0.80	0.78	0.76

İnce agreg a ağırlığı Tablo 5'ten max agreg a çapına karşılık gelen taze beton birim ağırlığından ince agreg a haricindeki malzemelerin ağırlıkları düşölerek elde edilebilir (Erdoğan, 2010).

Tablo 5. 1 m³ betondaki ince agrega hacmi (Erdoğan, 2010).

Max. agrega tane boyutu, mm	Taze betonun birim ağırlığı, kg/m ³	
	Hava sürüklenmemiş beton	Hava sürüklenmiş beton
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19.0	2345	2275
25.0	2380	2290
37.5	2410	2350
50.0	2445	2345
75.0	2490	2405

1.3.3. Nakil

Yol betonlarının hazır beton üretim tesisleri haricinde bir yerde üretimi söz konusu değildir. Betonun işlenebilirliğini ve dayanımını kaybetmeden bekleme süresi en fazla toleransla kullanılsa dahi döküm, yerleştirme ve bakım işlerinin işçilik süresine yetişişi seri bir üretim yapılması gerektiğinden mümkün değildir. Betonun malzeme karışımında aynı oranı tutturabilmek, homojen bir karışım elde etmek, homojenlik kaybolmadan döküm, yerleştirme işlerini gerçekleştirmek oldukça zordur. Betonun santralden betonlama yapılacak yola ulaşım süresi en çok 2 saattir. Daha fazla mesafe gereken işlerde, inşaat yerinde mobil santral kurulması, malzemelerin burada depolanması bir seçenek olabilir.

1.3.4. Taze Beton Deneyleri

Çökme (Slump) Deneyi (TS EN 12350-2): Bu deney taze haldeki betonun kıvamını ölçmek için yapılır. TS EN 12350-1 standardına göre alınmış beton deney numunesi karıştırma kabına alınır ve kürekle yeniden karıştırılır. Taban çapı 20 cm, üst giriş yüzeyinin çapı 10 cm ve yüksekliği 30 cm olan, alt ve üst yüzeyi açık ve 20 cm'lik taban kısmından tepsiye oturtulmuş bir huniye kürek yardımıyla 3 seferde ve her seferde şişleme çubuğuylla 25 kere şişleme yapılmak suretiyle sıkıştırılarak doldurulur ve üst yüzeyi düzlenir. Huni yavaş ve düzgünce çekilerek çökmekte olan beton numunenin yanına konulur. Beton numunesi çökme işlemini tamamladıktan sonra, huni üst yüzeyi ile betonun numunenin çöken üst yüzeyi arasındaki fark ölçülür. Bu deney 1-20 cm aralığındaki çökme değerlerinin ölçümü için uygundur. Diğer değerlerde farklı deneylerle kıvam tayini yapılmalıdır. Deney süresi toplamda 2.5 dakika içerisinde tamamlanmalıdır (Ünsal ve Şen, 2008).

Yoğunluk Deneyi (TS EN 12350-6): Bu deney taze haldeki betonun yoğunluğunun tayini için yapılır. Bu deneyde ilk olarak kullanılacak kabın (en az 5 lt hacimli, en büyük agrega çapının en az dört katı ve 15 cm’den de küçük olmayan boyutta), kütlesi ve hacmi bulunur. Bunun için kap tartılarak kütlesi bulunur. Hacmi için kap bir cam levhayla birlikte tartılır ve içi su ile doldurularak üzerinde hiç boşluk kalmayacak şekilde üzerine cam levha yerleştirildikten sonra tekrar tartılır. Aradaki farktan bulunan su kütlesi 998 kg/m³’e bölünerek kabın hacmi hesap edilir. TS EN 12350-1 standardına göre alınmış beton deney numunesi karıştırma kabına alınır ve kürekle yeniden karıştırıldıktan sonra kaba doldurulur. Beton, kaba iki seferde doldurulur ve elle çubuk yardımıyla şişleme, vibratör ve ya titreşimli masa vasıtasıyla sıkıştırılır. Kabın yüzeyi silme olacak şekilde sıkıştırılmış betonla doldurulduktan sonra tartılır ve kütlesi bulunur. Daha sonra Eşitlik 1 yardımıyla taze betonun yoğunluğu hesaplanır (Ünsal ve Şen, 2008).

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu eşitlikte:

D : Taze betonun yoğunluğu (kg/m³),

m₁ : Kabın kütlesi (kg),

m₂ : Kabın içerisindeki beton numune ile birlikte toplam kütlesi (kg),

V : Kabın hacmi (m³) sayısını vermektedir.

Taze betonun yoğunluğu en yakın 10 kg/m³ yuvarlanır.

Hava Muhtevası Tayini (TS EN 12350-7): Bu deney çapı en fazla 63 mm kadar olan agrega içeren sıkışmış taze betonun hava muhtevasını bulmak için yapılır. Hava muhtevası; su sütunu yöntemi ve basınçölçer yöntemi olmak üzere 2 farklı deney düzeneği kullanılarak bulunabilir.

Su sütunu yönteminde; TS EN 12350-1 standardına göre alınmış beton deney numunesi karıştırma kabına alınır ve kürekle yeniden karıştırıldıktan sonra kaba doldurulur. Beton, kaba üç seferde doldurulur ve her tabaka elle çubuk yardımıyla şişleme, vibratör ve ya titreşimli masa vasıtasıyla sıkıştırılır. Üzerine kapak yerleştirilerek kelepçelenir ve su doldurma işlemine geçilir. Burada cihazın tokmaklanarak kapak kenarında bulunan hava kabarcıklarının yüzeye çıkması sağlanır. Hava giriş borusundan fazla su alınarak gözlem borusundaki su seviyesinin sıfırlanması sağlanır ve hava giriş borusu kapatılır. İşletme basıncı hava pompasıyla basılarak gözleme borusundaki su

seviyesi (h_1) not edilir. Daha sonra basınç boşaltılarak ölçülen su seviyesi (h_2) tekrar not edilir. h_2 %0.2'den küçük olmalıdır. Bu durumda görünür hava miktarı $h_1 - h_2$ 'dir. h_2 'nin %0.2'den büyük olması halinde işletme basıncı yeniden uygulanır ve ölçülen su seviyesi (h_3) not edilir. Basınç boşaltılarak ölçülen su seviyesi (h_4) yeniden not edilir. $h_4 - h_2$ 'nin %0.1 ya da daha küçük bir değerde olması halinde görünür hava miktarı $h_3 - h_4$ 'tür. $h_4 - h_2$ 'nin %0.1 ya da daha büyük bir değerde olması halinde ise deney kaptan hava kaçması olduğundan iptal edilir. Burada hava muhtevası Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanır.

$$A_c = A_1 - G \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Bu eşitlikte:

A_c : Hava muhtevası,

A_1 : Deney uygulanan taze beton numunesinin görünür hava miktarı,

G : Agregada düzeltme katsayısını vermektedir.

Hava muhtevası yüzde olarak %0.1 yaklaşık olarak gösterilmelidir.

Basınçölçer yönteminde; Betonun sıkıştırılarak kaba doldurulma işlemi su sütunu metodunda anlatıldığı gibi yapılır. Üzerine kapak yerleştirilerek basınç çıkışı olmayacak şekilde kelepçelenir. Ana vana kapatılır ve hava tahliye vanası dışındaki diğer 2 vana açılır. Bu vanaların birinden su çıkana kadar diğerinden kabın içine su enjekte edilir. Kap hafifçe tokmaklanarak hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Kapalı hava hücresindeki hava tahliye vanası kapalı tutulur ve bu hücreye basınç göstergesi ibresi sıfır gelinceye kadar hava basılır. Açık olan 2 vana kapatılarak ana vana açılır. Basınç göstergesine elle hafifçe vurularak göstergenin sabitlenmesi beklenir ve değer okunarak not edilir. Su sütununda kullanılan eşitlikte görünür değer yerine konularak hava muhtevası bulunur (Ünsal ve Şen, 2008).

1.3.5. Beton Yerleştirme Öncesi Hazırlık

Beton yol kaplama işlemine geçmeden önce yapılacak çalışmaların başında zeminin sıkıştırılması ve bir temel inşaatının yapılması gelmektedir. Temelden önce mevcut alt zeminin taşıma gücünden çok uniform bir durumda olması çok daha önemlidir. Beton yol üst yapıları rijitliklerini geniş bir alana yaydıklarından alt zemine uyguladıkları basınç oldukça düşüktür ancak alt zeminin genişlemesi, zayıf zeminin fışkırması, suyun etkisinin dondan etkilenen zeminle birleşmesi ve nihayetinde don etkisinden etkilenen zeminler, betonun aradığı desteği bulamamasına sebep olur, bu da rijit kırılmalara yol açar. Zayıf

zeminlerin uzaklaştırılması, uniform olmayan zeminin gerek tıraşlanarak gerek doldurularak kot ayarlamasının yapılması, zeminin rutubetinin kontrol edilerek sıkıştırma işlemine tabi tutulması vb. işlemlerle alt zemin uniform hale getirilmelidir. Genel olarak yol zemininin zayıf olması ya da ağır trafik etkilerine maruz kalacak bir yolun yapımı için temel yapmak oldukça önemlidir. Beton yol altında ki zeminin de en büyük işlevi uniform bir yüzey oluşturmaktır. Temel malzemesinin zayıf zemin fişkırmasını önleyecek temel malzemesinden seçilmesi, en az 10 cm olarak temel kalınlığının korunması, ağır trafik etkilerine maruz kalacak yollar için geçirimli temel malzemesinin tercih edilmesi gerekmektedir (Taylor ve ark, 2006).

Beton dökümünden önce son yapılması gereken iş kalıpların yerleştirilmesidir. Sabit kalıp ve kayar kalıp olmak üzere iki tip kalıp kullanılmaktadır. Sabit kalıp, Su/çimento oranı üst yapılarda kullanılan normal bir beton kıvamı gibi hazırlanmışsa kullanılması zaruri olmaktadır çünkü kayar kalıplarda betonun taze halde iyi bir mukavemete ihtiyacı vardır bu da düşük su/çimento oranında hazırlanmış S1 kıvamlı betonlar için uygundur. Aksi takdirde kalıp kayarak ilerlediğinde beton kenarlarında sarkmalar olacaktır. Beton finişerinin serme makinesi sabit kalıpların üzerinde hareket ederken kayar kalıplarda kalıp dışında tekerlekler üzerinde hareket etmektedir. Şekil 9'dan daha önce dökümü yapılmış olan betonların sabit kalıp görevi gördüğü bir beton dökümü görülmektedir. Beton kaplaması ile temel arasına geotekstil/polietilen malzeme, ek yerleri ortalama 20 cm binecek şekilde yerleştirilir ve beton dökümünde kayma olmaması için çivilerle sabitlenir. Şekil 10'dan kayar kalıpla beton dökümüne ait bir fotoğraf gösterilmektedir (Tunç, 2001). Türkiye'de son yıllarda beton yollar daha çok kırsal kesimlerde tercih edilmektedir. Topoğrafyanın dağlık, engebeli ve eğimi fazla olan Doğru Karadeniz gibi bölgelerinde yollar daha çok topoğrafyaya göre biçimlenmekte, kısa mesafede oldukça dar ve eğimli bir halden daha geniş bir en kesitte sürekli değişmektedir. Bu halde bir beton finişerinin kullanılması oldukça zor hatta imkânsız hale gelmektedir. Bu yüzden daha çok klasik ahşaptan, beton değen kısmı yağlanmış beton kalıbı kullanılmakta ve transmikserden doğrudan yola beton dökümü yapılmaktadır.



Şekil 9. Beton dökümü öncesi yolun son hali (Uyar ve ark, 2019).

1.3.6. Yerleştirme ve Sıkıştırma

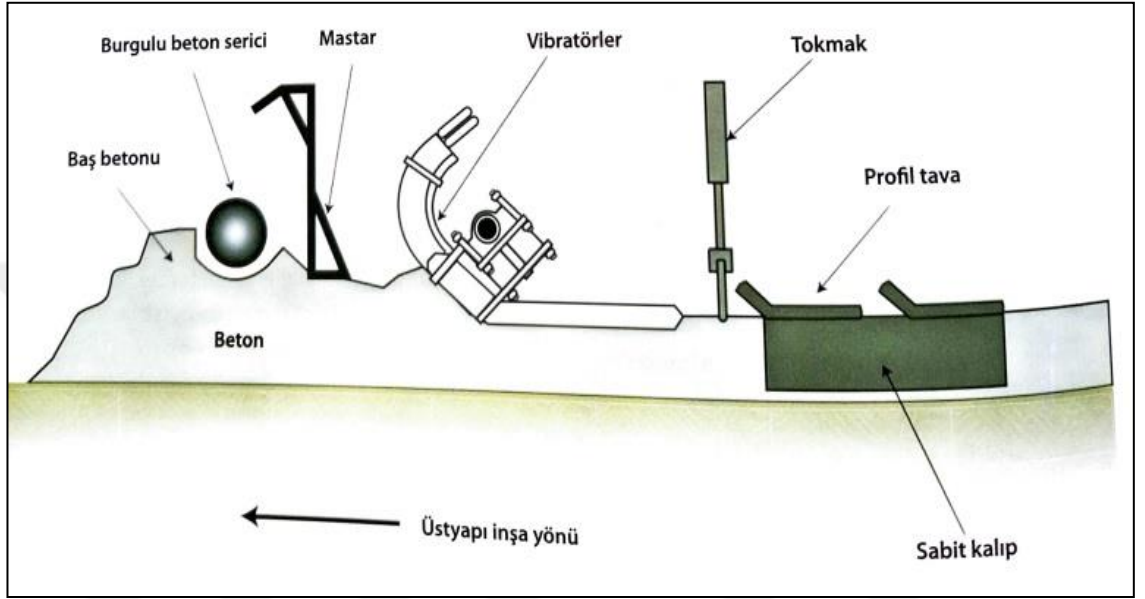
Kalıpların yerleştirilmesinden sonra artık betonun dökülmesi, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemine geçilir. Bu işlemler gerçekleştirilirken kullanılan elemanlar hazırlık işleminde bahsedildiği gibi betonun kıvamıyla ve yolun makine kullanımına imkân tanıyıp tanımamasıyla yakından ilgilidir. İlk olarak yolun durumu makine kullanımına izin veriyorsa bir beton finişeri, kaplama altındaki temelin eni kaplama en kesitinden en az 50-60 cm fazla olabiliyorsa da kayar kalıp kullanılabilir. Yolun durumunun finişer kullanımına imkân vermesi ancak yol en kesitinin kayar kalıba imkân vermemesi halinde bir beton finişeri sabit kalıpla da kullanılabilir. Burada kalıpların çelik ve bir beton kenarı olması gerekir aksi halde üzerindeki beton sericiyi taşımayacaktır. En ilkel halde iş, beton değen kısmı yağlanmış klasik ahşaptan yapılacak bir sabit kalıp, transmiksirin dökeceği beton ve işçiliğe kalmaktadır. Transmikser çekildikten sonra insan gücü ve elle idare dilen çeşitli aletlerle beton yayılır ve sabit kalıplar üzerine oturtulan bir motor vasıtasıyla kendinden hareketli masterlar veya tüplü sericilerle yerleştirme ve sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Beton kalınlığı arttıkça titreşimli masterların içeriğe etkileşimleri azalmaktadır bu durumda sıkıştırma için daldırma vibratörler kullanılır bu vibratörlerin betonun içinde yaklaşık 10 sn arasında kalması yeterlidir.



Şekil 10. Kayar kalıp ile betonun serilmesi (URL-6).

Kayar kalıplı makineler, beton serme, masterlama, vibrasyon, tokmaktama, profil tava işlemlerini sırasıyla gerçekleştirirler. Şekil 11’de kayar kalıp serici makine kısımları gösterilmektedir. Kayar kalıp ilerlerken betonu hem serer hem yerleştirir hem de masterlar. Sericinin altında bulunan vibratörler sayesinde beton akışkanlaşır, sıkışır ve büyük hava boşluklarını uzaklaştırır. Bu vibratörler genellikle sabit frekanslarda

kullanılırlar, eğer frekansı normalden daha yüksek kullanılırsa fazla hava kaybına ve agreganın ayrışmasına yol açabilir. Ancak vibratörler üzerindeki okuyucular sayesinde yüksek veya düşük vibrasyon ya da kayıp görüldüğünde operatör uyarılmaktadır. Gelen beton miktarı yavaşladığında sericinin kovası güçlü beslenmediğinden sıkıştırmada basınç azalır, böyle bir durumda vibrasyon frekansının da yavaşlatılması gerekecektir (Taylor ve ark, 2006).



Şekil 11. Kayar kalıp serici makine kısımları (Taylor ve ark, 2006).

1.3.7. Yüzey Düzeltme İşlemleri

Yüzey düzeltme işlemleri beton yol üst yapılarında çok önemlidir. Rijit üst yapılardaki her pürüz araç geçişinde esnek yapılara göre daha fazla hissedilmektedir. Bu pürüzler yanlış mastarlamanın sebep olabileceği periyodik bir dalgalanma, lokal çukurlaşma, gözle fark edilmese de araç geçişinde fazlasıyla hissedilebilecek tepelenmeler olabilir. Düzgün olmayan yüzeyler, araç sürüşünde sürekli veya lokal zıplamalara yol açarak sürüş konforunu çok fazla etkileyebileceği gibi hem yolun aşınma ve çarpma dayanıklılığına sürekli risk oluştururken hem de betonda dayanım kaybına sebep olabilir. Yolda su birikmelerine sebep olur, artan sürtünmeyle birlikte lastiklerin aşınma hızını artırır, balans ayarlarının bozulmasına sebep olurlar.

Yüzey düzeltme işlemleri iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamanın en ilkel yapımı yerleştirme kısmında bahsedilen teraziye alınmış ve düzgün kesimli rendeli, kare veya dikdörtgen kesitli bir ahşap tahta vasıtasıyla mastar çekilmesi idi. Bu işlemde beton bu sıyırma tahtasının önünde sürekli beslenir ve kabartılarak ileri geri hareketlerle çekilir. Tahtanın alt kısmı ile beton arasında boşluk yoktur. Bu ileri geri hareketle birlikte tahta

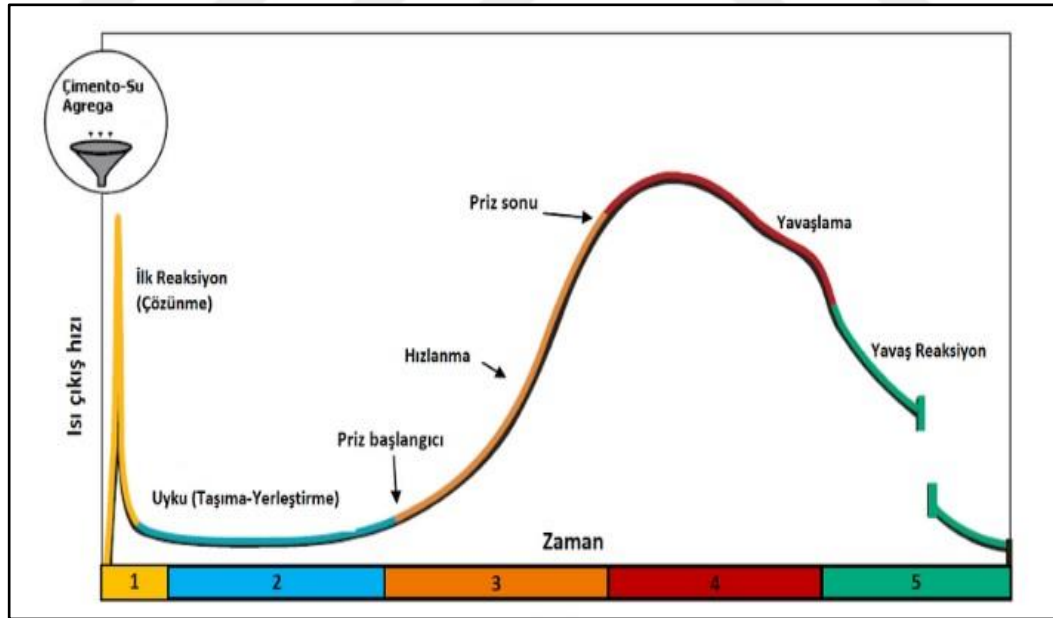
yol boyunca çekilmeye devam edilir. İkinci aşamaya geçilebilmesi için betondaki terlemenin önemli ölçüde sonlanması, yüzey suyunun kaybolması ve betonun bir miktar prizini alması (üzerinde 5 mm'lik bir insan yükü izi bırakabilecek kadar) gerekmektedir. aynı yüzeyden başka bir düzeltici tahta aletle yüzdürme işlemi yapılır. Bu işlem insan elinin ulaşamayacağı kısımlarda kullanılamaz, genellikle motorla çalışan vibrasyonlu kendiliğinden hareketli masterlarla betonun ilk düzeltme işlemi yapıldığında sabit kalıpla master arasında kalan boş kısımların doldurularak masterlanmasında kullanılır. Bu yüzden beton yollarda daha çok döner diskli helikopterler veya uzak kısımlara ulaşımı sağlayan kollu ucunda perdahlamaya yarayan aletler kullanılır (Erdoğan, 2010). Kayar kalıplı sericilerde ise bu işlem serici tarafından sağlansa da bir perdah cetveli yardımıyla son kontroller yapılabilir.

1.3.8. Bakım

Bir beton karışımında çimento su ile bulunduğu anda hidratasyon süreci başlar. Şekil 12'de hidratasyon süreçleri gösterilmektedir. Karıştırma anında hidratasyon başlar ve ısı hızla yükselir. Daha sonra başlayan uyku sürecinde betonun dökümü, yerleştirme, yüzey düzeltme işlemleri yapılır. Birçok parametreye bağlı olarak değişen bu uyku süreci yaklaşık 3 saat sürer. Beton sertleşme sürecine geçtiğinde hidratasyon sürecinin yeniden hız kazanmasıyla birlikte ısı yeniden yükselir ve beton priz almaya başlar. Bu andan itibaren beton bakım/kürleme işlemine geçilmesi gerekmektedir. Yol betonlarında beton geniş bir alana yayıldığından, betonun büyük bir bölümü atmosfer şartlarıyla yüz yüze kalmakta ve her türlü değişimden doğrudan etkilenmektedir. Aniden bastırabilecek yağmurlar, rüzgar, değişen sıcaklık değeri, gece gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu iklimlerde geç saatlere yakın beton dökümleri gibi değişkenler eğer beton korunmaz ise, yüzeyde çatlak oluşumlarına, pullanmalara, beton yüzeyinde soyulmalara ve kesit kaybına sebep olabilir. 2 ila 4 saat süren sertleşme sürecinin ardından beton soğuma aşamasına geçer. Bu aşamada derzlerin kesimi de yapılmalıdır.

Yüzey bakımı için genel olarak kullanılan yöntemler; sulama yapılması ve üzeri sulanarak nemli tutulan telis bezi ile buharlaşmayı önlemeye çalışmak ilkel yöntemler olmak üzere, beton üzerindeki suyun parlaklığı matlaştığında kimyasal kür uygulanması, aşırı kuru ve rüzgarlı havalarda buharlaşma geciktiriciler ve sonrasında tekrar kimyasal kür uygulanması, yağmurlu havalarda betonun membran ile örtülmesi gibi bakım yöntemleri kullanılmaktadır. Şöyle ki çimentonun hidratasyon için suya ihtiyacı vardır ve bununla birlikte hidratasyon ısısı yükselir. Betonun bakıma tabi tutulmasının amacı hızlı buharlaşmanın önüne geçmek ve ısyı düşürmektir. Bunun için ilk akla gelen beton

yüzeyini sulamaktır. Betonla kaplanacak yolun uzun bir güzergâh olması, dökümü ve yerleştirilmesinin seri bir şekilde yapılması, sulama yapılmasını oldukça zorlaştırabilir. Özellikle havanın sıcak ve rüzgârlı olduğu durumlarda suyu yüzeyde tutmak oldukça zordur. Bunun için beton yüzeyine telis bezi serilerek sulama yapılması nem kaybını önleyecek, yalıtım sağlayan plastik örtülerle yağmur suyunun betona vereceği zarar önlenecektir. Başka bir bakım aracı da kimyasal kür uygulamaları veya buharlaşma geciktiricilerdir. Buharlaşma geciktiriciler, son düzeltme işlemi sırasında kullanılabilirler ve sertleşme hızını etkilemezler ancak beton yüzeyinden kaybedilecek suyu minimuma düşürürler ve buda su/çimento oranının yükselmesine sebep olur. Bu noktada bu kimyasallar yüzey düzeltmeye yardımcı olmak için kullanılmamalıdır, aksi halde, havanın boşluk olarak yüzeyden girmesine ve üst kaplamada dayanımın düşmesine sebep olurlar. Diğer kimyasal kür uygulaması betonun yüzeyinde suyun parlaklığı kaybolduktan sonra hemen başlamalıdır, aksi halde pek bir faydası dokunmayacaktır. Bunlar yüzeyde tabaka oluşturarak betonun su kaybetmesini önlemeye yardımcı olur. Kimyasal kürler makine beton sericilerde, bakım makinesi tarafından uygulanmaktadır. İnsan eliyle de motorla çalışan kimyasal kürü püskürten bir uç sayesinde bakım yapılabilir (Taylor ve ark, 2006).



Şekil 12. Hidratasyon Süreçleri (Şahin 2024).

1.3.9. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Basınç dayanımı: Basınç dayanımının ölçülebilmesi için en fazla kullanılan deney yöntemleri;

a) Standart deney yöntemi (TS EN 12390-3): Taze beton standartlarda belirtilen boyutlarda ve şartlarda kalıplara yerleştirilir, kürlenir ve eksenel basınç yükü uygulanarak, en büyük basınç yükü bulunur. Eşitlik 3 yardımıyla da basınç dayanımı hesaplanır. Numuneler kırılmaya tabi tutuldukları için hasarlı bir yöntemdir, ancak numuneler zaten bunun için özel olarak üretilir.

$$f_c = \frac{F}{A_s} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Bu eşitlikte:

f_c = Basınç dayanımı (MPa veya N/mm²),

F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N),

A_s = Basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm²), sayısını vermektedir.

Basınç dayanımı en yakın 0.5 MPa (N/mm²) yuvarlatılır.

b) Hızlandırılarak kürlenmiş numunelere uygulanan basınç dayanım yöntemi (TS 3323): Taze beton standartlarda belirtilen boyutlarda ve şartlarda kalıplara yerleştirilir, 1 ila 2 gün arasında bir süre ile yüksek sıcaklık ve nem ortamında kürlenir sonrasında eksenel basınç yükü uygulanarak, en büyük basınç yükü bulunur ve Eşitlik 3 yardımıyla basınç dayanımı hesaplanır. Bu yöntemle bulunan basınç değeri tasarım betonu kontrolü ya da betonun kabulü için kullanılmamaktadır.

c) Karot numunelere uygulanan basınç dayanım yöntemi (TS EN 12504-1): Sertleşmiş betondan standartlarda belirtilen boyutlarda ve şartlarda silindirik şekilli kesilerek alınan karot numunelere eksenel basınç yükü uygulanarak, en büyük basınç yükü bulunur ve Eşitlik 3 yardımıyla basınç dayanımı hesaplanır. Karotlar sertleşmiş betondan kesilerek alındığı ve kırıldığı için hasarlı bir yöntemdir.

d) Schmidt (Test) çekici kullanılarak basınç dayanımının bulunması (TS EN 13791): Bu deneyde beton yüzey sertliği vasıtasıyla basınç dayanımı bulunur. Schmidt çekiciyle sertleşmiş beton yüzeyine dik bir şekilde ve sabit bir güçle darbe uygulanır ve çekiç kütlesi önündeki yayın hareketiyle geri sıçrar. Geri sıçrama değerleri ortalaması ve çekici tutma açısına göre basınç dayanımı ve geri sıçrama sayı grafiği eğrileri kullanılarak basınç değeri bulunur. Hasarsız bir deneydir.

e) Ultrasonik dalga geçiş hızı deneyi ile basınç dayanımının bulunması: Ultrasonik test cihazı vasıtasıyla sertleşmiş betona ses üstü dalgalar gönderilir ve betonun diğer bir yüzünden dalgalar okunur. Cihazın ölçtüğü iki yüzey arasındaki uzaklık ve süre

kullanılarak Eşitlik 4 yardımıyla dalga hızı hesaplanır. Dalga hızı elastisite modülü ve malzemenin yoğunluğuyla bağlantılıdır. Bu bağlantı Eşitlik 5'te gösterilmektedir. Bu deneyde basınç dayanımının sayısal bir değer olarak bulunması için hassas bir yöntem değildir. Betondan geçen ses üstü dalgasının hızı betonun içerdiği boşluk miktarının yoğunluğu ile ilişkilidir. Buda bize betonun kalitesiyle ilgili bilgi vermektedir. Bu değerlendirme için Tablo 6. kullanılmaktadır. Hasarsız bir deneydir.

$$V = \left(\frac{S}{t}\right) \times 10^6 \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Bu eşitlikte:

V = Dalga hızı (m/sn),

S = Dalga hızı ölçülen iki yüzey arası mesafe (m),

t = Dalga hızının iki yüzey arasından geçerken harcadığı zamanı (μs) vermektedir.

$$V^2 = \frac{E}{D} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Bu eşitlikte:

V = Dalga hızı (m/sn),

E = Elastisite modülü (N/m²),

D = Betonun yoğunluğunu (kg/m³) vermektedir.

Tablo 6. Ultrasonik dalga geçiş hızı deneyi sonuçların yorumu (Taylor ve ark, 2006).

Dalga hızı, m/sn.	Beton kalitesi
> 4.500	Mükemmel
3.500 – 4.500	İyi
3.000 – 3.500	Şüpheli
2.000 – 3.000	Zayıf
3<2.000	Çok zayıf

Taze beton numune alma standartları için TS EN 12350-1, numunelerin küp veya silindir kalıplarının şekil ve boyut standartları için TS EN 12390-1, kalıpların hazırlanması, kalıplara beton yerleştirilmesi, kür ve nakil standartları için TS EN 12390-

2, karot alınması, numunelerin deneye hazırlanması ve deney yöntemi için TS EN 12504-1 standartlarına bakılmalıdır (Erdoğan, 2010).

Çekme dayanımı: Doğrudan, yarmada ve eğilmede çekme dayanımı olarak 3 metotla bulunur.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Bu eşitlikte:

σ_c = Çekme dayanımı (Mpa, N/mm²),

P = Kırılma yükü (N),

A = Numunenin ortasındaki kesit alanını (mm²) vermektedir.

a) Doğrudan çekme dayanımı: Bu deney için silindir, prizma veya farklı şekillerde numuneler hazırlanabilir. Numunelerin baş kısımlarına bir başlık ve başlıklara kaynaklı demir çubuklar sayesinde numuneye direk yük uygulanır ve (Eşitlik 6) kullanılarak çekme dayanımı hesaplanır. Ancak başlıkların numunelere tutunması oldukça güç olduğundan bu yöntem fazla tercih edilmez.

b) Yarmada çekme dayanımı (TS EN 12390-6): Bu deney için silindir veya küp numuneler kullanılır. Silindir şekilli olanlar yatık vaziyette olacak şekilde numuneler çekme yükü ile yüklenmek üzere cihaza yerleştirilir ve yük numune kırılana kadar uygulanır. Yük uygulandığı sırada numunede hem basınç gerilmeleri hem de çekme gerilmeleri oluşur. Betonlar basınca karşı daha çok direnç gösterdiklerinden basınç gerilmesi çekme gerilmesinden daha yüksek çıkacaktır. Beton çekme gerilmesine daha kısa sürede yenildiğinden kırılma yükü çekmeden dolayı oluşacaktır. Silindir numuneler için basınç gerilmesi Eşitlik 7'den, çekme gerilmesi ise Eşitlik 8 den hesap edilir. Küp numune tercih edilmesi durumunda Eşitlik 9'dan çekme gerilmesi hesap edilebilir.

$$f_c = \frac{2P}{\pi LD} \times \left(\frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right) \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Bu eşitlikte:

f_c = Basınç gerilmesi (MPa veya N/mm²),

P = Kırılma yükü (N),

L = Silindir numune boyu (mm²)

D = Silindir numune çapı (mm),

r = Silindir numune en kesitinde incelenen noktanın silindir kenarına olan mesafesini (mm) vermektedir.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Bu eşitlikte:

σ_{ζ} = Çekme dayanımını (Mpa veya N/mm²) vermektedir.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{2P}{\pi a^2} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Bu eşitlikte:

a = Küp numunenin ayırıtını (mm) vermektedir.

a) Eğilmede çekme dayanımı (TS EN 12390-5): Bu deney için kare veya dikdörtgen kesitli kiriş şeklindeki kalıplara taze beton hazırlanarak yerleştirilir, kür uygulanır ve çekme deneyi makinesinde kiriş numune orta noktadan veya numune 3'e bölünecek şekilde işaretlenerek iki noktadan yüklenir. Kare kesitli numunelerin eğilme dayanımı Eşitlik 10 yardımıyla dikdörtgen kesitli numunelerin tek noktadan yüklenmesi halinde eğilme dayanımı Eşitlik 11 yardımıyla, iki noktadan yüklenmesi halinde ise Eşitlik 12 yardımıyla hesaplanır. Yüklemelerin gösterimleri Şekil 13 (a)'da kesme ve moment diyagramları da (b) ve (c)'de gösterilmektedir (Erdoğan, 2010).

$$\sigma_e = \frac{Mc}{I} \quad \text{ve} \quad c = \frac{d}{2} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Bu eşitlikte:

σ_e = Eğilme dayanımı (Mpa veya N/mm²),

M = Maksimum moment (N.m veya kg.m),

d = Kiriş kesit yüksekliği (mm),

I = Atalet momentini (kg.m²) vermektedir.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

Bu eşitlikte:

P = Kırılma yükü (N),

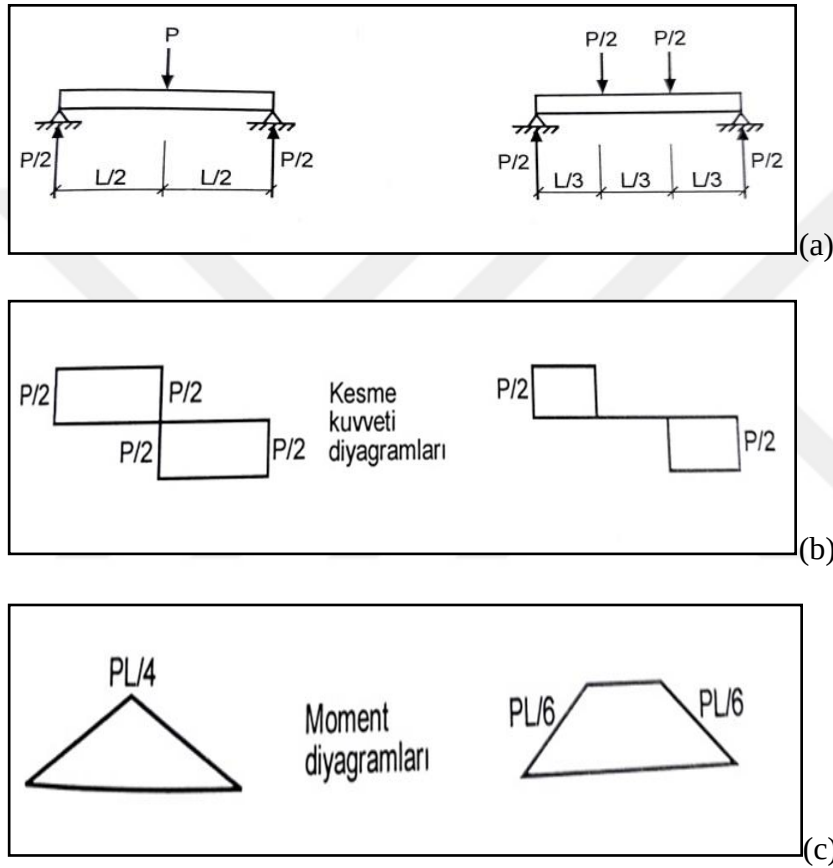
b = Kiriş kesit genişliğini (mm) vermektedir.

$$\sigma_e = \frac{PL}{bd^2}$$

(Eşitlik 12)

Bu eşitlikte:

L = Silindir numune boyunu (mm) vermektedir.



Şekil 13. Kirişlerin bir ve iki noktadan yükleme şekilleri sonucunda kesme kuvveti ve moment diyagramları (Erdoğan, 2010).

1.4. Beton Yol Kaplamalarında Kullanılan Betondan Beklenen Özellikler

Beton yol kaplamaların imalatının hem ekonomik olması hem de en az zahmetle yapılabilmesi ve uzun yıllar sorunsuzca kullanılabilmesi bazı özelliklerinin performanslarının derecesine bağlıdır. Betonun özelliklerine etki eden birçok parametre vardır. Bunların en önemlileri karışım elemanları ve karışım esaslarıdır. Betonun oluşturan çimento, agrega, su ve havanın birbiriyle bağımsız özellikleri ile bu malzemelerin birleşim oranları ve karıştırılma esasları betonun hem taze hem de sertleşmiş halinde oldukça etkilidir. Örneğin, çimento miktarının fazla tutulması hidratasyon ısınısını artırır,

rötre ve sünmeyi olumsuz etkileyebilir, çimento dozajının düşük olması ise basınç dayanımını ve işlenebilmeyi düşürür. Agregat betonun mekanik özelliklerinde en etkili malzemedir. Agregat gradasyonu taneler arasında minimum boşluk kalacak şekilde ayarlanabilirse, en az çimento dozajıyla en fazla su/çimento oranı ayarlanabilir. Betonda su/çimento oranı ne kadar düşük olursa kıvamı o kadar düşük olur ve bu da betonun basınç dayanımı için oldukça olumlu sonuç verir. Beton suyu temiz ve katkısız olmaz ise bünyesinde barındırdığı minerallerin cinsine göre betona değişik türlerde zarar verir. Bu katkılardan en zarar verenlerine klor ve bileşimleri, tuz yoğunluğu, sülfatlar, asitler örnek verilebilir (Şimşek, 2004).

1.4.1. İşlenebilme

Beton malzemelerinin karıştırılmasıyla elde edilen taze beton ilk başta plastik bir haldedir. Hidratasyon devam ettikçe bir süre plastikliğini korur ve sonrasında sertleşmeye başlar. Yol kaplama betonu plastik durumdayken şekil alabilir haldedir ve bu haldeyken kalıba yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey düzeltme işlemleri yapılabilmesine işlenebilme denir.

Beton, iri agregalar ayrışmadan kalıbına yerleşecek ölçüde kohezyonlu ve pompalamaya izin verecek şekilde viskoz olmalıdır (Tunç, 2001).

Betonun, segregasyon oluşumuna karşı direnci, kayma dayanımı, akması, yerleştirilebilirliği, yüzey düzeltme yapışkanlığı, işlenebilme konusunun birer parçalarıdır. Betonun hangi yapı cinsinde kullanılacağını veya taşıma süresi gibi değişkenlerin, işlenebilirliğin derecesinde önemli bir rolü vardır. Döküm yapılacak yapının işlenebilme süresi kıvamıyla yakından ilgilidir. Kıvamı yüksek bir beton iyi işlenebilir gibi görünse de fazla kıvam segregasyon oluşumunu tetikleyeceğinden işlenebilme zorlaşacaktır. Kıvam kayma dayanımı ile ilgiliyken betonun akıcılığı ve kohezyonu işlenebilmeye ilgili bilgi vermektedir. İşlenebilmeyi tam olarak ölçebilen bir deney henüz kabul görmemişken slump, vebe gibi kıvam deneyleri bize işlenebilme hakkında bilgi vermektedir (Erdoğan, 2010).

Su içeriği; işlenebilirliği etkileyen en önemli bileşendir. Su içeriğinin artması, dayanımı azaltarak, ayrışmayı, terleme ve geçirimsizliği artırırken, akıcılığı ve sıkıştırmayı da artırır. Su/bağlayıcı sabitken agregat/çimento oranının artması işlenebilirliği olumsuz etkiler. İnce agregat miktarının artması işlenebilmeyi artırır ancak, fazlası yapışkanlığı meydana verir. Yuvarlak agregat kullanımı işlenebilmeyi artırır, nemsiz kuru, bünyesine su çeken agregat kullanımı beton karışımındaki suyu azaltacağından işlenebilmeyi düşürür. Hava sürükleyiciler işlenebilirliği artırır fazlası ise yapışkanlığa yol açacağından

işlenebilmeyi düşürebilir. İşlenebilirliğin süresi beton karışımındaki suyun zamanla azalma hızına bağlıdır. Sıcaklık hidratasyonu ve buharlaşmayı artıracığından işlenebilirlik süresinin kısılmasına sebep olacaktır. Puzolanların ince, camsı özellikleri ve yuvarlak tane şekilleri işlenebilmeyi artırır. İşlenebilmeyi artırabilmek için su azaltıcı katkıları kullanılabilir. Priz geciktiricilerde işlenebilme süresini uzatır (Taylor ve ark, 2006).

1.4.2. Dayanım

1.4.2.1. Basınç Dayanımı

Betona eksenel yönde basınç yükü uygulandığında betonda bir direnç oluşur. Betonun göçme anında direndiği en büyük yükün, yük uygulanan beton kesit alanına bölünmesiyle basınç dayanımı elde edilir. Beton yollarda yol üzerindeki yükler, yolun üst yüzeyinde basınç gerilmesi oluştururlar.

Betonun en fazla dayanım gösterdiği yükler betonda basınç oluşturan yüklerdir. Betonun basınç dayanımı, kalitesinin de bir tür göstergesidir. Betonun basınç dayanımını, karışım malzemelerinin hem bireysel hem de birbirleriyle etkileşimlerinden ortaya çıkan özellikleri belirlemekle beraber basınç dayanımının bulunması için üretilen numunelerin özellikleri de bir o kadar etkilidir. Bu yüzden oluşturulan bazı standart deney yöntemlerinin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Betonun basınç dayanımını, beton yerleştirdikten sonra 3, 7, 28 ve 90. günlerde yapılan deneylerle belirlenmektedir. Yapılan çalışmalarda betonun 28 günde mukavemetinin %100'ünü, 7 günde de 28 günlük basınç dayanımının 2/3 ünü kazandığı görülmüştür. Betonun karakteristik basınç dayanımı f_{ck} ile karakteristik yük ise f_{cm} ile gösterilir. Aralarında $f_{ck} = f_{cm} + \Delta f$ şeklinde bir bağıntı vardır. Δf betonun karakteristik basınç dayanımının aşılma ihtimaline göre belirlenen bir değerdir (Şimşek, 2004).

TS 500'e göre Beton basınç dayanımı 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindir numunelerinin 28 gün bekletildikten sonra TS EN 12390-2'ye uygun olarak deneye tabi tutulması sonucunda bulunur. Küp numuneler kullanıldığında daha önceden deney yapılarak bulunan katsayılarla dönüştürme yapılması gerekmektedir. Tablo 7'de beton sınıfları ve buna karşılık gelen basınç dayanımları gösterilmektedir. Eşitlik 3'ten yararlanılarak basınç dayanımı bulunabilir.

Tablo 7. Beton sınıfları ve dayanımları (TS 500)

Beton sınıfı	Karakteristik silindirik basınç dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer küp (150 mm) basınç dayanımı, MPa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı f_{ctk} MPa	28 Günlük Elastisite Modülü E_c MPa
C 16	16	20	1.4	27000
C 18	18	22	1.5	27500
C 20	20	25	1.6	28000
C 25	25	30	1.8	30000
C 30	30	37	1.9	32000
C 35	35	45	2.1	33000
C 40	40	50	2.2	34000
C 45	45	55	2.3	36000
C 50	50	60	2.5	37000

1.4.2.2. Eğilmede ve Yarmada Çekme Dayanımı

Betona çekme gerilmesi oluşturacak yükler geldiğinde beton şekil değiştirmeye ve göçmeye karşı bir direnç gösterir. Betonun göçme anında direndiği en büyük yükün, yük uygulanan beton kesit alanına bölünmesiyle çekme dayanımı elde edilir. Beton yollarda yüzeyden gelen yükler, beton yol zeminindeki zayıf zemin kısımları, zeminin uniform olacak şekilde tesviye edilmemiş olması, betonun zemine temas eden kısmıyla atmosfere temas eden üst yüzeyi arasında ki sıcaklık ve nem farklılıkları alt yüzeyde çekme gerilmeleri oluşmasına sebep olurlar. Betonun çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık olarak %10'udur.

Farklı metotlar kullanılarak yapılan deneyler sonucunda eğilmede çekme dayanımının yarmada çekme dayanımında daha büyük olduğu görülmüştür. Buna sebep olarak eğilme dayanımı hesabında kullanılan Eşitlik 10'a göre gerilme dayanımı normalden daha yüksek hesaplanmaktadır. Oysa gerçekte kırılmaya neden olan çekme dayanımı çok daha küçüktür. Ayrıca eğilmeye maruz kalan betonda çekme gerilmesi en büyük alt kısımda oluşmakta ve burada oluşacak çatlaklar yukarı doğru ilerlemektedir. Ancak yukarı doğru yani atalet momentinin hesaplanacağı tarafsız eksene doğru yaklaşıldıkça eğilme gerilmesini oluşturan yükler azalmakta, yani gerilim düşmektedir (Erdoğan, 2010).

1.4.2.3. Aşınma, Kayma ve Çarpmaya Karşı Dayanım

Beton kaplamaların atmosfer ve trafik yüklerinin ilk temas ettiği kaplama yüzeyleri sürekli olarak aşınma, kayma ve çarpma etkilerine maruz kalmaktadırlar. Bu yüzden

beton kaplamaların aşınma, kayma ve çarpmaya karşı dayanıklı olması kaplamanın ömrü açısından oldukça önemlidir.

Betonun basınç dayanımı ne kadar yüksek olursa yüzeyin bu etkilere karşı direnci de o kadar yüksek olur. Soğuk iklime sahip yerlerde su/çimento oranı en fazla 0,49; diğer yerlerde 0.54 oranını aşmamak gerekir. Maximum agrega çapı için kaplama kalınlığının dörtte birinden küçük olmalıdır. Beton kaplamaların kaymaya karşı dirençleri esnek kaplamalara göre daha yüksektir, Ancak ıslak haldeyken kayma direnci oldukça düşmektedir. Beton kaplamaların kayma direncini belirleyen en önemli etkenler karışım oranları ve agrega'dır. Kaplama yüzeyinin pürüzlü veya boşluklu olması direnci artırırken ince agrega miktarının karışım oranında yüksek tutulması, kayma direncini düşürür. Agreganın köşeli olacak şekilde özellikle kırma taş seçilmesi yine kayma direncini artıracaktır (Tunç, 2001).

Betonda agrega miktarı diğer bileşenlere oranla daha fazladır ve betonun bu etkilere karşı dayanımını belirlemede ilk sırada yer almaktadır. Özellikle ağır trafik yükleri veya sürekli donma çözölmeye maruz yerlerde yapılan beton kaplamada kullanılacak agregaların sert ve dayanıklı olması gerekir. Aşınmaya karşı dayanım için yüzeydeki suyun uzaklaştırılması oldukça önemlidir Bunun için vakumlu beton uygulaması iyi sonuçlar verecektir. Yüzey aşınma miktarı 1,2mm'den az olan kaplamaların aşınma dayanımı yüksek, aşınma miktarı 3 mm'den fazla olan kaplamaların aşınma dayanımı düşük şeklinde yorumlanabilir. Çarpma dayanımında basınç dayanımı yanında beton kaplamanın çekme dayanımının da yüksek olması önemlidir. Dolayısıyla donatılı betonların çarpmaya karşı dayanımı daha yüksektir denilebilir. Agreganın çarpma anındaki ani gerilme etkisine karşı dayanıklı olması açısından, deformasyon yapabilme yeteneğinin yüksek olması önemlidir. Bu yüzden dayanıklı ve özellikle köşeli olan kırmataş agregası kullanmak çarpma direncini artıracaktır (Şimşek, 2004).

Beton kaplamada kullanılacak agreganın aşınma dayanımının tespit edilmesi için AASHTO T 96'ya göre Los Angeles aşınma deneyi yapılmaktadır. Çelik bilyelerle birlikte bir tamburun içine atılan agregalar, tamburun dönmesiyle birlikte çelik bilyelerin sürtünme ve çarpmasına maruz kalmakta ve aşınma miktarı ölçülerek agregaların aşınma kaybına bakılmaktadır. Doğrudan beton üzerinde yapılan deneyler ise ASTM C 418'e göre basınçlı hava ile betona çarpan silika kumlarının yarattığı aşınma kaybının ölçümü, ASTM C 779'a göre; dönen çelik silindire maruz bırakılan yüzeydeki aşınma miktarının ölçümü, dairesel hareketle dönen tekerleklerin beton yüzeyinde kaymasıyla yüzeyin sürtünmeye maruz kalması sonucu ölçülen aşınma kaybı, ıslak beton yüzeye temas ederek dönen çelik bilyelerin beton yüzeyine uyguladığı yüklerle birlikte meydana gelen çarpma ve

sürtünme sonucu oluşan aşınma kaybının ölçülmesidir. ASTM C 418'e göre yapılan deneyde betonda oluşan hacim kaybı, ASTM C 779'a göre yapılan deneylerde aşınma derinliği ölçülmektedir (Taylor ve ark, 2006).

1.4.2.4. Kuruma ve Büzülme Dayanımı

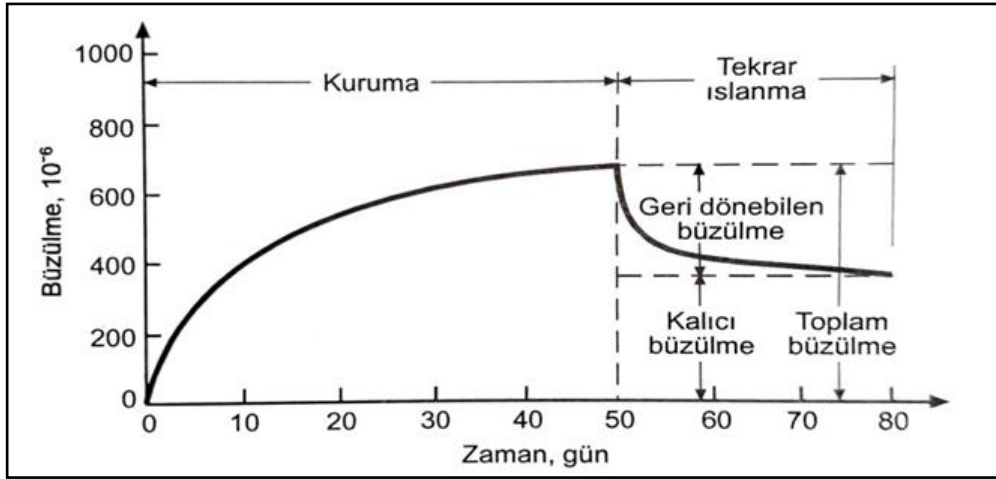
Beton kaplamadaki suyun çeşitli sebeplerle kaybolması sonucu beton kurudukça hacmi azalır ve beton büzülmeğe başlar. Betonun bu kuruma ve büzülmeğe karşı yapısal bir hasar almadan dayanması gerekir. Yapısal hasarlar betonda kendini çatlakların oluşması ve donatılı betonlarda donatı korozyonu şeklinde gösterir.

Çatlak oluşumuna sebep olan büzülme; kuruma, plastik, termal, oturma, karbonatlaşma gibi sebeplerle ortaya çıkmaktadır. Beton kaplamalarda en sık görülen plastik büzülme ve kuruma büzülmesidir.

Termal genleşme ve büzülme, hidratasyon ısısı ve agrega genleşmesine bağlı olarak ortaya çıkar ve beton kaplamalardan ziyade kütle betonlarında daha çok karşılaşılan bir durumdur (Şimşek, 2004). Hidratasyon sonucunda buharlaşma gerçekleşmekte ve oluşan ürün hidratasyona katılan ürünlerin hacimleri toplamından daha az olmaktadır. Buda büzülmeğe sebep olur Buna otojen rötre denmektedir (Taylor ve ark, 2006).

Plastik büzülme, atmosfer şartlarının, beton kaplamasının iç kısımlarındaki su kaybı yavaşken kaplama yüzeyindeki buharlaşmayı hızlandırması sonucu kaplama yüzeyinde meydana gelen bir büzülmedir. Bu sebeple oluşan çatlaklar iç kısımlara ilerlemeyen yüzeysel, rastgele çatlaklardır.

Kuruma büzülmesi, atmosfer şartlarının (Havanın rüzgarlı olması, sıcaklığın yüksek olması, nemin düşük olması vb.) kaplama yüzeyini etkilemesi sonucu buharlaşmanın hızlanmasıyla ortaya çıkar. İlk olarak çimento hamurundaki su ve peşi sıra da kapiler boşluklardaki su buharlaşır. Daha sonra C-S-H jelleri üzerindeki su ve jel içerisindeki su buharlaşır. Kurumanın devam etmesiyle jellerin yapısı bozulmaya başlar. Kuruyan betonun suyla kürlenmesi sonucu %40 ila %70'e varan geri dönüşler sağlansa da kaybedilen su tam olarak geri kazanılmaz. Şekil 14'te kurumadan sonra kürlenmiş betonun büzülme davranışı görülmektedir (Erdoğan, 2010). Taze betonda kuruma ve büzülme çatlakları 30 dakika ile 5 saat arasında oluşur. Sertleşmiş betonda kuruma çatlaklarının önemli bir bölümü ilk 1 ay da oluşsa da 5-6 ay boyunca devam eder. Bu büzülmenin sebep olacağı gerilmelerin ortaya çıkaracağı çatlakları önleyebilmek için yüzeyin iyice kürlenmesi ve yol boyunca belirli aralılarla derz kesimi yapılması gerekir (Şimşek, 2004).



Şekil 14. Kuruma ve suyla kütleme sonrası betonun davranışı (Erdoğan, 2010).

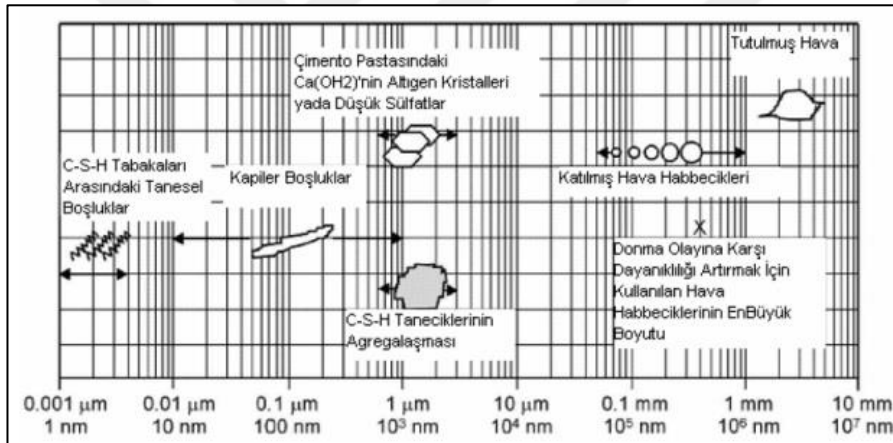
1.4.2.5. Geçirimsizlik, Gözeneklilik, Porozite ve Su Emme

Betonda geçirimsizlik, sertleşmiş haldeyken kaplama yüzeyinden gelen suların betonun içerisinde birbirine bağlı halde bulunan boşluklardan geçerek hareket halinde olmasıdır. Betondaki bu boşluklar jel boşlukları, kapiler boşluklar, agrega ve çimento harcı arasındaki boşluklar, beton karılırken içinde kalan hava boşlukları, hava sürüklenmiş betondaki hava boşlukları olabilir.

Beton içerisinden geçen bu sular, kaplama içerisindeki betonda korozyona sebep olabileceği gibi, içeriklerinde betona zarar verebilecek her türlü kimyasal madde de bulundurabilirler. Beton bu boşluklardan su emdiğinde, suyun bir kısmı akıp gitmez ve olumsuz hava koşullarında donma ve çözölmeye maruz kalarak betonda hacim değişikliklerine bağlı olarak gerilmelere sebep olabilirler. Geçirimsizlikte su akış halinde bulunurken, su emme de ki su; betonun içinde durmaktadır. Ancak iki durumda da su teması olduğundan betonda bir kısım benzer etkilere sebep olmaktadır. TS EN 12390-7 nolu standart ile su emme miktarı belirlenmektedir. Buna göre ilk olarak numune kurutulmakta ve ağırlığı ölçölmekte, sonrasında suda bekletilerek doymun hale getirilmekte ve yeniden ağırlığı ölçölmektedir. Aradaki fark emilen su miktarını göstermektedir. Betonda geçirgenlik tayini TS 3455 nolu standart ile yapılmaktadır. Buna göre üretilen silindirik numunelerin yan yüzeyleri geçirimsiz hale getirildikten sonra üst yüzeye yerleştirilen bir boru ile basınçlı su verilmekte ve numunenin alt kısmından geçen su miktarı ölçölmektedir (Erdoğan, 2010).

Betonda gözeneklilik, agrega taneleri arasında veya çimento hamuru içerisindeki hava boşlukları ile ilgilidir. Gözeneklilik boşluk oranını ifade eder ve boşluk hacminin katı hacme oranı olarak değeri kazanır.

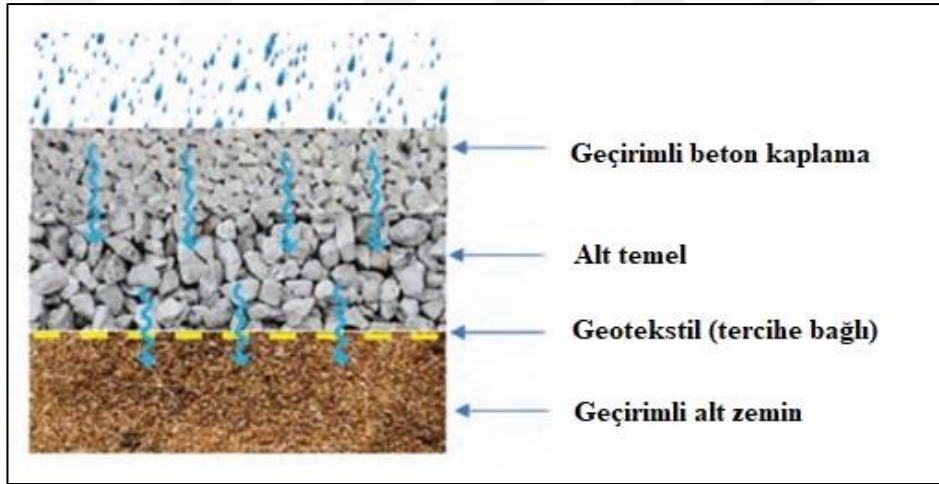
Porozitede, birbiriyle ilişkili bir çok boşluk bulunur ve hidratasyona uğramış çimento harcının içerisinde C-S-H tabakaları düzensiz şekillerde dağılırlar. Hidratasyonla birlikte bu boşlukların etrafı kapanarak kapiler boşluklar haline gelirler. Betondaki boşluklar genel olarak kapiler, jel veya betonun içerisine özellikle katılmış hava boşlukları olarak isimlendirilirler (Tekin ve ark., 2011). Boşlukların yapısal ve şekilsel karmaşıklıklarından dolayı porozitenin ölçümü zordur. Tekin ve arkadaşlarının Porozite ölçüm yöntemlerini karşılaştırdıkları araştırmalarında MIP (cıva püskürtmeli porozimetre) ve BT (Bilgisayarlı Tomografi) tekniklerini karşılaştırarak BT yönteminin nasıl porozite analizi yaptığını çeşitli karşılaştırmalarla açıklamışlardır. Betonda bulunan hava hacimlerinin betonun içeriğine su alma riskini artırdığından zamanla tahribat oluşma riski yükselmektedir. Ancak donma çözünmenin yaratacağı problem konusunda her boşluk her zaman zararlı olmayabilir. Burada boşlukların birbirleriyle bağlanma şekilleri önem kazanır. Şekil 15'te betondaki gözenekler (boşluk) gösterilmektedir.



Şekil 15. Çimentolu sistemlerde oluşan gözeneklerin ölçü aralıkları (Tekin ve ark, 2011).

Gözenekli bir beton imal edebilmek için bu hava boşlukları beton içerisinde özellikle bulunacak şekilde malzeme kullanılır. Bu şekilde üretilen betonlara gözenekli beton denir. Kuru yoğunluğu 800-2000 kg/m³ arasında olan bu betonlara hafif betonda denmektedir (Şimşek, 2004). Bunun içinde agrega taneleri arasına veya çimento hamuru içine hava boşlukları yerleştirilmeli, ya da agregaların kendisinde hava boşlukları olmalı yani hafif agrega kullanılmalıdır. Hafif agregalı betonlarda; agregaların boşluklu yapıları sebebiyle fazla su emerek, bünyelerinde yüksek su bulundururlar. Beton içi hidratasyona su sağlayarak iç kütleme yaparlar. Bu betonların çimento hamurunun dayanımı agreganın dayanımından daha yüksektir. Ancak en düşük dayanımı betonun dayanımında en etkili olduğundan agrega belirler. Tane boyutuyla ilgili yapılan çalışmalar tane boyutu küçültüldükçe dayanımın arttığını göstermiştir. Bu betonlarda ince agreganın kum

kullanılması basınç dayanımına olumlu katkı sağlar. İnce agregasız gözenekli betonlarda; agrega boyutları 5 mm'den büyüktür ve ince agrega olmadığından çimento hamuru agrega tanelerini sarar. Çimento miktarının azlığından dolayı yerleştirme işleminin hızlı yapılması gerekmektedir. Tipik basıncı 17-20 Mpa civarındadır. Hafif agregalı betonlar daha çok yapısal alanlarda kullanılırlar, ince agregalı gözenekli betonlar, trafik yoğunluğu hafif olan, geçirimli olması istenen yol kaplamalarında, otopark zeminlerinde, kaldırımlarda vb. kullanılırlar. Yerleştirilmeleri oldukça kolay olan gözenekli veya geçirimli hafif betonların en önemli özellikleri gözenekli yapılarından dolayı üzerlerinde su tutmadıklarından yolda su birikmesi olmaz, suyu drene ederek zemine gönderirler, donma, büzülme oranı oldukça düşük olduğundan, donma-büzülme riski olmaz. Hafif betonların çökme değerleri oldukça düşüktür, En iyi işlenebilirliği 75 mm çökme değerinde verirler (Yazıcı, 2024).



Şekil 16. Geçirimli beton kesiti (THBB, 2018).

1.4.2.6. Donma ve Çözünme Etkilerine Karşı Dayanım

Beton kaplamanın içerisinde hapsolmuş suyun donarak hacminin genişlemesi bulunduğu yerde uyguladığı basıncın artmasına, yeni kılcal boşluklar oluşmasına sebep olur. Bu duruma sistematik bir şekilde maruz kalan kaplamalar donma ve çözölmeye karşı dayanıklı olsa da zamanla çatlakların genişlemesi, çatlakların donatıya ulaşması ve donatı korozyonuna varan hasarlara yol açabilir (Taylor ve ark, 2006).

Donma çözölmeye etkisine maruz betonlarda yüzeydeki çatlakların ilerlemesiyle pullanma, parça parça kopmalar, agregaların ayrılması veya parçalanma şeklinde problemler oluşabilir (Şimşek, 2004). Sistematik bir şekilde donma ve çözölmeye maruz kalacak kaplamalarda dayanımı artırmak için hava sürüklenmiş beton kullanılması önerilmektedir. Bir katkı malzemesi kullanılarak taze betona toplam miktarın %4 ila %8'i arasında hava sürüklenir. Beton içerisinde boşluklarda bulunan suların hepsi donmaz.

Donmayan sular donmuş suyun ortaya çıkardığı hidrostatik basıncın etkisiyle dışarı itilirler. Hava sürüklenmiş betondaki bu mikro hava kabarcıkları bu suları bünyesine alarak basıncı düşürürler. Bu hava kabarcıkları aynı zamanda işlenebilmeyi artırır ve terlemeyi düşürürler (Erdoğan, 2010). Donma ve çözölmeye karşı dayanımı artıran diğer yapılabilecekler arasında, daha az geçirgen beton kullanmak, çimento ağırlığının belli bir kısmı yerine puzolan kullanmak, su emme özelliğı düşük olan daha az gözenekli ve daha yüksek dayanımlı iri agrega kullanmak söylenebilir (Şimşek, 2004).

1.4.2.7. Elastisite Modöü ve Poisson Oranı

Elastisite modöü rijit üst yapılar da, betona bir yük uygulandığında betondaki elastik deplasmanın ve çatlak oluşumunun bir ölçütüdür. Birimi Pascal veya N/mm² dir. Normal bir betonda Elastisite modöü 14 – 41 Mpa arasında betonun basınç dayanımı ve agrega özelliğine bağı olarak değışmektedir. Poisson oranı uygulanan yüke dik olarak gerçekteşen elastik deplasmanın bir ölçütüdür. Betonda basınç dayanımına, nem durumuna, agreganın cinsi betonun yaşı gibi özelliklere bağı olarak 0.15 – 0.25 arasında bir değı almaktadır. Elastisite modöü kaplamanın tasarımında ve çatlak oluşma riskinin değılendirilmesinde, Poisson oranı ise çok kullanılmamakla beraber erken yaşıardaki davranışının tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Eşitlik 13'te Elastisite modöünün gerilme, birim deplasman bağıntısı gösterilmektedir (Taylor ve ark, 2006).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Bu eşitlikte:

E = Elastisite modöü (MPa veya N/ mm²),

σ = Gerilme (MPa veya N/ mm²),

ε = Birim uzamayı (mm) vermektedir.

Eşitlik 14'te Poisson oranının yan al uzama ve eksenel uzama eşitliğı gösterilmektedir. Basınç dayanımı yüksek betonların Elastisite modöülleri yüksek, Poisson oranları düşüktür (Şimşek, 2004).

$$\mu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_e} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Bu eşitlikte:

μ = Poisson oranı,

ε_y = Yanal uzama (mm),

ε_e = Eksenel uzamayı (mm) vermektedir.

1.5. Yol Yapımı Sonrası Kalite Kontrol ve Çalışmalar

Beton, üretiminden kullanıma geçilmesine kadarki süreçte; içeriğini oluşturan malzemelerin ve maruz kaldığı çevresel koşulların tüm farklılıklarından etkilenen ve bu etkilerin, üzerinde oluşturduğu yönelimleri çeşitli şekillerle ortaya çıkaran bir yapı malzemesidir. Beton yollarda betonun çevresel koşullarla temas ettiği yüzeyin geniş olması bu yönelimlerin oluşma riskini, yoğunluğunu ve çeşitliliğini artırmaktadır.

Beton yollarda beton dökümünden önce, beton dökümü sırasında, dökümün hemen sonrasındaki bir kaç saat içerisinde ve betonun ömrü boyunca çeşitli sebeplere bağlı olarak bir çok problemler meydana gelebilir. Bu tezin çalışma bölgesinde en çok karşılaşılan problemler, döküm sırasında; inşaat sahasının beton santraline uzak olmasıyla beraber beton nakil süresinin uzaması ve yol eğiminin fazla olması gibi durumların sonucu işlenebilmede zorluk yaşanması, yol genişliklerinin ortalama bir değer olamayacak kadar fazla daralması ve genişlemesi sonucu kalıp yerleşimin düzgün yapılamaması ve silindirle sıkıştırılmış beton uygulamasının kullanılamaması, dökümün hemen sonrasında; atmosferik şartların ani değişmesi sonucu kürelemede yaşanan olumsuzluklar, beton prizini alamadan ani sağanak yağışlara maruz kalması gibi sebeplerle yüzeysel bozulmalar, erken yaş çatlakları, betonun ömrü boyunca; yine atmosferik sebepler, trafik yükleri, betona zarar verebilecek inşaat ve tarım makinelerinin yol üzerinde yürütülmesi, hayvan gübrelerinin ve bu gübrelerden sızan suların yol yüzeyine akması, özellikle yüksek kesimlerde ani sıcaklık değişimleri gibi sebeplerle ileri yaş çatlakları, donma çözülmenin sebep olduğu bozulmalar, D çatlakları ve özellikle kırsal kesimlerde yolların, ıslah çalışmaları yapılmamış, tesviye edilmemiş, yüksek eğimli, hendekleri açılmamış, gerekli yerlerde su geçişleri sağlanmamış veya düzenli bakımı yapılmamış olmaları sebebiyle suya sürekli olarak maruz kalmaları sonucu betonun çok zarar görmesi, zorlu coğrafik şartların getirisi alternatif yol güzergahlarının olmaması sonucu erken trafiğe açılma, olarak gösterilebilir.

Yukarıda bahsedilen problemlerin yanı sıra, beton içeriğini oluşturan malzemelerin içeriklerinin de betonun taze halde işlenebilme, dayanım, elastisite modülüne etki etmesi ve beton dökümü bittikten sonra betonun ömrü boyunca üzerindeki etkisi geçen konularda anlatılmıştır. Bu tezde özellikle betonun çatlaması, yüzey bozulmaları ve dayanım üzerine araştırma yapıldığından bu konulara ağırlık verilmiştir.

Betonun çekme gerilmelerine karşı dayanım aralığı hem plastik haldeki taze beton hem de sertleşmiş beton için belirli bir limiti geçemez. Betonun üzerindeki çekme gerilmeleri beton çekme dayanımı aşması (yaklaşık olarak basınç dayanımının %10'u) sonucu çatlaklar meydana gelmektedir. Betonun çatlaması betonun bir özelliği olmamakla beraber temelde beton çatlakları. (THBB, 2022)

1.5.1. Çatlaklar

Beton, yapı elemanlarından daha ziyade bir boyutu diğerlerine oranla döşeme tanımı yaratacak kadar küçük olduğu hallerde (kalınlık) ve özellikle temas yüzeyi bir zemin olduğunda çatlama riski her zaman düşünülmesi gereken bir durumdur. Özellikle zemin temasına gerek kalmadan atmosferdeki değişimlerin bile betona yansımalarının oldukça hızlı olduğu beton yollarda çatlamanın önüne geçilemezken, zeminle temasın olması konuyu çatlak oluşumunun kaçınılmaz olacağı dolayısıyla çatlak kontrolüne getirecektir.

Normal sıcaklıklarda ve düşük gerilmeler altında beton sünür. Bu sünme sonucunda, betonun karışım malzemelerinden özellikle agrega tipi, beton yaşı, dayanımı, gerilme yükleri, iklim koşulları, (özellikle bağıl nem ve ısı) gibi etkenlerin betonda meydana getireceği şekil değişimlerini çatlama ile neticelendirebilir. (Şimşek, 2004). Çatlaklar genel olarak beton dökümünde betona etki eden bazı sebeplerle yapısal olmayan ve çeşitli etkenlerle betonun kuruması, büzülmesi, donması, plastik oturma vb. ortaya çıkan erken yaş çatlakları ile betonun ömrü boyunca sürekli olarak maruz kalacağı yapısal olan ve trafik yüklerinden kaynaklı hacimsel değişiklikler sonucu ortaya çıkan etkenlerin sebep olacağı ileri yaş çatlakları olarak sınıflandırabiliriz. (Taylor ve ark, 2006)

1.5.1.1. Erken Yaş Çatlakları

Beton taze halden sert hale geçerken çekme kapasitesi artarak beton yaş aldıkça daha da yükselmektedir. Dolayısıyla beton dökümü yapıldıktan sonraki ilk yaşlarda beton, çekme gerilmelerine karşı oldukça duyarlı olacak ve gerilmeleri atabilmek için çatlamaya meyillenecektir. Betonun erken yaş çatlaklarının sebeplerine bakmak için ilk olarak betonda çekme gerilmeleri oluşturan olayları belirlemek gerekir.(THBB, 2022)

Erken yaş çatlak oluşumunda etkin rol oynayan olaylar; betonun hacminde değişime sebep olan sıcaklık değişimlerine bağlı olarak betonda kuruma, büzülme, kısıtlama meydana gelmesi, atmosfer ve zemin durumlarının beton üst ve ya alt yüzeyinde yamulma ve kıvrılmaya sebep olması, betonun dayanım ve rijitliğinin azalması, betonun temel durumunun betona gerekli desteği vermemesi, betonun ilk yaşlarında kendi ağırlığı

da dahil olmak üzere trafik yüklerine maruz kalması şeklinde ifade edebilir. Çatlama genellikle bu etkenlerin birkaç tanesinin beraber betona etki etmesiyle gerçekleşmektedir.

Beton kaplama yüzey işlemleri sonlandırıldıktan sonra yüzeyden buharlaşan suyun hızına alt kısımlardan yükselerek gelen terleme suyu yetişemediğinde beton yüzeyinde meydana gelen kuruma, büzülme gibi olaylar neticesinde ortaya çıkan çatlaklara rötre çatlakları denmektedir. Betonda buharlaşan su kaybını artıran sebebe bağlı olarak rötre çatlakları çeşitlenmektedir. Plastik rötre (büzülme), termal rötre, kuruma rötresi, kimyasal rötre, oturma rötresi gibi. Erken yaş çatlaklarına sebep olan kuruma, büzülme, kıvrılma, yamulma gibi olaylar hacimsel değişikliklerin konusunu oluşturmaktadır. Betonun prizini almadan önceki nem kaybı plastik rötreye, prizini aldıktan sonraki nem kaybı kuruma rötresine ve prizden sonra ortam sıcaklığının düşmesi ise termal büzülmeye sebep olur. Beton kaplamanın atmosfer ve zemin ile temas ettiği yüzeylerde görülen sıcaklık değişimi kıvrılmaya, nem değişimi ise yamulmaya sebep olmaktadır. Şöyle ki beton yüzeylerinden daha soğuk olan veya daha hızlı soğuyan taraf daha hızlı büzüldüğünden kaplama kenarları o tarafa kıvrılmakta, nem oranı daha düşük olan kuru taraf daha hızlı büzüleceğinden de beton aynı şekilde kuru tarafa doğru yamulmaktadır. Kıvrılma ve yamulma birbirinin tersine hareket ederse birbirini sönmüleyebilir aksi durumda ise birbirlerini destekleyebilir. Betonun elastisite modülü rijitliğinin bir göstergesidir ve betonun ilk başlardaki rijitliği, dayanım artışını geçtiğinde hacimsel değişimlerdeki değişiklikler gerilmelere sebep olmakta ve betonun çatlaması kaçınılmaz olmaktadır (Taylor ve ark, 2006). Temelin beton plağa desteği çok önemlidir. Temelden gerekli desteği alamayan beton plak üzerine gelen yükleri zemine uniform olarak dağıtamaz ve tekrarlanan yükler altında desteğin kesildiği veya azaldığı noktada çatlak oluşumu kaçınılmaz olur.

Plastik rötre çatlaklarının oluşmasına sebep olan nem kayıplarının en önemli etkeni atmosferik olaylardır. Beton taze haldeyken hava sıcaklığının yüksek olması, bağıl nemin yüksek olması, rüzgar esmesi, yağmur yağması, hava olaylarının ani değişimi, betonun geç dayanım alması, beton dökülen zeminin veya beton agregasının beton suyunu emerek terlemede ihtiyaç duyulan suyun kaybolması gibi durumlar plastik rötreyi başlatabilir, bu olayların ne kadarının birlikte görülmesine göre de çatlak oluşumunu artırıp derinleştirebilir. Beton dökümü ile çatlak oluşumu hemen başlayabilirler. Bu çatlaklar 30 cm' ye kadar uzunluklarda ve 5 cm ye kadar derinliklerde rüzgar yönüne dik uzanarak beton yüzeyinde su dalgası gibi şekiller oluştururlar. Yüzeyseldirler, genelde yolda ciddi hasarlara sebep olmazlar. Şekil 17'de plastik rötre çatlağına ait bir görsel gösterilmektedir.



Şekil 17. Plastik rötre çatlağı (Şahin, 2024).

Termal rötre çatlakları, betonun ısınarak genişmesi sonucu oluşan içsel gerilmelerin atılması için ortaya çıkan çatlaklardır. Betonda termal genişlemeye sebep olan en önemli olay ise hidrasyondan ortaya çıkan ısıdır. Bu ısı agregaların genişmesi özelliği sebebiyle gerilmeleri artırmaktadır. Genellikle beton prizini aldıktan ve yaklaşık olarak üzerinden 24 saat geçtikten sonra oluşmaya başlarlar. Şekil 18’de termal rötre çatlaklarına ait bir görsel gösterilmektedir.



Şekil 18. Termal rötre çatlağı (Ekinci, 2022).

Kuruma rötre çatlakları, betondaki kılcal damarlardaki ve hemen ardından jel boşluklarındaki suyun buharlaşması sonucu beton içinde hapsolmuş suyun buharlaşmasıyla birlikte ortaya çıkan içsel büzülmenin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Şimşek, 2004). Şekil 19’da kuruma rötre çatlaklarına ait görseller gösterilmektedir.



Şekil 19. Kuruma rötresi çatlağı (Şahin, 2024), (Ekinci, 2022).

Oturma çatlakları, genellikle donatılı beton plaklarda ve zemini iyi ıslah edilmemiş, sıkıştırılmamış temel tabakası üzerine yerleştirilmiş betonlarda görülür. Betonun kıvamının oldukça yüksek olması agrega çimento hamurunun ayrışmasına sebep olur. Donatılı betonlarda donatı altına iri agregaların yerleşmesi sonucu beton yüzey kısmında çimento hamurunun kalması üst yüzeyin dayanımının düşmesine ve çatlak oluşum riskinin artmasına sebep olur. İyi oturmamış bir zemin üzerine dökülen beton plak altında suyun etkisiyle oluşan boşluklar bu kısımlarda yükün uniform olarak dağılmamasına ve betonun yorulmasına sebep olurken, beton plak altı zemin destek eksikliği yaratmaktadır. Şekil 20’ de oturma rötresi çatlağına ait bir görsel gösterilmektedir.



Şekil 20. Oturma rötresi çatlağı (Yıldırım, 2017).

1.5.1.2. İleri Yaş Çatlakları

İleri yaş çatlakları; donatı korozyonu, alkali silika etkileşiminin etkileri, karbonatlaşma, donma ve çözülme etkileri, donmayı önlemek için kullanılan tuzlar, özellikle kırsal kesimlerde kaplama üzerine bırakılan gübrelerin sebep olduğu asidik etkiler gösterilebilir. Trafik yükleri kırsal kesimlerde beton kaplamalarında çatlak etkisi

yaratacak fazlalıkta olmasa da özellikle toprak sürmede veya tarım ürünlerinin taşınması, ekimi dikimi, hasadında kullanılan makinelerin beton üzerinde yürütülmesinin betonda geliştirdiği çatlakları örnek olarak verebiliriz. Eğer bölgede sanayi kırsal kesimde kurulmuş ise trafik yüklerinin ağırlığı doğrudan ileri yaş çatlaklarının oluşumuna etki edebilir. Bu etkiler haricindeki uzun süreli kuruma rötresine maruz kalan betonlarda da ileri yaş çatlakları görülebilir. Tüm bu etkiler betona ömrü boyunca etki ederken betonda zamanla soyulmalar, patlamalar, çatlaklar görülür (Şimşek, 2004).

Karbonatlaşma büzülmesi; Beton içerisinde su ile buluşmadan kalan kalsiyum hidroksit zamanla suyun kılcallara girmesiyle su ile karışarak beton yüzeyine çıkar ve burada karbondioksit ile birleşmesi sonucu su kaybederek betonun büzülmesine ve yüzeyde çatlaklar oluşmasına sebep olur (Erdoğan, 2010). Şekil 21’de karbonatlaşma büzülmesi rötire çatlaklarına ait bir görsel gösterilmektedir.



Şekil 21. Karbonatlaşma büzülmesi rötire çatlakları (Ekinci, 2022).

Donatı korozyonunda; donatılı beton kaplamalarda karşılaşılabilecek boyuna donatı korozyonuna uğradığında hacmi genişler ve bu genişleme beton içerisinde gerilmeler oluşturur. Mevcut çatlakların genişlemesi ve derinleşmesine sebep olabilirler. Donatılı beton kaplamalarda kontrollü genişleme hareket serbestliği sağlamak için enine derzlere yerleştirilen kayma demirlerinde oluşabilecek korozyonu önlemek için donatılar epoksiyle kaplanır ya da paslanmaz çelikten üretilirler (Uyar ve ark, 2019). Şekil 22’de donatı korozyonu çatlaklarına ait bir görsel gösterilmektedir.



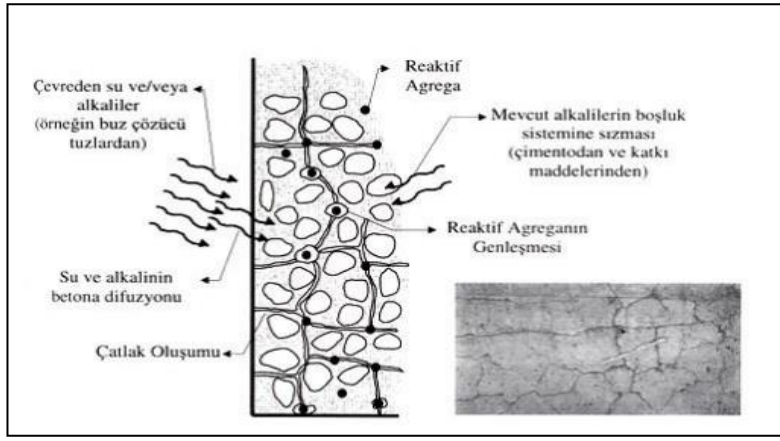
Şekil 22. Donatı korozyonu çatlağı (Ekinci, 2022).

Donma çözölmeye bağılı çatlak oluşumunda; betonun içerisinde bulunan jel suyu, büyük veya küçük kapiler boşluklarda bulunan sular farklı düşük ısı derecelerinde donarak hacim genişletir veya erken donan sular henüz donmayan suları hidrolik basınçla harekete geçirirler. Bu hareket çimento hamurunun çatlamasına sebep olur. Sürekli tekrarlanan bu olay zamanla yeni iç gerilmeler yaratarak çatlakların birleşip büyümesine ve agreganın ayrılmasına kadar varabilir ve en nihayetinde betonun geneline yansiyarak, yapısal hasarın boyutunu artırır (Erdoğan, 2010). Şekil 23'te donma çözünme etkisine maruz kalmış betona ait bir görsel gösterilmektedir.



Şekil 23. Donma ve çözünme etkisine maruz kalmış beton (URL-2)

Alkali silika reaksiyonuna bağılı çatlak oluşumunda; çimento içerisindeki alkaliler ile agregalarda bulunan silika mineralleri reaksiyona girerek alkali silika jellerini oluştururken bünyelerine ortamdaki suyu çekerler ve beton içerisinde oldukça büyük gerilmeler oluşmasına sebep olurlar. Çimentodaki kalsiyum hidroksitle de etkileşime giren bu jeller gerek agrega çevresinde gerek beton içerisindeki çatlaklarda büyük genişlemelere sebep olurlar (Erdoğan, 2010). Şekil 24'te Alkali silika reaksiyonu ve çatlak oluşumuna ait bir kesit ve görsel gösterilmektedir.



Şekil 24. Alkali silika reaksiyonu ve çatlak oluşumu (Yıldırım, 2017).

Erken yaş çatlağı olan bir betonun ömrü boyunca bu olaylara maruz kalması mevcut çatlakların derinleşmesi, derzlerin derinleşerek ayrılmaları şeklinde yıkıcı etkiler yapabilir. İleri yaş çatlaklarının betonun durabilitesine olumsuz etkisi kaçınılmazdır.

1.5.2. Bozulmalar

Beton kaplama yüzeyinde özellikle kırsal bölgelerde en fazla görülen problemlerden biride yüzeysel bozulmalardır. Bu bozulmalar; aşınmalar, yüzeyde ki çatlakların, derz kenarlarının veya beton en kesit bitiş kenarlarının parçalanması, pullanmalar gibi olaylardır. Genel olarak yüzey bozulmaları dışardan gelen etkilerle oluşurlar. Bu etkenlerin en önemlisi donma noktasının düşürülmesi için yol yüzeylerine serilen tuzlardır. Bu tuzlar yol yüzeyinde geniş bir alanda pullanmaya sebep olurlar. Pullanma olayı da yüzeydeki agregaların sıyrılıp kopmasıyla sonuçlanır. Suda eriyerek beton yüzeyindeki çatlaklar aracılığıyla donatıya kadar ilerleyen tuzlar aynı zamanda donatı korozyonunu da hızlandırabilirler. Yine hayvan dışkılarının beton yol üzerine gelecek şekilde ortama bırakılmaları kaplama üzerinde soyulma etkisi yaratmaktadır.

Beton yol kaplama üzerindeki hava trafiği ve yolu kullanan araç dingil ağırlığı aşınma olaylarına sebep olabileceği gibi buzlu kısımlarda araç lastiklerinde kullanılan zincir ve çivi gibi metaller aşınmayı artırarak beton yüzeye zarar verirler. Yine kırsal bölgelerin yaz kış kullanılan bölgelerinde kaplama yüzeyinde görülen aşınma sebebidir.

Vibrasyon işlemi yeteri kadar ve tekniğine uygun olarak yapılmadığında özellikle de beton tabaka kalınlığı fazla olduğunda beton içerisindeki kabarcıklar yüzey düzeltme işlemleri bitirilmeden yüzeye çıkamazlar. Bu durumda beton prizini almadan çıkmaya başladıklarında beton yüzeyinde kabarcıklar meydana gelir. Bu kabarcıklara giren suyun donma çözünme etkisine bağlı olarak ilerleyene zamanlarda yüzeyde soyulmalara sebep olur. Şekil 25'te kabarcık oluşmuş beton yüzeyine ait bir görsel gösterilmektedir.



Şekil 25. Beton yüzeyinde kabarcık oluşumu (URL-1).

1.5.3. Sorunlarla Mücadele

Beton yol kaplamalarında sorunlar 3 aşamada karşımıza çıkmaktadır. Dökümü yapılacak betondaki, dökümü ve yerleşimi yapılarak priz almaya bırakılan betonun ilk anlardaki, beton trafiğe açıldıktan sonraki sorunlar (Taylor ve ark. 2006).

Taze betonda çatlak oluşumu özellikle betonun servis yüzeyinde yani buharlaşmanın meydana geldiği yüzeyde oluştuğundan ve bu yüzey dış etkilerin ilk etki yüzeyi olmasından çatlakların betonun dayanımını etkileyecek şekilde beton içlerine ilerlemesini kaçınılmaz kılmaktadır. Ancak yüzeyden tekrarlı ve çatlağı ilerletecek düzeyde bir etki gelmediği sürece bazı çatlaklar ilerlemez ve yapısal bir hasara sebep olmazlar. Çatlak oluşumunu engellemek mümkün olmadığından çatlakla mücadele iki aşamada yürütülür. İlk aşama çatlak oluşumunu asgari düzeyde tutmak, ikinci aşama ise çatlakları tamir etmek. Çatlak oluşumunu asgari düzeyde tutabilmek çatlakları ortaya çıkaran sebepleri bilmek ve bunların betona etkisini en aza indirebilmekle mümkün olur. Erken ve ileri yaş çatlakları konusunda anlatılan çatlakları oluşturan sebepler üzerinden yola çıkarak ilk olarak üzerinde durulması gereken konunun beton dökümü yapılacak bölgenin iyi değerlendirilmesi ve malzeme seçimi, karışım oranları, beton kıvam seçimi ile yerleşmiş ve prizini almaya başlamış betonun bakımı ve kürleme tercihinin iyi yapılmasıdır.

Genel uygulama yöntemleri; yerleşmiş ve artık sertleşmeye bırakılmış betonun kaplama yüzeyi genellikle su veya kimyasal kür kullanılarak ya da betonu telis bezi ile sarmalanarak su kaybı önlenir.

Taze hazır betonda dökümden önce karşılaşılan problemler genellikle beton dökümünün yapılacağı güzergahın uzak olması ve hazır betonun buna uygun olarak hazırlanmamasından kaynaklanır. Bundan başka olarak betonun döküm sırasında değişen

atmosfer koşulları diğer bir etken olarak ortaya çıkmaktadır. Aniden bastıran yağmur, rüzgâr, güneş ve nemin yükselmesi hem betona hem zemine anlık değişimler yaşatabilir.

Taze betonun ayrışması, geç veya erken priz alma, slampın ayarlanamaması gibi durumlar ortaya çıkabilmekte, taze betonda kalıbın iyi sabitlenmemesi, kalıp yüksekliğinin iyi ayarlanmaması, titreşimli vibratörün hatalı kullanılması, eğer kayar kalıplı beton finişeri kullanılıyorsa makine ve ekipmanda ortaya çıkabilecek hatalar birçok yüzey problemine sebep olabilir. Betonun yerleştirilmesi ve priz almasından sonra dayanım kazanma hızının değişmesi, özellikle bu aşamada çatlakların daha çok ortaya çıkmasına sebep olacak durumların ortaya çıkması, yanlış derz kesiminden kaynaklı çatlakların oluşması, derzlerde meydana gelen parçalanma ve dökülmeler şeklinde problemlerin görülmesi kaçınılmaz olmaktadır. Beton kaplamada ilerleyen zamanlarda donma- çözünme, trafik yükleri veya kimyasallara maruz kalma sonucu aşınma, pullanma, kopmalar, kabarcıklanma, çatlama gibi durumlar ortaya çıkmaktadır (Taylor ve ark. 2006).

Plastik rötre çatlaklarının önüne geçebilmek için ilk alınması gereken önlem nem kaybını önlemek olmalıdır. Bunun için beton dökümü yapılacak zemin, kalıplar, donatı demirleri yani betonun degeceği yerler nemlendirilerek betonun su kaybı azaltılmalıdır. Plastik rötre beton daha dökümü yapılırken başlayacağından, özellikle uzun metrajlı beton yollarda hızlı davranılmalı ve yüzey işlemi bitirilen kaplama beklenmeden güneş, rüzgâr, yağmur gibi atmosferik etkenlerden korunmaya çalışılmalıdır. Bu bir örtü yardımıyla yapılabilir. Bu işlem bir naylon örtüyle yapılabileceği gibi özellikle telis bezleri kullanıldığında özelliği gereği nem kaybını daha uzun süre önlediğinden hem beton yüzeyini güneş ışınlarından korur hem de beton yüzeyini daha uzun süre nemli tutmaktadır (Şimşek, 2004). Bunların haricinde mümkünse sıcak ve rüzgârlı havalarda beton dökümü durdurulabilir, karışım suyu soğuk kullanılabilir, betonun suyunu emmesini önlemek için suya doymuş agrega kullanılabilir (Taylor ve ark. 2006).

Termal rötre çatlaklarını önleyebilmek için hidrasyon ısisının düşürmek ya da hidrasyon ısisını yükseltmeyecek şekilde hareket etmek gerekir. Bunun için beton dökümü yapılacak tarihleri iyi ayarlamak ki uygulama da bunu yapmak pek mümkün olmuyorsa çimento seçimini (inceliği düşük) iyi yapmak, beton su soğukluğunu düşük tutmak, beton döküm hızını düşürmek, genleşmesi düşük agrega kullanmak gibi yöntemlere başvurmak gerekir.

Kuruma rötre çatlaklarını önleyebilmek için en iyi çözüm beton plakta derz kesilmesidir. Bu derzler gerilmeleri sönümleyerek rastgele çatlakların önüne geçer. Ancak derz uygulanan kısımlarda derz aralıklarının doğru çalışması için çevreden gelen

malzemeye dolmaması gerekir. Bunun için elastik derzler kesildikten sonra elastik malzemeye doldurulması gerekir. Beton yüzeyinin nemli tutulması için su kürü uygulanması veya kimyasal kürle beton yüzeyinde bir film tabakası oluşturularak beton içi nem kaybı asgari düzeyde tutulabilir.

Oturma çatlaklarını önleyebilmek için suyu iyi drene edilmiş ve temeli iyi sıkışmış bir güzergâh üzerine iyi sıkıştırılmış bir beton plak imal edilmelidir.

Beton, dayanımı yükseldikçe çekme kapasiteside yükselmektedir. Yeni prizini almaya başlayan beton en hassas halinde olduğundan kuruma ve büzülmelelere karşı zayıf bir direnç gösterir. Dolayısıyla dayanımın oldukça yavaş ilerlemesi çevresel şartların etki durumunun önem kazandığı yerlerde veya zamanda dikkat edilmesi gereken bir konu olarak ön plana çıkmakta ve trafiğe açılma zamanı kısıtlı olan yollarda betonun erken dayanım kazanması talep edilmektedir. Betonda su/bağlayıcı oranının küçülmesiyle dayanımın arttığı bilinmektedir. Bu oranı düşüren önemli etkenlerden biri betondaki boşluk hacminin düşürülmesidir ki bu iyi sıkışmış bir beton elde etmekle başarılabilir.

Tablo 8. Beton yollarda önerilen Onarım Yöntemleri (ACPA 2002'den aktaran Puyan 2003).

Çatlak Türü	Yönü	Konumu	Tanımı	Tavsiye Onarım	Edilen	Alternatif İşlem
Plastik Büzülme	Herhangi bir Yöne	Herhangi bir Yerde	Kısmen derinliğe işlemiş	Olduğu bırakılır	gibi	Epoksi bazlı malzeme ile onarım
Kontrolsüz	Enine	Plak Ortasında	Tüm derinlikte	Çatlak kesilir ve doldurulur	ve	Yük aktarım kabiliyetinin artırılması
Kontrolsüz	Enine	Enine derzleri geçerek ilerlemiş veya derzde durmuş	Tüm derinlikte	Çatlak kesilir ve doldurulur	ve	
Kontrolsüz	Enine	Hemen hemen paralel ve derze 1.5 m mesafede	Tüm derinlikte	Çatlak kesilir ve doldurulur	ve	Tüm derinlikte onarım
Kesim Çizgisi veya Kontrolsüz	Enine	Herhangi bir Yerde	Dağılmış	Kısmi derinlikte onarım		
Kontrolsüz	Boyuna	Hemen hemen paralel ve derze 0.3 m mesafede; Boyuna derzleri geçerek ilerlemiş veya derzde durmuş	Tüm derinlikte			Çatlak çarpaz dikişleme ile onarım
Kontrolsüz	Boyuna	Hemen hemen paralel ve derzden 0.3 ila 1.5 m uzaklıkta	Tüm derinlikte, saçlanma ve dağılmalar	Kaplama kaldırılarak yeniden yapılır		Çatlak çarpaz dikişleme ile onarım

Tablo 8. (Devamı)

Kontrolsüz	Boyuna	Hemen hemen paralel ve boyuna derzden veya kaplama kenarından 1.35 metreden daha uzak mesafede	Tüm derinlikte	Çatlak çapraz dikişleme ile onarılır. Boyuna derz dolgusu yenilenir
Kesim Çizgisi veya Kontrolsüz	Boyuna	Herhangi bir Yerde	Dağılmalar	Kopmalar kısmi derinlikte onarılır
Kontrolsüz	Diagonal	Herhangi bir Yerde	Tüm derinlikte	Kopmalar tam derinlikte onarılır
Kontrolsüz	Her Plakta Birden Fazla	Herhangi bir Yerde	Plağı 3 veya daha fazla parçaya bölün iki çatlak	Kaplama kaldırılır ve yeniden beton dökülür

Beton yollarda çatlak oluşumunun önüne geçebilmek için bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genelde taze haldeki betonun karşımı esnasında uygulanabilecek düşük su/çimento oranı, çeşitli lif, puzolan katkıları veya agrega yerine alternatif kullanılabilecek çeşitli malzemeler üzerinedir. Çatlak oluşumundan sonra çatlakların tamiri konusunda ise Tablo 8 Puyan'ın American Concrete Pavement Association'dan aktardığı çatlak onarım tavsiyelerini göstermektedir. Bu yöntemler kaplamanın altındaki boşlukların çimento veya çeşitli alternatif dolgu malzemeleriyle doldurularak kaplamanın hareketinin önlenmesi, çatlakların çelik materyaller aracılığıyla dikiş yöntemiyle dikilmesi ve deliklerin epoksiyle doldurulması, açılan ve ya parçalanarak dökülen derz ve ya çatlak ağızlarının tamiri mümkünse derz dolgularıyla doldurulması, mümkün değilse bu kısmın kaplama kalınlığı boyunca kesilerek yeniden beton dökülmesi veya kaplama kalınlığının bir kısmı kadar kesilerek yeniden kaplanması şeklinde olabilir.

1.6. Literatür Araştırması

Çopuroğlu (2011), YFC kullanılan betonlarda buzlanma riskine karşılık kullanılan tuzların beton yüzeyinde meydana getirdiği bozulmalara karşı sodyum monoflorofosfat solüsyonunu kullandığı deneysel çalışmada; betonda kapiler boşlukların azaldığını, ve bu uygulamanın tuzların yüzeyde meydana getirdiği pullanmaya karşı dayanımı artırdığı sonucuna varmıştır.

Karataş ve ark (2011), silis dumanının; betonun kılcal su emme ve karbonatlaşma özelliklerine olan etkilerini incelediği çalışmasında kendiliğinden yerleşen beton içeriğine %5, 10, 15, 20 oranlarında silis dumanı kullanarak farklı kür koşullarında numuneler üretmiş, 3 gün kürde beklettiği numunelerde basınç dayanımının azaldığı,

daha fazla sürede kürde bekletilen numunelerde basınç dayanımının arttığı, silis dumanı oranının artmasının kılcal su emmeyi azalttığı, karbonatlaşmayı ise arttırdığını gözlemlemiştir.

Güneyisi ve ark (2011), betonun gaz geçirimliliği ve rötre oluşumuna silis dumanı ve metakaolinin etkilerini araştırdığı çalışmalarında, çimento miktarının %5 ve %15'i oranında silis dumanı ve metaakaolin kullanarak hazırladığı numuneler üzerinde yaptığı deneysel çalışmalar neticesinde basınç dayanımının genel olarak arttığı, kuruma rötresinin düştüğü, serbest rötrenin metakaolin içeren numunelerde silis dumanı içeren numunelere oranla daha da düşük olduğu, metakaolin içeren numunelerde oluşan kısıtlanmış rötre çatlaklarının referans numunelere göre daha az oluştuğu, silis dumanı içeren numunelerde çatlakların hem daha geç ortaya çıktığını hem de referans ve metakaolin içeren numunelere göre daha az çatladığını ve kılcal su geçirimliliğin referans betona göre daha düşük olduğunu, gaz geçirimliliğin silis dumanı ve metakaolin kullanımıyla referans betona göre daha düşük olduğunu ayrıca katılım oranının artmasıyla gaz geçirimliliğin daha da azaldığını ortaya koymuşlardır.

Pehlivan ve ark (2011)'nın, geleneksel ve çelik lifli betonlarda çatlak oluşumları itibariyle donatı korozyonunda limit değerlerinin incelendiği çalışmalarında, iki beton için iki ayrı pas payı kalınlığı seçilerek beton dökümü yapılmış, numunelerin bir kısmı çatlamaya maruz bırakılarak çatlayan ve çatlamayan numuneler ıslatılıp kurutularak kürlenmiştir. Çalışma neticesinde lif katkılı numunelerin lif katkısız numunelere göre daha az çatladığı, ve çatlak genişliğinin daha az olduğu görülmüştür. Çatlak olan numunelerde donatı çatlaksız numunelere göre hem daha erken korozyona uğramış hem de korozyon daha fazla ilerlemiştir. Lifli numunelerde çatlak genişliği daha az olduğundan lifsiz numunelere göre donatı korozyonu daha düşük seviyelerde gerçekleşmektedir. Ayrıca pas payı kalınlığı daha düşük ve su/çimento oranı daha yüksek olan beton numunelerde donatı korozyonunun daha erken başladığı ve daha hızlı ilerlediği görülmüştür.

Şahmaran ve ark (2011), yüksek performanslı lif katkılı şekil değiştirme sertleşmesi özellikli çimento kompozitlerinin üretiminde uçucu kül katkı miktarlarının donma ve çözülme dayanımına etkisini inceledikleri çalışmalarında, lifsiz kontrol beton numunelerinin yanı sıra iki ayrı uçucu kül/çimento değerinde -toplam bağlayıcı malzeme miktarının %55 ile %70'i gibi yüksek bir oranda uçucu kül- %2 oranında mikro poly-vinyl-alcohol lif katkısı ve sabit su/bağlayıcı oranı kullanarak hazırladıkları numuneleri donma ve çözülme etkilerine maruz bırakmış, uçucu kül/çimento oranı yüksek olan numuneler 60 çevrim, daha düşük olan numuneler 210 çevrim sonunda şiddetli hasar

almalarına rağmen yine de 300 çevrimi tamamlamışlardır. Uçucu kül miktarındaki artış donma çözölmeye karşı dayanımda bir miktar düşüşe sebep olmuştur. Lif katkısız numuneler ise 300 çevrimi tamamlayamamıştır.

Yerlikaya (2011), beton yollarda çelik tel kullanımının betonun çekme gerilmelerine karşı olan dayanıksız hangi taraflarını güçlendirdiği, teknik, ekonomik bakımdan üstünlüklerini ve tasarım kriterleri ile uygulama alanlarını ifade ettiği çalışmasında, çelik telin beton yolun hizmet süresini uattığı, ilerleyen yıllarda daha az onarım gerektirdiği, daha fazla dayanım sergilemesi sonucu ağır trafik için daha uygun olduğu, imalatının her mevsimde yapılabildiği, çelik tel kullanımının der aralık genişliğini artırdığı, eğilme ve çekme dayanımını artırarak çatlak oluşumunu azalttığı, bakım-onarım masrafları, daha güvenli bir trafik ve araç kaza riskini azalttığından bahisle daha ekonomik olduğu gibi sonuçlara varmıştır.

Puyan (2003), beton yollarda yapım ve tasarım ilkelerini anlattığı çalışmasında ortaya çıkan problemlerin sadece plak kalınlığı ile ilgili olmadığından bahisle çatlak oluşumlarını inceleyerek, bu oluşumlarda beton karışımının ve zeminden gelen desteğinde kakısını araştırmış, çatlakların kontrol altında tutulabilmesi için bazı önerilerde bulunmuştur. Bu konuda en önemli desteğin düşük su/çimento oranına sahip betondan geleceğinden, beton döküm öncesi temelın ıslatılması, beton yüzeyinin güneş ve rüzgardan korunması, uygun kürleme teknikleri kullanılması, çelik donatı veya plomer lif kullanılması gibi önerilerde bulunulmuştur.

Özgöl (2007), terleme, oturma miktarı ve çatlama arasındaki ilişkiyi, pas payı kalınlığı, su/çimento değeri, dozaj ve agrega incelik modülü değişkenleri üzerinden incelediği çalışmasında, terleme üzerinde en fazla etkiye dozaj ve su/çimento değeriindeki değişimin neden olduğu, oturma miktarı üzerinde en fazla dozajın etkili olduğu, dozaj artışının oturmayı artırdığı, çatlak genişliği üzerinde en fazla etkiye incelik modülünün sahip olduğu, incelik modülünün artmasıyla pas payının da çatlak üzerinde etkisinin görüldüğü ve dozaj ile su/çimento oranının birlikte artmasıyla çatlak genişliğinin de büyüdüğü gülmüştür.

Ulukaya (2008), kendiliğinden yerleşen betonda rötre çatlaklarının durumunu araştırdığı çalışmasında su/çimento oranını %40 ve çimento harcı/agrega değerini de sabit tutmak üzere uçucu kül katkılı ve katkısız iki farklı kombinasyon üretimi yaparak numuneler üzerinde hem mekaniksel hem de terleme, yayılma ve rötre çatlakları deneyleri yapmıştır. Uçucu kül katkılı numunelerin yayılma ve dayanım kazanması diğer numunelere göre daha fazla zaman almıştır. Uçucu kül katkılı numunelerde kısıtlanmış rötre çatlak oluşumu diğer numunelere göre daha fazla ve çatlaklar daha geniş olmasına

rağmen katkısız numunelerde çekme sünmesinin devreye girmesiyle çatlaklar daha erken ortaya çıkmıştır.

Demirel (2008), beton karışım malzemelerinin ve çevresel koşulların betonda meydana getirebileceği çatlak oluşum riskini simule ettiği çalışmasında, 5 farklı numune tasarlamış ve iki farklı metotla analizler gerçekleştirmiştir. Bu analizler neticesinde buhar kürü azaldıkça çatlak oluşum riskinin düştüğü, rüzgarlı havada buhar kürü uygulandığında çatlak riskinin arttığı görülmüş, ancak normal kürleme yapıldığında buhar kürelemeye göre çatlak oluşum riski daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En fazla derz bölgelerinde çatlak riski oluşmaktadır. Elastisite modülündeki artış çatlak riskiyle doğru orantılı olarak değişmekte, ısı iletkenliğinin artmasıyla birlikte çatlak oluşum riski düşmektedir. Yapılan risk analizleri gerçek değerler ile karşılaştırıldığında sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Özenç (2009), çelik lif takviyeli betonda çatlaklarının gelişimini sonlu elemanlar yöntemiyle simule ettiği çalışmasında ortaya koyduğu yük ve deplasman (yer değiştirme) grafiklerinin daha önce elde edilen verilerle uyumlu olduğunu ortaya koyarak simülasyon çalışmasının başarıyla sonuçlandırmıştır. Çatlak oluşumuna neden olan gerilmeler, çatlak oluşan kısımlarda denk geldiği lifler tarafından taşımakta ve liflerin gösterdiği dirençle birlikte azalmaktadır. Bu çalışmada doğru sonuçları ortaya koyabilmek için sonlu elemanlar yöntemi için ağ boyutu, kırılma modu ve yönlendirme faktörlerinin değerleri oldukça önemlidir.

Sevim (2010), basınç bölgesinde ortaya çıkan çatlakların taşıma gücüne olan etkisini eğilen plaklar üzerinde incelediği çalışmasında, çatlaksız donatılı (9Ø8 ve 9Ø10) ve tek-üç-epoksili çatlaklı olmak üzere (9Ø8 ve 9Ø10) beton plaklar üretmiş daha sonra eğilme yükü uygulayarak kırmıştır. Yük uygulanırken ilk çatlak ve kırılma yükleri, bu yüklerle bağlı olarak oluşan yer değiştirmeler ve çatlak oluşumları incelenmiştir. Çalışma sonucunda çatlaklı numunelerde %10 ila %20 arasında bir taşıma gücü kaybı izlenirken, epoksi tamirli çatlaklı numunelerde %5 ila %10 arasında bir taşıma gücü kaybı kaydedilmiştir.

Bilir (2010), taban külü, uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu ve kiremit kırıklarının harçlarda ince agrega olarak kullanılmasının eğilme, basınç dayanımı, elastisite modülü, serbest rötre ve kısıtlanmış rötre çatlak oluşumları üzerindeki etkilerini incelediği ve ANFİS makine öğrenimi modeliyle çatlak genişlik tahmin analizi yaptığı çalışmasında, granüle yüksek fırın cürufu ve taban külü, kiremit kırıkları ve uçucu kül kullanımı sonucunda serbest rötre oluşumunda düzenli bir gelişim olmadığını, kısıtlanmış rötre çatlakları için yapıla halka deneyi sonuçlarına göre kullanımında çatlak oluşum

hızının azaldığını ve oluşum zamanının uzadığını tespit etmiş, bu malzemelerin ince agrega olarak kullanılması sonucunda kuruma rötresi çatlakları içinde incelemen yapılması önerilmiştir. Anfis modeli tahminleri deneysel model sonuçlarına yakın sonuçlar vermiştir.

Gödek ve ark (2016), çimento esaslı lifli kompozit kullanarak üretilen betonlarda su/çimento oranı ile mineral katkının çatlak davranışına etkilerini incelediği bir çalışmada 3 su/çimento oranı belirlemiş, uçucu kül ve yüksek fırın curufu kullanarak ürettiği numuneleri üzerinde 4 noktalı eğilme deneyi yapmış ve neticesinde klasik üretilen betona göre deformasyon toleransı çok daha fazla bir beton elde edilmiştir.

Yücel (2013), rijit üst yapı için tasarlanmış çimento esaslı kompozit kullanarak çatlaksız, sünek ve dayanıklı bir beton elde etmeyi tasarladığı çalışmada, ilk olarak kompozit, max. agrega dane boyutu ve agrega miktarını inceleyerek birbirleriyle ilişkilendirmiş daha sonra referans beton olarak mikro silika, iki farklı çimento esaslı kompozit karışımı tasarlamıştır. Bu karışımlarda dayanım ve sünekliği değişken tutarak birinde yüksek dayanım orta süneklik, diğerinde yüksek süneklik orta dayanım olacak şekilde numuneleri hazırlamış eğilme dayanımı, yansıma çatlakları ve bağ özelliklerini inceleyecek şekilde deneylere tabi tutmuştur. Sonuç olarak çimento esaslı kompozit karışımı ile üretilen numuneler mikro silika beton numunelere göre yük taşıma ve şekil değiştirme kabiliyetleri daha yüksek çatlak genişlikleri daha kontrollüdür. Öyleki onarım çalışmada 35mm kalınlığında ki çimento esaslı kompozit karışımı ile üretilen numuneler 50mm kalınlığındaki mikro-silika beton numunelere göre yansıma çatlakları ve ayrılmayı ortadan kaldırarak iyi bir performans sergilemiştir.

Çelik (2014), Karadeniz bölgesinde rijit kaplama yapılmış köy yollarından karot numuneler alarak bu numuneleri basınç dayanım deneyine tabi tutmuştur. Ortaya çıkan dayanım bilgileri, Ansys programı kullanılarak eşit dingil yükü ile rijit ve esnek kaplamalar için gerilme ve şekil değiştirme değerlerine bakılarak modelleme yapılmış ve son olarak maliyetleri karşılaştırılmıştır. Araştırma neticesinde genel olarak beton dayanım sınıfları C12/15 çıkmış ve düşük basın dayanım sonuçlarının sebeplerine bakıldığında ilk sebep olarak beton işçiliklerinin genel olarak yerli vatandaşlar aracılığıyla yapılmış olması ve buna bağlı olarak agrega gradasyon hataları (gronölometri, kalitesizlik vb.), yetersiz kaplama kalınlığı, fiziksel etkilerin yarattığı bozulmalar, yanlış beton karışım oranları olduğu tespiti yapılmıştır. Modelleme neticesinde beton yollarda esnek yollara göre daha az kalınlıkta bile daha düşük şekil değiştirme ve gerilme değerleri elde edilmiştir. Maliyet olarak 30 yıllık hizmet ömrü için rijit kaplamanın maliyeti esnek kaplamaya göre %30 daha az çıkmıştır.

Yağtu (2019), esnek üst yapı ve rijit üst yapılarda oluşan bozulmaları incelediği ve karşılaştırdığı çalışmasında kaplamaların avantaj ve dezavantajlarına değinmiş, dünyadaki rijit kaplama örneklerini anlatmıştır. Çalışma neticesinde donma-çözülme ve ağır trafik yüklerinin kaplamaya zarar verdiğini tespit etmiş, silindirle sıkıştırılmış betonun (RCC-Roller Compacted Concrete) köy yollarındaki yapımını Karabük Eskipazar İlçesi örneğiyle inceleyerek ASSHTO 1993'e göre kaplama kalınlığını hesaplamış Streetpave programı yardımıyla sonuçları kontrol etmiştir. Yaptığı maliyet analizinde; sathi kaplama ile silindirle sıkıştırılmış beton kaplama arasında yakın bir değer olduğu, BSK Bitümlü Sıcak Karışım Kaplaması kullanılması durumunda maliyetin %38.95 oranında arttığını görmüştür.

Abdullah (2018), kil üzerine dökülen betonda oluşan çatlakları incelediği çalışmasında; %55 su/çimento oranına sahip beton numuneler hazırlayarak, numuneleri farklı su içeriği ile serilen ve sıkıştırılan kil üzerine yerleştirmiş, kürleme işlemleri sonucunda çatlak oluşumlarını incelemiştir. Çalışma neticesinde kil içerisindeki su miktarı arttıkça beton numunelerde oluşan çatlak genişliklerinin derinliğinin küçüldüğü, kuru kilde ise en yüksek değerlere ulaştığını, su içeriğinin yükselmesinin beton nasınc dayanımını ve elastisite modülünü yükselttiğini tespit etmiştir.

Gürsesli (2019), betonda çelik ve sentetik fiberlerin katkı olarak kullanılmasının kuruma rötresi ve plastik rötre çatlaklarına olan etkisini araştırdığı çalışmasında, çelik teli çeşitli örme şekillerinde, çelik fiber, çelik hasır ve sentetik fiber olmak üzere farklı çeşitlerde kullanarak beton numuneler hazırlamış çatlaklar oluşturmuştur. Deney çalışmaları sonucunda; sentetik fiberlerin plastik rötreyi önlemede en etkili katkı olduğu, kuruma rötresini önlemede çok fazla bir etkisi olmadığı, çeşitli petek şekillerinde çelik örme katkının kuruma rötresini önlemede bazı şekillerin plastik, bazı şekillerin ise kuruma rötre çatlaklarını önlemede etkili olduğu, çelik hasırın kuruma ve plastik rötre çatlak oluşumunda en kötü sonuçları verdiğini, çelik fiberin her iki rötreyi aynı anda önlemek için en ideal katkı olduğu sonucuna varmıştır.

Topaloğlu (2022), pet atıkları ve polyester ve kopolimer olmak üzere iki tip lif çeşidini çimentonun hacimce % 0.5, 1, 1.5 oranlarında katarak hazırladığı numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı ve schmidt çekici, üç nokta yükleme ve aletli ağırlık düşürme deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışma neticesinde basınç dayanımlarının katkı malzemelerinin artışına bağlı olarak düştüğü, üç nokta yükleme deneylerinde ise kopolimer fiber lif katkılı numuneler kontrol numunesin oranla yükseldiği görülmüştür. Numunelerden alınan ince kesitler üzerinde yapılan araştırmada ise katkılı numunelerde

oluşan çatlakların boyutlarının (boy, çap, genişlik vb.) kontrol numunelerine göre daha küçük olduğu görülmüştür.

Anık (2022), yol kaplamaları üzerinde ortaya çıkan çatlakların tespiti için; görüntü işleme, derin öğrenme yapay sinir ağları ve Geri Yayılımlı Birlikte Evrim algoritması kullanırken, EdmCrack600, AsphaltCrack, CFD ve CarckSegmentatin veri setleri oluşturmuş ve eğitimi vermiş, çatlak göresellerinden görüntü işleme kullanarak çatlakları ayıklamış, koordinatları belirlenmiş çatlakların eğitimi verilmiş yapay sinir ağlarından algoritma yardımıyla çatlak tespiti yapılmıştır. CFD veri seti ile yapılan karşılaştırmada ortalama %89.61'lik kesinlik ve duyarlılık (F1 puanı) yakalamıştır.

Muturi (2023), yol kaplamaları üzerinde oluşan çatlakların tespiti için; denetimsiz makine öğrenimi metotlarından bir tür derin öğrenme çeşidi olan Döngüsel Çekişmeli Üretici Ağları (GAN) kullanmayı önerdiği çalışmasında, Fully Convolutional Networks (FCN) ve drone görselleriyle beton yol çatlak veri setleri oluşturarak eğitim vermiş ve Crackforest, GAPS384, CrackTree200 ve Crack500 veri kümelerinden yapılan tahminlerle görüntü etiketleri hazırlamıştır. Bu modelden elde ettiği sonuçları CrackForest, FCN ve pixpix algoritmaları ile karşılaştırmış ve ortalama %84'lük bir kesinlik ve duyarlılık (F1 puanı) yakalamıştır. Ayrıca GAN'da transfer öğrenme gerçekleştirilerek bir tip ayırıcı modelle en iyi performansı elde etmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Giriş

Türkiyede rijit üst yapı yapımı konusunda hammaddeye ulaşımında çok fazla bir zorluk yaşanmamasına rağmen beton yol yapımı halen daha istenilen seviyeye gelememiştir. Bu konuda en yetkili kurum olan Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı bağlı kuruluşu Karayolları Genel Müdürlüğü'nün rijit üst yapı konusunda teşkilatlı, uzun vadeli bir yapım planlama ve programı içerisinde olmaması önemli bir eksikliktir. Her ne kadar Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Beton Yol Teknik Şartnamesi yayımlanmış olsa da rijit üst yapı konusunda ciddi bir faaliyet içerisine girilmemesi, daha çok kırsal kesimlerde yapım alanı bulan beton yolların teknik açıdan ciddi bir disiplin altına girerek imal edilmesinin ve kamuda personelin hızla uzmanlaşması konusunun önüne perde çekmektedir. Bu konuda maliyet analizi yapılan çalışmaların genelinde, rijit üst yapıların uzun vadede esnek üst yapılardan çok daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, son yıllarda Karadeniz Bölgesinde hızlı bir beton yol yapım süreci gerçekleştirilen Trabzon İlinin zorlu iklim ve coğrafyasında kendisine yapım alanı bulan ve en az 4 senedir trafiğe açılmış beton yollardan karot numuneler alınarak, beton yolların durumları araştırılmıştır. Seçilen güzergahlar, Düzköy ilçesine bağlı Çiğdemli, Gökçeler, Çal mahalleleri, Akçaabat ilçesine bağlı Derecik mahallesi ve son olarak Araklı ilçesine bağlı Yolgören mahalleleridir. Beton yol yapımı, Çiğdemli, Gökçeler, Çal ve Derecik mahallelerinde 2018 yılı Haziran ve Eylül ayları içerisinde, Yolgören mahallesinde 2019 yılı Nisan ve Ekim ayları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Çiğdemli, Gökçeler ve Çal mahalleleri bir iş içerisinde, Derecik ayrı bir iş içerisinde, Yolgören mahallesi de ayrı bir iş içerisinde gerçekleştirilerek ihale edilmiştir. Çalışma sahasının Trabzon ili sınırları içerisinde seçilmesinin başlıca nedenleri, beton yol yapım örneklemesinin son yıllarda oldukça artması, mahal mahal farklılık göstermek üzere günlük hava durumunun saatlik bazda değişiklik göstermesi, tarımsal, inşai, orman ve sanayi faaliyetlerinden ötürü yolların zaman zaman ağır trafik yüküne maruz kalması, yollardaki boyuna eğim değerlerinin yüksek olmasına sebep olacak bir topoğrafya yapısı, suya doymun zemin, altyapı çalışmalarının yetersiz veya eksik oluşu ile zemin koşullarının oldukça değişken olmasıdır.

Yolgören mahallesindeki güzergahın sanayi bölgesinin kullandığı yol olması sebebiyle trafik yük ağırlığının etkisi, Derecik mahallesinde hem boyuna derz olması hem de belirli kısımlarda zemin ve drenaj şartlarının olumsuz etkileri, Çal mahalle yolunun

konum itibariyle kış aylarının bol kar yağışlı geçmesi sonucu iklim etkisi, Çiğdemli mahalle yolunun vadi içinde kalması sonucu donma çözünme, nem ve iklim etkisine ve mahalle içi yolu olması itibariyle insan etkisiyle oluşan tahribatlar, Gökçeler yolunun ise yukarıda anlatılan etkilere nazaran hem en az etkilenen yol olması hem de bol çatlak çeşitliliğine sahip olması gibi sebepler örneklem yerleri seçimlerinde belirleyici olmuştur. Bütün işlerin Teknik şartnameleri aynı olup, bütün yollar derzli, donatısız tip beton yol kaplama olarak C25/30 beton sınıfında geleneksel beton, ortalama 200 mm kalınlığında (lokal kısımlarda ± 50 mm toleranslı, ortalama ± 30 mm toleranslı) ve beton kalınlığının %25'i (1/4) oranında büzülme derz kesilmesi şeklinde imal edilmiştir. Yüzey düzeltme işlemleri sırasında titreşimli (vibrasyonlu) master kullanılmıştır. Mahallelerde beton dökümü güzergah boyları birbirinden farklı boylardadır. Yolların en fazla çatlak verisine sahip kısımları çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasının koordinat bilgileri Tablo 9'da sahadan genel görünümlere ilişkin görseller Şekil 26 ile Şekil 30 arasında verilmiştir.

Daha önce Karadeniz Bölgesinde yapılan çalışmalardaki tespitlere ek olarak beton yollar için en önemli konulardan olan dayanım ve çatlak oluşumlarının incelenmesi, gelecekte beton yolların durumlarını geliştirecek çalışmalara alt yapı oluşturması açısından, geçmişe açılacak bir pencere olarak burada duracaktır.

Tablo 9. Mahallerin koordinatları

Mahaller	Coğrafi koordinat (Enlem,boylam,derece,dakika)		ITRF Koordinat (x,y)		Yol Uzunluğu
	Başlangıç	Bitiş	Başlangıç	Bitiş	
Çalköy	40°52'47.92K 39°24'55.17D	40°52'42.33K 39°24'48.08D	531004.168 4527328.040	534840.172 4527155.575	247
Gökçeler	40°53'39.42K 39°26'7.68D	40°53'34.72K 39°25'58.91D	536695.504 4528926.354	536491.405 4528780.658	235
Derecik	40°56'17.34K 39°33'22.64D	40°56'10.66K 39°33'24.77D	546844.260 4533855.414	546898.703 4533639.689	190
Çiğdemli	40°52'11.57K 39°24'30.86D	40°52'7.48K 39°24'22.91D	534442.564 4526205.038	534255.885 4526077.165	190
Yolgören	40°55'47.62K 40°32'7.29D	40°56'10.66K 39°33'24.77D	589065.524 4533335.282	588778.845 4533042.541	620



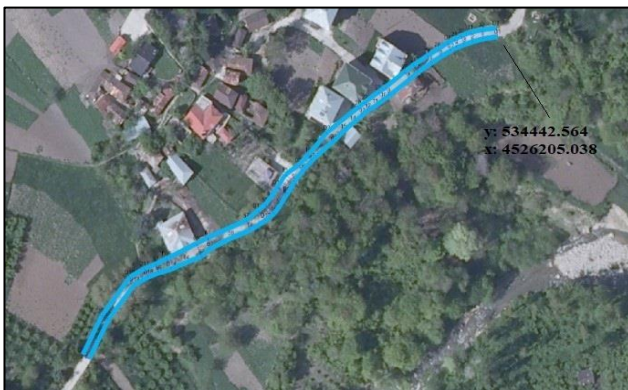
Şekil 26. Çal mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı



Şekil 27. Gökçeler mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı



Şekil 28. Derecik mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı



Şekil 29. Çiğdemli mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı



Şekil 30. Yolgören mah. arazi çalışması için seçilen kısmın uydu görüntüsü ve fotoğrafı

2.2. Arazi Çalışmaları

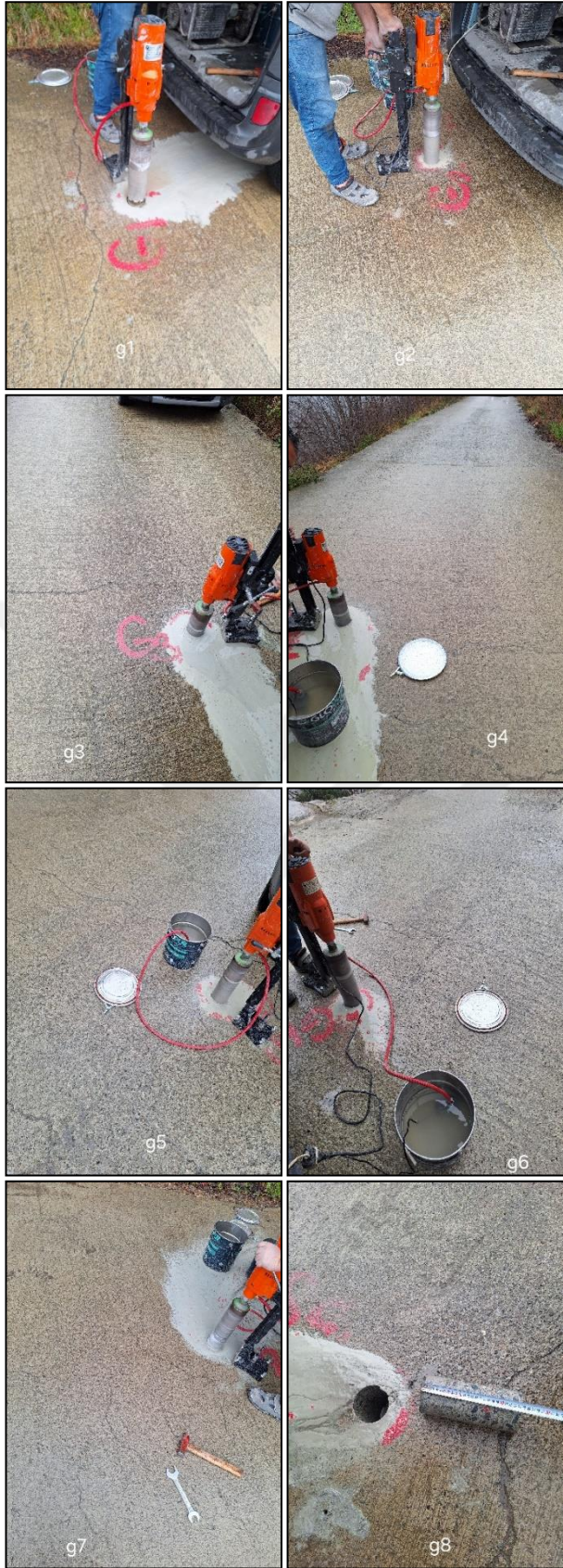
2.2.1. Karot Alımı

Materyaller belirlenirken ilk olarak ihale edilen işlerden, üzerinden en az 4 yıl geçmiş, daha önce seçim sebeplerinin bahsedildiği mahallerin sağlıklı veri alımı yapılabilecek mahalleler tespit edilmiş, sonra bu mahallelerde kaplama güzergahı gezilerek en çok çatlamış kısımlar çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Daha sonra çalışma alanı üzerinde gezilerek çatlak ve derzler incelenmiş, çatlak krokileri ölçeksiz olarak oluşturulmuş ve deneyler için karot alımı gerçekleştirilmiştir. Yapılacak deneyler için gerekli olan numune sayılarına göre tekerlek izlerinin etki edeceği kısımlar da göz önünde bulundurularak karot alım noktaları işaretlenmiştir.

Karot numunelerin alımı TS EN 12504-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her mahalleden basınç dayanım ve elastisite modülünün tayini deneyleri için 3 adet, yarmada çekme dayanım deneyi için 3 adet, aşınma dayanımı, yoğunluk tayini, kapiler su emme deneyleri için 1 adet ve donma ve çözünme deneyi için de 1 adet olmak üzere toplamda 8 adet karot numune alınmıştır. Alınan numuneler gözlemsel olarak incelenmiş ve her numune deney için kullanıma uygun olduğu görülmüştür. Şekil 31- Şekil 35'te karot numune yerleri, Şekil 36'da ise alınan karotların laboratuvar ortamındaki hali gösterilmektedir.



Şekil 31. Çal mahallesinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri



Şekil 32. Gökçeler mahallesinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri



Şekil 33. Derecik mahallesinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri



Şekil 34. Çiğdemli mahallesinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri



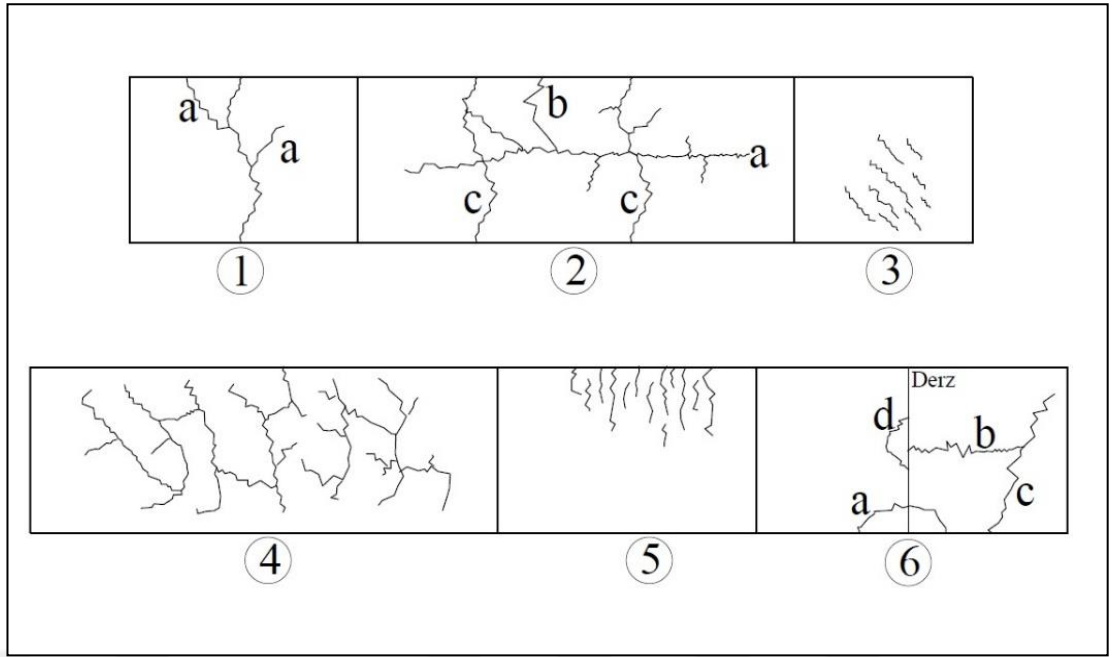
Şekil 35. Yolgören mahallesinde belirlenen çalışma alanında çatlaklı kısımlara yakın bölgelerde alınan karot yerleri



Şekil 36. Deney öncesi labaratuvarda karotlar

2.2.2. Çatlakların Tespiti

Güzergahlarda yapılan arazi çalışmalarında belirlenen kısımlarda yapılan gözlemsel çalışmalar referans kalem ve cetvel kullanılarak fotoğraflandırılmıştır. Kaplamaların kullanım süresi yaklaşık olarak 4 yıldır. Taze veya sertleşmiş betonda oluşan çatlaklar, çatlakların ağız kısımlarından aşınma, kopma ve soyulmalardan dolayı zamanla genişlemiştir. Şekil 37’de yüzeylerde meydana gelen çatlakların oluşum şekillerine göre çizimi ve sınıflandırılması gösterilmektedir. Burada, 1 numaralı çatlak tipinde kaplamayı enine derz şeklinde tamamen kesen derz çatlağı ve tamamen kesmeyen kuruma rötresi derz çatlağı, 2 numaralı çatlak tipinde enine ve boyuna yönde kuruma rötresi çatlaklarına ilave olarak oturma çatlaklarının eklenmesiyle kompleks bir çatlak örneği gelişimi, 3 numarada tipik bir termal çatlak örneği, 4 numaralı çatlak tipinde plastik rötre çatlağı, 5 numaralı çatlak tipinde özellikle kalıpsız dökülen hendek şevi kısımlarında rastlanan ve beton kalınlık yetersizliğinin ortaya çıkardığı dayanım yetersizliği veya her türlü etkiye karşı oldukça hassas olan kısımlarda meydana gelen çatlakları, 6 numarada derz kesilen kısımlarda meydana gelen çatlakları göstermektedir.



Şekil 37. Araştırma alanında tespit edilen çatlak tipleri



Şekil 38. Araştırma alanında görüntülenen 1 nolu çatlak tipi



Şekil 39. Araştırma alanında görüntülenen 2 ve 3 nolu çatlak tipleri



Şekil 40. Araştırma alanında görüntülenenen 4 ve 5 nolu çatlak tipleri



Şekil 41. Araştırma alanında görüntülenenen 6 nolu çatlak tipi

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Basınç Dayanım deneyinde, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak hazırlanan numuneler çıkıntılı kısımları temizlenerek kurulanmış, düzeltilmiş ve törpülenerek deney makine başlıklarına tam oturtulmuştur. 0.2 – 1.0 Mpa arasında sabit bir hızda numune kırılıncaya kadar yük uygulanmıştır. (Ünsal ve Şen, 2008).

Elastisite modülünün hesabı için gerekli olan yer değiştirmeler kullanılarak Eşitlik 15'ten birim uzama ve Eşitlik 16'dan Elastisite modülü hesap edilmiştir. Bu konuda ki detaylı anlatım Bulgular kısmında verilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{Eşitlik 15})$$

Bu eşitlikte:

ε = Birim Uzama (mm),

ΔL = Yer değiştirme (mm),

L = Numunenin ilk boyutu, (mm) vermektedir.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Bu eşitlikte:

E = Elastisite Modülü (Mpa),

τ = Gerilme, En yüksek gerilmenin yaklaşık %40'ına karşılık gelen gerilme (Mpa),

ε = Birim Uzama (mm) vermektedir.

Yarmada çekme dayanımı deneyinde, TS EN 12390-6 standardına uygun olarak silindir numuneler (küp veya prizma da olabilir ancak bu deneyde silindir karot numuneler kullanılmıştır.) temizlenerek düzeltilmiş ve numuneler boyuna bir şekilde deney makinasına yatırılarak 0.04 MPa/s ile 0.06 MPa/s arasında sabit bir hızda yük uygulanarak kırılmıştır.

Yoğunluk tayini deneyinde, TS EN 12390-7 standardına uygun olarak numunelerin kütle ve hacimleri bulunmuştur. Bunun için ilk olarak numunelerin havadaki ağırlıkları ve numunelerin konulacağı kefenin su içerisinde ağırlıkları ölçülmüş, daha sonra numuneler teker teker kefeye konularak kefe + numune ağırlıkları tekrar tartılmış ve not edilmiştir. Numuneler etüvde kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra tekrar tartılmış ve Eşitlik 17 yardımıyla numune hacimleri hesaplanarak, Eşitlik 18 yardımıyla yoğunlukları tayin edilmiştir.

Betonlar yoğunluklarına göre hafif beton ve ağır beton olmak üzere sınıflandırılırlar. Kuru yoğunluğu 2000 kg/m³'ten düşük olan betonlar hafif beton olarak adlandırılırlar.

$$V = \frac{m - [(m_1 + m_2) - m_1]}{s} \quad (\text{Eşitlik 17})$$

Bu eşitlikte:

V = Hacim (m³),

m: Numunenin havadaki ağırlığı (kg),

m₁: Kefenin sudaki ağırlığı (kg),

m₂: Numunenin sudaki ağırlığı (kg),

s: Suyun yoğunluğunu (kg/m³) vermektedir.

$$D = \frac{m}{V} \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Bu eşitlikte:

D: Yoğunluk (kg/m^3),
m: Kütle (kg),
V: Hacim (m^3) sayısını vermektedir.

Porozite hesabında, etüvde kurutulmuş numune ağırlığı ile doymuş numune ağırlığı arasındaki fark hesaplanarak numune boşluk hacmi bulunmuş ve bu hacim numune hacmine bölünerek yüzde cinsinden belirtilmiştir.

Gözeneklilik, numune boşluk hacminin, katı hacme oranlanmasıyla hesap edilmiştir. Katı hacim ise numune hacminden boşluk hacminin düşülmesiyle elde edilmektedir.

Kapiler su emme deneyinde, karot numuneler tartılarak havadaki ağırlıkları not edilmiştir. Daha sonra silindir yan yüzeyleri yalıtılarak içinde su bulunan bir kaba yerleştirilmiş ve sadece silindir numunelerin beton kaplama yüzey kısmından su emebilecek şekilde suda bekletilmiştir. Belirlenen aralıklarla tartılmak suretiyle su emme kabiliyetleri not edilmiştir. Deney sonucu elde edilen verilerle Eşitlik 19'dan yararlanılarak kapilarite katsayısı hesaplanmaktadır.

$$C = \frac{m_i - m_d}{A \times \sqrt{t_i}} \quad (\text{Eşitlik 19})$$

Bu eşitlikte:

C: Kapilarite katsayısı (cm^2/sn),
 m_i : i. Saniyedeki kütle (cm^3),
 m_d : Kuru kütle (cm^3),
A: Suya temas eden yüzey alanı (cm^2),
 t_i : ölçüm yapılan i. saniye (sn) sayısını vermektedir.

Ultrasonik Dalga Hızı Deneyinde, ASTM C 597 standardına uygun olacak şekilde, kullanılacak numunelerin yüzeyleri çatlak veya çıkıntılı olmayacak şekilde temizlenmiş, düzeltilmiş ve deney için hazırlanmıştır. Silindir numunenin bir ucuna verici, diğer ucuna alıcı sensörler yerleştirilerek verici uçtan gönderilen dalgaların alıcı uca gelene kadar geçen zaman okunarak Eşitlik 20 yardımıyla dalga hızı hesaplanmış ve Zebari ve arkadaşlarının (2017) çalışmalarında önerilen Eşitlik 21 yardımıyla basınç dayanımı kabaca tahmin edilmiştir.

$$V_p = \frac{S}{t} \quad (\text{Eşitlik 20})$$

Bu eşitlikte:

V_p : Dalga hızı (m/sn),

S: Numune Boyu (m),

t: Dalganın alıcı sensörden verici sensöre ulaşana kadar geçen süresini (sn) vermektedir.

$$f_c = 21,77 \times V - 53,26 \quad (\text{Eşitlik 21})$$

Bu eşitlikte:

f_c = Beton basınç mukavemeti,

V = Ultrasonik Dalga Hızını göstermektedir.

Aşınma dayanımı deneyinde; ASTM C 944 standardına uygun olarak karotlar temizlenmiş ve deney için kullanmaya hazır hale getirilmiştir. Daha sonra tartılarak havadaki ağırlıkları ölçülmüş ve kütleleri not edilmiş, sonra da hız 200 dev/dk' ya ayarlanarak 2'şer dakikadan 3 döngüde aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonucunda numune yüzeyi aşınmış malzemeden temizlenerek tekrar tartılmıştır. Aradaki malzeme kaybı yüzde olarak hesaplanmıştır.

Donma çözünme dayanımı deneyinde; ASTM C 666 Standardında Procedure A' ya uygun olarak kullanılan 100 mm çapa sahip 5 adet karot numune korozyona karşı dayanıklı 100,6 mm genişlikte çaplı çelik kaplara yerleştirilerek en yüksek +4 °C ile en düşük -18°C sıcaklıklar arasında, su içerisinde, 2 ila 5 saat döngü süreli, donma ve çözünmeye maruz bırakılmıştır. Daha sonra elde edilen basınç dayanım sonuçları ile dayanımları incelenmiştir.

Yöntem olarak bu çalışmada beton kaplama yapılan yollarda oluşan çatlakların tipleri belirlenerek numuneler üzerinde yoğunluk tayini yapılmış, kapiler su emme değerlerine bakılmış, basınç dayanım deney sonuçları döküm sırasında alınan taze numune sonuçları ile kıyaslanmış ve yarmada çekme dayanım sonuçları da göz önünde bulundurularak güzergahlar hem kendi içlerinde değerlendirilmiş, hem de birbirleri ile karşılaştırılarak çatlakların durumları dahil edilerek beton kaplamaların güncel durumları yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanım deneyinde beton kaplamalardan alınan karot numunelere basınç dayanımına ulaşana dek yük uygulanmış ve bulunan basınç dayanım değerleri, yatay ve düşey deplasman değerleri elde edilmiştir. Daha sonra ilgili kurumdan elde edilen taze beton basınç dayanım deneyi raporlarından mahallerin küp numune basınç dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 42’de basınç dayanım deneyine tabi tutulan karot numuneler, Şekil 43’te ise basınç dayanım deneyinden görüntüler, Tablo 8’de de basınç dayanım deney sonuçları gösterilmektedir. Mahallerde C25/30 betonu dökülmüş, silindir ve küp numuneler için verilen standart değerler daha önce Tablo 7’de gösterilmiştir.



Şekil 42. Basınç dayanım deneyine tabi tutulan karot numuneler



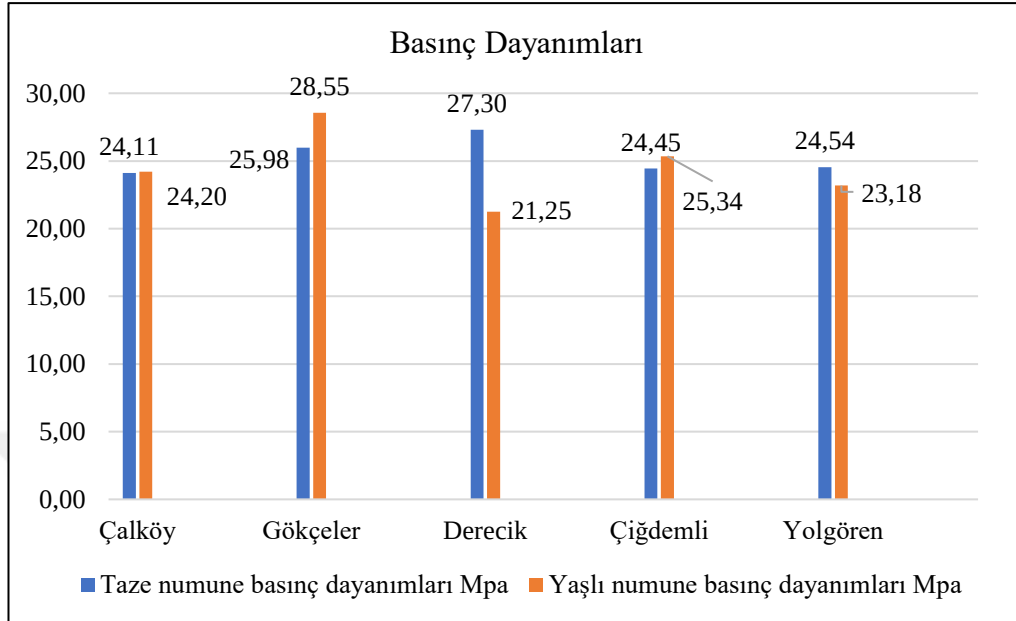
Şekil 43. Basınç dayanım deneyinden görüntüler

Tablo 10. Taze beton küp numunelerin ortalama basınç dayanım deney sonuçları ve bu çalışma için alınan silindir karot numunelerinin basınç dayanım deney sonuçları

Silindir Karot (Yaşlı)									Küp (Taze)			
Mahal	Karot No	Numune Yaşı (Tolerans 10-20 Gün)	Ağırlık (gr)	Çap (cm)	Boy (cm)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç (Mpa)	Ort. Basınç (Mpa)	Kırılma Yüğü (kN)	Ort. Basınç (Mpa)	Eşdeğer silindir dönüşümü	Dayanım Kaybı (%)
Çal	Ç1		3899.2	10.5	19.7	177.60	22.62					
	Ç2	2102	3969.4	10.5	19.7	188.90	24.06	2420	678.09	30.14	24.11	-0.36
	Ç3		3951.0	10.5	19.7	203.50	25.92					
Gökçeler	G1		3690.5	10.5	19.5	208.30	26.53					
	G2	2078	3779.2	10.5	20.0	214.00	27.26	28.55	730.70	32.48	25.98	-9.88
	G3		3794.8	10.5	20.0	250.10	31.86					
Derecik	D1		3600.9	10.5	19.2	163.20	20.79					
	D2	2118	3559.4	10.5	18.0	209.60	26.70	21.25	768.03	34.13	27.30	22.18
	D3		3674.1	10.5	19.7	127.60	16.25					
Çiğdemli	Çi1		3257.1	10.5	17.7	221.60	28.23					
	Çi2	2091	3268.2	10.5	17.5	162.00	20.64	25.34	687.68	30.56	24.45	-3.66
	Çi3		3374.4	10.5	17.7	213.20	27.16					
Yolgören	Y1		3259.9	10.5	17.8	172.50	21.97					
	Y2	1774	3024.1	10.5	16.5	162.30	20.67	23.18	692.53	30.68	25.54	5.56
	Y3		3066.6	10.5	16.5	211.20	26.90					

Beton döküm aşamasında taze betondan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanım sonuçları ile bu sonuçlar üzerinden eşdeğer silindir dönüşümü ile bulunan karakteristik silindir basınç dayanımları, bu çalışma için ölçülen silindir numunelerin (yaşlı numuneler) basınç dayanım sonuçları ve aralarındaki dayanım kaybı Tablo 9’da gösterilmektedir. En yaşlı numuneler sırasıyla Derecik, Çal, Çiğdemli, Gökçeler ve en genç numune Yolgören mahallesinden alınmıştır. Basınç dayanımı Gökçeler, Çiğdemli ve Çal’ da artarken Derecik başta olmak üzere Yolgören’de azalmıştır. En fazla %22.18 ile Derecik mahallesinde, %5.56 ile de Yolgören mahallesinde azaldığı tespit edilmiştir. Gökçeler mahallesinde karot bazında üç numuneden birinde dayanımın azaldığına,

birinde basınç dayanım değerinin hemen hemen aynı çıktığına ancak 31.86 MPa basınç dayanım değeri veren bir numunenin ortalamayı yükselttiğine dikkat etmek gerekir. Şekil 44 incelenerek dayanım artışları ve kayıpları daha açık görülebilir.



Şekil 44. Taze ve yaşlanmış beton basınç dayanımları

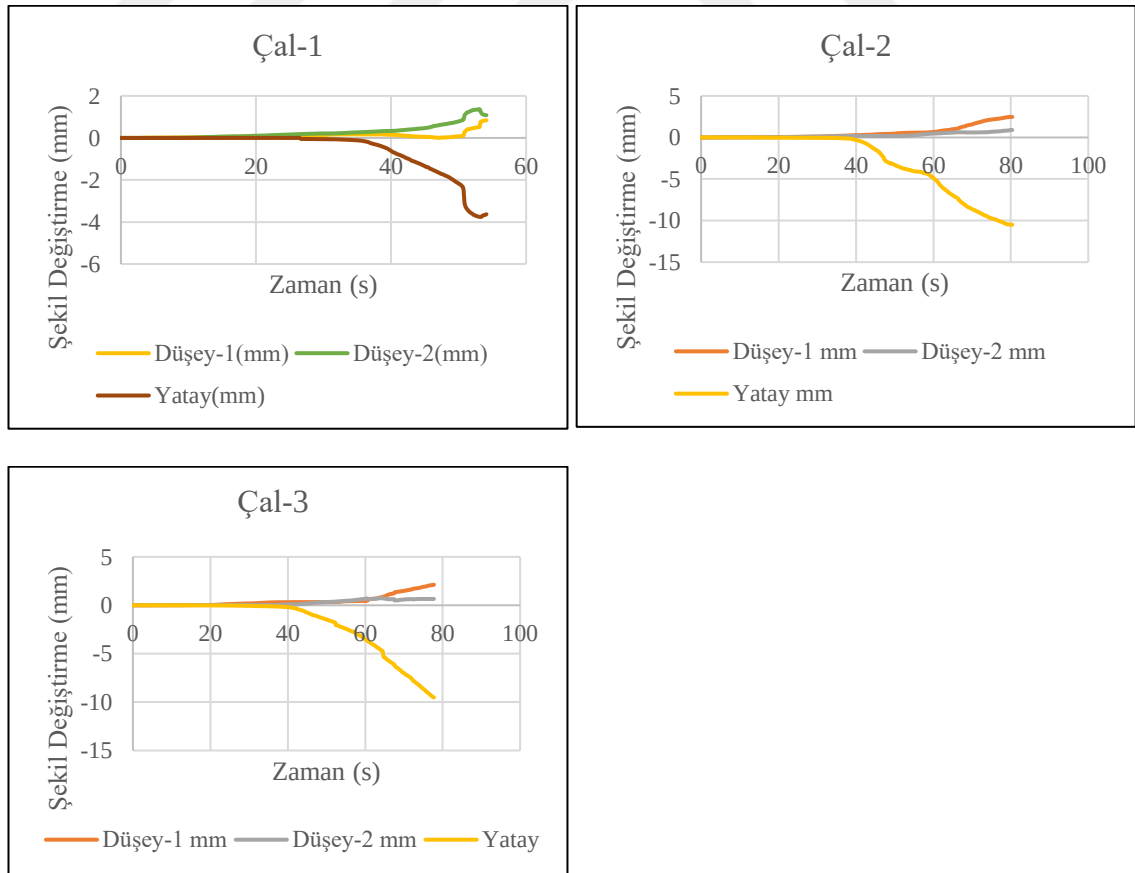
3.2. Elastisite Modülü ve Yer Değiştirmeler

Elastisite modülünün hesabı için gerekli olan yer değiştirmelerin bulunabilmesi için numunelerin boy ve çap ölçüleri not edildikten sonra numuneler ölçüm cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz merkezine oturtulan numuneler Şekil 45'te görüldüğü gibi halkalar vasıtasıyla sabitlenerek vidalanmış ve ölçüm cihazına tam oturması sağlanmıştır. Daha sonra ayar çubuğu sıkılarak hazırlanan numune beton basınç ölçüm cihazına yerleştirilmiş ve yük uygulama işlemine geçilmiştir. Yük uygulama işlemi numune kırılıncaya kadar devam ederken yer değiştirme ölçüm cihazı uygulanan yüke karşılık gelen yer değiştirmeleri hesaplamıştır. Elde edilen yüklere karşılık gelen gerilmeler Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanmış ve gerilme-yer değiştirme grafiği oluşturulmuştur. Grafikte elastik kısma teğet olarak çizilen doğru üzerinde en yüksek gerilmenin %40'ını veren değer işaretlenerek bu değere karşılık gelen yer değiştirme okunmuştur. Eşitlik 18 ile birim uzama hesap edilerek Eşitlik 19 vasıtasıyla Elastisite modülü hesaplanmıştır.

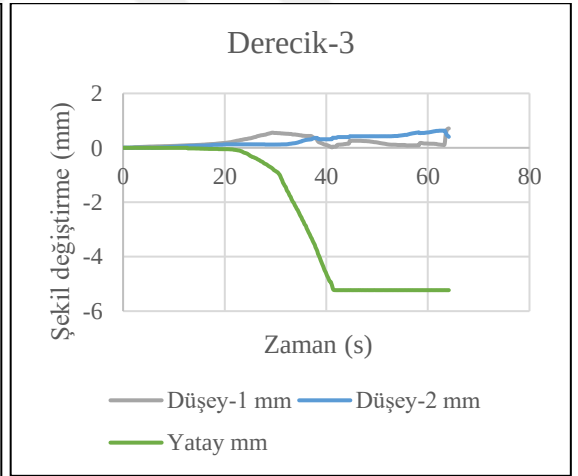
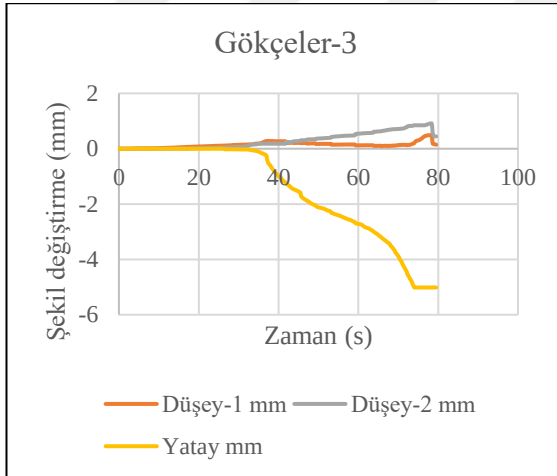
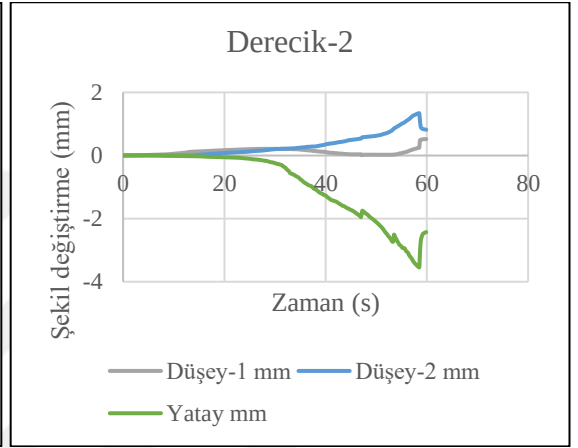
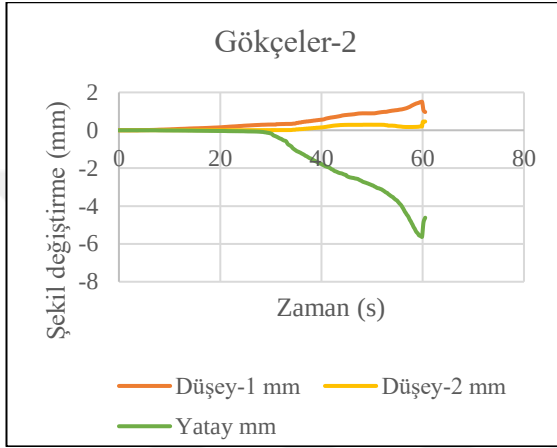
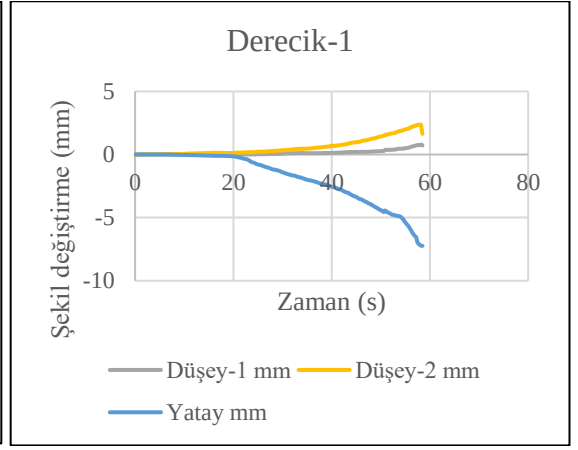
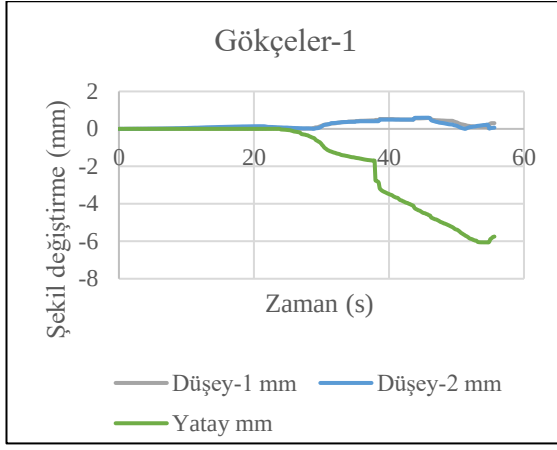


Şekil 45. Yer değiştirmelerin ölçümünde kullanılan cihaz

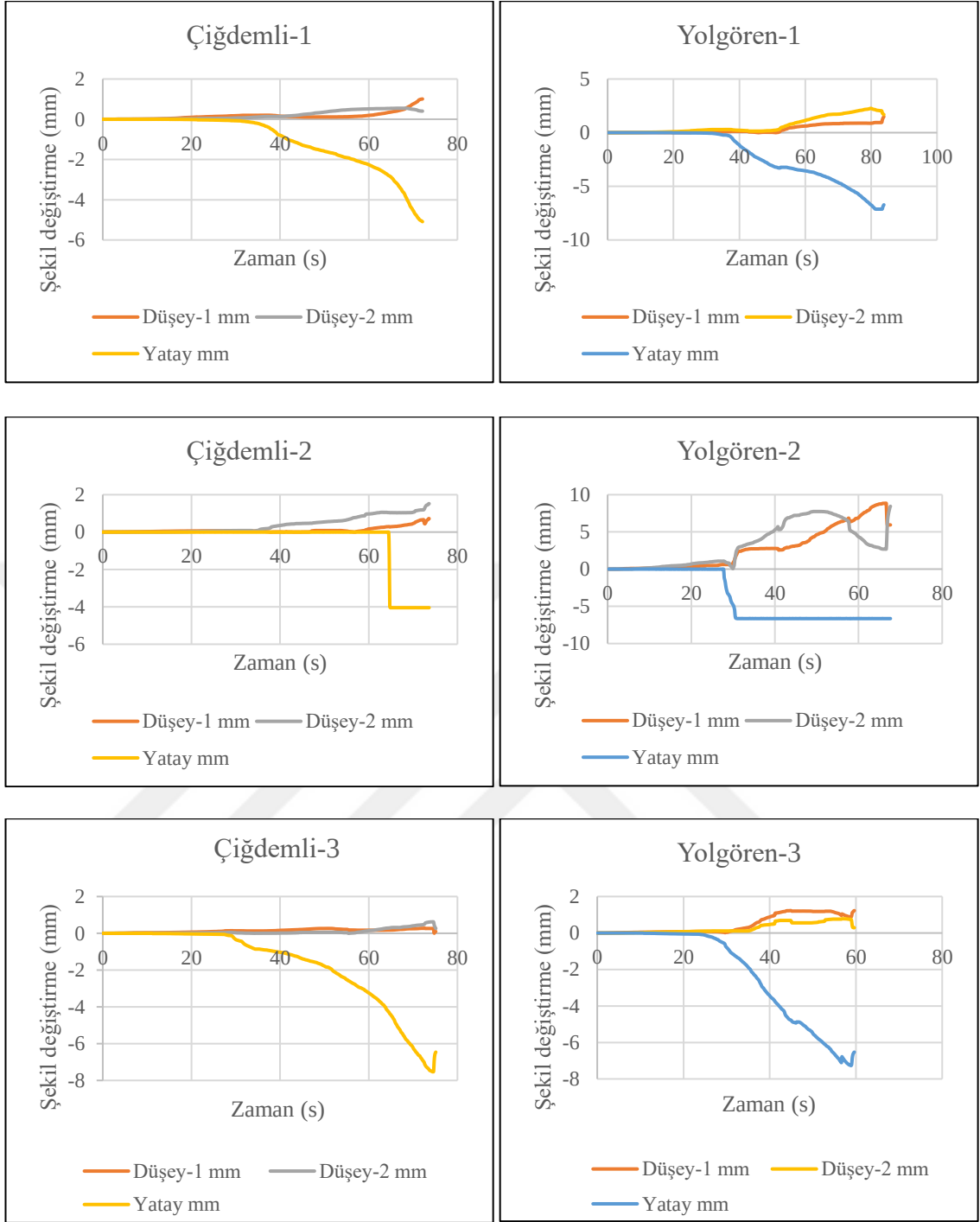
Basınç dayanım deneyinde numune kırılincaya kadar uygulanan yükler ve bu yüklere karşılık gelen koordinatsal yer değiştirmeler data ortamında kaydedilmektedir. Programda numune üzerinde meydana gelen iki yönlü düşey ve bir yönlü yatay deplasmanlar da kaydedilerek bu değişimlerin zamanla ilişkisi Şekil 46’ dan Şekil 48’e kadar olan grafiklerde gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde şekil değiştirmelerin zamanla artış ilişkisi görülebilir. En fazla şekil değiştirme yatay yönde gerçekleşmektedir.



Şekil 46. Çal mahallesinden alınan numunelerin yer değiştirme – zaman eğrileri



Şekil 47. Gökçeler ve Derecik mahallesinden alınan numunelerin yer değiştirme – zaman eğrileri

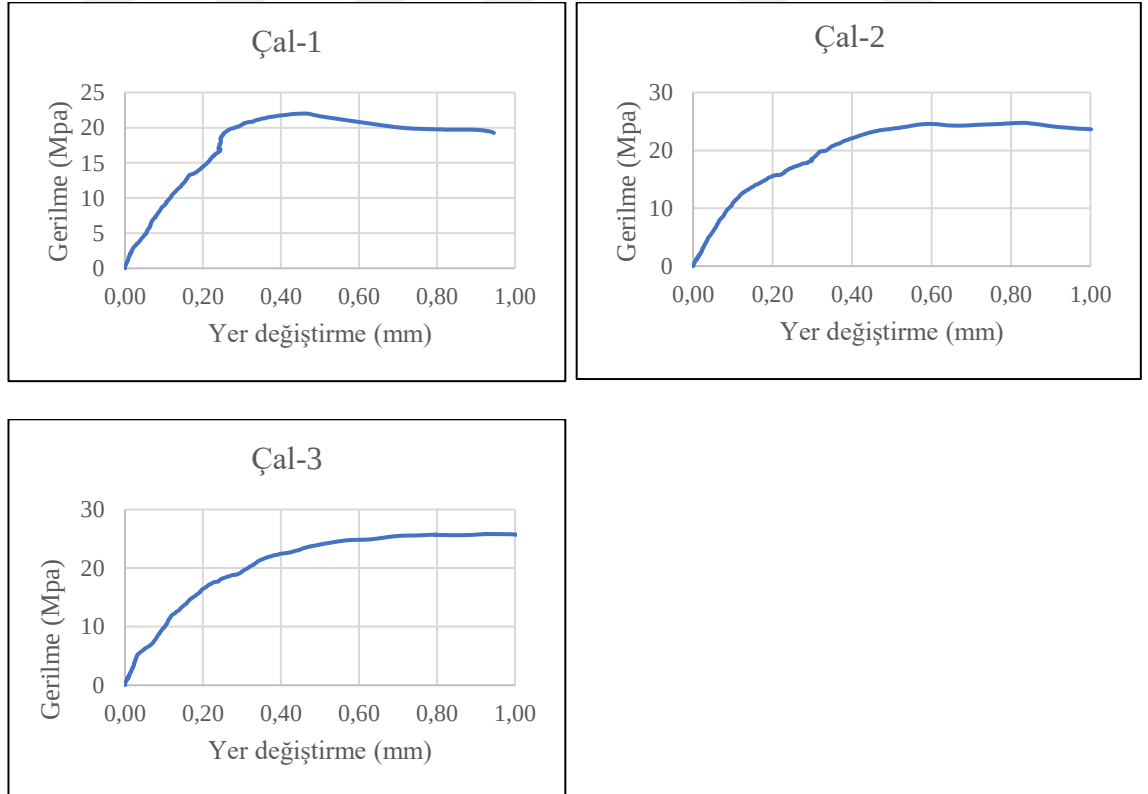


Şekil 48. Çiğdemli ve Yolgören mahallerinden alınan numunelerin yer değiştirme – zaman eğrileri

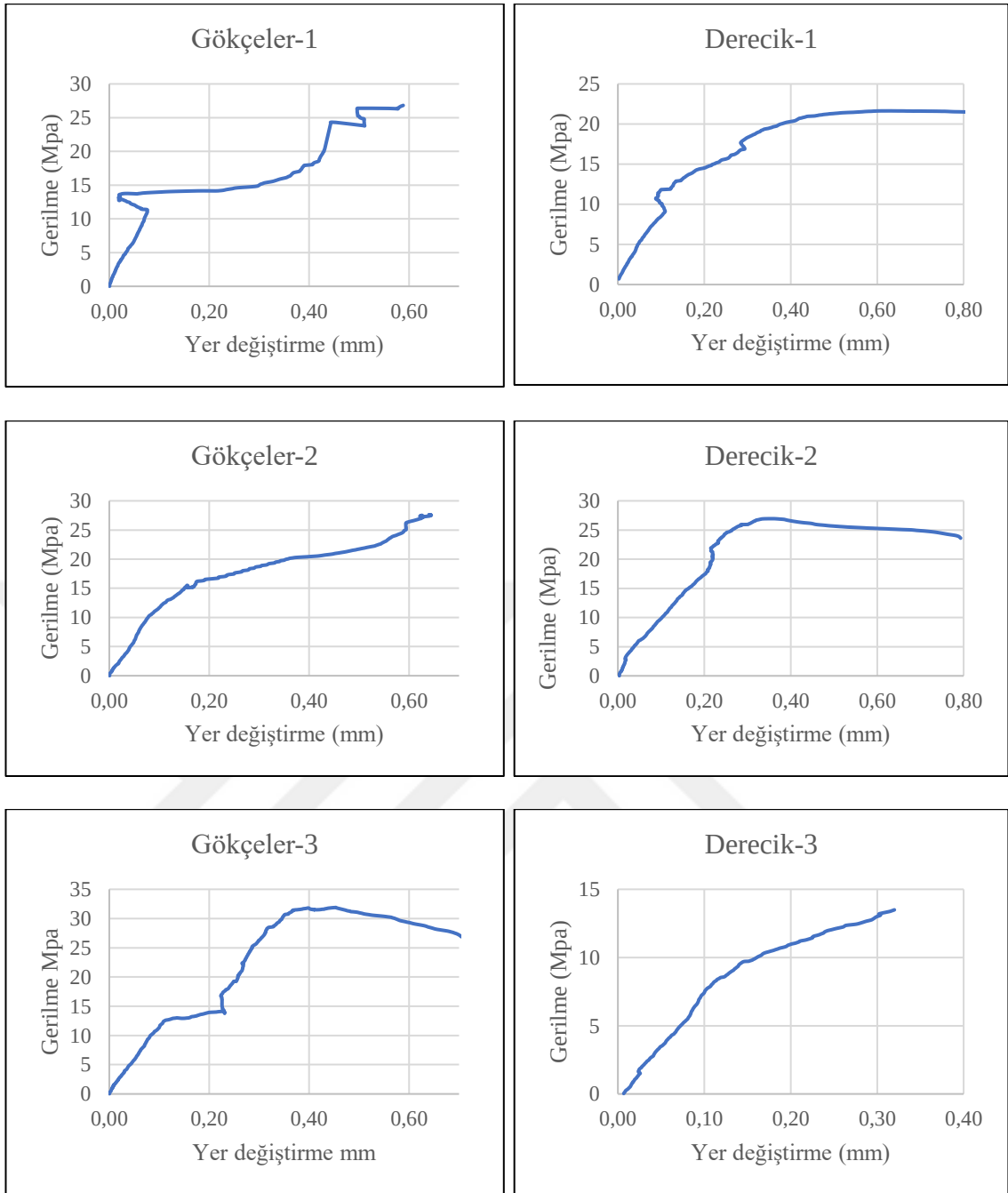
Elastisite modüllerinin hesabında bulunan düşey yer değiştirmeler kullanılarak Şekil 49 ile Şekil 51 arasındaki grafikler oluşturulmuş ve en yüksek gerilme değerinin %40'ına kadar olan kısım elastik yer değiştirme bölgesi olarak alınmıştır. Tablo 11'de yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen Elastisite modülleri değerleri, en alt satırlarda da TS 500'de verilen C25, C20 ve C16 basınç dayanım değerlerine karşılık gelen Elastisite modülleri gösterilmektedir.

Tablo 11. Hesaplamalar sonucu bulunan Elastisite Modülleri

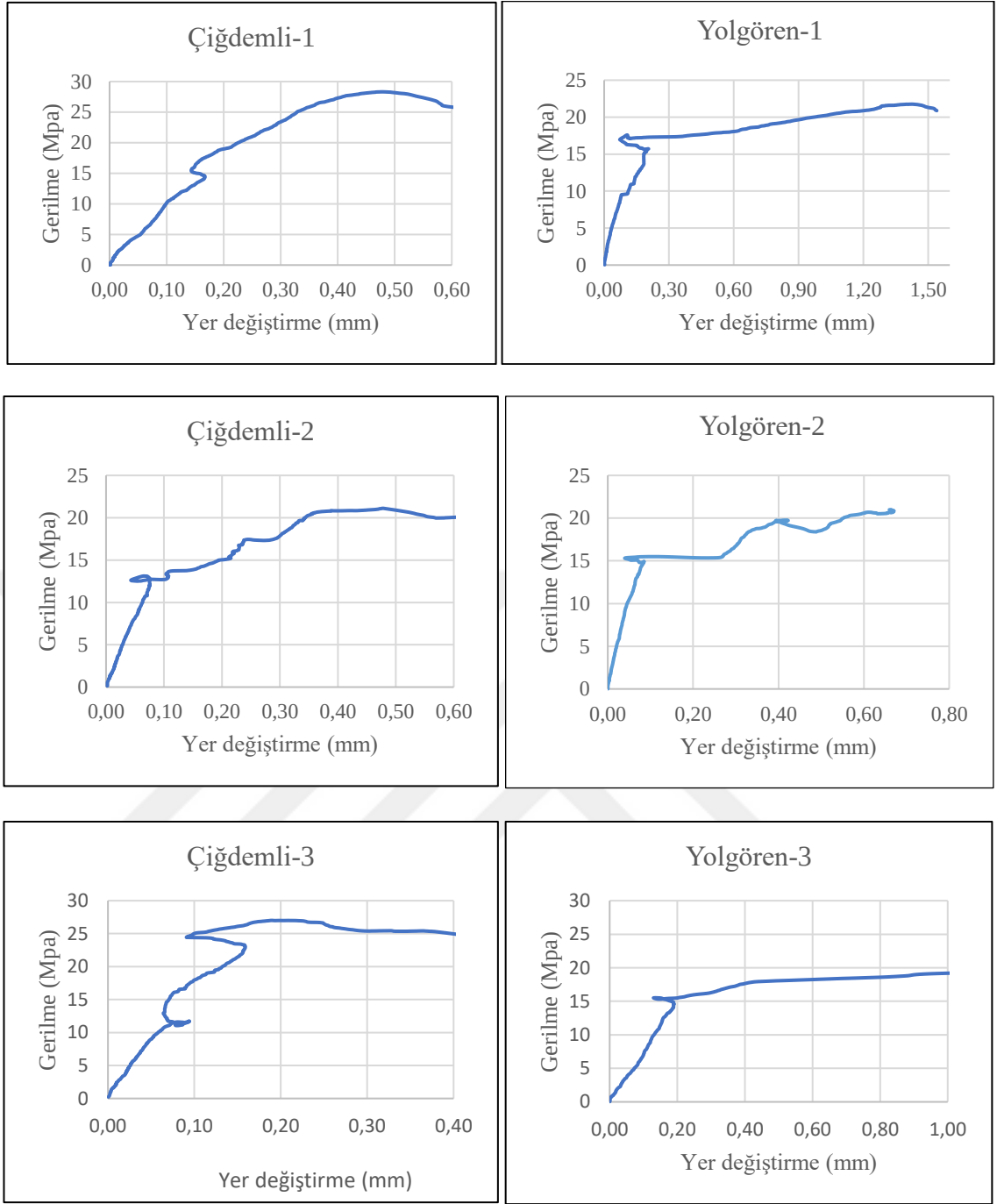
MAHAL	Karot No	Elastisite Modülleri Mpa	Ortalama Elastisite Modülleri Mpa
ÇAL	Ç1	17812	19775
	Ç2	22133	
	Ç3	19381	
GÖKÇELER	G1	28020	24450
	G2	24378	
	G3	20953	
DERECİK	D1	16206	15498
	D2	17299	
	D3	14341	
ÇİĞDEMLİ	Çİ1	17143	24805
	Çİ2	28066	
	Çİ3	29207	
YOLGÖREN	Y1	21233	23454
	Y2	36789	
	Y3	12340	
TS500	C25	30000	
	C20	28000	
	C16	27500	



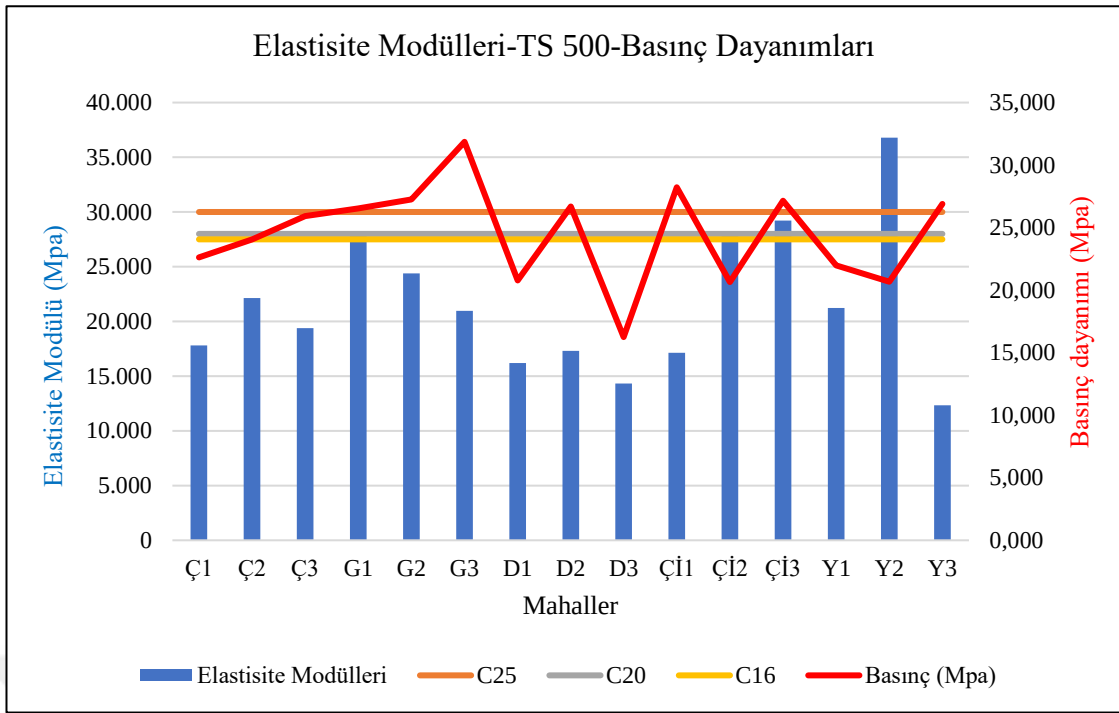
Şekil 49. Çal mahallesi gerilme– yer değiştirme eğrileri



şekil 50. Gökçeler ve Derecik mahallesi gerilme– yer değiştirme eğrileri

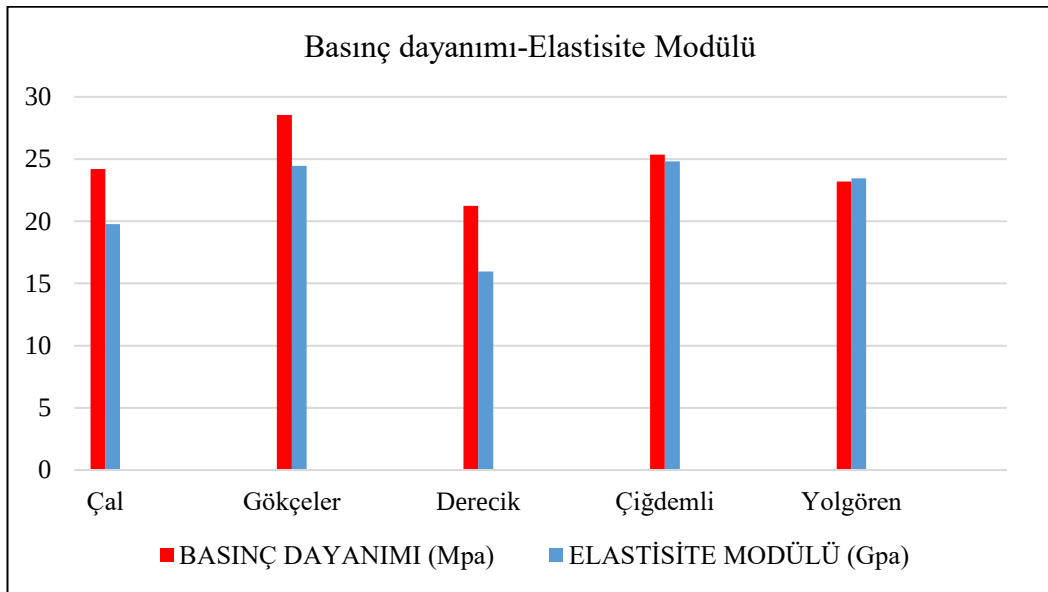


Şekil 51. Çiğdemli ve Yolgören mahallesi gerilme– yer değiştirme eğrileri



Şekil 52. Elastisite Modülleri, TS500 ve basınç dayanımlarının bir arada gösterimi

Şekil 52'den mahallerin basınç dayanımlarına karşılık gelen elastisite modülleri görülebilir. Burada Yolgören'den alınan bir numunenin C25 betonunun elastisite modülü değerini sağladığı, Çiğdemli'den alınan iki numunenin ve Gökçeler'den alınan bir numunenin C20 betonunun elastisite modülü değerini sağladığı, diğer numunelerin C20 beton basınç dayanımından yüksek olsa da elastisite modüllerinin altında kaldığı görülmektedir. Şekil 53'te Basınç dayanımı ile elastisite modülleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.



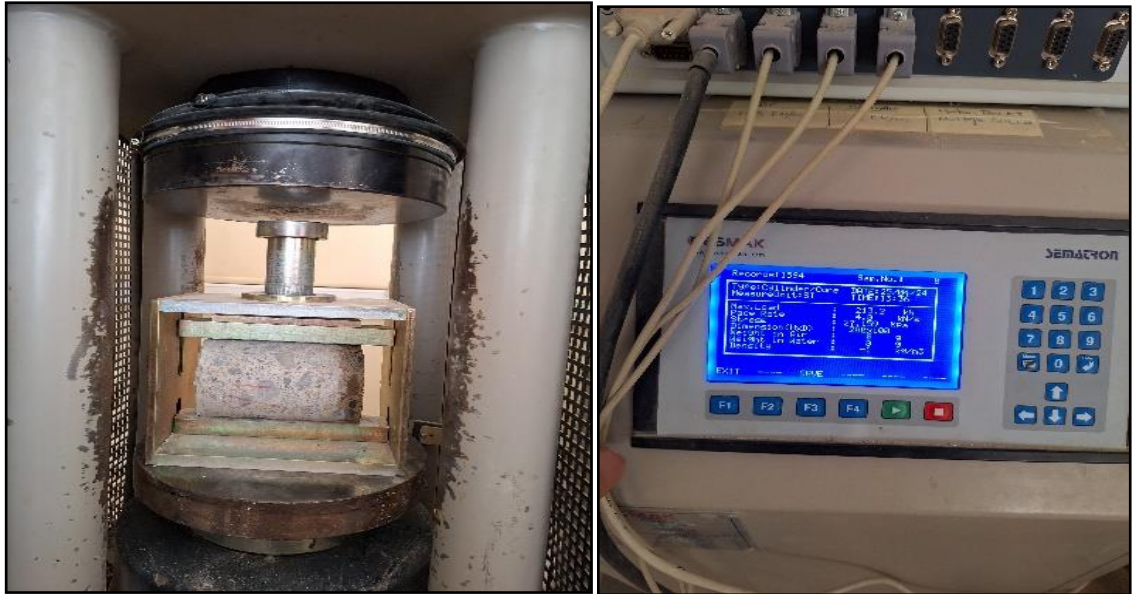
Şekil 53. Basınç dayanımı ile Elastisite Modülü İlişkisi

3.3. Yarmada Çekme Dayanımı

Her güzergahtan alınan 8'er adet karotun 3 tanesi labaratuvarda yarmada çekme dayanımına gelene dek yüklenmiş ve kırılma yükleri not edilmiştir. Şekil 54'te yarmada çekme dayanım deneyine tabi tutulan karot numuneler, Şekil 55'te de yarmada çekme dayanım deneyinden görüntüler, Tablo 9'da da yarmada çekme deney sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 54. Yarmada çekme dayanım deneyine tabi tutulan karot numuneler



Şekil 55. Yarmada çekme dayanım deneyinden görüntüler

Tablo 12. Karotlar için yarmada çekme deneyi dayanım sonuçları

Mahal	Karot No	Ağırlık (gr)	Çekme Yüğü (kN)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Ort. Çekme Dayanımı (Mpa)	Yaşlı Numune Çekme Dayanımı (Mpa)	Taze Numune Çekme Dayanımı (Mpa)	Dayanım Kaybı (%)
Çal	Ç4	3358.4	82.10	2.615				
	Ç5	3728.1	68.60	2.186	2.31	1.542	1.754	12.07
	Ç6	3752.9	67.20	2.140				
Gökçeler	G4	3786.9	89.90	2.863				
	G5	3899.0	73.60	2.344	2.75	1.836	1.821	-0.85
	G6	3926.0	96.00	3.057				
Derecik	D4	3563.9	59.50	1.895				
	D5	3543.5	63.60	2.025	2.04	1.361	1.867	27.09
	D6	3825.0	69.20	2.204				
Çiğdemli	Çi4	2499.0	57.30	1.825				
	Çi5	3521.8	69.70	2.220	2.09	1.394	1.766	21.10
	Çi6	3336.9	69.90	2.226				
Yolgören	Y4	2952,5	61.50	1.960				
	Y5	2648,5	51.00	1.624	1.73	1.153	1.770	34.84
	Y6	2358,5	50.40	1.605				

Deney sonuçlarına bakıldığında, yaşlı numune çekme dayanımında en düşük veriler Yolgören ve Derecik mahallelerinden, en yüksek veri ise Gökçeler ve Çal mahallelerinden alınan numunelerde ölçülmüştür. Yaşlı numune çekme dayanım sonuçlarında ise en iyi değerleri Gökçeler ve Çal mahalleleri verirken en düşük değerleri Yolgören ve Derecik mahallelerinden alınan numuneler vermiştir. Burada en fazla dayanım kaybına uğrayan Yolgören mahallesi olurken, Derecik mahallesinden alınan numuneler ikinci sırada en fazla dayanım kaybına uğrayan örnekler olarak göze çarpmaktadır.

Şekil 56'da verilen kırılmış numuneler incelendiğinde özellikle Derecik ve Yolgören'de çimento hamurunun agregalar üzerinde sıyrıldığı ve bazı agrega tanelerinin parçalanarak döküldüğü görülmüştür.



Şekil 56. Sırasıyla Yolgören ve Derecik mahallesine ait yarmada çekme dayanım deneyinde kırılmış numuneler

3.4. Ultrasonik Dalga Geçiş Hızı Deneyi

Ultrasonik dalga hızı deneyinde her güzergahtan alınan 8 adet karotun 1 tanesi deneye tabi tutulmuştur. Bir uçtan gönderilen dalgaların diğer uçtan alınma süreleri ve Eşitlik 17 vasıtasıyla dalga hızları hesap edilmiştir. Şekil 57’de deneyden görüntüler gösterilmektedir.

Zebari ve arkadaşlarının (2017), ultrasonik ses dalgası yayılma hızından yola çıkarak basınç dayanımına en yakın sonucu verecek formülü araştırdıkları çalışmalarında bir çok çalışmada kullanılan denklemlerden yararlanarak en doğru sonuca ulaştıkları formül kullanılarak basınç dayanım tahminleri yapılmıştır. Eşitlik 21’de bu denklem gösterilmektedir.



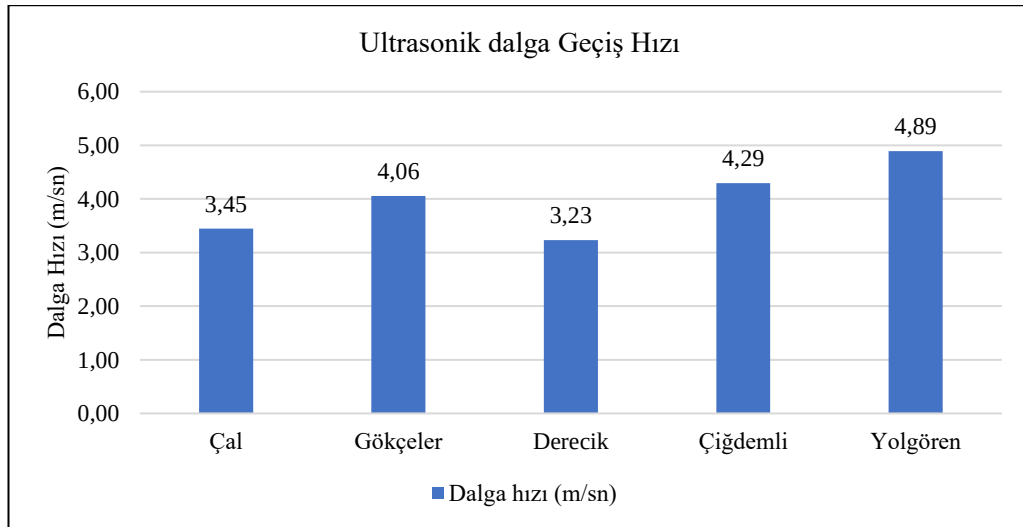
Şekil 57. Ultrasonik dalga geçiş hızı deneyinden görüntü

Denklemden elde edilen basınç dayanım sonuçları ile gönderilen dalgaların numunelerden geçiş sürelerine incelendiğinde ters orantı olduğu görülebilir. Dalga geçişi en kısa süreden en uzun süreye göre ve en yüksek basınç dayanımından en düşük basınç dayanımına göre veriler incelendiğinde Yolgören, Çiğdemli, Gökçeler, Çalköy ve Derecik Mahallesi şeklinde sıralandığı görülmektedir. Tablo 13’de deney sonucu elde edilen süre ve buna bağlı olarak hesaplanan dalga hızları ile Eşitlik 21’den yararlanılarak elde edilen basınç dayanımları gösterilmektedir.

Tablo 13. Ultrasonik dalga geçiş hızı deney sonuçları

Mahal	Karot No	Dalga Hızı (km/s)	Süre (μs)	Basınç dayanımı
Çal	Ç7	3,448	58.00	21.80
Gökçeler	G7	4,057	49.30	35.06
Derecik	D7	3,231	61.90	17.08
Çiğdemli	Çi7	4,292	46.60	40.18
Yolgören	Y7	4,890	40.90	53.20

Dalga geçiş hızı ve boşluk oranı ters orantılı olduğundan yani boşluklarda dalga daha yavaş ilerlediğinden, boşluk oranı yüksek betonlarda, dalga hızı düşmekte yani geçiş süresi uzamaktadır. Boşluk oranı yüksek betonlarda basınç dayanımının daha düşük çıktığını Derecik örneğinden de görebiliriz. Şekil 58’te dalga hızı geçiş süresinin en yüksek, dalga geçiş hızının en düşük olduğu Derecik mahallesi en düşük basınç dayanımını vermiştir.



Şekil 58. Ultrasonik dalga hızı deney sonuçlarının grafiksel gösterimi

3.5. Yoğunluk Tayini Deneyi

Yoğunluk tayini deneyi için her güzergahtan alınan 1'er adet numunenin ilk olarak havadaki ağırlığı tartılarak not edilmiştir. Daha sonra yoğunluk tayini deney düzeneği için içi su dolu bir kabın içerisine kefe sarkıtılmak suretiyle tartılmış ve kefenin su içerisindeki ağırlığı ölçülmüş, daha sonra numuneler birer birer kefenin içine konularak kefe + numune ağırlıkları not edilmiştir. Son olarak numuneler etüvde bekletilerek kuru numune ağırlıkları ölçülmüştür. Tablo 14'de deney sonuç değerleri verilmektedir. İlk olarak numunelerin hacimleri hesaplanmış, daha sonra yoğunluklar tayin edilmiştir.

Tablo 14. Yoğunluk tayini deney sonuçları

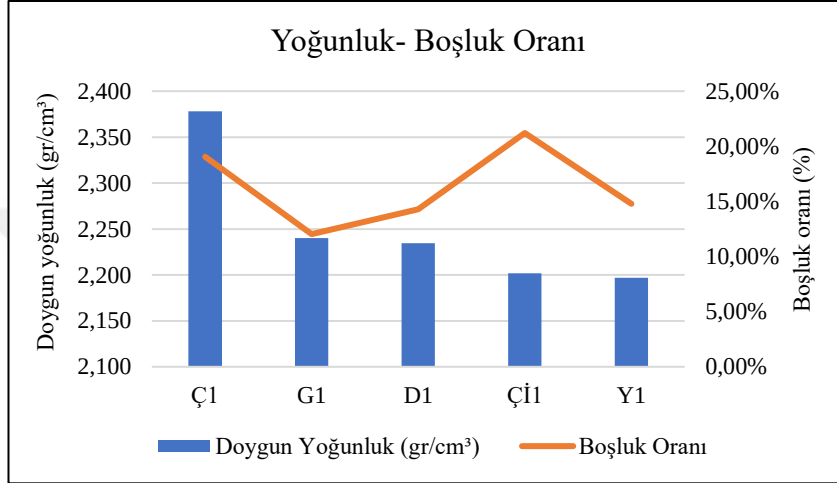
Karot No	Havadaki Ağırlık (gr)	Kefenin Su İçindeki Ağırlığı (gr)	Kefe + Numune Ağırlığı (gr)	Numune Etüv Kurusu Ağırlık (gr)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)
Ç7	3666.20	696.60	2821.20	3419.60	2.378	2.218
G7	3545.70	696.60	2659.40	3375.70	2.240	2.133
D7	3249.40	696.60	2491.80	3067.50	2.234	2.109
Çi7	3390.40	696.60	2547.20	3121.00	2.202	2.027
Y7	2760.70	696.60	2200.60	2599.00	2.197	2.068

Numunelerin yoğunluk değerleri 2.378 ile 2.197 arasında değişmektedir. Değerler arasında marjinal bir farklılık olmamakla birlikte en düşük yoğunluktan en yüksek yoğunluğa doğru sırasıyla Yolgören, Çiğdemli, Derecik, Gökçeler ve Çal en düşük kuru yoğunluktan sıralandığında Çiğdemli, Yolgören, Derecik, Gökçeler ve Çal olarak göze çarpmaktadır.

Tablo 15. Yoğunluk tayini deneyinde yapılan hesaplamalar

Karot No	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Kuru Ağırlık (gr)	Gözenek hacmi (cm ³)	Porozite (Gözeneklilik) (%)	Katı Hacmi (cm ³)	Boşluk Oranı (%)	Ağırlıkça su emme oranı (%)
Ç7	1541.6	3666.2	3419.60	246.6	16.00	1295.0	19.04	6.73
G7	1582.9	3545.7	3375.70	170.0	10.74	1412.9	12.03	4.79
D7	1454.2	3249.4	3067.50	181.9	12.51	1272.3	14.30	5.60
Çi7	1539.8	3390.4	3121.00	269.4	17.50	1270.4	21.21	7.95
Y7	1256.7	2760.7	2599.00	161.7	12.87	1095.0	14.77	5.86

Tablo 15’de, gözenek ve katı hacmi, gözeneklilik, yüzdece boşluk oranı ve ağırlıkça su emme oranı hesap sonuçları gösterilmektedir. Yine tabloya göre %21.21 boşluk oranı ve %7.95 su emme oranı ile Çiğdemliden alınan örnekler en yüksek değerleri verirken, %19.04 - %6.73 ile Çal, %14.77 ve %6.22 ile Yolgören, %14.30 ve %5.93 ile Derecik ve %12.03 boşluk oranı ve %5.04 su emme oranı ile en düşük değerleri Gökçelerden alınan örneklerin verdiği görülmektedir. Şekil 59’da yoğunluk ve boşluk oranının karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 59. Yoğunluk ile boşluk oranının karşılaştırılması

3.6. Kapiler Su Emme Deneyi

Her güzergahtan alınan 1'er adet numune beton kaplama yüzeyi olan dairesel yüzeyleri su emecek şekilde kenarları yalıtılarak suda bekletilmiş belirli zaman aralıklarıyla tartılarak su emme kabiliyetleri ölçülmüştür. Şekil 60'da kapiler su emme deneyinden bir görüntü gösterilmektedir.

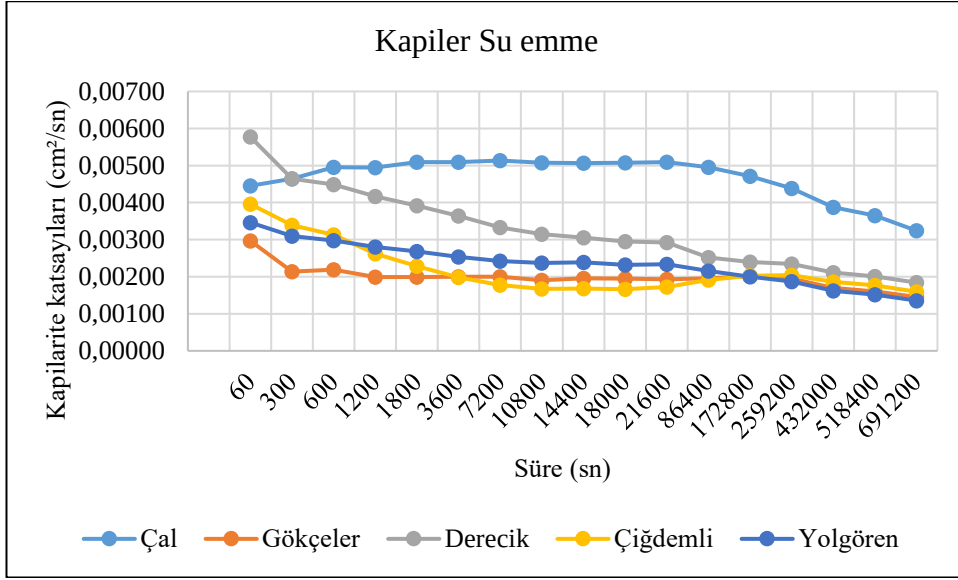


Şekil 60. Kapiler su emme deneyinden görüntü

Tablo 16. Kapiler su emme deney sonuçları ve kapilarite katsayıları

Süre (Sn)	Çal	Kapilarite Katsayısı (cm²/sn)	Gökçeler	Kapilarite Katsayısı (cm²/sn)	Derecik	Kapilarite Katsayısı (cm²/sn)	Çiğdemli	Kapilarite Katsayısı (cm²/sn)	Yolgören	Kapilarite Katsayısı (cm²/sn)	
Kuru Ağırlıklar		3765.8		3681.6		3290.2		3215.8		2805.9	
1 DK	60	3768.5	0.00445	3683.4	0.00297	3293.7	0.00577	3218.2	0.00396	2808.0	0.00346
5 DK	300	3772.1	0.00465	3684.5	0.00214	3296.5	0.00465	3220.4	0.00339	2810.1	0.00310
10 DK	600	3775.3	0.00496	3685.8	0.00219	3298.8	0.00449	3221.8	0.00313	2811.6	0.00297
20 DK	1200	3779.2	0.00494	3687.0	0.00199	3301.5	0.00417	3222.9	0.00262	2813.5	0.00280
30 DK	1800	3782.7	0.00509	3688.2	0.00199	3303.2	0.00392	3223.4	0.00229	2814.8	0.00268
1 SA	3600	3789.7	0.00509	3691.0	0.00200	3307.3	0.00364	3225.1	0.00198	2817.8	0.00253
2 SA	7200	3799.9	0.00513	3694.9	0.00200	3312.3	0.00333	3227.6	0.00178	282.	0.00242
3 SA	10800	3807.1	0.00508	3697.1	0.00191	3315.8	0.00315	3229.4	0.00167	2825.2	0.00237
4 SA	14400	3813.4	0.00507	3700.0	0.00196	3318.9	0.00306	3231.6	0.00168	2828.3	0.00239
5 SA	18000	3819.1	0.00508	3702.1	0.00195	3321.2	0.00295	3233.3	0.00167	2830.3	0.00232
6 SA	21600	3824.4	0.00509	3703.8	0.00193	3323.8	0.00292	3235.6	0.00172	2832.8	0.00234
1. GÜN	86400	3879.7	0.00495	3726.7	0.00196	3348.1	0.00252	3259.9	0.00192	2855.4	0.00215
2. GÜN	172800	3919.2	0.00472	3747.3	0.00202	3368.1	0.00239	3281.7	0.00203	2871.1	0.00200
3. GÜN	259200	3944.0	0.00438	3759.3	0.00195	3383.7	0.00235	3297.3	0.00205	2880.6	0.00187
5. GÜN	432000	3965.0	0.00387	3768.8	0.00170	3398.7	0.00211	3311.5	0.00186	2889.1	0.00162
6. GÜN	518400	3971.5	0.00365	3772.1	0.00161	3403.5	0.00201	3315.3	0.00177	2891.6	0.00152
8. GÜN	691200	3976.7	0.00324	3776.2	0.00145	3410.0		3319.6		2894.1	

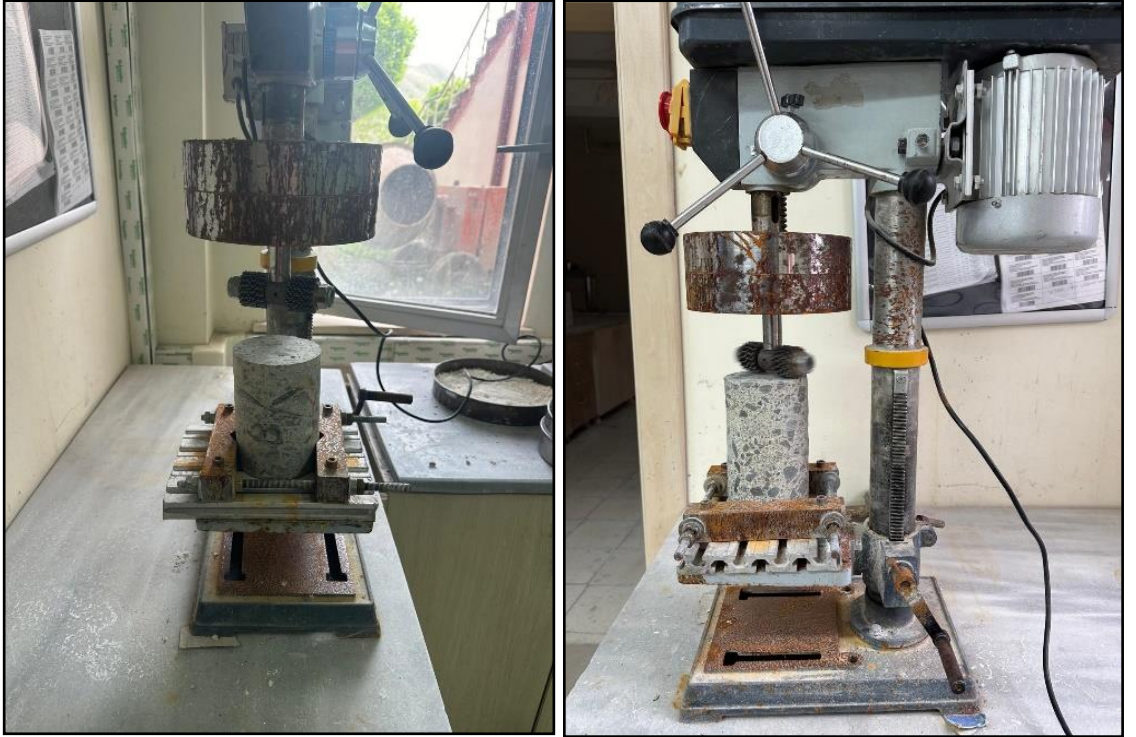
Tablo 16’da verilen deney sonuçlarına göre hazırlanan Şekil 61’den de görüldüğü üzere 1. dakikadan sonra Çal’da su emme değerlerinde dikkate değer bir artış görülürken diğer mahallerde kapilarite katsayısı zamanla düşmektedir. Burada en fazla su emme değerlerini Çal’ dan alınan numune verirken, daha sonra Derecik,Yolgören, Çiğdemli olmak üzere en düşük su emme değerini Gökçeler’den alınan numune vermiştir.



Şekil 61. Mahallerin artan süreye göre Kapiler Su Emme Katsayıları Grafiği

3.7. Aşınma Dayanımı Deneyi

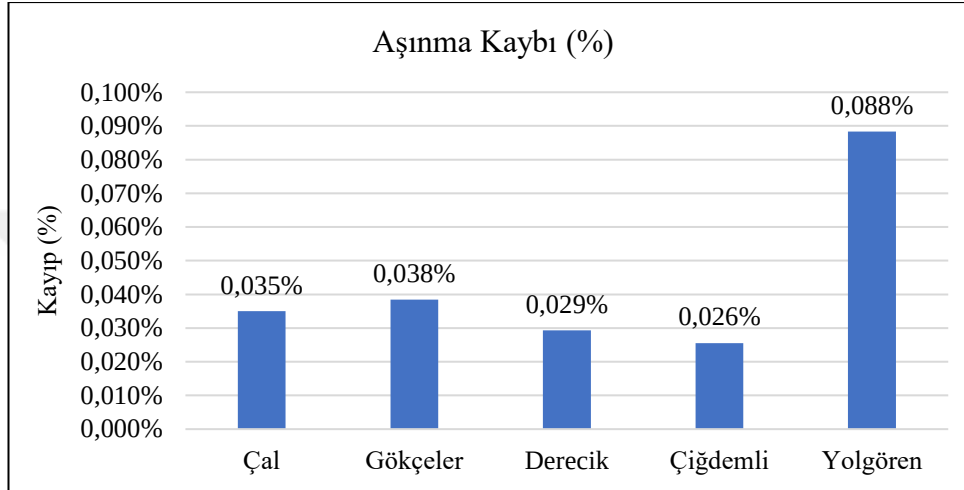
Bu deney ASTM C 944 standardına uygun olarak gerçekleştirilen deneyde hız 200 dev/dk'ya ayarlanarak 2'şer dakikadan 3 döngüde aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. Aradaki malzeme kaybı yüzde olarak hesaplanmıştır. Şekil 62'de kullanılan deneyden görüntüler gösterilmektedir. Şekil 63'te aşınma kayıplarının mahal bazında karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 62. Aşınma deneyinden görüntüler

Tablo 17. Aşınma deney sonuçları

Mahal	Karot No.	1. Ölçüm Sonrası Ağırlık (gr)	2. Ölçüm Sonrası Ağırlık (gr)	Kayıp (%)
Çal	Ç7	3430.20	3429.00	0.035
Gökçeler	G7	3382.70	3381.40	0.038
Derecik	D7	3072.40	3071.50	0.029
Çiğdemli	Çi7	3130.00	3129.20	0.026
Yolgören	Y7	2604.80	2602.50	0.088



Şekil 63. Mahallerin aşınma kayıplarının karşılaştırılması

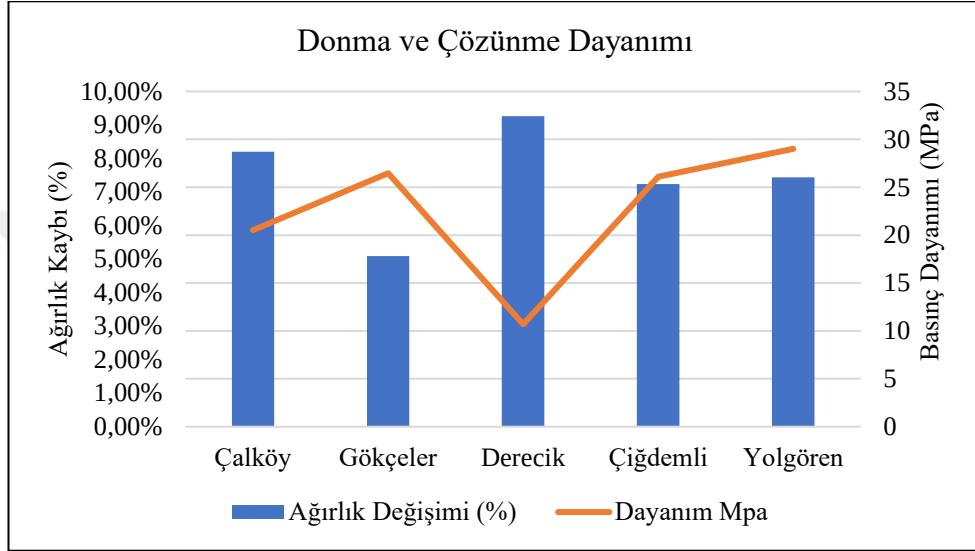
Tablo 17’de gösterilen deney sonuçlarına göre Aşınma deneyinde en fazla kayıp %0.088 ile Yolgören mahallesinden alınan numunelerde ölçülürken, %0.038 ile Gökçeler, %0.035 ile Çalköy, %0.029 ile Derecik ve en az kayıp ise %0.026 ile Çiğdemli mahallesinden alınan numunelerde ölçülmüştür.

3.8. Donma ve Çözünme Deneyi

Bu deney ASTM C 666 Standardında Procedure A’ ya uygun olarak gerçekleştirilen deneyde numuneler +4 °C ile -18°C sıcaklıklar arasında, su içerisinde, 2 ila 5 saat döngü süreli, donma ve çözünmeye maruz bırakılmıştır. Daha sonra elde edilen basınç dayanımları ile birlikte elde edilen veriler Tablo 18’de derlenmiştir. Donma çözünme deney sonrası en yüksek ağırlık kaybı %9.26 ile Derecik mahallesinden alınan numunelerde ölçülürken %8.21 ile Çal, %7.44 ile Yolgören, %7.24 ile Çiğdemli ve en az kayıp %5.09 ile Gökçeler mahallesinde alınan karotlarda ölçülmüştür.

Tablo 18. Donma-Çözünme deney sonuçları

Mahal	Karot No.	Deney Öncesi Ağırlık (gr)	Deney Sonrası Ağırlık (gr)	Ağırlık Değişimi (%)	V_p (m/sn)	t (süre)	Kırılma Yüğü (KN)	Dayanım (Mpa)
Çal	Ç8	2910.2	2671.4	8.21	2063	72.7	161.0	20.51
Gökçeler	G8	2886.4	2739.4	5.09	5051	29.7	207.7	26.46
Derecik	D8	2319.1	2104.4	9.26	2072	53.1	83.9	10.69
Çiğdemli	Çi8	2109.1	1956.5	7.24	2792	39.4	204.8	26.09
Yolgören	Y8	1900.0	1758.6	7.44	4348	23.0	227.7	29.01



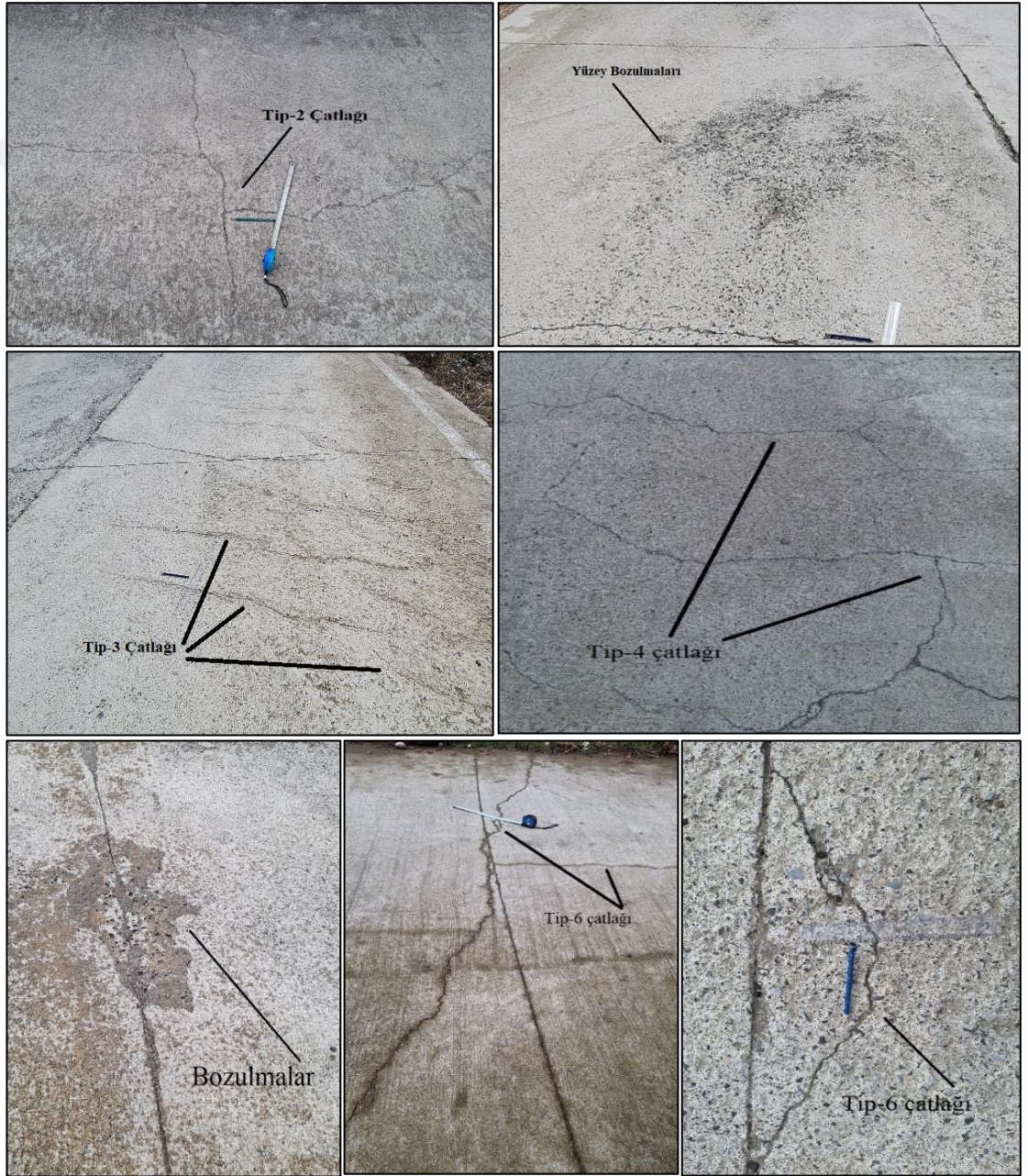
Şekil 64. Donma Çözünme deneyi öncesi ve sonrası dayanım kaybı ve ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması

3.9. Çatlaklar

Seçilen güzergahlarda çatlak verilerinin bol olduğu kısımlar çalışma alanı olarak belirlenmiş ve çatlak haritaları ölçeksiz olarak çıkarılmıştır. Şekil 65'te arazide incelenen çatlaklara ait fotoğraflar gösterilmektedir. Çatlak tip ve oluşumları incelenirken Karadeniz iklim ve coğrafyasının etkilerini göz önünde tutmak gerekir. Bunun yanı sıra kırsal kesimlerde yol güzergahlarının ve hendek kanallarının her yerde yeterli genişlikte olmaması, beton kaplamanın alttemel ya da temel tabakası olmaksızın doğrudan doğal zemin üzerine uygulanması vb. durumlarının çatlak oluşumlarını etkileyebileceğinden çevrede gözlemsel bir inceleme yapılmıştır.

Çalışma alanı olarak belirlenen güzergahlar genel olarak, mahalleler arası kullanımı fazla olan yollar olmakla birlikte hepsinde beton uygulaması yaz aylarında yapılmıştır. Güzergahlarda tespit edilen çatlak oluşumlarının sebepleri araştırılırken Karadeniz yöresinin iklim koşullarında doğrudan ve yüksek ısıda güneş ışığına maruz kalma olmasa da iklim koşullarının çok kısa sürede hemen değiştiği ve özellikle kırsal kesimlerde beton santrallerine mesafe uzaklığı oldukça fazla önem kazanmaktadır. Döküm sırasındaki hava

ve zemin durumuna uygun özellik ve kıvamdaki beton istense de çok kısa sürede yağmurun yağması, güneşli havanın hızlıca sis ve yağmura dönüşmesi, buharlaşma ve hava yoğunluğundaki mikroklima etkisine bağlı olarak yaşanan artış, güneşli havalarda kullanılan kimyasal kürlerin, hava durumunun sis veya yağmura dönüşmesiyle yüzeyden akıp gitmesi, beton üzerindeki bir miktar katmanı sıyırması, yolların dar oluşunun zamanında yapılması gereken su kurlamasını geciktirmesi, suya ulaşımdaki güçlükler, arazözle su taşınmaya çalışılması ancak yük taşımaya uygun olmayan yolların araç trafiğini henüz kaldıramamasıyla kürelemede yaşana sıkıntılar bunlardan bazılarıdır.



Şekil 65. Çalışma alanından bazı çatlak görüntüleri

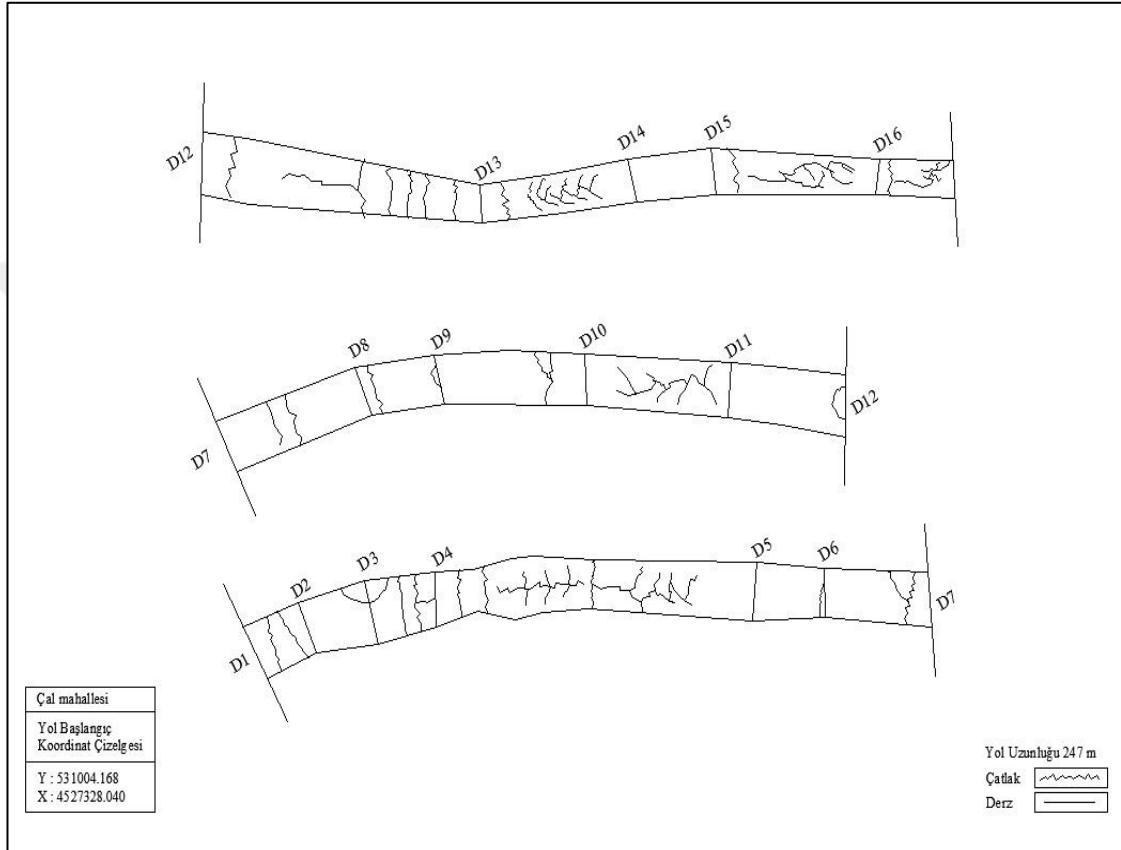
Burada çalışma alanındaki çatlak oluşumları incelenerek, görsel bir haritalama yapılmış, hangi tip çatlakların hangi mahallerde daha çok görüldüğünün ve derzlere olan konumunun hızlıca algılanması amaçlanmıştır. Tablo 19’da sınıflandırılmış çatlak tiplerinin sıralanması gösterilmektedir.

Tablo 19. Mahallerde görülen çatlak tipleri

Çal				Çiğdemli				Gökçeler				Derecik				Yolgören			
S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip	S. No	Tip
1	1	24	2c	1	1	24	2c	1	1	24	2a	1	4	24	1	1	1	24	2b
2	1	25	1	2	1	25	2a	2	1a	25	2c	2	4	25	3	2	1	25	1a
3	6a	26	1	3	1	26	2b	3	1-5	26	1	3	4	26	3	3	1-3	26	1
4	1	27	1	4	1	27	1	4	1	27	1	4	4	27	3	4	3	27	1
5	6c	28	1	5	1	28	1	5	1	28	2c	5	1	28	6d	5	3	28	1
6	6b	29	4	6	1	29	1	6	1	29	2c	6	1	29	3	6	1	29	1
7	1	30	1-4	7	1	30	1	7	1	30	2a	7	1	30	1	7	1	30	1
8	1	31	4	8	1	31	1	8	1	31	2c	8	1	31	1	8	6c		
9	4			9	1	32	1	9	1	32	3	9	1	32	1	9	1		
10	1			10	1	33	2c	10	4	33	1	10	3	33	1	10	2a		
11	6a			11	1	34	2b	11	4	34	2c	11	3	34	1	11	2a-6b		
12	1a			12	1	35	2a	12	2	35	2a-3	12	1	35	1	12	2a-6b		
13	1a			13	1	36	2c	13	2	36	2b-3	13	3	36	1	13	1		
14	1a			14	1	37	2b	14	3-2c	37	2a-3	14	1	37	1	14	1		
15	1			15	1	38	2a	15	4	38	6bc	15	6d	38	1	15	1		
16	1			16	1	39	1a	16	6bc	39	6b	16	1	39	1	16	6d-3		
17	1			17	1	40	1	17	1a-5	40	2a-5	17	1	40	1	17	1		
18	6d			18	1	41	1	18	1a-3	41	1	18	1	41	1	18	1		
19	1a			19	1	42	1	19	6bc			19	6d	42	1-3	19	6b		
20	1a			20	1	43	1	20	2ac			20	1			20	3		
21	6d			21	1	44	1	21	2ac-3			21	1			21	1		
22	1			22	1	45	1	22	2c			22	3			22	2a		
23	2c			23	2c	46	1a	23	2a			23	1			23	2b		
						47	1												

Çal mahallesinde bu iş içerisinde derzli donatısız beton kaplama yapılan kesintisiz toplam yol boyu 1411 m ve yol genişliği değişmekle birlikte ortalama olarak 5.94 m kaplama kalınlığı da ortalama 20 cm olarak ölçülmüştür. Yolun 247 metrelik kısmı

Çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Yolun beton kaplama yapımı öncesinde durumu stabilize edilmiştir ve sürekli trafige açık kullanım durumundadır. Yolda sadece beton dökümü yapılmıştır, alt temel veya temel çalışması yapılmamıştır. Derz aralıkları değişmekle birlikte yol orta kısmından boyuna derz ve yol boyunca 15 m’de bir kaplama kalınlığının ¼’ kadar 3 mm genişliğinde büzülme derzi olarak enine derz kesimi yapılmıştır. şekil 66’da yoldaki çatlak oluşumlarının görsel amaçlı leksiz bir krokisi gösterilmektedir.



şekil 66. al mahallesi tlak krokisi

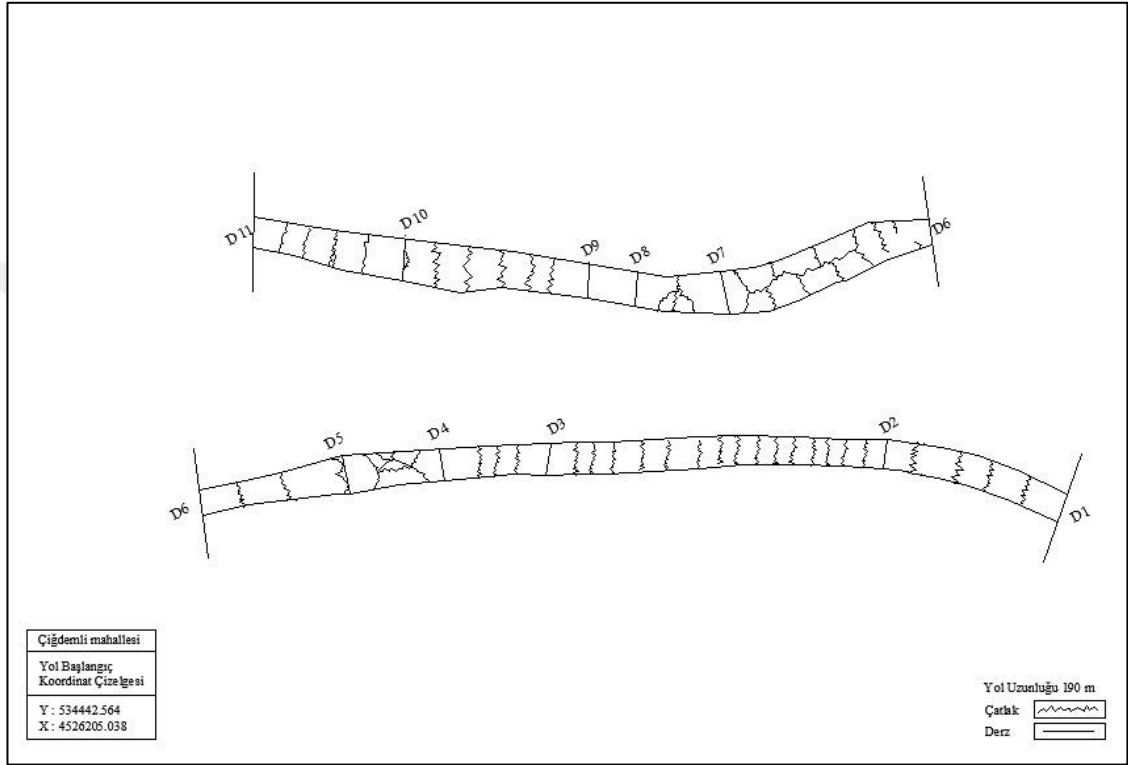
Çatlaklar üzerinde yapılan incelemelerde; 1, 2, 4 ve 6 tlak tiplerinin oluştuğu görülmüştür. Birbirlerine oranla oluşma yüzdeleri Tablo 20’de gösterilmektedir. Burada %60 la en fazla Tip-1, daha sonra %20 ile Tip-6 tlak şekli ortaya çıkmıştır. En az Tip-2 tlak tipi görülmektedir. Tip-3 ve Tip-5 tlak tipleri görülmemiştir.

Tablo 20. al mahallesinde görülen tlak tipleri

Tip-1, 1a	Tip-2a, 2c	Tip-4	Tip-6a, b, c
%60	%7	%13	%20

Gökçeler mahallesinde bu iş içerisinde derzli donatısız beton kaplama yapılan kesintisiz toplam yol boyu 487 m ve yol genişliği değişmekle birlikte ortalama olarak

Çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Yolun beton kaplama yapımı öncesinde durumu stabilize edilmiş ve sürekli trafiğe açık kullanım durumundadır. Yolda sadece beton dökümü yapılmıştır, alt temel veya temel çalışması yapılmamıştır. Derz aralıkları değişmekle birlikte yol orta kısmından boyuna derz ve yol boyunca 15 m’de bir kaplama kalınlığının ¼’  kadar 3 mm genişliğinde büzülme derzi olarak enine derz kesimi yapılmıştır. şekil 69’da yoldaki çatlak oluşumlarının görsel amaçlı leksiz bir krokisi gösterilmektedir.



şekil 69. iğdemli mahallesi çatlak krokisi

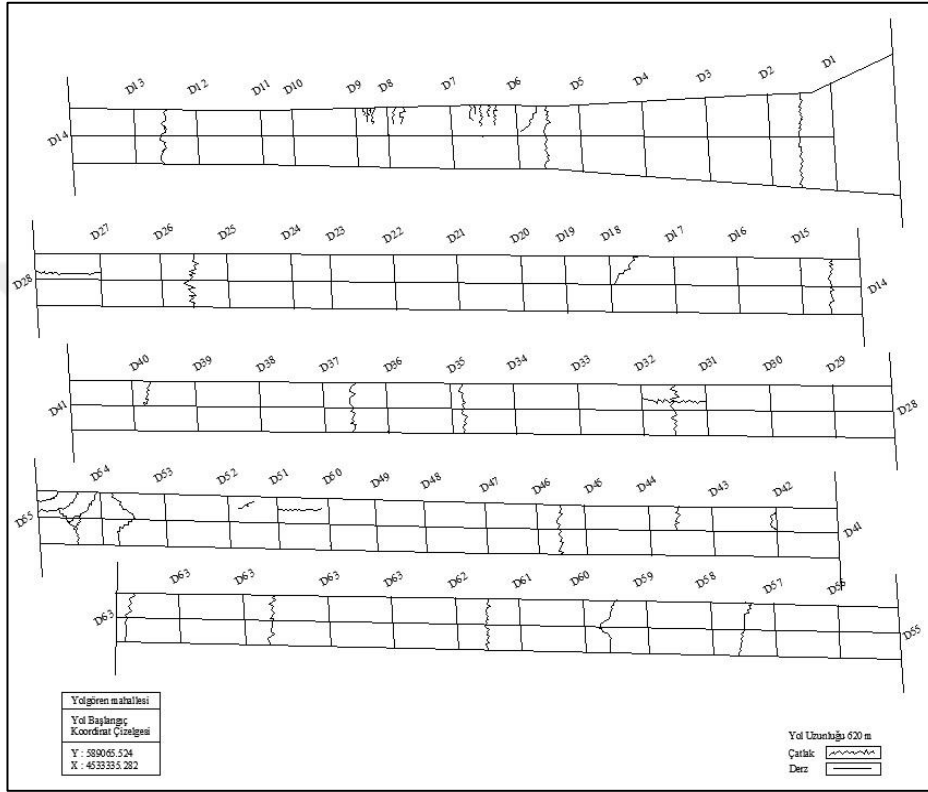
Çatlaklar üzerinde yapılan incelemelerde; 1, 2 çatlak tiplerinin oluştuğu görülmüş, birbirlerine oranla oluşma yüzdeleri Tablo 23’te gösterilmektedir. Burada %79 ile en fazla Tip-1, ve %20 ile Tip-2 atlak şekli ortaya çıkmıştır. Diğer atlak tip oluşumları tespit edilmemiştir.

Tablo 23. iğdemli mahallesinde görülen çatlak tipleri

Tip-1, 1a	Tip-2a, 2c
%79	%21

Yolgören mahallesinde bu iş içerisinde derzli donatısız beton kaplama yapılan kesintisiz toplam yol boyu 1920 m ve yol genişliği değişmekle birlikte ortalama olarak 9,50 m kaplama kalınlığı da ortalama 20 cm olarak llmştir. Yolun 620 metrelik kısmı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Yol hem Sanayi Sitesine hizmet vermekte hem de

anayola alternatif bir mahalle yolu olmasından dolayı trafik yükü fazla ve trafik akışı da oldukça hareketli bir yoldur. Yolun beton kaplama yapımı öncesinde durumu stabilize edilmiştir. Yolda temel çalışması yapılmıştır. Derz aralıkları değişmekle birlikte yol orta kısmından boyuna derz ve yol boyunca 10 m’de bir kaplama kalınlığının $\frac{1}{4}$ ’ü kadar 3mm genişliğinde büzülme derzi olarak enine derz kesimi yapılmıştır. Şekil 70’da yoldaki çatlak oluşumlarının görsel amaçlı ölçeksiz bir krokisi gösterilmektedir.



Şekil 70. Yolgören mahallesi çatlak krokisi

Çatlaklar üzerinde yapılan incelemelerde; Tip-4 ve Tip-5 haricindeki diğer çatlak tipleri görülmüştür. Birbirlerine oranla oluşma yüzdeleri Tablo 24’te gösterilmektedir. Burada %56 ile en fazla Tip-1, daha sonra %16 ile Tip-2 ve Tip-3, %12 ile Tip-6 çatlak şekilleri ortaya çıkmıştır. Tip-4 ve Tip-5 çatlak tipleri görülmemiştir.

Tablo 24. Yolgören Mahallesi’nde görülen çatlak tipleri

Tip-1	Tip-2a, 2b	Tip-3	Tip-6b, 6c, 6d
% 56	% 16	% 16	% 12

3.10. Bulguların irdelenmesi

Basınç dayanım deneyinde ortalama dayanımlara bakıldığında; en yüksek değeri Gökçeler, en düşük değeri Derecik’ten alınan numuneler vermiştir. Erken yaş basınç

dayanımları ile yaşlı numune basınç dayanımları arasında en fazla kayıp sırasıyla Derecik ve Yolgören’de meydana gelmiş C25 beton sınıfı C20’ ye düşmüştür. Diğer mahallelerde basınç dayanımları artmıştır. Basınç dayanımları bireysel olarak incelendiğinde birbirinden oldukça farklı değerlerle karşılaşılmaktadır. Burada uniform bir zemin olmayışının betonda yormaya sebep olabileceği, beton karışım malzemelerinin durumu veya betonun homojenliğinin sorgulanabileceği görülmektedir.

Yarmada çekme dayanımı deneyinde; en yüksek değeri Gökçeler, en düşük değeri Yolgören’den alınan numuneler vermiştir. Tahmin edilen erken yaş çekme dayanımları ile yaşlı numune çekme dayanımları arasında en fazla kayıp sırasıyla Derecik ve Yolgören’de meydana gelmiş en düşük kayıp Gökçeler ve Çiğdemli’den elde edilmiştir.

Yoğunluk tayini deneyinde; en yüksek yoğunluk sırasıyla Çalköy ve Gökçelerden elde edilirken, en düşük doymuş yoğunluk Yolgören, en düşük kuru yoğunluk ise Çiğdemli’den elde edilmiştir. Burada doymuş ve kuru ağırlıklardan ile numune hacimlerinden yola çıkılarak en yüksek porozite (gözeneklilik), boşluk oranı ve su emme yüzdesi sırasıyla en Çiğdemli ve Çalköy’de, en düşük ise Gökçelerde hesaplanmıştır.

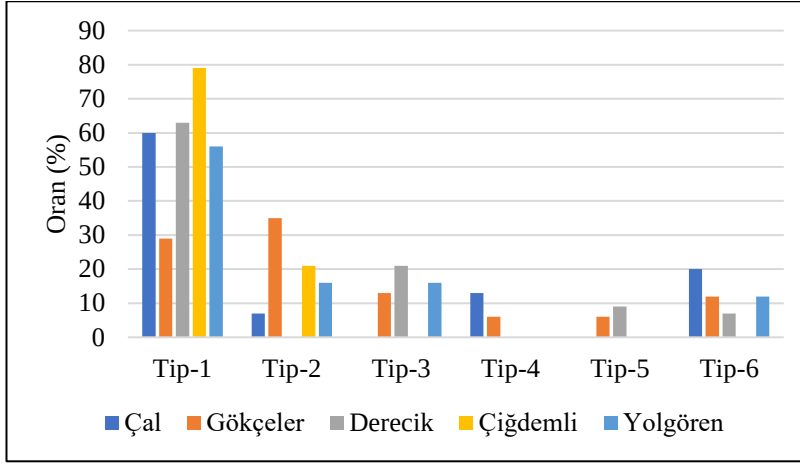
Kapiler su emme deneyinde; en yüksek kapilarite katsayısı sırasıyla Çal ve Derecik’te ölçülürken, en düşük kapilarite katsayısı Gökçeler ve Yolgören’den elde edilmiştir. Başlangıç kapiler su emme en yüksek Derecik olarak göze çarpmaktadır.

Ultrasonic dalga hızı deneyinde; en yüksek dalga hızı Yolgören ve Çiğdemli’den elde edilmiş, en yüksek basınç dayanım değerleri de yine Yolgören ve Çiğdemli’den hesaplanmış, en düşük dalga hızı ve basınç dayanımı Derecik’ten alınan numunelerden ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

Aşınma deneyinde; karot yüzeyinden en yüksek malzeme kayıpları sırasıyla Yolgören ve Gökçeler’de, en düşük kayıp ise Çiğdemli ve Derecik’de ölçülmüştür.

Donma ve çözünme deneyinde; en yüksek kayıp sırasıyla Derecik ve Çalköy’de ölçülürken en düşük kayıp Gökçeler ve Çiğdemli’de ölçülmüştür. Deney sonrası en yüksek dayanım sırasıyla Yolgören ve Gökçelerden elde edilirken en düşük dayanım Derecik ve Çalköy’den elde edilmiştir.

Çatlak incelemelerinde; Şekil 7’ye bakıldığında; Tip-1 çatlak oluşumunun en fazla Çiğdemli’de Tip-2 çatlak oluşumunun en fazla Gökçeler’de, Tip-3 çatlak oluşumunun en fazla Derecikte, Tip-4 ve Tip-6 çatlak oluşumunun en fazla Çal’da, Tip-5 çatlak oluşumunun en fazla Derecik’de gözlemlendiği görülmektedir.



Şekil 71. Çatlak Tiplerinin Mahallerde görülme sıklıkları

Tip-1 kuruma rötresi çatlağı tüm mahallerde görülmüştür. Her mahalde en fazla görülen çatlak Tip-1 olsa da Gökçelerde en fazla Tip-2 çatlağı tespit edilmiştir. Ancak daha öncede ifade edildiği gibi Tip-2 çatlağı, Tip-1 kuruma rötresi çatlağının enine ve boyuna yönde oluşması kimi yerlerde oturma çatlaklarıyla beraber harmanlanmış daha kompleks bir çatlak ailesi olarak ortaya çıkmıştır.

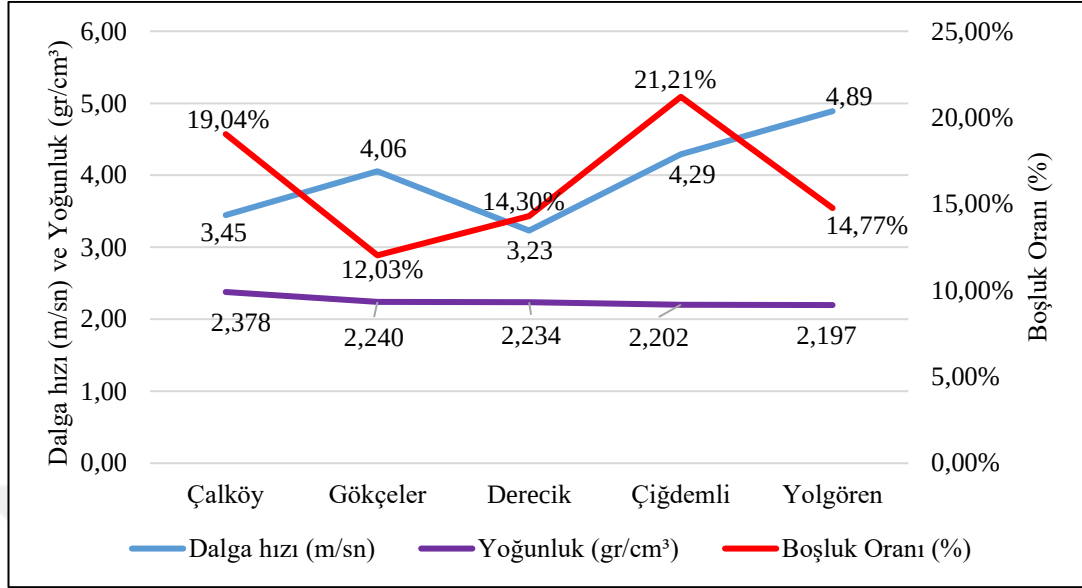
Mahalle bazında çatlak oluşum Tipleri Bölüm 3.8’de anlatılmıştır. Buna göre en sık görüldenden en az görülene doğru sırasıyla; Çal’da enine ve lokal kısımlarda boyuna kuruma rötresi ve oturma çatlakları, derzlerle ilişkili çatlaklar, plastik rötire çatlağı, Gökçeler’de bütün çatlak tipleri, Derecik’de enine kuruma rötresi, termal rötire çatlağı, plastik rötire çatlağı ve derzlerle ilişkili çatlaklar, Çiğdemli’de enine ve lokal kısımlarda boyuna kuruma rötresi ve oturma çatlakları, Yolgören’de enine ve lokal kısımlarda boyuna kuruma rötresi, oturma çatlakları, termal çatlaklar ve derzlerle ilişkili çatlaklar tespit edilmiştir.

Çatlak bazında incelendiğinde *enine kuruma rötresi* en fazla Çiğdemli’de görülmekle beraber her mahalde, enine ve *boyuna kuruma rötresi ile oturma çatlakları* en fazla Gökçelerde görülmek beraber Derecik hariç her mahalde, *termal rötire çatlağı* en fazla Derecik’de görülmekle beraber Gökçeler, Derecik ve Yolgören’ de, *plastik rötire çatlağı* en fazla Çal’da görülmekle beraber Çal, Gökçeler ve Derecik’de, kalınlık yetersizliğinden meydana gelen gerilme çatlakları ise Gökçeler’de görülmüştür.

Enine kuruma büzülmesi çatlakları genel olarak kaplama kalınlığı tabanına inmektedir. Ayrıca yol enine çatlakları mevcut derzlerden daha geniş, ve çatlak ağız kenarları özellikle Yolgören ve Dereikte genel olarak kırılmıştır.

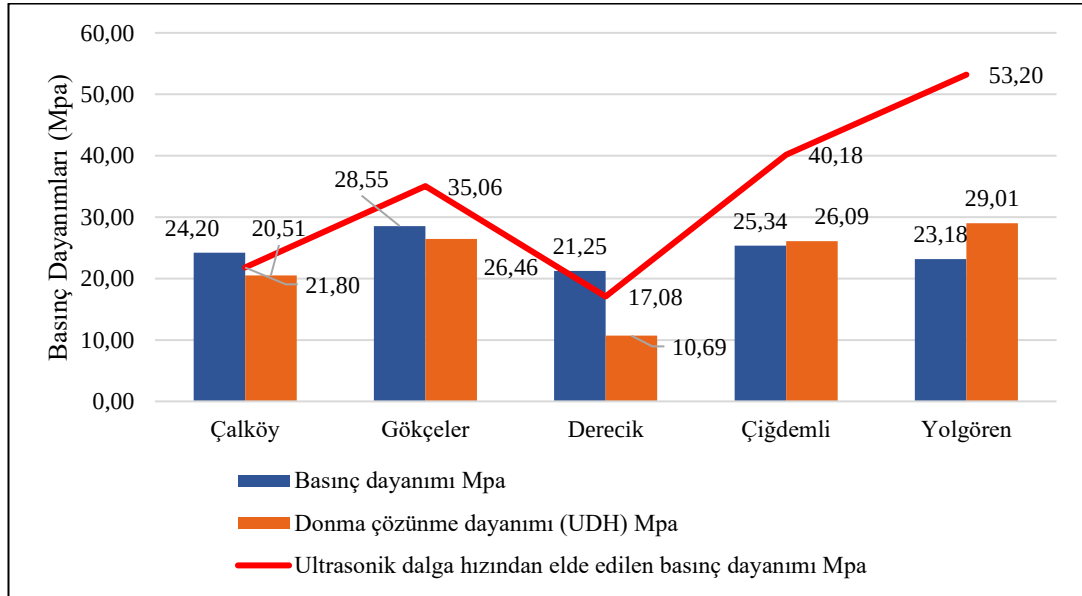
Kaplamayı enine tamamen kesen Tip-1 ve Tip-2 çatlakları ile mevcut kesimi yapılan derz adetleri birleştirildiğinde Çalköy’de yaklaşık olarak 7 m’de 1, Çiğdemli’de

4 m’de, Gökçelerde 6 m’de, Derecik’de 4.5 m’de, Yolgören’de ise 8 m’de 1 derz aralığı düşmekte olduğu tespit edilmektedir.



Şekil 72. Dalga hızı, yoğunluk ve boşluk oranının karşılaştırılması

Şekil 72 incelendiğinde, numuneler arasında yoğunluğun sürekli düşerken boşluk oranı azaldıkça dalga geçiş hızının arttığı, boşluk oranı yükseldikçe dalga geçiş hızının düştüğü görülmektedir ancak Çiğdemli örneğinde tam tersi bir yaklaşım görülmektedir. Burada yoğunluğun düşük ve boşluk oranının yüksek olması birbirini desteklerken dalga hızının bu uyumu desteklemediği görülmektedir.



Şekil 73. Basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 73’de karot basınç dayanımları, ultrasonik dalga hızından tahmin edilen basınç dayanımları ve donma çözünme dayanım sonuçları karşılaştırıldığında özellikle Derecik’de oldukça belirgin bir dayanım kaybı olduğu daha sonra onu Yolgören’in takip ettiği görülmektedir. Çiğdemli’ de dayanım kaybı görülmezken, Gökçeler ve Çalköy’de en az kayıp olduğu görülmektedir. kaybın görüldüğü Çalköyde, yoğunluğun diğer mahallere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ultrasonik dalga hızından elde edilen basınç dayanımları literatürde çok fazla gerçeğe yakın verileri vermediği kabul edilse de dayanım hesabında kullanılan hız verilerinin boşluk ve yoğunluk verileriyle olan ilişkisi ile yorum yapılabilir.

Bu konuda yapılan diğer çalışmalara bakıldığında;

Puyan (2003), beton yollarda oluşan gerilmeleri, çatlak oluşumlarını ve onarım yöntemlerini araştırdığı doktora çalışmasında, beton kaplamalarda görülen çatlakları genel olarak sınıflandırmış ve çatlak oluşumuna doğrudan nedenlerini derz tasarımı, karışım tasarımı, bakım şartları ve diğer şartlar olarak başlıklandırmıştır. Derz kesme zamanının çatlakların yayılmasını şeklini ve büyüklüğünü doğrudan etkilediğini belirterek bir kesme penceresi (beton plağın kesilirken dağılmaması için minimum dayanıma sahip olduğu zaman ile rötre gerilmelerinin beton dayanımına eşit olduğu zaman arası) tanımlamıştır. Derzlerle ilişkili çatlaklar derz kesim işlemine çok geç kalındığını, çatlak yönlerinin kontrolsüzce yön değiştirmesi plağın alt temel ile yüksek sürtünme ve kenetlenme etkisinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada doktora tezinde bahsedilen çatlak oluşum nedenlerinden daha çok kırsal şartların getirdiği her türlü olumsuzluk göz önünde bulundurulmaya çalışılmıştır. Hazır beton kullanılması karışım tasarımını en son plana atmıştır. Çatlak sınıflandırması ise örneklem bazında tespit edilen tipler üzerinden yapılmıştır. Derz kesimi için geç kalınmasının sonuçları ile doktora tezinde bahsedildiği şekilde karşılaşılmıştır. Derz kesim bölgelerinde çatlak oluşumları bazı mahallelerde daha fazla görülmüştür. Kuruma büzülmesi çatlakları genel olarak kaplama tabanına kadar inmektedir. Tezde önerilen çatlak onarımlarına ek olarak, temel ve oturma çatlağı sorunu olmayan ancak genel bir çatlak yayılımı olan kaplamalarda rijit kaplama üzerine esnek bir binder tabakası da tasarlanabilir.

Çelik (2014), Karadeniz Bölgesinde köy yolları için rijit ve esnek kaplamanın mekanistik ve maliyet açısından karşılaştırdığı çalışmasında, mevcut yollardan aldığı karot numune sonuçlarında C12/15 ve C8/10 beton sınıfında değerlere ulaşarak beton karışım malzemelerindeki kalitesizlik, hatalı gronölometri, karışım oranlarından bahisle hazır beton kullanılması, kaplama kalınlığının en az 20 cm ve C20/25 beton sınıfı kullanılması halinde kaplama ömrünün daha uzun olacağını öngörmüştür. Belirtilen bu

şartların sağlandığı hatta C25/30 beton sınıfı kullanılan bu çalışmada ise zemin, alt temel ve temel yetersizlikleri, beton kaplama tipi ve derz kesim aralıklarının seçiminde çevresel şartlar düşünülerek betona etkileyen esas unsurların belirleyici olması gerektiği, çatlak oluşumlarının önüne geçebilmek için ise yol güzergah çalışmalarının yapılması ve yol enkesitlerinin silindirle sıkıştırılmış beton kullanılmasına elverişli hale getirilmesinin döküm işçiliğini önemli ölçüde azaltacağından daha az çatlaklı bir beton yüzeyi elde edilmesinde oldukça önemli olduğu tespit edilmiştir.

Yağtu (2015), Rijit üst yapıların köy yollarında uygulanabilirliğini Eski Pazar örneği üzerinden araştırdığı çalışmasında, coğrafya itibarıyla özellikle donma çözünme, yoğun kar ve yağmur yağışı ve sonrasında kullanılan tuzların verdiği zararlar ile orman emvali taşınarak ağır trafik hareketlerinin olduğu çalışma alanında, ASSHTO 1993 projelendirme kriterlerini dikkate alarak 15 cm alt temel ve 16,5 cm beton kaplama kalınlığı seçmiş ve silindirle sıkıştırılmış beton kaplama tasarlamıştır. Yapılan bu çalışmada araştırma yapılan bölgelerde projelendirme çalışması yapılmış olsa idi daha az kalınlıkta plak belirlenebilir, özellikle yol güzergah genişliği uygun olan kesimlerde silindirle sıkıştırılmış beton kullanılabilirdi. Bu yüzden beton kaplama yapılacak bölgenin analiz edilerek özellikle ıslahiyeti gerekli kesimlerde en azından mutlaka alt temel ve temel çalışması yapılması gerekmektedir. Düzköy ilçesinde yapılan dökümlerde ciddi dayanım kayıplarının yaşanmaması ancak yüksek çekme gerilmeleri ve olumsuz zemin ve iklim koşullarına sahip diğer bölgelerde ciddi dayanım kayıplarının ortaya çıkması sonucu bu çalışmada da silindirle sıkıştırılmış beton kullanılması tavsiye edilmektedir.

Gürsesli (2019), fiberlerin betondaki kuruma büzülmesi ve plastik rötre çatlaklarına etkisini araştırdığı çalışmasında sentetik fiberlerin plastik rötre, çelik fiberlerin ise her iki rötreyi de azalttığını tespit etmiştir. Bu çalışmanın örneklem bölgesi olan Karadeniz coğrafyasında kırsal kesimlerde yapılan beton yol kaplamalarında, kuruma büzülmesi ve plastik çatlak oluşumlarının önüne geçilebilmesi amacıyla fiber veya çelik katkı kullanılması bir çok yerde güç olan kür ve bakım şartları için gerekli süreyi kısaltabileceğinden kullanılabilir ancak bu katkıların betona katılım süresinin de önemi unutulmamalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Trabzon ilinde rijit üst yapısı tamamlanmış ve üzerinden en az 4 yıl geçmiş köy yollarından çalışma bölgeleri belirlenerek, çeşitli deneyler yapmak üzere karot numuneler alınmış, yollarda meydana gelen çatlak ve bozulmalar incelenerek yolların dayanım durumları araştırılmıştır. Yollardan 8'er adet karot numune alınmış, yoğunluk, kapiler su emme, aşınma, donma ve çözünme, ultrasonic dalga hızı, basınç dayanım ve yarmada çekme dayanım deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonucu elde edilen veriler ve arazi çalışmalarında incelenen yüzey problemleri üzerinde hazırlanan çatlak görselleri üzerinde irdelemeler yapılarak, ortaya çıkan bulgulardan ulaşılan sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

Aradan geçen 4 ila 5 yıllık süreçte;

Basınç dayanımının üç mahallede artarak C25 tasarım basınç dayanımını korurken, 2 mahallede C20 beton sınıfına gerilemiştir. Dayanımın özellikle Yolgören ve Derecik mahallerinde oldukça fazla düşmesiyle birlikte bu mahallerin genel olarak bütün deneylerde en olumsuz sonuçları verdiği görülmüştür. Taze numunelerin iyi bir sonuç vermesine karşın dayanımın zamanla bu kadar düşmesinde oldukça fazla etkenden bahsetmek mümkündür. Bu bölgelerde, zeminin oldukça kötü durumda olması, yol drenajının iyi sağlanamamış olması bir etken olabileceği gibi, döküm sonrası kür ve bakım şartlarının da etkisi olabilmektedir. Beton karışımındaki agrega ve çimento hamurunun aderansının da zamanla oldukça düştüğü karot kırılmalarındaki agrega etrafından çimento hamurunun sıyrılması şekliyle tespit edilmiştir.

Yarmada çekme dayanımı bir mahallede artarak C25 tasarım yarmada çekme dayanımını korurken, dört mahallede gerilemiş olduğu görülmüştür. Yolgören'in yarmada çekme dayanım değeri Derecik'ten daha düşük çıkarken, basınç dayanım değerinde Derecik'in Yolgören'den daha fazla basınç dayanım kaybı yaşadığı görülmektedir. Burada en büyük etkenin diğer mahallelerden farklı olarak yol güzergahının hem sanayi yolu olarak ağır trafik yüklerine maruz kalması, hem de kırsal kesimlere göre oldukça yoğun bir trafik akışına sahip olmasıdır. Yolgören'de incelenen kuruma büzülme rötne çatlaklarının Derecik'teki çatlak yapısına göre daha geniş olduğu da hem bu durumun hemde boyune ve enine derzlerde kayma ve bağlantı demirlerinin kullanılmamış olmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Ultrasonik dalga hızı deneyinde Derecik'ten alınan dalga hızı Yolgören'den çok daha düşük çıkmıştır. En yüksek aşınma kaybı elde edilen Yolgören'de gözeneklilik Derecik'ten daha fazla çıkmaktadır. Burada kapiler su emmenin Derecik'te daha yüksek çıkması, içsel boşluk oranı fazla olan Derecik'te zamanla dayanım kaybını yükselttiğini göstermiştir. Donma çözünme deneyini sonucunda yapılan basınç dayanım deneyinde en olumsuz sonucu Derecikten alınan numunelerin vermesi bu durumu desteklemektedir.

Elastisite Modülleri TS500'e göre ortalamada bütün mahallelerde C16'nın altında kalırken, bireysel olarak bir mahallede C25, iki mahallede C20 betonunu sağlamış olduğu,

Ultrasonik dalga geçiş hızı deneyinde, dalga geçiş hızı ile boşluk oranları arasında bir mahalle dışında diğer mahallelerde boşluk oranı artışı ile hızda düşüş gözlemlendiği,

Kapiler su emme deneyinde başlangıçta en yüksek kapilarite değerine sahip numunelerin bir mahallede daha uzun bir zaman alması haricinde zamanla su emme kabiliyetlerinin değiştiği,

Kapiler su emme deneyinde başlangıçta en yüksek su emme değerine sahip numunelerin aynı zamanda aşınma kaybı yüksek numuneler olması ile birlikte yüzey gözenekliliğinin bu numunelerde fazla olduğunu gösterdiği,

Aşınma deneyinde genel olarak fazla bir kayıp görülmezken, numuneler arasında yapılan değerlendirmede en yüksek kaybın Yolgören'den elde edilirken, en düşük kaybın Çiğdemli'den elde edildiği,

Donma çözünme dayanımı en düşük numunelerin su emme kabiliyeti en yüksek numuneler olarak göze çarptığı görülmektedir.

Bütün çatlak tiplerinin oldukça fazla sıklıkta görüldüğü Gökçeler'de çatlak tiplerinin yaygın olması basınç dayanımına etki etmemiştir ancak aşınma kaybının değeri diğer numunelere göre göz ardı edilmemelidir. Çatlak yoğunluğu beton yüzeyini tahriş ederek aşınma kaybına neden olmuş olabilir.

Derecik ve Yolgören'de yol en kesitinin geniş olması sonucu boyuna derz kullanılmış olduğundan yol iki taraflı tam kalıp kullanılarak dökülmüş ve nihayetinde kalınlık yetersizliğinden kaynaklı Tip-5 çatlak tipi görülmemiştir.

En yüksek gözenek hacminin tespit edildiği Çiğdemli'de kuru yoğunluğun da düşük seyrettiği görülmüştür. Kuruma rötre çatlaklarının sürekli ve en yoğun olduğu 1. mahalle Çiğdemli'dir. Öyle ki dikkate değer çatlak tipi olarak sadece Tip-1 ve Tip-2 çatlak tipleriyle sınıflandırılmıştır. Ancak Yolgören ve Derecik'teki kuruma büzülmesi çatlaklarına göre çatlaklar mevcut derz genişliğinden daha dar ve çatlak ağız kenarları

daha az parçalanmıştır. Aşınma deneyinde de en az kaybın Çiğdemli’de ölçülmesi bu durumu desteklemektedir.

Yoğunluk tayini deneyinde yüksek değerlerin alındığı, kapiler su emme, gözeneklilik ve boşluk oranında en düşük hesaplananın yine Gökçeler’den alınan numunelerden elde edildiği görülmektedir.

Donma ve çözünme deneyinde de yine en iyi dayanımı veren ikinci mahalle olan Gökçeler aşınma deneyinde en fazla kayıp veren ikinci mahalle olarak öne çıkmaktadır. Gökçelerde dikkate değer oranda termal büzülme de görülmesi diğer mahallere göre priz öncesi ve sonrası nem kaybı ile ortam sıcaklığında değişim görülmüş olabileceğini göstermektedir.

Elde edilen bulgular, sonuçlar ve değerlendirmelere bakıldığında genel olarak;

Zemin ıslah, temel veya alttemel ve drenaj yetersizliğinin beton kaplama basınç dayanımını Derecik örneğinde görüldüğü gibi düşürdüğünden zemin çalışmalarının mutlaka yapılması gerektiği,

Beton yol tipi belirlenirken ağır ve yoğun trafik etkisine maruz yollarda çekme etkisiyle ortaya çıkacak dayanım kayıpları ve sürüş konforunu etkileyecek derz aralıklarının giderek açılmasına Yolgören ve Derecik örneğinde olduğu gibi sebep olduğundan donatılı tip kaplamalardan tercih edilmesi konusunda yolun maruz kalacağı esaslı unsurun belirlenerek kaplama tipi seçimi yapılması gerektiği,

Ağır ve yoğun trafik etkisine maruz kalan beton kaplamalarda derz yapımında mutlaka bağlantı ve kayma çubuklarının kullanılması gerektiği,

Bütün mahallerde tespit edildiği gibi yetersiz ve zamanında yapılmayan derz kesimlerinin kuruma büzülmesi çatlaklarına sebep olduğundan derz aralık mesafesi seçiminin yolun maruz kalacağı esaslı unsurun belirlenerek seçilmesi gerektiği,

Zemin suyuna sürekli maruz kalan beton kaplamaların zamanla fiziksel özelliklerinde olumsuzlukların ortaya çıktığı ve Derecik örneğinde görüldüğü gibi donma çözünme dayanımına olumsuz etkisinden dolayı, suyla teması kesecek bir temel veya alttemel tabakasının mutlaka yapılması gerektiği,

Uniform olmayan zemin üzerine yapılan özellikle donatısız beton kaplamalarda ortaya çıkan yorulmaların oturma çatlaklarının oluşumuna zemin hazırladığından uniform bir zemin hazırlanmadan beton kaplamanın yapılmaması gerektiği,

Kaplama yüzeylerindeki çatlak oluşumlarının önüne geçebilmek konusunda, kırsal kesimlerde taze haldeki kaplama yüzeyinin bakım ve kür şartlarının uygulama zorluğunun önüne geçebilmek oldukça zor olduğundan, yol güzergah çalışmalarının mutlaka yapılarak hendeklerin düzenlenmesi ve yol enkesitlerinin optimum bir genişlikte

belirlenerek silindirle sıkıştırılmış beton kullanılmasına elverişli hale getirilmesi betonun dökümü, yüzey bakımı ve kür işçiliğini önemli ölçüde azaltacağından daha az çatlaklı bir beton yüzeyi elde edilmesi açısından ilerleyen zamamlarda değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Arazide yapılan gözlemler neticesinde genel olarak;

Mahallelerde yol genişliğinin sürekli değişmesi, daha geniş olan bazı kısımlarda boyuna kuruma büzülmesi çatlaklarına sebep olduğu, yol zeminleri genel olarak oturmuş sürekli kullanılan sert zeminler olsa da, yer yer bozuk kısımların varlığının ve arada koruyucu bir temel tabakasının bulunmayışının, betonun alt kısımdan sürekli zarar görmesine sebep olduğu, ve beton kaplamasının alt ve üst genleşme şartlarını etkilediği, bu etkenin bir çok kısımlarda kuruma büzülmesi olarak kendini gösterdiği, tüm mahallerde kuruma büzülmesi çatlağının kaplama derinliğince tamamen zemine inmesinde, uzun derz kesim aralıklarının önemli bir etken olduğu, kırsal yollarda yol darlığının da önemli bir etken olarak ortaya çıkmasıyla birlikte drenaj hendeklerinin varlığını kısıtladığı ve yağmur sularının sürekli betonla ilişkili olmasının, özellikle gözenekli betonlarda çatlakların büyümesine sebep olduğu, Yolgören’de yol güzergahının, trafiği oldukça yoğun ve sanayinin kullandığı bir yol olmasından ve alternatif bir yolu olmamasından hızlı bir şekilde trafiğe açıldığı, ilk yaşlarda yoğun ve ağır trafiğe maruz kaldığı söylenebilir. Ayrıca ağır trafik yüklerinin etkisinin çatlak genişliklerini kayde değer ölçüde artırdığı görülmektedir. Derecik’te suya doymuş zeminle sürekli ilişkili olan betonun donma çözünme etkilerinin olumsuz etkisinden oldukça fazla zarar gördüğü, kuruma büzülmesi çatlaklarının her mahallede ortaya çıkmasının en önemli nedeninin derz kesim aralığının yetersiz olması olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalar, beton yol kaplamalarında yeterli kür ve bakım koşullarının uygulanmamasının dayanımları azalttığını, beton kalınlık ve platform genişliğine göre uygun derz kesim aralıklarının belirlenmemesinin enine yönde yeni çatlaklara neden olduğunu, beton dayanımı yüksek dahi olsa ağır taşıt trafiğine maruz kalan bölgelerde inşaat sonrası meydana gelen çatlakların artabileceğini, iklim koşulları ve betonun döküm zamanının çatlak gelişimi ve dayanım kaybı açısından önem arz ettiğini, donatısız beton yol kaplamalarının inşasında alttemel ve temel tabakalarının kullanımının betondaki çatlak gelişimi ve dayanım kaybı açısından önemli olduğunu, betondaki boşluk miktarı arttıkça dayanım kaybının hızlandığını göstermektedir.

Beton kaplamalı yolların kullanım ömrü dikkate alındığında bu tez kapsamında yapılan çalışmaların on yıllık periyotlarla tekrarlanabileceği, bu sayede zaman içerisinde

değişen dayanım koşullarının kabul edilebilir minimum seviyesinin belirlenebileceği düşünülmektedir. Beton yol yapımı ihalelerine çıkacak kamu kurumlarının, kür koşullarını, alttemel/temel tabakası gereksinimlerini, kaplama genişliği boyunca sabit kalınlık değerini, kaplama kalınlığına ve platform genişliğine göre derz kesim aralıklarını daraltarak teknik şartnamelerinde ısrarla uygulaması gerektiği düşünülmektedir.



KAYNAKÇA

- Abdullah, A. A. (2018). *Investigation of concrete slab crack when placed directly on clay, Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.*
- Anonim, (2024). Beton Yol İnşaat Ekipmanları, 15 Şubat 2024 tarihinde <https://tr.zjarpaving.com/concrete-paving-equipment/concrete-road-construction-equipment.html> adresinden erişildi.
- Anık, E. M. (2022). *Geri yayımlı birlikte evrim ile iyileştirilmiş derin sinir ağları kullanılarak yol çatlak tespiti, Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.*
- Arioğlu, E. (1996). Betonun çekme ve basınç dayanımı arasındaki ilişki, Tartışma, *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 4, 1059-1062.
- Aydın, F. ve Oral, M. (2018). Türkiye’de karayolu ulaşımının tarihsel gelişimi, *Journal Of Awareness*, 3(Özel), 257-266
- Bilir, T. (2010). *Harçlarda endüstriyel yan ürün veya atıkların ince agrega olarak kuruma rötresi çatlaklarına etkisi, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.*
- Çelik, M. (2014). *Karadeniz Bölgesi köy yolları için rijit ve esnek kaplamanın mekanistik ve maliyet açısından karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.*
- Çetin, B., Barış, S. ve Saroğlu, S. (2011). Türkiye’de karayollarının gelişimine tarihsel bir bakış, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 123-150.
- Çopuroğlu, O. (2011). *Yüksek fırın cürufunca zengin betonlarda buzlanma-tuz pullanması dayanıklılığını artırmaya yönelik sodyum monoflorofosfat uygulaması: vaterit ve aragonit Stabilizasyonu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 8. Ulusal Beton Kongresi, Maya Basın Yayın, (257-266), 05-07 Ekim, İzmir.
- ÇSB, (2024). Köy yollarına ilişkin resmi istatistikler, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yerel Yönetimler Genel Müdürlüğü, 02 Ocak 2025 tarihinde <https://yerelyonetimler.csb.gov.tr/resmi-istatistik-i-88465> adresinden erişildi.
- Demirel, C. (2008). *Sertleşen betonda çatlak riskinin simülasyonu, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.*
- Ekinci, C. E. (2022). Betonda rötire: Genel bir bakış, *Technological Applied Sciences*, 17(1) 1-38. <http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2022.17.1.2A0186>
- Erdoğan, T. Y. (2010). *Beton*, ODTÜ yayıncılık, 3. Baskı, Mart 2010, Ankara, 745s.

- Gödek, E., Keskinates, M., Felekoğlu, B. ve Tosun Felekoğlu, K. (2016). Çimento esaslı lifli kompozitlerde su/çimento oranı ve mineral katkı türünün çoklu çatlak davranışına etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18(54), 440-454, DOI Numarası (DOI Number): 10.21205/deufmd.2016185412.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Karaoğlu, S. ve Mermerdaş, K. (2011). *Silis dumanı ve metakaolinin betonun gaz geçirimsizliği ve kısıtlanmış rötresine etkileri*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 8. Ulusal Beton Kongresi, Maya Basın Yayın, (55-66), 05-07 Ekim, İzmir.
- Gürsesli, Y. S. (2019). *Farklı fiberlerin betonun kuruma büzülmesi davranışına ve betonda plastik rötre sonucu oluşan çatlaklara etkisi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- TMMOB, (2011). İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul ve İzmir Şubesi, 8. *Ulusal Beton Kongresi*, Maya Basın Yayın, Ekim 2011, İstanbul, 641s.
- Kalkan, H. (2021). Kral yolu, Sosyal Bilimler Ansiklopedisi (Cilt. 2 F-K), 14.10.2024 tarihinde https://ansiklopedi.tubitak.gov.tr/ansiklopedi/kral_yolu adresinden erişildi.
- Karataş, M., Türk, K. ve Gönen, T. (2011). *Silis dumanı miktarının kendiliğinden yerleşen betonun kılcal su emme ve karbonatlaşma özelliklerine etkisi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 8. Ulusal Beton Kongresi, Maya Basın Yayın, (31-41), 05-07 Ekim, İzmir.
- Kaşak, S., Komut, M. ve Altıok, Ş. (2019). Ülkemiz karayolları için beton yol projelendirme rehberi çalışmaları ve beton sınıfına bağlı beton plak kalınlıkları, 1. Beton Yollar Kongresi ve Sergisi, 13-14 Kasım 2019, Ankara.
- KGM, (2016). Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi, Aralık 2016, Ankara.
- KGM, (2023). Karayolları Genel Müdürlüğü, Uluslar Arası Karayolu Güzergahları, 25 Kasım 2023 tarihinde <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/GlobalProjeler.aspx> adresinden erişildi.
- KGM, (2024). Karayolları Genel Müdürlüğü, Uluslar Arası Karayolu Güzergahları, 30 Mayıs 2024 tarihinde <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/Tarihce.aspx> adresinden erişildi.
- Muturi, T. W. (2023). *Rigid pavement crack detection utilizing generative adversarial networks*, Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Özenç, K. (2009). *Finite element simulation of crack propagation for steel fiber reinforced concrete*, Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

- Özgül, C. (2007). *Taze betonda oluşan farklı oturma çatlaklarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.*
- Özkul, M. H., Uçar, S., Şaşmaz, Ç. ve Yanpınar, H. (2011). Türkiye’ de hazır betonda kalite denetimleri, Hazır beton kongresi, Kasım- Aralık 2011, *Türkiye Hazır Beton Dergisi*, 18(108), 77-84.
- Pehlivan, O., Akca A. H., Zihnioğlu N. Ö., Söylev T. A. ve Özturan T. (2011). *Donatı korozyonu için verilensınır değerlerin yalın ve çelik lifli betonlarda çatlak oluşumu açısından değerlendirilmesi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 8. Ulusal Beton Kongresi, Maya Basın Yayın, (257-266), 05-07 Ekim, İzmir.
- Puyan, M. S. (2003). *Beton yollarda çatlak denetimi, Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.*
- Sağlık, A. ve Güngör, A. G. (2008). *Karayolları Esnek Üst Yapılar Projelendirme Rehberi*, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sevim, C. (2010). *Eğilmeye çalışan plak elemanlarda basınç bölgesinde oluşan çatlakların eleman taşıma gücü üzerine etkisinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.*
- Şahin, F. G., (2024). Hidratasyon Süreçleri Nedir? Hidratasyon Aşamalarına Göre dayanıklı Beton Nasıl Sağlanır? 25 Nisan 2024 tarihinde <https://cimsa.com.tr/formulhane/gri-cimento/hidratasyon-surecleri-nedir-hidratasyon-asamalarina-gore-dayanikli-beton-nasil-saglanir/> adresinden erişildi.
- Şahin, F. G., (2024). Hidratasyon Süreçleri Nedir? Hidratasyon Aşamalarına Göre dayanıklı Beton Nasıl Sağlanır? 30 Nisan 2024 tarihinde <https://cimsa.com.tr/formulhane/gri-cimento/rotre-nedir-betonda-rotre-catlagi-nasil-olusur/> 2024 yılında adresinden erişildi.
- Şahmaran, M., Yücel, H. E., Özbay, E. ve Erdem, T. H. (2011). *Uçucu Kül Kullanım Oranının Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 8. Ulusal Beton Kongresi, Maya Basın Yayın, (277-287), 05-07 Ekim, İzmir.
- Şimşek, O. (2004). *Beton ve beton teknolojisi*, Seçkin yayıncılık (3. Baskı), Haziran 2009, Ankara., 259s.
- Taylor, P. C., Kosmatka S H., Voigt, G. F., Ayers, M. E., Davis, A., Fick, G. J. ... Waalkes S. (2006). *Beton yollar için bütünlük malzeme ve yapım uygulamaları: modern uygulamalar el kitabı*, FHWA Yayın, 2. Baskı, Ekim 2017, Iowa Eyalet Üniversitesi, ABD, 323s.

- Tekin, İ., Bolat, H., Çullu, M. ve Subaşı, S. (2011). Çimentolu Sistemlerde Porozite Analizi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 31-39. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yted/issue/22209/238464> adresinden erişildi.
- THBB, (2003). Beton yollar, Türkiye Hazır Beton Birliği Beton Yollar Çalışma Grubu *Türkiye mühendislik haberleri* (427 – 48/2003/5)
- THBB, (2022). Beton Çatlaklarının Değerlendirilmesi Ve Sorunların Giderilmesi, 01.01.2024 tarihinde https://www.thbb.org/media/584874/hazir_beton_dergisi_inovasyon_170.pdf adresinden erişildi. Mart-Nisan 2011, *Türkiye Hazır Beton Dergisi*, 170, 77-84.
- THBB, (2024). Neden beton yollar, 11 Nisan 2024 tarihinde <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-yollar/>. adresinden erişildi.
- Tunç, A. (2001). *Yol Malzemeleri (Agrega, Asfalt, Bitümlü Karışımlar, Beton, Zemin) ve Uygulamaları (Kaplama ve Zemin Islahı-Dizayn ve Yapım Metotları)*, Atlas Yayın Dağıtım, 1. Baskı, Temmuz 2001, Ankara, 835s.
- Türkhan, M. S. (2021). Baharat yolu, Sosyal Bilimler Ansiklopedisi. (Cilt. 2 A-E), Tubitak Bilim Yayınları, Ankara, 14.10.2024 tarihinde https://ansiklopedi.tubitak.gov.tr/ansiklopedi/baharat_yolu adresinden erişildi.
- Topaloğlu, M. (2022). *Atık pet ve lif katkılarının betonun mekanik özellikleri ile çatlak oluşumu üzerine etkisinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman.*
- Tutan, S. N. ve Komut, M. (2020). Sathi Kaplama Dizayn Rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ulukaya, S. (2008). *Kendiliğinden yerleşen betonlarda rötre ve rötre çatlaklarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.*
- Uçar, S. ve Özbora Tarhan A. (2018). Geçirimli Beton Uygulama Kılavuzu, Türkiye Hazır Beton Birliği, Mayıs- Haziran 2018, https://www.thbb.org/media/281170/gecirimli_beton_uygulama_k%C4%B1lavuzu_147.pdf adresinden erişildi. *Türkiye Hazır Beton Dergisi*, 147, 57-72.
- URL-1, Betonda Oluşan Sıkıntılar, Web site: 01.08.2024 tarihinde <https://insaathesabi.com/sozluk/kelime/betonda-olusan-sikintilar/>adresinden erişildi.
- URL-2, Betonda Hasar Etkenleri ve Betonun Yüzey Kusurları Nelerdir, Web site: 01.08.2024 tarihinde <https://santiyede.com/betonda-hasar-etkenleri-ve-yuzey-kusurlari-nelerdir/> adresinden erişildi.

- Ünsal, A. ve Şen, H. (2008). Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri, Eylül 2008, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yağtu, İ. (2019). *Rijit üstyapıların köy yollarında uygulanabilirliği: Eskipazar örneği, Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.*
- Yazıcı, H. Özel betonlar (PDF belgesi). Web site: 06 Mart 2024 tarihinde <http://halityazici-deu.com/>. adresinden erişildi.
- Yerlikaya, M. (2011). *Çelik tel donatılı beton yollar*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 8. Ulusal Beton Kongresi, Maya Basın Yayın, (436-445), 05-07 Ekim, İzmir.
- Yeğinobalı, A. (2010). Türkiye'nin İlk Beton Yolları, TÇMB/Ar-Ge/Y 09.02, 2. Baskı, Ağustos 2010, Ankara.
- Yıldırım, H. Betonarme yapılarda karşılaşılan çatlaklar, oluşma nedenleri ve onarılması, betonarme yapılarda karşılaşılan çatlaklar, oluşma nedenleri ve onarılması, (PDF belgesi), Seminer Notları, 20.10.2024 tarihinde <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-nisan-2017/hasan-yildirim/notlar.pdf> adresinden erişildi.
- Yıldırım, M. (2022). Ortaçağ'da ticaret (yollar, şehirler ve ürünler) hakkında bir değerlendirme (Bizans-Avrupa-İslam dünyası), *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 192-201
- Yılmaz, E. (2017). İpekyolu hakkında kısa bir değerlendirme, *Şarkiyat İlmi Araştırma Dergisi*, 9(2), 672-683
- Yücel, H. E. (2013). *Design of crack-free, durable and ductile concrete for sustainable highway rigid pavement overlays*, Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.
- Zebari, Z., Bedirhanoğlu, İ. ve Aydın E. (2017). Beton Basınç Dayanımının Ultrasonik Ses Dalgası Yayılma Hızı İle Tahmin Edilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 43-52.

ÖZGEÇMİŞ

Fatma LERMİÖĞLU ilk öğrenimini Namık Kemal İlkokulu'nda gördü. Daha sonra orta öğrenimini Zehra Kitapçioğlu Ortaokulu, Lise öğrenimini ise Affan Kitapçioğlu Lisesinde yabancı dil ağırlıklı olarak bitirdi. Lisans Öğrenimine 2003 yılında Nevşehir Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladıktan sonra 2005 yılında Balıkesir Üniversitesi'ne yatay geçiş yapmış ve 2007 yılında da üniversiteden mezun olmuştur. 2008 yılında Erol Mimarlık'ta iş hayatına atılmış, 2011 yılında bir süre Çoruh EDAŞ'ta çalıştıktan sonra aynı yıl Gümüşhane İl Özel İdaresi'ne mühendis olarak atanmış ve memuriyet hayatına başlamıştır. Şu an da Trabzon Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığında mühendis olarak görevine devam etmektedir.