

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOL KAPLAMALARINDA
ZAMANA BAĞLI BASINÇ MUKAVEMETİ GELİŞİMİNİN TAHRİBATSIZ
ULTRASONİK YÖNTEM YARDIMIYLA ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert Can ÖZTÜRK

OCAK 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOL KAPLAMALARINDA
ZAMANA BAĞLI BASINÇ MUKAVEMETİ GELİŞİMİNİN TAHRİBATSIZ
ULTRASONİK YÖNTEM YARDIMIYLA ARAŞTIRILMASI**

Mert Can ÖZTÜRK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 / 12 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 08 / 01 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Kaplamalarında Zamana Bağlı Basınç Mukavemeti Gelişiminin Tahribatsız Ultrasonik Yöntem Yardımıyla Araştırılması” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR’a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararında arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Nuray ÖZTÜRK ve babam Necati Can ÖZTÜRK’e, kardeşim Özgü Nur ÖZTÜRK ve sevgili eşim Merve KASIM ÖZTÜRK’e teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Mert Can ÖZTÜRK

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Kaplamalarında Zamana Bağlı Basınç Mukavemeti Gelişiminin Tahribatsız Ultrasonik Yöntem Yardımıyla Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Muhammed Vefa AKPINAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/01/2024

Mert Can ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kaplamalar	2
1.2.1. Tanımı	2
1.2.2. Tarihçesi	3
1.2.3. Uygulama Alanları	5
1.2.4. Karakteristik Özellikleri	6
1.2.5. Avantajları ve Dezavantajları	10
1.3. Tahribatsız Yöntemler	12
1.3.1. Penetrasyon Direnci Yöntemi	14
1.3.2. Rezonant Frekans Yöntemi	15
1.3.3. Pull-Out (Çekme) Yöntemi	15
1.3.4. Pull-Off (Çıkarma) Yöntemi	16
1.3.5. Break-Off (Kırılma) Yöntemi	16
1.3.6. Geçirgenlik Testleri	16
1.3.7. Maturity Yöntemi	17
1.3.8. Schmidt Çekici (Test Çekici) Yöntemi	18
1.3.9. Impact-Echo (Etki-Yankı) Yöntemi	18
1.3.10. Ultrasonic Velocity (Ultrasonik Dalga Hızı-UPV) Yöntemi	18
1.4. Beton Basınç Dayanımı	24
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	29
2.1. Yöntem ve Materyal	29
2.2. Yapılan Saha Çalışmaları	29

2.3. Basınç Dayanımı Verilerinin Elde Edilmesi.....	36
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	42
3.1. Derz 5 ile Derz 6 Arası Beton Basınç Dayanımı Değerleri.....	42
3.1.1. Derz 5 ile Derz 6 Arası Sol Şerit	43
3.1.2. Derz 5 ile Derz 6 Arası Sağ Şerit	45
3.2. Derz 7 ile Derz 8 Arası Beton Basınç Dayanımı Değerleri.....	48
3.2.1. Derz 7 ile Derz 8 Arası Sol Şerit	49
3.2.2. Derz 7 ile Derz 8 Arası Sağ Şerit	51
3.3. Derz 9 ile Derz 10 Arası Beton Basınç Dayanımı Değerleri.....	54
3.3.1. Derz 9 ile Derz 10 Arası Sol Şerit	55
3.3.2. Derz 9 ile Derz 10 Arası Sağ Şerit	58
3.4. Derz 11 ile Derz 12 Arası Beton Basınç Dayanımı Değerleri.....	61
3.4.1. Derz 11 ile Derz 12 Arası Sol Şerit	62
3.4.2. Derz 11 ile Derz 12 Arası Sağ Şerit	65
4. SONUÇLAR	68
5. ÖNERİLER	70
6. KAYNAKLAR	71
7. EKLER.....	77

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOL KAPLAMALARINDA ZAMANA BAĞLI BASINÇ MUKAVEMETİ GELİŞİMİNİN TAHRİBATSIZ ULTRASONİK YÖNTEM YARDIMIYLA ARAŞTIRILMASI

Mert Can ÖZTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2023, 76 Sayfa, 16 Sayfa Ek

Bu tez kapsamında Gümüşhane ilinde yapılan silindirle sıkıştırılmış beton yol inşaatında sahadan direkt beton basınç dayanımı verileri alınmıştır. Basınç dayanımı verilerinin elde edilmesinde tahribatsız ultrasonik dalga hızı deneyi tercih edilmiştir. Yapılan basınç dayanımı ölçümleri için çalışma sahasında 4 farklı bölge belirlenmiştir. Belirlenen her bölge için 5 farklı tarihte ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, kaplama bölgelerinde boyuna derz yakını ve kaplama ortası olmak üzere iki ayrı kısımda incelenmiştir. Elde edilen verilere ait zamana bağlı basınç dayanımı grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafikler ışığında trafiğe açılması süreleri hesaplanmıştır. Yeterli kaliteye sahip kaplama bölgeleri daha erken trafiğe açılma süreleri sunmuşlardır. Ayrıca bu kısımlarda derz yakınından ve kaplama ortasından alınan basınç dayanımı verileri arasında belirgin farklar gözlenmiştir. Ancak yeterli kalitenin sağlanamadığı kaplama bölgelerinde derz yakını ve kaplama ortası basınç dayanımı verileri benzerlik göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton yol, Basınç mukavemeti, Ultrasonik dalga hızı deneyi, Trafiğe açılma süresi

MSc. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF TIME-DEPENDENT COMPRESSIVE STRENGTH DEVELOPMENT IN ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS USING NON- DESTRUCTIVE ULTRASONIC METHOD

Mert Can ÖZTÜRK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2023, 76 Pages, 16 Pages Appendix

Within the scope of this thesis, concrete compressive strength data were taken directly from the site of roller compacted concrete road construction in Gümüşhane province. Non-destructive ultrasonic wave velocity test was preferred in obtaining compressive strength data. For the compressive strength measurements, 4 different areas were determined in the work site. Measurements were carried out on 5 different dates for each area. The measurements were analysed in two separate sections: near the longitudinal joint and in the middle of the pavement. Time-dependent compressive strength graphs of the obtained data were drawn. In the light of the graphs drawn, the traffic opening times were calculated. Pavement areas of sufficient quality offered earlier opening times to traffic. In addition, significant differences were observed between the compressive strength data taken from near the joint and from the centre of the pavement in these sections. However, the compressive strength data near the joint and in the centre of the pavement were similar in the pavement areas where sufficient quality was not achieved.

Key Words: Roller compacted concrete road, Compressive strength, Ultrasonic pulse velocity test, Traffic opening time

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. SSB üretim ve uygulama prosedürü.....	2
Şekil 2. SSB yol saha uygulaması ve kullanılan iş makineleri (Engineers, 2000).....	3
Şekil 3. SSB saha uygulaması için örnek bir çalışma (Harrington vd., 2010).....	3
Şekil 4. ABD’de SSB yol kullanım miktarı (1983-2007 arası) (Piggott, 1999)	4
Şekil 5. SSB yol uygulaması olan illerimiz (TMÇB, 2018).....	4
Şekil 6. Conley konteyner terminalindeki (ABD) 17 yaşındaki SSB yol kaplaması	5
Şekil 7. ABD’de SSB yolların kullanım alanlarına göre dağılımı (Pittman, 2012)	6
Şekil 8. Geleneksel beton ve SSB’ye ait tipik karışım bileşenleri (Pittman, 2012)	7
Şekil 9. SSB için önerilen birleşik agrega sınıflandırması (Harrington vd., 2010).....	9
Şekil 10. SSB kaplama kenar bölgesinde iyi sıkıştırma yapılamaması sonucu meydana gelen deformasyon.....	11
Şekil 11. SSB yüzey pürüzlülüğünün diğer kaplama türleriyle karşılaştırılması (Harrington vd., 2010)	11
Şekil 12. Geleneksel NDT yöntemlerin sınıflandırılması (Aastroem, 2008).....	12
Şekil 13. Prob penetrasyonu uygulaması ve beton malzeme (Malhotra & Carino, 2003)	14
Şekil 14. Pull-Out yöntemi şematik gösterimi (Chu & Kwan, 2018)	15
Şekil 15. Standart Pull-Off yönteminin şematik gösterimi (Yang vd., 2020).....	16
Şekil 16. Sıcaklık ve zamana bağlı dayanım ve maturity (olgunluk) ilişkisi (Nixon vd., 2008)	17
Şekil 17. Schmidt çekicinin çalışma mekanizması (Gerlesh vd., 2021)	18
Şekil 18. Ultrasonik ölçüm sürecinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 19. Ölçüm yöntemleri ve ilgili prob düzenleri	19
Şekil 20. Dalga hızına bağlı olarak basınç dayanımı değerleri (Uyanık, 2012).....	21
Şekil 21. C30 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)	24
Şekil 22. C25 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)	25
Şekil 23. Tahribatsız yöntemle basınç dayanımı gelişimi üzerine bir çalışma örneği (Kosar vd., 2023)	26

Şekil 24.	Bir çalışmaya ait karşılaştırmalı beton yaşına bağlı basınç dayanımı grafiği (Kuru,2023)	27
Şekil 25.	C30 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)	27
Şekil 26.	C25 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)	28
Şekil 27.	Finişer ile beton malzemenin serilmesi.....	30
Şekil 28.	SSB inşaatı öncesi ve sonrası.....	31
Şekil 29.	İnşaat sonrası yolun taşıt trafiğine açılması	31
Şekil 30.	Çalışma yapılan bölgeye ait plan görüntüsü ve seçilen enine derz bölgeleri	33
Şekil 31.	Çalışma yapılan sahanın Google haritalardaki plan görüntüsü.....	34
Şekil 32.	Sırasıyla düşük kalite ve yüksek kaliteye sahip kaplama yüzeyleri.....	34
Şekil 33.	Kaplama bölgelerinde uygulanmış şematik ölçüm düzeni	35
Şekil 34.	Pundit PL-200PE cihazıyla basınç dayanımı verilerinin elde edilmesine ilişkin prosedür.....	36
Şekil 35.	Problar arası iletilen dalgalar için örnek veri grafiği	37
Şekil 36.	Çalışmalarda kullanılan DPC porblarına ait görsel.....	37
Şekil 37.	Ölçüm öncesinde temizlenmiş ve prob temas yüzeyleri jel ile kaplanmış temas noktaları	38
Şekil 38.	Prob yerleşim düzenleri	39
Şekil 39.	Boyuna derz üzerinde ölçüm alınması	40
Şekil 40.	Boyuna derz üzerinde problemlerin yerleşimi	40
Şekil 41.	Çalışma sahasında boyuna derz yakını ölçümlerinin yapılması	40
Şekil 42.	Çalışma sahasında kaplama ortasından basınç dayanım ölçümlerinin alınması	41
Şekil 43.	Elde edilen verilerin çalışma sahasında incelenmesi	41
Şekil 44.	Derz 5 ile Derz 6 arası bölgeye ait ölçüm düzeni	42
Şekil 45.	Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	44
Şekil 46.	Derz 5 ile Derz 6 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	47
Şekil 47.	Derz 7 ile Derz 8 Arası bölgeye ait ölçüm düzeni	48
Şekil 48.	Derz 7 ile Derz 8 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	50
Şekil 49.	Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	53
Şekil 50.	Derz 9 ile Derz 10 arası bölgeye ait ölçüm düzeni	55

Şekil 51.	Derz 9 ile Derz 10 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	57
Şekil 52.	Derz 9 ile Derz 10 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	60
Şekil 53.	Derz 11 ile Derz 12 arası bölgeye ait ölçüm düzeni	62
Şekil 54.	Derz 11 ile Derz 12 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	64
Şekil 55.	Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği	66



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bir saha uygulamasına ait SSB malzeme içeriği (Yazıcı, 2008)	7
Tablo 2. SSB malzemede önerilen iri agrega gradasyon limitleri (Engineers, 2000)	8
Tablo 3. SSB malzemede önerilen ince agrega gradasyon limitleri (Engineers, 2000)	8
Tablo 4. Ultrasonik hız ve beton kalitesi (IS 13311–1, 1992)	20
Tablo 5. Farklı araştırmacılara ait üssel ve eksponansiyel ilişkilerin katsayıları (Uyanık, 2012)	21
Tablo 6. Donatıların dalga iletim eksenine dik bir hat boyunca olması durumunda çelik güçlendirmenin etkileri (Carino & Malhotra, 2004)	23
Tablo 7. Donatıların dalga iletim eksenine paralel bir hat boyunca olması durumunda çelik güçlendirmenin etkileri (Carino & Malhotra, 2004)	23
Tablo 8. Yapı türüne göre tasarımda genellikle tercih edilen beton basınç dayanım değeri (Neville, 2015).	25
Tablo 9. Arazide kullanılan SSB karışım dizaynı	29
Tablo 10. Ölçüm yapılan tarihlere ait hava ve kaplama yüzey sıcaklığı değeri	39
Tablo 11. Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları.....	43
Tablo 12. Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	43
Tablo 13. Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	44
Tablo 14. Derz 5 ile Derz 6 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları.....	46
Tablo 15. Derz 5 ile Derz 6 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	46
Tablo 16. Derz 5 ve Derz 6 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	47
Tablo 17. Derz 7 ile Derz 8 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları.....	49
Tablo 18. Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	49
Tablo 19. Derz 7 ve Derz 8 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	50
Tablo 20. Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları.....	52

Tablo 21.	Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	52
Tablo 22.	Derz 7 ve Derz 8 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	53
Tablo 23.	Derz 9 ile Derz 10 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları	56
Tablo 24.	Derz 9 ile Derz 10 arası sol şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	56
Tablo 25.	Derz 9 ve Derz 10 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	57
Tablo 26.	Derz 9 ile Derz 10 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları	59
Tablo 27.	Derz 9 ile Derz 10 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	59
Tablo 28.	Derz 9 ve Derz 10 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	60
Tablo 29.	Derz 11 ile Derz 12 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları	63
Tablo 30.	Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	63
Tablo 31.	Derz 11 ve Derz 12 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	64
Tablo 32.	Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları	65
Tablo 33.	Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları	66
Tablo 34.	Derz 11 ve Derz 12 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi	67

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V_c/V	: Betonun titreşim hızı/ Betonarme elemanın ölçülmüş hızı
V_p	: Basınç dalga hızı
V	: Puls (dalga) hızı
f_c	: Beton basınç dayanımı
μm	: Micrometre
μs	: Microsaniye
m^3	: Metreküp
$^\circ$	: Derece
$^\circ C$	: Celcius
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI	: American Concrete Institute
ACPA	: The American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Material
Cm	: santimetre
CŞB	: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
Dk	: Dakika
DPC	: Dry point contact probe (kuru nokta temas probu)
FHWA	: The Federal Highway Administration
Kg	: kilogram
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
Khz	: Kilohertz
Km/sa	: Kilometre/saat
L	: Mesafe
m	: metre
mm	: milimetre
MPa	: Megapascal
NDT	: Nondestructive Testing (Tahribatsız Testler)
SSB	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton
T	: İletim süresi
UPV	: Ultrasonic Pulse Velocity (Ultrasonik Dalga Hızı)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Silindirle sıkıştırılmış beton yollar yaklaşık son 10 yıldır belediyeler, il özel idareleri ve diğer kurumlarımız tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Tercih edilmesinde ekonomik olması, dayanım ve dayanıklılık hususlarında fazlasıyla başarılı sonuçlar vermesi en önemli etkenlerdir. Dolayısıyla; köy yolları, şehir içi arterler ve endüstriyel alanlarda silindirle sıkıştırılmış beton yol uygulamaları pratik çözümler olarak ön plana çıkmıştır. Ancak birçok yabancı ülkenin silindirle sıkıştırılmış beton yollar için kapsamlı yönetmelikleri, teknik raporları (ACI, AASHTO, ACPA, FHWA) bulunmasına rağmen ülkemizde bu husustaki çalışmalar kısıtlı düzeydedir. Yönetmeliklerimizde (KGM, ÇŞB) silindirle sıkıştırılmış beton yollar için önemli boşluklar bulunmak ile beraber sadece malzeme özelliklerine yönelik kısa bilgiler yer almaktadır. Silindirle sıkıştırılmış beton yolun derz bölgelerinde çatlakların oluşma mekanizmaları, yapılan yolun trafiğe açılma kriterleri gibi hususlarda bilgiler bulunmamaktadır.

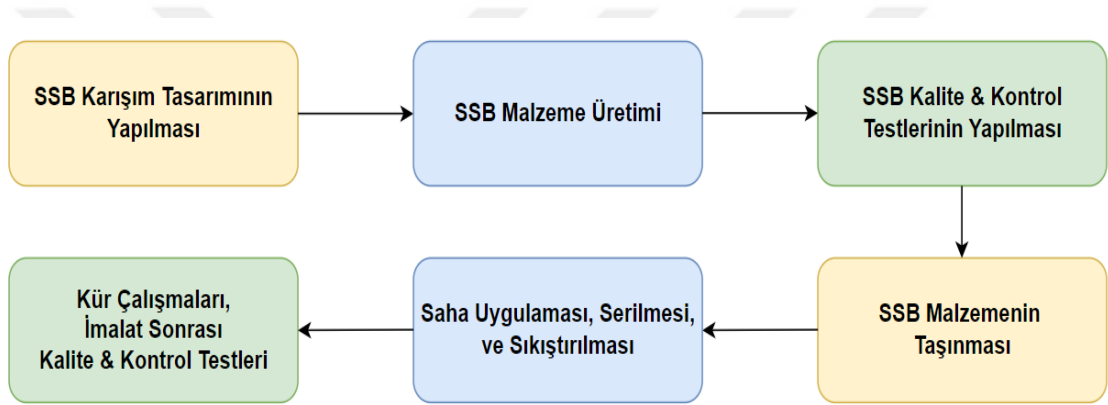
Silindirle sıkıştırılmış yollar, diğer beton yol kaplamaları gibi genellikle 28 günlük basınç dayanımları ile değerlendirilir. Vaat ettiği 50 yıllık hizmet ömrü ve dayanıklılığı sunması için gereken en önemli koşulun gerekli basınç dayanımını sağlaması ana etkindir. Ancak silindirle sıkıştırılmış beton yollar; diğer beton yol kaplamalarına kıyasla daha erken basınç dayanımı kazanabilmektedir. Özellikle bu konu inşaatı yapılan yolların erken trafiğe açılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışması ile silindirle sıkıştırılmış beton yolların trafiğe açılma süresinin belirlenmesi, derz bölgeleri etrafında beton kalitelerinin değerlendirilmesi ve olası çatlak oluşumlarının gözlenmesi gibi konularda yurt dışı ve içi yönetmeliklerimizde bulunmayan bazı konulara altyapı olması amaçlanmıştır. Tez kapsamında arazide silindirle sıkıştırılmış beton kaplamada oluşan boyuna derz bölgelerinde basınç dayanımı ölçümleri alınmış olup çalışma kapsamında erken basınç dayanımı verilerin elde edilmesi amacıyla ultrasonik tahribatsız yöntem tercih edilmiştir.

1.2. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kaplamalar

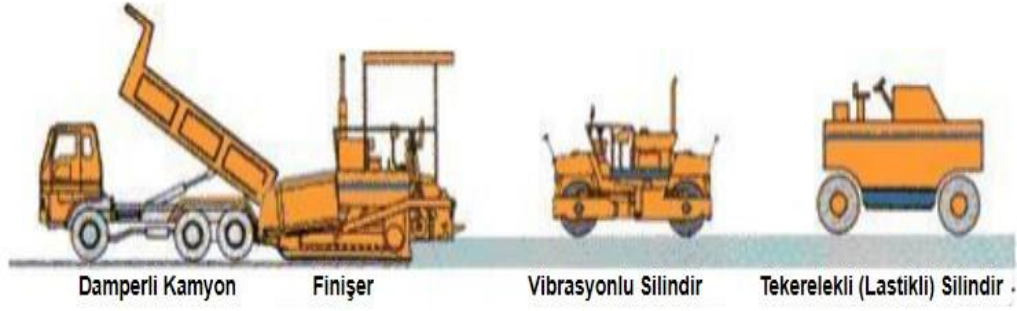
1.2.1. Tanımı

Beton genel olarak öncelikle agrega, çimento ve sudan oluşan kompozit bir yapı malzemesi olarak tanımlanır (Zulkifli vd., 2015; Neville & Brooks , 1987). ACI (American Concrete Institute); silindirle sıkıştırılmış betonu (SSB); silindirle sıkıştırılmaya uygun ve sıkıştırılırken üzerindeki silindiri destekleyebilecek kıvamda olan beton malzeme olarak tanımlar (ACI Committee 116R, 2000). Bir diğer ifadeyle SSB; uygulama sahasında silindirle sıkıştırılabilen, su/çimento oranı düşük ve çökmesi olmayan bir beton türüdür.



Şekil 1. SSB üretim ve uygulama prosedürü

SSB; su, çimento ve agrega içerdiği için su/çimento oranı düşük geleneksel betona fazlasıyla benzese de bazı prosedürler, uygulama metotları hususlarda önemli farklılıklar göstermektedir (Choi & Hansen, 2005). Malzemenin karışımı, titreşimli silindirler tarafından sıkıştırılabilecek kıvamda olmalıdır (Burns & Saucier, 1978). Malzemenin üretimden sonra taşınması ve uygulama aşamaları esnek kaplamalara benze de uygulama sonrasında SSB priz alma sürecini tamamlayıp sertleşir. Sertleştikten sonra rijit kaplama davranışlarını gösterir.



Şekil 2. SSB yol saha uygulaması ve kullanılan iş makineleri (Engineers, 2000)

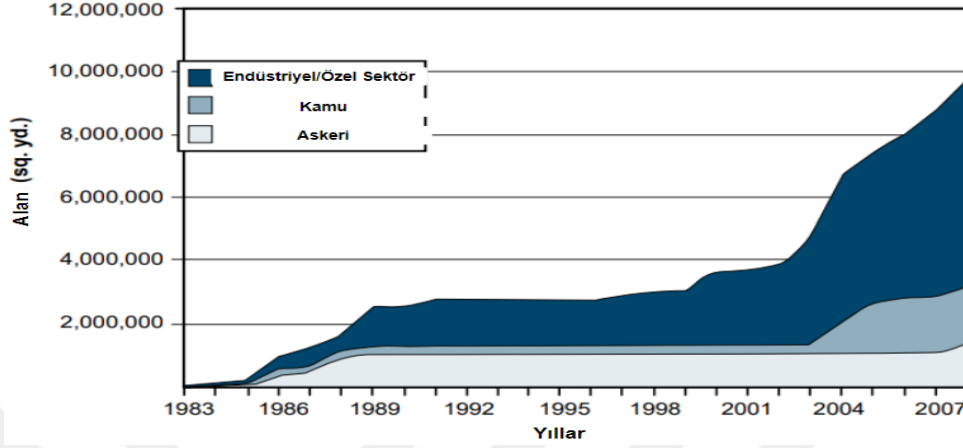


Şekil 3. SSB saha uygulaması için örnek bir çalışma (Harrington vd., 2010)

1.2.2. Tarihçesi

Bilinen ilk SSB kaplama uygulaması 1930'larda İsveç'te kayıt altına alınmıştır. Amerika'da ilk uygulaması ise 1942 yılında Yakima Havalimanı yoludur. Bilinen ilk modern örneği, 1970'de İspanya'da düşük trafik hacmine sahip bir yolda gerçekleştirilmiştir. Yine benzer yıllarda ağır trafik yüklerini taşıması amacıyla Kanada'da bir uygulama projesi tamamlanmıştır. 1980'li yıllarda Almanya, İsveç, Finlandiya, Japonya gibi birçok ülkede 10 hektardan daha fazla SSB yol inşaatı tamamlanmıştır. Benzer süreçte gelişmemiş ülkelerde bu rakam çok daha gerideydi (Ağar & Taşdemir, 2007). Aynı yıllarda ise Amerika ve Kanada'da SSB yol kaplamaları hususunda müteahhitler ve kurumlar bazında önemli tecrübeler kazanılmış ve yapılan projeler artmıştır. 1980 ve 1990'lı yıllarda SSB kaplamalar

ABD’de karayolları, limanlar ve lojistik tesislerde kullanılmıştır. 2000’li yıllarda ise özellikle düşük hacimli yol ve park alanlarında da kullanımı artmıştır (Piggott, 1999).



Şekil 4. ABD’de SSB yol kullanım miktarı (1983-2007 arası) (Piggott, 1999)

Ülkemizde SSB malzeme özelindeki ilk çalışmalar barajlar üzerinde olmuştur. 1982-1983 yılları arasında Karakaya Barajı’nda uygulanmıştır (Öztürk & Yıldız, 1998). SSB yollar konusunda çalışmalar ise daha geç dönemlerde başlamıştır. 2009 yılında ‘ECOLANES Projesi’ kapsamında ilk SSB çalışması yapılmıştır. Aslında bütünüyle SSB yol projesi olmamasına karşın proje kapsamında 19 cm SSB kaplama üzerine 5 cm asfalt tabakası inşaatı yapılmıştır. Gerçek anlamda ilk SSB yol projesi Denizli Belediyesi tarafından gerçekleştirilmiştir. 2009’da yapılan bu uygulamadan bu yana SSB yol kaplaması 500.000 m²’yi geçmiştir (Yaman & Ceylan, 2013). Ülkemizde yakın tarihe kadar SSB yol uygulaması yapılan illere ait görsel Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. SSB yol uygulaması olan illerimiz (TMÇB, 2018)

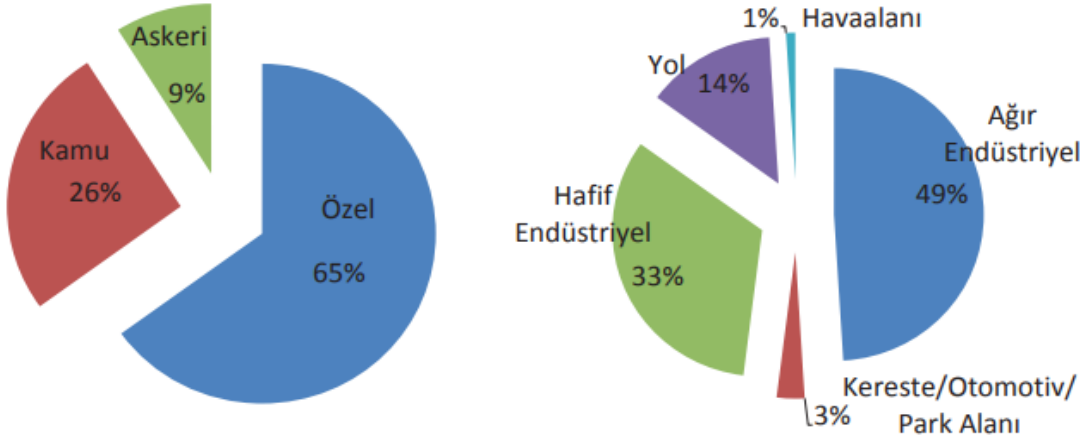
1.2.3. Uygulama Alanları

1970’ler ABD ve Kanada’da yapılan çalışmalarda kullanımlarından sonra tomruk dağıtım depoları, nakliye güzergahları gibi endüstriyel ve özel sektöre bağlı alanlarda kullanımları artmıştır. Ancak son 10 yıldır düşük maliyetli şehir içi kaplama tercihi olarak kullanımı artmaktadır. Kullanım alanları aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Limanlar, Çok Amaçlı Tesisler ve Ağır Sanayi Tesisleri
- Hafif Sanayi Alanları
- Havaalanları
- Anayol Caddeleri
- Yerel Sokaklar
- Genişletme ve Banket Çalışmaları
- Çok Tabakalı Altyapı Sistemlerinde kullanımları vardır (Harrington vd., 2010)



Şekil 6. Conley konteyner terminalindeki (ABD) 17 yaşındaki SSB yol kaplaması (Luhr, 2004)

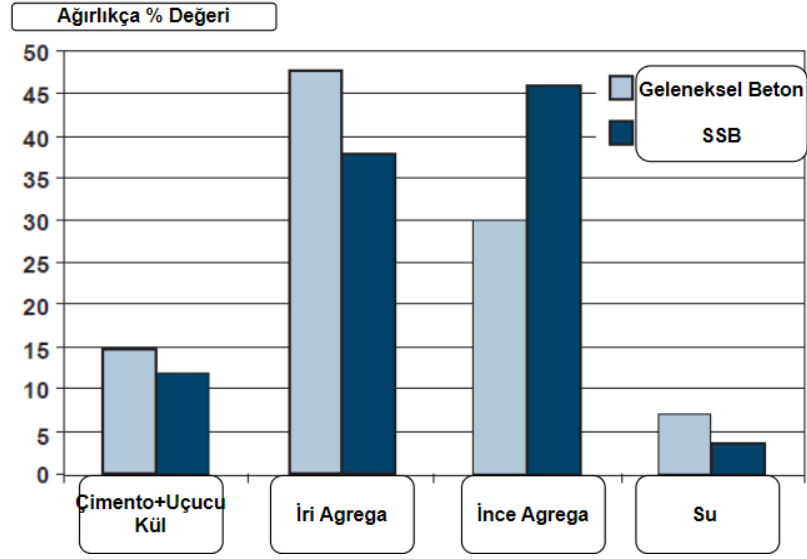


Şekil 7. ABD’de SSB yolların kullanım alanlarına göre dağılımı (Pittman, 2012)

1.2.4. Karakteristik Özellikleri

Daha önce bahsedildiği gibi SSB malzeme olarak geleneksel betona temel olarak benzemekle birlikte aralarında bazı önemli farklar bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Silindirle sıkıştırılmış beton genellikle hava sürüklemeyiz.
- Silindirle sıkıştırılmış beton tipik olarak daha düşük su içeriğine sahiptir.
- Silindirle sıkıştırılmış beton tipik olarak daha düşük çimento harç içeriğine sahiptir.
- Silindirle sıkıştırılmış beton, titreşimli silindirin etkisi altında iyi bir sıkışma gösterebilmesi açısından genellikle daha yüksek oranda ince agrega içermektedir.
- Silindirle sıkıştırılmış beton, ayrışmayı en aza indirmek ve nispeten pürüzsüz bir yüzey dokusu oluşturmak için genellikle 19 mm’den daha büyük olmayan bir nominal maksimum agrega boyutuna sahip olması tavsiye edilir. (Garber vd., 2011).



Şekil 8. Geleneksel beton ve SSB'ye ait tipik karışım bileşenleri (Pittman, 2012)

Tablo 1. Bir saha uygulamasına ait SSB malzeme içeriği (Yazıcı, 2008)

1 m ³ SSB için gerekli malzemeler	
Maks. Tane Çapı	150 mm
Su	95 kg/m ³
Çimento	91 kg/m ³
Uçucu Kül	39 kg/m ³
İnce Agregat Oranı	30%
İnce Agregat	657 kg/m ³
İri Agregat	1444 kg/m ³
Hava İçeriği	1,50%

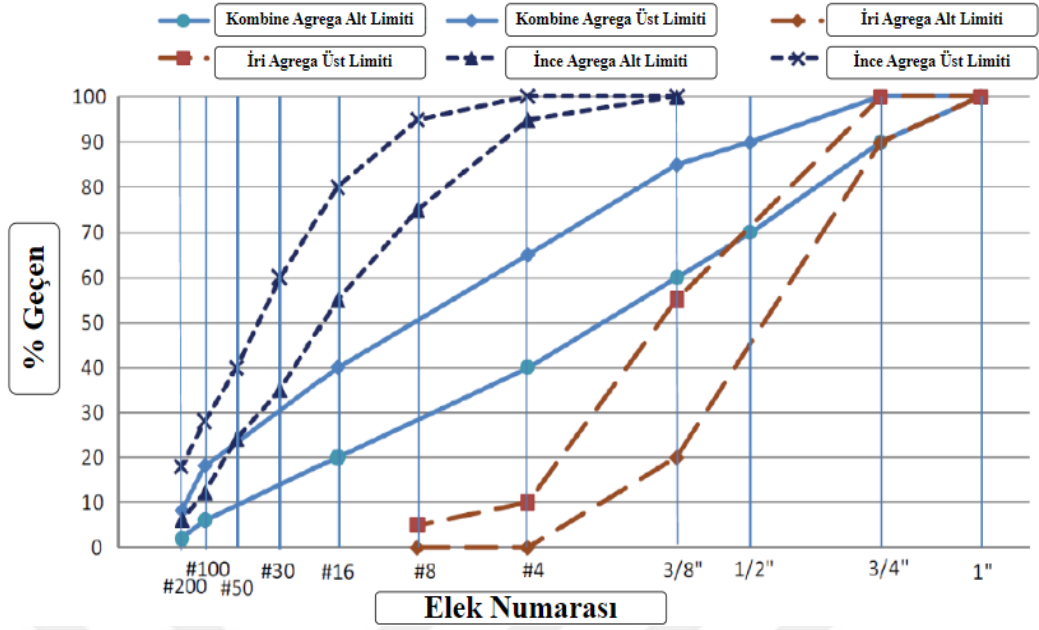
Şekil 9'dan görüleceği üzere SSB karışımları tipik olarak geleneksel beton karışımlarına göre daha düşük hacimde çimentolu malzeme, kaba agregat ve su içerir ve kaplama sistemindeki hava boşluklarını dolduran daha yüksek hacimde ince agregat içerir. SSB'deki ince agregatlar geleneksel betona göre daha sıkı kenetlenmiştir. Bu sıkı paketlenme başlangıçta parçacıklar arasında yüksek sürtünme sağlar ve kaplamanın başlangıçtaki yük taşıma kapasitesine katkıda bulunur.

Tablo 2. SSB malzemede önerilen iri agrega gradasyon limitleri (Engineers, 2000)

İri Agregalar İçin İdeal Gradasyon Sınırları			
Elek Çapı	Kümülatif Geçen (%)		
	4,75-75 mm	4,75-50 mm	4,75-19 mm
75 mm	100		
63 mm	88		
50 mm	76	100	
37,5 mm	61	81	
25 mm	44	58	
19 mm	33	44	100
12,5 mm	21	28	63
9,5 mm	14	18	41
4,75 mm	-	-	-

Tablo 3. SSB malzemede önerilen ince agrega gradasyon limitleri (Engineers, 2000)

İnce Agregalar İçin İdeal Gradasyon Sınırları	
Elek Çapı	Kümülatif Geçen (%)
9,5 mm	100
4,75 mm	95-100
2,36 mm	75-95
1,18 mm	55-80
600 µm	35-60
300 µm	24-40
150 µm	12-28
75 µm	6-18



Şekil 9. SSB için önerilen birleşik agrega sınıflandırması (Harrington vd., 2010)

Tüm beton kaplamaların inşası mekanik ve kimyasal (hidrasyon) süreçleri içerir. Geleneksel beton kaplama için mekanik süreç, kaplama makinesinin dahili vibratörleri aracılığıyla gerçekleşir. Hidrasyon süreci boyunca çimento hamuru sertleşerek agrega parçacıklarını birbirine bağlar. SSB kaplamalarda oturma, geleneksel veya yüksek yoğunluklu kaplama tablaları ve ardından çelik tambur ve lastik tekerlekli silindirler aracılığıyla gerçekleştirilir. Geleneksel betonda olduğu gibi çimento hamuru, SSB karışımı içindeki agrega parçacıklarını birbirine bağlamak için hidrasyon yoluyla sertleşir. Sonuç, geleneksel beton kaplamaya benzer özelliklere sahip yoğun bir kaplamadır (Harrington vd., 2010).

Serim yapılmasının hemen ardından geleneksel beton, hidrasyon çimento hamurunu sertleştirmeye ve agregaları birbirine bağlamaya başlayana kadar plastik bir durumdadır. Geleneksel beton kaplama, kesme dayanımına ulaşana veya bu sınırı geçinceye kadar hafif araç trafiğini destekleyecek yeterli yük taşıma kapasitesine sahip değildir (Harrington vd., 2010).

Bunun aksine SSB, serimin hemen ardından ara sıra hafif araç trafiğini (araba yoluna giren veya çıkan bir araba gibi) desteklemek için yeterli yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu yük taşıma kapasitesi, sıkıştırılmış parçacıklar arasında sürtünme (agrega kenetlenmesi) oluşturan ve ara sıra hafif aracın, malzemeye zarar vermeden veya bozmadan SSB'ye yerleştirilmesine olanak tanıyan sıkıştırma işleminden kaynaklanmaktadır. Buna rağmen

SSB ve geleneksel betonun mukavemeti 13.8 ila 17.2 MPa değerlerine ulaşmadan hafif araç trafiğinden ötede bir etkiye maruz bırakılmaması tavsiye edilir (Harrington vd., 2010).

1.2.5. Avantajları ve Dezavantajları

SSB yol kaplamaları diğer rijit ve esnek yol kaplamalarına kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Bunlar;

- SSB’de bünyesinde bulunan daha az su hamuru; daha az büzülmeye ve buna bağlı olarak oluşacak gerilmelerin azalması sebep olmaktadır.
- Kimyasal bozulmalara ve donma çözünmelere karşı büyük ölçüde dirençlidir.
- Hava sürükleyici olmasa bile donma-çözünme dayanımları yüksektir. Kanada ve Alaska gibi bölgelerde tercih sebebidir.
- Karışımlarında doğal ve üretim sürecinden geçmiş ince agregalar kullanılabilir. Hatta esnek yapımında kullanılmayan ince agregalar dahi kullanılabilir.
- SSB için solar yansıtma değeri yaklaşık 0.80 mertebesinde.
- Ağır taşıt yükleri altında diğer beton yol kaplamaları gibi SSB de aşınmalara dayanıklıdır.
- Açık yüzey renginin olmasından dolayı depo, lojistik merkezler gibi alanlarda ışıklandırma ihtiyacını azaltırlar.
- Tekerlek izi, göçükler, çatlaklar vb. problemler minimum düzeyde görülür. Dolayısıyla bakım onarım maliyetleri fazlasıyla düşüktür.
- Arabalar ve hafif ticari kamyonetler gibi vasıtalar, SSB yol tamamlanmasından hemen sonrasında düşük hızlarda seyahat edebilirler (Engineers, 2000; Harrington vd., 2010; Brotman vd., 2007; Topličić-Ćurčić, 2015; Anwer & Abbas, 2022; ACI 207.5R-11, 2011).

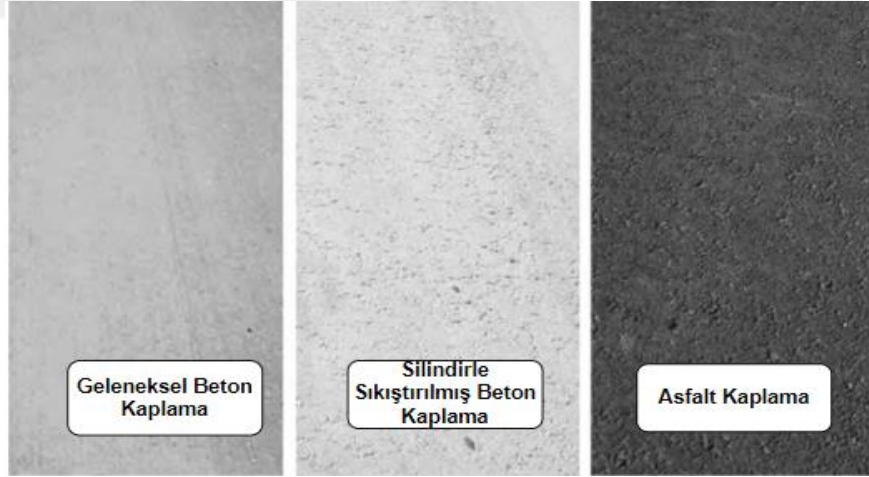
Yukarıda bahsedildiği gibi birçok avantajına ve üstün özelliklerine rağmen SSB de bazı dezavantajlara ve limitlere sahiptir. Bunlar;

- SSB’nin yüzey yapısı pürüzlüdür.
- İstenilen düzeyde aderans olması için kesim ile teşkil edilecek soğuk derz düşünülmedikçe bitişik olarak yapılan kaplama anoları bir saat içinde dökülmelidir.
- Düşük su içeriğinden dolayı sıcak havalarda SSB yol inşaatlarında buharlaşma hususuna dikkat edilmelidir.

- Katkı maddelerinin kullanımı SSB de genellikle gerekme de olası bir durumda daha kuru olmasından dolayı daha yüksek miktarda katkı gerektirebilir.
- Kaplamaların kenar bölgelerinin istenilen sıkıştırma derecesine ulaşması zordur.



Şekil 10. SSB kaplama kenar bölgesinde iyi sıkıştırma yapılamaması sonucu meydana gelen deformasyon



Şekil 11. SSB yüzey pürüzlülüğünün diğer kaplama türleriyle karşılaştırılması (Harrington vd., 2010)

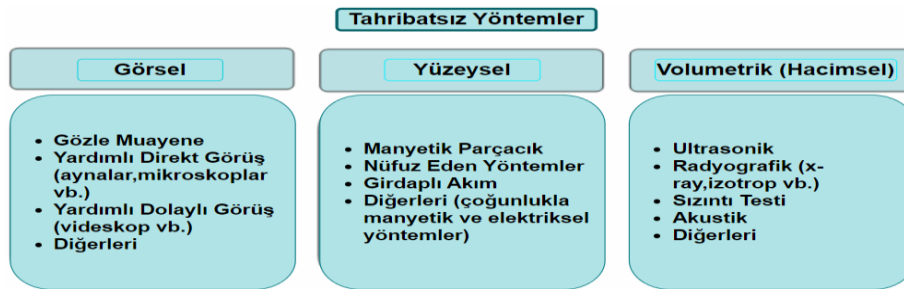
SSB beton ve uygulamalarına dair ülkemizde kapsamlı herhangi bir yönetmelik, standart veya uygulama yönergesi bulunmamaktadır. Ancak uluslararası alanda Amerika

Birleşik Devletleri başta olmak üzere silindirle sıkıştırılmış beton ve uygulamalarına ait birçok yönetmelik ve uygulama kılavuzları yer almaktadır. Bunlardan bazıları;

- ACI 207.5R-11: Report on Roller-Compacted Mass Concrete (ACI 207.5R-11, 2011)
- ACI 325.10R-95: Roller-Compacted Concrete Pavements (ACI 325-10R-95, 2001)
- US Army Corps of Engineers Roller Compacted Concrete Engineering Manual (Engineers, 2000).

1.3. Tahribatsız Yöntemler

Tahribatsız testler (Nondestructive Testing, NDT), mühendisler tarafından üretim veya hizmet sırasında malzeme ve yapılardaki kusurları tespit etmek için kullanılan bir mekanizmadır. Bu mekanizma bir malzemenin, bileşenin veya sistemin özelliklerini numunelere zarar vermeden değerlendirmek için kullanılan analiz tekniklerini içerir (Smith, 2015; Xiao, 2004). ASTM (American Society for Testing and Material) ise NDT'yi bütünlüğü, özellikleri ve bileşimi değerlendirmek, geometrik özellikleri ölçmek, kusurları tespit etmek, bulmak, ölçmek ve değerlendirmek amacıyla malzeme veya bileşenlerin gelecekteki kullanılabilirliğe ve hizmet verilebilirliğe zarar vermeyecek şekilde incelenmesine yönelik teknik yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanması olarak tanımlamaktadır (ASTM, E1316-22a., 2023). NDT yöntemler, özellikle inşaat mühendisliğinde projelerin saha inceleme sürecinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (McCann & Forde, 2001; Oh vd., 2013).



Şekil 12. Geleneksel NDT yöntemlerin sınıflandırılması (Aastroem, 2008)

Beton malzeme üzerinde yapılan tahribat oluşturan deneyler bazı dezavantajları beraberinde getirmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi kısaca bahsedilebilir;

- Direkt inceleme sahasında deney gerçekleştirmek imkânsızdır. Sadece standartlara uygun numuneler için bu çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Testlerin tekrarlanması zordur ve tekrar sonuçları güvenilir değildir. Kırılan veya tahrip olan numune üzerinde tekrar deney yapılmamalıdır.
- Karot alma ve kırma işlemi hem zahmetlidir hem de masraflıdır.
- İnceleme sahasından alınan rastgele karotlar ve numuneler geniş çerçevede inşaat kalitesinin değerlendirmesinde noksanlıklar oluşturmaktadırlar (Hannachi & Guetteche, 2012; Erdoğan, 2010).

Tahribatsız yöntemlerle beton malzemenin incelenmesinin en önemli avantajı inşaat aşamasından itibaren çeşitli yapıların çevresel ve diğer etkenler altında sürekli olarak kontrol edilebilmesi gerektiğinde de onarımlarının yapılabilmesidir. Kısaca tahribatsız yöntemlerin beton deneylerindeki avantajları aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Farklı geometrik şekillere sahip elemanlara uygulanabilmektedir. Hatta inceleme sahasındaki elemanların üzerinde direkt ölçüm alabilme imkânı da sunabilmektedir.
- Basit ve hızlıdır.
- İnceleme yapılan elemanlarda tahribat oluşturmadıklarından tekrarlı incelemeler yapılabilir.
- Yeni yapılan beton elemanlar için soforonco yaştan hizmet ömrü boyunca inceleme, gözlem ve kontrol imkânı sunarlar.
- Ekonomiktirler.
- İncelenen eleman veya çalışma sahası için çeşitli etkenlerin karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (Büyüköztürk, 1998).

Beton malzeme üzerinde yapılacak testler için kullanılacak NDT yönteminin seçimi büyük önem arz etmektedir. Her bir yöntem kendi içerisinde bazı avantajları ve dezavantajları barındırmaktadır. Bununla birlikte yöntem seçilirken; malzemenin fiziki yapısı, süreksizlikleri, olası etkenler göz önünde bulundurulmalı ve seçilecek yöntemin temel mantığı ile limitleri bilinmelidir (Khan, 2001; Shull, 2002).

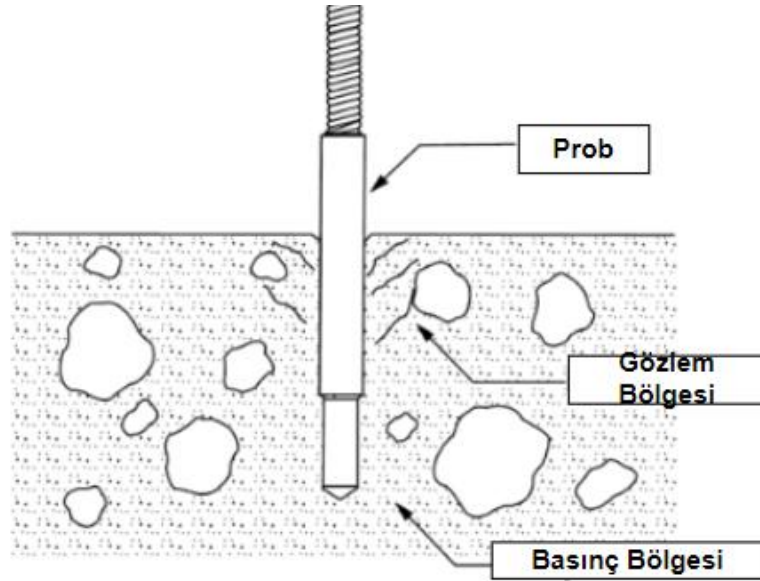
Ülkemizde beton malzeme testlerinde en çok tercih edilen tahribatsız yöntemlerin başında ‘Schmidt Çekici Yöntemi’ ve ‘Ultrasonik Test Yöntemi’ gelse de farklı amaçlar için yine sıklıkla tercih edilen tahribatsız yöntemleri genel olarak sınıflandırılmak istenirse;

- Penetrasyon Direnci Yöntemi

- Rezonant Frekans Yöntemi
- Pull-Out (Çekme) Yöntemi
- Pull-Off (Çıkarma) Yöntemi
- Break-Off (Kırılma) Yöntemi
- Geçirgenlik Testleri
- Maturity Yöntemi
- Schmidt Çekici (Test Çekici) Yöntemi
- Impact-Echo (Etki-Yankı) Yöntemi
- Ultrasonic Pulse Velocity (Ultrasonik Dalga Hızı-UPV) Yöntemi olarak listenebilir (Bingöl, 2013; Malhotra & Carino, 2003; Helal vd., 2015).

1.3.1. Penetrasyon Direnci Yöntemi

En yaygın kullanılan penetrasyon direnci yöntemi Windsor prob sistemidir. Sistem, bir derinlik ölçer aracılığıyla penetrasyon mesafesini ölçerken, sertleştirilmiş izin verilen çelik problemleri beton numunelerine yönlendiren tabanca benzeri bir sistemden oluşur. Prob nüfuz derinliğinin ölçülmesi, korelasyonlarla bulunarak beton basınç dayanımının bir göstergesini sağlar (Helal vd., 2015; Malhotra, 2006). ASTM C 803-02, bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir (ASTM, C 803-02., 2003).



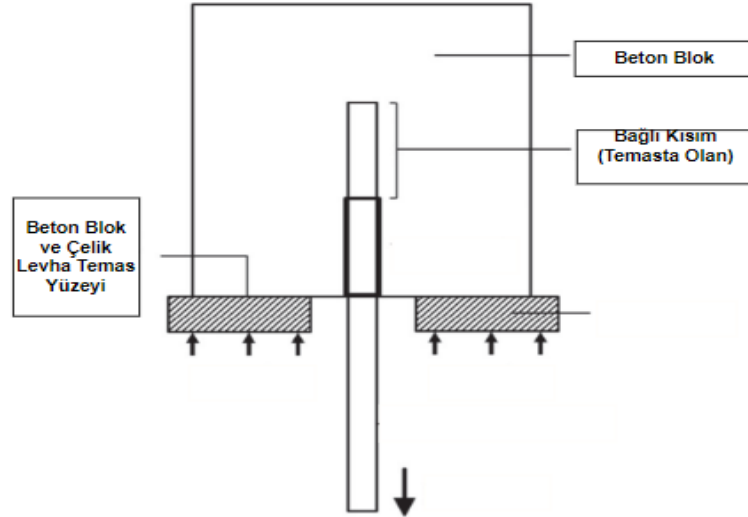
Şekil 13. Prob penetrasyonu uygulaması ve beton malzeme (Malhotra & Carino, 2003)

1.3.2. Rezonant Frekans Yöntemi

Malzemenin doğal titreşim frekansını ölçerek malzeme özelliklerini belirlemek için yapılan, müdahalesiz, tahribatsız testlerdir. Titreşim etkili veya darbe etkili olmak üzere ikiye ayrılır. Titreşen bir yapı elemanının doğal frekansı, boyutlarının, dinamik elastiklik modülünün ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Bu yöntem; bahsedilen fonksiyonel özelliklerin elde edilmesine katkı sunmaktadır (Helal vd., 2015; Hassan & Jones, 2012). ASTM C 215-85, bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir (ASTM, C 803-02., 2009).

1.3.3. Pull-Out (Çekme) Yöntemi

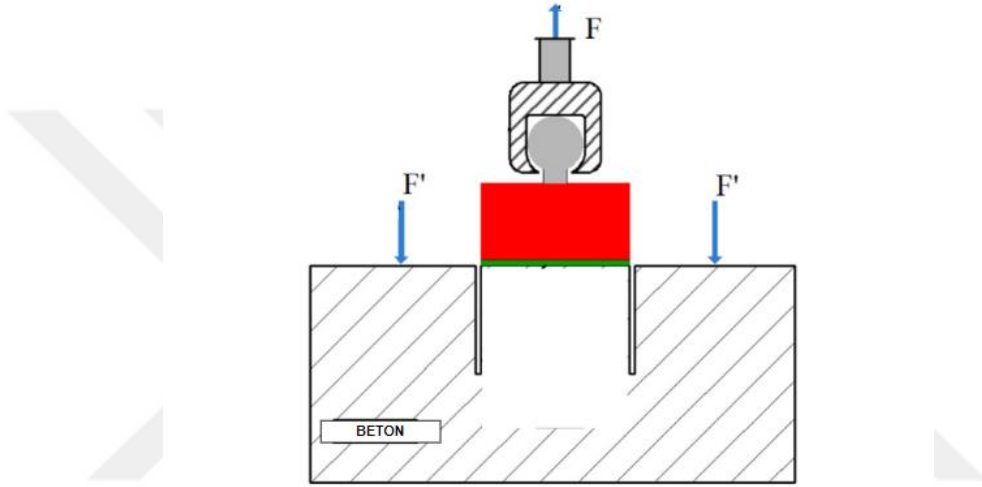
Çekme direnci yöntemleri, standart gömülü ek parçaları beton yüzeyinden çıkarmak için gereken kuvveti ölçer. Belirlenen korelasyonları kullanarak, ek parçaları çıkarmak için gereken kuvvet, betonun mukavemet özelliklerine ilişkin bir tahmin sağlar. Direkt saha üzerinden veya numune üzerinden de ölçüm alınmasını sağlayabilir (Helal vd., 2015; Richards, 1977). ASTM Standard C 900-13a, bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir (ASTM Standard C 900-13a., 2013).



Şekil 14. Pull-Out yöntemi şematik gösterimi (Chu & Kwan, 2018)

1.3.4. Pull-Off (Çıkarma) Yöntemi

Çekme testi, beton yüzeyine epoksi veya polyester reçine ile yapıştırılmış bir disk çökmek için gereken çekme kuvvetini ölçen, betonun yerinde mukavemet değerlendirmesidir. Çekme kuvveti, yerleşik ampirik korelasyon çizelgeleri aracılığıyla betonun çekme ve basınç dayanımının bir göstergesini sağlar (Helal vd., 2015; Yang vd., 2020). ASTM D 4541-09e1, bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir (ASTM Standard D 4541 – 09e1., 2009).



Şekil 15. Standart Pull-Off yönteminin şematik gösterimi (Yang vd., 2020)

1.3.5. Break-Off (Kırılma) Yöntemi

Plastik bir gömlek kılıf biçimindeki bir eleman taze betona yerleştirilir. Beton prizini tamamladıktan sonra çıkartılır ve yükleme mekanizması yerleştirilir. Silindir elemanın üst kısmından elle kontrol edilen bir pompa yardımıyla betondan kırılarak ayrılması sağlanır. Elde edilen basınç değeri korelasyonlar kullanılarak basınç dayanımı değeriyle ilişkilendirilebilir (Bingöl, 2013). ASTM C1150-96, bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir (ASTM Standard C 1150 – 96., 2002).

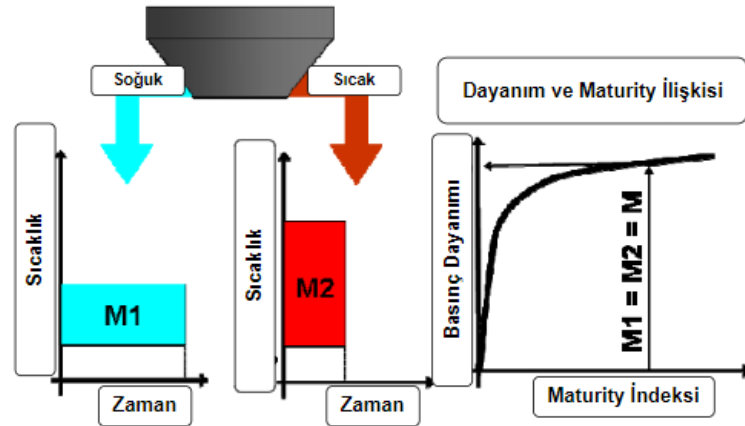
1.3.6. Geçirgenlik Testleri

Yabancı maddelerin betona nüfuz etmesi, betonun bozulmasının ana nedenidir. Geçirgenlik, beton yapıların dayanıklılığını tahmin etmek için geçerli olan özelliği temsil

eder. Geçirgenlik testleri, betonun yüzeye yakın aktarım özelliklerini ölçen tahribatsız test yöntemleridir. Suyun beton içerisindeki hareketi olan hidrolik geçirgenlik, havanın beton içerisindeki hareketi olan gaz geçirgenliği ve elektrik yükünün hareketini içeren klorür iyonu geçirgenliği olarak üç çeşide ayrılabilir (Helal vd., 2015).

1.3.7. Maturity Yöntemi

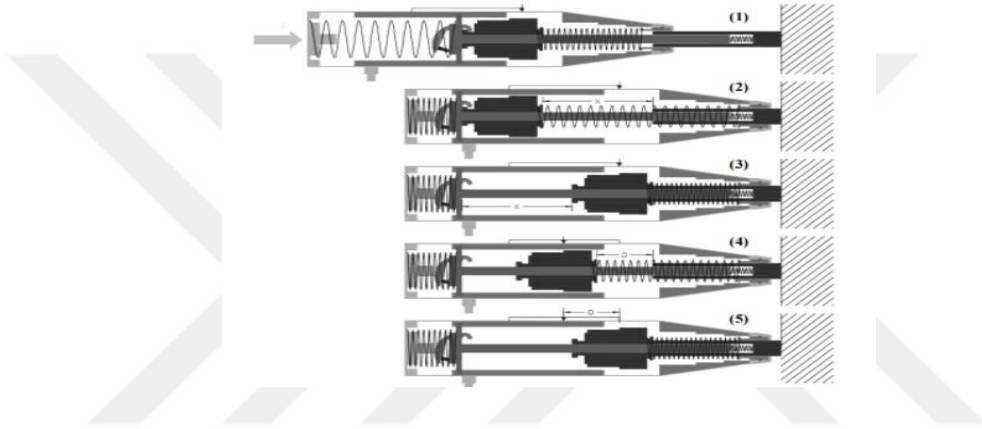
Bu yöntem sürekli hidratlanan çimentonun sıcaklık geçmişinin bağlı dayanım kazanımı oranı üzerindeki etkilerini ölçmek için kullanılır. Beton bir yapının sıcaklık geçmişi, çimento ve su arasındaki ekzotermik reaksiyonlara dayanır ve kürlenme önlemlerinden, ortam koşullarından, ilk yerleştirme sıcaklıklarından ve beton bileşenlerinin türlerinden ve oranlarından etkilenebilir. Maturity fonksiyonları, hidratlanan betonun sıcaklık geçmişini anlamlı olgunluk değerlerine dönüştüren matematiksel formüllerdir. Laboratuvarda belirli karışım oranlarına ve bileşenlere sahip beton için dayanıma karşı olgunluğu gösteren bir kalibrasyon eğrisi hazırlayarak, yerinde beton sıcaklığının izlenmesi, olgunluk değerlerinin belirlenmesi ve değerlerin dayanımla ilişkilendirilmesi yoluyla yerinde betonun gerçek zamanlı dayanımı tahmin edilebilir (Helal vd., 2015; Tepke & Tikalsky, 2001). ASTM C1074-04 bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir. Bu standart; ‘belirli bir beton karışımından numunelerin eşit olgunluk (maturity) indeksi değerlerine ulaşmaları durumunda eşit dayanıma ulaştıkları varsayımına dayanan beton dayanımını tahmin etmeye yönelik bir teknik’ olarak tanımlamaktadır (ASTM Standard C 1074 – 04., 2009).



Şekil 16. Sıcaklık ve zamana bağlı dayanım ve maturity (olgunluk) ilişkisi (Nixon vd., 2008)

1.3.8. Schmidt Çekici (Test Çekici) Yöntemi

Beton test çekici, sertleşmiş betonun yüzey sertliğini ölçmekte kullanılan alettir. Ernst Schmidt isimli İsviçreli bir mühendis tarafından 1948 yılında geliştirilen alete, Schmidt Çekici de denilmektedir. Çekicin içinde yer alan kütlenin beton malzeme yüzeyine çarpıp geri dönmesi esasına dayanır (Bingöl, 2013; Helal vd., 2015). Böylece betonun yüzey sertliği ölçülür ve kalibrasyon bağıntılarından yararlanılarak beton basınç dayanımı elde edilmeye çalışılır (Özdoğan & Okuyucu, 2018). ASTM C 805 bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir (ASTM Standard C 805., 2019).



Şekil 17. Schmidt çekicinin çalışma mekanizması (Gerlesch vd., 2021)

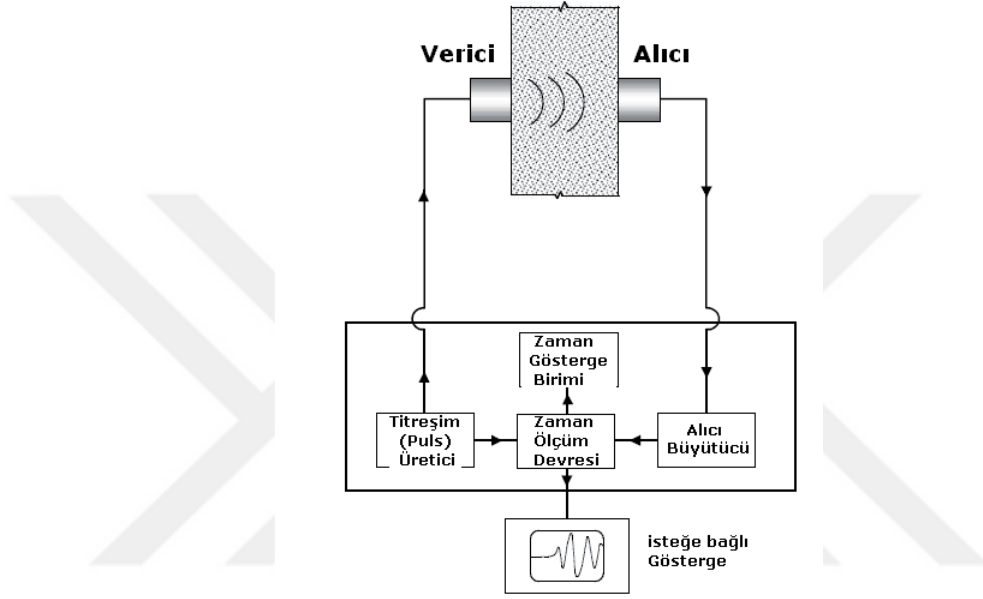
1.3.9. Impact-Echo (Etki-Yankı) Yöntemi

Tek yüzey kullanılarak beton kalınlığının ve bütünlüğünün ölçülmesini içeren ultrasonik yöntemlerin yeni geliştirilmiş halidir. Test ayrıca çatlak, boşluk ve segregasyonun yerini belirlemek için de uygulanır. Betonun kısa süreli mekanik darbe sonucu oluşan yüzey hareketinin izlenmesi esasına dayanır. Test özellikle betondaki kusurları tespit etmek için yansıyan şok dalgalarının genliğini ölçer (Helal vd., 2015). ASTM C 1383 -15 bu yöntem için ilgili standardı temsil etmektedir (ASTM C 1383-15., 2022).

1.3.10. Ultrasonic Velocity (Ultrasonik Dalga Hızı-UPV) Yöntemi

Ultrasonik dalga(puls) hızı yöntemleri, dalgaların bir gönderme ve alma noktası arasında yayılması için geçen süreyi ölçme esasına dayalıdır. Bu yöntem, betondaki P-dalgası hızının ölçülmesine dayanmaktadır (Helal vd., 2015). P-dalgası hızı ile betonun

mekanik özellikleriyle ilişkilendirilebilir veya beton malzemedeki çatlakları ve boşlukları tespit etmek için kullanılabilir (Kee & Zhu, 2013). Bu yöntemin temel esasları elastik dalga yayılma teorisine dayanmaktadır. Saha çalışmalarında alıcı ve verici (problar ve transdüserler) arasındaki mesafe ve elastik dalgaların bu mesafeyi geçtiği sürelerin ölçümü yapılarak sismik dalga hızları belirlenebilir. Laboratuvar çalışmalarında ise elastik dalgaların numune içinden geçtiği süre dikkate alınarak hızlar elde edilebilir (Uyanık, 2012).



Şekil 18. Ultrasonik ölçüm sürecinin şematik gösterimi

Ultrasonik testlerin avantajı aşağıdaki çeşitli uygulamaları kapsamaktadır:

- Mekanik özellikler ve mikro yapının belirlenmesinde kullanılabilir.
- Görüntüleme ve mikroskop amaçlı kullanılabilir.
- Portatiftir ve maliyet açısından uygundur.
- Plazma ve vakum durumları hariç maddenin bütün halleri için uygulanabilir.
- Optik yoğunluktan etkilenmez.



Şekil 19. Ölçüm yöntemleri ve ilgili prob düzenleri

Ultrasonik ölçümlerde laboratuvar deneyleri ve saha çalışmalarında kullanılması ve elde edilen verilerin güvenilirliği açısından direkt ölçüm, yarı direkt ölçüm ve dolaylı ölçüm olmak üzere üç temel prob düzeninden söz edilebilir. Laboratuvar çalışmaları başta olmak üzere birçok incelemede malzemeye birçok yönden erişim sağlanabildiğinden direk ve yarı direkt ölçümler için literatür daha geniştir. Dolaylı ölçümler genellikle malzemeye tek bir yüzeyden erişim sağlanabildiği durumlar için tavsiye edilir. Bu durumla da özellikle saha çalışmalarında daha sık karşılaşılır. Dolaylı ölçümler için yapılan bilimsel çalışmalar direk ve yarı direkt ölçümlere göre azdır (Yaman vd., 2001; ASTM C 597-02., 2002).

Basınç tayininden önce P ve S dalgalarının hızları belirlenmelidir. Belirlenen hızlar ile basınç değeri karşılaştırılıp yorumlanabilir. Benzer bir şekilde beton malzeme için hız değerine bağlı olarak malzeme kalitesi yorumu da yapılabilir. Hızın belirlenmesi için, beton boyunca ilerleyen pulslar, verici probtan L uzaklıkta bulunan ikinci bir prob tarafından alınır ve elektrik enerjisine dönüştürülür. Geçiş süresi T, elektronik olarak ölçülür. Basınç dayanımının haricinde dalga hızına bağlı olarak genel beton kalitesi yorumlanabilir. Bununla ilgili kriterler Tablo 4'te verilmiştir. Dalga hızı V, L'nin t iletim süresine bölünmesiyle Denklem 1'deki gibi hesaplanır (ASTM C 597-02., 2002; BS EN 12504-4, 2004).

$$V = L/t \quad (1)$$

V: puls(dalga) hızı, km/sa

L: mesafe, mm

t: iletim süresi, μ s

Tablo 4. Ultrasonik hız ve beton kalitesi (IS 13311-1, 1992)

Problar Arası Dalga Hızı (km/sn)	Beton İmalat Kalitesi
4,5'dan büyük	Mükemmel
3,5-4,5 arası	İyi
3,0-3,5 arası	Orta
3,0'dan küçük	Şüpheli
Not: Şüpheli kalite durumunda farklı testler ile detaylı inceleme yapılmalıdır.	

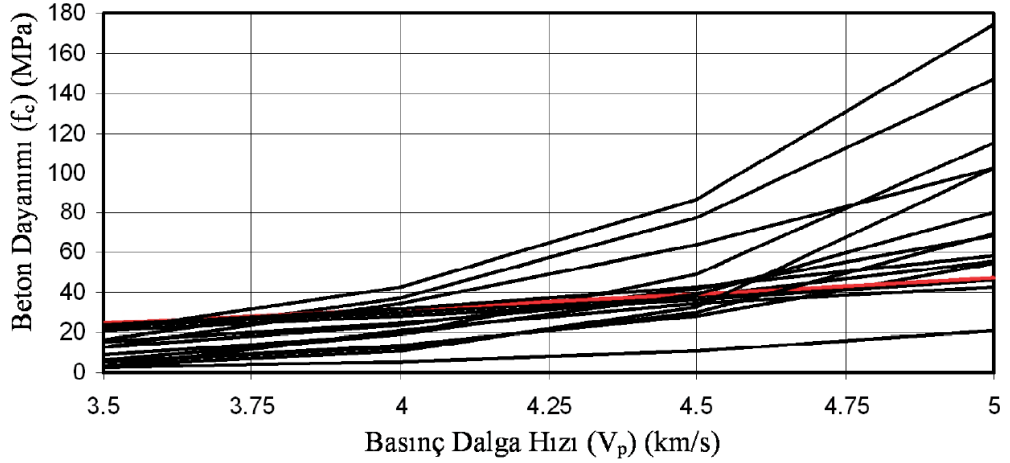
Ultrasonik yöntem yardımıyla beton basınç dayanımının elde edilmesi hususunda birçok araştırmacı farklı yaklaşımlar sunmuştur. Bu çalışmalara ait bağıntılar ve grafiksel

gösterimi sırasıyla Tablo 5 ve Şekil 20’de sunulmuştur. Bu bağıntıların temel üssel ve eksponansiyel formülizasyonu ise aşağıda gösterilmiştir.

$$f_c = a \cdot V_p^b \quad f_c = A \exp(B \cdot V_p) \quad (2)$$

Tablo 5. Farklı araştırmacılara ait üssel ve eksponansiyel ilişkilerin katsayıları (Uyanık, 2012)

$f_c = a V_p^b$	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
a	0.00834	1.745	1.304	0.000241	0.171	0.0022	0.036	2.6
b	6.074	2.057	2.222	8.1272	3.593	6.289	4.696	1.8
$f_c = A \exp(B V_p)$	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]		
A	0.0141	0.0012	0.06	2.901	0.15833	0.0316		
B	0.0017	0.00227	0.00144	0.0006	0.0014	0.0013		
[1]: Pessiki ve Carino 1988 [2]: Kheder 1999 [3]: Ferreira ve Castro 1999 [4]: Pascale vd. 2000 [5]: Biondi ve Candigliota, 2008 [6]: Yoo ve Ryu 2008 [7]: Machado vd. 2009 [8]: Uyanık vd. 2011 [9]: Klieger 1957 [10]: Elvery ve Ibrahim 1976 [11]: Ravindraiah vd. 1988 [12]: D’Ambrisi vd. 2008 [13]: Chang ve Lien 2008 [14]: Atici 2011								



Şekil 20. Dalga hızına bağlı olarak basınç dayanımı değerleri (Uyanık, 2012)

Ultrasonik ölçümleri etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- **Yüzey Pürüzlülüğü:** Test edilen temas yüzeyinin pürüzsüzlüğü ultrasonik darbe hızının ölçümünü etkiler. Çoğu beton yüzey için, yüzey genellikle bir bağlantı ortamı kullanılarak [jel vb. malzemeler) ve transdüser beton yüzeye bastırılarak iyi bir akustik temas sağlamak için yeterince pürüzsüzlük sağlamaktadır.. Ancak yine de istenilen pürüzsüzlük sağlanamadığında, dalga hızı ölçümünü yapmak için yüzeyi düzeltirmekte fayda vardır (Standard, 1992).

- Beton Su Muhtevası: Genel olarak, beton içerisindeki dalga hızı, betonun su içeriği arttıkça düzensizleşir ve genellikle azalır. Dolayısıyla beton basınç dayanımı ölçümlerinde elde edilecek değerler de buna bağlı olarak düşecektir. Bu etki düşük dayanımlı betonlarda daha kritik bir durumdur (Kaplan, 1959).
- Sıcaklık: Beton sıcaklığının 5 ila 30°C arasında değişmesi, betondaki dalga hızı ölçümlerini önemli ölçüde etkilemez. 30 ila 60°C arasındaki sıcaklıklarda dalga hızında azalma olabilir (Standard, 1992).
- Gerilme Etkisi: Malzemenin nihai basınç dayanım değerine göre anormal derecede yüksek bir gerilime maruz kaldığında, mikro çatlakların gelişmesi nedeniyle dalga hızı azalabilir. Bu etkinin, dalga yolu bu tür mikro çatlakların düzlemlerinin baskın yönüne normal olduğunda en büyük olması muhtemeldir. Ancak yine de gerilme; nihai basınç dayanımının %60'ını geçmediği sürece önemsizdir (Standard, 1992).
- Katkı Maddeleri: Hava sürükleyici katkılar, dalga iletim hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Diğer katkı maddeleri ise yaklaşık olarak hidratasyon süresi ile orantılı olarak dalga iletim hızını etkileyecektir. Örneğin kalsiyum klorür ilavesi, betonun priz alma ve sertleşme süresini azaltır ve dalga iletim hızının değerini artırır (Hannachi & Guetteche, 2014).
- Çimento Türü: Çimento türünün dalga iletim hızına dolayısıyla ultrasonik basınç dayanım verilerine doğrudan etkisinden söz edilemez. Ancak çimento türü hidratasyon derecesini değiştirmesini sebep oluyor o zaman dikkate alınabilir (Hannachi & Guetteche, 2014).
- Dalga İletim Güzergahı: Kuramsal olarak dalga tarafından seyahat edilen geçiş yolu ve dalganın frekansı yayılım zamanına etki etmez. Ancak, pratikte daha küçük yollar daha değişken ve biraz daha yüksek hızlar verme eğilimindedirler. Betonun heterojen yapılı doğası buna neden olmaktadır (Standard, 1992).
- Çelik Donatı Etkisi: Donatılı betonda donatı çubuklarının yakınında ölçülen darbe hızı genellikle düz betondan daha yüksektir. Bunun nedeni, çelikteki darbe hızının düz betondaki hızın 1,2 ila 1,9 katı mertebesinde olmasından kaynaklanmaktadır (Standard, 1992). İnceleme yapılan malzemede çelik donatılar bulunması durumunda bazı düzeltmeler yapılması gerekmektedir (Bungey, 1984). Bu düzeltmeler ile ilgili özet olarak hazırlanmış tablolar Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Donatıların dalga iletim eksenine dik bir hat boyunca olması durumunda çelik güçlendirmenin etkileri (Carino & Malhotra, 2004)

L_s/L	$\frac{V_c}{V} = \frac{\text{Betonun Titreşim Hızı}}{\text{Betonarme elamanın ölçülmüş titreşim hızı}}$		
	Çok zayıf Kalite , $V_c = 3000 \text{ m/s}$	Orta Kalite $V_c = 4000 \text{ m/s}$	Çok İyi Kalite $V_c = 5000 \text{ m/s}$
1/12	0.96	0.97	0.99
1/8	0.94	0.96	0.98
1/6	0.92	0.94	0.97
1/4	0.88	0.92	0.96
1/3	0.83	0.89	0.94
1/2	0.75	0.83	0.92

Tablo 7. Donatıların dalga iletim eksenine paralel bir hat boyunca olması durumunda çelik güçlendirmenin etkileri (Carino & Malhotra, 2004)

a/L	$\frac{V_c}{V} = \frac{\text{Betonun Titreşim Hızı}}{\text{Betonarme elamanın ölçülmüş titreşim hızı}}$			
	$\frac{V_c}{V_s} = 0.90$	$\frac{V_c}{V_s} = 0.80$	$\frac{V_c}{V_s} = 0.71$	$\frac{V_c}{V_s} = 0.60$
0	0.90	0.80	0.71	0.60
1/20	0.94	0.86	0.78	0.68
1/15	0.96	0.88	0.80	0.71
1/10	0.99	0.92	0.85	0.76
1/7	1.00	0.97	0.91	0.83
1/5	1.00	1.00	0.99	0.92
1/4	1.00	1.00	1.00	1.00

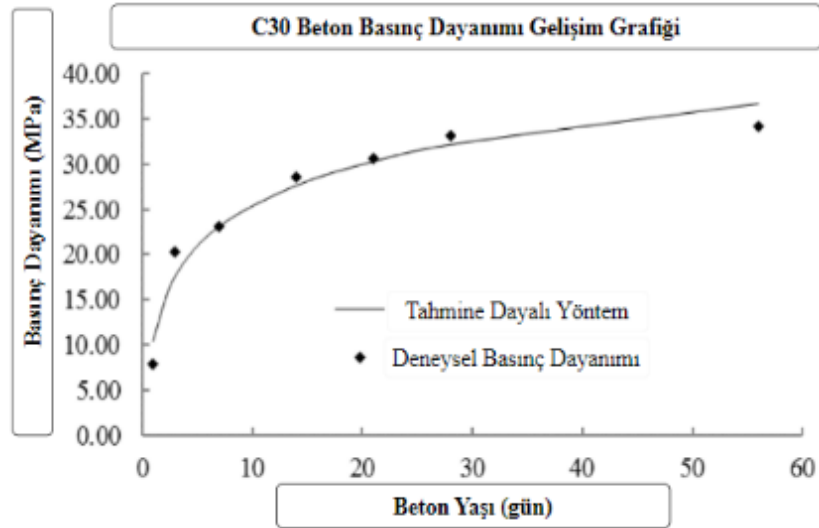
- **Yüzey Teması ve Nemliliği:** Verici ile malzeme arasında iyi bir kontak kurulmamışsa, yanlış bir titreşim hızının ölçülmesine neden olabilir. Sağlıklı ölçümler alınabilmesi için yağışlı havalarda ölçüm yapılmaması tavsiye edilir. Problemlerin temas ettikleri kısımda yani yüzeyde gözlenebilecek nemlilik durumunda sonuçların kesinliği şüphe içerir (Carino & Malhotra, 2004; Corbett, 2016).

Betonun ultrasonik dalga hızı yöntemiyle basınç dayanımı ve özelliklerinin incelenmesine ilişkin aşağıdaki standartlar referans olarak verilebilir;

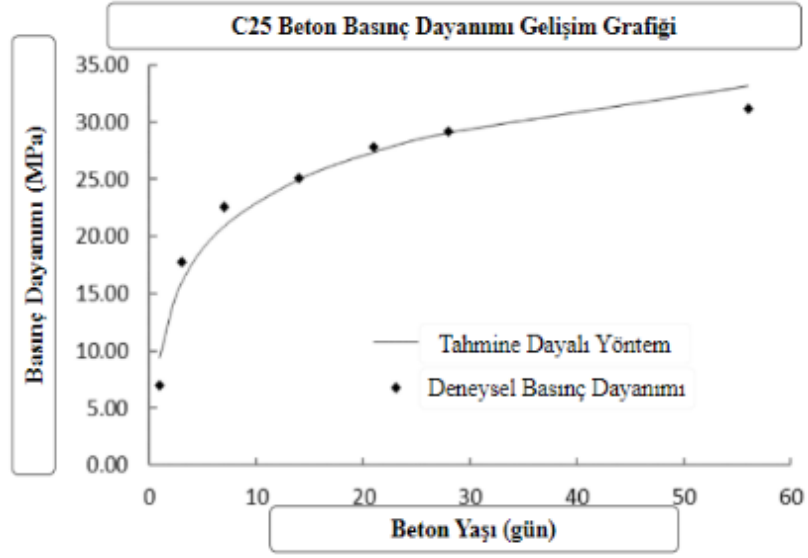
- ASTM C 597-02: Standard Test Method for Ultrasonic Pulse Velocity Through Concrete (ASTM C 597-02., 2002).
- BS EN 12504-4: Testing concrete in structures Determination of ultrasonic pulse velocity (BS EN 12504-4, 2004).
- IS 13311–1: Method of Non-destructive testing of concrete, Part 1: Ultrasonic pulse velocity (IS 13311-1, 1992).

1.4. Beton Basınç Dayanımı

Betonun kalitesi büyük ölçüde o betonun dayanımına göre değerlendirilir. Temel bir tanımlama yapmak istersek betonun, onu ezmek için ne kadar kuvvet gerektiği betonun basınç dayanımı olarak ifade edilebilir. Birçok mühendislik yapısının tasarımında önemlidir ve en temel unsurlardan biridir. Dayanım genellikle yapıdaki betonun kabulü veya reddi için temel teşkil eder. Şartnameler veya kodlar, yapının çeşitli bölümlerinde beton için gerekli olan dayanımı belirler. Dayanım numunelerinin gerekli değere ulaşmadığı durumlarda, betonun yerinde daha fazla test edilmesi genellikle belirtilir. Bu, yapıdan karotlar almayı veya betonun sertliğini ölçen bazı tahribatsız aletlerle test etmeyi içerebilir (A.B.E.S.C., 2016; Neville, 2015).



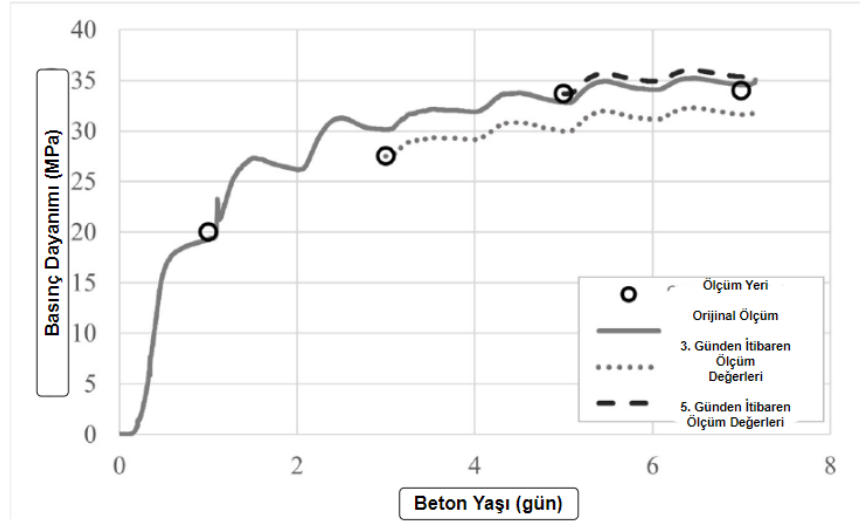
Şekil 21. C30 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)



Şekil 22. C25 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)

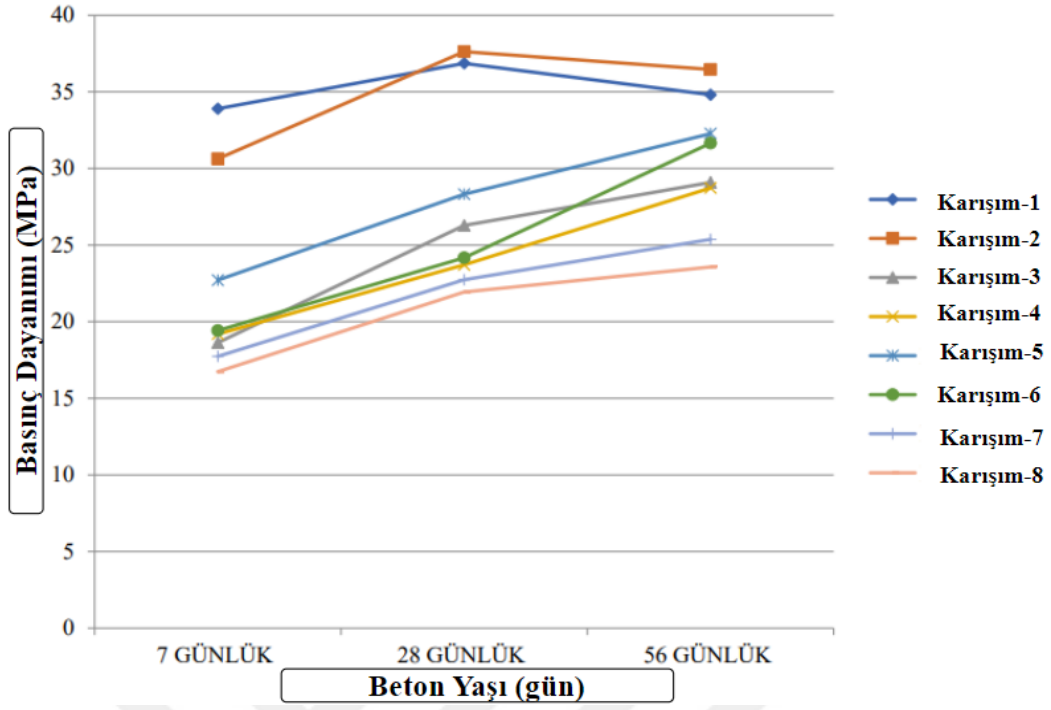
Tablo 8. Yapı türüne göre tasarımda genellikle tercih edilen beton basınç dayanım değerleri (Neville, 2015).

Dayanım Gereksinimleri	
İnşaat Türü veya Uygulama Yeri	Öngörülen Sınır Basınç Mukavemeti (yaklaşık)
Beton Dolgu-Grobeton	14 MPa'dan Küçük
Bodrum ve temel duvarları, Döşemeler, Yürüyüş Yolları	16-25 MPa Arası
Otoyollar, Garaj ve Endüstriyel Zemin Döşemeleri	20-30 MPa Arası
Betonarme kirişler, Döşemeler, Kolonlar ve Duvarlar	20-50 MPa Arası
Prekast ve Öngerilmeli Elemanlar	30-50 MPa Arası
Yüksek Yapılar (Yüksek Dayanım)	70-100 MPa Arası

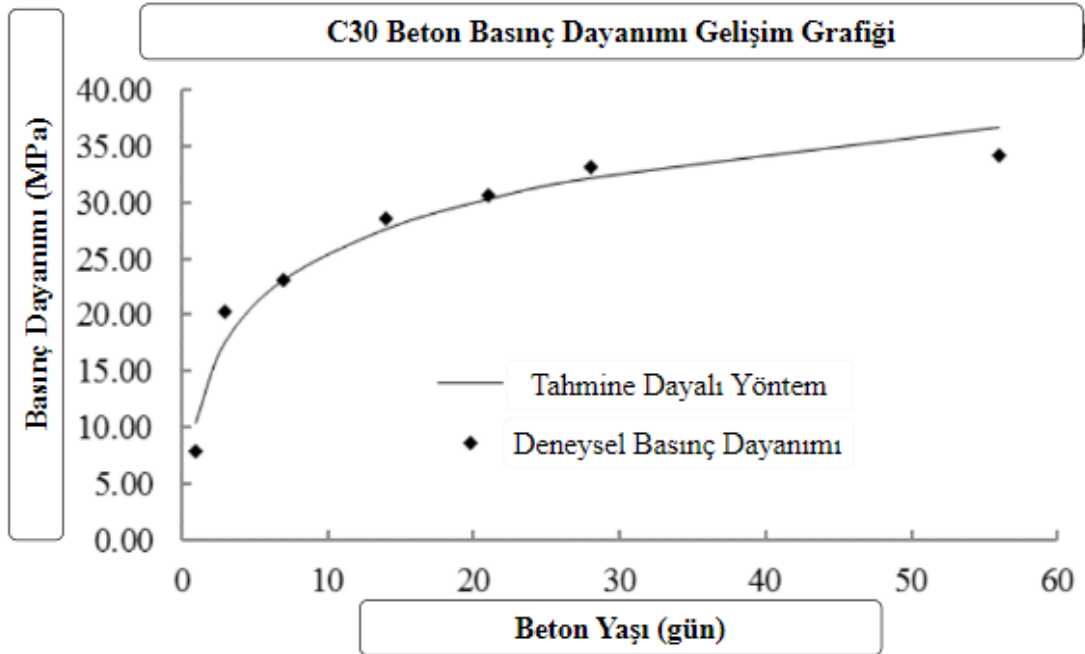


Şekil 23. Tahribatsız yöntemle basınç dayanımı gelişimi üzerine bir çalışma örneği (Kosar vd., 2023)

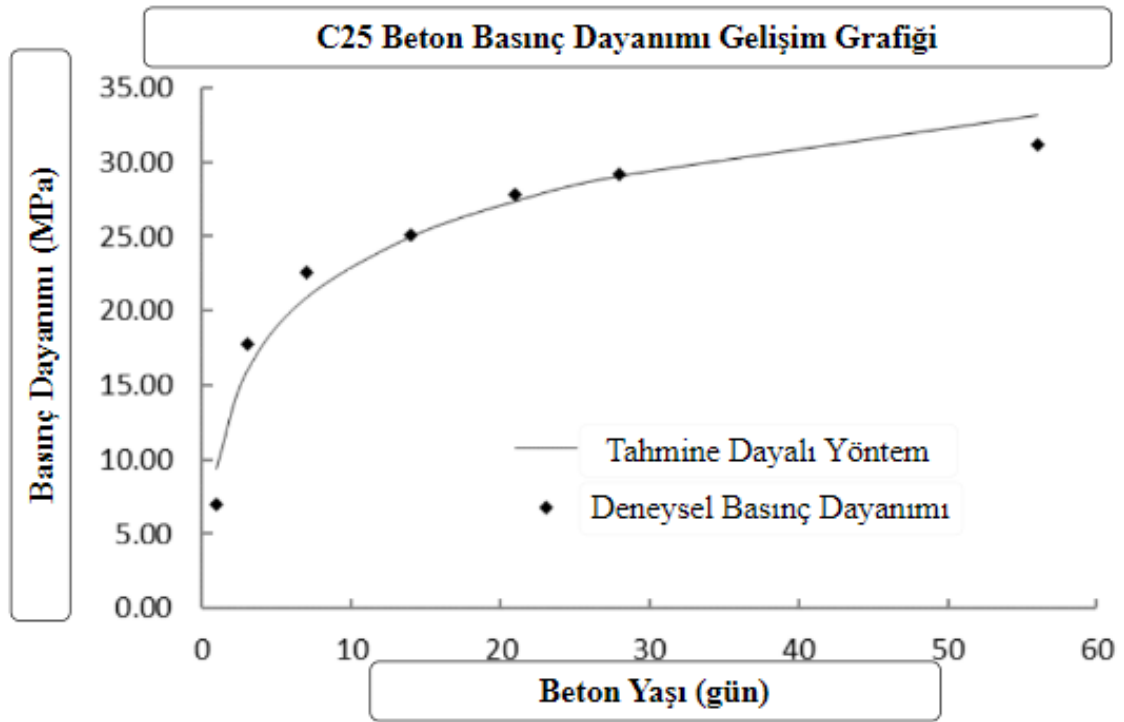
Yol kaplamaları veya diğer zemin üzeri kaplamalar için betonun kırılmadan önce bükülme sırasında ne kadar kuvvete dayanabileceği yani eğilme dayanımı kritik yüklemeler için genellikle ön plandadır (A.B.E.S.C., 2016). SSB yol kaplamalarında erken yaşlardan itibaren yük taşıyabilme kabiliyetinin gerekliliği ile genellikle 28 günlük günlük basınç dayanımları ile ilişkilendirilirler. Gerekli dayanım sağlanamadığı durumlarda SSB kaplamaların hizmet ömürleri kısılacaktır ve çatlaklar başta olmak üzere çökmeler, derz düzensizlikleri gibi birçok deformasyon meydana gelecektir.



Şekil 24. Bir çalışmaya ait karşılaştırmalı beton yaşına bağlı basınç dayanımı grafiği (Kuru, 2023)



Şekil 25. C30 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)



Şekil 26. C25 karakteristiğindeki beton için basınç dayanımı grafiği (Okafor & Ewa, 2016)

Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25 ve Şekil 26'daki grafikler beton basınç dayanımının yaşına bağlı olarak gelişimini örneklemektedir. Farklı tasarım sınıfına ait betonlarda basınç dayanımı gelişimi lineer gelişmeyebilir. Benzer şekilde aynı tasarım sınıfında betonlar aynı yaş için benzer basınç dayanım değerlerini vermeyebilir. Bunlarda yola çıkarak hazırlanan her karışım ve her uygulama için basınç dayanımı gelişimleri aynı olmayabilir. Her karışım kendine özgüdür ve kendisine özgü basınç dayanım eğrileri oluşturur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yöntem ve Materyal

Bu bölümde, Gümüşhane ili Organize Sanayi Bölgesi'nde SSB yol inşaatında beton basınç dayanımı gelişimi hususundaki çalışmalar hakkında bilgiler verilmektedir. Yapılan çalışmalar inşaatı yapılan sahanın farklı bölgelerinde gerçekleştirilmiş olup her bölgeye ait veriler kendi içerisinde yorumlanmıştır.

Tablo 9. Arazide kullanılan SSB karışım dizaynı

Malzemeler	SSB Beton		
Agrega			
Elek Çapı (mm)	Agrega Türü	kg	% Ağırlık
0-7	Doğal	530	
0-7	Kırma	550	45,06%
7-15	Mıcır	800	
15-25	Mıcır	100	37,55%
Çimento		300	12,52%
Su		117	4,87%
Toplam		2397	100%

Bu tez çalışmasında ilgili sahada 4 farklı bölümde çalışmalar yürütülmüştür. Her kaplama bölümünde ayrı derz bölgeleri arasında numaralandırılmıştır. Yapılan basınç dayanımı ölçümleri kaplama ortası, derz yakını ve derz üzeri olmak üzere üç farklı alt kısımda incelenmiştir. Çalışma boyunca sadece ultrasonik dalga hızı yöntemi yardımıyla basınç dayanımı verileri elde edilmiştir. Yapılan ölçümler beş farklı tarihte gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yapılan Saha Çalışmaları

Gümüşhane Organize Sanayi Bölgesi için planlanan SSB yol çalışmaları 21.09.2021 tarihinde başlamıştır ve 29.09.2021 tarihinde sona ermiştir. İlgili projenin yaklaşık uzunluğu 1700 m olup şerit genişliği 3 m ve enine derzler arası mesafe 4 m olarak teşkil edilmiştir. Proje için beton tasarım sınıfı idare tarafından C30/37 olarak seçilmiştir ve sahada uygulanmıştır. Tasarım kaplama kalınlığı 20 cm olarak belirlenmiştir. Bitişik şeritlerin

yapım tarihleri farklı olduklarından ve finişerin malzemenin serim açısından dolayı yol kaplaması boyunca 60° açıda soğuk derz oluşmuştur. Malzemenin seriminden sonra yapılan sıkıştırma sonucundan saha genelinde ortalama 18 cm kaplama kalınlığı ölçülmüştür.

Yapılan yol çalışmasının bazı bölümlerinin inşaatı farklı tarihlerde yapılmıştır. Bu durumun temel sebebi organize sanayi bölgesinde lojistik faaliyetlerin devam etmesidir. Nitekim SSB kaplama inşaatının tamamlanmasının ardından kısa sürede tekrar trafiğe açılmıştır ve aynı dönemde yine sulama ile kütleme çalışmaları tamamlanmıştır.



Şekil 27. Finişer ile beton malzemenin serilmesi

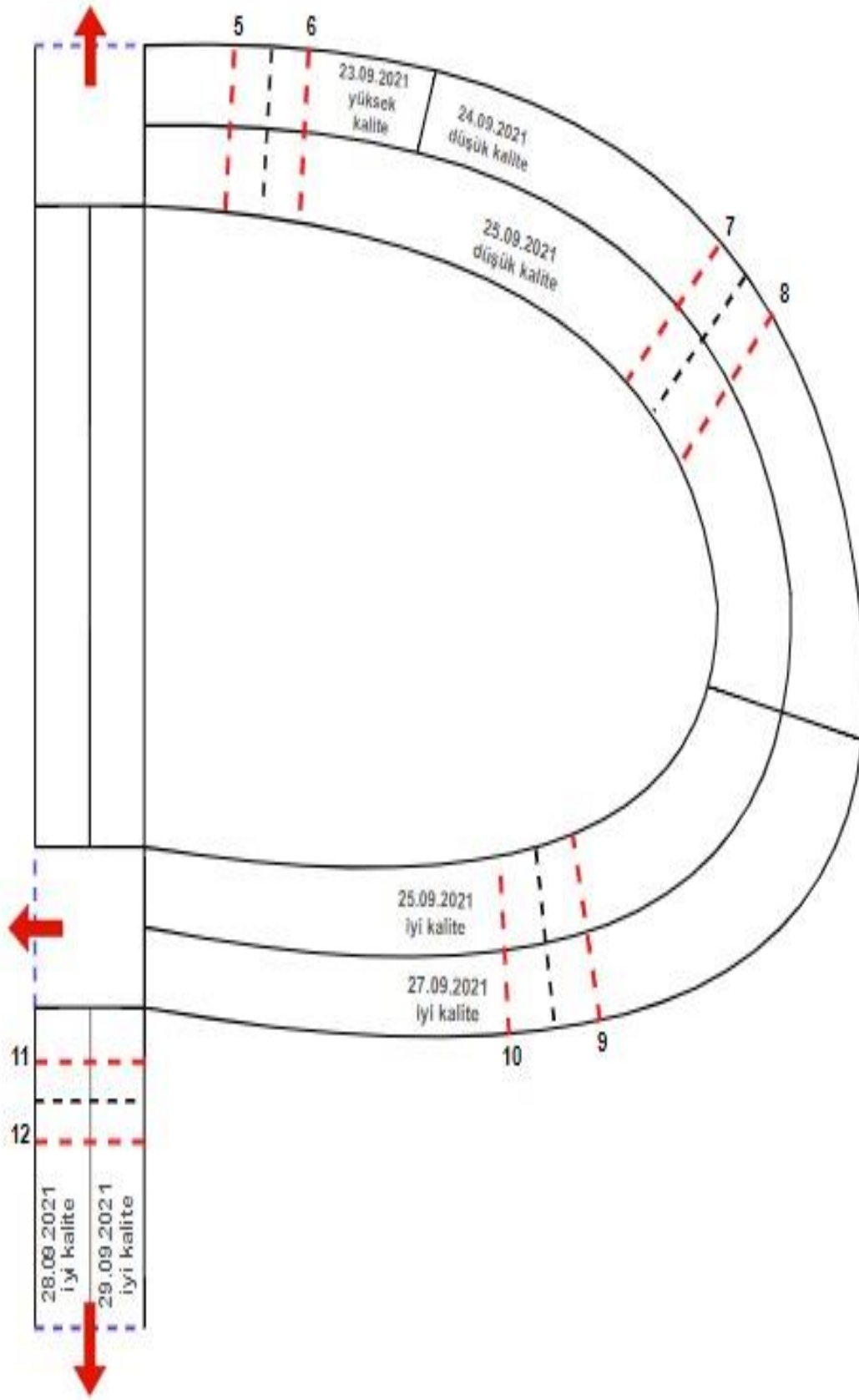


Şekil 28. SSB inşaatı öncesi ve sonrası

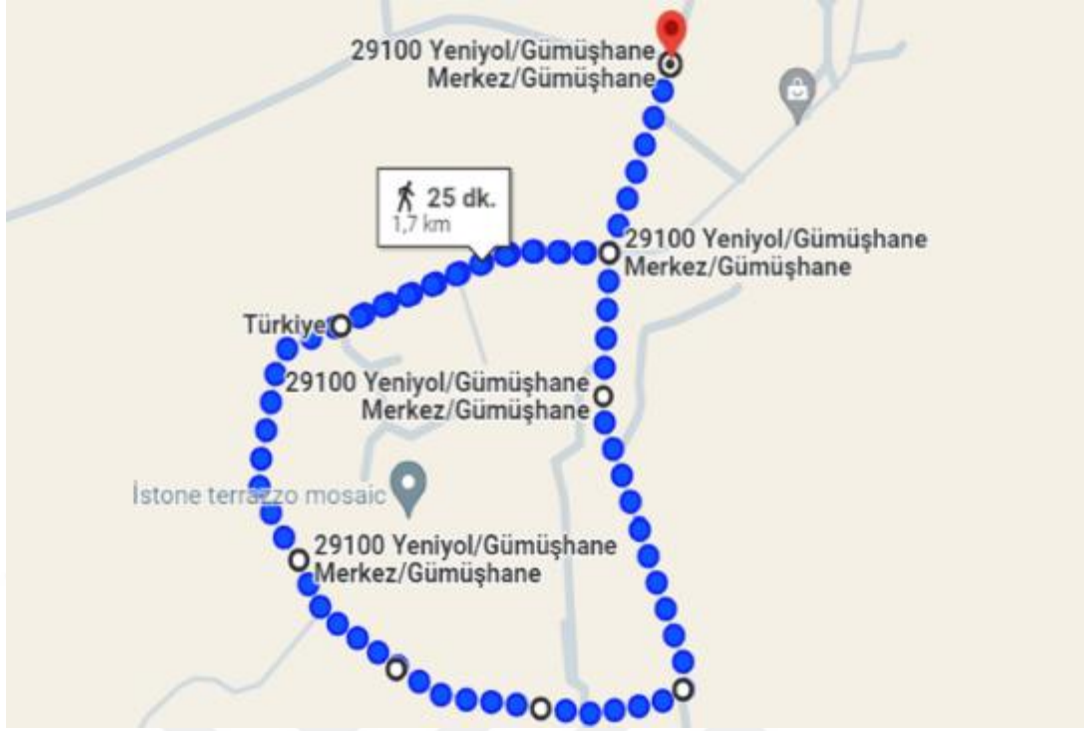


Çalışma sahasında basınç dayanımlarının daha geniş çerçevede gözlenebilmesi için enine derzler arasında kalan dört farklı bölge seçilmiştir. Şekil 30'da seçilen bölgelere ait enine derzler 5 ile 12 arasında numaralandırılmış olup inceleme yapılan bölgeler bu numaralandırmaya göre isimlendirilmiştir. SSB yol çalışmasının plan görüntüsü ve seçilen inceleme bölgeleri Şekil 30'da sunulmuştur.

Şekil 30'da saha çalışmasının belli kesimleri yüksek kalite, iyi kalite ve düşük kaliteli kaplama olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırılmıştır. İnşaat süreci sırasında finişer ile serim yapıldıktan sonra 10-15 dk arasında silindirle sıkıştırma işleminin yapılması planlanmıştır. Düşük kaliteli kaplamalarda, inşaat sırasında malzeme serimi sonrasında sıkıştırma işlemi gecikmiştir. Dolayısıyla bu kesimlerde kaplama yüzeyinin kolaylıkla aşındığı ve agregaların segregasyona uğradığı gözlenmiştir. İyi ve yüksek kaliteli kaplamalar için süreç ideale yakın bir şekilde ilerlemiştir. Segregasyon görülmeyen daha pürüzsüz bir kaplama yüzeyine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle yüksek kaliteli bölgeler danışmanlık altında uygulamanın yürütüldüğü deneme kesimleridir. Özetle SSB uygulamasının kalitesi için yapılacak ultrasonik ölçümler öncesinde sahada birebir gözlem ile de temel bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu durum özellikle ölçüm yapılacak bölgelerin seçiminde çeşitlilik sağlaması amacıyla kritik öneme sahip olmuştur.



Şekil 30. Çalışma yapılan bölgeye ait plan görüntüsü ve seçilen enine derz bölgeleri



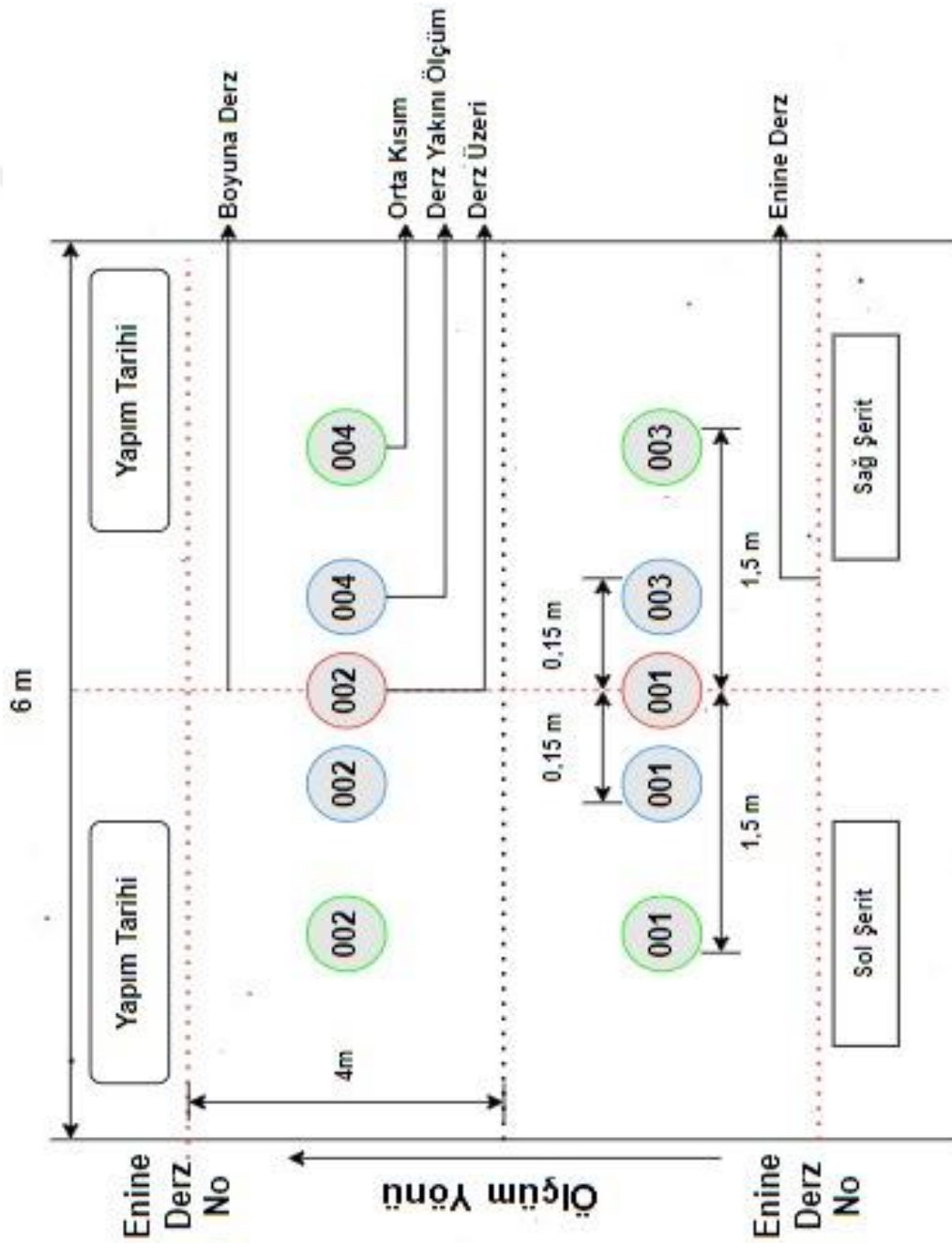
Şekil 31. Çalışma yapılan sahanın Google haritalardaki plan görüntüsü



Şekil 32. Sırasıyla düşük kalite ve yüksek kaliteye sahip kaplama yüzeyleri

Beton kaplamalarda derz bölgelerinin çatlak ve etrafta zayıf bölge oluşturabilme potansiyellerine sahip olduğu birçok çalışma tarafından ifade edilmiştir. (Mohammed vd., 2022; Bentz&Jensen, 2004; Pittman, 1996). İmalat kalitesi ile beraber derz çevresinde basınç dayanımının gelişiminin incelenmesi açısından çalışmalar boyunca derz çevresinde

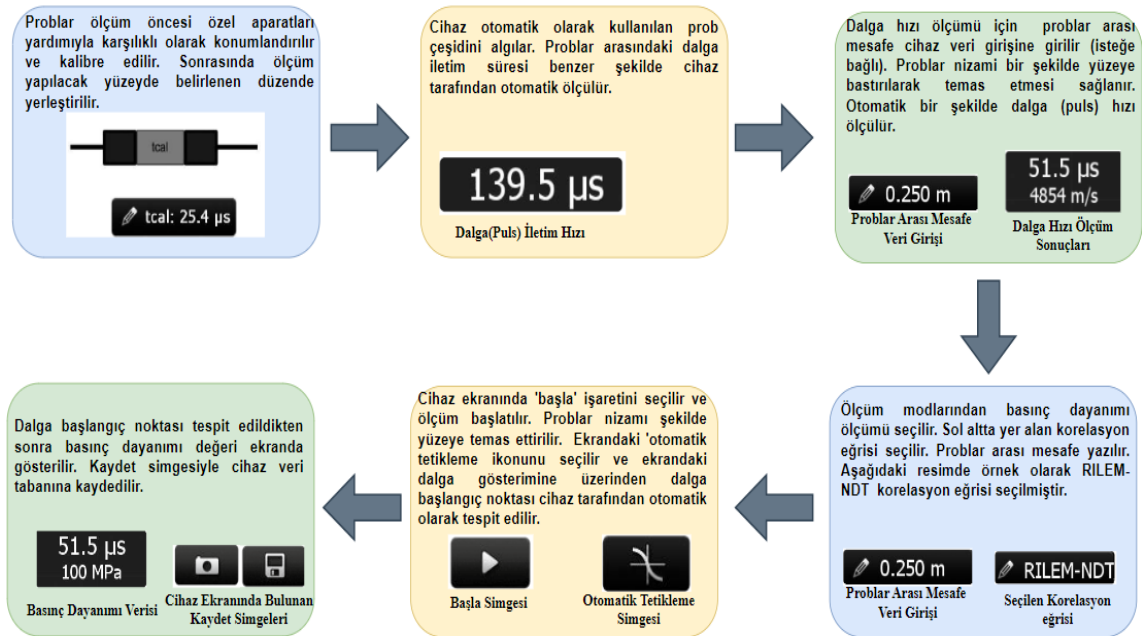
gerçekleşmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi; her ölçüm bölgesine ait boyuna derz üzeri, derz yakını ve kaplama ortası kısımlarında ölçümlerin alınmasına karar verilmiştir. Derz üzeri ölçümler iki şeridin birleşimi üzerinden alınmıştır. Derz yakını ölçümler boyuna derze 15 cm mesafede ve kaplama ortası ölçümleri ise boyuna derze 1,5 m mesafede alınmıştır. Her ölçüm bölgesi için derz üzeri 2, derz yakını ve kaplama ortası ölçümleri için 4 adet ölçüm olmak üzere toplamda 10 adet ölçüm yapılmıştır. Şekil 33'te kararlaştırılan ölçüm düzenine ait detaylar verilmiştir.



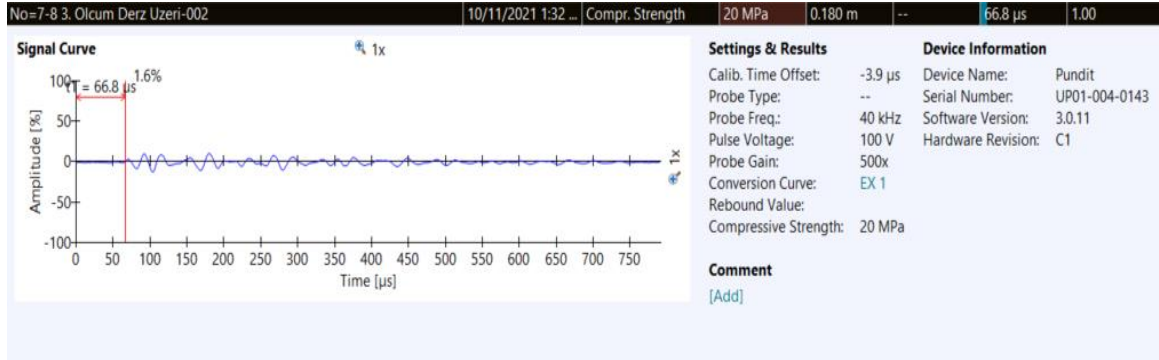
Şekil 33. Kaplama bölgelerinde uygulanmış şematik ölçüm düzeni

2.3. Basınç Dayanımı Verilerinin Elde Edilmesi

Ultrasonik ölçümler için üniversite bünyesinde bulunan Pundit PL200-PE cihazı kullanılmıştır. BS EN 12504-4 standardına uygun basınç dayanımı ölçümlerinin yapılabilmesi için gereksinimleri karşılayan bu tahribatsız ölçüm cihazı yazılımı ile benzer cihazlardan ayrılmaktadır. Yazılımını kullanarak basınç dayanımı ölçümünü ve diğer benzer fonksiyonları otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. Cihaz, basınç dayanımları ölçümlerinde dalga hızına bağlı basınç dayanımı değerleri için ilgili pek çok yönteme ait korelasyonları kendi yazılımı içerisinde paylaşmaktadır (S.E.T., 2013; BS EN 12504-4, 2004). Bazı korelasyonlar Schmidt çekici gibi diğer tahribatsız ve tahribatlı yöntemlerle ilgili de verilere gereksinim duyabildiğinden dolayı üretici firmanın önerdiği en temel sadece dalga hızına ve iletim süresine bağlı standart korelasyon eğrisi yani EX-1 tercih edilmiştir. Pundit PL200-PE cihazı ile yapılan basınç dayanımı ölçümlerine ilişkin uygulama prosedürü Şekil 34'te verilmiştir. Şekil 34'te görüleceği üzere yapılan tüm ölçümlere ait prob kalibrasyonu $3,9\mu s$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 34. Pundit PL-200PE cihazıyla basınç dayanımı verilerinin elde edilmesine ilişkin prosedür



Şekil 35. Problar arası iletilen dalgalar için örnek veri grafiği

Şekil 35’te verilen grafik basınç dayanımı ölçümleri sırasında problar arasındaki dalgaların hareketi için örnek olarak verilmiştir (Diğer bütün derz üzeri ölçümler ektedir). Basınç dayanımı ölçümlerinde iletilen dalganın genlik kazanmaya başladığı an problar arası iletimin tamamlandığını göstermektedir (Bu andan sonraki dalgalar basınç dayanımı hususunda göz ardı edilir). Bu durumda genlik kazandığı ana kadar geçen süre kritik zaman ($66.8 \mu s$) olarak değerlendirilmektedir. Cihaz yazılımı ile kendi içerisinde bu kritik zamana göre iletim hızını hesaplamış olup basınç dayanımı değerlerini sunmaktadır (Şekilde sağ tarafta 20 MPa olarak görülmektedir).

Çalışmanın özgün değerini arttırmak amacıyla 40 kHz frekans karakteristiğine sahip ‘Dry point contact probe’ (DPC) tercih edilmiştir. Bu problar ultrasonik testler için en güncel gelişmelerden biri olup beton ve kaya malzemeler için uygundur. Standart S dalgası problarına göre otomatik başlatıcı özelliğine sahiptir. Ölçüm uçlarında hem S dalgası hem de P dalgaları için parçalar bulunan modelleri de olup çalışmamızda kullanılan modeli sadece S dalgası ile ölçüm yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca DPC probları diğer problardan farklı olarak arazi koşullarına göre dizayn edilmişlerdir (Corbett,2016).



Şekil 36. Çalışmalarda kullanılan DPC porblarına ait görsel

Sahada kaplamadan basınç dayanımı ölçümleri alınırken her iki prob da kaplama yüzeyinde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yani dolaylı ölçüm düzeni kullanılmıştır. Dolaylı ultrasonik ölçümlerde ölçüm yapılan yüzeyde dış maddelerin bulunması ve yüzeyin pürüzlü olması problardan çıkan dalgaları bozabilmektedir. Dolayısıyla bu durum sonuçların güvenilirliği açısından risk oluşturmaktadır (Yaman vd., 2001). Ölçümlerin doğruluğunun etkilenmemesi için dolaylı ölçüme uygun prosedürler yerine getirilmiştir. Ölçüm öncesi yüzey temizlenmiş ve problemlerin kaplamaya temas ettiği noktada jel türevi malzeme kullanılarak ölçümler alınmıştır.



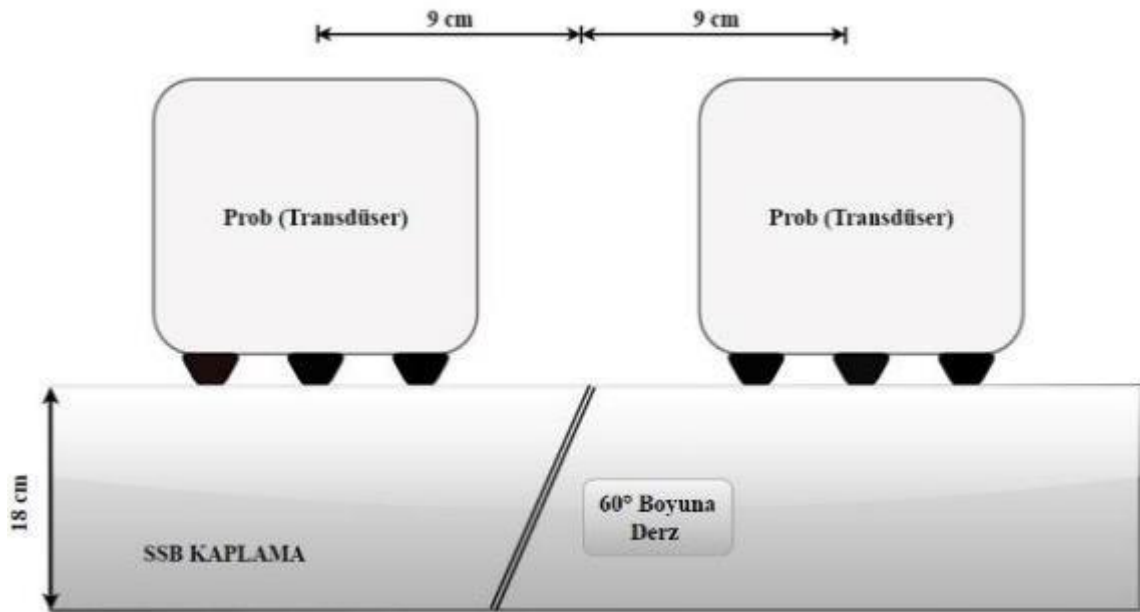
Şekil 37. Ölçüm öncesinde temizlenmiş ve prob temas yüzeyleri jel ile kaplanmış temas noktaları

Daha önce de bahsedildiği gibi yapılan ölçümler 5 farklı tarihte alınmış olup ilgili tarihlere ait hava sıcaklığı ve kaplamanın yüzey sıcaklığı ile ilgili veriler Tablo 10'da sunulmuştur. Ölçümlerin daha sağlıklı yapılabilmesi ve cihazın oluşturduğu dalga hızının etkilenmemesi amacıyla çalışmalar yağmur olmayan kuru havalarda gerçekleştirilmiştir (Corbett, 2016).

Tablo 10. Ölçüm yapılan tarihlere ait hava ve kaplama yüzey sıcaklığı değerleri

Ölçüm Numarası Ölçüm Tarihi	Hava Sıcaklığı (°C)	Kaplama Yüzey Sıcaklığı (°C)
1. Ölçüm 29.09.2021	22	17
2. Ölçüm 04.10.2021	17	13
3. Ölçüm 11.10.2021	16	10
4. Ölçüm 18.10.2021	20	11
5. Ölçüm 26.10.2021	12	10

Uygulama sahasında sıkıştırılmış beton kaplamanın kalınlığı 18 cm olduğundan dolayı kaplama yüzeyinde prob arası mesafe tercihen 18 cm olarak seçilmiştir. Kaplama üzerinde ölçüm alınacak her bir noktada ile prob aralarında 9 cm mesafe bırakılmıştır. Şekil 38’de prob yerleşim düzeni şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 38. Prob yerleşim düzenleri



Şekil 39. Boyuna derz üzerinde ölçüm alınması



Şekil 40. Boyuna derz üzerinde problemlerin yerleşimi



Şekil 41. Çalışma sahasında boyuna derz yakını ölçümlerinin yapılması



Şekil 42. Çalışma sahasında kaplama ortasından basınç dayanım ölçümlerinin alınması



Şekil 43. Elde edilen verilerin çalışma sahasında incelenmesi

Şekil 44. Derz 5 ile Derz 6 arası bölgeye ait ölçüm düzeni

3.1.1. Derz 5 ile Derz 6 Arası Sol Şerit

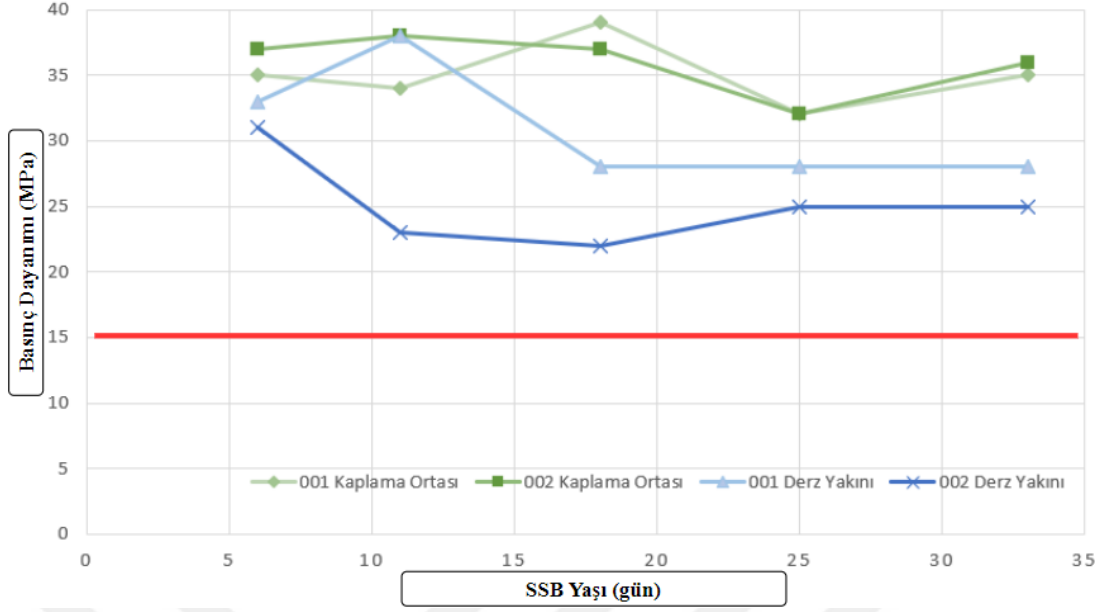
Şekil 30’da görüldüğü üzere 23.09.2021 yapım tarihli sol şerit segregasyon gözlenmeyen yüksek kaliteye sahip kaplama bölgesidir. Bu kısım danışmanlık altında inşaatını tamamlamıştır. Sıkıştırma, malzemenin seriminden yaklaşık 10 dakika sonra yapılmıştır. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 11 ve Tablo 12’de verilmiştir. Şekil 45’de bu verilere ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 11. Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:5-6 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 23.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	6	35	37
2. Ölçüm 4.10.2021	11	34	38
3. Ölçüm 11.10.2021	18	39	37
4. Ölçüm 18.10.2021	25	32	32
5. Ölçüm 26.10.2021	33	35	36

Tablo 12. Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:5-6 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 23.09.2021 DERZ YAKINI ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	6	33	31
2. Ölçüm 4.10.2021	11	38	23
3. Ölçüm 11.10.2021	18	28	22
4. Ölçüm 18.10.2021	25	28	25
5. Ölçüm 26.10.2021	33	28	25



Şekil 45. Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 13. Derz 5 ve Derz 6 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
001 Kaplama Ortası	$y = -0,095x^2 + 4,028x$	4,1
002 Kaplama Ortası	$y = -0,0987x^2 + 4,1519x$	4
001 Derz Yakını	$y = -0,0944x^2 + 3,7851x$	4,5
002 Derz Yakını	$y = -0,0652x^2 + 2,7915x$	6,3

Elde edilen basınç dayanımı verileri irdelendiğinde kaplama ortasından alınan basınç dayanım değerleri ilk ölçümden itibaren (beton yaşı 6 gün) C30 karakteristik basınç dayanımı değerini geçtiği %15-20 mertebesinde üzerinde olduğu görülmektedir. Boyuna derzin yakınından alınan ölçüm değerleri başlangıçta ilk ölçümlerde iniş ve çıkış göstermişlerdir. 001 derz yakını için son ölçümlerdeki basınç dayanım değeri karakteristik değere yakın olsa da her iki ölçüm yeri için son ölçüm basınç değerleri karakteristik basınç dayanım değerinin yaklaşık %10-15 mertebesinde altında kalmıştır. Bu durum için iki şerit birleşiminde oluşan soğuk derz ve buna bağlı olarak bu bölgelerde zayıflıklar oluşması sebep olarak gösterilebilir. SSB yol kaplamalarında kalitenin sağlanması için sıkıştırma büyük bir önem arz ettiği bilinmektedir (Harrington vd.,2010; Ali & Abbas, 2022). İki şerit birleşimlerinde yapılan sıkıştırmanın kaplama ortası bölgelerine kıyasla daha az oranda olması da derz yakını bölgelerinde elde edilen daha düşük basınç dayanımları için bir diğer sebep olarak ifade edilebiliriz.

Elde edilen zamana bağılı basınç dayanımı grafiği iniş ve çıkışlar gösterdiği için C30 tasarım dayanımına sahip beton malzemeye ait Şekil 21’de beklenen eğriden farklılık göstermektedir (Okafor & Ewa, 2016). Bu husustaki ilk yorum, SSB kaplamanın yüzey pürüzlülüğünün etkisidir. Daha önce bahsedildiği üzere yüzey pürüzlülüğü ultrasonik ölçümler için dezavantaj oluşturmaktadır (IS 13311–1, 1992). Bir diğer sebep ölçüm bölgelerindeki nem içeriğidir. Her ne kadar ölçüm yapılan günler havanın açık ve kuru olduğu günlerde yapılsa da ölçümlerin yapılmadığı günlerde yoğun yağışlar olmuştur. Su içeriğinin arttıkça problar arası iletilen dalgaların düzensizleşeceği bilinmektedir. Dolayısıyla yeni dökümü tamamlanmış SSB malzemesindeki artan nem miktarının ölçümleri etkileyebileceğinden söz edebiliriz (Kaplan, 1959). Son bir etken olarak yolun erken trafiğe açılması sonucunda SSB kaplamanın iç bölgelerinde çatlaklar ve mikro çatlaklar oluşma potansiyelinden bahsedilebilir. Basınç dayanımı verilerinde gözlenen düşüşler bu bağlamda da dikkate alınabilir.

Trafiğe açılma süreleri hesaplandığında kaplama ortası ölçümleri için ortalama 4 gün, derz yakını ölçümleri içinse ortalama 5.4 gün süre elde edilmiştir. Daha hızlı gelişim gösteren yüksek basınç mukavemetine sahip olan kısımda trafiğe açılma süresinin daha erken olması beklenen bir sonuçtur. Ancak bu bölge için derz yakını ölçümleri kaplamanın uzun hizmet ömrünü sağlayabilmesi ve çatlak oluşum potansiyelini en aza indirmesi açısından kaplama ortası ölçümlerine kıyasla daha kritik önem taşımaktadır. Kısacası, incelenen bölge için ideal trafiğe açılma süresi 5,4 gün olarak belirlenmiştir.

3.1.2. Derz 5 ile Derz 6 Arası Sağ Şerit

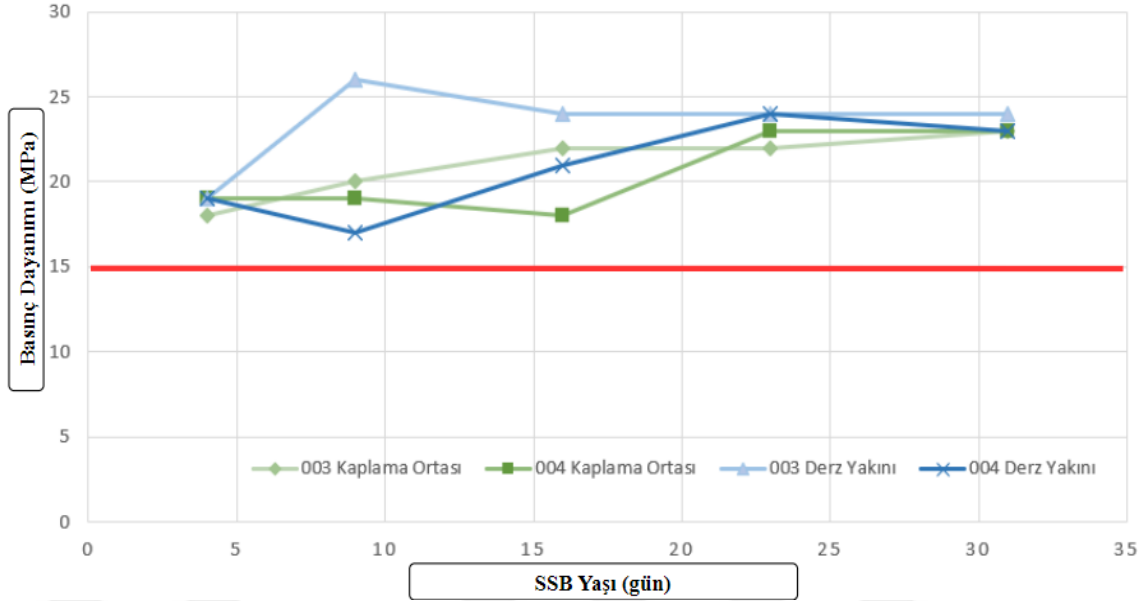
Şekil 30’da görüldüğü üzere 25.09.2021 yapım tarihli sağ şerit düşük kaliteye sahip kaplama bölgesidir. Bu kısmın inşaatında danışmanlık yapılmamıştır. Sıkıştırma, malzemenin seriminden yaklaşık 30 dakika sonra yapılmıştır. Sonucunda bu bölgede segregasyon ve agrega atmaları belirli ölçüde gözlenmiştir. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 14 ve Tablo 15’de verilmiştir. Şekil 46’da bu verilere ait zamana bağılı basınç dayanımı gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 14. Derz 5 ile Derz 6 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:5-6 SAĞ şERİT YAPIM TARİHİ: 25.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	4	18	19
2. Ölçüm 4.10.2021	9	20	19
3. Ölçüm 11.10.2021	16	22	18
4. Ölçüm 18.10.2021	23	22	23
5. Ölçüm 26.10.2021	31	23	23

Tablo 15. Derz 5 ile Derz 6 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:5-6 SAĞ şERİT YAPIM TARİHİ: 25.09.2021 DERZ YAKINI ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	4	19	19
2. Ölçüm 4.10.2021	9	26	17
3. Ölçüm 11.10.2021	16	24	21
4. Ölçüm 18.10.2021	23	24	24
5. Ölçüm 26.10.2021	31	24	23



Şekil 46. Derz 5 ile Derz 6 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 16. Derz 5 ve Derz 6 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
003 Kaplama Ortası	$y = -0,0596x^2 + 2,5031x$	7,2
004 Kaplama Ortası	$y = -0,0524x^2 + 2,2958x$	8
003 Derz Yakını	$y = -0,0738x^2 + 2,9565x$	6
004 Derz Yakını	$y = -0,0549x^2 + 2,388x$	7,6

Elde edilen değerlere bakıldığında hem kaplama ortası ölçümleri hem de derz yakını ölçümlerinin C30 karakteristik basınç dayanımına göre %30-40 mertebesinde daha düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Basınç dayanımı değerleri ve gelişim grafikleri hem kaplama ortası ölçümleri hem de derz yakını ölçümleri için yüksek oranda benzerlik göstermektedir. Bu kaplama bölgesinin genel düşük kaliteye sahip olması, kaplama ortası ölçümleri ile derz yakını ölçümleri arasındaki farklı beklenenin aksine azaltmıştır. Hatta erken yaştaki basınç dayanımı değerleri derz yakını ölçümleri için daha yüksek çıkmıştır. Yani kaplama bölgesinin genel olarak düşük kaliteye sahip olması soğuk derz etkisine kıyasla daha etkili olmuştur.

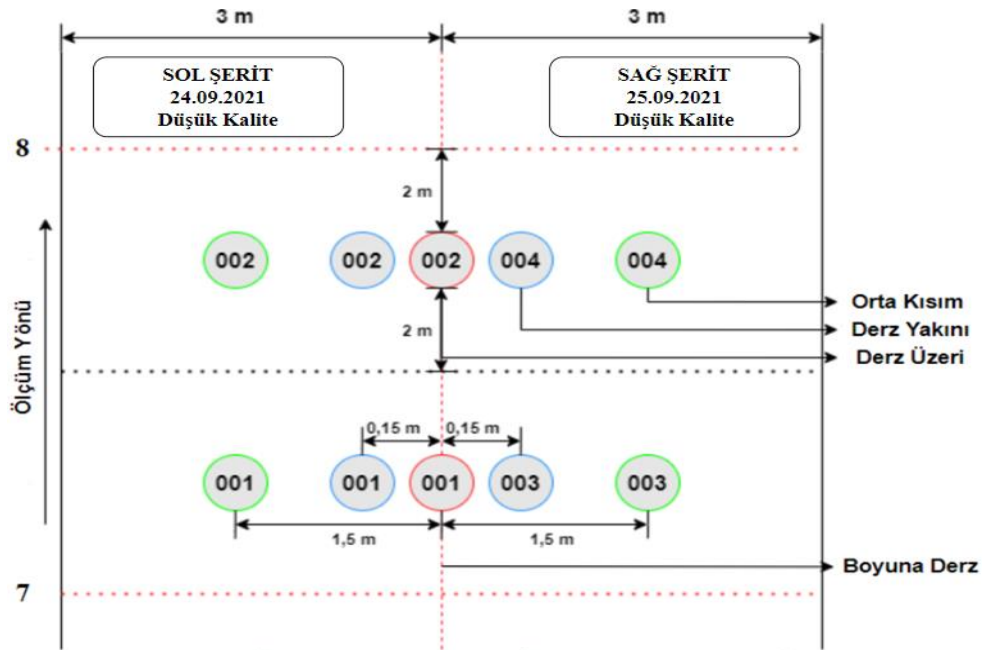
Zamana bağlı basınç dayanımı grafiği, için C30 tasarım dayanımına sahip beton malzemeye ait Şekil 21’de beklenen eğriye uymamaktadır (Okaför & Ewa, 2016). SSB yüzeyinin pürüzlü olması, yağmurlardan kaynaklanan malzemenin su içeriğinin artması ve

erken trafiğe açılması sebebiyle kaplama içerisinde mikro çatlakların oluşma potansiyeli bu hususta etkenler olarak sıralanabilir. Tüm bu etkenler ultrasonik dalgaların iletimini etkileyebilmektedir.

Trafiğe açılma süreleri hesaplandığında kaplama ortası ölçümleri için ortalama 7.6 gün, derz yakını ölçümleri içinse ortalama 6.8 gün süre elde edilmiştir. Bu kaplama bölgesinin genel olarak düşük kaliteye sahip olmasından dolayı sol şeridin aksine derz yakını ölçümler için trafiğe açılma süresi daha düşük elde edilmiştir. Kaplamanın uzun hizmet ömrünü sağlayabilmesi ve çatlak oluşum potansiyelini en aza indirmesi açısından kaplama ortası ölçümler, derz yakını ölçümlere kıyasla daha kritik bir öneme sahiptir. Soğuk derz etkisi göz önüne alındığında bu husus da beklenmeyen bir durumdur. Yani genel kaplama kalitesi soğuk derz etkisinin önüne geçmiştir. Bu kaplama bölgesi için trafiğe açılma süresi 7.6 gün olarak tavsiye edilebilir.

3.2. Derz 7 ile Derz 8 Arası Beton Basınç Dayanımı Değerleri

Derz 7 ve derz 8 arasında kalan bölgeye ait ölçüm düzeni Şekil 47’de görülmektedir. İki şeridin inşaatı bir gün aralıkla yapılmıştır. Sağ şerit, derz 5 ve derz 6 arasında kalan bölgenin devamını ihtiva etmektedir.



Şekil 47. Derz 7 ile Derz 8 Arası bölgeye ait ölçüm düzeni

3.2.1. Derz 7 ile Derz 8 Arası Sol Şerit

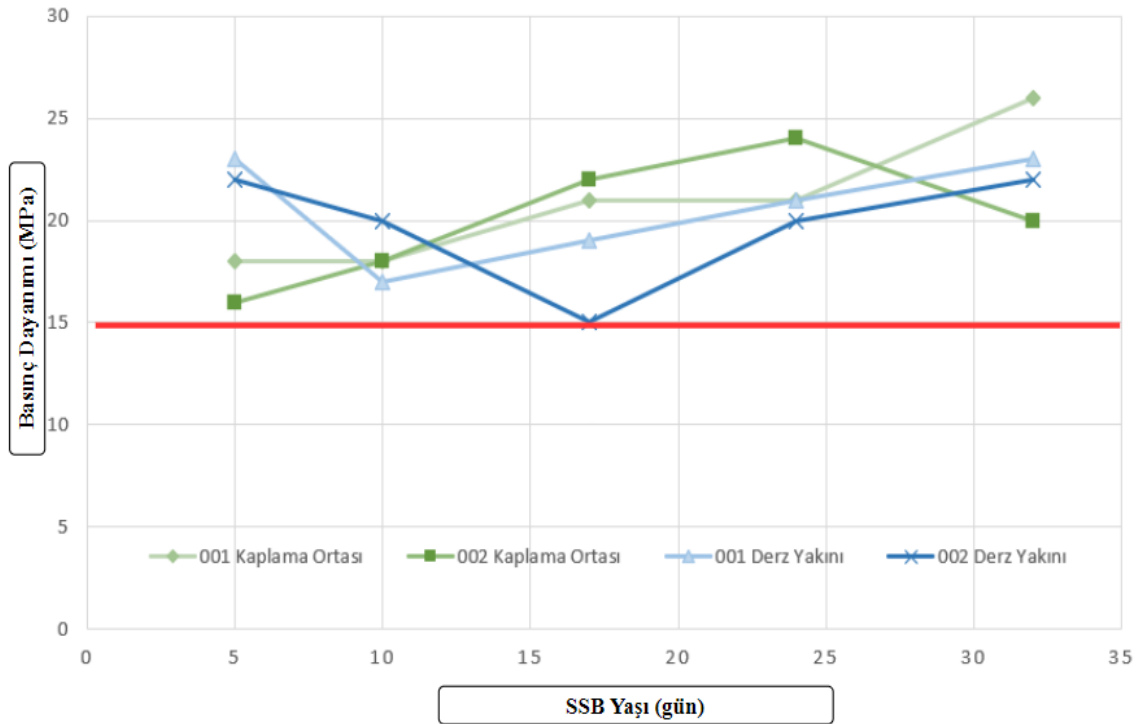
Şekil 30'da görüldüğü üzere sol şerit düşük kaliteye sahip kaplama bölgesidir. Bu kısımda danışmalık hizmeti verilmemiştir. Sıkıştırma işlemi operasyonel hatadan dolayı yaklaşık 30 dakika gecikmiştir. Ayrıca finişer çalışırken malzeme tedariği istenilen sürede ve sıklıkta gerçekleşmemiştir. Bu sebeplerden dolayı kaplama yüzeyinde yüksek derecede segregasyon gözlenmiş ve düşük kalitede kaplama oluşmuştur. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 17 ve Tablo 18'de verilmiştir. Şekil 48'de bu verilere ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 17. Derz 7 ile Derz 8 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:7-8 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 24.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	5	18	16
2. Ölçüm 4.10.2021	10	18	18
3. Ölçüm 11.10.2021	17	21	22
4. Ölçüm 18.10.2021	24	21	24
5. Ölçüm 26.10.2021	32	26	20

Tablo 18. Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:7-8 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 24.09.2021 DERZ YAKINI ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	5	23	22
2. Ölçüm 4.10.2021	10	17	20
3. Ölçüm 11.10.2021	17	19	15
4. Ölçüm 18.10.2021	24	21	20
5. Ölçüm 26.10.2021	32	23	22



Şekil 48. Derz 7 ile Derz 8 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 19. Derz 7 ve Derz 8 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
001 Kaplama Ortası	$y = -0,0429x^2 + 2,0968x$	8,7
002 Kaplama Ortası	$y = -0,0553x^2 + 2,3633x$	7,8
001 Derz Yakını	$y = -0,0492x^2 + 2,203x$	8,4
002 Derz Yakını	$y = -0,0481x^2 + 2,1259x$	8,8

Geciken sıkıştırma zamanının etkisi Şekil 48’de grafikte görülmektedir. Kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerde önemli derecede bir basınç dayanımı farkı görülmemektedir. Elde edilen basınç dayanımı değerleri malzemenin C30 karakteristik basınç dayanımı değerinden yaklaşık olarak %30-40 mertebesinde düşüktür. Kaplama ortasından alınan basınç dayanımı değerleri ile derz yakınından alınan değerler birbirine yakındır. Bu durum için bölgenin genel kalitesinin boyuna derz çevresinde oluşan soğuk derz etkisine kıyasla baskın olduğu yorumu yapılabilir.

Şekil 21’de sunulan zamana bağlı basınç dayanım gelişimi grafiği C30 tasarım karakteristiğine sahip malzeme için beklenen eğriye uymamaktadır. Yapım sürecinde malzemenin tedarik edilmesindeki sorun ve buna bağlı olarak kaplama bölgesinde boyuna derz haricinde de soğuk derzler oluşması sonucunda ultrasonik dalgaların iletimi düzensizleşebilir. Ayrıca yolun erken trafiğe açılması sonucunda bağlı olarak zamanla çatlak gelişiminin olması, yağmurlu havalardan kaynaklanan malzemede su içeriğinin artması ve kaplama yüzeyinin pürüzlü yapıda olması da ultrasonik dalgaların problar arasındaki iletimini düzensizleştirmektedir. Tüm bahsedilen etkenler ışığında elde edilen eğrideki basınç dayanımı değişimleri yorumlanabilir.

Trafiğe açılma süreleri kaplama ortası ölçümleri için ortalama 8.3 gün, derz yakını ölçümleri için ortalama 8.6 gün olarak hesap edilmiştir. Derz yakını için hesaplanan trafiğe açılma süresi beklendiği üzere kaplama ortası için hesaplanan süreye kıyasla daha uzun çıkmıştır. Ancak kaplama ortası ve derz yakını ölçümleri için hesaplanan süreler birbirine oldukça yakın olup nispeten uzun trafiğe açılma süreleridir. Yani yolun trafiğe açılması için genel kaplama kalitesinin düşük olması soğuk derz etkisinin önüne geçtiği söylenebilir. Bu bölge için trafiğe açılma süresi 8.3 gün olarak seçilmiştir.

3.2.2. Derz 7 ile Derz 8 Arası Sağ Şerit

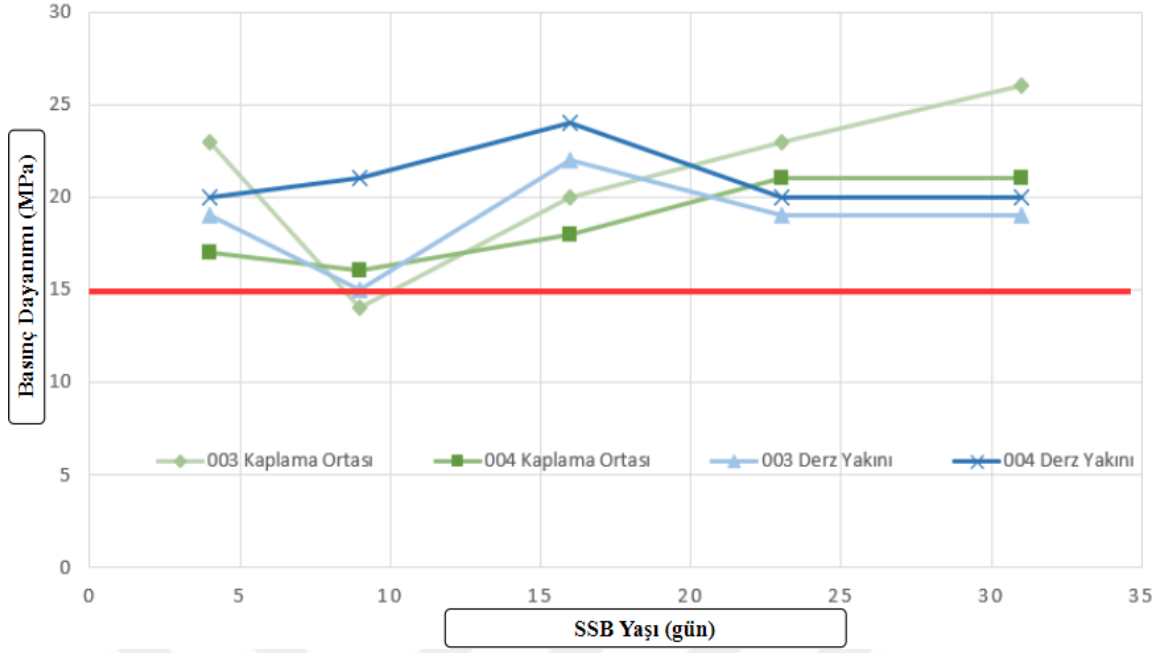
Şekil 30’da görüldüğü üzere 25.09.2021 yapım tarihli sağ şerit bölgesinde danışmanlık hizmeti verilmemiştir. Sıkıştırma, malzemenin seriminden yaklaşık 30 dakika sonra yapılmıştır. İnşaat sonrası yoğun derecede segregasyon gözlenmiştir ve buna bağlı olarak bölge düşük kaliteye sahiptir. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 20 ve Tablo 21’de verilmiştir. Şekil 49’da bu verilere ait zamana bağlı basınç dayanım gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 20. Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:7-8 SAĞ ŞERİT YAPIM TARİHİ: 25.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	4	23	17
2. Ölçüm 4.10.2021	9	14	16
3. Ölçüm 11.10.2021	16	20	18
4. Ölçüm 18.10.2021	23	23	21
5. Ölçüm 26.10.2021	31	26	21

Tablo 21. Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:7-8 SAĞ ŞERİT YAPIM TARİHİ: 25.09.2021 DERZ YAKINI ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	4	19	20
2. Ölçüm 4.10.2021	9	15	21
3. Ölçüm 11.10.2021	16	22	24
4. Ölçüm 18.10.2021	23	19	20
5. Ölçüm 26.10.2021	31	19	20



Şekil 49. Derz 7 ile Derz 8 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 22. Derz 7 ve Derz 8 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
003 Kaplama Ortası	$y = -0,0452x^2 + 2,1641x$	8,4
004 Kaplama Ortası	$y = -0,0479x^2 + 2,1044x$	9
003 Derz Yakını	$y = -0,0581x^2 + 2,3378x$	8
004 Derz Yakını	$y = -0,0717x^2 + 2,7621x$	6,5

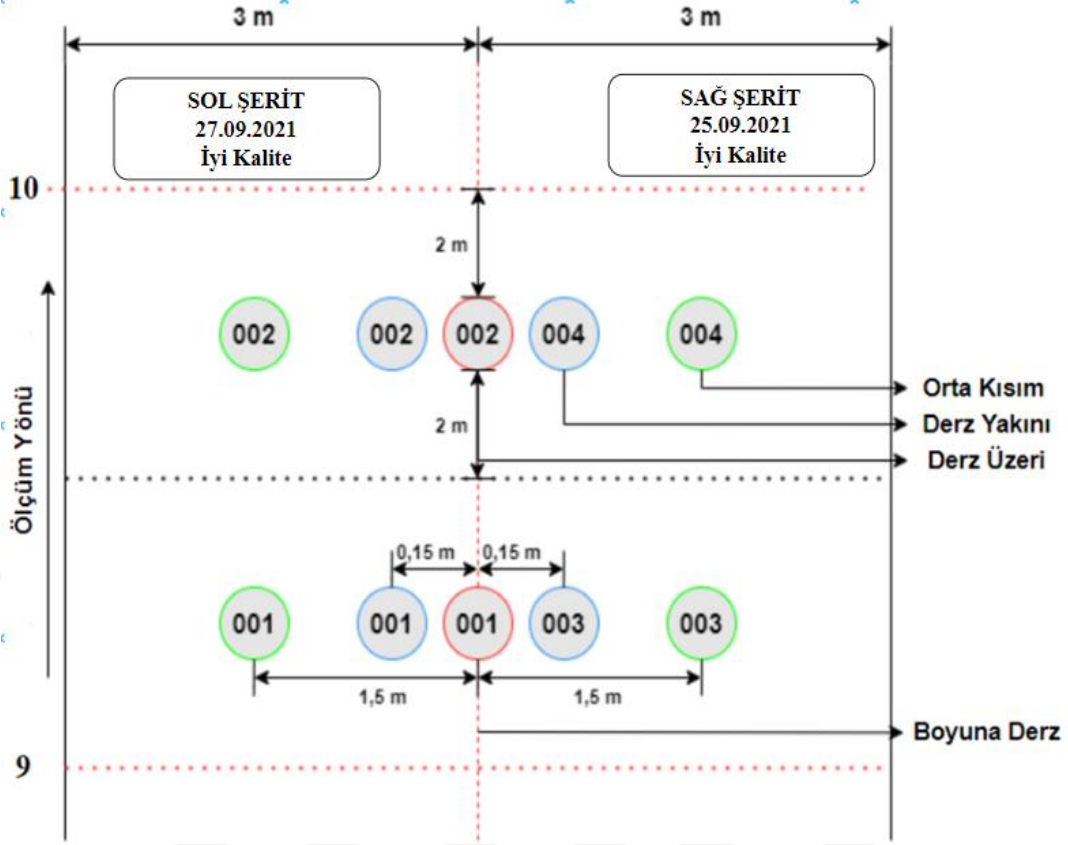
Elde edilen basınç dayanımı verileri sol şeritle büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Her iki şeride ait bölgenin benzer kalitede olduğunu göstermektedir. Hem kaplama ortası hem de derz yakını ölçümler 30 MPa basınç dayanımını sağlayamamıştır. Yaklaşık %35 mertebesinde daha düşük basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Soğuk derz etkisinden dolayı derz yakını verilerinin kaplama ortası verilerine kıyasla daha düşük basınç dayanım değerine sahip olması beklenir (Harrington vd., 2010; Ali & Abbas, 2022). Elde edilen grafikten görüleceği üzere basınç dayanımı değerleri genel olarak birbirine yakın seyreterse de son ölçümde kaplama ortasından alınan ölçümler daha yüksek veriler sunmuştur. Belirlenen sürede sıkıştırma yapılamaması, betonun basınç mukavemeti kazanma süresi boyunca, kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerinin bu derecede yakın seyretnemesine sebep olmuştur.

Şekil 21’de verilen grafikteki eğriler C30 beton dayanımına sahip malzeme için beklenen klasik eğriye benzememektedir. İnşaatı sırasında malzeme tedarikindeki aksamalar sonucu bölge bpyunca soğuk derzlerin oluşması, kaplama yüzeyinin pürüzlü olması, yağmurlardan dolayı kaplama malzemesinin su içeriğinin artması ve erken trafiğe açılması sonucunda mikro çatlakların görülmesi bu husustaki sebepler olarak sıralanabilir.

Trafiğe açılma süreleri hesaplandığında kaplama ortası ölçümleri için ortalama 8.7 gün, derz yakını ölçümleri içinse ortalama 7.3 gün süre elde edilmiştir. Elde edilen her iki süre de beklenenden daha uzun bir trafiğe açma süresi önermektedir Ayrıca derz yakınında yapılan ölçümler için daha az sürede trafiğe açılabilceği sonucu elde edilmiştir. Buna dayanarak kaplama ortasından alınan ölçümler elde edilen son basınç dayanımı değerlerinde daha iyi sonuç verse de erken yaş basınç dayanımı gelişiminde derz yakınında alınan ölçümlerin daha iyi sonuçlar verdiği yorumu yapılabilir. Derz yakınında yapılan ölçümlerin soğuk derz etkisinden dolayı kaplama ortasında yapılan ölçümlere kıyasla daha geç trafiğe açma süresi sunması beklenir. Ancak yapılan çalışmada tam tersi bir durumla karşılaşmıştır. Kplama bölgesinde sıkıştırma işleminin gecikmesi, soğuk derz etkisinin önüne geçmiştir. Çalışma yapılan bu bölge için 8.7 gün trafiğe açılma süresi olarak belirlenmiştir.

3.3. Derz 9 ile Derz 10 Arası Beton Basınç Dayanımı Değerleri

9 ve 10 numaralı enine derzler arasında kalan bölgeye ait ölçüm düzeni Şekil 50’de görülmektedir. Şeritlerin inşaatı gün aşırı tamamlanmıştır.



Şekil 50. Derz 9 ile Derz 10 arası bölgeye ait ölçüm düzeni

3.3.1. Derz 9 ile Derz 10 Arası Sol Şerit

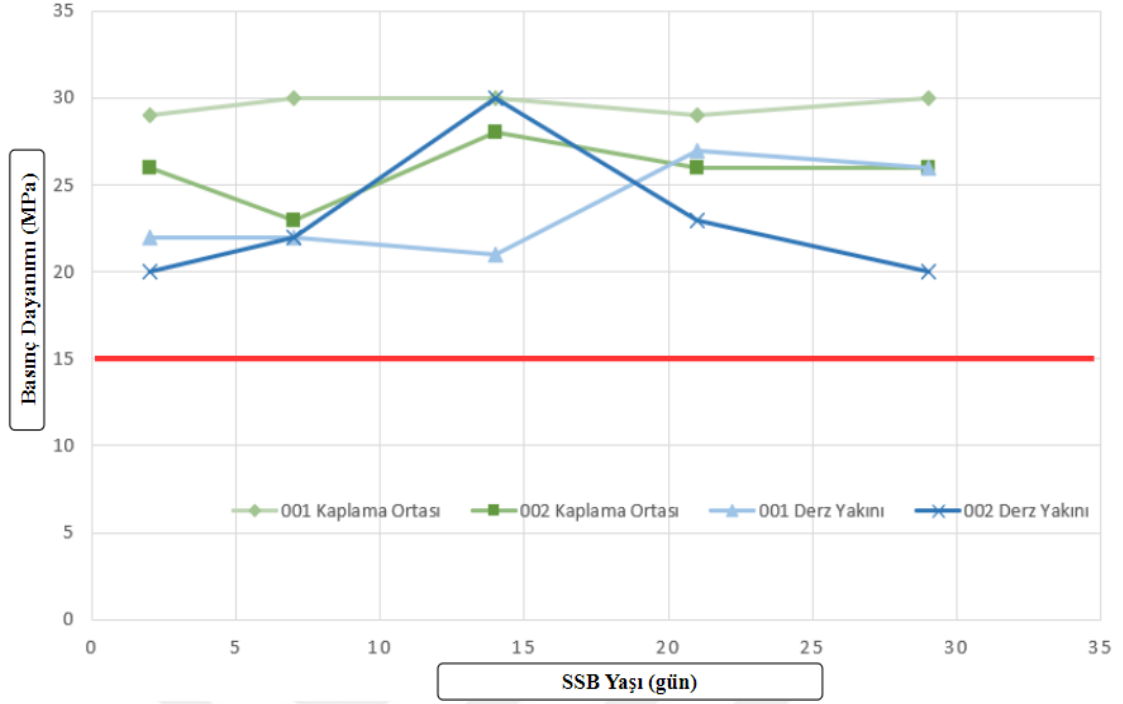
Şekil 30'da görüldüğü üzere 27.09.2021 tarihli sol şerit bölgesi iyi kaliteye sahip kaplama bölgesidir. Sıkıştırma işlemi planlanan şekilde yürütülmüştür. Finişer çalışırken malzeme tedariki problemi yaşanmamıştır. Kütleme sürecinde zaman zaman su tankeri sıkıntısı yaşansa da bu aşamada çok kritik bir gecikme yaşanmamıştır. İlgili bölgede segregasyon neredeyse yoktur. Bu bölge için danışmanlık hizmeti verilmemiştir. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 23 ve Tablo 24'te verilmiştir. Şekil 51'de bu verilere ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 23. Derz 9 ile Derz 10 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:9-10 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 27.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	2	29	26
2. Ölçüm 4.10.2021	7	30	23
3. Ölçüm 11.10.2021	14	30	28
4. Ölçüm 18.10.2021	21	29	26
5. Ölçüm 26.10.2021	29	30	26

Tablo 24. Derz 9 ile Derz 10 arası sol şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:9-10 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 27.09.2021 DERZ YAKINI ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	2	22	20
2. Ölçüm 4.10.2021	7	22	22
3. Ölçüm 11.10.2021	14	21	30
4. Ölçüm 18.10.2021	21	27	23
5. Ölçüm 26.10.2021	29	26	20



Şekil 51. Derz 9 ile Derz 10 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 25. Derz 9 ve Derz 10 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
001 Kaplama Ortası	$y = -0,1075x^2 + 3,9955x$	4,2
002 Kaplama Ortası	$y = -0,0934x^2 + 3,4866x$	5
001 Derz Yakını	$y = -0,0735x^2 + 2,9472x$	6
002 Derz Yakını	$y = -0,1029x^2 + 3,5662x$	4,9

Ölçüm değerleri irdelendiğinde kaplama ortasından alınan basınç dayanım değerlerinin erken yaşlardan (SSB yaşı 2 gün) itibaren C30 karakteristik basınç dayanımı değerine oldukça yakın bir şekilde ilerlediği görülmektedir. Beklendiği üzere kaplama ortasından alınan basınç dayanımı değerleri derz yakına ölçümlerine kıyasla daha yüksek basınç dayanımı değerleri sunmuştur. Boyuna derzin yakınından alınan ölçüm değerleri malzeme karakteristik basınç dayanımının oldukça altında oluğu ve gelişim sürecinde sürekli iniş çıkışlar yaşadığı görülmektedir. Bu kısımdaki basınç dayanımı değerleri C30 karakteristik basınç dayanımına ile karşılaştırıldığında yaklaşık %20-30 mertebesinde daha düşük basınç dayanımı değerleri sunmuştur.

Hem kaplama ortası ölçümler hem de derz yakınından elde edilen veriler inişler ve çıkışlar gösterdiğinden dolayı C30 beton için zamana bağlı basınç gelişim eğrisinden farklıdır. Kaplama yüzeyinin pürüzlü yapısı, yağmurlar sonucu SSB malzemenin bünyesinde su ihtiva etme potansiyeli ve erken trafiğe açılma sonucu ölçüm sürecinde gelişebilecek mikro çatlaklar bu konudaki sebepler olarak sıralanabilir. Yapılan çalışmalar saha koşullarında gerçekleşmiş olup ideal laboratuvar koşullarını yansıtmamaktadır.

Trafiğe açılma süreleri hesaplandığında kaplama ortası ölçümleri için ortalama 4.6 gün, derz yakını ölçümleri içinse ortalama 5.5 gün süre gerektiği elde edilmiştir. Kaplama ortası için daha erken trafiğe açılması süresinin elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Soğuk derz etkisi sebebiyle derz yakını ölçümler için daha uzun trafiğe açılma süresi gerekmektedir. Soğuk derzin zayıflık oluşturma potansiyeli göz önüne alındığında trafiğe açılma süresi tercihinde derz yakını ölçümlerin dikkate alınmasında fayda vardır. Bu kaplama bölgesi için 5.5 gün trafiğe açılma süresi olarak seçilmiştir.

3.3.2. Derz 9 ile Derz 10 Arası Sağ Şerit

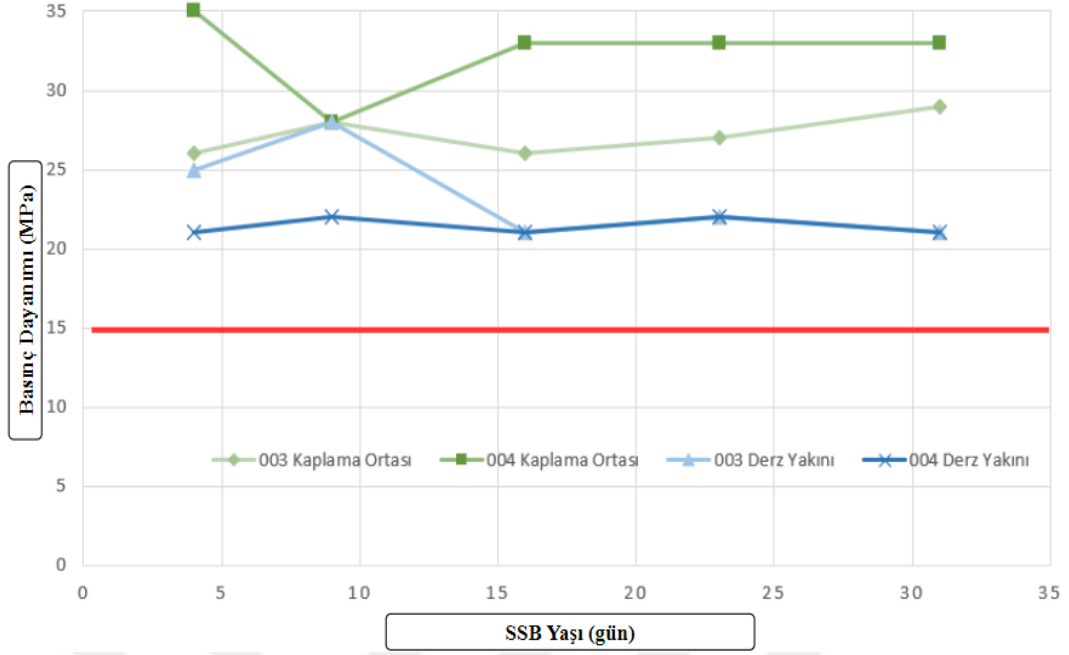
27.09.2021 yapım tarihli sol şeritte olduğu gibi sıkıştırma işleminde, malzeme tedarikinde sıkıntı yaşanmamış ve kütleme işlemini büyük ölçüde sıkıntısız geçmiştir. Segregasyon yok denecek düzeydedir ve az bir kısımda yüzeyde agrega atmaları görülmektedir. Bu bölge için danışmanlık hizmeti verilmemiştir. Şekil 30'dan da görüleceği gibi iyi kaliteye sahiptir. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 26 ve Tablo 27'de verilmiştir. Şekil 52'de bu verilere ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 26. Derz 9 ile Derz 10 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:9-10 SAĞ şERİT YAPIM TARİHİ: 25.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	4	26	35
2. Ölçüm 4.10.2021	9	28	28
3. Ölçüm 11.10.2021	16	26	33
4. Ölçüm 18.10.2021	23	27	33
5. Ölçüm 26.10.2021	31	29	33

Tablo 27. Derz 9 ile Derz 10 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:9-10 SAĞ şERİT YAPIM TARİHİ: 25.09.2021 DERZ YAKINI ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	4	25	21
2. Ölçüm 4.10.2021	9	28	22
3. Ölçüm 11.10.2021	16	21	21
4. Ölçüm 18.10.2021	23	22	22
5. Ölçüm 26.10.2021	31	21	21



Şekil 52. Derz 9 ile Derz 10 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 28. Derz 9 ve Derz 10 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
003 Kaplama Ortası	$y = -0,0797x^2 + 3,2696x$	5,3
004 Kaplama Ortası	$y = -0,097x^2 + 3,9314x$	4,3
003 Derz Yakını	$y = -0,0828x^2 + 3,1069x$	5,7
004 Derz Yakını	$y = -0,0684x^2 + 2,7009x$	6,7

Sol şeritte olduğu gibi alınan ölçüm değerleri incelendiğinde kaplama ortasından alınan basınç dayanım değerlerinin erken yaşlardan itibaren karakteristik basınç dayanımı değerine yakın düzey olduğu görülmektedir. 004 numaralı kaplama ortası ölçüm yeri 2. ölçüm haricinde malzemenin karakteristik basınç dayanımından düşük değildir. Hatta yaklaşık 3 MPa yüksek değer vermektedir. Boyuna derzin yakınından alınan ölçüm değerleri C30 karakteristik basınç dayanımından yaklaşık %30 mertebesinde daha düşük olup malzeme karakteristik basınç dayanımının oldukça altındadır. Bu durum için soğuk derz etkisinden söz edebiliriz.

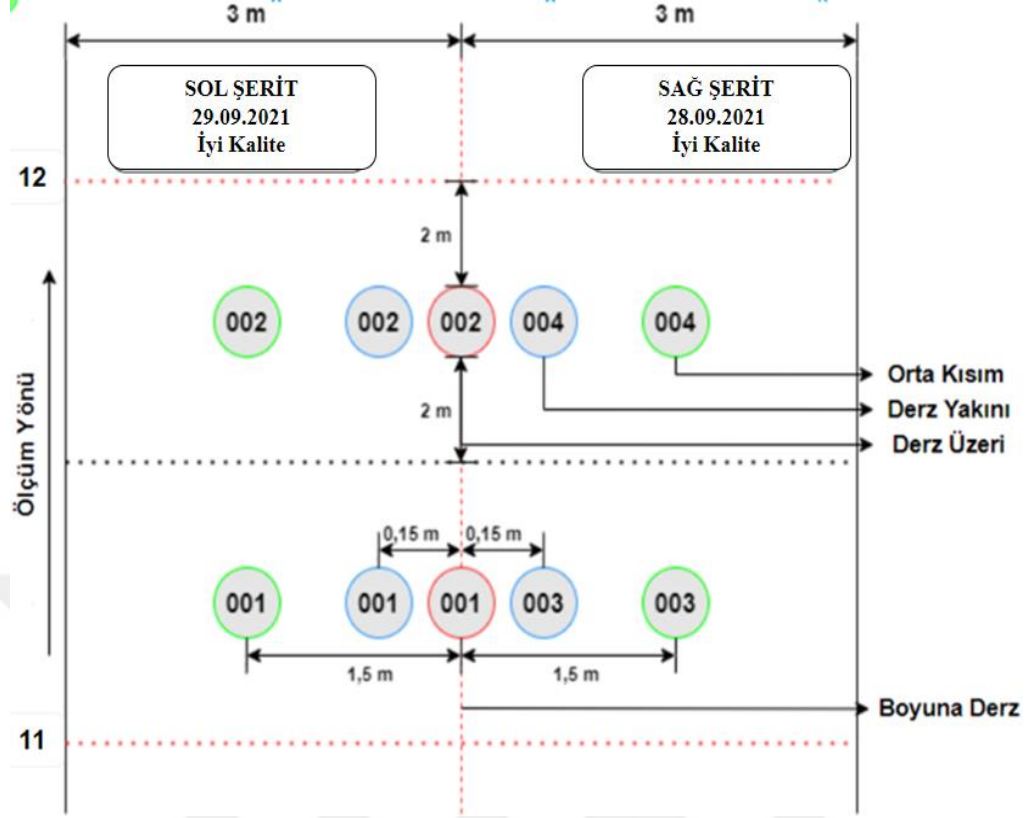
Hem kaplama ortası ölçümler hem de derz yakınından elde edilen veriler inişler ve çıkışlar gösterdiğinden dolayı C30 beton için zamana bağlı basınç gelişim eğrisinden farklıdır. Kaplama yüzeyinin pürüzlü yapısı, yağmurlar sonucu SSB malzemenin

bünyesinde su ihtiva etme potansiyeli ve erken trafiğe açılma sonucu ölçüm sürecinde gelişebilecek mikro çatlaklar bu konudaki sebepler olarak sıralanabilir. Yapılan çalışmalar saha koşullarında gerçekleşmiş olup idealleştirilmiş koşulları yansıtmamaktadır.

Tablo 28 incelendiğinde kaplama ortası ölçümler için ideal trafiğe açılma süresi 4.8 gün, derz yakını ölçümleri için 6.2 gün olarak hesaplanmıştır. Kaplama ortasında elde edilen kıyasla daha yüksek basınç dayanımı değerleri ve buna bağlı daha erken trafiğe açılması için imkan sunması beklenen bir durumdur. Benzer şekilde derz yakını ölçümlerin soğuk derz etkisiyle daha geç trafiğe açılma koşulunu sağlamaktadır. Soğuk derz etkisinin zayıflık oluşturabilme ve çatlak oluşmasına zemin hazırlayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla bu kısım için trafiğe açılması süresi 6.2 gün olarak tercih edilmelidir.

3.4. Derz 11 ile Derz 12 Arası Beton Basınç Dayanımı Değerleri

Derz 7 ve derz 8 arasında kalan bölgeye ait ölçüm düzeni Şekil 53’de görülmektedir. İki şeridin inşaatı bir gün aralıkla yapılmıştır. Ölçüm cihazı 10 MPa altındaki basınç değerlerini dikkate almamakta ve 0 MPa sonucunu sunmaktadır. Yapılan ilk ölçüm sol şerit için beton basınç dayanımı sıkıştırma işleminin bitiminde 1.5 saat sonra alınmıştır. Bu durumda sol şeritte SSB’nin neredeyse yaş kıvamında olmasından dolayı cihaz 0 MPa değeri vermiştir. Benzer şekilde ilk ölçümün yapıldığı tarihte sağ şeritte SSB yaşı 1 gündür. Benzer şekilde ölçüm cihazı yine 0 MPa değerini vermiştir. Bu durumun gerçek basınç dayanım değerini yansıtmadığından Şekil 54 ve Şekil 55’de verilen grafiklerde ilk ölçümde alınan 0 MPa basınç dayanımı değeri gösterilmemiş olup trafiğe açılma süresi için kullanılan denklemlerde de dikkate alınmamıştır.



Şekil 53. Derz 11 ile Derz 12 arası bölgeye ait ölçüm düzeni

3.4.1. Derz 11 ile Derz 12 Arası Sol Şerit

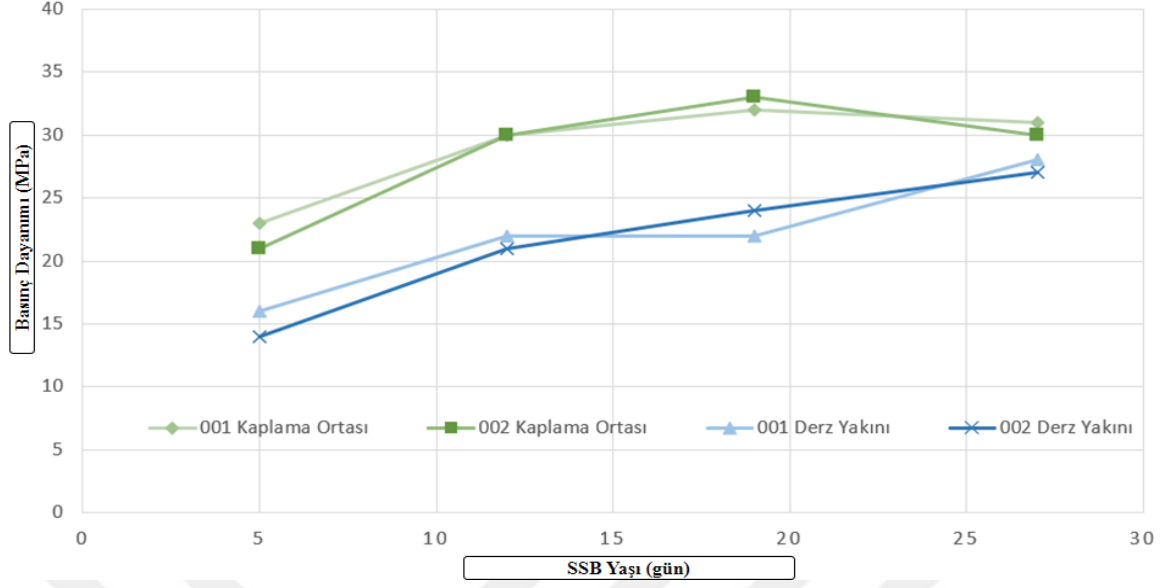
Şekil 30'da görüldüğü üzere 29.09.2021 yapım tarihli sol şerit bölgesi iyi kaliteye sahip kaplama bölgesidir. Malzeme tedariki, sıkıştırma işlemleri ve kütleme çalışmalarında herhangi bir aksaklık yaşanmamıştır. Sıkıştırma işlemi malzeme seriminden sonra yaklaşık 15 dakika sonra yapılmıştır. Bu kısım için danışmanlık hizmeti verilmiştir. Segregasyon neredeyse yoktur. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 29 ve Tablo 30'da verilmiştir. Şekil 54'te bu verilere ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 29. Derz 11 ile Derz 12 arası sol şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:11-12 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 29.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	0	0	0
2. Ölçüm 4.10.2021	5	23	21
3. Ölçüm 11.10.2021	12	30	30
4. Ölçüm 18.10.2021	19	32	33
5. Ölçüm 26.10.2021	27	31	30

Tablo 30. Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:11-12 SOL ŞERİT YAPIM TARİHİ: 29.09.2021 DERZ YAKINI ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	0	0	0
2. Ölçüm 4.10.2021	5	16	14
3. Ölçüm 11.10.2021	12	22	21
4. Ölçüm 18.10.2021	19	22	24
5. Ölçüm 26.10.2021	27	28	27



Şekil 54. Derz 11 ile Derz 12 arası sol şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 31. Derz 11 ve Derz 12 arası sol şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
001 Kaplama Ortası	$y = -0,0997x^2 + 3,7728x$	4,5
002 Kaplama Ortası	$y = -0,0999x^2 + 3,7648x$	4,5
001 Derz Yakını	$y = -0,0542x^2 + 2,4278x$	7,4
002 Derz Yakını	$y = -0,0531x^2 + 2,3942x$	7,5

Kaplama ortasından alınan basınç dayanımı değerleri SSB yaşı 12. güne ulaştığından itibaren C30 tasarım basınç dayanımı değerini yakalamıştır. Ancak derz yakınından alınan basınç dayanımı değerleri süreç boyunca bu kriteri sağlayamamıştır. Derz yakınından alınan ölçümlerin kaplama ortasından alınan ölçümlere kıyasla %30 mertebesinde daha düşük değerler sunduğu görülmektedir. Bu durum derz yakını ölçümlerin soğuk derzden etkilenmesi ile yorumlanabilir.

Zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği C30 beton için beklenen eğri ile benzerlik göstermektedir. Bu durum sahada yapılan çalışmanın idealleştirilmiş laboratuvar koşullarında elde edilen verilere benzerlik gösterdiğini işaret etmektedir. Kaplama yüzeyinin pürüzlü olması, erken trafiğe açılmasına bağlı mikro çatlakların oluşma potansiyeli ve hava şartlarından kaynaklanan malzeme su içeriğinin değişmesinin bu kısımda daha az etkili olduğu yorumu yapılabilir.

Tablo 31 incelendiğinde kaplama ortası ölçümler için ideal trafiğe açılma süresi 4.5 gün, derz yakını ölçümleri için 7.5 gün olarak hesaplanmıştır. Daha hızlı gelişim gösteren yüksek basınç mukavemetine sahip olan kısımda trafiğe açılma süresinin daha erken olması beklenen bir sonuçtur. Ancak bu bölge için derz yakını ölçümleri kaplamanın uzun hizmet ömrünü sağlayabilmesi ve çatlak oluşum potansiyelini en aza indirmesi açısından kaplama ortası ölçümlerine kıyasla daha kritik önem taşımaktadır. İncelenen bu bölge için trafiğe açılma süresi 7.5 gün olarak tavsiye edilebilir.

3.4.2. Derz 11 ile Derz 12 Arası Sağ Şerit

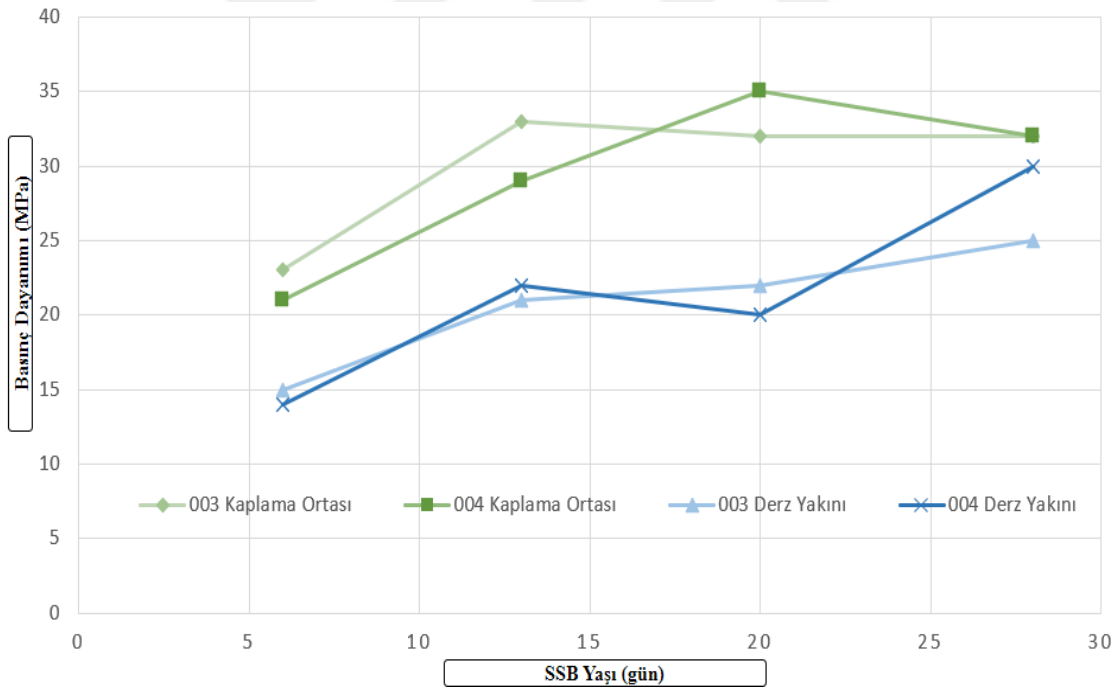
Şekil 30'da görüldüğü üzere 29.09.2021 yapım tarihli sağ şerit bölgesi iyi kaliteye sahip kaplama bölgesidir. Sol şeritteki inşaat sürecine benzer şekilde sıkıştırma, malzeme tedarigi ve kürlenme çalışmalarında aksaklık yaşanmamıştır. Malzemenin serilmesinin ardından yaklaşık 15 dakika sonra sıkıştırma yapılmıştır. Danışmanlık hizmeti bu bölge için de verilmiştir. İlgili kısma ait kaplama ortası ve derz yakını ölçümlerine ait basınç dayanımı değerleri sırasıyla Tablo 32 ve Tablo 33'de verilmiştir. Şekil 55'te bu verilere ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi grafiği sunulmuştur.

Tablo 32. Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait kaplama ortası SSB basınç dayanımları

NO:11-12 SAĞ ŞERİT YAPIM TARİHİ: 28.09.2021 ORTA KISIM ÖLÇÜMLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	1	0	0
2. Ölçüm 4.10.2021	6	23	21
3. Ölçüm 11.10.2021	13	33	29
4. Ölçüm 18.10.2021	20	32	35
5. Ölçüm 26.10.2021	28	32	32

Tablo 33. Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait derz yakını SSB basınç dayanımları

NO:11-12 SAĞ ŞERİT YAPIM TARİHİ: 28.09.2021 DERZ YAKINI TARİHLERİ			
Ölçüm Tarihi	Beton Yaşı (gün)	Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçüm Yeri	
		003	004
1. Ölçüm 29.09.2021	1	0	0
2. Ölçüm 4.10.2021	6	15	14
3. Ölçüm 11.10.2021	13	21	22
4. Ölçüm 18.10.2021	20	22	20
5. Ölçüm 26.10.2021	28	25	30



Şekil 55. Derz 11 ile Derz 12 arası sağ şeride ait zamana bağlı basınç dayanımı gelişim grafiği

Tablo 34. Derz 11 ve Derz 12 arası sağ şeride ait trafiğe açılma süresinin belirlenmesi

Konumu	Basınç Mukavemeti Fonksiyonu	15 MPa Değerine Karşılık Gelen SSB Yaşı (gün)
003 Kaplama Ortası	$y = -0,0935x^2 + 3,692x$	4,6
004 Kaplama Ortası	$y = -0,0826x^2 + 3,4369x$	5
003 Derz Yakını	$y = -0,0503x^2 + 2,2533x$	8,1
004 Derz Yakını	$y = -0,0352x^2 + 1,9789x$	9

Kaplama ortasından alınan basınç dayanımı değerleri yaklaşık 13. günde karakteristik basınç dayanım değerini sağlayabilmiştir. Derz yakınından alınan ölçümlerin kaplama ortasından alınan ölçümlere kıyasla %30 -40 mertebesinde daha düşük değerler sunduğu görülmektedir. Bu durumun derz yakını ölçümlerin soğuk derz etkisi sonucu ortaya çıktığı söylenebilir.

Zamana bağlı basınç dayanımı eğrisi C30 beton için ön görülen eğri ile benzerlik taşımaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, erken trafiğin açılması sonucu oluşması beklenen mikro çatlaklar ve malzeme su içeriğinin değişme potansiyeli bu kısım için daha az etki ettiği söylenebilir. Verilen grafik elde edilen verilerin laboratuvar şartlarına benzer sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Kaplama ortası ölçümler için ideal trafiğe açılma süresi 4.8 gün, derz yakını ölçümleri için 8.6 gün olarak hesaplanmıştır. Beklendiği üzere kaplama ortası ölçümleri erken yaşta daha yüksek basınç dayanımı değerleri sunmuş ve buna bağlı olarak derz yakını ölçümlere kıyasla daha erken trafiğe açılma süresi elde edilmiştir. Ancak derz yakını ölçümler kaplamanın hizmet ömrü için daha kritik önem taşımaktadır. Trafiğe açılma süresi 8.6 gün olarak belirlenir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada SSB yol kaplamasının farklı özelliklere sahip bölgelerinde zamana bağlı basınç dayanımı verileri tahribatsız ultrasonik dalga hızı yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen veriler zamana bağlı basınç dayanımı eğrileri ve trafiğe açılma süresi çerçevesinde incelenmiştir. Buna göre;

- Literatürde SSB yol kaplamasının trafiğe açılabilmesi için 13.8-17.2 MPa arasında basınç dayanımına sahip olması tavsiye edilmiştir (Harrington vd., 2010). Yolun trafiğe açılması için en nemli faktör erken yaşta kazanılan basınç dayanımıdır. Erken yaşlardan itibaren (3-4 gün) 15 MPa basınç mukavemetini sağlayan bölgeler daha erken (4-6 gün) trafiğe açılabilir. Bununla birlikte çalışma sahasında SSB sıkıştırmasından 2-3 saat sonra açıldığında kaplamada herhangi bir deformasyon ve çatlak gözlemlenmemiştir. Bu anlamda yolun trafiğe açılması için minimum 3-4 günlük süre yerine 2-3 saatin yeterli olacağı, 15 MPa' dan daha düşük değerlerden basınç mukavemetinin hedeflenebileceği tespit edilmiştir.
- Şeritlerin birleştiği boyuna derz bölgeleri soğuk derz oluşumuna sebep olmakta ve bu bölgeler kaplamanın orta kısımlarına kıyasla iyi sıkıştırılamamaktadır. Buna bağlı olarak sıkıştırmanın ideal sürelerde yapıldığı bölgelerde boyuna derz yakınından alınan basınç dayanımı verileri kaplama ortasından alınan basınç dayanımı verilerine kıyasla daha düşük sonuçlar (%20-%30) vermiştir.
- Literatürde malzemenin serilmesinden sonra sıkıştırma işlemi için bir saatlik süre tanınmaktadır (Harrington vd., 2010). Yapılan bu çalışma kapsamında malzeme serilmesinden sonra 10-15 dk. içerisinde yapılan sıkıştırma işleminin basınç mukavemeti değerleri açısından en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Sıkıştırma işleminin 20-30 dk. sonrasına kaldığı durumlarda basınç mukavemetinde düşüşlere (%30-%40) rastlanmış ve önemli ölçüde yüzeysel segregasyonlar görülmüştür.
- Zamana bağlı basınç dayanımı eğrilerinden iniş ve çıkışlar ile karşılaşmıştır. Beklenmeyen bu durum daha çok ultrasonik dalga hızı yönteminin sahip olduğu hassasiyetler sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem malzemenin basınç dayanımı gelişimiyle ilgili genel çerçevede mantıklı ve tutarlı veriler gösterse de daha kesin veriler için başka yöntemler ile kombine edilmesine ihtiyaç duymaktadır.

- Danışmanlık yapılmayan bölgelerde daha düşük kalitede SSB yol kaplaması ile karşılaşılmasıdır. Ülkemizde SSB yol kaplamaları konusunda tecrübeli firmaların veya ekiplerin sayıca az olduğu göz önüne alındığında uzman kişilerden alınacak danışmanlık hizmetleri yapılacak projelerin kalitesini arttıracaktır.



5. ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışma çerçevesinde, SSB yol kaplamaları konusunda çalışmalar yapmak isteyen araştırmacılara yönelik öneriler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Ultrasonik dalga hızı yönteminin ihtiva ettiği hassasiyetler sahadan alınan birebir ölçümleri etkilemiştir. Sahadaki ideal olmayan koşullar (yüzey pürüzlülüğü, mikro çatlaklar, malzeme yüzeyindeki ve içerisindeki nem miktarı) göz önüne alındığında yapılan ultrasonik ölçümlerin tahribatlı veya tahribatsız diğer yöntemler ile desteklenmesi faydalı olacaktır.
- Bu çalışmada boyuna derz çevrelerindeki basınç mukavemeti değerlerinin kaplama ortasından alınan değerlere kıyasla düşük çıkması sonucunda ilerleyen dönemlerde çatlak oluşturacağı düşünülmektedir. Bu anlamda boyuna derz bölgelerinde basınç mukavemetini arttıracak sıkıştırma tekniklerinin geliştirilmesin gerekli olduğu görülmüştür.
- Ülkemizde geçmiş dönemlerde asfalt kaplamaların sıklıkla tercih edilmesinden dolayı SSB gibi rijit kaplamaların inşaatı hususunda tecrübe kazanmış firmaların ve teknik elemanların sayısı azdır. Gelecekte yüksek kalitede SSB yol kaplamalarının yapılması ve kullanım oranlarının yükselmesi için uzmanlaşmış kişilerin artması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- A.B.E.S.C. (2016). The Boral Book of Concrete.
- Aastroem, T. (2008, October). From fifteen to two hundred NDT methods in fifty years. In 17th World Conference on Nondestructive Testing (pp. 25-28).
- ACI 207.5R-11. (2011). Report on Roller Compacted Mass Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, USA, 71.
- ACI Committee 116R, (2000). Cement and Concrete Terminology (ACI 214R-11), ACI manual of concrete practice. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Ağar, E., Taşdemir, Y., (2007). “Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar”, Türkiye Hazır Beton Birliği. web-sitesi, <http://www.thbb.org>
- Anwer, A. & Zena, A., (2022). Roller compacted concrete: Literature review. Journal of Engineering. 28. 65-83. 10.31026/j.eng.2022.06.06.
- ASTM C 1383-15. (2022). Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method. ASTM International.
- ASTM C 597-02. (2002). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM International.
- ASTM Standard C 1074 – 04. (2009). Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM International.
- ASTM Standard C 1150 – 96. (2002). Standard Test Method for the Break-Off Number of Concrete. ASTM International.
- ASTM Standard C 805. (2019). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. ASTM International.
- ASTM Standard C 900-13a. (2013). Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete. ASTM International.
- ASTM Standard D 4541 – 09e1. (2009). Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. ASTM International.
- ASTM, C 803-02. (2003). Penetration Resistance of Hardened Concrete. ASTM International.
- ASTM, C 803-02. (2009). Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens. ASTM International.

- ASTM, E1316-22a. (2023). Standard terminology for nondestructive examinations. ASTM International.
- Bentz, D. P., & Jensen, O. M. (2004). Mitigation strategies for autogenous shrinkage cracking. *Cement and Concrete Composites*, 26(6), 677-685.
- Bingöl, Ş. (2013). Beton basınç dayanımının birleştirilmiş tahribatsız yöntemlerle belirlenmesi (Master's thesis, Gümüşhane Üniversitesi).
- Brotman, I., Crist, M., & Gaul, J. (2007). Roller compacted concrete pavement: properties, design, and construction. In *Soil and material inputs for mechanistic-empirical pavement design* (pp. 1-10). ----
- BS EN 12504-4, (2004). Testing concrete. Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity.
- Bungey, J. H. (1984). The influence of reinforcement on ultrasonic pulse velocity testing. *Special Publication*, 82, 229-246.
- Burns, C. D., & Saucier, K. L. (1978, March). Vibratory Compaction Study of Zero-Slump Concrete. In *Journal Proceedings* (Vol. 75, No. 3, pp. 86-90).
- Buyukozturk, O., (1998), Imaging of Concrete Structures, *NDT & E International*, 233-243.
- Carino, N. J., & Malhotra, V. M. (Eds.). (2004). *Handbook on nondestructive testing of concrete*. CRC press.
- Choi, Y. K., & Hansen, K. D. (2005). RCC/Soil-cement: What's the difference?. *Journal of materials in civil engineering*, 17(4), 371-378.
- Chu, S. H., & Kwan, A. K. H. (2018). A new method for pull out test of reinforcing bars in plain and fibre reinforced concrete. *Engineering Structures*, 164, 82-91.
- Corbett, D. (2016, June). Advances in ultrasonic testing - Research into the application of dry point contact transducers. 19th World Conference on Non-Destructive Testing (WCNDT 2016), Munich.
- Delatte, N., Amer, N., & Storey, C. (2003). Improved management of RCC pavement technology. *UTCAReport*, 1231, 54.
- Engineers, U. A. C. O. (2000). Roller-compacted concrete. EM 1110-2-2006, Department of the Army, Washington, DC 15 January.
- Erdoğan, T. Y., (2010), Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Garber, S., Rasmussen, R. O., & Harrington, D. (2011). Guide to cementbased integrated pavement solutions. Technical report, Institute for Transportation Iowa State University and Portland Cement Association.

- Geriesh, M. M., El-Bab, A. M. F., Khair-Eldeen, W., Mohamadien, H. A., & Hassan, M. A. (2021, March). Developed Schmidt hammer based on jerk measurement. In *Nondestructive Characterization and Monitoring of Advanced Materials, Aerospace, Civil Infrastructure, and Transportation XV* (Vol. 11592, pp. 281-289). SPIE.
- Hannachi, S., & Guetteche M. (2012). Application of the combined method for evaluating the compressive strength of concrete on site. *Open Journal of Civil Engineering*, 2012.
- Hannachi, S., & Guetteche, M. N. (2014, August). Review of the ultrasonic pulse velocity evaluating concrete compressive strength on site. In *Proceedings of Scientific Cooperation International Workshops on Engineering Branches*, Istanbul, Turkey (pp. 8-9).
- Harrington, D. S., Abdo, F., Adaska, W. S., Hazaree, C., Ceylan, H., & Bektas, F. (2010). Guide for roller-compacted concrete pavements (No. Item Code: SN298). Ames, IA, USA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University. ---
- Hassan, A. M. T., & Jones, S. W. (2012). Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC): A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques. *Construction and Building Materials*, 35, 361-367.
- Helal, J., Sofi, M., & Mendis, P. (2015). Non-destructive testing of concrete: A review of methods. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 14(1), 97-105.
- IS 13311-1 (1992): Method of Non-destructive testing of concrete, Part 1: Ultrasonic pulse velocity. IS, 13311, 1-7.
- Kaplan, M. F. (1959). The effects of age and water/cement ratio upon the relation between ultrasonic pulse velocity and compressive strength of concrete. *Magazine of Concrete Research*, 11(32), 85-92.
- Kee, S. H., & Zhu, J. (2013). Using piezoelectric sensors for ultrasonic pulse velocity measurements in concrete. *Smart materials and structures*, 22(11), 115016.
- Khan, A. A. (2001). *Guide Book for the Fabrication of Non-Destructive Testing (NDT) Test Specimen*.
- Kosar, K., Khazanovich, L., & Salles, L. (2023). Evaluation of Early Age Concrete

- Pavement Strength by Combined Nondestructive Tests. *Applied Sciences*, 13(4), 2240.
- Kryvenko, P. (Ed.). (2020). *Compressive Strength of Concrete*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.80174.
- KURU, M. (2023). Mikronize Kalsit Katkısı İle Üretilen Betonların Basınç Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması (Master's thesis, KTO Karatay Üniversitesi).
- Luhr, D. R. (2004). Design and construction of roller-compacted concrete pavements for container terminals. In *Ports 2004: Port Development in the Changing World* (pp. 1-10).
- Malhotra, V. M. (2006). Nondestructive tests. In *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*. ASTM International.
- Malhotra, V. M., & Carino, N. J. (2003). *Handbook on nondestructive testing of concrete*. CRC press.
- McCann, D. M., & Forde, M. C. (2001). Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures. *Ndt & E International*, 34(2), 71-84.
- Mohammed, H., Abed, A., & Thom, N. (2022). Modelling joint deterioration in roller compacted concrete pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 1-9.
- Naik, T. R., Chun, Y. M., Kraus, R. N., Singh, S. S., Pennock, L. L. C., & Ramme, B. W. (2001). Strength and durability of roller-compacted HVFA concrete pavements. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 6(4), 154–165.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1987). *Concrete technology* (Vol. 438). England: Longman Scientific & Technical.
- Neville, G. B. (2015). *Concrete manual: based on the 2015 IBC and ACI 318-14 concrete quality and field practices*. ICC Publications.
- Nixon, J. M., Schindler, A. K., Barnes, R. W., & Wade, S. A. (2008). Evaluation of the maturity method to estimate concrete strength in field applications. *ALDOT Research Project*, 930-590.
- Oh, T., Kee, S. H., Arndt, R. W., Popovics, J. S., & Zhu, J. (2013). Comparison of NDT methods for assessment of a concrete bridge deck. *Journal of Engineering Mechanics*, 139(3), 305-314.
- Özdoğan, D. B., & Okuyucu, D. (2018). Beton Schmidt Çekici Kullanılarak Yığma Duvar

- Mekanik Özellikleri Belirlenebilir Mi? Tarihi Erzurum Kadana Camii Uygulaması. IV. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, 799-806.
- Öztürk, A., Yıldız, D., 1998, “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj Teknolojisi ve Türkiye’deki Uygulamaları”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri, No. 393, p. 39-46.
- Piggott, R. W. (1999). Roller Compacted Concrete Pavements-A Study of Long Term Performance. Portland Cement Association. Illinois, USA.
- Pittman, D. W. (1996). Factors affecting joint efficiency of roller-compacted concrete pavement joints and cracks. Transportation research record, 1525(1), 10-20.
- Pittman, D., (2012). “U.S. Army Corps of Engineers Experience with Roller-Compacted Concrete Pavements”, Presented at a Symposium on Integrated Cement Based Pavement Solutions, Part 2: Roller Compacted Concrete Pavements, American Concrete Institute web-sitesi, <http://www.concrete.org>
- Richards, O. (1977). Pullout strength of concrete. ASTM International.
- Shull, P. (2002). Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques and Applications. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Smith, R. A. (2015). Non-Destructive Testing (NDT)—Guidance Document: An Introduction to NDT Common Methods. Br. Inst. NDT, (2), 159.
- Tepke, D., & Tikalsky, P. J. (2001). Concrete maturity progress: survey of departments of transportation. Transportation research record, 1775(1), 125-131.
- TMÇB, (2018). Ülkemizin Yeni Yolu Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar. Ankara.
- Topličić-Ćurčić, G., Grdić, D., Ristić, N., & Grdić, Z. (2015). Properties, materials and durability of rolled compacted concrete for pavements. Zaštita materijala, 56(3), 345-353.
- Uyanık, O. (2012). Sismik hızlardan beton dayanımının belirlenmesi. Jeofizik Bülteni, 23(70), 25-30.
- Xiao, N. H. (2004). New Technologies and Technical Standards for Modern Non-Destructive Testing Technology and Application. Beijing Silver Sound Audiovisual Press: Beijing, China.
- Yaman, I. O., Inci, G., Yesiller, N., & Aktan, H. M. (2001). Ultrasonic pulse velocity in concrete using direct and indirect transmission. ACI Materials Journal, 98(6), 450.
- Yaman, İ. Ö., & Ceylan, H. (2013). Silindirle sıkıştırılmış beton yollar. Beton 2013 Hazır

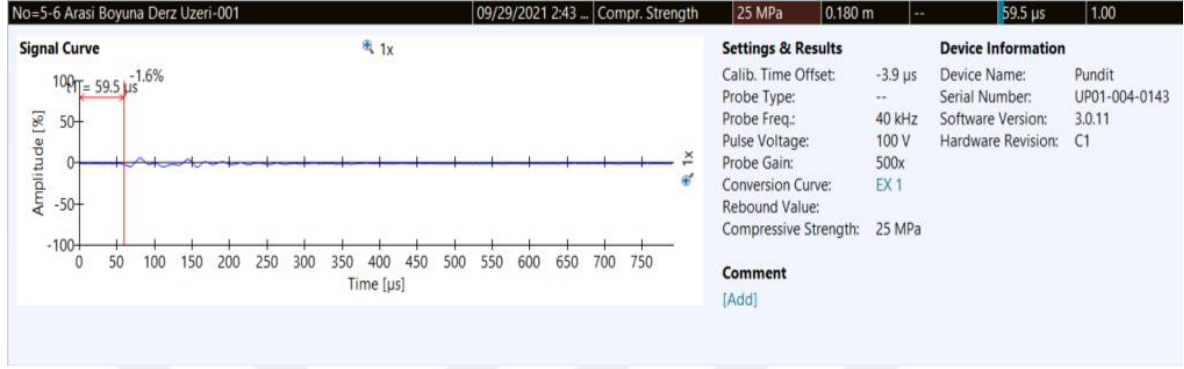
Beton Kongresi, 21-23.

- Yang, S., Xu, Z., & Bian, Z. (2020). Prediction on compressive strength concrete using modified pull-off testing method (MPTM). *Construction and Building Materials*, 250, 118834.
- Zdiri, M., Ben Ouezdou, M., & Neji, J. (2008). Theoretical and experimental study of roller-compacted concrete strength. *Magazine of Concrete Research*, 60(7), 469-474.
- Zulkifli, A. R., Hamid, A. R. A., Arshad, M. F., & Ahmad, J. (2015). Construction of roller compacted concrete dam: A Case Study at Batu Hampar Dam.

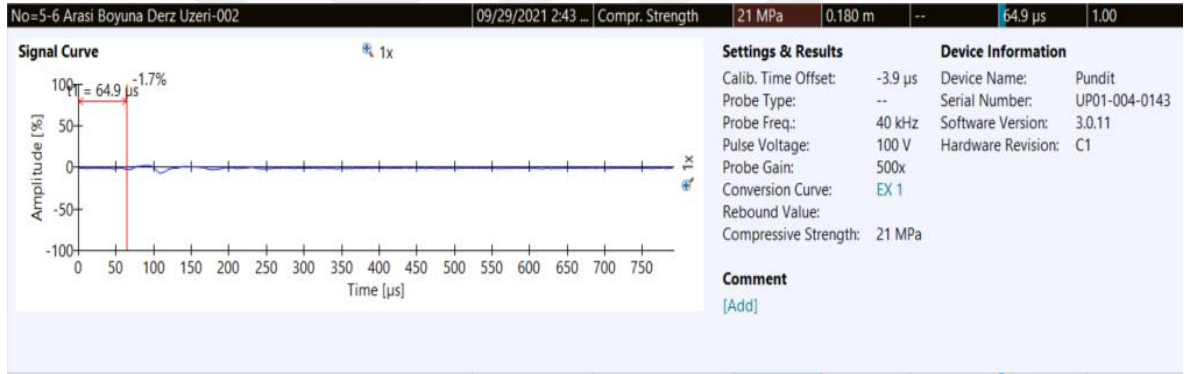


7. EKLER

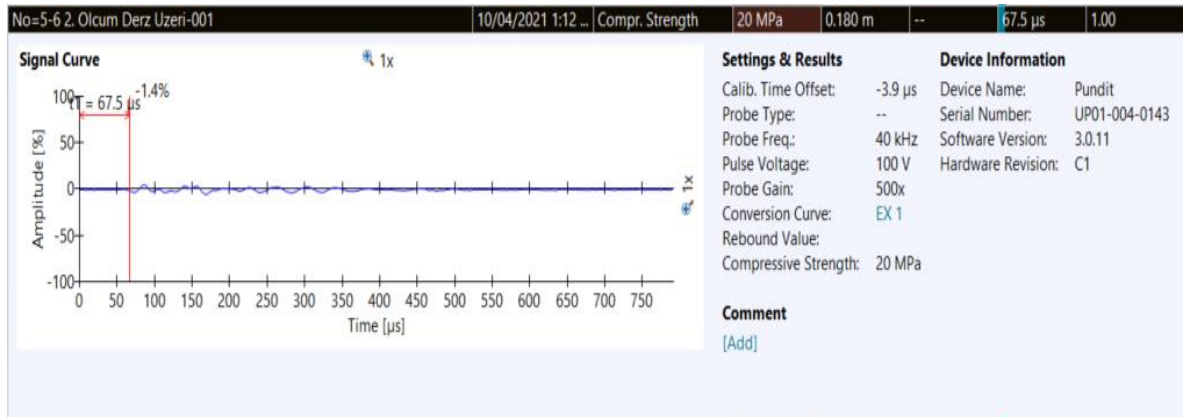
EK 1. DERZ 5 İLE DERZ 6 ARASI BETON BASINÇ DAYANIMI ÖLÇÜMLERİ



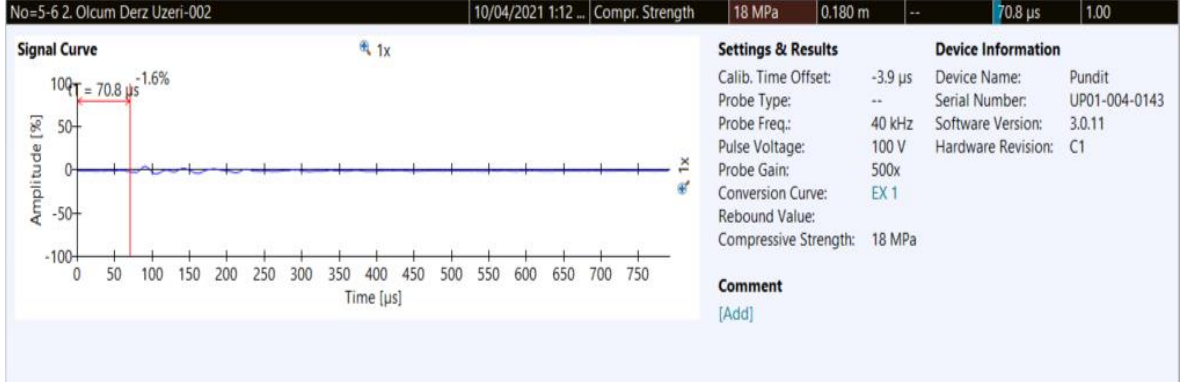
Derz 5-6 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 25 MPa'dır.



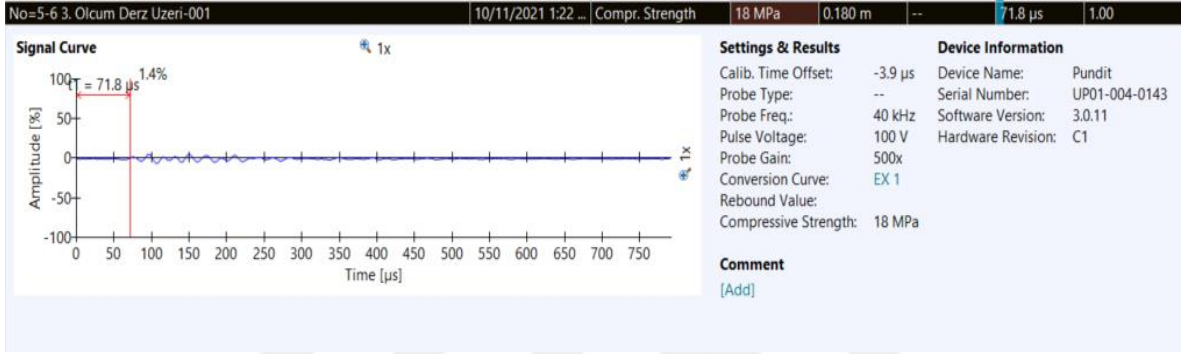
Derz 5-6 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 21 MPa'dır.



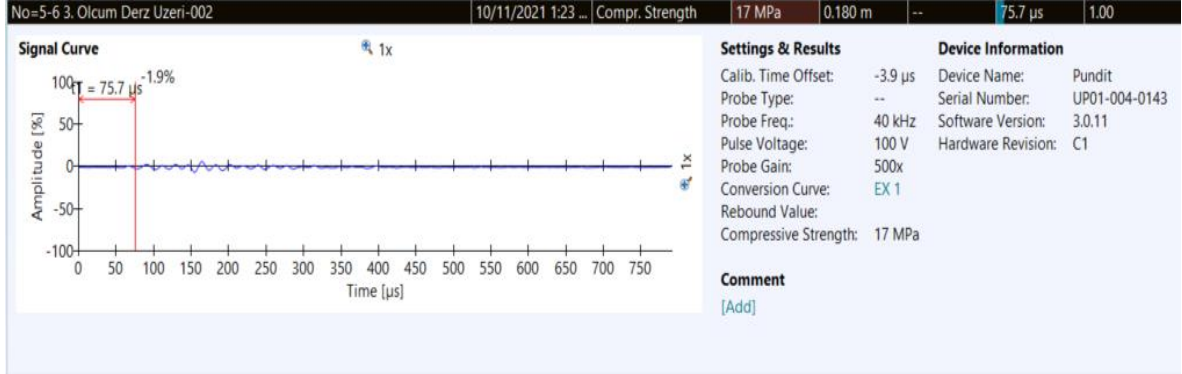
Derz 5-6 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 20 MPa'dır.



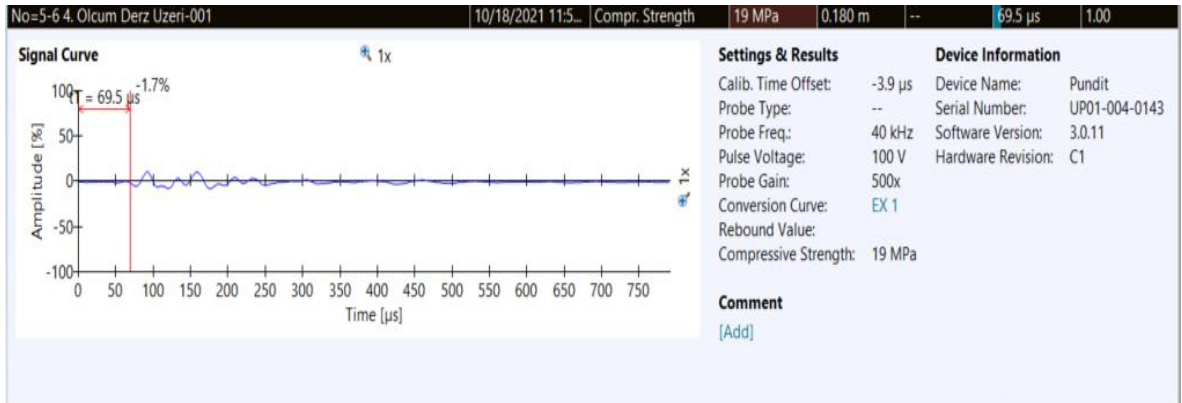
Derz 5-6 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 18 MPa'dır.



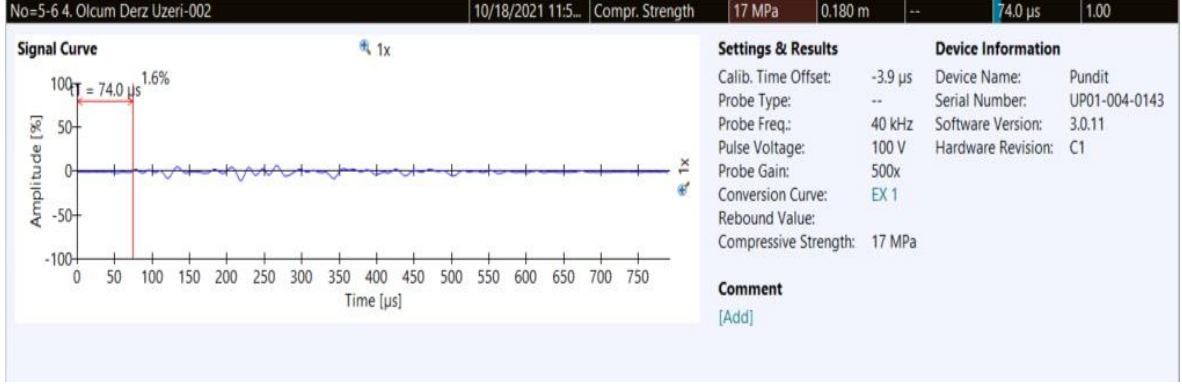
Derz 5-6 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 18 MPa'dır.



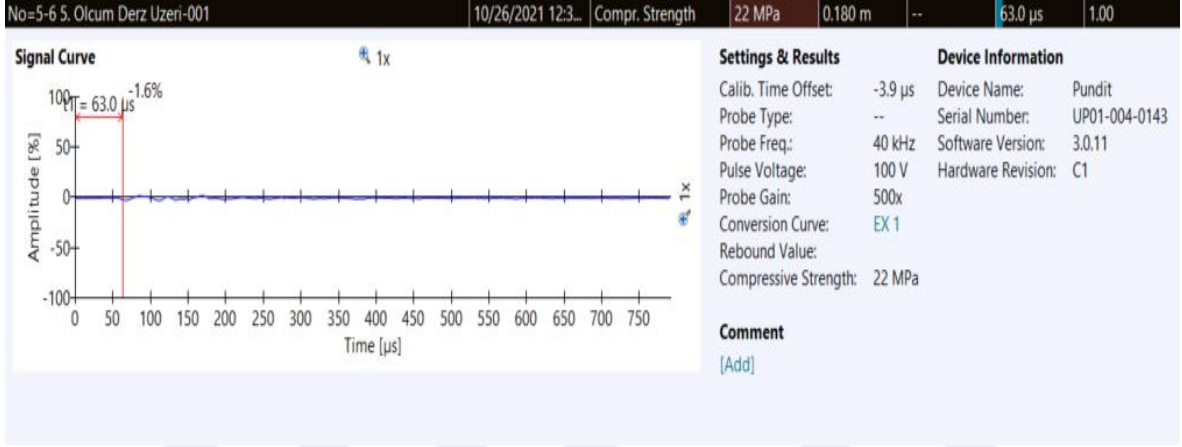
Derz 5-6 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 17 MPa'dır.



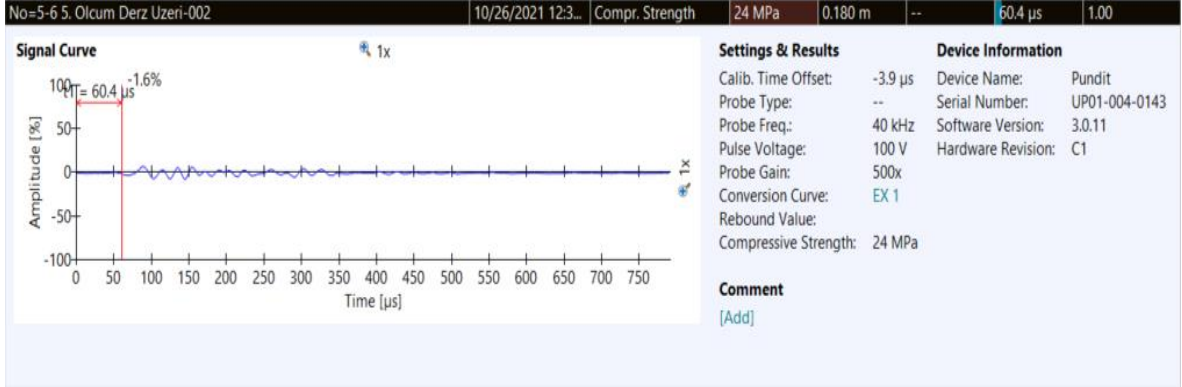
Derz 5-6 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 19 MPa'dır.



Derz 5-6 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 17 MPa'dır.



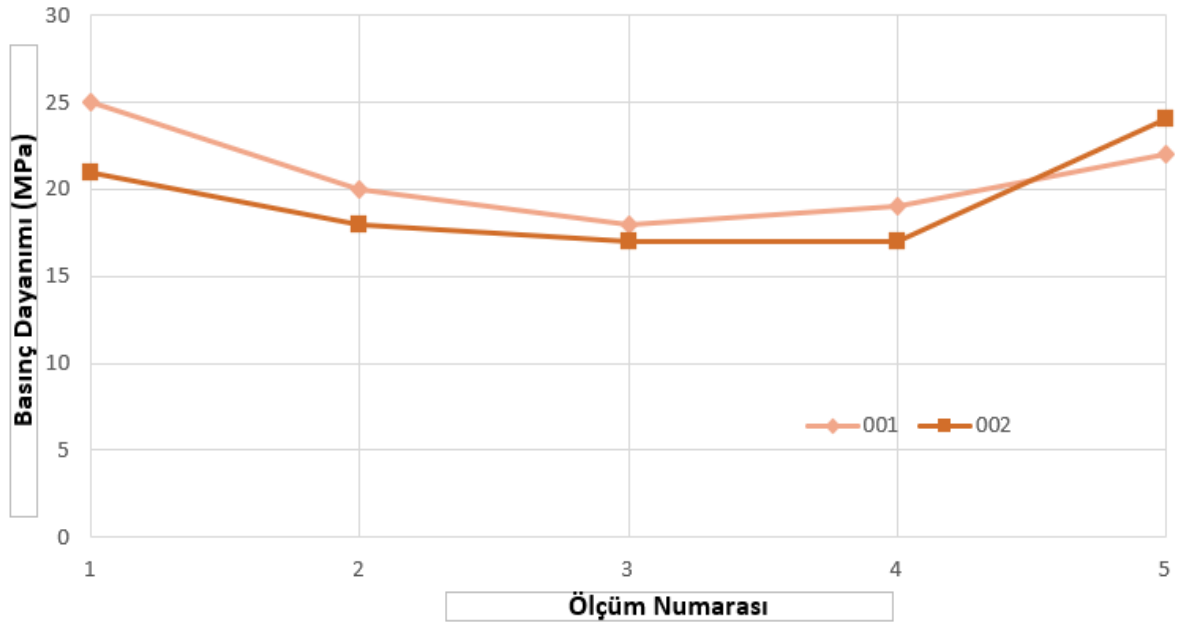
Derz 5-6 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 22 MPa'dır.



Derz 5-6 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 24 MPa'dır.

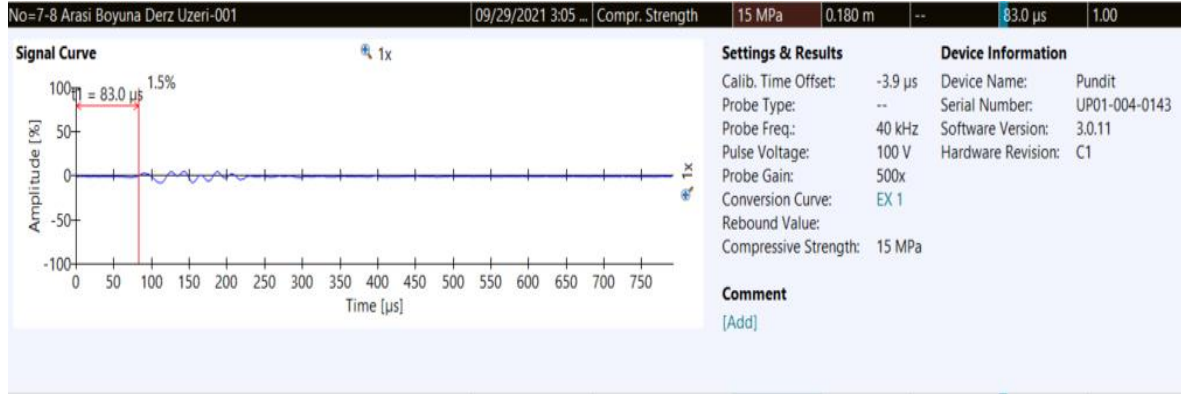
NO:5-6 DERZ ÜZERİ ÖLÇÜMLERİ		
Ölçüm Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	
	Ölçüm Yeri	
	001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	25	21
2. Ölçüm 4.10.2021	20	18
3. Ölçüm 11.10.2021	18	17
4. Ölçüm 18.10.2021	19	17
5. Ölçüm 26.10.2021	22	24

Derz 5-6 arasında boyuna derz üzeri ölçümler tabloda gösterilmiştir.

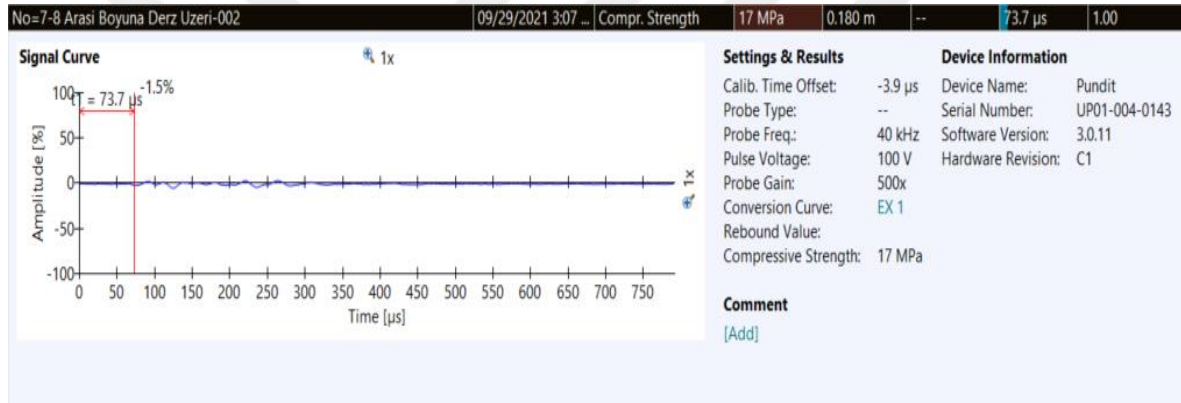


Derz 5-6 arasında boyuna derz üzeri ölçümlerin grafiksel ifadesidir.

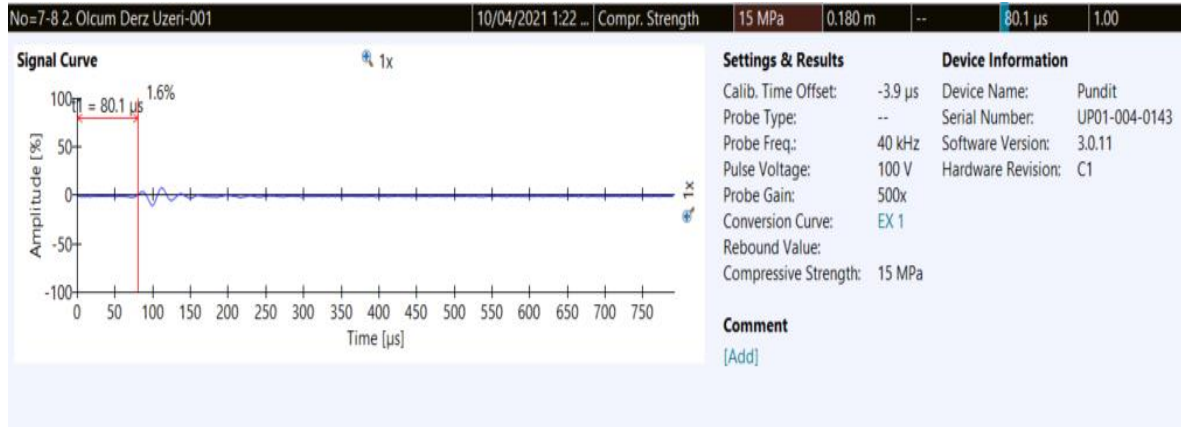
EK 2. DERZ 7 İLE DERZ 8 ARASI BETON BASINÇ DAYANIMI ÖLÇÜMLERİ



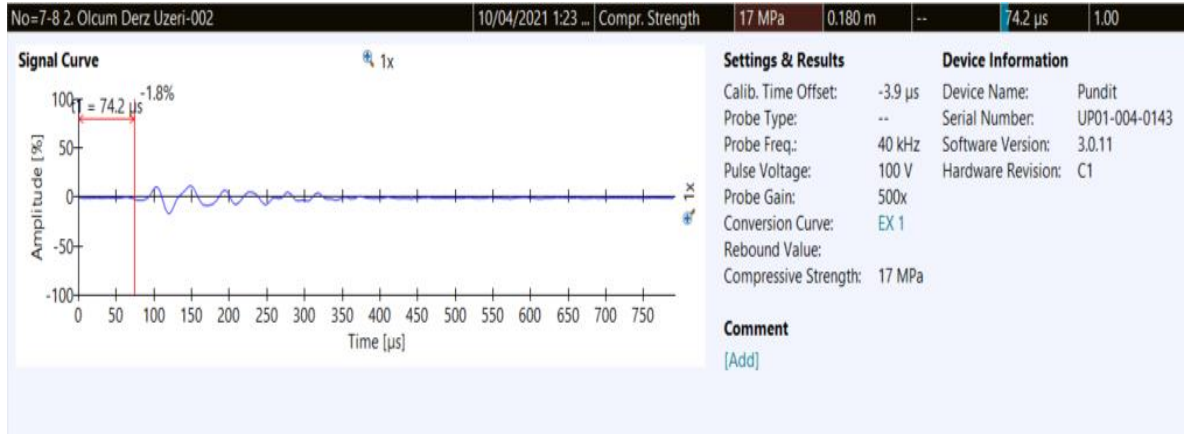
Derz 7-8 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 15 MPa'dır.



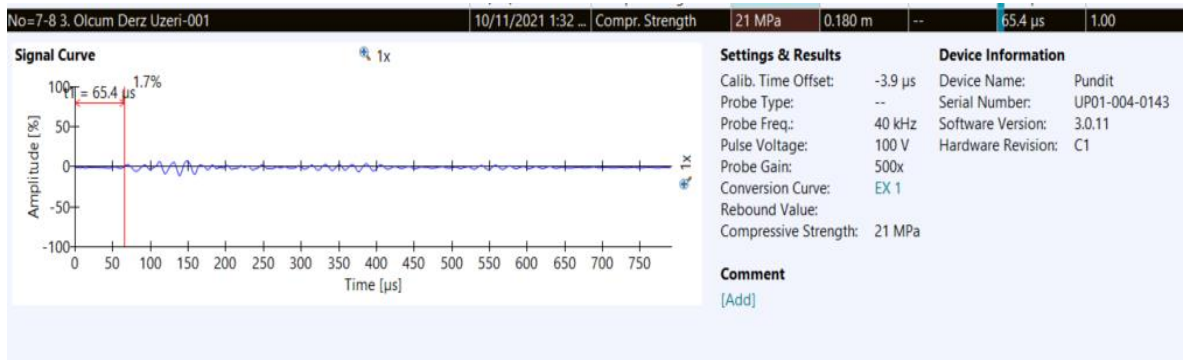
Derz 7-8 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 17 MPa'dır.



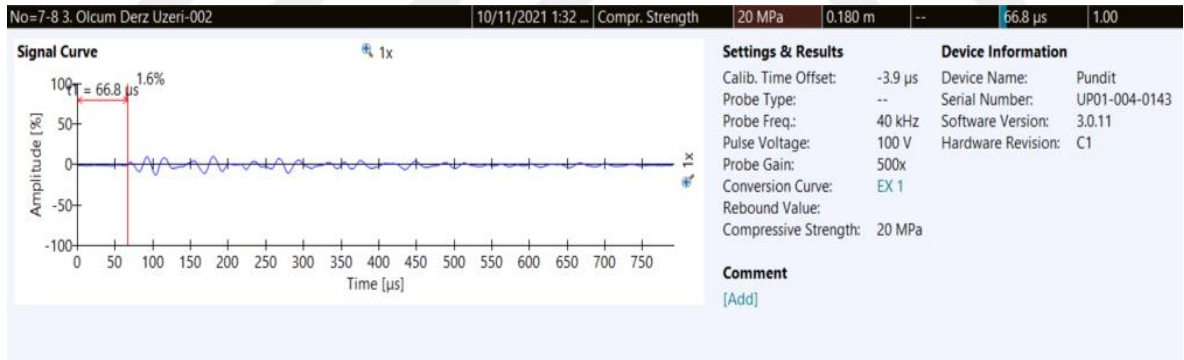
Derz 7-8 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 15 MPa'dır.



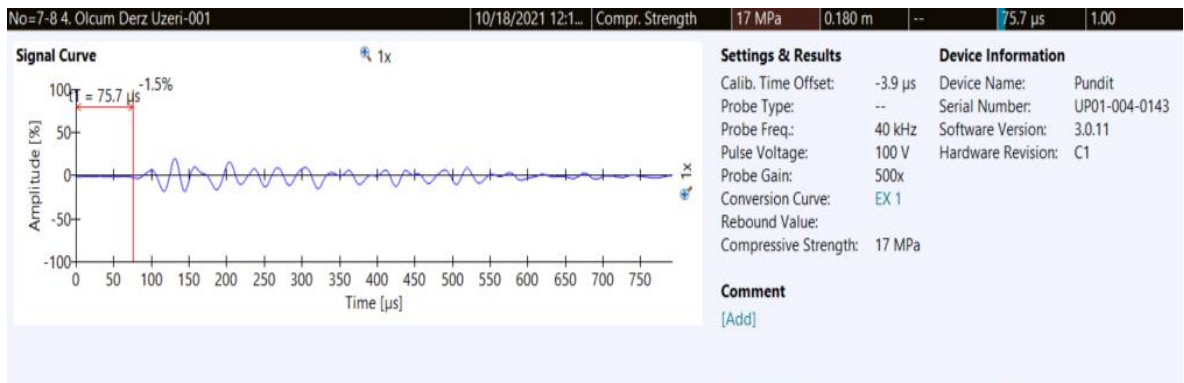
Derz 7-8 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 17 MPa'dır.



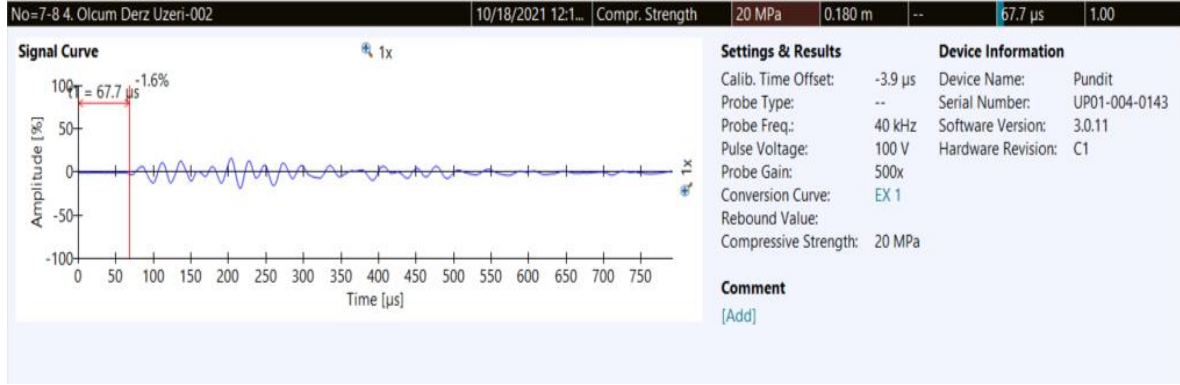
Derz 7-8 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 21 MPa'dır.



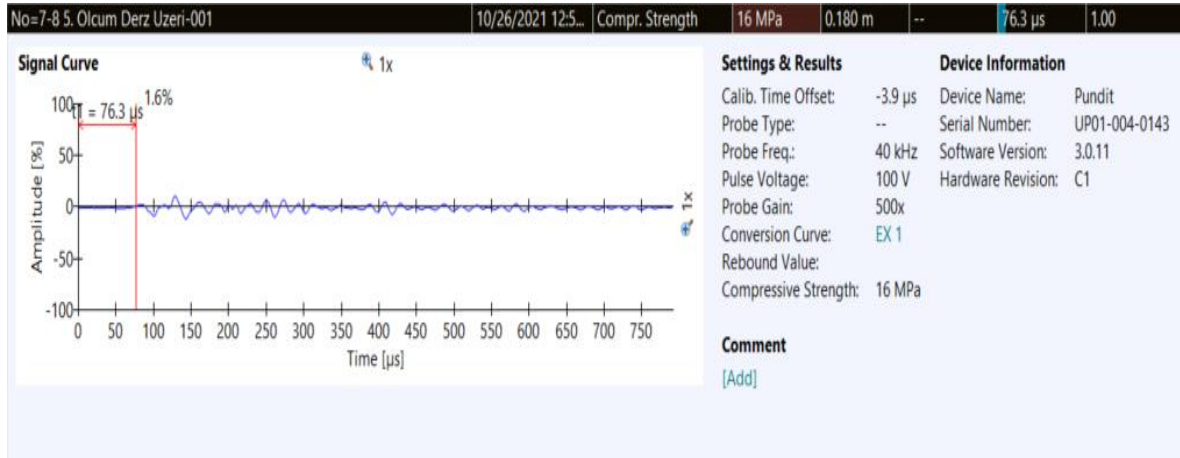
Derz 7-8 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 20 MPa'dır.



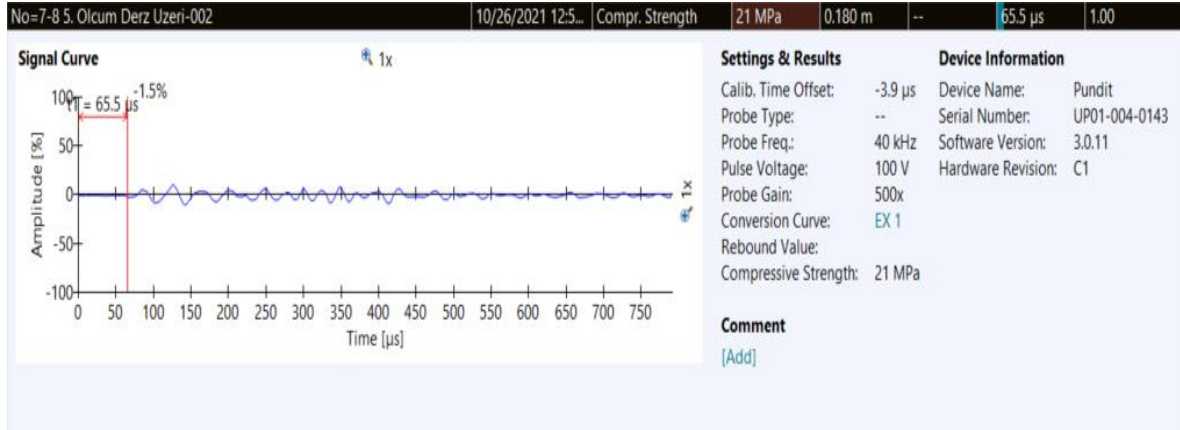
Derz 7-8 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 17 MPa'dır.



Derz 7-8 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 20 MPa'dır.



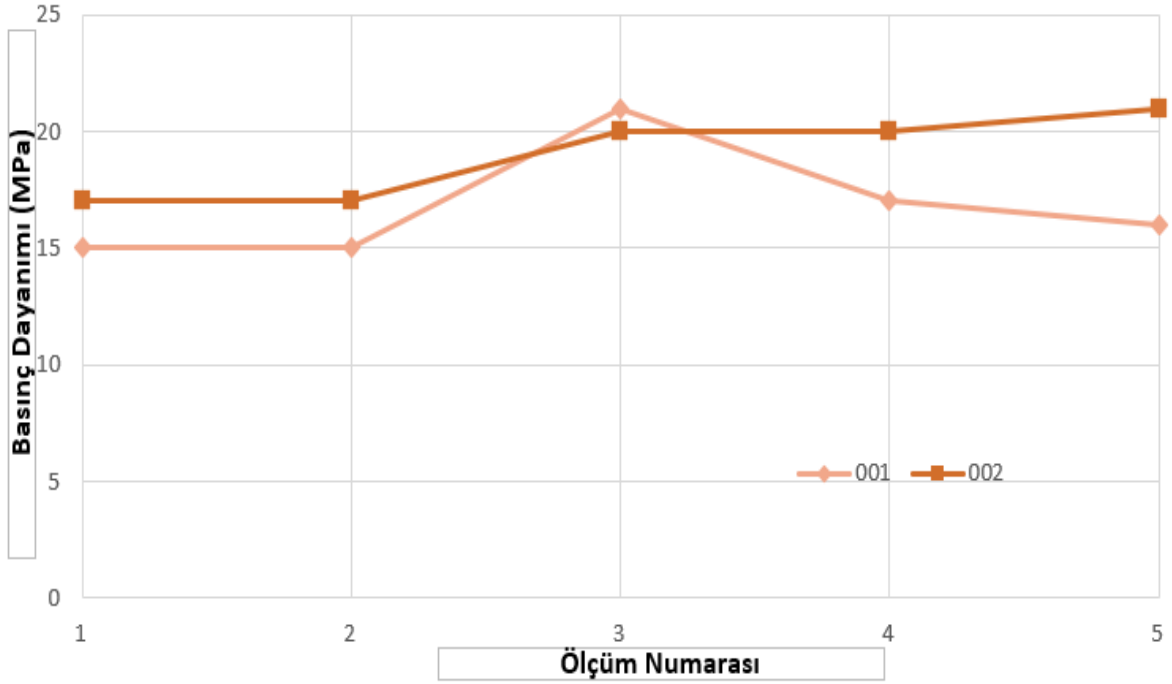
Derz 7-8 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 16 MPa'dır.



Derz 7-8 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 21 MPa'dır.

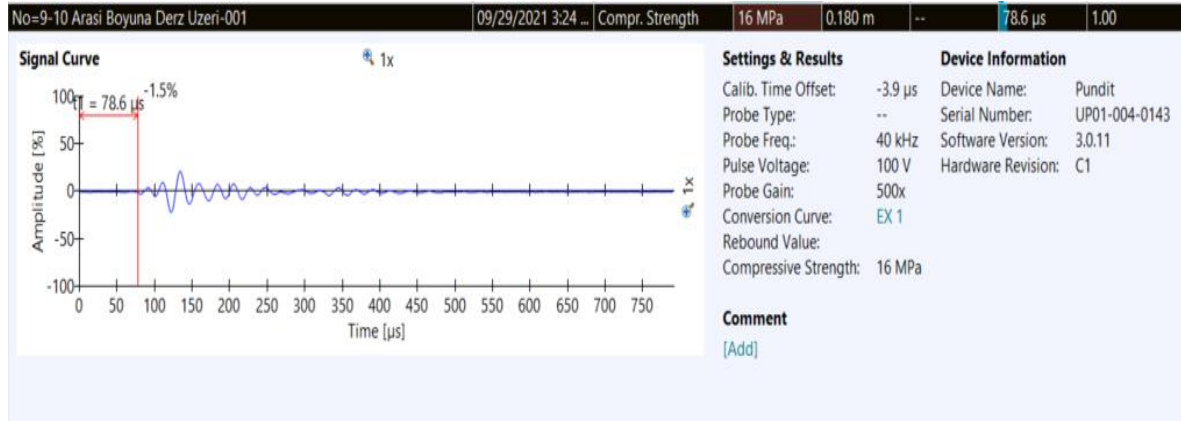
NO:7-8 DERZ ÜZERİ ÖLÇÜMLERİ		
Ölçüm Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	
	Ölçüm Yeri	
	001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	15	17
2. Ölçüm 4.10.2021	15	17
3. Ölçüm 11.10.2021	21	20
4. Ölçüm 18.10.2021	17	20
5. Ölçüm 26.10.2021	16	21

Derz 7-8 arasında boyuna derz üzeri ölçümler tabloda gösterilmiştir.

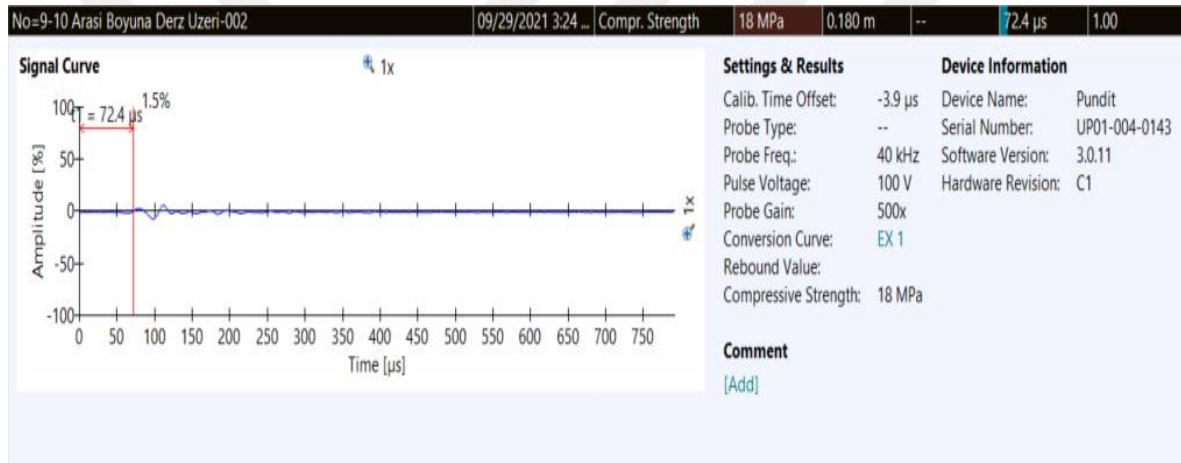


Derz 7-8 arasında boyuna derz üzeri ölçümlerin grafiksel ifadesidir.

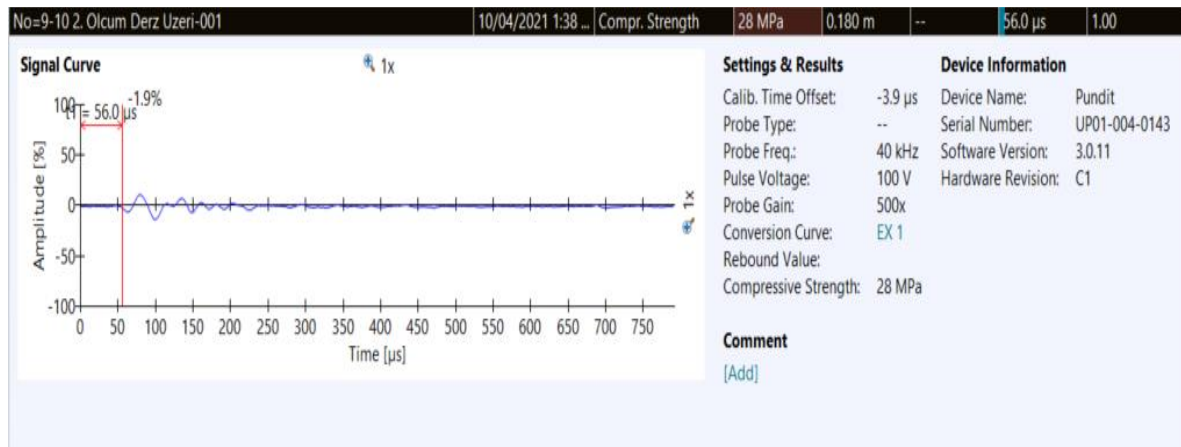
EK 3. DERZ 9 İLE DERZ 10 ARASI BETON BASINÇ DAYANIMI ÖLÇÜMLERİ



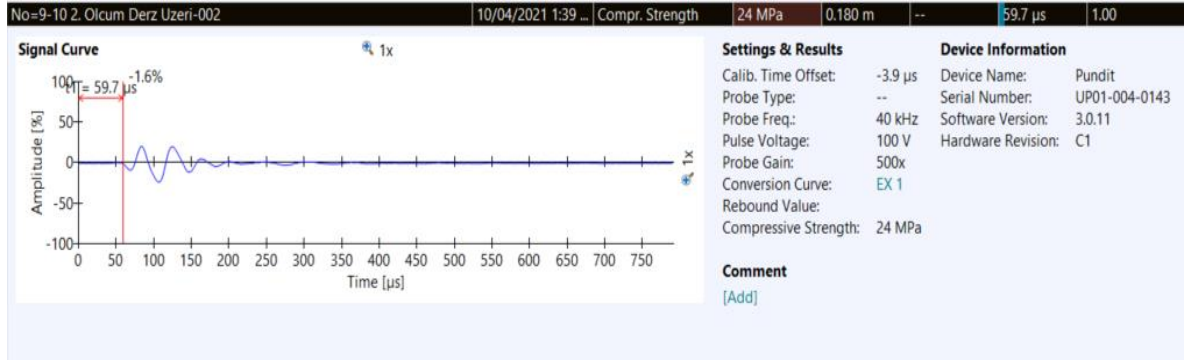
Derz 9-10 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 16 MPa'dır.



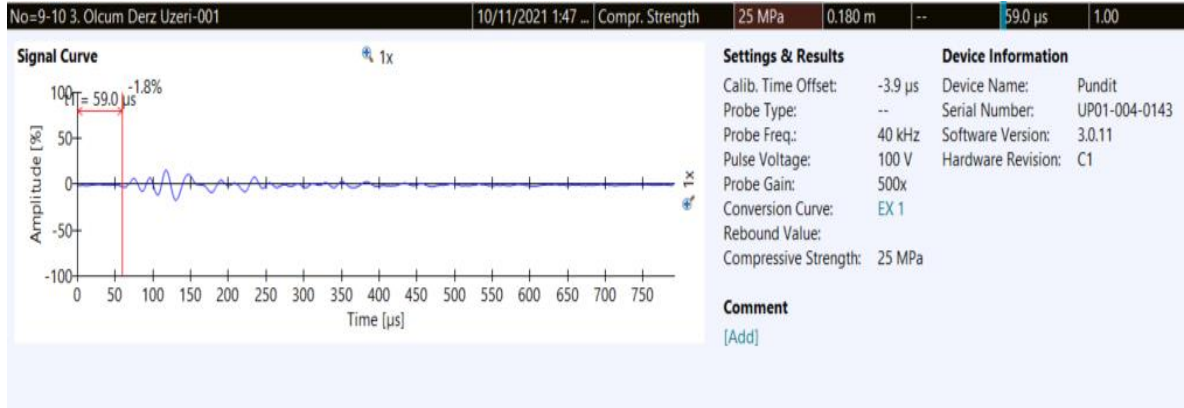
Derz 9-10 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 18 MPa'dır.



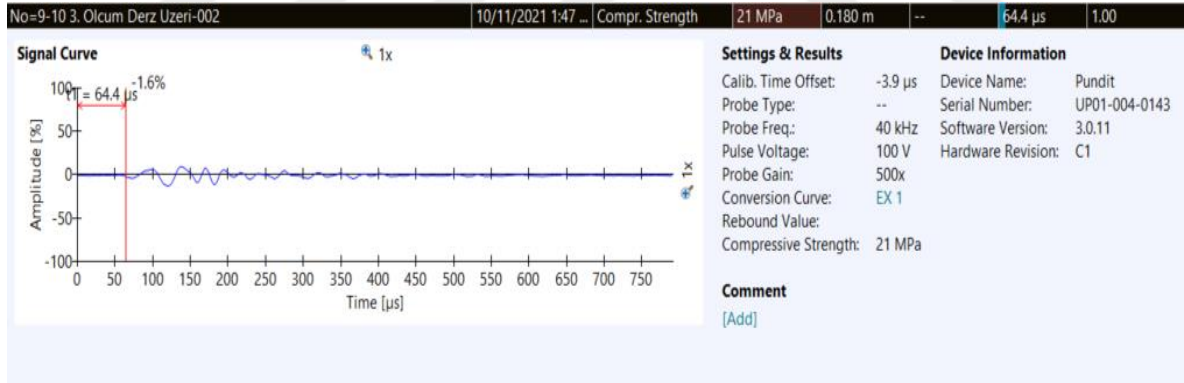
Derz 9-10 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 28 MPa'dır.



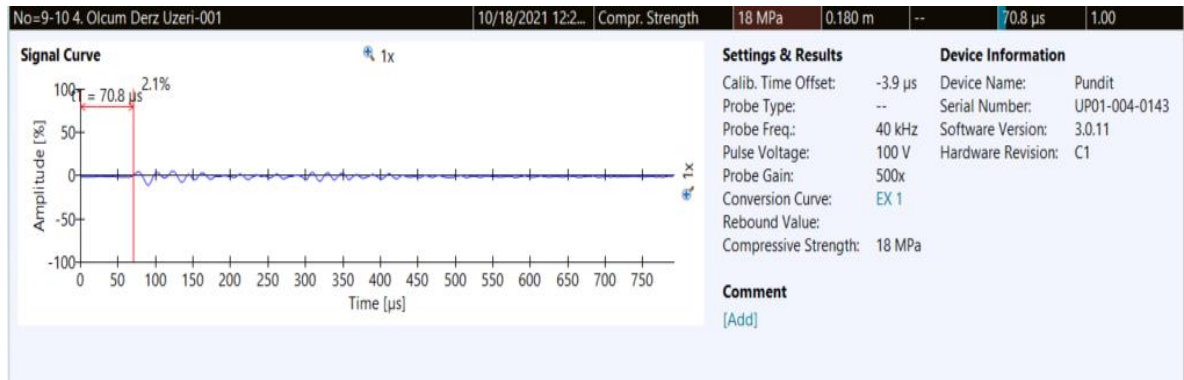
Derz 9-10 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 24 MPa'dır.



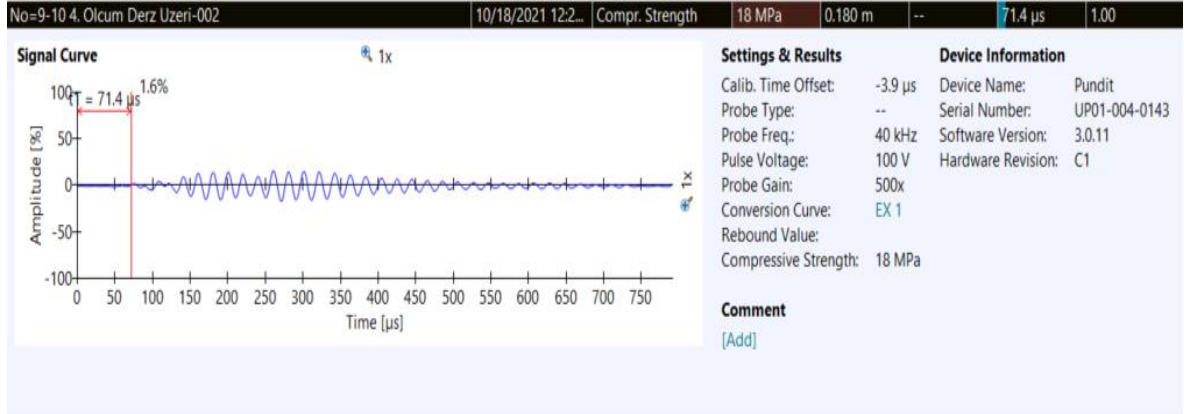
Derz 9-10 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 25 MPa'dır.



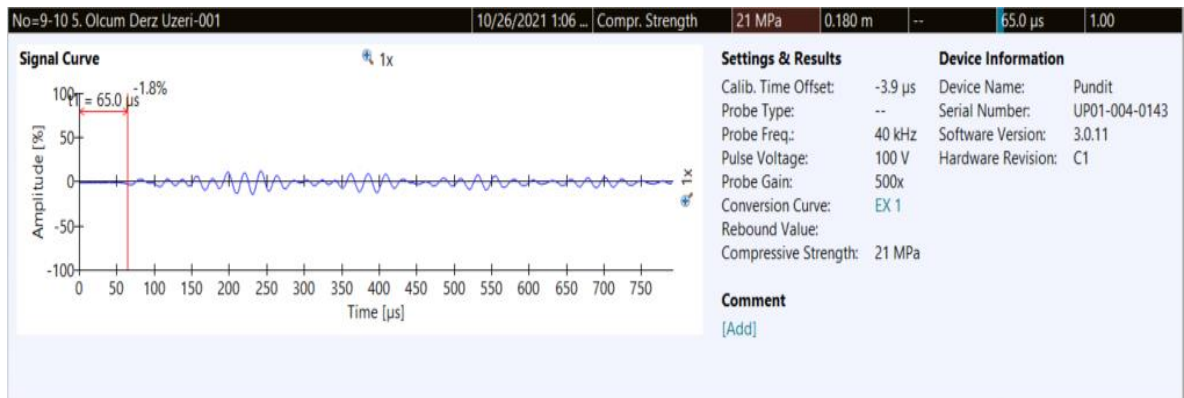
Derz 9-10 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 21 MPa'dır.



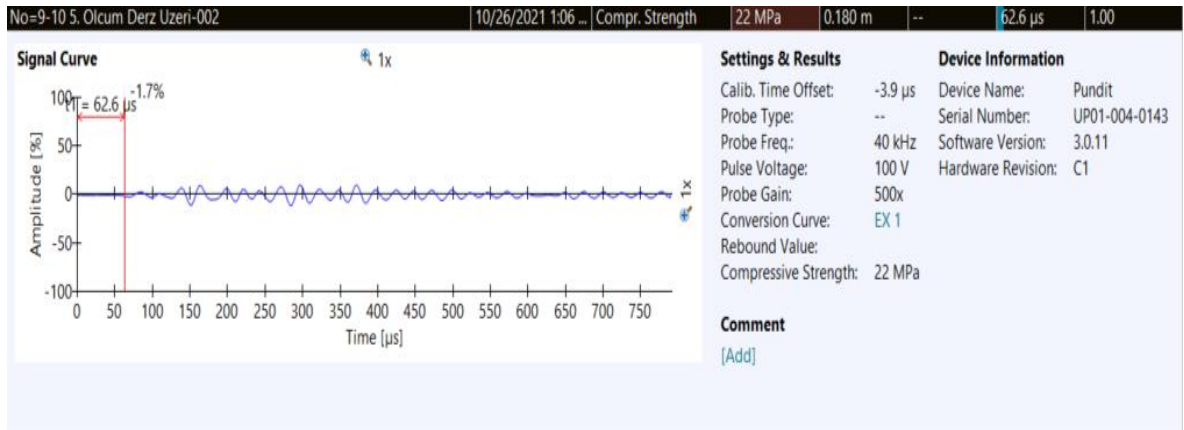
Derz 9-10 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 18 MPa'dır.



Derz 9-10 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 18 MPa'dır.



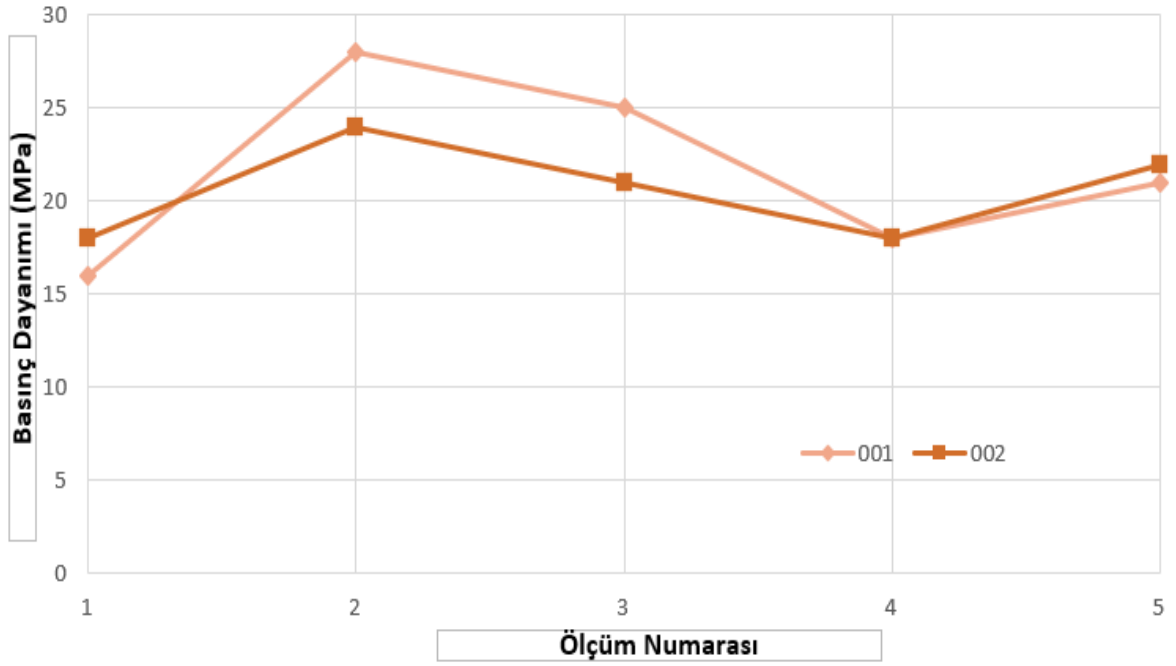
Derz 9-10 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 21 MPa'dır.



Derz 9-10 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 22 MPa'dır.

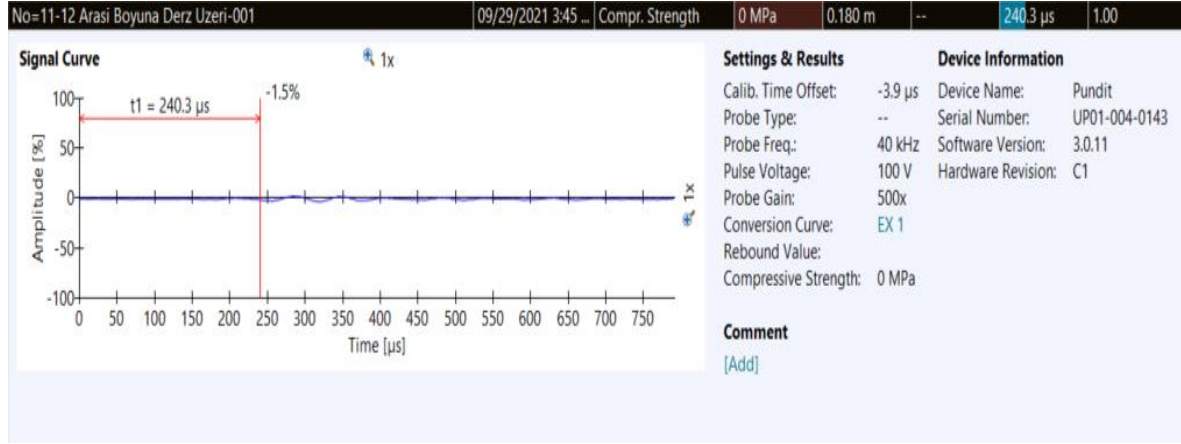
NO:9-10 DERZ ÜZERİ ÖLÇÜMLERİ		
Ölçüm Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	
	Ölçüm Yeri	
	001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	16	18
2. Ölçüm 4.10.2021	28	24
3. Ölçüm 11.10.2021	25	21
4. Ölçüm 18.10.2021	18	18
5. Ölçüm 26.10.2021	21	22

Derz 9-10 arasında boyuna derz üzeri ölçümler tabloda gösterilmiştir.

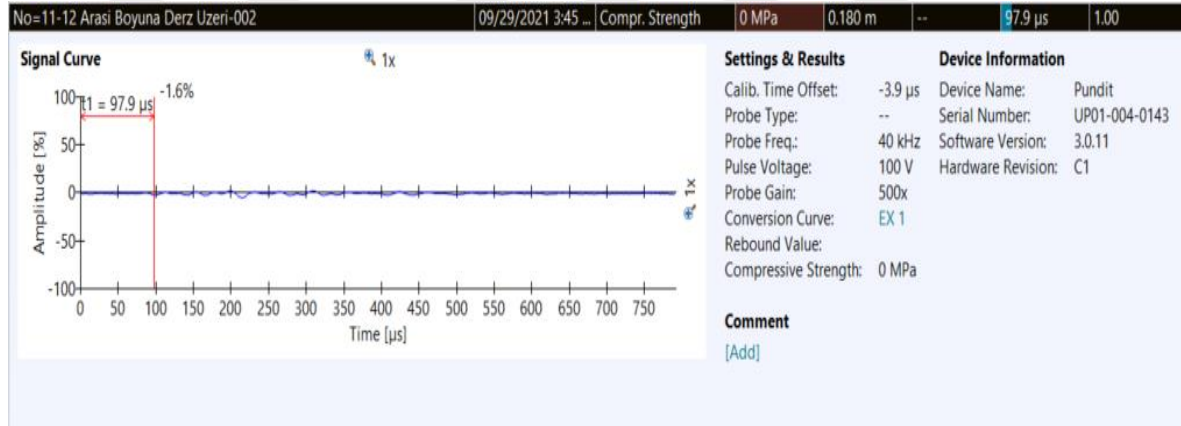


Derz 9-10 arasında boyuna derz üzeri ölçümlerin grafiksel ifadesidir.

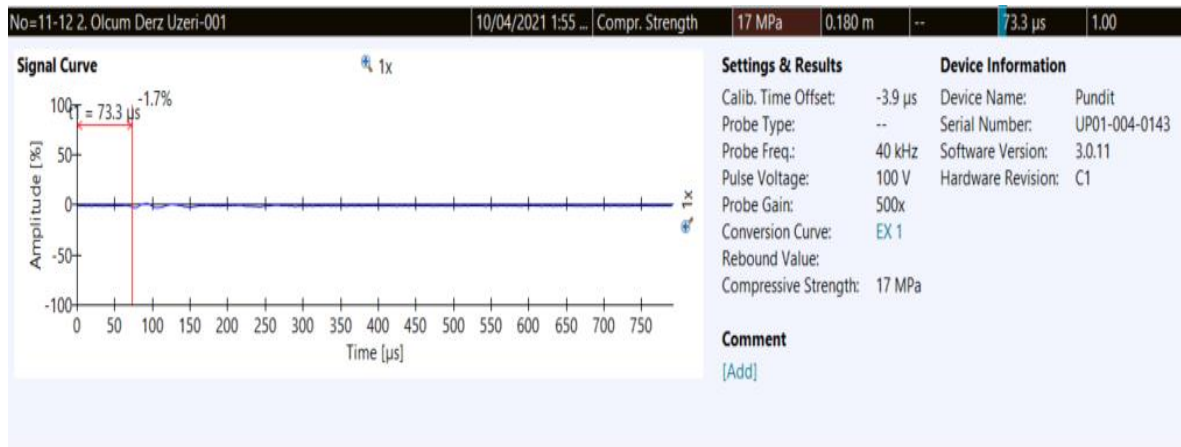
EK 4. DERZ 11 İLE DERZ 12 ARASI BETON BASINÇ DAYANIMI ÖLÇÜMLERİ



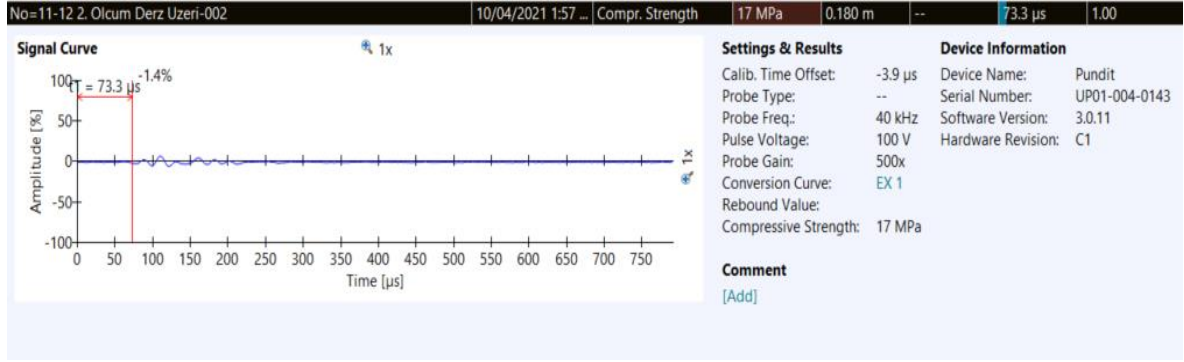
Derz 11-12 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 0 MPa'dır.



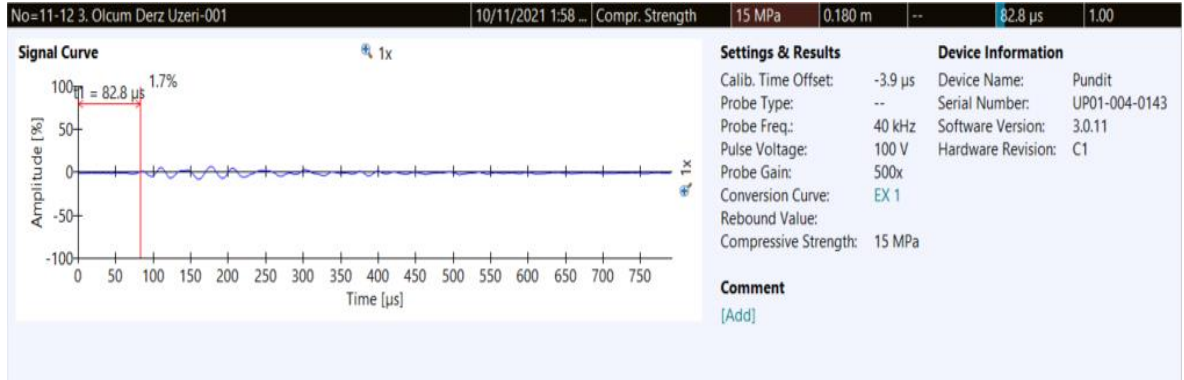
Derz 11-12 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 1. ölçüm değeri 0 MPa'dır.



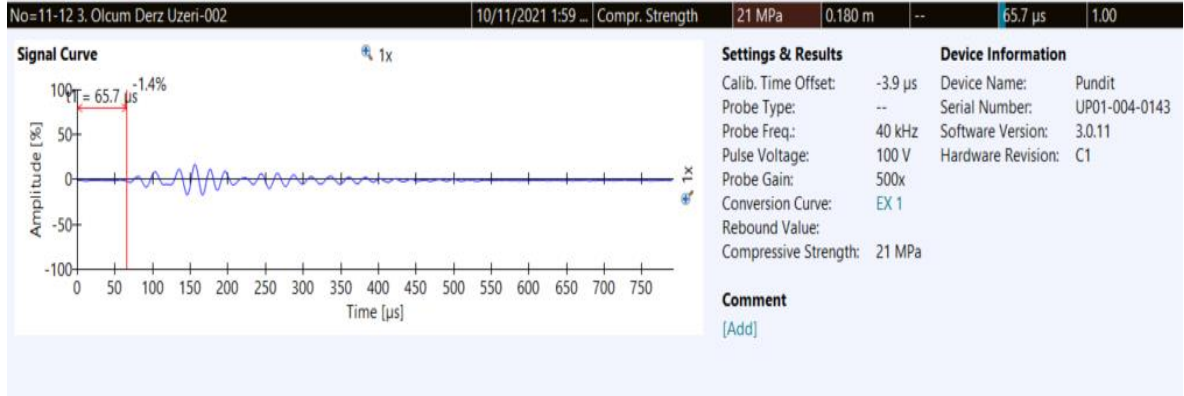
Derz 11-12 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 17 MPa'dır.



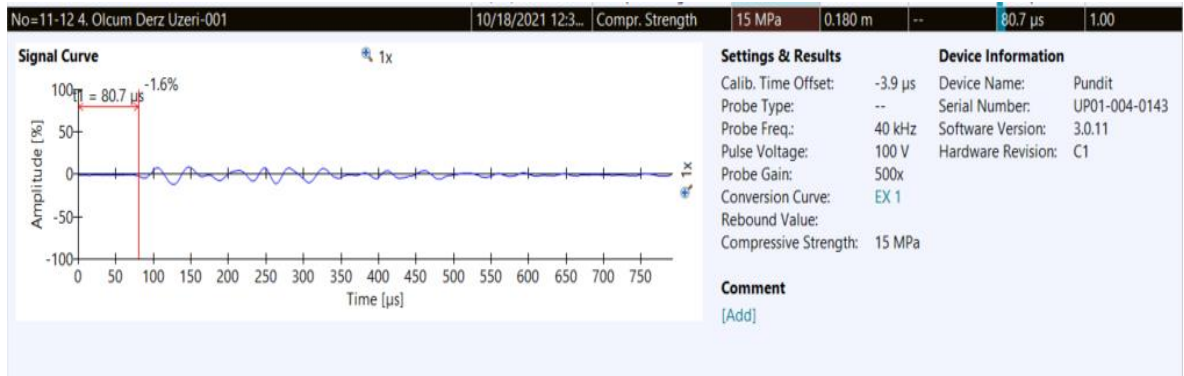
Derz 11-12 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 2. ölçüm değeri 17 MPa'dır.



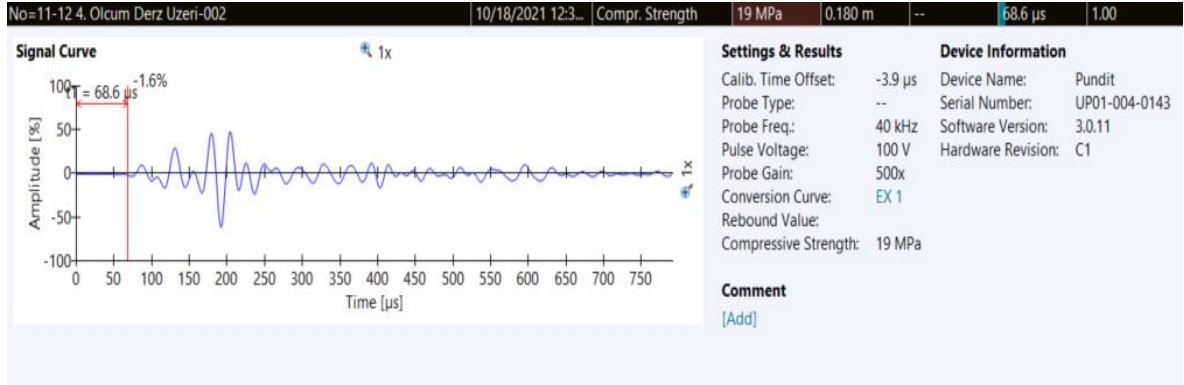
Derz 11-12 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 15 MPa'dır.



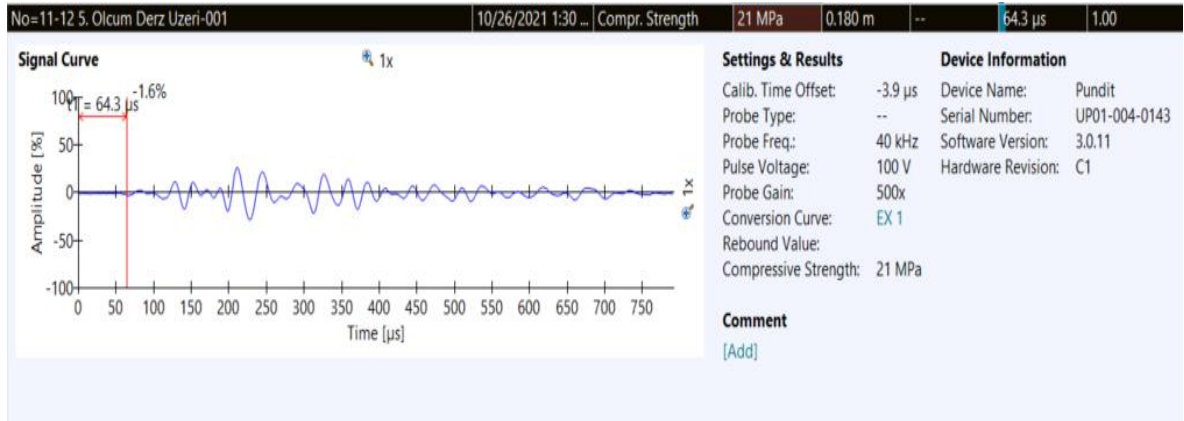
Derz 11-12 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 3. ölçüm değeri 21 MPa'dır.



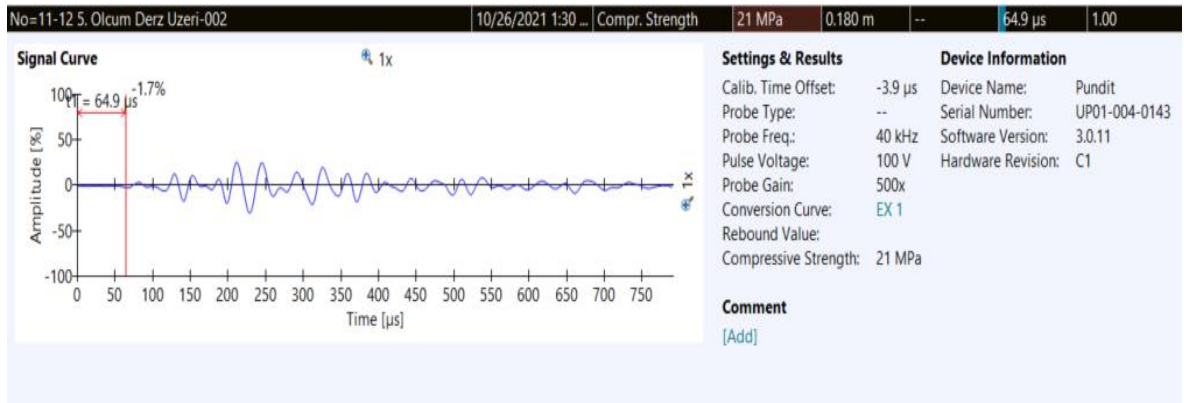
Derz 11-12 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 15 MPa'dır.



Derz 11-12 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 4. ölçüm değeri 19 MPa'dır.



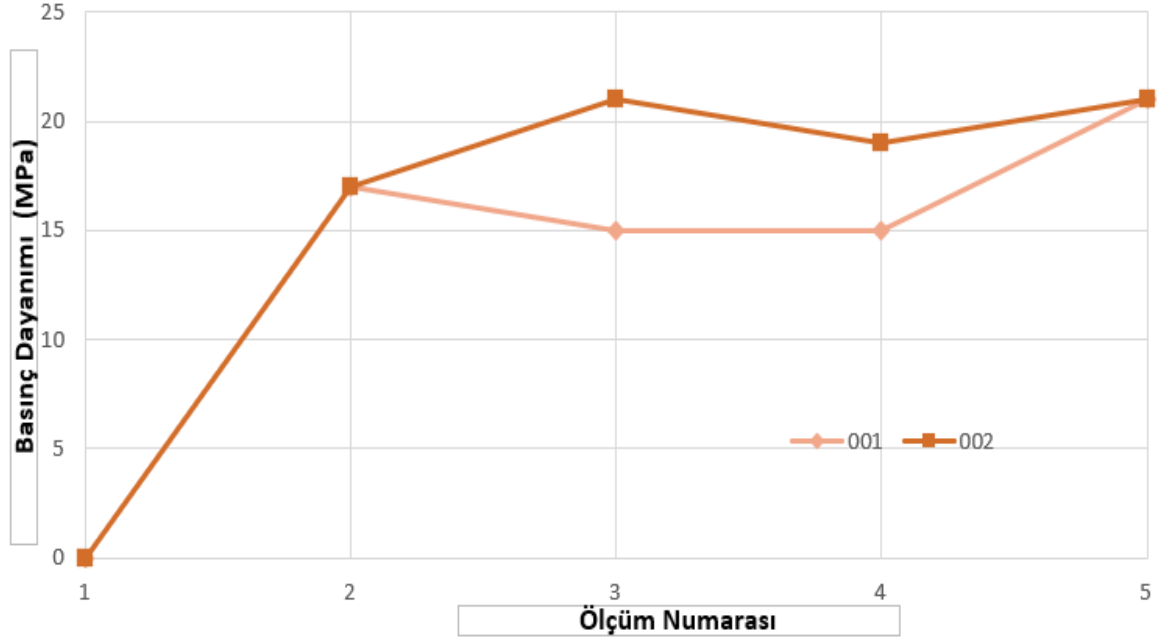
Derz 11-12 arasında 001 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 21 MPa'dır.



Derz 11-12 arasında 002 noktası boyuna derz üzeri 5. ölçüm değeri 21 MPa'dır.

NO:11-12 DERZ ÜZERİ ÖLÇÜMLERİ		
Ölçüm Tarihi	Basınç Dayanımı (MPa)	
	Ölçüm Yeri	
	001	002
1. Ölçüm 29.09.2021	0	0
2. Ölçüm 4.10.2021	17	17
3. Ölçüm 11.10.2021	15	21
4. Ölçüm 18.10.2021	15	19
5. Ölçüm 26.10.2021	21	21

Derz 11-12 arasında boyuna derz üzeri ölçümler tabloda gösterilmiştir.



Derz 11-12 arasında boyuna derz üzeri ölçümlerin grafiksel ifadesidir.

ÖZGEÇMİŞ

Mert Can ÖZTÜRK, İlköğrenimini Çarşıbaşı Gazi İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2015 yılında Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2015-2016 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2019 yılında bu bölümden mezun oldu. 2020 güz yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2021 yılı Ağustos ayından itibaren Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Anadolu Üniversitesi açıköğretim fakültesinde Lojistik ön lisans programında da eğitime devam etmektedir. İyi derece İngilizce bilmektedir.

Öztürk M. C. & Akpınar M. V. (2022). "Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Kaplamasında Ultrasonik Yöntem İle Basınç Dayanım Gelişiminin Araştırılması", 2. Beton Yollar Kongresi ve Sergisi, s:163-170, 16-17 Kasım 2022, Ankara, Türkiye

Ozturk M. C. & Akpınar M. V. (2022). "A Study on Compressive Strength Measurements of Roller Compacted Concrete Pavements", 4th International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET2022), s:679-685 ,28-30 September 2022, Bayburt, Türkiye.