

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ESKİ BETON-YENİ BETON ADERANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Abdullah BOSTANCI

TEMMUZ 2014

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ESKİ BETON-YENİ BETON ADERANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Abdullah BOSTANCI

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.06.2014
Tezin Savunma Tarihi : 23.07.2014

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selim PUL

Trabzon 2014

ÖNSÖZ

Betonda soğuk derz aderansının deneysel olarak incelenmesi konulu bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayı bana öneren, çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı asla esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinden yararlandığım danışman hocam Sayın Doç.Dr.Selim PUL 'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm başta, Prof.Dr.Metin HÜSEM, Arş. Gör.Serhat DEMİR, eğitimlerini sürdüren Amir GHAFFARİ ve Arman HOSSEIN ESKANDANI'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bu güne kadar bana hiçbir fedakarlığı esirgememiş annem Rahmiye ÖNEY'e, bana desteklerini esirgemeyen anneannem Fikriye ÖNEY'e, dedem Fahrettin ÖNEY'e, teyzelerim Ayşe ÖNEY, Emine ÖNEY ve Canan ÖNEY'e, dayılarım ve eşleri Fazlı-Atiye ÖNEY ve Sevalettin-Nuran ÖNEY'e, kuzenlerim Mehmet Uğur ÖNEY, Merve Dilara ÖNEY ve İpek ÖNEY'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yapmış olduğum bu çalışmanın, benden sonra araştırmada bulunacaklara faydalı olmasını diler, saygılarımı sunarım.

Abdullah BOSTANCI

Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Betonda eski beton-yeni beton aderansının deneysel olarak incelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Selim PUL’un 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.23./06./2014

ABDULLAH BOSTANCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	1
1.3. Betonun Diğer Yapı Malzemelerine Göre Üstün ve Sakıncalı Yanları	2
1.4. Beton Türleri	3
1.4.1. Hafif Beton.....	3
1.4.2. Geleneksel Beton	5
1.4.3. Ağır Beton.....	5
1.4.4. Yüksek Dayanımlı Beton	6
1.4.5. Diğer Beton Türleri.....	7
1.4.5.1. Lifli Beton	7
1.4.5.2. Püskürtme Beton	8
1.4.5.3. Vakumlu Beton	9
1.4.5.4. Kütle Betonu	10
1.4.5.5. Sualtı Betonu.....	11
1.4.5.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton	12
1.4.5.7. Hava Sürüklenmiş Beton	13
1.5. Betonun Özellikleri	14
1.5.1. Taze Betonun Özellikleri	14
1.5.1.1. İşlenebilme ve Kıvam	15
1.5.1.2. Olgunluk	20
1.5.1.3. Priz Süresi	21
1.5.1.4. Birim Ağırlık	23

1.5.1.5.	Üniformluk.....	24
1.5.2.	Sertleşmiş Betonun Özellikleri	25
1.5.2.1.	Basınç Dayanımı	25
1.5.2.2.	Çekme Dayanımı.....	27
1.5.2.3.	Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	31
1.5.2.4.	Yorulma Dayanımı.....	34
1.5.2.5.	Dayanıklılık.....	35
1.6.	Betonda Karşılaşılan Bazı Sorunlar	36
1.6.1.	Taze Betonda Karşılaşılan Sorunlar.....	36
1.6.1.1.	Rötre ve Şişme	36
1.6.1.2.	Ayrışma	37
1.6.1.3.	Terleme	39
1.6.1.4.	Betonda Kıvam Kaybı.....	41
1.6.1.5.	Betonun Erken veya Geç Priz Alması.....	41
1.6.2.	Sertleşmiş Betonda Karşılaşılan Sorunlar.....	42
1.6.2.1.	Su Geçirimsizliği.....	42
1.6.2.2.	Sünme	43
1.6.2.3.	Çatlama	45
1.6.2.4.	Çiçeklenme.....	46
1.6.2.5.	Alkali-Agrega Reaksiyonu.....	48
1.6.2.6.	Donma-Çözülme Etkisi.....	48
1.6.2.7.	Sülfat Etkisi.....	49
1.6.2.8.	Aşınma ve Tozuma	50
1.6.2.9.	Yüzeyde Hava Kabarcığı Oluşumu.....	51
1.6.2.10.	Eski ve Yeni Dökülmüş Beton Tabakaları Arasında Soğuk Derz Oluşumu.....	52
1.7.	Soğuk Derz ile İlgili Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar.....	54
1.8.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	56
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	57
2.1.	Deneylerde Kullanılan Malzeme Özellikleri	57
2.1.1.	Agrega Özellikleri.....	57
2.1.2.	Çimento Özellikleri.....	58
2.1.3.	Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Özellikleri	59

2.1.4.	Karma Suyu	59
2.2.	Çalışma Kapsamında Üretilecek Betonların Bileşimi	59
2.3.	Beton Üretim Planı	61
2.4.	Betonların Üretimi	62
2.5.	Betonların Yerleştirilmesi	63
2.6.	Betonların Kür Koşulları.....	65
2.7.	Beton Numunelerin Merkezi Basınç Deneyleri	66
2.8.	Deney Düzenegi	67
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	76
4.	SONUÇLAR	83
5.	KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ESKİ BETON-YENİ BETON ADERANSININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

Abdullah BOSTANCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Selim PUL
2014, 90 Sayfa

Şantiyelerde beton dökümü sırasında betonlama işlemine belli bir süre ara verilmesi ve daha sonra betonlamaya tekrar devam edilmesiyle ortaya çıkan eski beton - yeni beton tabakaları arasında oluşan zayıf geçiş bölgesi nedeniyle beton ve betonarme yapılarda arzu edilmeyen bazı sonuçlarla karşılaşabilmektedir. Bu nedenle çalışmada, eski beton - yeni beton aderansının, geleneksel ve yüksek dayanımlı betonlar üzerinde, deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Dört asıl bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümünde betonun genel özellikleri kısaca tanıtılmakta, taze ve sertleşmiş betonda karşılaşılabilen sorunlar aktarılmakta ve konuyla ilgili daha önce gerçekleştirilen bazı çalışmalar sunulmaktadır. İkinci bölümde değişik su/çimento oranlarında üretilen geleneksel ve yüksek dayanımlı beton küp numuneler üzerinde, geliştirilen bir düzenek yardımıyla, gerçekleştirilen yarma deneyleri sunulmakta, eski beton – yeni beton aderansının yeni beton döküm zamanının değişimi ile ilişkisi araştırılmaktadır. Üçüncü bölümde, bu deneylerden elde edilen bulgular irdelenmekte, dördüncü bölümde ise çalışmanın tümünden çıkarılan sonuç ve öneriler sunulmaktadır. Bu son bölümü kaynaklar listesi ve özgeçmiş izlemektedir.

Sonuç olarak, değişik su/çimento oranına sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilen yarmada çekme deneyleri ile elde edilen eski beton-yeni beton aderansının topluca değerlendirmesinden, beton dökümüne ara verilmesi ve döküme tekrar devam edilmesi sonucunda ortaya çıkan zayıf bölgedeki aderansın, birdöküm numunelerinkine göre ilk 60 dakika sonunda yaklaşık %33 oranında azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eski beton-yeni beton aderansı, Soğuk derz, Yapışma dayanımı, Yarmada çekme dayanımı

Master Thesis

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON OLD CONCRETE-NEW CONCRETE
BONDING

Abdullah BOSTANCI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Selim PUL
2014, 90 Pages

During concreting in construction sites some undesirable results can occur in concrete and reinforced concrete structures because of a weak transition zone which forms between old concrete and new concrete layers by continuing concreting after a delay in the concrete pouring process. Therefore, in this study it is intended to experimentally investigate the old concrete-new concrete adherence of conventional and high strength concretes. Within the first chapter of this study being composed of four main chapters general properties of concrete are briefly introduced, problems encountered in fresh and hardened concrete are explained and some relevant studies previously performed are presented. In the second chapter, splitting tensile tests performed, with the help of a mechanism developed, on conventional and high strength concrete cube specimens produced in various water/cement ratios are presented and the relation between old concrete- new concrete adherence and time change of new concrete pouring is investigated. In the third chapter, findings obtained from those experiments are discussed and the fourth chapter where all conclusions and recommendations derived from this study is presented followed by curriculum vitae and references.

As a result, by comprehensively evaluating old concrete-new concrete adherence obtained in the splitting tensile tests on specimens with various water/cement ratios, it was observed that adherence in weak zone occurring because of the delay and then continuation to concreting decreased by a rate of 33% compared to the monolithic once in the first 60 minutes.

Key Words: Old concrete- new concrete bonding, Cold joint, Bonding strength,
Splitting tensile test

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Yüksek dayanımlı ve geleneksel betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri.....	7
Şekil 1.2. Lifli betonlarda kullanılan bazı lif çeşitleri	8
Şekil 1.3. Püskürtme beton uygulaması.....	9
Şekil 1.4. Vakumlu beton üretmek amacıyla oluşturulan sistem.....	10
Şekil 1.5. Vakum işleminin uygulanışı	10
Şekil 1.6. Bir kemer baraj kütle betonu	11
Şekil 1.7. Sualtı betonunun kapalı kova yöntemi ile dökümü	12
Şekil 1.8. Sualtı betonunun tremi yöntemi ile dökümü	12
Şekil 1.9. Kendiliğinden yerleşen beton	13
Şekil 1.10. Hava sürüklenmiş betonun iç yapısı.....	14
Şekil 1.11. Çökme tipleri	16
Şekil 1.12. Çökme deneyi	17
Şekil 1.13. Vebe deney aleti	18
Şekil 1.14. Sıkıştırma faktörü deney aleti.....	19
Şekil 1.15. Yayılma tablası deneyi	20
Şekil 1.16. Beton penetrasyon aleti	22
Şekil 1.17. Penetrasyon dayanımı - geçen süre eğrisi.....	23
Şekil 1.18. Doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi	28
Şekil 1.19. Silindir numune üzerindeki yarmada çekme deneyi	29
Şekil 1.20. Küp numune üzerinde yarmada çekme deneyi	29
Şekil 1.21. Üç nokta eğilme deneyi	30
Şekil 1.22. Dört nokta eğilme deneyi	30
Şekil 1.23. Betonun çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	31
Şekil 1.24. Betonun gerilme-birim şekil değiştirme diyagramının dayanımla değişimi	32
Şekil 1.25. Betonun elastisite modülünün bulunmasında kullanılan yöntemler.....	33
Şekil 1.26. Tekrarlı yükleme durumunda betonun gerilme birim şekil değiştirme diyagramı	35
Şekil 1.27. Kuruma ve ıslanma durumundaki betonun rötre için davranışı	37
Şekil 1.28. Bir yapıda oluşan ayrışma	38

Şekil 1.29. İri agrega ve donatı altında meydana gelen terleme	40
Şekil 1.30. Betonun genel sünme eğrisi.....	44
Şekil 1.31. Beton ve betonarmede çatlak tipleri	46
Şekil 1.32. Çiçeklenme olayının bir örneği	47
Şekil 1.33. Alkali-Agrega Reaksiyonu sonucu oluşan çatlak yapısı	48
Şekil 1.34. Donma çözülme olayının beton üzerindeki etkisi	49
Şekil 1.35. Sülfatın betona etkisinin görüldüğü bir örnek	50
Şekil 1.36. Aşınma olayının bir örneği	51
Şekil 1.37. Yüzeyde hava kabarcığı oluşumu.....	52
Şekil 1.38. Betonda soğuk derz örneği	53
Şekil 2.1. Beton karışımlarında kullanılan agregaların granülometrisi	57
Şekil 2.2. 60 litre kapasiteli düşey eksenli betoniyer.....	63
Şekil 2.3. Üretilen betonun küp numunelere yarı yükseklikte yerleştirilmesi.....	64
Şekil 2.4. Üretilen beton numunelere ait görünüm.....	64
Şekil 2.5. Yüzey pürüzlendirme uygulanmış numunelerden bir görünüm	65
Şekil 2.6. Kür odasında kalıplarında bekleyen numunelerden bir görünüm	66
Şekil 2.7. Kür odasında deney gününü bekleyen numunelerden bir görünüm	66
Şekil 2.8. Merkezi basınç deney anından bir görünüm.....	67
Şekil 2.9. Yükleme çerçevesinin şematik çizimi	68
Şekil 2.10. Yükleme çerçevesinin görünümü.....	68
Şekil 2.11. Veri toplama sistemi (data logger) ve elektronik yükölçer (load cell)	69
Şekil 2.12. Deney düzeneğine ait genel görünüm.....	69
Şekil 2.13. Küp yarma deneyinden görünüm	70
Şekil 2.14. Yarma deneyleri sonunda numunelerin eski beton - yeni beton birleşim yüzeylerinden ayrılmış görünümü.....	71
Şekil 2.15. Eski beton yüzeyi pürüzlendirilmiş bir küp numunenin yarma deneyinden görünümü.....	72
Şekil 2.16. Eski beton yüzeyine çimento şerbeti uygulanmış bir küp numunenin yarma deneyinden görünümü	73
Şekil 2.17. Eski beton yüzeyine çimento şerbeti ve pürüzlendirme uygulamaları yapılmış numunelerin deney sonrası görünümü	74
Şekil 2.18. Çalışmada gerçekleştirilen yarma deneyleri sonunda numunelerden bir görünüm.....	75
Şekil 2.19. Birdöküm numunelerin ortalama basınç dayanımı-ortalama yarmada çekme dayanımları arasındaki ilişki.....	76

Şekil 2.20. Yeni betonun döküm zamanının yarmada çekme dayanımı üzerindeki ilişkisi	77
Şekil 2.21. Eski beton-yeni beton aderans kaybı yüzdesinin zamanla değişimi.....	78
Şekil 2.22. Yarmada çekme dayanımları farkının yüzde olarak ifadesi	79
Şekil 2.23. Çimento şerbeti uygulamasının yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi	80
Şekil 2.24. Pürüzlendirme uygulamasının yarmada çekme dayanımı - yeni betonun döküm zamanı eğrisine etkisi	81
Şekil 2.25. Yarmada çekme dayanımları farkının yüzde olarak ifadesi	82

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Çökme sınıfları	17
Tablo 1.2. Vebe Sınıfları.....	18
Tablo 1.3. Değişik kıvamlardaki betonların sıkıştırma faktörleri.....	19
Tablo 1.4. Yayılma Sınıfları	20
Tablo 1.5. Karakteristik silindir basınç dayanımları ve eşdeğer küp dayanımlarına karşılık gelen beton sınıfları	26
Tablo 1.6. Beton sınıfları ve bu sınıflara karşılık gelen karakteristik eksenel çekme dayanımları	28
Tablo 2.1. Agreganın fiziksel özellikleri	57
Tablo 2.2. Beton üretiminde kullanılan çimentonun	58
Tablo 2.3. Silis dumanının kimyasal özellikleri	59
Tablo 2.4. Üretilen betonların bileşimleri.....	61
Tablo 2.5. Beton üretim ve deney planı	62
Tablo 2.6. Betonların ortalama eksenel küp basınç dayanımları	67
Tablo 2.7. Eski beton-yeni beton aderans kaybının zamanla değişimi.....	77
Tablo 2.8. Eski beton-yeni beton aderans kaybı yüzdesinin zamanla değişimi.....	79

SEMBOLLER DİZİNİ

D :	Maksimum agreaga tane çapı
f_{ck} :	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cm} :	Beton ortalama silidir basınç dayanımı
S:	Basınç dayanımının daha düşük olma olasılığı
s:	Beton dayanımlarının standart sapması
f_{ct} :	Çekme dayanımı
P:	Uygulanan yük
L:	Silindirin numunenin boyu
a:	Küpün bir kenarının uzunluğu
E :	Elastisite modülü
ϵ :	Birim şekil değiştirme
W_c :	1 m ³ betondaki çimento kütlesi
W_a :	1 m ³ betondaki agreaga kütlesi
V_w :	1 m ³ betondaki su hacmi
V_h :	1 m ³ betondaki hapsedilmiş hava hacmi
γ_c :	Çimentonun doymun kuru yüzeyli birim kütlesi
γ_a :	Agreaganın doymun kuru yüzeyli birim kütlesi
β_i :	Agreaga sınıflarının kütlece oranı
γ_{ai} :	Doymun kuru yüzey birim kütlesi
DN_i :	Doğal nem durumu
SE_i :	Su emme miktarı
DS_i :	Doyma suyu miktarı
DS :	Toplam doyma suyu
$f_{cküp}$:	28 günlük ortalama aksenal küp basınç dayanımı

Not : Bu çizelgede verilmeyen bazı semboller çalışmada ilgili oldukları yerlerde açıklanmışlardır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın yapı malzemesidir. Bileşimindeki en temel malzeme olan agregalar, hacminin yaklaşık %75'ini oluşturduğundan oldukça ekonomik olan ve başlangıçta istenen şeklin verilebilmesi özelliklerinden dolayı vazgeçilmezliğini hep korumuş olan beton üzerindeki araştırmalar yüz yılı aşkın süredir devam etmektedir. Ancak, diğer yapı malzemelerine göre üstün yanlarının yanı sıra, oldukça heterojen yapısından dolayı, betonun hem taze, hem de sertleşmiş haldeyken sakıncalı yanları da ortaya çıkabilmektedir. Bu bölümde, betonun tanımı ve tarihçesini içeren kısa bir bilgi verildikten sonra, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri anlatılmakta, özellikle soğuk derz olarak adlandırılan “eski beton-yeni beton aderansı” olayı tanımlanmakta ve bu konu ile ilgili teknik literatürde daha önce gerçekleştirilmiş olan bazı çalışmalar sunulmaktadır.

1.2. Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı mineral/kimyasal katkı maddelerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen ve tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesine beton adı verilmektedir.

Bu malzemenin keşfinden önce, taşların birbirine bağlanmasında kullanılan harcın içeriğindeki doğal hidrolik bağlayıcıların kullanımının Romalılar dönemine kadar tarihlendiği bilinmektedir. Bu bağlayıcılar üzerine araştırma ve geliştirmeye yönelik yoğun çalışmalar ile, İngiliz J. Smeaton tarafından 1756'da Eddystone deniz feneri inşaatında kullanılan “Aberthaw kireci - İtalyan puzolanı” karışımından elde edilen bağlayıcı ve 1796'dan itibaren İngiliz J. Parker ve J. Frost tarafından killi kalkerli malzemelerin pişirilmeleri sonucunda üretilen doğal çimentolar elde edilmiştir[1]. Günümüzde kullanılan portland çimentosu ise İngiltere'de bir duvar ustası olan J. Aspdin tarafından bulunmuştur. Aspdin, kalker tozu ve kil karışımını pişirip öğütürerek elde ettiği tozu su ile birleştirdiğinde ortaya çıkan hamurun içerisine taş parçaları katmış, elde ettiği bu karışımın rengi ve diğer özellikleri o yıllarda Portland Adası'ndan çıkartılan yapı taşlarını andırıldığından, bu

bağlayıcıya 1824 yılında “portland çimentosu” adı ile patent almıştır. Diğer hidrolik bağlayıcılardan daha üstün özelliklere sahip olan “portland çimentosu”nun üretimine böylece başlanmasıyla modern beton teknolojisinin temelleri de atılmıştır.

Beton uygulamalarının başlamasıyla birlikte, betondan yapılan bazı eşya ve araçların 1850'li yıllardan itibaren demir çubuklarla güçlendirilme denemeleri sonucunda “teçhizatlı beton” anlamına gelen "betonarme" tekniği de ortaya çıkmıştır. İlk beton yol uygulaması 1879 yılında İskoçya'da yapılmış, ilk betonarme bina ise 1873'te New York'ta inşa edilmiştir. Geçtiğimiz 20. Yüzyıl başında daha da hızlanan bilimsel araştırmalarla birlikte, beton üzerine ilk şartname 1904 yılında ABD'de hazırlanmış, araştırmalar 1950'li ve 1960'lı yıllarda oldukça yoğunlaşmıştır[2]. Kimya teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak beton özelliklerini iyileştirmek amacıyla üretilen bazı mineral ve kimyasal katkıları geliştirilmiş, böylece 1960'larda süper akışkanlaştırıcı katkıları, 1980'den sonra da uçucu kül ve silis dumanı beton katkısı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Beton bilgi ve teknolojisinde yaşanan tüm bu gelişmeler sonucunda, çok farklı ve üstün özelliklere sahip betonlar artık her yerde kolayca üretilebilir hale gelmiştir[3].

Ülkemizde ise ilk çimento fabrikası Darıca'da 1911'de üretime geçmiş, ilk betonarme yapı ise 1920'de yapılmıştır.

1.3. Betonun Diğer Yapı Malzemelerine Göre Üstün ve Sakıncalı Yanları

Betonun bulunmasından sonra daha farklı yapı malzemeleri bulunmuş fakat bunlardan hiçbiri beton kadar yaygın ve vazgeçilmez olmamıştır. Betonun bu denli önemli olmasına sahip olduğu üstün özellikleri sebep olmaktadır[4]:

- Taze betonun plastik özelliğini belli bir süre koruyabilmesi sayesinde istenilen şekilde ve boyutlarda beton elemanlar kolayca hazırlanabilmekte, çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir.
- Sertleşmiş beton elemanlar yapıdaki yerinde ya da bir fabrikada önceden üretildikten sonra yapıya yerleştirilip kullanılabilir.
- Uygun malzeme ve yöntemlerle üretilen betonlar yüksek basınç dayanımına sahip olabilmektedir.
- Sertleşmiş beton, çevrede oluşan yıpratıcı etkenlere karşı diğer yapı malzemelerine göre daha dayanıklıdır. Bu sebepten bakım işlemleri ve masraf gerektirmemektedir.

- Beton çelik donatılarla birlikte uyum içinde özellikler göstermektedir.
- Beton, diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomiktir.
- Beton, katkı maddeleri ve çeşitli işlemler ile estetik amaçlarla kullanılabilir.

Çok önemli özelliklere sahip betonun diğer yapı malzemelerine göre sakıncalı yanları da bulunmaktadır:

- Sertleşmiş beton, çekme veya eğilme yükleri altında kolayca çatlayabilmektedir.
- Sertleşmiş beton, gevrek olmasından dolayı darbe yüklerine karşı yeterince dayanıklı olmamaktadır.
- Beton, çevre ısısının değişikliklerinden ve ıslanma-kuruma etkilerinden dolayı hacimsel değişiklik göstermektedir.
- Beton, sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyona uğramaktadır.
- Beton, içerisine bir miktar su veya zararlı maddeler içeren sıvıların sızabildiği tam olarak geçirimsizlik özelliğine sahip olmayan bir yapı malzemesidir.
- Betonlardaki "dayanım/ağırlık" oranı diğer yapı malzemelerinininkine göre daha az olmaktadır. Bu sebeple diğer malzemelerin taşıdığı yüksek değerdeki yüklerin taşınabilmesi için büyük boyutlarda beton elemanların kullanılabilmesi gerekmektedir.

1.4. Beton Türleri

Betonun yıllar içinde gösterdiği gelişim ve gereksinimlerin farklılaşması, bu karışımın içindeki malzemeleri ve bu malzemelerin karışımındaki oranlarını değiştirmektedir. Bu durum farklı beton türlerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Günümüzde, kullanım amacı ve yerine göre şantiyede ya da beton santrallerinde otomatik makinelerle üretilen betonlar, çok fazla türe sahiptir. En genel olarak, birim ağırlıklarına ve basınç dayanımlarına göre sınıflandırılmakta, diğer türler ise “özel betonlar” başlığı altında adlandırılmaktadır. Aşağıda betonların sınıflandırılması verilmektedir.

1.4.1. Hafif Beton

Yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinin ekonomi için küçültülmesi, yapının toplam ağırlığının hafifletilmesi ya da ısı iletkenlik katsayısını azaltılması amacı

ile, diğer beton türlerine göre daha düşük birim ağırlığa sahip olan hafif betonlar yaklaşık 100 yıllık bir geçmişe sahiptir. Üzerinde 1949 yılından beri araştırmalar yapılmakta olan bu beton türü; beton karışımındaki normal agregaların yerine boşluklu yapıya sahip doğal veya yapay hafif agregaların kullanılmasıyla, betonda kimyasal ve fiziksel yolla büyük miktarda boşluk oluşturarak yada beton karışımındaki "ince agrega" çıkarılarak oluşturulabilmektedir.

Hafif betonlar kullanım amaçları ve birim ağırlıklarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Bu sınıflandırmalar çeşitli yönetmeliklerde farklı şekillerde yapılmaktadır. Bu yönetmeliklerden; ASTM 330[5] ve ACI 213[6]'de yalıtım amaçları için kullanılacak hafif betonların kuru birim ağırlıklarının 800 kg/m^3 'den az, 28 günlük basınç dayanımlarının da $0.7 \text{ MPa} - 7 \text{ MPa}$ arasında olduğu, taşıyıcı amaçlar için kullanılacak hafif betonların ise kuru birim ağırlıklarının 1850 kg/m^3 'den az, 28 günlük basınç dayanımlarının ise 17 MPa ' dan az olmaması gerektiği belirtilmektedir. TS 2511[7]'de ise taşıyıcı hafif betonların, kuru birim ağırlıkları 1900 kg/m^3 'den az ve 28 günlük basınç dayanımının en az 16 MPa olduğu betonlar olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca DIN 1045[8]'de taşıyıcı hafif betonların kuru birim ağırlığı 2000 kg/m^3 'ü, CEB-FIB[9]'de ise 1900 kg/m^3 'ü geçmemesi önerilmektedir. Yönetmeliklerde kuru birim ağırlık değerleri dışında hafif beton yapımında kullanılacak agregaların maksimum gevşek birim ağırlıkları ASTM 330'da ince agregalar için 1120 kg/m^3 , iri agregalar içinse 880 kg/m^3 olması gerektiği belirtilirken TS 1114[10] 'de ise önerilen maksimum gevşek birim ağırlıkları, agreganın ince ve iri olmasına göre 1200 kg/m^3 'ü geçmemesi şeklinde önerilmektedir[11, 12]

Hafif betonun, kullanım yerlerine göre birim ağırlığındaki değişimler bu beton türünün özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle belirtilen özellikler genelde taşıyıcı amaçla kullanılan hafif betonlarla ilgilidir. Bu türün üstün ve sakıncalı yanları aşağıda verilmektedir[13]:

- Birim ağırlığın azalmasından kaynaklanan beton kalıbındaki düşük basınç, taze betonun üretimini ve yerleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.
- Dalga yayılma hızı geleneksel betonunkinden yaklaşık %25 daha küçüktür.
- Titreşimleri daha az iletmekte ve şok etkilerini daha iyi engellemektedir.
- Birim ağırlığının düşük olmasından dolayı yapı elemanı boyutlarının küçülmemekte ve yapı maliyeti düşmektedir.

- Önemli miktarda su emmesine rağmen donma olayına karşı dayanıklılığı yüksektir.
- Sıcaklık genişleme katsayısı geleneksel betonunkinden ortalama olarak %25 daha azdır. Bu sebeple hafif betonlar sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenmektedirler.
- Isı yalıtımı ve genişleme katsayıları küçük olduğundan yangına karşı dayanıklılıkları geleneksel betonunkine göre daha fazladır.
- Korozyona göre dayanıklılığı geleneksel betonunki kadar olmakla beraber deniz suyuna karşı dayanıklılığı daha iyidir.
- Rötresi geleneksel betonundakinden %30 daha fazladır.
- Rutubete karşı yalıtım gerektirmektedir.
- Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.
- Diğer betonlara göre dayanımı düşüktür.

1.4.2. Geleneksel Beton

Dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan geleneksel betonlar, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin 28 gün boyunca $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içinde kür edildikten sonra aksenal basınç dayanımının 50MPa'ı geçmediği beton türleri olarak tanımlanmaktadır. Doğal agregalarla üretilen geleneksel betonların birim ağırlığı 1900-2800 kg/m³ arasındadır. Ülkemizde ve dünyada beton işlerinde en çok kullanılan bu beton türü çok katlı yapılarda kat adedi arttıkça daha büyük kesit ihtiyacını doğurmaktadır. Geleneksel betonun üretimi ağır beton ve hafif betona göre daha az uzmanlık gerektirmektedir. Aşağıda betonun özellikleri ile ilgili başlıklar altında verilecek olan bilgiler aynı zamanda geleneksel betonun da özellikleri olduğu için bu başlık altında bu beton üzerinde daha fazla durulmamıştır.

1.4.3. Ağır Beton

Kayma eğilimi ve devrilmeye karşı emniyeti olmayan yapıların güvence altına alınması için kullanılmaya çalışılmış olan ağır beton, genel olarak birim ağırlığı 2800 kg/m³'den büyük olan ağır agregalarla üretilen betonlar şeklinde tanımlanmaktadır. Bu betonlar nükleer enerjinin gelişmesiyle nötron, gama gibi cisimlerin içine girebilen

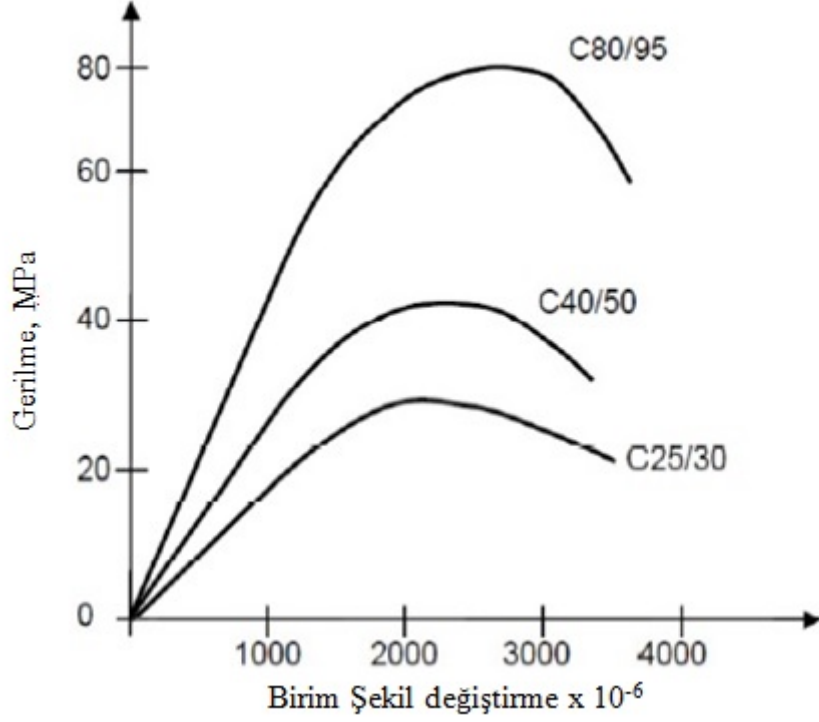
öldürücü ışınlar karşı zırh oluşturmada kullanılmaya başlanmıştır. Üretiminde uzmanlık gereken bu beton üretilirken, karma suyunda hafif elementler, agregasında ise barit, limonit, magnetit ve demir cevheri gibi doğal agregalar veya demir kırıntıları gibi sanayi atıkları kullanılmaktadır. Ağır betonların gama ışınlarını yutma kapasitesi de kullanılan bu ağır agregaların yüzdesine ve betonun birim ağırlığına göre değişmektedir. Ayrıca bu betonlar; geleneksel betonlara göre ısı iletkenliği birim kütle ve su içeriğine bağlı olarak yüksek, yangına karşı dayanımları düşük, eşit su/çimento oranı için işlenebilirlikleri daha düşük olmaktadır[14,15].

1.4.4. Yüksek Dayanımlı Beton

Çimento teknolojisindeki gelişmeler, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi bağlayıcı özelliğe sahip endüstriyel atıkların beton bileşiminde kullanılması ve su/çimento oranında beton işlenebilirliğini kaybetmeden önemli miktarda azalma sağlayan katkıların bulunmasıyla eskiden beri yaygın olarak kullanılan geleneksel betondaki dayanım ve dayanıklılık artırılmıştır. Bu sayede öngörülen beton, betonarme yüksek yapılar, köprüler, viyadükler, nükleer santraller gibi dayanım ve dayanıklılığın yüksek olması gereken yapıların yapılması sağlanmıştır. Bu yüksek dayanım ve dayanıklılık gerektiren yapılarda kullanılan, yüksek kalitede agrega ve çimento ile silis dumanı kullanılarak üretilen, su/çimento oranı 0,20'ye kadar düşürülebilen yüksek işlenebilirlik ve pompalanabilirlik özelliğine sahip betonlara yüksek dayanımlı beton denilmektedir. Silindir numunesinin 28 günlük basınç dayanımı 50 MPa'dan 100 MPa'a kadar çıkabilen bu beton türünde düşük porozite ve yüksek durabilite hedeflenmektedir. Dayanım ve dolayısıyla dayanıklılığı yüksek olan bu beton türünün, geleneksel betona göre çeşitli farklılıkları bulunmaktadır[16]:

- Yüksek dayanımlı betonun maksimum gerilmedeki şekil değiştirmesi geleneksel betondakinden yüksektir.
- Yüksek dayanımlı betonun şekil değiştirme kapasitesi geleneksel betonunkine göre daha azdır(şekil 1.1).
- Yüksek dayanımlı betonun elastisite modülleri geleneksel betonlarınkinden büyüktür.
- Yüksek dayanımlı betonun kırılması geleneksel betona göre daha gevrek olmaktadır.

- Yüksek dayanımlı betonun maliyeti geleneksel betonun maliyetinden fazladır.
- Yüksek dayanımlı betonun kalite kontrol düzeyi ve yapım hızı geleneksel betonunkine göre daha yüksektir.



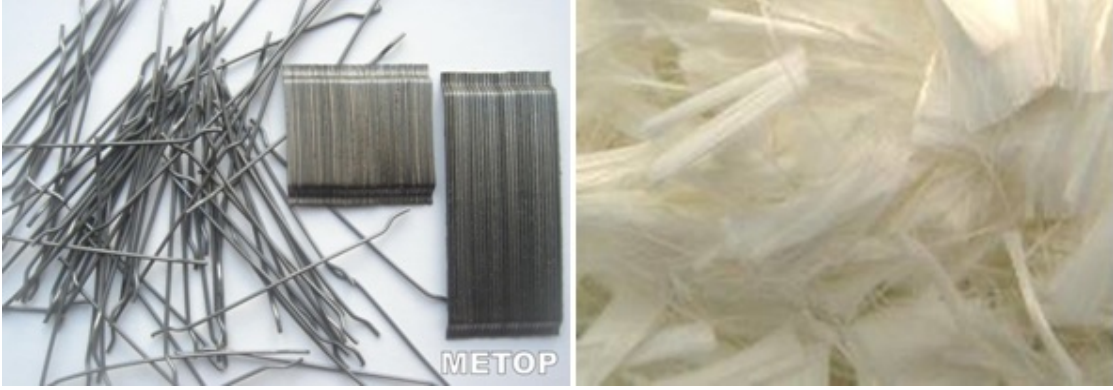
Şekil 1.1. Yüksek dayanımlı ve geleneksel betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

1.4.5. Özel Beton Türleri

1.4.5.1. Lifli Beton

Geleneksel betondaki tokluğun, darbe yüklerine karşı direncin, eğilme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için yapılan çalışmalarda yöntemlerden biri olarak lifli betonlar bulunmuştur. Çimento, agrega ve süreksiz olarak dağılmış liflerin su ile karıştırılmasıyla meydana gelen beton olarak tanımlanan lifli betonda yaygın olarak çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlar gibi lifler (Şekil 1.2) kullanılmaktadır. Lifli betonun içindeki bu farklı malzemeleri narinlik oranları, geometrik yapıları ve liflerin çekme gerilmesi tanımlamaktadır. Bu beton türünde genellikle narinlik oranı 50 ile 100 arasında değişen lifler kullanılmaktadır. Bu oranın artması karışımda topaklanmalar

meydana getirmektedir. Ayrıca kullanılan kalıp tipi ve sıkıştırma şekli çeşitli sorunlar yaratabilmektedir. Beton içerisinde homojen olarak dağılması gereken lifler, betonda oluşan çatlakları önlenmekte ve betonun daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır. Bu özellikler betonun çekme, eğilme ve darbeye karşı dayanımını arttırmaktadır. Bu nedenle betonarme kazık, yol, hava alanları, su boruları, büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrike yapı elemanlarında lifli betonların tercih edilmesi yararlı olmaktadır[17].



Şekil 1.2. Lifli betonlarda kullanılan bazı lif çeşitleri

1.4.5.2. Püskürtme Beton

Basınca dayanıklı lastik veya özel imal edilmiş saç borularla kullanım yerine iletilen ve önceden hazırlanmış yüzeye basınç altında püskürtülerek yerleştirilip, bu basınç etkisiyle de sıkılan beton türüne püskürtme beton denilmektedir. Bu beton çeşidinin uygulanmasında iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki olan kuru yöntemde, çimento ve agregadan oluşan kuru karışımın hava basıncıyla püskürtme tabancasından çıktığı son anda su ve katkı maddeleriyle karışmaktadır. Yaş yöntemde ise beton karışımı tüm malzemeleriyle hazırlanarak basınçla püskürtülmektedir. Püskürtme beton uygulamasına ilişkin bir örnek Şekil 1.3'te verilmektedir.

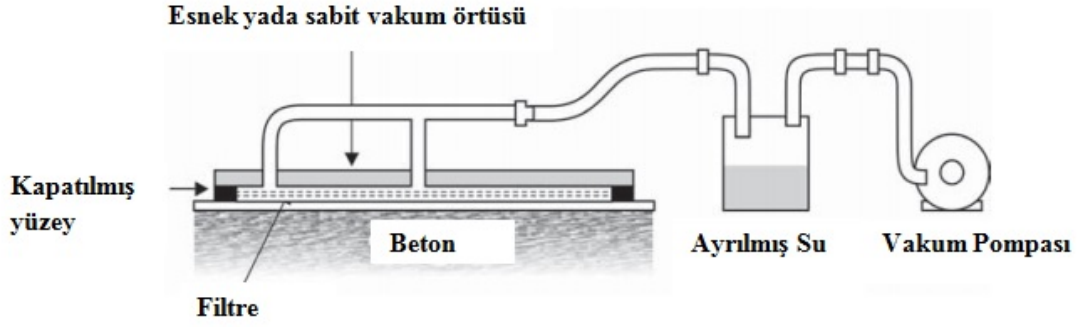
Püskürtme betonun özelliklerini geleneksel betonda olduğu gibi kullanılan katkı ve çimentoların tipleri, su/çimento oranı ve karışımda kullanılan agrega kalitesi, boyutu ve tipi etkilemektedir. Bu beton türü her tip inşaat malzemesi ve kalıp yüzeylerine uygulanabilmektedir. Ayrıca engellerin çevresine kolayca yerleşebildiğinden kavisli, kubbeli veya serbest şekilli elemanlarda uygulanabilmesinde ve düşük su/çimento oranı ile yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde ideal olmaktadır[18].



Şekil 1.3. Püskürtme beton uygulaması

1.4.5.3. Vakumlu Beton

Kalıplı veya kalıpsız olarak dökülmüş olan normal betona, taze halinde vakum uygulanarak, karışım içindeki su ve hava kabarcıkları çıkartılarak meydana getirilmektedir. Vakum işlemi, genelde normal koşullarda hazırlanmış orta işlenebilirliğe sahip yüzey alanı büyük betonlarda uygulanmakta, buna karşın mineral katkıları gibi çok ince malzemelerin bu işlem sırasında sistemden uzaklaşması ve bu taneciklerin filtreyi tıkayabilmesinden ötürü puzolanlı betonlarda uygulanmamaktadır. Vakum işleminde taze beton içinden alınan su miktarı vakum uygulanan alana ve karışım oranlarına bağlı olmaktadır. Uygulanan vakum sonucu betonun su/çimento oranının azaltılması, basınç dayanımında önemli bir artışa neden olmakta, bu durum kalıp söküm sürelerini kısaltarak zamandan tasarruf ettirmektedir. Vakum sonucu uzaklaştırılan beton yüzeyindeki hava kabarcıkları sayesinde ise betonun durabilitesi, boyutsal stabilite ve aşınma dayanımı olumlu yönde etkilenmekte, özellikle kaplama betonlarının servise girme sürelerinin azalması avantaj sağlamaktadır. Genellikle bu beton türü, havaalanı, karayolu, endüstriyel döşeme ve akaryakıt istasyonları gibi alanlarda kullanılabilir. Vakumlu betonun oluşturulması için oluşturulan düzenek şekil 1.4'de, vakum işleminin uygulanışı ise şekil 1.5'de verilmektedir[19].



Şekil 1.4. Vakumlu beton üretmek amacıyla oluşturulan sistem[20]



Şekil 1.5. Vakum işleminin uygulanışı

1.4.5.4. Kütle Betonu

Büyük boyutlu kalıplarda, içinde kullanılan agregaların en büyük tane çapının 15 cm'e kadar çıkabildiği, yerleştirilmesinde sıkıntı olmayacağından kuru kıvamlı olarak dökülebilen betonlardır. Bu beton türünün tasarımında termal etkiler, dayanıklılık ve ekonomi parametreleri öncelikli hususlar olarak ele alınırken, beton dayanımı ikincil bir husus olarak düşünülmektedir. Bu beton türündeki en büyük sorun hacminin büyüklüğünden kaynaklanan iç kısımlarındaki yüksek sıcaklık ve bu sıcaklığın çevre sıcaklığına ulaşması sırasında oluşan önemli büyüklükteki çekme gerilmeleri sebebiyle

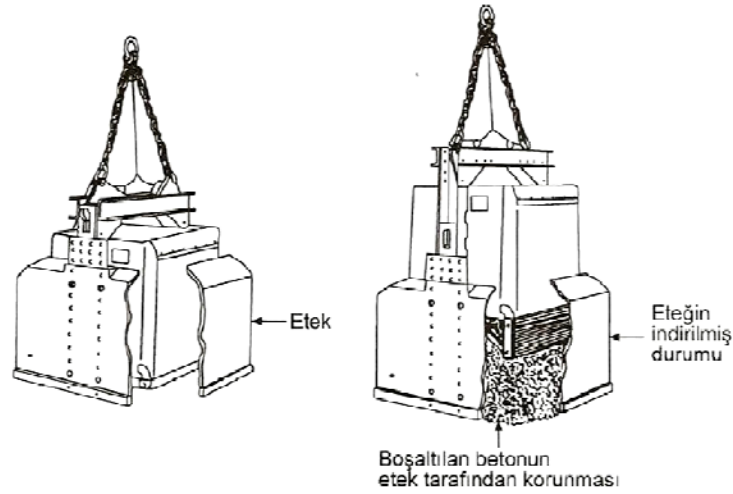
meydana gelen çatlaklardır. Oluşan bu çatlaklar betonun; yapısal bütünlüğünün bozulmasına, su geçirirliiği göstermesine ve servis ömrünün kışalmasına neden olmaktadır. Kütle betonu, baraj, liman, mendirek ve rıhtım blokları gibi büyük hacimli elemanlarda kullanılmaktadır(Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Bir kemer baraj kütle betonu

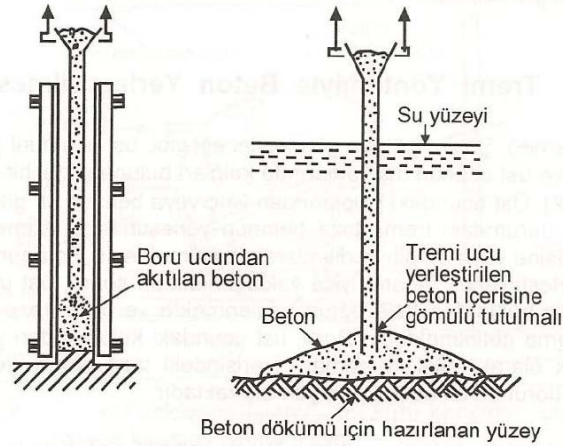
1.4.5.5. Sualtı Betonu

Betonun iletimi ve yerleştirilmesindeki zorluklar nedeniyle teknik olarak dökülmesi kaçınılmaz olan sualtındaki köprü ayaklarının, liman yapılarının ve bazı açık deniz yapıların inşaatında kullanılan özel beton çeşididir. Bu beton türünde deniz seviyesinin üstündeki beton kalitesi kolay sağlanamamaktadır. Bu beton çeşidinin iletim yöntemi olarak çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerden taşıma sisteminde beton çuval veya kapalı kova (Şekil 1.7) içinde dökümün olacağı yere iletilmekte ve dalgıç yardımıyla aderans sağlanacak şekilde yerleştirilmektedir. Bu teknik genellikle küçük boyutlu onarım işlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 1.7. Sualtı betonunun kapalı kova yöntemi ile dökümü[21]

Sualtı betonunun dökümünde kullanılan en yaygın teknik sürekli iletim yöntemlerinden tremi tekniğidir (Şekil 1.8). Bu teknikte su içindeki dar ve derin kalıplara ya da doğrudan sualtı zeminine üst ucu huni şeklinde olan bir borudan taze beton iletimi yapılmaktadır. Bu yöntem uygulanmasında özellikle tremi borusunun su altına indirilmesi sırasındaki tıpalama işlemi ile döküm sırasında betonun boruyu tıkamayacak kıvamda olmasına dikkat edilmektedir[21].



Şekil 1.8. Sualtı betonunun tremi yöntemi ile dökümü[21]

1.4.5.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton

Geleneksel betonun kolay yerleşememe ve ayrışma gibi sorunlarına çözüm olarak doksanlı yıllarda Japonya'da ortaya çıkmış beton türüdür. Ülkemizde kullanımı 2000'li

yıllarda başlayan bu beton sıkıştırma aygıtları kullanılmadan sık donatılı ve karmaşık şekilli kalıpları bile boşluk bırakmadan düzgün bir biçimde kolayca doldurulabilmektedir. Ayrıca geleneksel betonda yerleştirme işlemi dökülen betonun belirli bölgelerde yığılmasından dolayı uzun süre alırken kendiliğinden yerleşen betonda döküm işlemi tek noktadan yapılabildiğinden daha kısa sürede ve daha az işçilikle yapılabilmektedir.

Kendiliğinden yerleşen betonlar(Şekil 1.9) düşük su/bağlayıcı oranı sebebiyle hem yüksek dayanıma hem de üstün durabilite özelliğine sahiptirler. Bu özelliklerin yanında bu beton türünden ayrışma direnci ve geçiş yeteneği özellikleri de beklenmektedir. Bu sebeple beton türündeki akıcılık özelliği viskozite ile kayma eşiği bozulmadan genellikle süper akışkanlaştırıcılarla sağlanmaktadır. Ayrıca bu betonların betonarme elemanlardaki davranışları da geleneksel betondan farklı olmamaktadır.



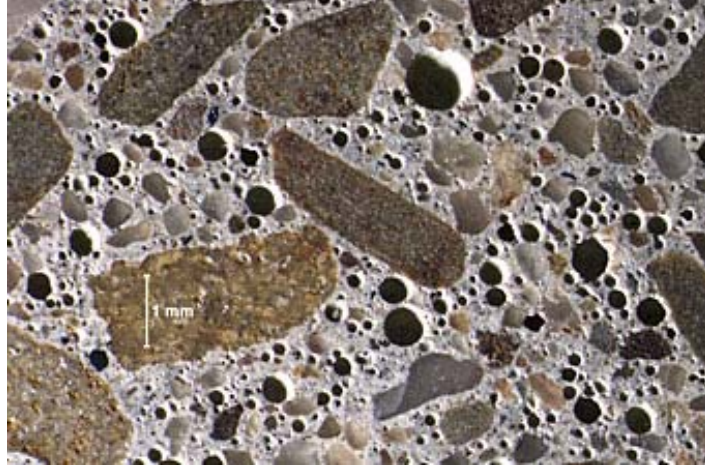
Şekil 1.9. Kendiliğinden yerleşen beton

Kendiliğinden yerleşen betonun tasarımında genellikle üç yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden birinde bileşimde kullanılan çimentonun inceliği ve daha ince olan malzeme artırılmaktadır. İkinci yöntemde ise nişasta, doğal sakız benzeri doğal polimerler, selüloz eter türevleri, sodyum alginat, polietilen oksit ve polivinilalkol gibi sentetik polimerler gibi viskozite artırıcı katkıları kullanılmaktadır. Üçüncü yöntem ise diğer iki yöntemin karma uygulamasıdır[22].

1.4.5.7. Hava Sürüklenmiş Beton

Soğuk hava koşullarına dayanıklılık göstermeleri için ortaya çıkan hava sürüklenmiş beton, çimento hamuru içerisinde birbirine çok yakın aralıklarla dağılım göstermesine karşın aralarında bağlantı içermeyen çok sayıda hava kabarcığı içeren beton türüdür. Bu beton çeşidi özellikle donma-çözülme ve buz çözücü tuzların etkileri

karşısında dayanıklılık arttırabilmektedir. Ayrıca hava sürüklenmesi taze betonda işenebilmeyi arttırmakta, terleme ve ayrışmayı ise azaltmaktadır. Bu özel beton türü, bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen yağ asitlerin tuzları, ağaç reçinelerinin alkali tuzları ve sülfatlı organik bileşenlerin alkali tuzları gibi hava sürükleyici katkılarla oluşturulmaktadır. Bu beton türünün iç yapısı şekil 1.10' da verilmektedir[23].



Şekil 1.10. Hava sürüklenmiş betonun iç yapısı

1.5. Betonun Özellikleri

Beton karışımını oluşturan çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin özellikleri ve bu malzemelerin karışım içerisindeki oranları betonun özelliklerini etkilemektedir. Beton özellikleri, taze betonun özellikleri ve sertleşmiş betonun özellikleri olmak üzere iki kısımda incelenmektedir.

1.5.1. Taze Betonun Özellikleri

Betonun ayrışma olmadan taşınıp kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki taze beton halinde yapılmaktadır. Buna rağmen taze beton sertleşmiş betondan daha az ilgi çekici olmakla beraber taze haldeki betona yapılan işlemler sertleşmiş betonun özelliklerini önemli oranda etkilemektedir. Dolayısıyla taze betonun bazı özellikleri göstermesi, setleşmiş betonun dayanım, dayanıklılık ve hacim sabitliği gibi istenilen özellikleri göstermesi için gerekli olmaktadır[24].

1.5.1.1.İşlenebilme ve Kıvam

Taze betonun ayrışmaya uğramadan, taşınması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve sonlaması işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi özelliğine işlenebilirlik denir. Taze betonun en önemli özelliği olan işlenebilirlik, beton karışımının sahip olduğu ıslaklık, taze betonun taşınabilirliği, pompalanabilirliği, yerleştirilebilirliği, ayrışması, sıkıştırılabilirliği ve yüzeyinin düzeltilebilirliği gibi kavramları da kapsamaktadır..Ayrıca taze betonun bu yeterli işlenebilme özelliğine sahip olması betonun sertleştiğinde yeterli dayanım ve dayanıklılığı göstermesi içinde önemlidir.Taze betonun işlenebilirliğini etkileyen faktörler aşağıda verilmektedir[24,25]:

- Çimento miktarı ve özellikleri,
- Karma suyu miktarı,
- Agregada gradasyonu ve en büyük agrega tane boyutu,
- İnce agrega miktarı ve tane dağılım oranı,
- Agregaların tane şekli,
- Beton yapımında kullanılan ince taneli mineral katkıları,
- Beton yapımında kullanılan kimyasal katkıları,
- Hava sürüklenmiş betonlardaki sürüklenen hava miktarı,
- Sıcak hava koşulları ve beton karışımının sıcaklığı,
- Beton karıldığı andan, kıvamın ölçüleceği ana kadar geçen süre

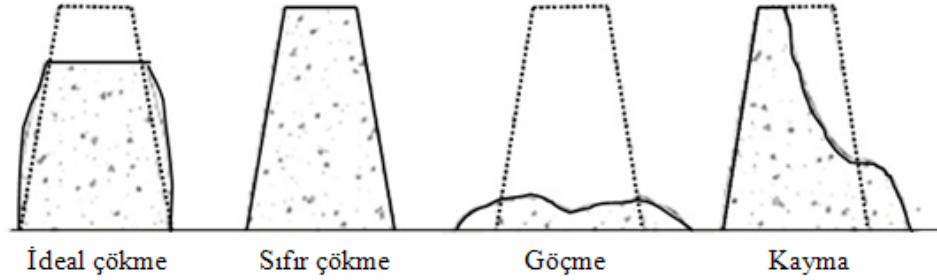
İşlenebilme özelliğini tam olarak ifade edememekle birlikte, beton kıvamı, beton işlenebilirliği hakkında önemli bir göstergedir ve tanım olarak "taze betonun ıslaklık derecesi" anlamına gelir. Ayrıca kıvamı etkileyen faktörler aşağıda verilmektedir[4]:

- Su / Çimento oranı,
- Agregada tane yapısı ve tane boyutu dağılımı,
- Öğütülmüş malzeme kümesi ($d < 0,25 \text{ mm}$),
- Katkı kullanımı.

Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, pompalanabilmekte ve yerleştirilmesine rağmen, bu betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Örneğin, aşırı derecede kıvamlı bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar ayrışması yeterli işlenebilirliğin olmadığını göstermektedir.

Betonun işlenebilme özelliğini belirlemek üzere bugüne kadar bir çok ampirik deney yöntemi önerilmiş fakat bu yöntemler taze betonun işlenebilme özelliği ile ilgili bazı özellikleri verse de hiçbiri işlenebilmeyi tam olarak ölçmemektedir. İşlenebilme özelliği hakkında fikir edinebilmek için taze betonun kıvamının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri ve bu yöntemlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir[4]:

a) Çökme Deneyi: Basit ve kolayca uygulanabilir bir deney olmasından dolayı, "çökme deneyi yöntemi" kullanılan deney yöntemleri arasında en popüler olanıdır. Çökme hunisi içi nemli bir bez ile silinerek slump tepsisi üzerine yerleştirir. Taze beton bu huniye 3 tabaka halinde her tabakada sıkıştırma çubuğu ile şişleme yapılarak, sıkıştırılmış durumdaki tabaka kalınlığı, huni yüksekliğinin 1/3'ü olacak şekilde doldurulur ve huninin üstü mala ile sıyrılır. Daha sonra huni saplarından tutularak 5-10 saniye içinde düşey olarak, sabit hızda yukarıya çekilir ve taze beton yığınının yanına konulan çökme hunisinin üzerine yatay olarak yerleştirilen şişleme çubuğunun alt seviyesi ile çöken betonun üst yüzünün ortalama yüksekliği arasındaki mesafe cetvelle ölçülür(Şekil 1.12). Bu işlem sırasında çökmenin doğru bir şekilde oluşup oluşmadığına dikkat edilmektedir. Çökme tipleri Şekil 1.11' de verilmiştir. Bu yöntemde betonun huniye doldurulmasından huninin betondan çekilme anı dahil 2,5 dakika içinde tanımlanmaktadır. Deney sonuçları, TS EN 12350-2 [26]'den çökme sınıfları (Tablo 1.1) alınarak kıvam sınıfı belirlenmektedir[4].



Şekil 1.11. Çökme tipleri



Şekil 1.12. Çökme deneyi

Tablo 1.1. Çökme sınıfları

Çökme Sınıfı	Çökme (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	>220

b) Vebe Deneyi: Vebe deney aleti (Şekil 1.13) ile gerçekleştirilen deney, özellikle kuru, çok kuru ve aşırı kuru betonların kıvamını bulmada kullanılmaktadır. Bu deneyin uygulanışında vebe ölçer rijit, yatay konumdaki bir taban üzerine yerleştirilerek silindirik şekilli kap titreşim masasına vidalarla bağlanmaktadır. Çökme kalıbı nemlendirilerek bu silindirik kalıbın içerisine konur ve tutma kolu döndürülerek çökme kalıbı üzerine kalıba temas edecek şekilde getirilir, sabitleme vidası ile sıkıştırılır. Taze beton numunesi slump hunisine sıkıştırılmış kalınlığı, huni yüksekliğinin 1/3'ü olacak şekilde 3 tabaka halinde her tabakada şişlenerek yerleştirilir. Sıkıştırma işlemi tamamlanınca, vidalar gevşetilir, huni yukarı kaldırılarak silindirik kap dışına çıkarılır. Çökme kabı saplarından 5-10 sn içinde sabit hızda düşey olarak yukarı çekilir ve kol çevrilerek saydam disk beton kütle üzerine getirilir. Beton kütle çöktüğünde, çöken kütle en üst noktasına disk temas ederken vida sıkıştırılır ve titreşim masası, kronometre aynı anda çalıştırılır. Çimento hamurunun diskin alt yüzeyini kapladığı an kronometre ve titreşim durdurulur, geçen süre kaydedilir. Değişik kıvamlardaki betonların vebe sınıfları (Tablo 1.2) TS EN 12350-3[27]'den alınmaktadır. Bu deney betonun çökme hunisine doldurulmaya başlamasından itibaren 5 dakika içinde tamamlanmaktadır[4].



Şekil 1.13. Vebe deney aleti[28]

Tablo 1.2. Vebe Sınıfları

Sınıf	Vebe Süresi (sn)
V0	>31
V1	30-21
V2	20-11
V3	10-6
V4	5-3

c) Sıkıştırma Faktörü Deneyi: Sıkıştırma faktörü deneyi (Şekil 1.14), beton karışımının kıvamı ve betonun ne ölçüde sıkıştığı hakkında fikirler vermektedir. Deney için, taze beton en üstteki kalıbı tamamen dolduracak şekilde yerleştirildikten sonra, kalıbın altındaki kapaklar sırasıyla açılır ve deney aletinin en alttaki silindirin içine düşen beton ağırlığı bulunmaktadır. Daha sonra tamamen sıkıştırılmış beton için aynı işlemler tekrarlanır ve silindiri dolduran beton ağırlığı bulunur. "Sıkıştırma faktörü" kısmen sıkıştırılmış betonun ağırlığının tamamen sıkıştırılmış beton ağırlığına oranıdır. Bulunan oranlarla TS EN 12350-4[29]'den kıvam sınıfları bulunmaktadır (Tablo 1.3). Ayrıca sıkıştırma faktörü deney yöntemi şantiyede uygulamaya çok uygun bir yöntem olarak kabul görmemekte ve bu deneylerde kullanılacak beton karışımlarında kullanılan en büyük agrega boyutu 40 mm'yi geçtiği takdirde deney sağlıklı sonuç vermemektedir[4].



Şekil 1.14. Sıkıştırma faktörü deney aleti[28]

Tablo 1.3. Değişik kıvamlardaki betonların sıkıştırma faktörleri

Görünür İşlenebilirlik	Sıkıştırma Faktörü
Çok Düşük	<0.75
Düşük	0.75-0.85
Orta	0.85-0.92
Yüksek	0.92-0.95
Çok yüksek	>0.95

d) Yayılma Tablası Deneyi: Betonun yayılma özelliğini ölçmek için kullanılan bu deneyin uygulamasında yayılma tablası düz bir zemine yerleştirilir ve üst plakanın ortasına yerleştirilen kalıba taze beton iki eşit tabaka halinde, her tabaka 10 kez şişlenerek sıkıştırılır. Daha sonra kalıp 3-6 saniye içinde düşey olarak yukarı çekilir ve üst plaka durdurma parçasına kadar yavaşça kaldırılır. Üst plaka alt durdurucular üzerine 15 kez serbestçe düşürülür ve bu her kaldırıp düşürme iki ile beş saniye arası sürede gerçekleşir. Düşürme işlemleri bittikten sonra üst plakaya yayılan betonun en büyük boyutları, plaka kenarlarına paralel doğrultuda cetvelle ölçülür ve ortalaması alınarak yuvarlanır. Yayılma sınıfları (Tablo 1.4) TS EN 12350-5[30]'den alınarak kıvam sınıfı belirlenmektedir. Ayrıca kendiliğinden yerleşen betonun akıcılığını test eden yayılma tablası testinde (Şekil 1.15) tabla üzerindeki betonda ayrışma meydana geldiği takdirde deney geçersiz kabul edilmektedir[31].



Şekil 1.15. Yayılma tablası deneyi[31]

Tablo 1.4. Yayılma Sınıfları

Sınıf	Yayılma Çapı (mm)
F1	<340
F2	350-410
F3	420-480
F4	490-550
F5	560-620
F6	>630

Taze betonda olması istenen yeterli ölçüdeki işlenebilme, betonun kullanılacağı yapının tipi, beton kütleinin boyutları ve betonun taşımada, yerleştirmede kullanılacak yöntem ile de doğrudan ilgilidir[4].

1.5.1.2. Olgunluk

Betonun dayanım kazanmasında etkili olan faktörlerden sertleşme ölçütü olan süre ve sıcaklığın değişken olarak kabul edildiği ikinci faktörlerin sabit tutulduğu büyüklük kavramına olgunluk derecesi denilmektedir. Bu kavram açıklanırken erken yaş, sonraki yaş, iç sıcaklık, çevre sıcaklığı terimleri kullanılmaktadır. Bu terimlerden erken yaş beton dökümünü izleyen ilk 7 saati ifade etmektedir. Erken yaşta olgunluk üzerinde hidrasyon ısı etkiliyken sonraki yaşlarda çevre koşulları daha etkili hale gelmektedir.

Olgunluk derecesi beton dayanımının tahminin denetiminde ve kalıp alma süresi hakkında gerçekçi bilgiler elde etmekte kullanılmaktadır. Bu durum için geçen yıllar içinde olgunluk-ölçer adıyla çeşitli ekipmanlar üretilmiştir. Bu aletleri kullanırken ASTM C

1074[32] deki olgunluk yönteminin teknikleri ve betonun kaydedilen ısı geçmişinden ısı-zaman faktörleri alınmaktadır[33].

1.5.1.3. Priz Süresi

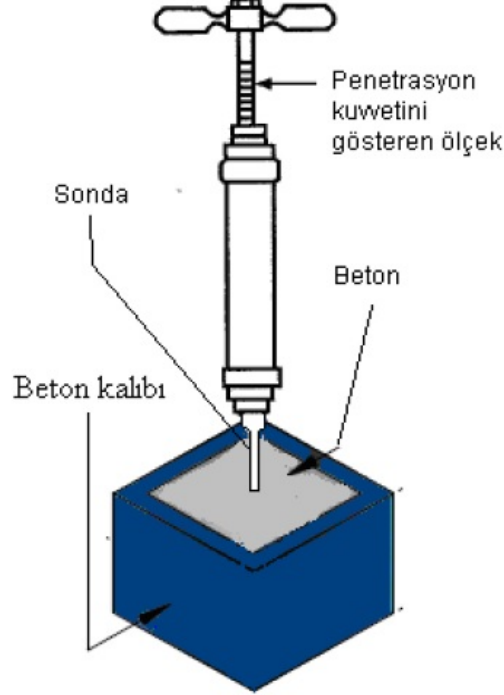
Çimentonun suyla oluşturduğu karışıma "çimento hamuru" denilmekte ve bu karışım betonun oluşturulmasında, agrega tanelerinin yüzeylerin kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak agrega tanelerini bir arada tutacak tarzda bir bağlayıcılık kazandırmaktadır. Ayrıca bu karışım, başlangıçta plastik özelliğe sahip olmasına rağmen çimento ve su arasında başlayan tepkimenin etkisiyle hidrasyon ürünleri olarak bilinen bileşikler oluşturarak bir kaç saat içerisinde plastik özelliğini kaybetmektedir. Bu olaya "katılma (priz)" denilmektedir. Takip eden günler içinde de tamamen sertleşmiş bir duruma gelmektedir. Çimento hamurunun bu özelliği sebebiyle, beton da ilk karıldığı an ile takip eden bir veya birkaç saatli süre içerisinde plastik yapısıyla istenilen bir kalıba yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi mümkündür. Zaman ilerledikçe karışımın katılmasıyla betonda da sertleşme ve dayanım artışı olmaktadır. Bu zamanla daha sert bir malzeme olma ve betonda dayanım kazanılması olayı da sertleşme olarak açıklanır. Görüldüğü üzere "priz" ve "sertleşme" ifadeleri birbirine benzer ifadeler olmakla birlikte ifade ettikleri durumlar birbirinden farklıdır.

Betonlarda sertleşme süreleri beton bileşiminde kullanılan bağlayıcılık özelliği gösteren malzemeler ile orantılıdır. Malzemelerin karılmaya başladığı an ile betondaki priz başladığı ana kadar geçen süreye "priz başlama süresi", katılmanın sona erdiği ve sertleşmenin başladığı ana kadar geçen süreye ise "priz sona erme süresi" denilmektedir.

Betonun priz özelliği nedeniyle beton karışımı hazırlandıktan sonra belli bir süre içinde beton dökümü yapılmalıdır. Özellikle aşırı sıcak ve soğuk havalarda katılma sürelerinin bilinmesi, inşaat sürecinin sorunsuz ve hızlı bir şekilde devam edebilmesi, beton kalıp alma sürelerinin doğru belirlenmesi için önemlidir. Taze betonun bu priz süresini aşağıdaki özellikler etkilemektedir[4]:

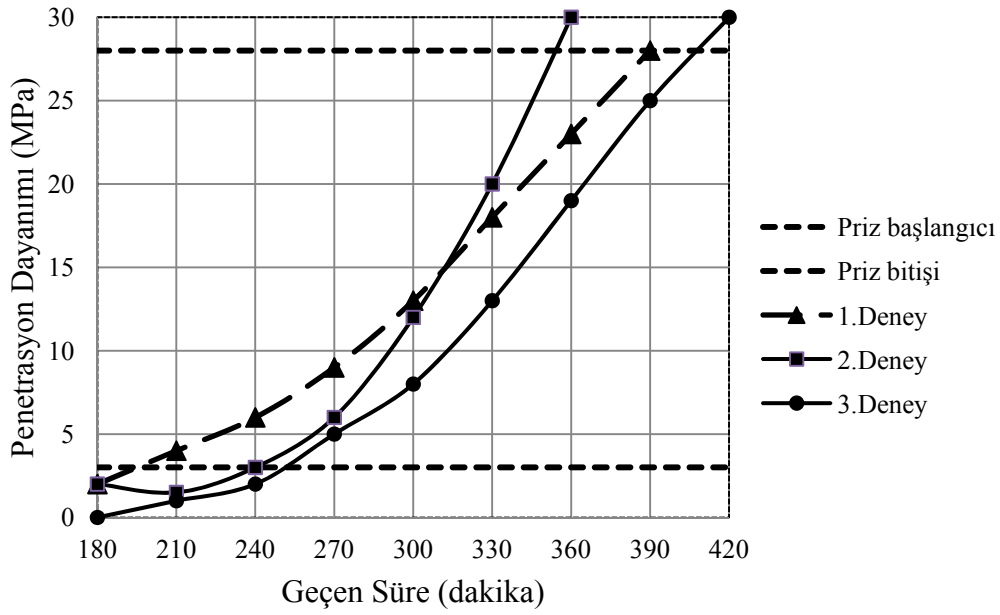
- Çevre sıcaklığı,
- Çimento tipi, miktarı ve inceliği,
- Su miktarı,
- Kullanılan kimyasal katkıların türü ve miktarı,
- Mineral katkının inceliği, miktarı ve tipi.

Taze betonun priz süresini bulmak için önerilmiş çok sayıda deney yöntemi vardır. Bu yöntemler arasından en çok kabul gören yöntem, taze betonun penetrasyona karşı direncinin ölçülmesi yöntemidir. Bu deneye beton karıldıktan 2-3 saat sonra başlanır fakat beton yapımında priz hızlandırıcı katkı kullanılmış ise bu süre 1-2 saate düşmektedir. Deneyde kullanılan penetrasyon aletinin ucuna kesit alını bilinen silindirik metal bir sonda takılmakta ve sondanın alt ucundan itibaren 25 mm'lik mesafe sonda üzerinde işaretlenmiştir. Penetrasyon aleti(Şekil 1.16) düşey olarak bastırılarak sondanın işaretlenmiş noktaya kadar girmesi için uygulanan penetrasyon kuvveti okunur ve okunan kuvvet değerinin kesit alana bölünmesiyle "penetrasyon dayanımı" hesaplanmaktadır[34, 35].



Şekil 1.16. Beton penetrasyon aleti

Penetrasyon işlemi 30 dakika aralıklarla, önceki uygulama noktasından en az 15 mm uzaklıkta tekrarlanır ve çıkan sonuçlara göre penetrasyon dayanımı süre eğrisi(Şekil 1.17) çizilir. Bu eğride 3 MPa penetrasyon dayanımına karşılık gelen değer "priz başlama süresi", 28 MPa penetrasyon dayanımına karşılık gelen değer ise "priz sonu süresi" olarak belirlenir[4, 36].



Şekil 1.17. Penetrasyon dayanımı - geçen süre eğrisi

1.5.1.4. Birim Ağırlık

Birim hacim içerisinde yer alan taze betonun ağırlığına "birim ağırlık" denir. Bu özellik; taze betondaki malzemelerin özelliklerine, beton içerisindeki boşluk miktarına, agrega tane dağılımına, sıkıştırma işleminin yapılıp yapılmamasına ve sürüklenen hava miktarına bağlıdır[37].

Taze betonun birim ağırlığının bilinmesi beton karışım hesapları için önemlidir. Ayrıca birim ağırlığının tespiti, üretilen beton kalitesinin kontrolü ve taze betonun kendi içerisinde veya aynı malzemelerle ve malzeme oranları ile üretilmiş diğer betonlarla benzer özellik gösterip göstermediğinin kontrolü içinde kullanılmaktadır. Taze betonun birim ağırlığını bulmak için, beton hacmi bilinen kaba 3 eşit kademede, her kademede çelik çubukla 25 şişleme yapılarak doldurulur ve beton net ağırlığı bulunur. Bulunan ağırlığın kabın hacmine bölünmesi birim ağırlığını verir İki beton arasında önceki sayfada bahsettiğimiz benzerliğin olması için ASTM C 94[38]'de alınan numunelerde bulunan birim ağırlıkları arasında 16 kg/m^3 'den fazla fark olmaması gerektiği belirtilmektedir[4].

1.5.1.5. Üniformluk

Bir beton karışımını oluşturacak malzemelerin topluluğuna "beton malzemeleri harmanı", bu harmanın karılmasıyla elde edilen taze betona ise "beton harmanı" ismi verilmektedir.

Hazırlanan bir beton harmanı içerisinde, malzemelerin uygun dağılım göstermesi ve beton harmanı içerisindeki betonun işlenebilme, birim ağırlık, dayanım ve diğer özelliklerinin harmanın diğer bölgelerindeki betonun özellikleri ile benzer olması gerekmektedir. Bu benzerliğe üniformluk denir. Beton harmanının kendi içerisindeki üniformluğu etkileyen sebepler aşağıda verilmektedir[39]:

- Beton malzemelerin üretilmesinde kullanılan karışım mikserlerinde bulunan karıştırma paletlerinin eksik veya aşınmış olmaları,
- Karıştırma süresinin yetersizliği,
- Karıştırma mikserine kapasitesi üstünde malzeme koyulması

Beton harmanları arasındaki üniformluğu etkileyen sebepler ise aşağıda verilmektedir:

- Herhangi bir nedenle beton karışımındaki malzeme oranlarındaki değişiklik,
- Agrega nem miktarındaki değişiklik,
- Agrega gradasyonu, tane şekli ve tipindeki değişiklik,
- Kullanılan çimento tipinin değiştirilmesi veya farklı üreticiler tarafından üretilen çimentoların kullanılması,
- Taze beton, hava veya ortam sıcaklığındaki değişiklik,
- Beton malzemelerinin karılmasındaki yöntemin değiştirilmesi,
- Beton malzemelerin karılmasında kullanılan mikserlerin değiştirilmesi

Taze betonun üniformluğunu ise aşağıda sıralanan deneylerle tespit edilmektedir:

- Çökme deneyi,
- Hava miktarını ölçme yöntemi,
- Birim ağırlık ölçme yöntemi,
- Basınç dayanımı,
- Hava miktarı çıkarıldıktan sonra, harcın birim ağırlığının ölçülmesi yöntemi,
- “Dunagan” deney yöntemi.

1.5.2. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Kalıbına yerleştirilerek veya ön yapımlı beton elemanların üretilmesinde nihai hedef sertleşmiş betonun, kendisinden beklenen özellikleri ve performansı gösterecek kalitede olmasıdır. Sertleşmiş beton, taze betonun katılaşmasından sonraki safha olarak açıklandığı için, sertleşmiş betonun özellikleri taze beton özelliklerine bağlıdır[4].

1.5.2.1. Basınç Dayanımı

Beton yapılar çeşitli yükler altında kalmakta ve yükün cinsine göre bu malzemenin çeşitli özelliklere sahip olması gerekir. İşte bu beton üzerine gelen yüklerin neden olabileceği şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı gösterdiği dirence beton dayanımı denir. Betonun basınç dayanımı da eksenel yük altındaki beton numunenin taşıyabildiği maksimum gerilme değeridir. Betonun basınç dayanımı betonun çekme ve kesme dayanımlarından bağımsız değildir.

Merkezi basınç dayanımının betonun en önemli özelliği oluşunun nedenleri aşağıda verilmektedir:

- Beton ve betonarme yapıların tasarımında, betonun basınç dayanımı kullanılmaktadır.
- Betonun basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasında bir ilişki vardır. Böylece, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer dayanım büyüklükleri hakkında fikir elde edinilebilir.
- Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında da bilgi vermektedir.

Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler de aşağıda verilmektedir[40]:

- Su/çimento oranı,
- Çimento dozajı
- Çimento özellikleri,
- Karışım suyu özellikleri,
- Agregası özellikleri,
- Betona uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırma işlemleri,
- Betonun kompasitesi,
- Betonun kür koşulları,

- Betonun yaşı,
- Yükleme hızı,
- Deney presinin kalibrasyonu

Betonlar karakteristik basınç dayanımları ile temsil edilen belli sınıflara ayrılmaktadır. Bu standarta göre beton sınıfları aşağıdaki Tablo 1.5’de verilmektedir.

Tablo 1.5. Karakteristik silindir basınç dayanımları ve eşdeğer küp dayanımlarına karşılık gelen beton sınıfları

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı (MPa)
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105

Hedeflenen beton sınıfında bir beton elde etmek için beton karışımında karakteristik basınç dayanımından daha yüksek olan ortalama basınç değeri hedeflenir. Karakteristik basınç dayanımı ile ortalama basınç dayanımı arasında ise şu ilişki vardır.

$$f_{cm} = f_{ck} + S s \quad (1.1)$$

Burada;

S: Basınç dayanımının daha düşük olma olasılığı (S=1.28 [40], S=1.48 [41] alınır)

s: Beton dayanımlarının standart sapması (N/mm²)

Betonarme yapılarda taşıma gücünün temelini betonun basınç dayanımı oluşturmakta ve yapıların tasarımında betonun belirli bir basınç dayanımına sahip olduğu kabul edilip hesaplar ona göre yapılmaktadır. Bu nedenle yapıların denetiminde taze betonun basınç dayanımı testleri önemli bir yer tutmaktadır. Fakat betonu oluşturan malzemelerdeki farklılıklar, beton dökümü sırasında yerleştirme ve sıkıştırma gösterilen özen, betona uygulanan kür koşullarının standarttan farklı olabilmesi gibi nedenlerle

betonun yerindeki basınç dayanımının, standart deney yöntemiyle belirlenmiş basınç dayanımından daha düşük değerde olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle yapılardan karot alınarak da basınç dayanımları bulunmakta ve yapılar denetlenmektedir[42].

1.5.2.2. Çekme Dayanımı

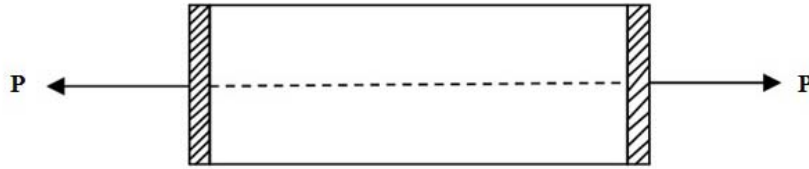
Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnme kabiliyetidir. Genellikle beton elemanları üzerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olur ve betonun çekme dayanımı, betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak basınç dayanımının %7-17'si kadardır[4].

Betonun çekme dayanımı yapıların tasarımında ihmal edilse de, ön germeli elemanların çatlama momentlerinin hesaplanmasında, erken yaş termal gerilmelerinin neden olduğu çatlakların belirlenmesinde ve sehim hesabının yapılmasında kullanılır. Ayrıca donatısız beton tasarımında da betonun çekme dayanımı kullanılmaktadır. Betonun çekme dayanımı da üç değişik deney yöntemiyle bulunmaktadır[43,44]:

a) Doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi: Betonun çekme dayanımını eksenel çekme kuvvetleri ile bulmak için standart bir deney yöntemi yoktur. Bu nedenle değişik numune boyutları ve deney düzenekleriyle doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi uygulanmaktadır. Genellikle prizmatik numunelerin başlık bölgelerine çelik levhalar yapıştırılıp bu levhaların ağırlık merkezinde P yükü uygulanır (Şekil 1.18). Burada uygulanan yükün yüzey alanına bölünmesiyle de çekme dayanımı bulunmaktadır. Ayrıca yapılarda karakteristik eksenel çekme dayanımı(Tablo 1.6) dikkate alınırken bu değer beton sınıflarına göre standarttan alınmaktadır[4].

Tablo 1.6. Beton sınıfları ve bu sınıflara karşılık gelen karakteristik aksel çekme dayanımları

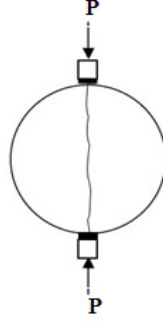
Beton Sınıfları	Karakteristik Aksel Çekme Dayanımı, MPa
C16	1.4
C18	1.5
C20	1.6
C25	1.8
C30	1.9
C35	2.1
C40	2.2
C45	2.3
C50	2.5



Şekil 1.18. Doğrudan çekme dayanımı deney yöntemi

b) Yarmada çekme dayanımı deney yöntemi: Yarmada çekme dayanımı deney yöntemi, TS 12390-6 [45]'a göre küp ve silindir numuneler üzerinde uygulanabilen dolaylı (indirekt) bir çekme dayanımı deney yöntemidir. Diğer deneylere göre daha basit ve elde edilen sonuçları daha benzer olan bu yöntemde silindir numuneler(Şekil 1.19) test cihazının basınç levhaları arasına yatay vaziyette yerleştirilip basınç uygulanarak düşey çap doğrultusunda yarılmaktadır. Küp numuneler(Şekil 1.20) ise iki yüzünden şerit şeklinde kontra plak gibi malzeme ile basınç levhaları arasına konur ve çizgisel yük uygulanarak yarılr. Ayrıca bu deneydeki çekme dayanımı direkt çekme dayanımından %5-12 daha fazladır. Silindir ve küp numunelerinin çekme dayanımları aşağıdaki gibi belirlenmektedir[44, 46]:

- Silindir Numunede:



Şekil 1.19. Silindir numune üzerindeki yarmada çekme deneyi

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi L D} \quad (1.2)$$

Burada;

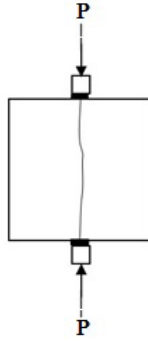
f_{ct} : Çekme dayanımı,

P: Uygulanan yük,

L: Silindirin numunenin boyu,

D: Silindir numunenin çapıdır.

- Küp Numunede:



Şekil 1.20. Küp numune üzerinde yarmada çekme deneyi

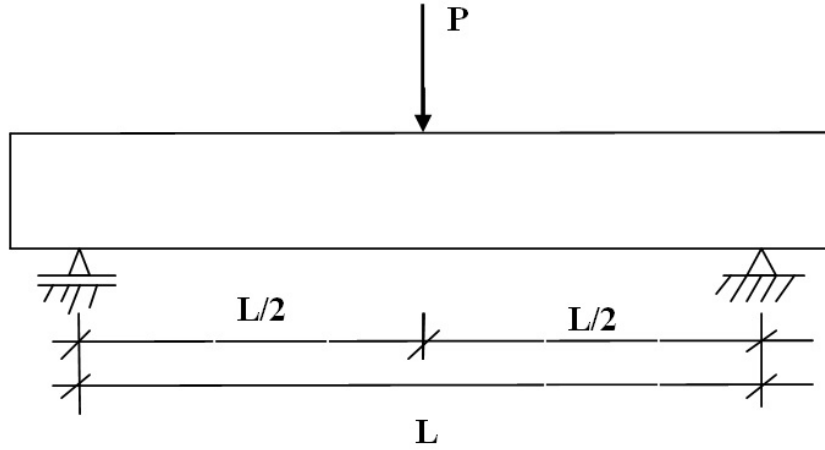
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi a^2} \quad (1.3)$$

Burada;

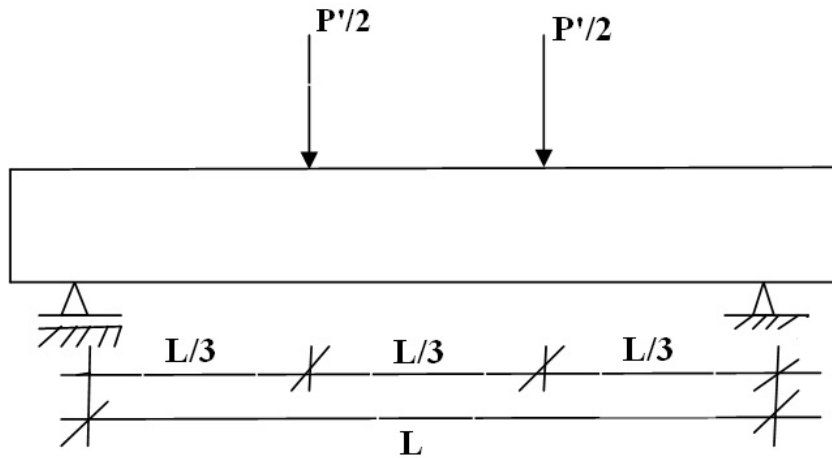
a: Küpün bir kenarının uzunluğu,

P: Uygulanan yüküdür.

c) Eğilmede çekme dayanımı deney yöntemi: Değişik yöntemlerle elde edilen çekme dayanımlarından, en büyük çekme dayanımı eğilmede çekme dayanımı deney yönteminden elde edilmektedir. Eğilmede çekme dayanımı da yarmada çekme dayanımı gibi indirekt (dolaylı) bir çekme dayanımı deney yöntemidir. Bu yöntem yükün uygulanış biçimine göre, üç noktalı (Şekil 1.21) ve dört noktalı (Şekil 1.22) eğilme deneyi olarak iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu deneylerde beton kirişte yer alan kırılmaya, betonun oldukça düşük çekme dayanımına sahip olması nedeniyle tarafsız eksen altında oluşan çekme gerilmeleri neden olur. Bu bakımdan beton kirişlerde eğilme dayanımı, bir anlamda betonun çekme dayanımını işaret etmektedir[4,28].

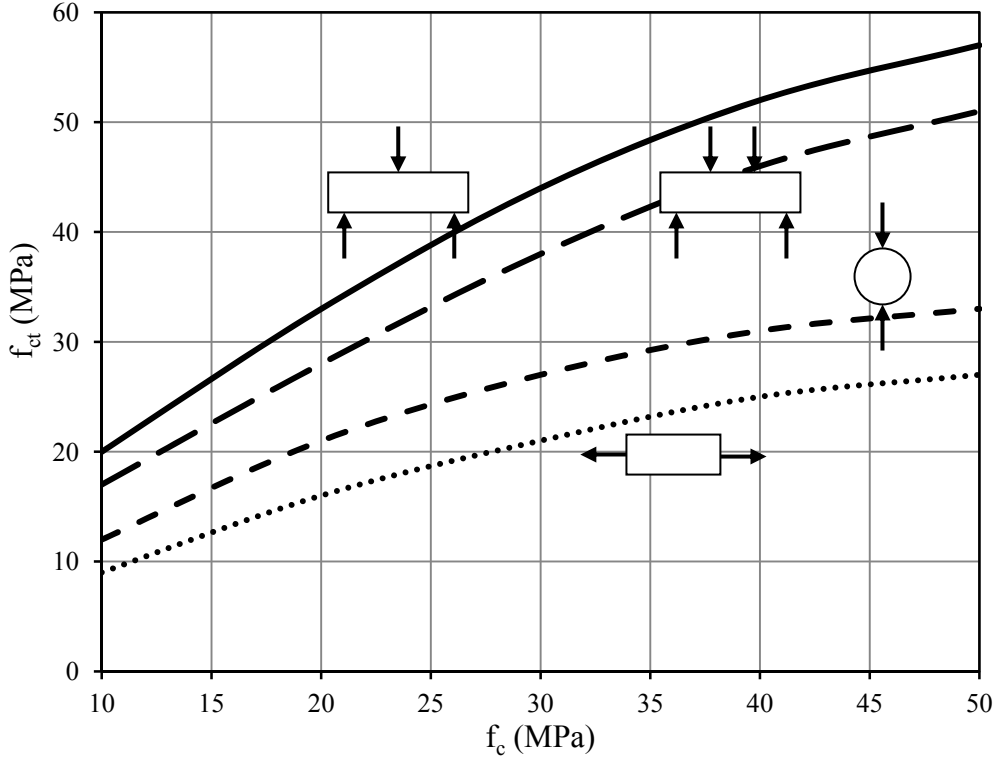


Şekil 1.21. Üç nokta eğilme deneyi



Şekil 1.22. Dört nokta eğilme deneyi

Deneysel numuneler en zayıf olduğu yerlerden kırılmaktadır. Genellikle deney uygulanan bu malzeme numuneleri ne kadar büyük ise numunedeki belli bir düzlemde o denli boşluklar meydana gelir. Bu sebeple yapı boyutu önemlidir. Ayrıca Kassas ve Erdoğan tarafından yapılan araştırmaların sonuçlarına göre, yarmada çekme dayanımı değerleri doğrudan çekme dayanımına göre %23-%29 daha yüksek olmaktadır, dört nokta eğilme deneyinden bulunan dayanım değerleri ise doğrudan çekme dayanım değerlerinden %45-%97 daha büyük olmaktadır[47]. Aşağıdaki Şekil 1.23'de betonun çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki topluca gösterilmektedir[48].



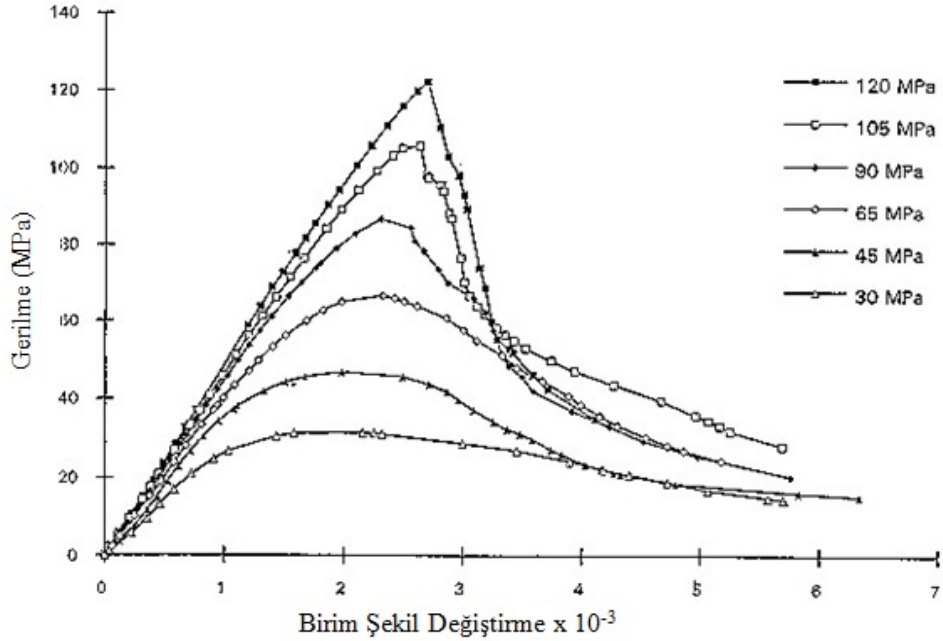
Şekil 1.23. Betonun çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki[48]

1.5.2.3. Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

Malzemeler, üzerlerine gelen yük nedeniyle belirli ölçülerde şekil değiştirmeye göstermektedirler. Bu şekil değiştirmeye malzemenin bir birim uzunluğunda ise buna "birim deformasyon" denir. Ayrıca bu şekil değiştirmeye yük malzeme üzerinden kaldırıldığında malzeme orjinal boyutlarına dönüyorsa, malzeme "elastik malzeme" dönmüyorsa, "elastik olmayan malzeme" olarak adlandırılmaktadır.

Mühendislik alanında yapılan hesaplarda elastik bir malzeme olarak kabul edilen beton ise gevrek ve farklı fazlardan oluşan bir kompozit olduğundan gerçekte elastik bir malzeme değildir. Fakat teorik olarak basınç dayanımının %30'u ile %40'ı arasında bir değerde elastik özellik göstermektedir.

Betonun elastik davranışını açıklamak için kullanılan gerilme birim şekil değiştirme diyagramındaki (Şekil 1.24) değerler arasında betonun sabit olmamasından kaynaklanan orana elastisite modülü denilmektedir. Bu diyagramda betonda gerilme artarken doğru orantılı olarak birim şekil değiştirme de artar ve bu durum maksimum gerilme değerinin yaklaşık %70'ine kadar doğrusal olmaktadır. Ayrıca bu noktaya kadar kalıcı bir şekil değiştirme meydana gelmemekte ve bu noktadan sonra numuneye büyük gerilmelerin uygulanmasıyla eğri doğrusallıktan saparak eğimin artırılarak göçme ya da kırılma meydana gelmektedir[4, 43, 49].

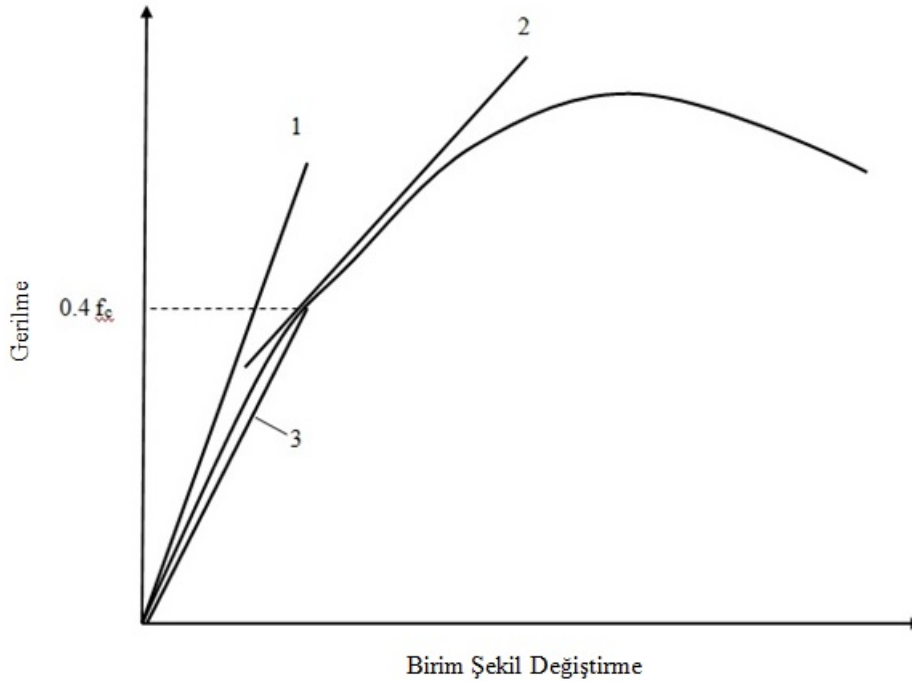


Şekil 1.24. Betonun Gerilme-Birim şekil değiştirme diyagramının dayanımla değişimi

Malzemelere uygulanan yüklerle ve şekil değiştirmeye ilgili olarak malzemeye gelen basınç yüklerinde basınç yükünün uygulandığı yöne dik yönlerde uzama, basınç yükünün uygulandığı yönde ise kısalma meydana gelmektedir. Bu durumda oluşan yanıl birim deformasyonun, aksel birim deformasyona oranına "Poisson oranı" denilmektedir. Bu oran beton kalitesi yükseldikçe azalmakta, betona uygulanan gerilme miktarı arttıkça

artmaktadır. Ayrıca bu oran statik yöntemle elde edilen poisson oranından biraz yüksek olmakla birlikte sonik ve ultrasonik gibi dinamik yöntemlerle de bulunabilmektedir. Elastisite modülünü bulabilmek için ise betonun gerilme birim şekil değiştirme diyagramı doğrusal kabul edilerek, bu doğrunun aşağıdaki çeşitli deneysel yöntemler ile eğimi hesaplanmaktadır (Şekil 1.25)[50]:

1. Başlangıç teğet yöntemi (Başlangıç modülü) : Gerilme birim şekil değiştirme eğrisine başlangıç noktasından teğet olarak çizilen doğrunun eğimi hesaplanarak elastisite modülü bulunur.
2. Teğet yöntemi (Teğet Modülü): Gerilme birim şekil değiştirme eğrisi üzerinde maksimum gerilmenin %40'ına karşılık gelen noktadan teğet olarak geçen doğrunun eğimi hesaplanarak elastisite modülü bulunur.
3. Sekant yöntemi (Sekant Modülü): Gerilme birim şekil değiştirme eğrisi başlangıç noktası ve bu eğri üzerinde betonun maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen noktadan geçen doğrunun eğimi hesaplanarak elastisite modülü bulunur[4, 43].



Şekil 1.25. Betonun elastisite modülünün bulunmasında kullanılan yöntemler

Deneysel yöntemlerin yanı sıra TS 500'de[40] geleneksel betonun elastisite modülü;

$$E=3520\sqrt{f_{ck}}+ 14000 \quad (1.4)$$

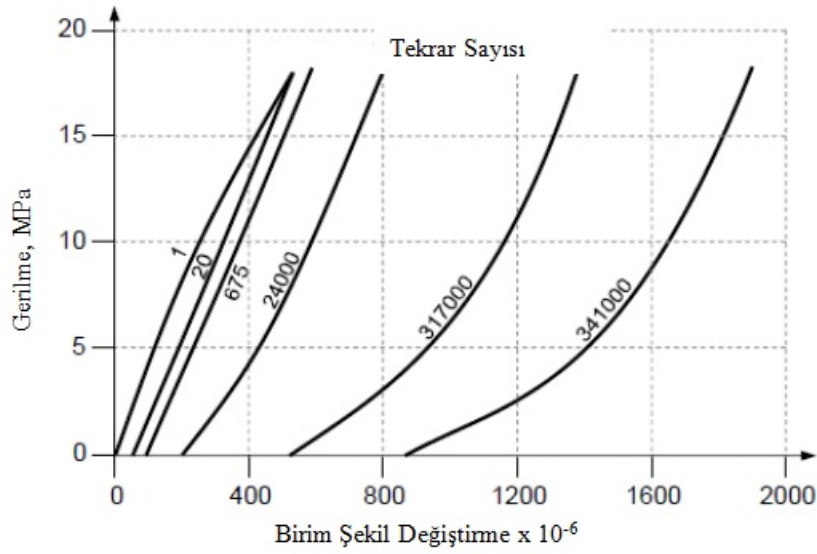
olarak verilmektedir. Betonun elastisite modülünü etkileyen faktörler ise aşağıda verilmektedir[4]:

- Beton dayanımı,
- Betondaki nem durumu,
- Yükün uygulanma hızı,
- Deney esnasında ortam sıcaklığı.

1.5.2.4. Yorulma Dayanımı

Malzemeyi kıramayan elastik limitin altındaki gerilmelerin arka arkaya tekrarlı bir şekilde uygulanmasıyla malzemedeki ani ve gevrek kırılma olayına "yorulma" denilmektedir ve bu terim ilk olarak 1839 yılında tekrarlı yük altında kırılma olayını tanımlamak için kullanılmıştır. Bu kırılma dinamik yüklemelerdeki kırılmanın bir örneğidir. "Yorulma dayanımı" ise belli sayıdaki yük tekrarı altında, malzemenin kırılmadan direnebileceği en büyük gerilme değeridir[51, 52].

Yorulma dayanımındaki yük tekrarı sayısı da o malzemeye tekrarlı olarak uygulanan toplam gerilme ile ilgilidir. Malzemelere uygulanan gerilme miktarının azalması kırılmaya yol açacak yük tekrarı sayısını arttırmaktadır. Betondaki yorulma sınırı da 10 milyon yük tekrarına karşılık gelen gerilme değeri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca betonun yorulma özelliği çoğunlukla tekrarlı eğilme gerilmeleri, tekrarlı yarma gerilmeleri ya da tekrarlı basınç gerilmeleri altında araştırılmakta doğrudan çekme gerilmeleri altındaki özelliği ise elde edilememektedir. Betonun tekrarlı yüklemelerle elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı şekil 1.26' da verilmektedir[4].



Şekil 1.26. Tekrarlı yüklemelerde betonun gerilme birim şekil değiştirme diyagramı

1.5.2.5. Dayanıklılık

Yapıların uzun ömürlü olması doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesinin yanı sıra yapının kalıcı denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak dayanıklılık ile mümkündür. 1970'li yılların ortalarına kadarda betonarme yapıların çok dayanıklı ve uzun ömürlü bir yapı türü olduğuna inanılıyordu. Fakat daha sonra gerçekten beton teknolojisine uygun projelendirilmiş, üretilmiş, geçirimsiz, yalıtımlı ve korunmuş yapılar haricinde yalnızca dayanım göz önüne alınarak üretilen değişik sanat yapılarının bilgi eksikliği ve uygulama hataları nedeniyle önemli hasarlar gördüğü tespit edilmiştir[53].

Yapının dayanıklılı olması için betonda aşağıdaki özelliklerin olması beklenmektedir[54]:

- Donma-çözölmeye karşı dayanıklılık,
- Islanma-kurumaya karşı dayanıklılık,
- Isınmaya-soğumaya karşı dayanıklılık,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Ateşe karşı dayanıklılık,
- Asit ve tuzlara karşı dayanıklılık,
- Hacim değişikliğine yol açıcı kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık.

1.6. Betonda Karşılaşılan Bazı Sorunlar

Betonun sadece uygun ve iyi koşullarda üretilmesi betondan istenilen verimin alınabilmesi için yeterli değildir. Betonun içeriğinde bulunan malzemelerin kendine has özellikleri, çevresel koşullar, betonun yeterli şekilde anlaşılmasından kaynaklanan kötü işçilik ve yanlış uygulamalar sebebiyle taze ve sertleşmiş betonda bazı sorunlarla karşılaşmaktadır[55].

1.6.1. Taze Betonda Karşılaşılan Sorunlar

Betonun taşınmasında, yerleştirilmesinde ve düzeltilmesinde yapılan hatalardan dolayı taze betonda bazı sorunlarla karşılaşmaktadır.

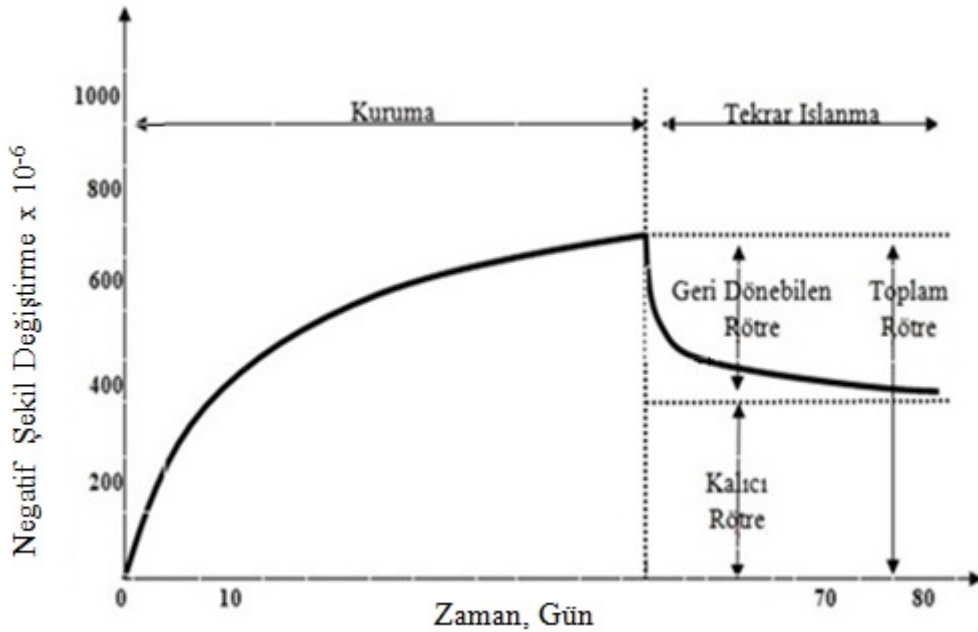
1.6.1.1. Rötne ve Şişme

Betonda bulunan su miktarının, çimento hidratasyonu ve çevresel etkiler nedeniyle azalması sonucu oluşan hacimsel değişikliğe rötne denilmektedir. Bu duruma ters bir şekilde fazla su ile temas halinde kalmış çimento hamuru ve betonlarda ise çimento jellerinin emdiği su sebebiyle hacim artışı olmaktadır. Bu hacim artışına "şişme" denilmektedir. Betondaki bu hacimsel değişimlerin miktarını etkileyen faktörler ise aşağıda verilmektedir[56]:

- Su/çimento oranı;
- Çimento hamurunun yaşı,
- Çimento tipi ve miktarı,
- Katkı maddesinin türü ve miktarı,
- Betonda kullanılan agrega miktarı,
- Agreganın elastiklik modülü ve mineral yapısı,
- Agregadaki kil miktarı,
- Çevreden kaynaklanan faktörler,
- Kuruma süresi,
- Betonun geometrisi.

Betondaki büzülme, aşağıda belirtilen farklı nedenlerle meydana gelmektedir[57]:

- Taze betondaki suyun buharlaşmasıyla oluşan büzülme "plastik rötre", sertleşmiş betondakine ise "kuruma rötresi" denilmektedir. Kuru durumdaki bu betonun ıslak hale getirilmesi (Şekil 1.27) ile oluşan büzülmenin ne kadar telafi edileceği; kalıcı rötre miktarına, betonun kurumadan önceki kür süresine ve sıcaklığına, çimento hamurunun porozitesine ve betonun yaşına bağlı olmaktadır,
- Betonun sadece kendi içeriğinde bulunan çimentosunun neden olduğu tepkimeler sebebiyle oluşan hacimsel değişikliğe "otojen rötre" denilmektedir,
- Sertleşmiş çimento hamuru ile havadaki karbondioksitin tepkimeye girmesiyle oluşan büzülme "karbonatlaşma rötresi" denilmektedir.



Şekil 1.27. Kuruma ve ıslanma durumundaki betonun rötre için davranışı

1.6.1.2. Ayrışma

Betonun hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasından beton içindeki iri tanelerin ince tanelerden ayrılması olayına (ayrışma) segregasyon (Şekil 1.28) denir. Bu olay betonun yapısının heterojen olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple aynı beton karışımındaki değişik bölgelerde dayanımlar ve diğer önemli özelliklerin farklı

olmasına neden olmaktadır. Ayrışma olayına sebep olan faktörler aşağıda verilmektedir[58]:

- Beton karışımında yer alan iri agrega miktarının çok olması ve en büyük agrega tane boyutunun 25 mm'den büyük seçilmesi,
- Beton karışımında kullanılan iri agrega ve ince agrega özgül ağırlıkları arasında büyük fark bulunması,
- Betonda bulunan ince agrega ve çimento gibi ince malzemelerin az olması,
- Betonda bulunan agregaların yuvarlak şekle, düzgün yüzeye sahip olmaması ve kusurlu tanelerin fazla olması,
- Beton karışımının aşırı şekilde sulu veya kuru olması,
- Betonun oluşturulan malzemelerin yeteri kadar karılmaması,
- Taşıma, yerleştirme ve sıkılaştırma işleminin uygun yöntem ve tarzda yapılmaması.



Şekil 1.28. Bir yapıda oluşan ayrışma

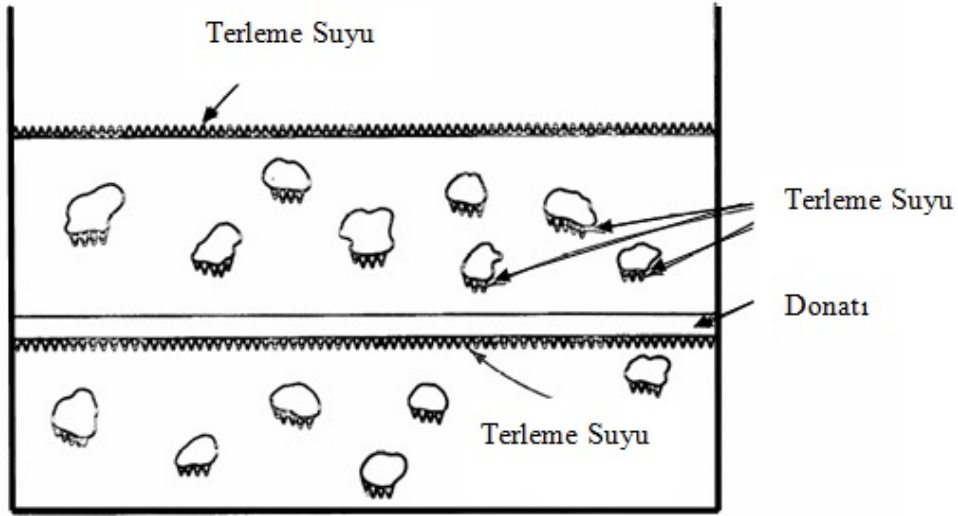
Betondaki ayrışmayı önlemek son derece kolaydır. Betonun hazırlanmasında, taşınmasında, yerleştirilmesinde ve sıkıştırılmasında alınacak önlemlerin yanı sıra betondaki ince agrega miktarının eksikliğinin yol açacağı ayrışmanın önlenmesi için, çoğu

zaman ince taneli mineral katkıları kullanılmaktadır. Ayrıca hava sürüklenmiş betonlarda da çimento hamurunun içine sürüklenmiş olan hava kabarcıkları ayrışmayı azaltabilir. Betonun ayrışma eğilimi de gözle tespit edilmektedir. Bu eğilimi bulmak için ayrıca bir deneysel yöntem bulunmamaktadır[58].

1.6.1.3. Terleme

Taze beton karışımındaki suyun, kalıba yerleştirilirken betonun yüzeyinde birikmesi olayına "terleme" denir. Bu olay beton içerisindeki çimento ve agrega taneleri gibi katı maddelerin çökmesi ve kendilerine bağlamadıkları suyun yukarı çıkmasıyla meydana gelmektedir. Ayrıca bu şekilde beton içerisinde belli bölgelerde su/çimento oranı yüksek zayıf tabakalar oluşmakta ve bu tabakalar taze betonun bazı özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir[4,23]:

- Beton karışımındaki suyun yüzeye doğru çıkmasıyla beton yüzeyinde gözenekli ve zayıf bir yapı oluşur. Bu yapı sertleşmiş beton geçirimsizliği özelliği üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olur.
- Taze betonun içerisindeki su yüzeye hareket ederken, tepkimeye girmemiş çimento taneleri ile çok ince agrega tanelerini de beraberinde sürükler ve bu durum beton yüzeyinin çok ince tanelerden oluşarak sertleşmiş betonun aşınmalara karşı dayanıklılığını azaltır.
- Beton yüzeyindeki buharlaşma hızı, terleme oranının gelişme hızından fazla olduğunda rötre çatlakları meydana gelir.
- Betonun içerisindeki su yüzeye çıkarken, bazen yüzeye çıkan suyun bir miktarı iri agrega tanelerinin altına veya beton içindeki demir donatıların altına takılarak su cepleri oluşturur (Şekil 1.29). Bu su cepleri, çimento hamuru ile demir donatı arasındaki aderans zayıflatır.



Şekil 1.29. İri agrega ve donatı altında meydana gelen terleme[58]

Taze betonun terleme hızını ve miktarını deneysel olarak bulmak için, iç çapı 254mm ve 280mm yüksekliğinde silindirik kaba taze beton yerleştirilip sıkıştırıldıktan ve yüzeyi düzeltildikten sonra kabın kapağı kapatılarak betondan terleme nedeniyle yüzeye çıkan suyun buharlaşması önlenir. Daha sonra ilk kırk dakika için, her on dakikada bir kez olmak üzere kapak açılarak beton yüzeyindeki su alınarak ölçülmekte ve ilk kırk dakikadan sonra, bu işlem terleme duruncaya kadar her otuz dakikada bir kez tekrarlanmaktadır. Bu deneyden bulunan terleme yüzdesi, deney süresince betonun salmış olduğu suyun ağırlığının, numune kabı içerisinde bulunan beton numunedeki net suyun ağırlığına oranıdır. Ayrıca taze betondaki terleme hızını ve miktarını azaltacak faktörler aşağıda verilmektedir[4]:

- Kullanılan çimentonun inceliğinin yüksek olması,
- Çimento kompozisyonu,
- İnce öğütülmüş mineral katkıları,
- Karma suyu miktarının azaltılması,
- Beton içerisine sürüklenmiş olan hava miktarı,
- Betonun tabakalar halinde yerleştirildiği inşaatlarda, tabaka derinliğinin mümkün olduğu kadar az tutulması.

1.6.1.4. Betonda Kıvam Kaybı

Taze betonu oluşturan malzemelerin karıştırılmaya başlandığı andan itibaren betonun kalıba yerleştirildiği zamana kadar geçen süre olan döküm süresinin uzaması ile betonda kıvam kaybı yaşanmaktadır. Kıvam kaybına yol açan nedenler aşağıda verilmektedir[55, 59]:

- Yüksek sıcaklık, rüzgar ve düşük nem sonucu hızlı buharlaşma,
- Betonun taşınacağı yol üzerindeki çeşitli aksaklıklar,
- Beton karışımını taşıyan araçla ilgili yaşanan problemler,
- Malzeme su emmesinin yanlış hesaplanması ve değerlendirilmesi,
- Santralde yanlış nem düzeltmesi.

Taze betondaki kıvam kaybı işlenebilirlik özelliğini etkileyerek betonun kalıba yerleştirilmesini zorlaştırır. Bu durumda bazı şantiyelerde yanlış bir uygulama olan beton karışımına yalnızca su katarak betonun mukavemetini düşürülmektedir. Kıvam kaybını önlemek için ise aşağıda belirten hususlar uygulanmalıdır[55, 59]:

- Şantiyede akışkanlaştırıcı katkı kullanmak,
- Santralde hava ve yol koşullarına göre su düzeltmesi yapmak,
- Betonu uygun devirde taşımak,
- Kalıpların önceden suya doygun hale getirilmesi.

1.6.1.5. Betonun Erken veya Geç Priz Alması

Betonun yerleştirilmesi, sıkılaştırılması, düzeltilmesi işlemlerinin düzgün yapılması ve bu işlemlerin planlanmasında priz sürelerinin doğru bilinmesi önemlidir. Betonun erken priz alması yapılan bu planlama ve işlemlerde aksaklıklara yol açmaktadır. Betonun erken priz almasının nedenleri aşağıda verilmektedir[55]:

- Yüksek sıcaklık,
- Yüksek oranda çimento miktarı,
- Düşük su/çimento oranı,
- Yüksek erken dayanımlı çimento kullanması,
- Beton malzemelerinin fazla sıcak olması,
- Çimentonun sıcak olması.

Betonun erken priz alması, betonun erken plastik özellik kazanarak işlenebilme özelliğini olumsuz etkilemektedir. Erken priz olayını engellemek için aşağıdaki önlemler alınmalıdır[55]:

- Priz geciktirici katkı kullanılması,
- Agreganın soğutulması veya beton karışımında su yerine buz kullanılması,
- Çimento dozajının dayanım ve dayanıklılığı sağlayacak şekilde azaltılması,
- Beton taşıyan araçların uygun planlama ile şantiyede uzun süre beklemesini engellemek.

Betonun geç priz alması da yapılan planlamalarda ve betona yapılan işlemlerde aksaklıklara sebep olmaktadır. Betonun geç priz almasının nedenleri ise;

- Aşırı soğuk hava,
- Düşük miktarda çimento kullanmak,
- Malzemelerin soğuk olması,
- Aşırı miktarda katkı kullanımı,
- Aşırı sıkıştırma işlemi uygulamak.

Şeklinde sıralanmaktadır. Betonun geç priz almasını engellemek için de aşağıdaki önlemlerin alınması önerilmektedir[55]:

- Betonda kullanılan malzemelerin ısıtılması,
- Priz hızlandırıcı katkı kullanılması,
- Çimento dozajının bir miktar arttırılması,
- Beton için uygun kür ortamının yaratılması.

1.6.2. Sertleşmiş Betonda Karşılaşılan Sorunlar

Sertleşmiş betonun yeterli dayanım değerlerini sağlaması "iyi beton" tanımı için yeterli olmamaktadır. Özellikle sertleşmiş betonun dayanıklılık özelliği konusunda bazı sorunlarla karşılaşmaktadır.

1.6.2.1. Su Geçirimsizliği

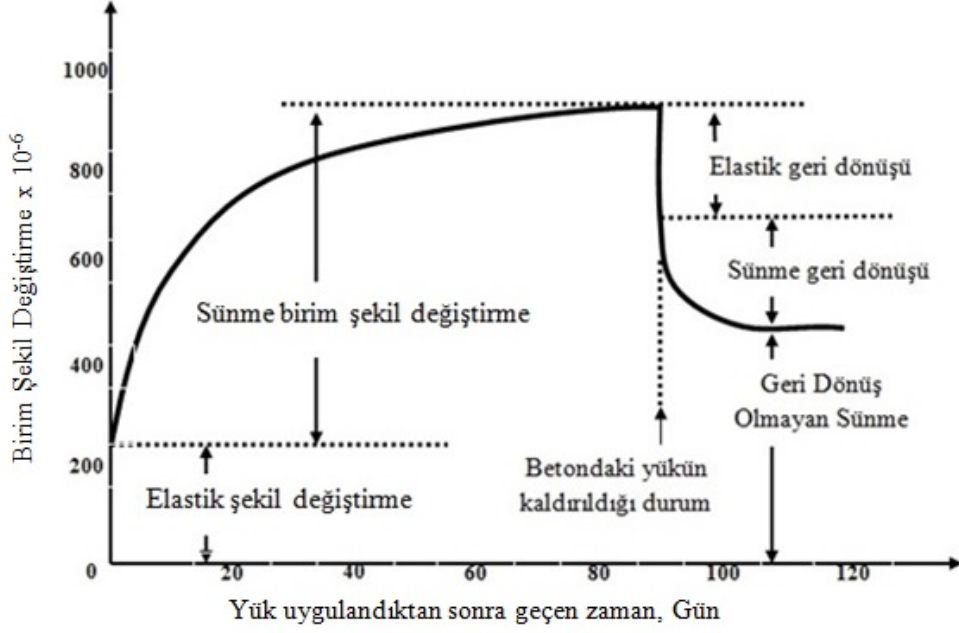
Sertleşmiş betonun yüzeyi ile temas eden sıvı ve gazların, betonun içerisine girerek akış göstermelerine imkan tanıyan özelliğe "geçirimsizlik" denilmektedir. Sıvı ve gazların

betonun içerisinde bu akışı gösterebilmeleri, betonda yer alan boşlukların bağlantılı olmasına bağlı olmaktadır. Sertleşmiş betondaki bu boşluklardan betonun içerisine dışarıdan su girmesine, betonun yıpranıp hasar görmesine neden olmaktadır. Betonda boşlukların olmaması için aşağıdaki hususlar gerçekleştirilmelidir[4]:

- Beton üretiminde kullanılacak olan çimento standartlara uygun olmalıdır,
- Çimento tanelerinin ince olması,
- Karma suyu, betona zarar verebilecek miktarda yabancı madde içermemelidir,
- Geçirimsizliği düşük olan agrega kullanılmalıdır,
- Su/çimento oranı düşük tutulmalıdır,
- Mineral katkıları kullanılmalıdır,
- Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemleri sırasında segregasyonun yer almamasına dikkat edilmeli,
- Taze betona kurallarına uygun kür yapılmalıdır.

1.6.2.2. Sünme

Bir cisme kuvvet uygulandığında, kuvvetin uygulanması anında ani şekil değiştirme ve bu şekil değiştirme sonrasında başlayan zamanla birlikte artan geciken şekil değiştirme (Sünme) meydana gelir. Sünme betonda(Şekil 1.30), düşük gerilmeler altında ve normal sıcaklık ortamında meydana gelebilmesinin yanı sıra bütün malzemelerde oluşabilecek bir olaydır[4,60].



Şekil 1.30. Betonun genel sünme eğrisi

Betonda kalıcı yükler altında oluşan gerilmelerin basınç dayanımının %40'ından az olduğu durumlarda, sünme gerilme ile orantılı olarak artarken gerilmenin fazla olması durumunda ise bu orantı kaybolur ve sünme hızlı olarak artar. Ayrıca sabit basınç yükü altında sünme deformasyonu zamanla artar ve rötre olayındaki gibi betonda çatlakların oluşmasına, yapı elemanlarının hasar görerek çökmesine neden olabilir. Betondaki sünme şekil değiştirmesini etkileyen faktörlerde aşağıda verilmektedir[4,48,61]:

- Betonda uygulanan sabit yükün büyüklüğü,
- Su/çimento oranı,
- Çimento tipi ve miktarı,
- Katkı maddesinin türü ve miktarı,
- Betonun yaşı,
- Agreganın miktarı ve elastisite modülü,
- Rölatif nem miktarı,
- Ortam sıcaklığı,
- Beton elemanın geometrik özellikleri.

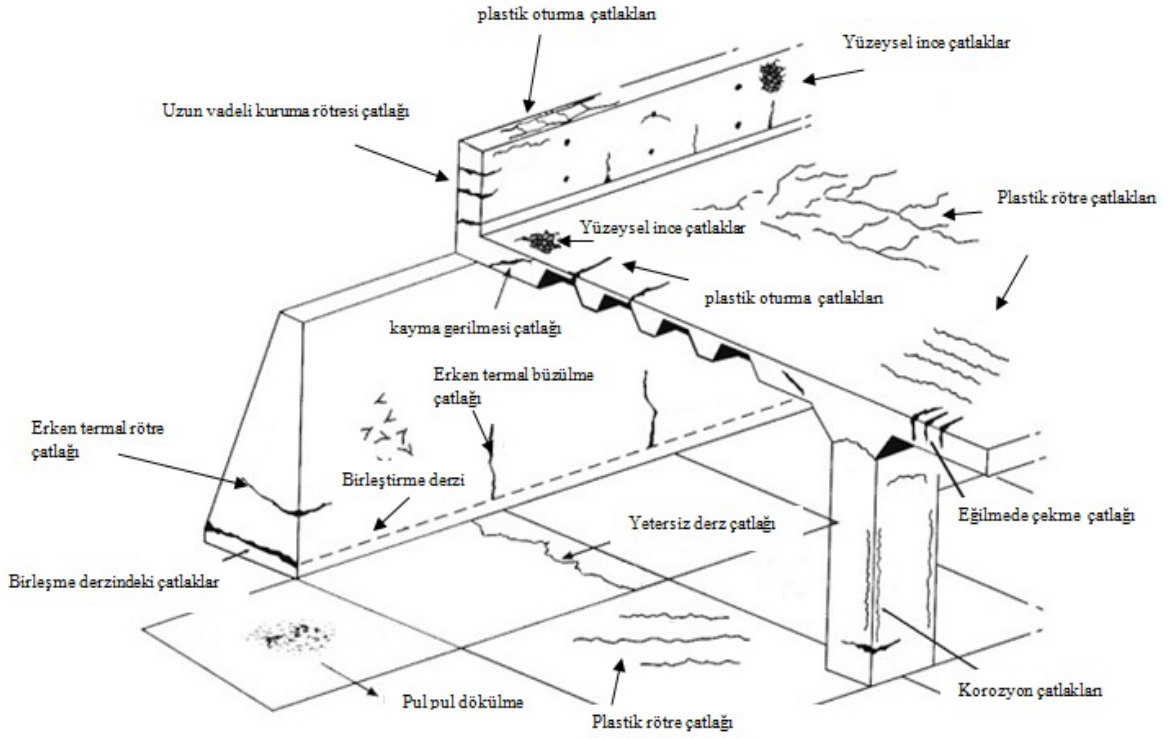
1.6.2.3. Çatlama

Betonda sertleşme öncesi, sonrasında ve esnasında fiziksel, kimyasal, termal ve yapısal etkenler sonucunda oluşan yüzeyde görülebilen, sebeplerine göre çeşitli şekil ve farklı uzunluk, genişlik, derinliklerde meydana gelen ayrılmalara çatlak denilmektedir.

Yapıdaki çatlak tipleri;

- Plastik rötre çatlakları,
- Uzun vadeli kuruma rötresi çatlakları,
- Erkan termal rötre çatlakları,
- Yetersiz derz sonucu oluşan çatlaklar,
- Sürekli dış etkiden kaynaklanan çatlaklar,
- Birleşme derzlerindeki çatlaklar,
- Eğilmede çekme çatlakları,
- Kayma gerilmesi çatlakları,
- Donma-çözülme sonucu çatlaklar,
- Yüzeysel ince çatlaklar,
- Plastik oturma çatlakları

Şeklinde sıralanabilir. Bu çatlakları gösteren şematik çizim Şekil 1.31 'de görülmektedir.



Şekil 1.31. Beton ve betonarmede çatlak tipleri

Nem, sıcaklık değişimleri ve yük taşınmasından dolayı şekil değiştiren bir malzeme olan betonun çatlaklı bir malzemedir. Betonda görülen çatlakların oluşma nedenleri de farklı olmaktadır. Yapıdaki betonlarda bulunan çatlakların nedenleri aşağıda verilmiştir[55]:

- Yetersiz ve yanlış kür uygulaması,
- Uygun olmayan malzeme kullanımı,
- Çevre koşulları,
- Uygun olmayan bitirme işlemi,
- Su/çimento oranı yüksek beton kullanmak,
- Zeminin uygun olmaması,
- Yetersiz sıkıştırma,
- Yanlış beton tasarımı ve malzeme seçimi.

1.6.2.4. Çiçeklenme

Çimentonun tepkimesi sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit suda bir miktar çözülebilmektedir. Çözülen bu bileşen ve bazı tuzlar beton içerisinde yüzeye çıkarak

atmosferdeki karbondioksit ile reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyon sonucu beton yüzeyinde oluşan beyaz lekeler "çiçeklenme" denilmektedir. Çiçeklenme(Şekil 1.32) olayının nedenleri aşağıda verilmektedir[55, 62]:

- Suda çözünen tuzları içeren yer altı suyunun yukarı hareket ederek temele veya beton kaplamaya geçmesi,
- Yıkanmamış malzeme kullanılması,
- Standarda uygun olmayan su kullanılması,
- Betonun fazla geçirgen yapıda olmasıdır.



Şekil 1.32. Çiçeklenme olayı

Çiçeklenme olayı özellikle renkli betonlarda görünümü bozmakla birlikte betonun dayanımını etkilemektedir. Ayrıca bu olay beton geçirimsizliğini etkilediğinden oluşan boşluklu yapı betonun dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Çiçeklenme olayını engellemek için aşağıdaki uygulamalar yapılabilir[55]:

- Betonun geçirimsizliği azaltılmalıdır,
- Kullanılan karışım ve kür suyunda ve agregalarda çeşitli tuzların bulunmamasına dikkat edilmelidir,
- Beton karışımında, betonun geçirimsizliğini ve dayanıklılığını arttıran beyaz renkte puzolonik katkıları kullanılmalıdır,
- Düşük alkali miktarı içeren çimento kullanılabilir.

1.6.2.5. Alkali-Agrega Reaksiyonu

Betonun bileşiminde bulunan silis kaynaklı agregalar, betonda oluşan alkali hidroksitlerle tepkimeye girmektedirler. Tepkime sonunda beton yapısı içerisinde oluşan su emme kapasitesine sahip alkali-silika jelleri ortamdaki nem ile birleşerek betonda genleşme meydana getirmektedir. Bu genleşme çimento pastasının çatlamasına neden olur. Genellikle bu çatlaklar(Şekil 1.33) harita şeklinde olmaktadır ve betonun dayanıklılığını azaltmaktadır. Alkali-agrega reaksiyonunu engellemek için aşağıda belirtilen hususlar yerine getirilmelidir[63]:

- Belirli bölgeden elde edilen ve uzun yıllar kullanılarak herhangi bir zararlı etkisi görülmemiş olan agregalarla beton üretilmesi,
- İnce taneli puzolanik katkı kullanılması,
- Düşük su/çimento oranının seçilmesi,
- Betonun geçirimsiz olarak tasarlanması



Şekil 1.33. Alkali-Agrega Reaksiyonu sonucu oluşan çatlak yapısı[64]

1.6.2.6. Donma-Çözülme Etkisi

Sertleşmiş betonda kapiler boşluklarda bulunan suların düşük sıcaklıklarda donmasıyla beton hacimsel olarak %9 büyümektedir. Sıcaklığın normal seviyelere gelmesiyle donan suyun bir kısmı tekrar sıvılaşır. Bu donma çözülme etkisiyle(Şekil 1.34)

de çimento hamurunda çatlaklar meydana gelmektedir. Çevresel bir faktör olan bu etki betonun servis ömrünü kısaltmaktadır. Özellikle baraj, yol, temel betonlarının bu etkiye maruz kalması sakıncalı olmaktadır[4].

Donma-çözülme etkisinde betonun geçirimsizlik özelliğinin yanı sıra betonda kullanılan agregaların özellikleri de etkilidir. Betonda kullanılan agreganın donmaya karşı dayanıklılığı, yenilenen donma çözülme olayının zararlı etkilerine karşı betonun ne derece dayanıklı olduğunun bir ölçüsüdür. Ayrıca bu etkiyi engellemek için hava sürükleyici katkıları kullanılmaktadır. Kullanılan bu katkıları beton içinde hava kabarcıkları oluştururlar. Betonun içindeki sular bu hava kabarcıklarının içlerini doldururlar. Bu şekilde donma çözülme etkisi sırasında suların donmasıyla oluşan içsel gerilmelerin oluşması engellenmiş olur[55,65].



Şekil 1.34. Donma çözülme olayının etkisinin görüldüğü bir örnek

1.6.2.7. Sülfat Etkisi

Zemin ve deniz suyunda bulunan sülfat iyonları betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal tepkimeye girmektedir. Bu tepkimeler betonun hacimsel değişiklik geçirerek bozulmasına yol açmaktadır. Bu bozulma ilk başta beton blokların köşe ve kenarlarından başlamakta, bozulmanın ileri derecelerinde betonun tamamen dağılmasına yol açabilmektedir.

Sülfat etkisini(Şekil 1.35) azaltmak için sülfata dayanıklı çimento veya ince taneli puzolonik katkıları kullanılmaktadır. Kullanılan bu katkılarda en iyi performansı yüksek fırın çürüğü göstermektedir. Ayrıca betonun geçirimsiz olması da bu etkiyi engellemek için önemli bir faktördür[55, 66].



Şekil 1.35. Sülfatın betona etkisinin görüldüğü bir örnek

1.6.2.8. Aşınma

Beton yüzeylerin yıpranmasında erozyon, oyulma, çarpma ve aşınma gibi mekanizmalar rol oynamaktadır. Bu mekanizmalardan aşınma, yavaş tempoda gerçekleşen fiziksel ve mekanik bir olaydır. Bu tür yıpranmalar en fazla yol, hava alanı pisti, döşeme, köprü, baraj gibi yapı betonlarında görülmektedir. Aşınma olayının meydana geldiği bir örnek Şekil 1.36' da verilmektedir.

Betonda aşınma dayanımı, basınç dayanımı, su/çimento oranı, çimento hamuru ve agrega kalitesi, agrega-hamur ara yüz dayanımı gibi faktörler birbirleri ile yakından ilgili olmaktadır. Betonda oluşan aşınmayı engellemek için[4, 67];

- Betonun basınç dayanımı yüksek olmalı,
- Aşınmaya karşı dayanıklı agregalar kullanılmalı,
- Taze betondaki terlemenin ve plastik rötre çatlakların minimum düzeyde yer almasına dikkat edilmeli,
- Taze betonun yüzeyinin düzeltilmesi uygun tarzda yapılmalı,
- Beton yüzeyinde gerekirse yüzey sertleştirici maddeler kullanılmalıdır.



Şekil 1.36. Aşınma olayının bir örneği

1.6.2.9. Yüzeyde Hava Kabarcığı Oluşumu

Beton döküm işlemi sırasında taze beton yüzeyinin, beton içerisindeki su henüz terlemeden ya da beton içindeki hava dışarı çıkmadan bitirilmesinden dolayı sertleşmiş betonun yüzeyinde hava kabarcıkları(Şekil 1.37) oluşmaktadır. Bu sorunun nedenleri aşağıda verilmektedir[55]:

- Az yada aşırı sıkıştırma nedeniyle beton yüzeyinde kalın bir harç tabakası meydana gelmesi,
- Uygun olmayan araçlarla mala yapılması,
- Fazla hava içeriği,
- Su/çimento oranının yüksek olması,
- Terlemenin yavaş gerçekleşmesi.



Şekil 1.37. Yüzeyde hava kabarcığı oluşumu

Beton yüzeyindeki hava kabarcıklarının oluşumunu engellemek için aşağıda verilen maddeler uygulanmalıdır[55]:

- Uygun ve yeterli sıkıştırma işlemi uygulanmalıdır,
- Yüzey bitirme işlemi zamanında yapılmalıdır,
- Hava içeriği ve su/çimento oranı düşük beton kullanılmalıdır.

1.6.2.10. Eski ve Yeni Beton Tabakaları Arasında Soğuk Derz Oluşumu

Beton işlerinde en doğru uygulama, ek yapılmadan, diğer bir deyişle, ara verilmeden beton dökümünün tamamlanmasıdır. Ancak bazı durumlarda beton döküm işlemine ara verilmesi ve daha sonra beton dökümüne tekrar devam edilmesi gerekebilmektedir. Bu durumda önce dökülen beton kütlesi prizini almakta ve üzerine dökülen yeni betonla arasında eski beton- yeni beton yapışması (aderansı) yeterince sağlanamamaktadır. Böylece, projelendirmede öngörülenden çok farklı olarak, beton ya da betonarme eleman bu düşük aderans yüzeyinin iki tarafında birbirinden ayrı parçalar olarak çalışmaktadır. Eski beton- yeni beton arasında ortaya çıkan bu durum uygulamada “soğuk derz” olarak adlandırılmaktadır. Günlük hayatta oldukça sık rastlanabilen soğuk derze ait bir görünüm Şekil 1.38’de verilmektedir[68].



Şekil 1.38. Betonda soğuk derz örneği

Soğuk derzin olduğu ek yerleri genellikle yapının zayıf kısımlarıdır. Bu kısımlarda beton elemanın çekme, yarma dayanımı vb. gibi mekanik özellikleri, bir bütün olarak dökülmüş ve homojen bir beton elemana göre daha az olmaktadır. Ayrıca çevre faktörlerine karşı beton elemanın soğuk derzli kısımları daha dayanıksızdır. Soğuk derzin oluşma nedenleri aşağıda verilmektedir[69]:

- Hatalı planlama,
- Yetersiz malzeme,
- Betonun erken priz alması,
- Betonun çok kuru olması,
- Yetersiz sıkıştırma.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı oluşan soğuk derzin beton ve betonarme yapılar için bazı sakıncaları ise;

- Eski betonla yeni beton arasında düşük, hatta sıfır, aderans (yapışma) dayanımı,
- Betonarme yapı elemanlarında zayıf kesitlerin oluşumu,
- Yek pare döküme göre yapı elemanlarının basınç dayanımının düşük olması.
- Soğuk derz ara yüzeyinden su girişi nedeniyle donatı korozyonu
- Çatlak oluşumu,
- Kötü görünüm

Şeklinde sıralanabilir.

1.7. Betonda Soğuk Derz ile İlgili Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

Yapılan literatür taraması sonucu eski ve yeni dökülmüş beton tabakaları arasındaki soğuk derz oluşumuyla ilgili sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. İlgili yönetmeliklerde de soğuk derz ile ilgili bir bölüm mevcut değildir. Aşağıda, bu çalışmanın konusuna uygun olarak gerçekleştirilmiş bazı araştırmalar kısaca tanıtılmaktadır.

Santos ve Julio[70] eski ve yeni beton arasındaki yapışma dayanımına yaş etkisi; kür koşullarının, betonun sıkışma faktörünün, betonun normal gerilmesinin, arayüzü geçen takviye malzeme miktarının, alt yüzey pürüzlülüğü ve bu pürüzlülüğün oluşma şekilleri koşulları göz önünde bulundurularak farklı bağ gücü test teknikleriyle değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapışma dayanımı üzerindeki diferansiyel büzülme ve diferansiyel sertlik etkisi ile ilgili bir modelleme de yapılmıştır.

Saldanha vd.[71] tarafından yapılan çalışmada eski ve yeni beton arasındaki yapışma dayanımı eğimli kesme testi modifiye edilerek araştırılmıştır. Modifiye edilen test yöntemiyle ara yüzde bulunan değişik pürüzlülük şekillerinin yapışma dayanımına etkisi irdelenmiştir.

Julio vd.[72] tarafından yapılan çalışmada eski beton yüzeyleri pürüzlülüğü; tel fırça, kumlama, yontma ve sol döküm çelik kalıpla değiştirilerek eğimli kesme testi ve kontrollü çekme testleriyle epoksi esaslı bağlayıcı etkisinin yapışma gücüne olan etkisi araştırılmıştır.

Tayeh vd.[73] tarafından yapılan araştırmada normal dayanımlı eski beton üzerine yüksek performanslı fiber beton dökülerek iki beton ara yüzü arasındaki geçirimsizlik özelliğine bakılmıştır. Ayrıca bu çalışmada eski beton ara yüzündeki değişik pürüzlülük şekillerinin yapışma dayanımına olan etkisi eğik kesme ve yarmada çekme testleriyle araştırılmıştır.

Xiong vd.[74] tarafından yapılan çalışmada eski beton üzerine; temiz çimento hamuru, geniş macun, çimento harcı, suda dağılır epoksili reçine ve uçucu küllü-modifiye harç içeren geçiş dilimi oluşturulmasının sonra dökülen yeni beton ile yapışma dayanımına etkileri araştırılmıştır.

Li[75] tarafından yapılan çalışmada değişik beton türlerinin uzun vadeli ve kısa vadeli yapışma dayanımlarına ara yüze konan üç tip ara malzemenin etkisi, kontrollü çekme deneyi ve yarma deneyi ile incelenmiştir. Ayrıca geçiş bölgeleri kısa ve uzun vadede taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı spektroskopi ile incelenmiştir.

Momeyez vd.[76] tarafından yapılan çalışmada beton yüzeyi ile onarım malzemesi arasındaki yapışma dayanımına yapılan eğilmede kesme deneyi, brezilya yarma deneyi, koparma deneyi ve bir yüzey kesme deneylerinin etkisi araştırılmıştır.

Julio vd.[77, 78] tarafından yapılan çalışmalarda önce eski beton üzerine dökülen farklı karışım oranlarına sahip yeni betonlar arasındaki yapışma dayanımı araştırılmıştır, daha sonra ise eski beton yüzeyinin pürüzlenmesi için kullanılan farklı teknikler ile değişik bağ gücü ölçme deneylerinin beton ara yüzeylerinin yapışma dayanımına üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca eski ve yeni beton yapışma dayanımı için sonlu elemanlar yöntemiyle bir modelleme yapılmıştır.

Xiong vd.[79] tarafından yapılan çalışmada eski ve yeni beton arasındaki yapışma dayanımına hidroklorik asidin aşındırma etkisi araştırılmıştır.

Espeche ve Leon[80] tarafından yapılan çalışmada betonarme yapılarda yapılan güçlendirmeler için plastisite teorisine göre eski ve yeni beton ara yüzünün başarılı olması için sınırlar belirlemek için brezilya yarma testi uygulanmıştır.

Shah ve Kishen[81, 82] tarafından yapılan çalışmalarda ise eski beton yeni beton arasında oluşan soğuk derzin kırılma özellikleri boyut açısından değişik modellerle incelenmiş, kırılma davranışı akustik emisyon ile karakterize edilmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda üzerinde çalışılan numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobu ile analiz yapılmıştır.

Kuroda vd.[83] tarafından yapılan çalışmada eski ve yeni beton arasındaki yapışma dayanımına beton ara yüzüne ilave edilen silis dumanı, uçucu kül ve hidratlanmış alçı ile hazırlanmış karışımların etkisi kısa ve uzun vadeli olarak incelenmiştir.

Kunieda vd. [84] tarafından yapılan çalışmada eski ve yeni beton ara yüzeyinin kırılma enerjisi araştırılmış, beton ara yüzünün çatlama şekli sayısal verilerle ve diyagramlarla karakterize edilmiştir.

Bonaldo vd.[85] tarafından yapılan çalışmada eski beton ve yeni çelik lif takviyeli beton arasında değişik yapıştırıcı malzemelerin yapışma dayanımına etkisi koparma testiyle araştırılmıştır.

Torgal vd. [86] tarafından yapılan çalışmada eski beton üzerine volfram madeni atık çamur ve portland çimentosuyla oluşturulan onarım harcı dökülmüş, eğimli kesme deneyi ile yapışma dayanımı kısa ve uzun vadeli olarak incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobuyla inceleme de yapılmıştır.

Santos vd. [87] tarafından yapılan çalışmada eski beton ve yeni beton arasındaki yapışma dayanımı beton tabakalarının nem katkısı göz önünde bulundurularak beton ara yüzünün pürüzlülüğü tel fırça, püskürtme ve yüzey hazırlığı olmadan değiştirilerek ve yapıştırıcı madde etkisi bir yüzey kesme deneyi ile incelenmiştir.

Mohammadi vd. [88] tarafından yapılan çalışmada eski beton yeni beton arasındaki yapışma dayanımına ara yüze eklenen silis dumanlı, metakaolinli, çimento hamurlu geçiş dilimlerinin etkisi araştırılmıştır.

Li vd. [89] tarafından yapılan çalışmada eski beton yeni beton arasındaki yapışma dayanımı yarma testi ile incelenmiş, beton ara yüzleri ise elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı spektroskopisi ile araştırılmıştır.

Shin ve Wan [90] tarafından yapılan çalışmada farklı karışım oranlarına değişik malzemeler içeren eski beton yeni beton arasındaki yapışma dayanımı iki farklı nem durumuna göre araştırılmıştır.

Climaco ve Regan [91] tarafından yapılan çalışmada eski beton ve yeni beton arasındaki yapışma dayanımını bulurken uygulanan eğimli kesme deneyi Coloumb kriteri göz önünde bulundurularak araştırılmıştır.

Behfarnia vd. [92] tarafından yapılan çalışmada eski beton yeni beton arasındaki yapışma dayanımına mikrosilika, yüzey pürüzlülüğü şekillerinin etkisi kısa ve uzun vadeli olarak araştırılmıştır.

1.8. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Beton dökümü sırasında planlı olarak ya da başka nedenlerle betonlama işlemine belli bir süre ara verilmesi ve daha sonra betonlamaya tekrar devam edilmesiyle ortaya çıkan eski beton - yeni beton tabakaları arasında oluşan ve pratikte “soğuk derz” olarak adlandırılan durum nedeniyle beton ve betonarme yapılarda arzu edilmeyen bazı sonuçlarla karşılaşabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, eski beton- yeni beton aderansının, geleneksel ve yüksek performanslı betonlar üzerinde, deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak, değişik basınç dayanımına sahip beton karışımları oluşturulmuş, geliştirilen bir düzenek yardımıyla gerçekleştirilen küp yarma deneyleri ile eski beton – yeni beton aderansının zamanla değişimi araştırılmıştır. Ayrıca silis dumanı kullanılarak hazırlanan çimento şerbeti ile eski beton yüzeyini sıvama ve eski beton yüzeyinin taze haldeyken pürüzlendirilmesi gibi işlemlerin de söz konusu aderans üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

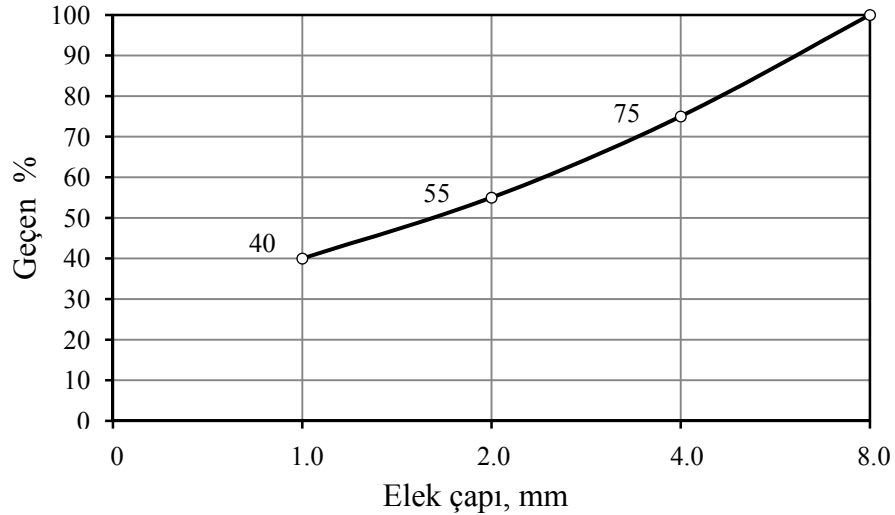
2.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme Özellikleri

2.1.1. Agregaların Özellikleri

Üretilen betonlarda Trabzon İli Değirmendere havzasında oldukça yaygın bir şekilde rastlanan Kalker kayacı agregası kullanılmıştır. Agregası, aynı mevkide bulunan bir konkasör tesisinden temin edildikten sonra bazı fiziksel özellikleri TS 3526[93] ve TS 3529[94]'a göre belirlenerek TS 706 EN 12620+A1[95]'e göre en büyük tane çapı D=8 mm olacak şekilde elenip sınıflara ayrılmıştır. Tez kapsamındaki tüm çalışmalar KTÜ Yapı ve Malzeme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2.1'de, beton üretimi için belirlenen granülometrik bileşimi ise Şekil 2.1' de verilmektedir.

Tablo 2.1. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega Tipi	Doygun Kuru Yüzey Birim Kütlesi (kg/m ³)	Kütlice Su Emme yüzdesi (%)
İnce (0 – 4.0 mm)	2630	2.90
İri (4.0 - 8.0 mm)	2740	0.50



Şekil 2.1. Beton karışımlarında kullanılan agregaların granülometrisi

2.1.2. Çimento Özellikleri

Çalışma kapsamında üretilen geleneksel ve yüksek dayanımlı betonlarda Aşkale Çimento A.Ş.'nin Trabzon fabrikasında TS EN 197-1[96]'e göre üretilmiş, basınç dayanımı 32.5 MPa olan Puzolanik Katkılı CEM II/B-M 32.5 R ve basınç dayanımı 42.5 MPa olan Portland Kalkerli CEM II/A-LL 42.5 R tiplerindeki çimentolar kullanılmıştır. Çimento paketleri, özelliklerinin deneysel çalışma boyunca aynı kalmasını sağlamak için havası alınmış naylon torbalar içinde saklanmıştır. Kullanılan çimentoların fabrikasından temin edilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2. Beton üretiminde kullanılan çimentonun

FİZİKSEL ÖZELLİKLER		Kütlece Yüzde (%)	
		CEM II/B-M 32.5 R	CEM II/A-LL 42.5 R
Özgül kütle (g/cm ³)		2.90	3.01
Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g)		4732	4250
45 mikron elek üstünde kalan (%)		5.70	2.60
Priz süresi (saat) (Vicat indisi) Başlangıç		2.50	2.05
Priz süresi (saat) (Vicat indisi) Bitiş		3.58	3.20
Standart kıvam su miktarı (%)		33.60	30.40
MEKANİK ÖZELLİKLER			
2 Günlük	Basınç dayanımı (N/mm ²)	15.9	22.7
7 Günlük	Basınç dayanımı (N/mm ²)	28.3	39.8
28 Günlük	Basınç dayanımı (N/mm ²)	38.1	56.9
KİMYASAL ÖZELLİKLER			
SiO ₂		26.69	20.09
Al ₂ O ₃		7.34	4.88
Fe ₂ O ₃		2.60	3.25
CaO		47.03	59.68
MgO		2.01	1.92
SO ₃		2.97	2.78
Kızdırma kaybı		6.84	7.08
Cl ⁻		0.021	0.021

2.1.3. Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Özellikleri

Yüksek dayanımlı betonların üretiminde mineral katkı maddesi olarak silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanının kimyasal özellikleri Tablo 2.3' de, verilmektedir. TS EN 12350-2 [26] 'de belirtilen S4 kıvam sınıfında (160 mm - 210 mm çökme değeri olan) adhezif beton elde etmek için YKS marka "Glenium-51" olarak adlandırılan polikarboksilik eter esaslı, özgül kütlesi 1.11 kg/litre olan süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır.

Tablo 2.3. Silis dumanının kimyasal özellikleri[97]

KİMYASAL ÖZELLİKLER	Kütlece Yüzde (%)
Çözünen SiO ₂	92.82
Çözünmeyen SiO ₂	0.58
Al ₂ O ₃	0.35
Fe ₂ O ₃	0.54
CaO	2.30
MgO	1.09
SO ₃	-
Kızdırma kaybı	1.31
Tayin edilemeyen	1.01
Yığılma yoğunluk (g/cm ³)	0.28

2.1.4. Karma Suyu

Betonların karılmasında içme suyu kullanılmıştır.

2.2. Betonların Bileşimi

Deneylerde üretilen betonların bileşim oranları Eurocode-2[98] ve TS 802[99]'de verilen "mutlak hacim yöntemi" kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

W_c , W_a , V_w ve V_h sırasıyla 1 m³ betondaki çimento kütleini (kg), agrega kütleini (kg), su ve hapsedilmiş hava hacmini (dm³), γ_c ve γ_a sırasıyla çimento ve agreganın doymun kuru yüzeyli (DKY) birim kütlelerini (kg/dm³) göstermek üzere agrega mutlak hacmi;

$$V_a = \frac{W_a}{\gamma_a} = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (2.1)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Agrega yığınının i adet farklı agrega sınıfından meydana geldiği göz önüne alındığında, her bir agrega sınıfının kütlei farklı olacağından β_i ve γ_{ai} sırasıyla agrega sınıflarının kütlece oranını ve DKY (Doymun Kuru Yüzey) birim kütleini göstermek üzere toplam agrega kütlei;

$$\sum (\beta_i \frac{W_a}{\gamma_{ai}}) = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (2.2)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Agrega sınıflarının ayrı ayrı kütleleri, bağlantı (2.2)' den elde edilen toplam agrega kütlei ile istenilen agrega sınıfının kütlece oranıyla çarpılarak tespit edilebilir.

$$W_{ai} = \beta_i W_a \quad (2.3)$$

Elde edilen agrega kütleleri DKY kütleleri olmakla birlikte, agregalar genellikle doymun kuru yüzeyli halde bulunmamaktadır. Hesapla elde edilen değerden agregaların doyma suyunu belirlemek için doğal nem (DN_i) durumunun ve su emme miktarının (SE_i) belirlenmesi gerekir. Belirlenen bu değerlerden sonra doyma suyu miktarı (DS_i);

$$DS_i = (SE_i - DN_i)W_a \quad (2.4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Toplam doyma suyu (DS) ise her bir agrega sınıfının doyma suyu miktarlarının toplanmasıyla elde edilir.

$$DS = \sum DS_i \quad (2.5)$$

Yukarıda verilen yöntemle, geleneksel ve yüksek dayanımlı betonlar için öncelikle su/çimento oranları ve çimento dozajlarına karar verilmiştir.

Buna göre, üretilen geleneksel betonlarda su/çimento oranı 0.40, 0.50 ve 0.60; çimento dozajı 400 kg/m^3 , yüksek dayanımlı betonlarda ise su/çimento oranı 0.30, çimento dozajı da 550 kg/m^3 alınarak hesaplara dahil edilmiştir. Mineral ve kimyasal katkıları olarak, geleneksel beton bileşiminde çimentonun ağırlıkça %1'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı (SAK); yüksek dayanımlı betonlarda ise çimentonun ağırlıkça %10'u oranında silis dumanı (SD) ve (çimento + silis dumanının) ağırlıkça %2'si oranında SAK kullanılmıştır. Belirlenen beton bileşimleri aşağıdaki Tablo 2.4' de verilmektedir.

Tablo 2.4. Üretilen betonların bileşimleri

Beton Türü	S/Ç oranı	Çimento (kg/m^3)	Toplam agrega (kg/m^3)	Doyma suyu (kg/m^3)	Karışım suyu (kg/m^3)	SD (kg/m^3)	SAK (kg/m^3)
Yüksek dayanımlı	0.30	550	1660	16.8	182	55	12.1
Geleneksel	0.40	400	1841	18.6	160	-	4.0
	0.50	400	1734	17.5	200	-	4.0
	0.60	400	1627	16.4	240	-	4.0

2.3. Beton Üretim Planı

Bu çalışmanın amacının eski beton - yeni beton aderansının zamanla değişiminin ve silis dumanı kullanılarak hazırlanan çimento şerbeti ile sıvama ve soğuk derz yüzeyinin pürüzlendirilmesi gibi önlemlerin de soğuk derz aderansı üzerindeki etkisinin incelenmesi olduğu daha önce belirtilmişti. Bu amaçla hazırlanıp gerçekleştirilen üretim planı aşağıdaki Tablo 2.5'de verilmektedir. Bu üretim planına göre yüksek dayanımlı eski beton -yeni beton aderansı için bir üretim, geleneksel betonun eski beton - yeni beton aderansı için ise dört farklı üretim yapılmıştır. Bu üretimlerde ilk dökümden küp numunelerin ilk yarısı doldurulmuş, ilk dökümden 30 dakika, 60 dakika, 120 dakika, 180 dakika, 240 dakika ve 360 dakika sonra numunelerin kalan yarısı dökülmüştür. Su/çimento oranı 0.40 olan geleneksel beton üretimlerinin ilkinde belirlenen küp numunelerin ara yüzüne silis dumanlı çimento şerbeti eklenmiş, ikincisinde ise belirlenen küp numunelerin ara yüzlerinde pürüzlendirme yapılmıştır.

Tablo 2.5. Beton üretim ve deney planı

Su / Çimento oranı		0.30	0.40		0.50	0.60	
Ara yüzeyde işlem		Yok	Yok	Çimento şerbetli	Yüzey Pürüzlü	Yok	Yok
Basınç dayanımı numuneleri							
Birdöküm numuneler							
Yarmada çekme dayanımı numuneleri							
Birdöküm Numuneler							
Yeni betonun döküm zamanı (Birinci tabaka ile ikinci tabaka arasındaki döküm zamanı farkı)	30 dakika						
	60 dakika						
	120 dakika						
	180 dakika						
	240 dakika						
	360 dakika						
Her bir serideki toplam numune adedi		32	32	32	32	32	32

2.4. Betonların Üretimi

Beton üretimi için; her bir agrega sınıfı, çimento, doyma suyu, karma suyu, süper akışkanlaştırıcı ve silis dumanı, ± 1 g hassasiyetle ölçüm yapan bir elektronik terazi ile tartılmıştır. Agregalar önceden nemlendirilmiş 60 litre kapasiteli düşey eksenli betoniye (Şekil 2.2) konmuş ve doyma suyu ilave edilerek yaklaşık 2 dakika süre ile karılarak agregalar suya doyurulmuştur. Daha sonra çimento ilavesiyle 2 dakika, betoniye durdurulmadan karma suyu ve süper akışkanlaştırıcının da ilavesiyle bir 3 dakika daha karılarak beton üretimleri gerçekleştirilmiştir. Yüksek dayanımlı beton üretiminde silis dumanı çimento ile birlikte betoniye konulmuştur.



Şekil 2.2. 60 litre kapasiteli düşey eksenli betoniyer

2.5. Betonların Yerleştirilmesi

Üretilen betonların kalıba yerleştirilmesi sırasında uygulamadaki duruma en yakın yüzey pürüzlülüğünü elde edebilmek için, laboratuvar koşullarındaki titreşim uygulaması yapılmamış, bunun yerine, TS EN 12350-2 [26] 'de belirtilen S4 kıvam sınıfında betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlar önceden yağlanarak hazırlanmış 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarındaki küp kalıplarına üretim planına uygun şekilde yerleştirilmiştir.

Her bir seriye ait 8'er küp numune, üretilen betonun basınç dayanımının ve yarmada çekme dayanımının belirlenmesinde kullanılmak üzere, birdöküm olarak üretilmiştir. Serilerin geriye kalan 24 adet numunesi ise dörtlü gruplar halinde kalıplarına yarı yükseklikte dökülmüş, daha sonra üretim planında belirtilen zaman aralıklarında (30, 60, 120, 180, 240 ve 360 dakika sonra) mevcut eski betonlar üzerine, her defasında 4'er yarım kalıp tamamlanacak şekilde tekrarlanan yeni üretimlerle, yeni betonlar dökülerek numunelerin üretimi tamamlanmıştır. Eski beton-yeni beton yapışma dayanımına etkisinin araştırılması amacıyla eski beton yüzeyine çimento şerbeti ve pürüzlendirme uygulamaları su/çimento oranı 0.40 olan geleneksel beton üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çimento şerbeti uygulamasında, ilk yarım yükseklikteki betonlama işleminden sonra, her bir zaman aralığı için ayrı ayrı olmak üzere, ikinci yarının dökümünden 5 dakika önce hazırlanan silis dumanı ilaveli çimento şerbeti ile eski beton yüzeyinin ortalama 3 mm kaplanmış, daha sonra ikinci yarım betonlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece eski beton ile yeni beton

arasında yoğun çimento-silis dumanı konsantrasyonuna sahip bir bölge oluşturulmuştur. Çimento şerbeti, su, çimento ve silis dumanının ağırlıkça oranları 45:75:10 olacak şekilde hazırlanmıştır.

Gerçekleştirilen bu işlemlere ait bazı görünümlemler aşağıdaki Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de verilmektedir.



Şekil 2.3. Üretilen betonun küp numunelere yarı yükseklikte yerleştirilmesi



Şekil 2.4. Üretilen beton numunelere ait görünümlemler

Yüzey pürüzlendirme işleminde ise, dökülen ilk yarım tabaka betonların yüzeyinde betonlar henüz taze haldeyken, bir doğrultuda ve ortalama 10 mm derinlikte paralel oluklar oluşturulmuştur. İkinci tabaka betonlama işlemleri ise yine aynı zaman aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlendirme işlemi uygulanmış numunelere ait görünüm Şekil 2.5’de verilmektedir.



Şekil 2.5. Yüzey pürüzlendirme uygulanmış numunelerden bir görünüm

2.6. Betonların Kür Koşulları

Eski ve yeni beton tabakaları arasında muhtemel su girişi ve bunun neden olabileceği etkiler inceleme konusu dışında olduğundan, bu olasılıktan kaçınmak amacıyla numunelere kür işleminin su yerine havada yapılması tercih edilmiştir. Böylece, üretim planına göre kalıplarına yerleştirilen betonlar ortam sıcaklığı $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, bağıl nemi $\%96 \pm \%3$ olan ve bu koşulları sürekli denetim altında tutulan kür odasında iki gün bekletildikten sonra kalıplardan çıkartılmış ve deney anına kadar aynı ortamda saklanmıştır. Kalıplarındaki numuneler Şekil 2.6’da, kalıptan çıkarılmış numuneler ise Şekil 2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.6. Kür odasında kalıplarında bekleyen numunelerden bir görünüm



Şekil 2.7. Kür odasında deney gününü bekleyen numunelerden bir görünüm

2.7. Beton Numunelerin Merkezi Basınç Deneyleri

Yarmada çekme dayanımı belirlenmek istenen betonlara ait 28 günlük eksenel basınç dayanımlarının belirlenmesi ilk işlem olmuştur. Bu amaçla, 150mmx150mmx150mm'lik beton küp numunelerin merkezi basınç deneyleri KTÜ Yapı ve Malzeme Laboratuvarında bulunan Besmak marka 3000 kN kapasiteli bilgisayar kontrollü hidrolik pres ile gerçekleştirilmiştir. Merkezi basınç deneyleri TS EN 12390-3[100]'e uygun olarak 0.48 MPa/s'lik sabit yükleme hızı altında gerçekleştirilmiştir. Küp numunelerin merkezi basınç deney anından bir görünüm Şekil 2.8' da, bu deneylerden elde edilen ortalama sonuçlar ise Tablo 2.6' da verilmektedir.



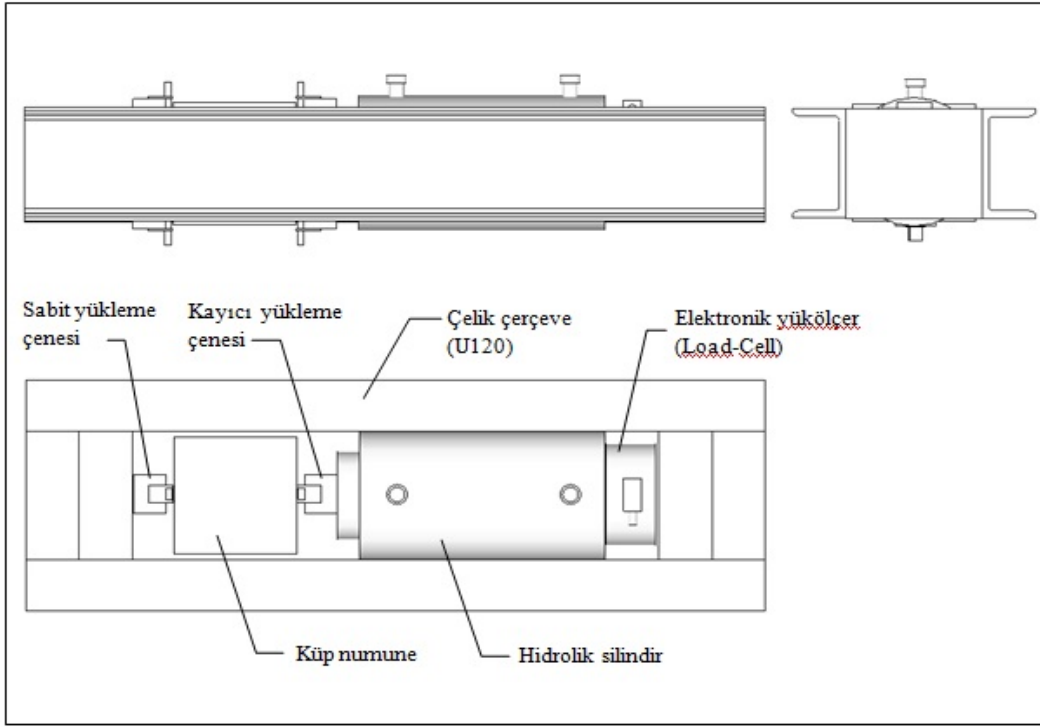
Şekil 2.8. Merkezi basınç deney anından bir görünüm

Tablo 2.6. Betonların ortalama aksenal küp basınç dayanımları

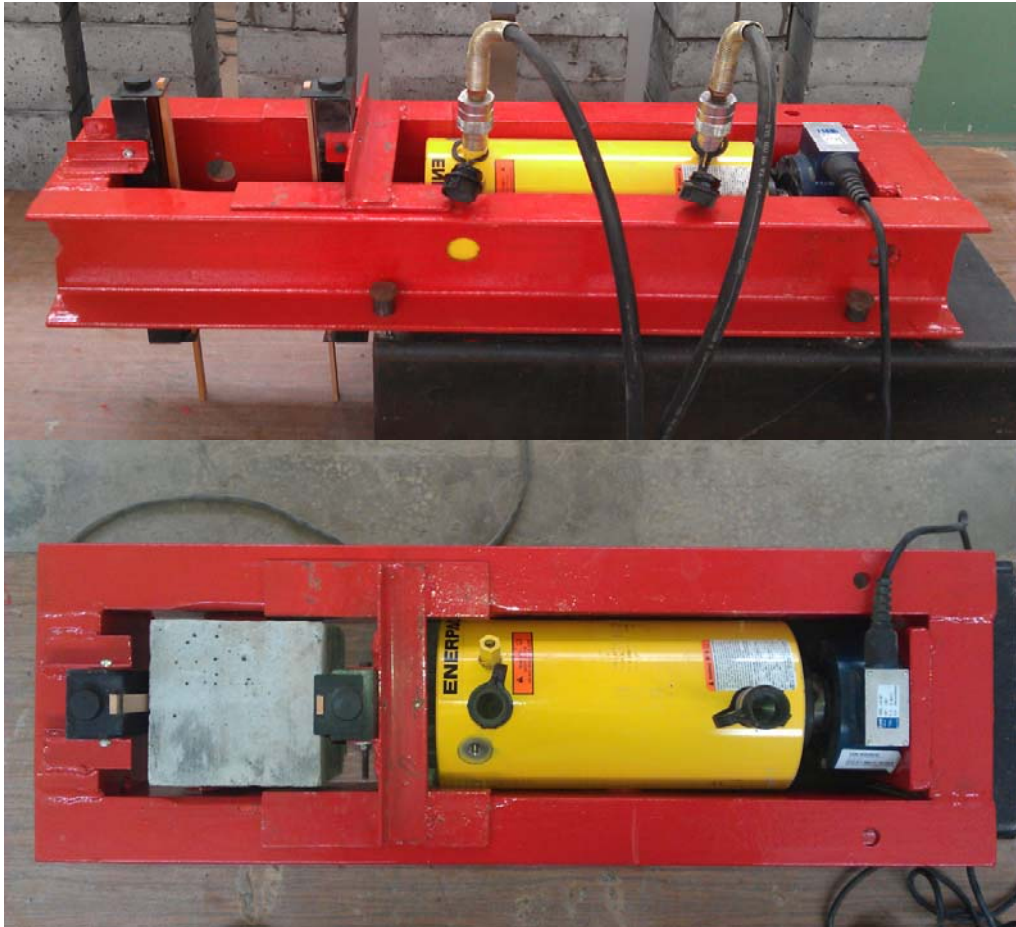
Beton türü	S /Ç oranı	28 günlük ortalama aksenal küp basınç dayanımı, $f_{c_{küp}}$ (MPa)
Yüksek dayanımlı	0.30	65.4
Geleneksel	0.40	43.3
	0.50	26.8
	0.60	19.1

2.8. Deney Düzenegi

Yarma deneylerinde önceden beri kullanılmakta olan tipik yarma tertibatları yerine, KTÜ Yapı ve Malzeme Laboratuvarında bu çalışmaya özel olarak tasarlanıp imal edilen yükleme hızı kontrollü bir deney çerçevesi kullanılmıştır. Üretim planına göre hazırlanan ve daha önce belirtilen kür koşullarında 28 gün bekletilen numuneler, söz konusu yükleme çerçevesi ile yarmada çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney çerçevesi, hidrolik silindir, yük ölçer ve yarma çenelerini içeren, yatay konumlanmış kapalı bir çerçeve olarak tasarlanmıştır. Bu yükleme sistemi ile küp numunelere, devrilme problemi ve yerleştirme zorluğu olmadan, kolay ve hızlı bir şekilde yarma etkisi verebilmektedir. Yükleme çerçevesinin şematik çizimi aşağıdaki Şekil 2.9'da, görünümleri ise Şekil 2.10'de verilmektedir.

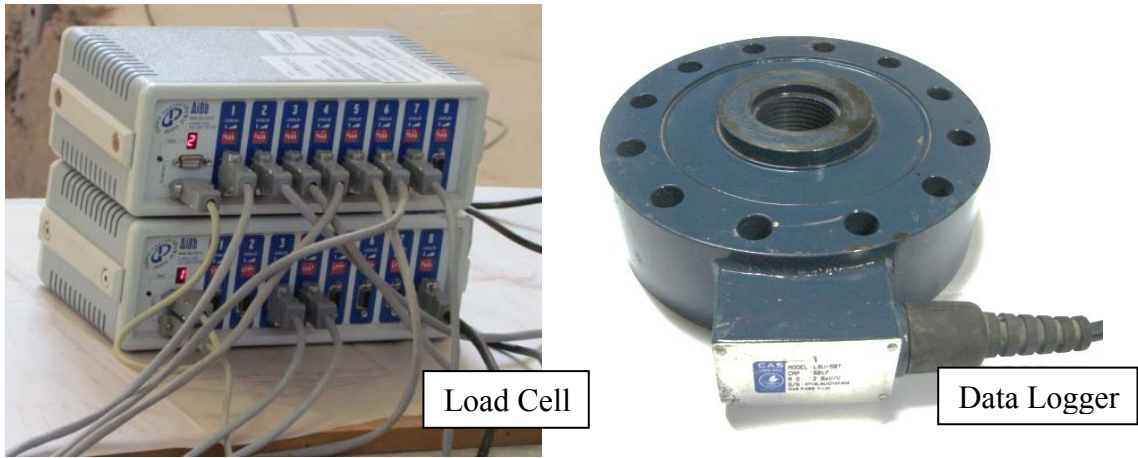


Şekil 2.9. Yükleme çerçevesinin şematik çizimi



Şekil 2.10. Yükleme çerçevesinin görünümü

Yükleme çerçevesinde 500 kN'luk Enerpac marka çift tesirli hidrolik silindir ve uygulanan yükü okuyabilmek için 200 kN kapasiteli CAS marka elektronik yükölçer (Load-Cell) kullanılmıştır. Hidrolik silindirin yüklemesi ise yükleme hızı kontrollü bir elektrikli pompa ile gerçekleştirilmiştir. Elektronik yükölçerden alınan veriler saniyede 16 veri kaydetme özelliğine sahip TDG marka CODA Ai8b model 16 kanallı veri toplama sistemine (Data-Logger) gönderilmiş ve aynı marka bilgisayar yazılımı yardımıyla yük-zaman eğrileri olarak elde edilmiştir. Kullanılan veri toplama sistemine ve elektronik yükölçere ait görünümler Şekil 2.11'de, böylece oluşturulmuş olan deney düzeneğinin genel bir görünümü ise Şekil 2.12'de verilmektedir.

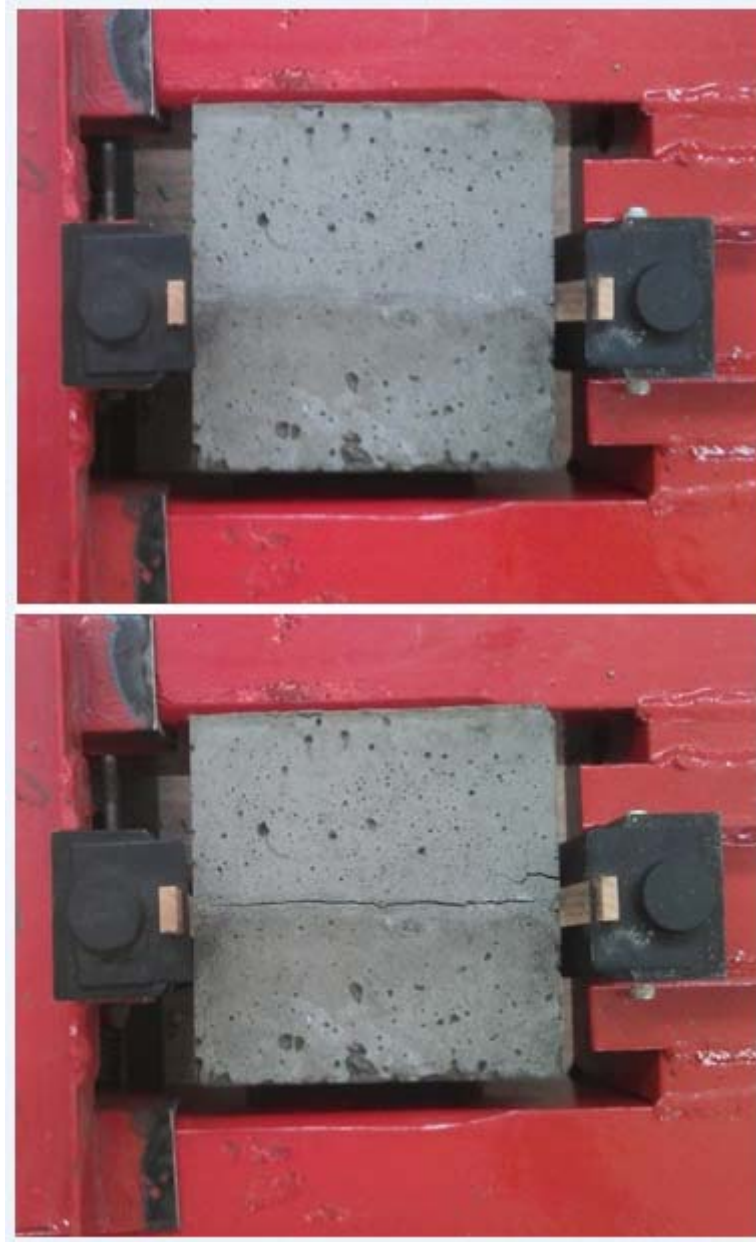


Şekil 2.11. Veri toplama sistemi (data logger) ve elektronik yükölçer (load cell)

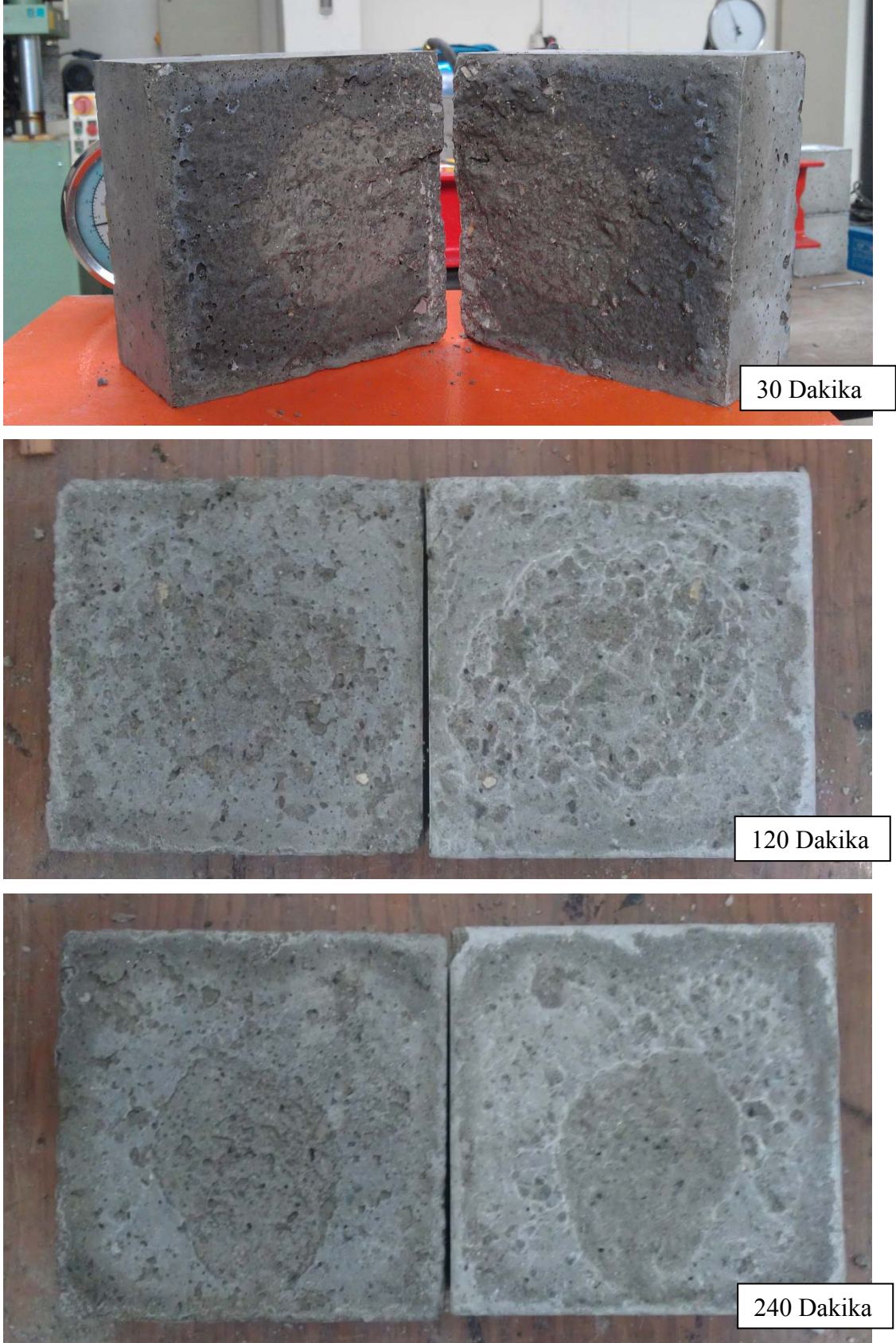


Şekil 2.12. Deney düzeneğine ait genel görünüm

Yükleme çerçevesine yerleştirilip yarmada çekme deneyi uygulanan küp numunelerin deney anından görünüşleri Şekil 2.13'de verilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, TS 12390-6 [45]'a göre gerçekleştirilen deneylerde küp numunelere ortalama 0.05 MPa/s sabit gerilme artış hızı altında yarma etkisi uygulanmıştır. Yarma çeneleri ile numuneler arasında kullanılan ahşap sıkıştırma şeritleri 10 mm x 5 mm kesitinde olup, her deneyde yenisi ile değiştirilmiştir. Yarma deneyleri sonunda numuneler, beklendiği gibi, eski ve yeni beton birleşim yüzeyinden iki parçaya ayrılmıştır. Bu yüzeylere ait bazı görünüşler de, yeni betonun döküm zamanına göre, Şekil 2.14'de verilmektedir.

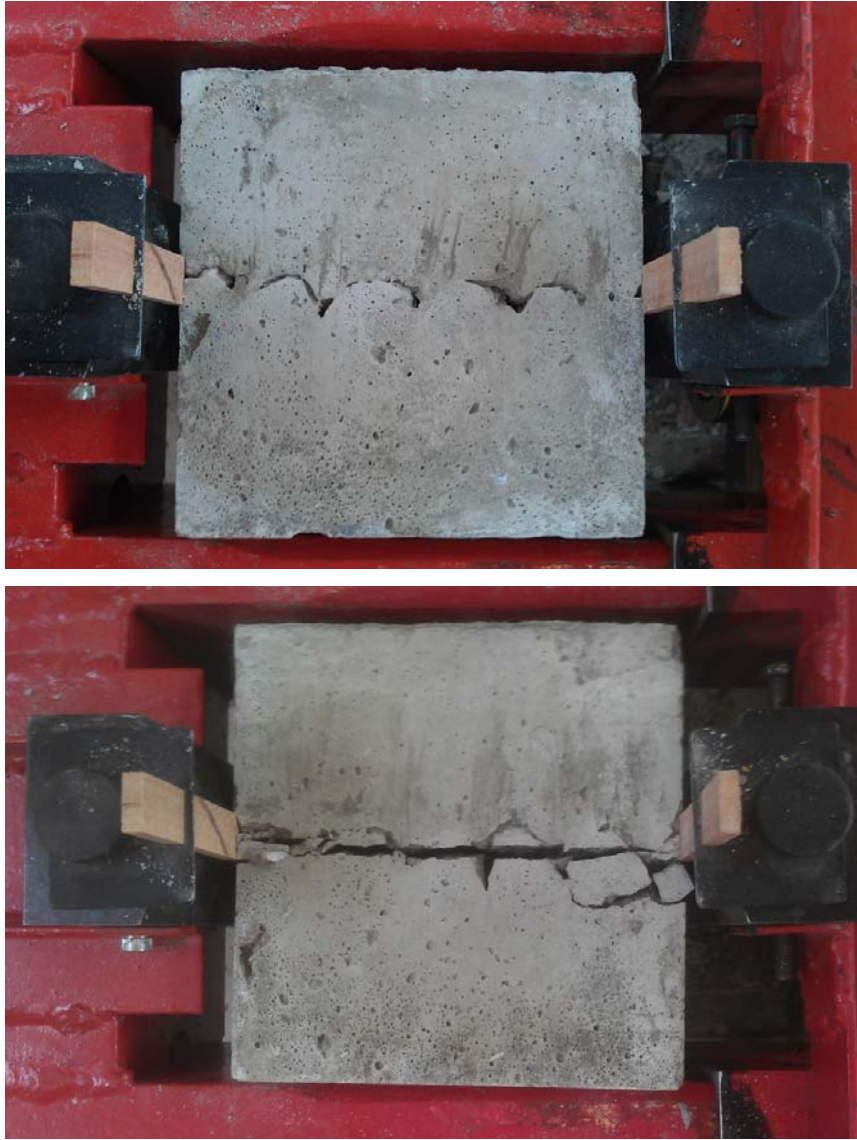


Şekil 2.13. Küp yarma deneyinden görünüşler

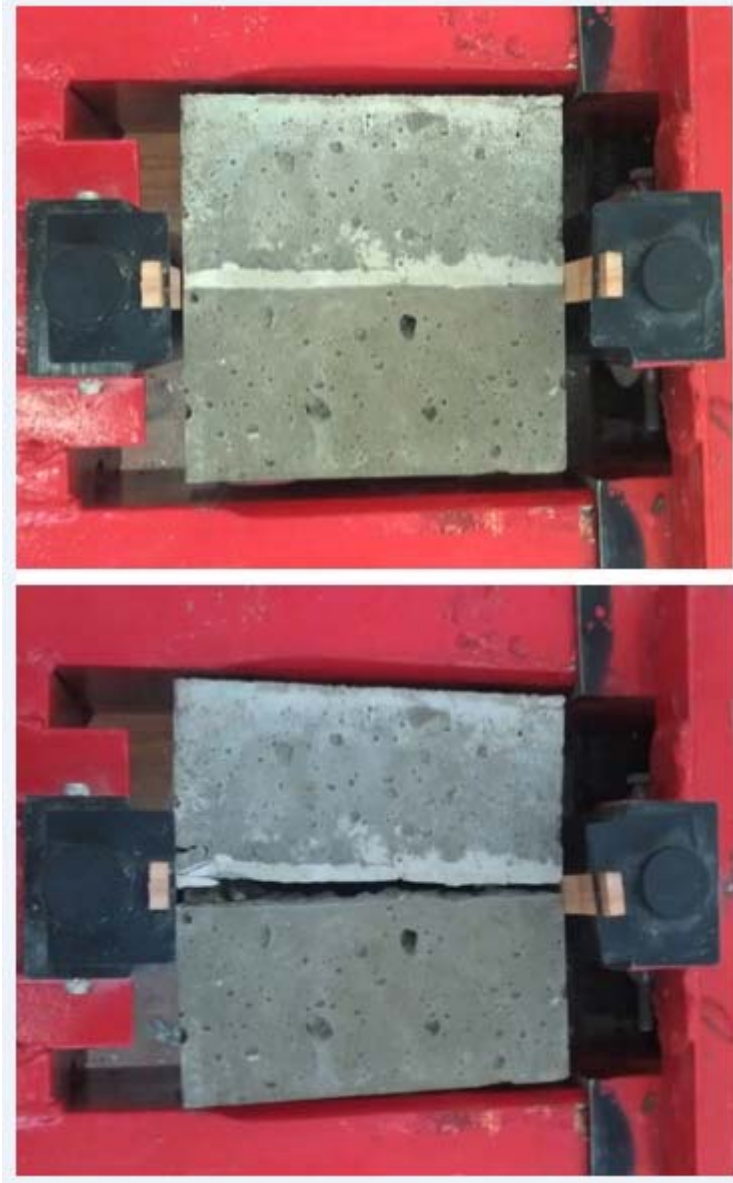


Şekil 2.14. Yarma deneyleri sonunda numunelerin eski beton - yeni beton birleşim yüzeylerinden ayrılmış görünüşleri

Su/çimento oranı 0.40 olan eski beton yüzeyine pürüzlendirme uygulanmış numunelerin yükleme çerçevesinde yarma deneyi anındaki görüntüleri aşağıdaki Şekil 2.15'de, eski beton yüzeyine çimento şerbeti uygulanmış numunenin deney anındaki görüntüleri ise Şekil 2.16'da verilmektedir. Deneylerden sonra numunelerin birbirinden ayrılmış eski ve yeni beton yüzeylerinin görüntüleri Şekil 2.17'de, gerçekleştirilen tüm deneyler sonunda numunelerden bir görünüm de Şekil 2.18'de verilmektedir.



Şekil 2.15. Eski beton yüzeyi pürüzlendirilmiş bir küp numunenin yarma deneyinden görüntümler



Şekil 2.16. Eski beton yüzeyine çimento şerbeti uygulanmış bir küp numunenin yarma deneyinden görünüm



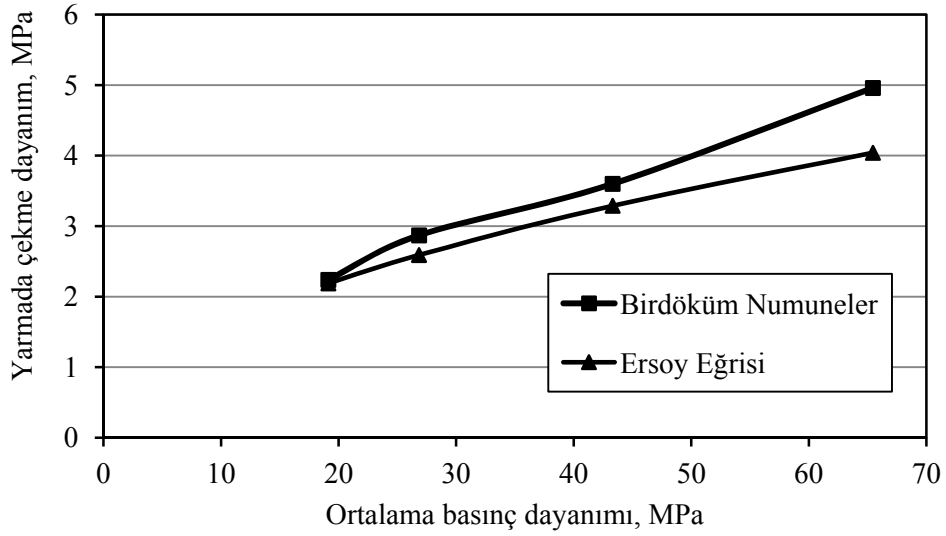
Şekil 2.17. Eski beton yüzeyine çimento şerbeti ve pürüzlendirme uygulamaları yapılmış numunelerin deney sonrası görünümleri



Şekil 2.18. Çalışmada gerçekleştirilen yarma deneyleri sonunda numunelerden bir görünüm

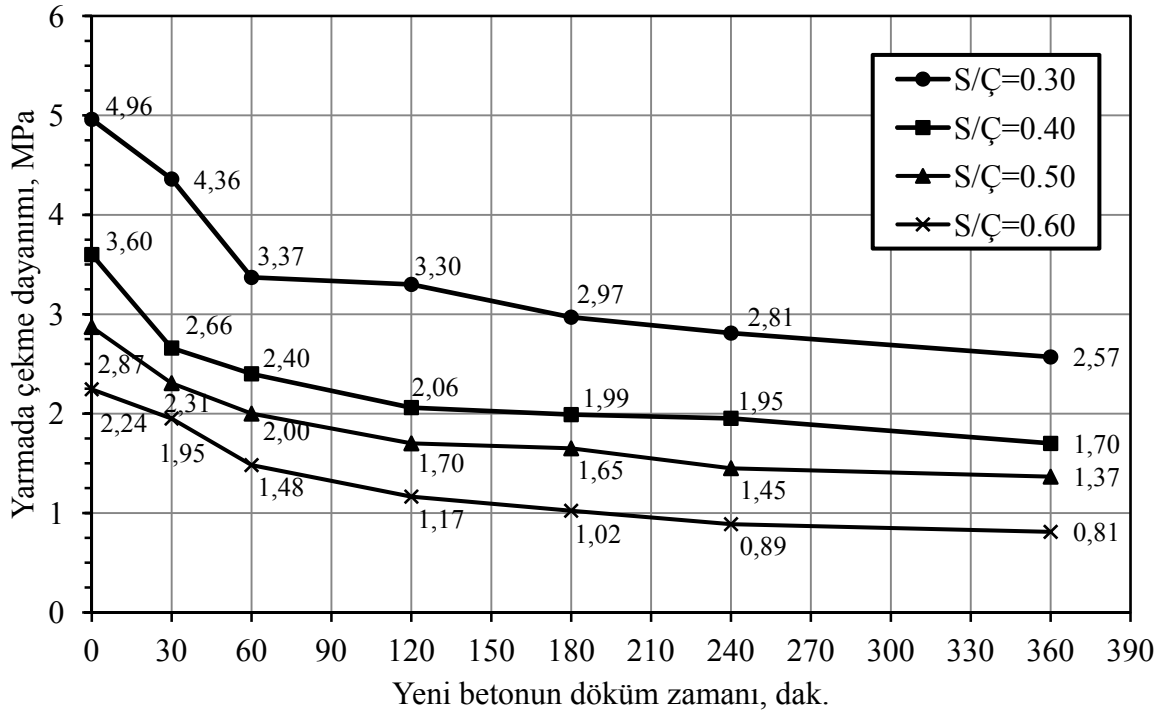
3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Üretilen küp numuneler üzerinde yukarıda belirtildiği şekilde gerçekleştirilen yarmada çekme deneyleri ile, eski beton-yeni beton arasındaki aderansın (yapışmanın) dolaylı olarak temsil edildiği kabul edilmiştir. Üretilen birdöküm beton numunelerin yarmada çekme dayanımları ile ortalama merkezi basınç dayanımları arasındaki ilişki, Ersoy [48] tarafından önerilen ilişki ile birlikte, aşağıdaki Şekil 2.19'da verilmektedir.



Şekil 2.19. Birdöküm numunelerin yarmada çekme dayanımları ile ortalama basınç dayanımları arasındaki ilişki

Birdöküm numuneler dahil olmak üzere, su/çimento oranı 0.30, 0.40, 0.50 ve 0.60 olan 28 günlük betonlar üzerinde gerçekleştirilmiş olan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 2.20'de topluca verilmektedir. Bu şekilden, elde edilen yarmada çekme dayanımlarının ilk 60 dakika içinde dökülen yeni betonlu numunelerde belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bu azalma en çok S/Ç=0.60 olan betonlarda olmuştur. Eski beton-yeni beton aderansının yeni beton döküm zamanıyla azalmasının yüzdeler şeklinde diğer bir gösterilimi ise Tablo 2.7'de verilmektedir.



Şekil 2.20. Yeni betonun döküm zamanının yarmada çekme dayanımı üzerindeki ilişkisi

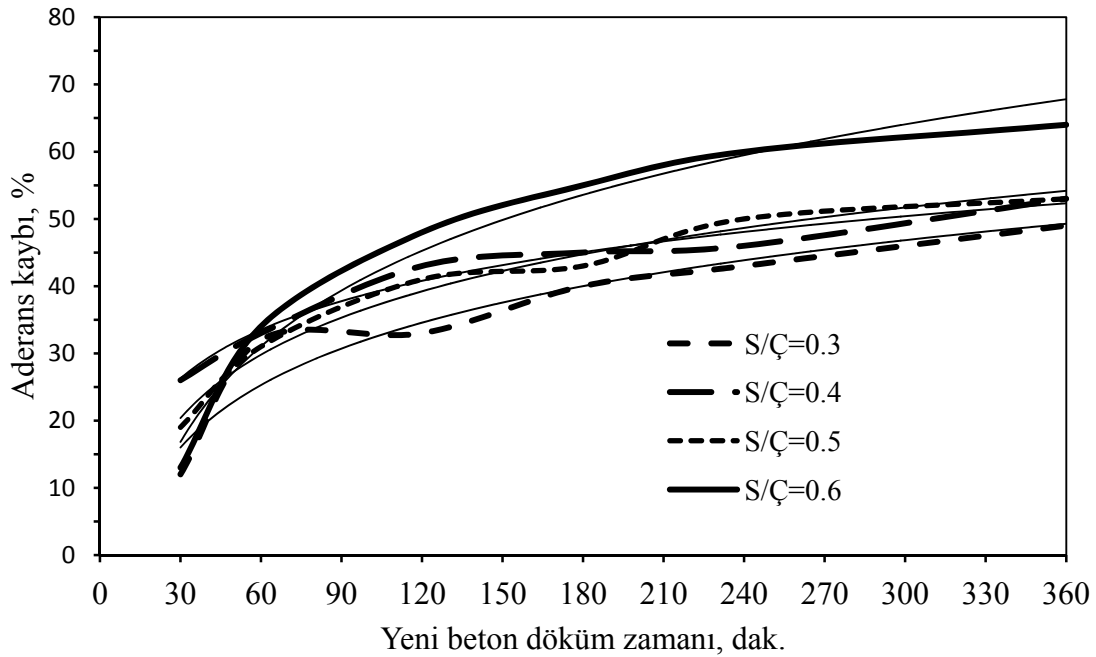
Tablo 2.7. Eski beton-yeni beton aderans kaybının zamanla değişimi

Süre (dakika)		0	30	60	120	180	240	360
		Aderans kaybı, %						
S/C=0.30	Süreler arasındaki kayıp, %	0	12	20	1	7	3	6
	Yığışimli kayıp, %	0	12	32	33	40	43	49
S/C=0.40	Süreler arasındaki kayıp, %	0	26	7	10	2	1	7
	Yığışimli kayıp, %	0	26	33	43	45	46	53
S/C=0.50	Süreler arasındaki kayıp, %	0	19	12	10	2	7	3
	Yığışimli kayıp, %	0	19	31	41	43	50	53
S/C=0.60	Süreler arasındaki kayıp, %	0	13	21	14	7	5	4
	Yığışimli kayıp, %	0	13	34	48	55	60	64

Eski beton-yeni beton aderansının ilk 60 dakika içinde dökülen yeni betonlu numunelerde hızla azaldığı, yukarıdaki Tablo 2.7'den de, görülmektedir. Yığışimli yüzdelere dikkate alındığında, ilk 30 dakika sonunda en fazla aderans azalması %26 değeriyle S/C=0.40 olan geleneksel betonda meydana gelmiştir. Bu değeri sırasıyla %19

azalmayla $S/\Ç=0.50$ olan ve %13 azalmayla $S/\Ç=0.60$ olan betonlar takip etmiştir. İlk 30 dakika sonunda dökülen yeni betonlu numunelerden en az aderans kaybı, %12 azalmayla, $S/\Ç=0.30$ olan yüksek dayanımlı betonada görülmüştür. Sonuçlardaki bu sıralama beklenen bir durumdur. Zira dayanımı en yüksek olan betonun diğer özellikleri de yüksek olmaktadır. Benzer durum, Tablo 2.7'nin 360. dakika sütununda gösterilen toplam kayıplar için de geçerlidir. Öyle ki, 6 saat sonunda dökülen yeni betonlu numuneler için yüksek dayanımlı beton toplam %49 aderans kaybı gösterirken, bu betonu sırasıyla %53, %53 ve %64 toplam kayıpla $S/\Ç$ oranı 0.40, 0.50 ve 0.60 olan diğer geleneksel betonlar izlemiştir. Uygulamada mevcut beton tabaka üzerine yeni beton dökümü arasındaki gecikmelerin en fazla ilk 60 dakika içinde olduğu göz önüne alınırsa, çalışma konusu tüm betonlar için, bu süre sonundaki eski beton-yeni beton aderansının birdöküm numunelerinkine göre ortalama %33 civarında azaldığını söylemek mümkün olmaktadır. Diğer bir deyişle, tüm serilerde 360 dakika sonunda ortaya çıkan toplam aderans kaybının yaklaşık %60'ı ilk 60 dakika sonunda, geriye kalan %40'ı ise takip eden 300 dakika sonunda dökülen yeni betonlu numunelerde gerçekleşmiştir.

Eski beton-yeni beton aderans kaybının yukarıdaki Tablo 2.7'den alınan yığışlımlı değerler üzerinden çizilen bir grafiği Aşağıdaki Şekil 2.21'de verilmektedir.



Şekil 2.21. Eski beton-yeni beton aderans kaybı yüzdesinin zamanla değişimi

Yukarıdaki Şekil 2.21 üzerinden Excell programında hesaplatılan logaritmik denklemler, y değeri eski beton-yeni beton aderansındaki % kaybı, x değeri ise yeni beton ile eski beton döküm zamanları arasındaki farkı (dakika) göstermek üzere, aşağıdaki Tablo 2.8'de verilmektedir.

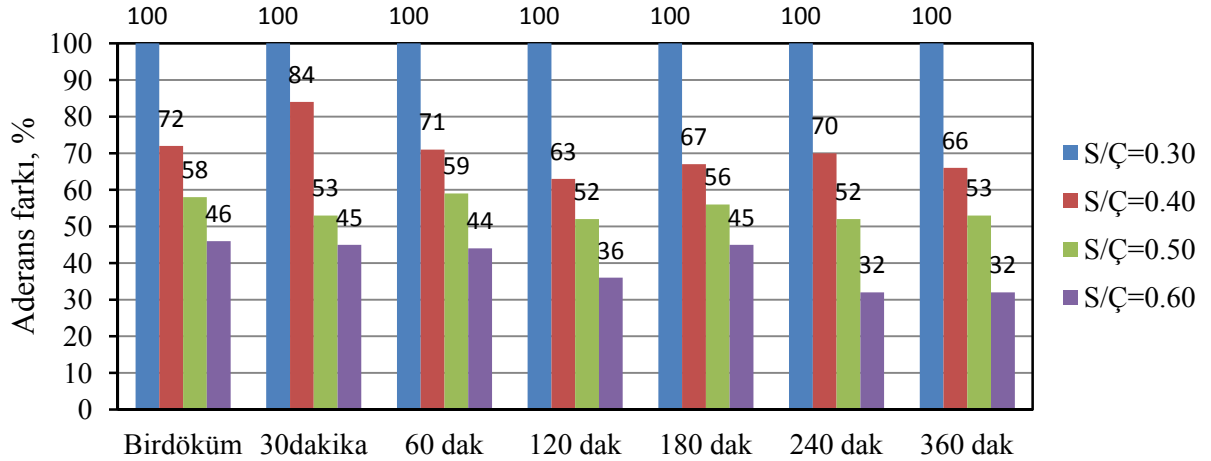
Tablo 2.8. Eski beton-yeni beton aderansı kaybı yüzdesinin zamanla değişimi

Beton	S/Ç	$f_{c_{küp}}$ (MPa)	Denklem
Yüksek Dayanımlı	0.30	65.4	$y = 13,391 \ln(x) - 29,541$
Geleneksel	0.40	43.3	$y = 10,492 \ln(x) - 9,438$
Geleneksel	0.50	26.8	$y = 13,604 \ln(x) - 25,894$
Geleneksel	0.60	19.1	$y = 20,517 \ln(x) - 52,961$

Yukarıdaki tabloda geleneksel betonlar için ayrı ayrı önerilmekte olan ifadeler tek bir ifade olarak aşağıdaki gibi önerilebilir;

$$y = 14,969 \ln(x) - 29,993 \quad (19.1 \text{ MPa} \leq f_{c_{küp}} \leq 43.3 \text{ MPa})$$

Deneylerden elde edilen yarmada çekme dayanımlarının (aderansların), üretilen betonların su/çimento oranlarına göre, birbirinden yüzde cinsinden farkları ise aşağıdaki Şekil 2.22'de çubuk diyagram olarak verilmektedir.

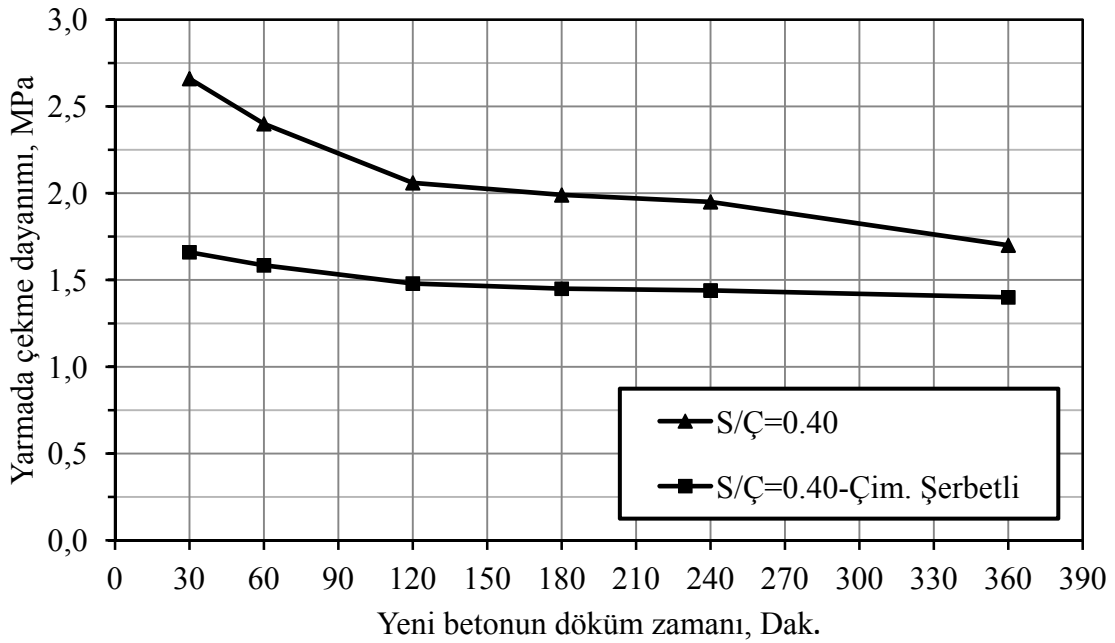


Şekil 2.22. Yarmada çekme dayanımları farkının yüzde olarak ifadesi

Yukarıdaki Şekil 2.22'den görüldüğü gibi, S/Ç=0.30 olan yüksek dayanımlı betonlardan elde edilen yarmada çekme dayanımları %100 kabul edildiğinde birdöküm numunelerde yarmada çekme dayanımları S/Ç=0.40, 0.50 ve 0.60 olan betonlarda sırasıyla %28, %42 ve %54 oranında azalmıştır. Benzer durum, eski beton-yeni beton aderansları

olarak kabul edilen farklı yeni beton döküm zamanlarına göre belirlenmiş yarmada çekme dayanımları için de geçerlidir. Burada da, aynı sıra ile, ortalama olarak %30, %45 ve %61 oranında aderans kayıpları söz konusu olmuştur.

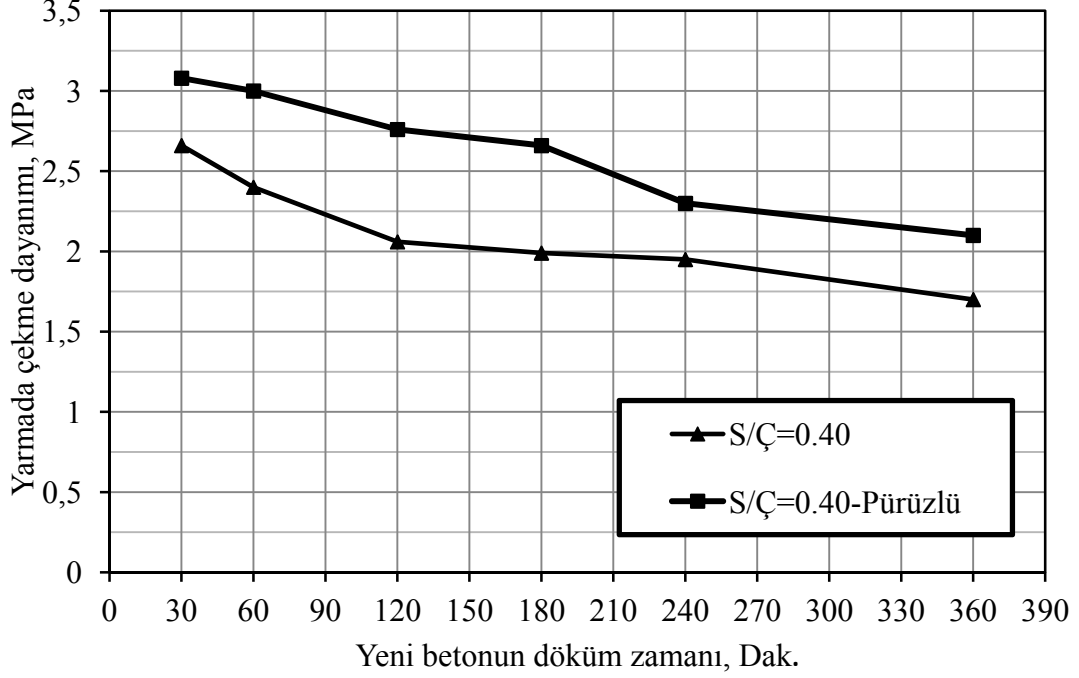
Eski beton-yeni beton yapışma dayanımı (aderansı) üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, yeni betonun farklı zamanlarda dökülmesi uygulaması, eski beton yüzeyine silis dumanı ilaveli çimento şerbeti uygulaması ve taze haldeyken pürüzlendirme uygulamaları ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Su/Çimento oranı 0.40 olan geleneksel betonların eski beton üzerine ortalama 3 mm kalınlıkta uygulanan silis dumanı ilaveli çimento şerbetinin numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımına etkisi Şekil 2.23'de verilmektedir.



Şekil 2.23. Çimento şerbeti uygulamasının yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi

Şekil 2.23'den görüldüğü gibi, eski beton üzerine uygulanan çimento şerbeti uygulaması eski beton-yeni beton aderansını belirgin derecede azaltmıştır. Öyle ki, ilk 30 dakika sonunda çimento şerbeti uygulanmış numunelerdeki aderans, uygulanmamış numunelere göre %38, izleyen süreler sonunda ise ortalama %27 oranında azalma göstermiştir. İlk 30. Dakika sonunda çimento şerbeti uygulanmış numunelerin aderansı ile 360. Dakika sonunda çimento şerbeti uygulanmış numunelerin aderansları arasında %16 azalma meydana gelmiştir.

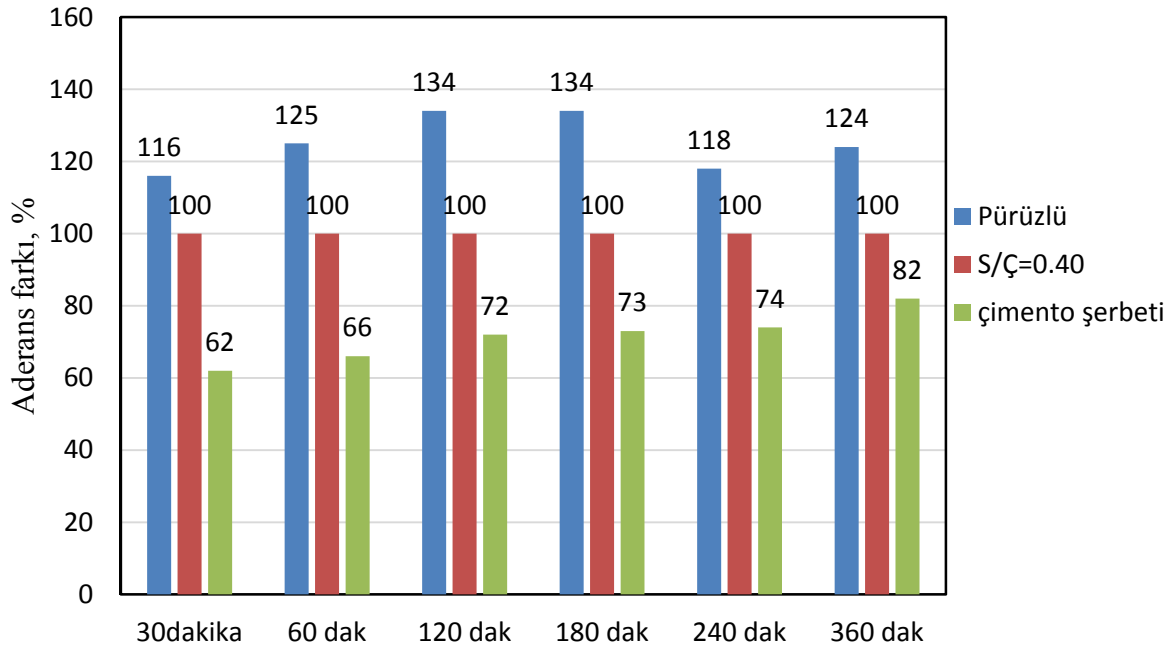
Su/çimento oranı 0.40 olan betonların eski beton yüzeylerine henüz taze haldeyken, 10 mm derinlikte bir doğrultuda oluklar şeklinde uygulanan pürüzlendirme işleminin numunelerin yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 2.24'de verilmektedir.



Şekil 2.24. Pürüzlendirme uygulamasının yarmada çekme dayanımı - yeni betonun döküm zamanı eğrisine etkisi

Eski beton yüzeyine çimento şerbeti uygulamasının aksine, eski betonun pürüzlendirilmesi eski beton-yeni beton aderansını, beklendiği gibi, belirgin derecede artırmıştır. Bu artış, ortalama %25 olmuştur. İlk 30. Dakika sonunda pürüzlendirme uygulanmış numunelerin aderansı ile 360. Dakika sonunda pürüzlendirme uygulanmış numunelerin aderansları arasında ise %31 oranında azalma meydana gelmiştir.

Eski beton yüzeyine çimento şerbeti dökülmesi ve yüzeyde pürüzlendirme uygulamalarından elde edilen yarmada çekme dayanımlarının herhangi bir uygulama yapılmamış şahit numunelerinkilerle yüzde cinsinden farkları ise daha kolay karşılaştırma yapılabilmesi için, aşağıdaki Şekil 2.25'de çubuk diyagram olarak verilmektedir.



Şekil 2.25. Yarmada çekme dayanımları farkının yüzde olarak ifadesi

Yukarıdaki diyagrama göre, eski beton üzerine yeni beton dökümü sırasında ara yüzeydeki aderansın artırılması amacıyla çimento şerbeti uygulamasının bir yararı olmadığı, aksine zararlı olduğu, benzer bir işlem yapılacaksa, uygulamanın özel kimyasal katkı malzemeleriyle gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Buna karşılık, sadece bir çeşidinin denendiği yüzey pürüzlendirme işleminde dahi söz konusu bu aderansın, yukarıda da belirtildiği ve Şekil 2.25'den de görüldüğü gibi ortalama %25 oranında artırılabilceği görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, eski beton - yeni beton aderansının, geleneksel ve yüksek dayanımlı betonlar üzerinde, deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak, değişik su/çimento oranlarına sahip beton karışımları oluşturulmuş, geliştirilen bir düzenerk yardımıyla gerçekleştirilen küp yarma deneyleri ile eski beton – yeni beton aderansının yeni beton döküm zamanının değişimi ile ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca silis dumanı kullanılarak hazırlanan çimento şerbeti ile eski beton yüzeyini sıvama ve eski beton yüzeyinin taze haldeyken pürüzlendirilmesi gibi işlemlerin de söz konusu aderans üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Beton küp numuneler üzerinde gerçekleştirilen yarmada çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar ve bazı öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- Denenen tüm beton serileri için, birdöküm numunelere göre ilk 60 dakika sonunda ortalama %33 oranında aderans azalması belirlenmiştir. Bu azalma aynı zamanda 360 dakika sonunda belirlenen toplam azalmanın da yaklaşık %60'ıdır.
- Yeni betonun eski betonun üzerine 60 dakika ve daha uzun zaman sonra dökülmesi halinde elde edilen aderanslardaki zayıflama hızı oldukça azalarak devam etmektedir.
- Ortalama küp basınç dayanımı 65.4 MPa olan yüksek dayanımlı betonlar için eski beton yeni beton aderans kaybı yüzdesinin zamanla değişimi;

$$y = 13,391 \ln(x) - 29,541$$

Ortalama küp basınç dayanımı 19.1 MPa ile 43.3 MPa arasında olan geleneksel betonlar için ise aynı ilişki;

$$y = 14,969 \ln(x) - 29,993$$

şeklinde elde edilmiştir.

- Bu çalışmada üretilen geleneksel beton dayanımlarının değişimi sadece su/çimento oranının değişimine bağlı olduğundan, su/çimento oranı arttıkça aderans dayanımının azaldığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, eski beton-yeni beton aderansı, beton dayanımının artışıyla orantılı olarak artmaktadır.
- Eski beton yüzeyine çimento şerbeti uygulanmış numunelerin aderans dayanımı su/çimento oranı 0.40 olan numunelerin yarmada çekme dayanımlarından

ortalama %29 daha az olmuştur. Bu durumda sözkonusu ara yüzeydeki aderansın artırılması amacıyla yapılabilecek çimento şerbeti uygulamasının zararlı olduğu, benzer bir işlem yapılacaksa, uygulamanın özel kimyasal katkı malzemeleriyle gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

- Pürüzlendirme uygulanmış numunelerin aderans dayanımı su/çimento oranı 0.40 olan numunelerin yarmada çekme dayanımlarından ortalama %25 daha fazla olmuştur. Bu çalışmada sadece bir çeşidinin denendiği yüzey pürüzlendirme işleminde dahi söz konusu aderansın, bu derecede artırılacağı tekrar teyit edilmiştir.

Özetle, farklı su/çimento oranına sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilen yarmada çekme deneyleri ile elde edilen eski beton-yeni beton aderans değerlerinin topluca değerlendirmesinden, beton dökümünde çeşitli nedenlerle yapılan ara verme ve döküme tekrar devam etme işlemi ile oluşturulan “soğuk derz” sonucunda bu iki tabaka arasında ilk 1 saatlik gecikme ile %60 gibi önemli seviyede yarmada çekme dayanımı kaybı ortaya çıkmaktadır. Uygulamadaki mühendislerin, yeni betonu elden gelen en kısa süre içinde dökmeleri ve döküm öncesinde eski beton yüzeyini pürüzlendirmeleri gerekmektedir. Bununla birlikte, burada verilen sonuçların bu çalışma koşullarına ait olduğu ve daha kesin kanaatlere ulaşmak için benzer deneylerin daha farklı betonlar üzerinde de tekrarlanmasının yararlı olacağı açıktır.

5. KAYNAKLAR

1. Erdoğan, S., T. ve Erdoğan, T., Y., Portland Çimentosunun Joseph Aspdın Tarafından İcadı ve Çimento Üretiminde Aspdın Ailesinin Rolü. www.as-beton.com/pdf/portland_çimentosunun_icadi.pdf 9 EYLÜL 2013.
2. www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/beton/2.HTM. 9 EYLÜL 2013.
3. Akman, S., Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi, TMH, Sayı:426-2003/4, 2003. 30-36
4. Erdoğan, T., Beton, 3. Baskı, 757, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2010.
5. ASTM C330-69, Standart Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1969.
6. ACI 213 R-79, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, Concrete International, 33-62, Detroit, 1979.
7. TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Esasları, TSE, Ankara, 1977.
8. Çetmeli, E., Alman Betonarme Şartnamesi (DIN 1045) Betonarme Hesap Esasları, Kesitlerin Boyutlandırması ve Donatının Yerleştirilmesi, İstanbul, 1974.
9. Manuel CEB-FIB, Béton de Granulats Légers, Annales de l' ITBTP Beton, 195, 1980.
10. TS 1114, Hafif Agregalar-Betonlar için, TSE, Ankara, 1987.
11. HÜSEM, M., Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ., Trabzon, 1995.
12. Taşdemir, C. ve Şengül, Ö., Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, THBB, Sayfa: 29-51, Ankara, 2013.
13. Beycioğlu, A., Endüstriyel Atıkların Hafif Beton Özelliklerine Etkilerinin Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2008.
14. Kılıçarslan, Ş., Sancar, S. ve Uzun, İ., Barit Agregalı Ağır Betonların Betonarmede Kullanılabilirliği, IATS, Sayfa: 87-91, İstanbul, 2011.
15. Kaçar, A., Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2006.
16. Pourhossein, P., Yüksek Dayanımlı Çelik Lifli Betonarme Kiriş ve Kolonlarda Çatlamlar Göz Önüne Alınarak Deplasmanların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2012.
17. www.dunyabeton.com.tr/uygulandiklariyeregore.html. 20 ARALIK 2013.

18. Çakıroğlu, M., A. ve Terzi, S., Püskürtme Betonda Yüzey Hazırlığının Önemi, SDU International Technologic Sciences, Vol.2, No:2, Sayfa:85-92, Isparta, 2010.
19. Güner, M. ve Süme,V., Yapı Malzemesi ve Beton, 2. Baskı, Aktif Yayınevi Erzurum, 2000.
20. emlakansiklopedisi.com/wiki/vakumlu-beton. 20 ARALIK 2013.
21. Özturan, T., Özel Betonlar, THBB, Sayfa:52-75, Ankara, 2013.
22. Özkul,H., M., Kendiliğinden Yerleşen Betonlar, THBB, Sayfa:76-95, Ankara, 2013.
23. Koç, M., E., Hava Sürüklenmiş Betonların Donma-Çözülme Dayanımları ve Görüntü İşleme Tekniği ile Boşluk Yapılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, 2012.
24. Neville, A.M., Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, England, 1981.
25. Özkul, H., Taşdemir, M.A., Toktay, M. ve Uyan, M., Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, Aralık, TÇMB, Ankara, 1999.
26. TS EN 12350-2, Beton-Taze Beton Deneyleri Bölüm 2: Çökme Deneyi, TSE,Ankara, 2010.
27. TS EN 12350-3, Beton-Taze Beton Deneyleri Bölüm 3: Vebe Deneyi, TSE,Ankara, 2010.
28. Hayri Ün, Yapı Malzemesi Bahar Yarıyılı Ders Slaytları, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2007.
29. TS EN 12350-4, Beton-Taze Beton Deneyleri Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik Derecesi, TSE,Ankara, 2010.
30. TS EN 12350-5, Beton-Taze Beton Deneyleri Bölüm 5:Yayıllma Tablası Deneyi, TSE,Ankara, 2010.
31. Gökalp, İ., Ördek, A., Özen, M. ve Ekim, H., Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, THBB. Sayfa: 428-438, Ankara, 2011.
- 32.ASTM C 1074, Standart Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, American Society for Testing and Materials, Philadelphia. 2002.
33. Topçu, İ., B. ve Akman, A., Kalıp Sökme Sürelerinin Olgunlukla Belirlenmesi, Deprem Sempozyumu, Sayfa:864-869, Kocaeli, 2005.
34. Subaşı, S., Beycioğlu, A. ve Emiroğlu, M., Mineral Katkı İçeren Betonların Sertleşme Sürelerinin Belirlenmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımı, IATS, Karabük, 2009.
35. Tokyay, M., Betonda Uçucu Kül, Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Silis Dumanının Rolü, THBB. Sayfa: 201-238, Ankara, 2013.

36. Aslan, M., Can, Ö. ve Subaşı, S., Alternatif Kalıp Yüzeylerinin Taze Beton Hidrostatik Basıncı Üzerine Etkileri, Bilimsel Araştırma Projesi, Proje Kodu: 07/2001-13, Gazi Üniversitesi, 2004.
37. Şahin, R., Taşdemir, M.A., Gül, R. ve Çelik, C., Taze Beton Özelliklerinin Optimizasyonu, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. Sayı: 38(2), Sayfa: 127-135. Erzurum, 2007.
38. ASTM C 94, Standart Specification for Ready-Mixed Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, Philadelphia, 1994.
39. Değirmenci, N., bauarchitecture.files.wordpress.com/2011/06/c3b6zel-betonlar.ppt. 10 OCAK 2014.
40. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara, 2000..
41. TS EN 206, Beton - Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara, Şubat 2014.
42. Başka, M.A., Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi. Erzurum, 2006.
43. www.dogateknik.com.tr/TeknikBelgeler/Betonun-Muhendislik-Ozellikleri. 20 OCAK 2014
44. Arslan, E., Betonun Yarma Dayanımında Geometrik Değişimlerde Boyut Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2006.
45. TS EN 12390-6, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle Bölüm 6:Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 2010.
46. Uygunoğlu, T., Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta. 2008.
47. Kassas, A., A., Studies on the Tensile Strength of Concrete, M.S. Thesis (supervised by Erdoğan, T.Y), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1976.
48. Ersoy, U. ve Özcebe, G., Betonarme, 2. Baskı, EVRİM Yayınevi, İstanbul, 2007.
49. Topçu, İ.B. ve Uğurlu, A., Betonda Elastisite Kuramı ve Baraj Betonları için Statik E-Modülünün Kompozit Maddelerle Tahmini, İMO Teknik Dergi, 4055-4067 Yazı:268, Ankara, 2007.
50. ASTM C 469, Standart Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete In Compression, Annual Book of ASTM Standarts, Philadelphia, 1994.
51. Timoshenko, S., History of The Strength of Materials, McGrawHill Book Company, NewYork, 1953.
52. Şimşek, S., Lifli Betonlar Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997.
53. Baradan, B. ve Aydın, S., Betonun Durabilitesi, THBB. Sayfa:264-288, Ankara, 2013.

54. Küçük, B., Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, Pamukkale Üniversitesi. Mühendislik Bilimleri Dergisi. Cilt:6, Sayı:1, Sayfa:79-85, 2000.
55. www.thbb.org/Utility.aspx?o=file&id=29. 20 MART 2014.
56. Kadioğlu, T., Rötire Azaltıcı Katkı Maddeleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 2006.
57. Ulukaya, S., Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Rötire ve Rötire Çatlaklarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 2008.
58. Gülşahin, S., Taze Betonda Segregasyonunun Ölçülmesi ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Ağustos, 2006.
59. Aydın, K.K., Uyan, M. ve Baş, S., Betonda Kıvam Kaybının Süperakışkanlaştırıcı Katkılarla İyileştirilmesi, Hazır Beton Dergisi, Kasım-Aralık, Sayfa:73-80, 1998.
60. Atalay, M., Plastik Katkılı Esnek Betonların Statik ve Dinamik Yükler Altında Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, 2007.
61. www.mabetas.com.tr/sertlesmisbeton.htm. 20 MART 2014.
62. Cilason, N. ve Aksoy, N., Beton Yapı Hasarları Onarım ve Korunması ve Sıcak İklimlerde Beton, Lebib Yalkım Yayınevi, İstanbul, 2000.
63. Beycioğlu, A., Doğan, D., Çullu, M. ve Şamandar, A., Alkali Silika Reaksiyonu ve Beton Durabilitesine Etkileri, Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, Düzce, 2010.
64. <http://www.bplusg.ch/startpage-e/concrete-technology/alkali-aggregate-reaction-aar/> 20 MART 2014
65. Yıldız, S., Demirli, İ.H. ve Keleştemur, O., Kırmataşla Üretilen Hazır Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Derg. 18(3), Sayfa:375-383. Elazığ, 2006.
66. Yazıcı, H., Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Fak. Fen ve Müh. Derg., Cilt:8, Sayı:1, Sayfa:51-58, İzmir, 2006.
67. Oymael, S., Yeğınobalı, M:A., Bitümlü Şist Külü Katkısının Betonda Aşınma Dayanımına Etkisi, www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11716.pdf 20 MART 2014
68. Baştan, T., Soğuk Derz, TMMOB İzmir Bülteni, Yıl:25, Sayı: 151/43, 2010.
69. Eriş, İ., Kalıp ve Kalıp Ayırıcı Yağ Türünün Beton ve Sıva arasındaki Aderansa Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 2007.
70. Santos, P.M.D. ve Julio, E.N.B.S., Factors Affecting Bond Between New and Old Concrete, ACI Materials Journal, 108-M48, Sf: 449-456, 2011.
71. Saldanha, R., Julio, E., Costa, D.D. ve Santos, P., A Modified Slant Shear Test Designed to Enforce Adhesive Failure, Construction and Building Materials, 41(2013)673-680, 2013.

72. Julio, E.N.B.S., Branco, F.A.B. ve Silva, V.D., Concrete to Concrete Bond Strength: Influence of an Epoxy Based Bonding Agent on a Roughened Substrate Surface, Magazine of Concrete Research, 57, No. 8, 463-468, 2005.
73. Tayeh, B.A., Abu Bakar, B.H., Johari, M.A.M. ve Voo, Y.L., Mechanical and Permeability Properties of the Interface Between Normal Concrete Substrate and Ultra High Performance Fiber Concrete Overlay, Construction and Building Materials, 36(2012) 538-548, 2012.
74. Xiong, G., Liu, J., Li, G. ve Xie, H., A Way for Improving Interfacial Transition Zone Between Concrete Substrate and Repair Materials, Cement and Concrete Research, 32 (2002) 1877-1881, 2002.
75. Li, G., A New Way to Increase the Long-term Bond Strength of New to Old Concrete by the Use of Fly Ash, Cement and Concrete Research, 33(2003)799-806, 2003.
76. Momayez, A., Ehsani, M.R., Ramezani pour, A.A. ve Rajaie, H., Comparison of Methods for Evaluating Bond Strength Between Concrete Substrate and Repair Materials, Cement and Concrete Research 35(2005)748-757, 2005.
77. Julio, E.N.B.S., Branco, F.A.B., Silva, V.D. ve Lourenço, J.F., Influence of Added Concrete Compressive Strength on Adhesion to Existing Concrete Substrate, Building and Environment, 41(2006)1934-1939, 2006.
78. Julio, E.N.B.S., Branco, F.A.B. ve Silva, V.D., Concrete to Concrete Bond Strength. Influence of the Roughness of the Substrate Surface, Construction and Building Materials, 18(2004)675-681, 2004.
79. Xiong, G., Cui, Y., Chen, L. ve Jiang, H., Influence of Hydrochloric Acid Etching on Bond Strength Between Concrete Substrate and Repair Materials, Cement and Concrete Composites, 26(2004)41-45, 2004.
80. Espeche, A.D. ve Leon, J., Estimation of Bond Strength Envelopes for Old to New Concrete Interfaces Based on a Cylinder Splitting Test, Construction and Building Materials, 25(2011)1222-1235, 2011.
81. Shah, S.G. ve Kishen, J.M.C., Nonlinear Fracture Properties of Concrete-Concrete Interfaces, Mechanics of Materials, 42(2010)916-931, 2010.
82. Shah, S.G., ve Kishen, J.M.C., Fracture Behavior of Concrete-Concrete Interface Using Acoustic Emission Technique, Engineering Fracture Mechanics, 77(2010)908-924, 2010.
83. Kuroda, M., Watanabe, T. ve Terashi, N., Increase of Bond Strength at Interfacial Transition Zone by the Use of Fly Ash, Cement and Concrete Research, 30(2000)253-258, 2000.
84. Kuineta, M., Kurihara, N., Uchida, Y. ve Rokugo, K., Application of Tension Softening Diagrams to Evaluation of Bond Properties at Concrete Interfaces, Engineering Fracture Mechanics, 65(2000)299-315, 2000.

85. Bonaldo, E., Barros, J.A.O. ve Lourenço, P.B., Bond Characterization Between Concrete Substrate and Repairing SFRC Using Pull-off Testing, International Journal of Adhesion and Adhesives, 25(2005)463-474, 2005.
86. Torgal, F.P., Gomes, J.P.C. ve Jalali, S., Adhesion Characterization of Tungsten Mine Waste Geopolymeric Binder. Influence of OPC Concrete Substrate Surface Treatment, Construction and Building Materials, 22(2008)154-161, 2008.
87. Santos, D.S., Santos, P.M.D. ve Costa, D.D., Effect of Surface Preparation and Bonding Agent on the Concrete to Concrete Interface Strength, Construction and Building Materials, 37(2012)102-110, 2012.
88. Mohammadi, M., Moghtadaei, R.M. ve Samani, N.A., Influence of Silica Fume and Metakaolin with Two Different Types of Interfacial Adhesives on the Bond Strength of Repaired Concrete, Construction and Building Materials, 51(2014)141-150, 2014.
89. Li, G., Xie, H. ve Xiong, G., Transition Zone Studies of New to Old Concrete With Different Binders, Cement and Concrete Composites, 23(2001)381-387, 2001.
90. Shin, H.C. ve Wan, Z., Interfacial Shear Bond Strength Between Old and New Concrete, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, ISBN 978-89-5708-181-5, Seoul, Sf:1195-1200, 2010.
91. Climaco, J.C.T.S. ve Regan, P.E., Evaluation of Bond Strength Between Old and New Concrete in Structural Repairs, Magazine of Concrete Research, 53, No. 6, Sf: 377-390, 2001.
92. Behfarnia, K., Jon-nesari, H. ve Mosharaf, A., The Bond Between Repair Materials and Concrete Substrate in Marine Environment, Asian Journal of Civil Engineering, Vol. 6, No. 4, Sf: 267-272, 2005.
93. TS 3526, Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini, TSE, Ankara, 1980.
94. TS 3529, Beton Agregalarının Birim Ağırlıkları Tayini, TSE, Ankara, 1980.
95. TS 706 EN 12620+A1, Beton Agregaları, TSE, Ankara, 2009.
96. TS EN 197-1, Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara, 2012.
97. Özer, Y., F., Bazı Endüstriyel Atıkların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
98. Eurocode-2, Design of Concrete Structures, European Comitte for Standardisation, Brussels, 1999.
99. TS 802, Beton karışım tasarımı hesap esasları, TSE, Ankara, 2009.
100. TS EN 12390-3, Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, TSE, Ankara, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İstanbul'da doğdu.İlköğretime Prof.Dr.Abdullah Türkođlu İlköğretim Okulunda başladı.İlköğretimi Nazmi Duhani İlköğretim Okulunda bitirdi.2002 yılında Kadir Has Anadolu Lisesine girdi.2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde başladığı lisans eğitimini Temmuz 2011'de tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitiminde başladı. Yüksek lisans eğitimi sırasında Trabzon Teknik Yapı Denetim şirketinde kontrol mühendisi görevinde bulundu. Abdullah Bostancı iyi derecede ingilizce bilmektedir.